

2021:00277 - Åpen

Rapport

Autonom feiemaskin - Kongsberg

Forfatter

Isabelle Roche-Cerasi



Rapport

Autonom feiemaskin - Kongsberg

EMNEORD:

Autonome kjøretøy
Selvkjørende maskin
Trafikksikkerhet
Bevegelse
Drift

VERSJON

1.0

DATO

2021-03-05

FORFATTER

Isabelle Roche-Cerasi

Foto forside:

Isabelle Roche Cerasi

OPPDRAGSGIVER

Statens Vegvesen, Vegdirektoratet

OPPDRAGSGIVERS REF.

Katja-Pauliina Skille

PROSJEKTNR

102019148

ANTALL SIDER OG VEDLEGG:

63+ 0 vedlegg

SAMMENDRAG

I samarbeid med By&Lab sin ITS-pilot: *Tilstandsregistrering og drift- og vedlikehold av gang og sykkelveger ved bruk av oppkoblede og autonome maskiner* og FoU-programmet BEVEGELSE, ble en selvkjørende feiemaskin testet på Kongsberg. Driftsmaskinen Spring GmbH (Tyskland) ble leid av en distributør i Tyskland. I denne rapporten presenterer SINTEF en evaluering av maskinens kapasitet og ytelser.

Prototypen som ble testet på Kongsberg i september 2020 er lovende og resultatene viser hvordan en repeterende oppgave kan gjennomføres av en robot. Bemannede gatefeiemaskiner vil i fremtiden kunne fokusere på andre områder eller på lange sykkelveger utenfor byområder. Likevel er det flere momenter som må vurderes dersom maskinen skal tas i drift i områder hvor det er store antall myke trafikanter. I tillegg er det flere maskinfunksjoner som trenger utvikling i fremtiden, slik som maskinens evne til å skille mellom objekter og mennesker, prediktere kommende risikosituasjoner eller trafikanters adferd.

UTARBEIDET AV

Isabelle Roche Cerasi

SIGNATUR
Isabelle Roche Cerasi (Mar 8, 2021 09:58 GMT+1)**KONTROLLERT AV**

Torun Rise

SIGNATUR**GODKJENT AV**

Gunrid Kjellmark

SIGNATUR
Gunrid Kjellmark (Mar 8, 2021 10:17 GMT+1)**RAPPORTNR**

2021:00277

ISBN

978-82-14-06459-9

GRADERING

Åpen

GRADERING DENNE SIDE

Åpen

Historikk

VERSJON	DATO	VERSJONSBEKRIVELSE
0.1	2020-11-24	Utkast rapport oversendt SVV
0.2	2021-01-25	Kommentarer av Katja-Pauliina Skille og Stein Johannes Brembu, SVV.
1.0	2021-03-05	Endelig rapport

Forord

Denne rapporten dokumenterer et arbeid som er utført på oppdrag fra Statens vegvesen, Vegdirektoratet som en del av FoU-programmet BEVEGELSE: *Bedre drift og vedlikehold for å få flere gående og syklist, Arbeidspakke 2: Drift, metoder og utstyr.*

Programmet skal gi økt kunnskap om:

- Gående og syklendes forutsetninger og behov
- Driftsmetoder, utstyr og organisering for å få effektivt drift og vedlikehold på gang- og sykkelanlegg
- Samarbeidsformer, kontraktsutforming og oppfølging av entreprenører

I forbindelse med By&Lab sin ITS-pilot: *Tilstandsregistrering og drift- og vedlikehold av gang og sykkelveger ved bruk av oppkoblede og autonome maskiner* i samarbeid med FoU-programmet BEVEGELSE, ble en selvkjørende feiemaskin testet og levert av en distributør i Tyskland, Spring GmbH (Tyskland).

Rapporten beskriver feltforsøk og målinger som er gjennomført for å evaluere maskinens kapasitet og nytte. *Fungerer autonome feiemaskiner like effektivt som bemannede kjøretøyer? Realiserer autonomi de tiltenkte effektene? Er det uønskede bieffekter ved bruk av autonomi? Hvilke betingelser og eksterne faktorer påvirker graden av måloppnåelse?*

Katja-Pauliina Skille, Stein Brembu, Bård Nonstad og Liv Øvstedal har vært Statens vegvesens/Vegdirektoratets kontaktpersoner for BEVEGELSE-programmet.

Elisabeth Skuggevik har vært Statens vegvesens hovedkontakt i forbindelse med arbeidsteam – ITS pilot på Kongsberg.

Uttesting av autonom feiemaskin ble gjennomført av SINTEF i samarbeid med Katja-Pauliina Skille, Bård Nonstad, Million Kiros Weldu (SVV) og Rebecca Ronke (Applied Autonomy AS). SINTEF takker alle for gode diskusjoner om maskinens begrensninger og ytelser.

I tillegg vil SINTEF gjerne takke Damien Declercq fra Spring Mobility GmbH, Rebecca Ronke og Olav Madland fra Applied Autonomy AS for å gjøre kjøretøysdata fra pilotstudie på Kongsberg tilgjengelig for SINTEF.

Tusen takk til BRYN BYDRIFT Kongsberg for hyggelig diskusjon og støtte i prosjektet.

Innholdsfortegnelse

1	Innledning	8
2	Spring S100N feiemaskin	9
2.1	Produsent og distributører	9
2.2	Rengjøring	10
2.2.1	Bruksanvisning	10
2.2.2	Maskindimensjoner	10
2.2.3	Børster	11
2.2.4	Støvsystem	11
2.2.5	Vannspyling	12
2.2.6	Effektivitet	12
2.2.7	Hastighet og børsteareal	13
2.3	Kjøring	13
2.3.1	Manuell modus	13
2.3.2	Autonom modus og ruteplanlegging	14
2.4	Lading	19
2.4.1	Bruksanvisning	19
2.4.2	Ladesystem	19
2.5	Teknologi	20
3	Feltforsøk i manuell modus	21
3.1	Mål	21
3.2	Lukket areal	21
3.2.1	Grus og sand	21
3.2.2	Gress, løv, kongler og kvister	25
3.2.3	Sjøppel	26
3.3	Sammenligningstest	27
3.4	Sikkerhetsfunksjon i manuell modus	28
3.5	Konklusjon	29
4	Feltforsøk i autonom modus	30
4.1	Gågata og Klokkerbakken	30
4.1.1	Dato og tid	30
4.1.2	Databehov	31
4.1.3	Dagens tilgjengelige kjøretøydata	32
4.2	Storgata (Gågata)	33
4.2.1	Ruteplanlegging	33
4.2.2	Batteriets ladetilstand	36

4.2.3	Hastighet.....	37
4.2.4	Hendelser.....	38
4.2.5	Konklusjon	40
4.3	Klokkerbakken.....	41
4.3.1	Ruteplanlegging.....	41
4.3.2	Ladetilstand og børsteareal.....	43
4.3.3	Hastighet.....	44
4.3.4	Hendelser.....	45
4.3.5	Retur til startpunkt A ₁	52
4.3.6	Konklusjon	55
5	Hovedkonklusjon.....	57
6	Anbefalinger	61
7	Referanser.....	63

Figurer

Figur 1: WOXIAOBAI S100 maskin produsert av Idriverplus i Beijing (Kina).....	9
Figur 2: Maskindimensjon [4].....	10
Figur 3: Maskinbørster [4].....	11
Figur 4: Støvfilter og søppelbeholder [4].....	11
Figur 5: Innstilling på vannpåfyll [4].....	12
Figur 6: Spring S100N fjernkontroll [4], [5].....	13
Figur 7: Lagring av fysiske miljødata og rutegrense [4].....	15
Figur 8: Kanttilpasning for ruteplanlegging [4].....	16
Figur 9: Dokument utarbeidet av Applied Autonomy AS for å beskrive ruten på Klokkerbakken [7].....	17
Figur 10: Spring S100N ladekabel [4].....	19
Figur 11: Beskrivelse av maskinen [4].....	20
Figur 12: Test med grus og sand på lukket areal (Foto: I. Roche Cerasi).....	22
Figur 13: Beregnet effektivitet for 8 tester med grus og sand.....	23
Figur 14: Grus og sand ble ikke tatt opp av maskinen og gummiskjørt på siden (Foto: I. Roche Cerasi).....	24
Figur 15: Bakkemerker av vannspyling etter feiing (Foto: I. Roche Cerasi).....	24
Figur 16: Test med gress, løv, kongler og kvister (Foto: I. Roche Cerasi).....	25
Figur 17: Beholder etter en test (til venstre) og kvister som sitter fast under maskinen (til høyre) (Foto: I. Roche Cerasi).....	25
Figur 18: Test med søppel; glasskår, papir, plast og brusbokser (Foto: I. Roche Cerasi).....	26
Figur 19: Søppel som ikke ble tatt opp av maskinen og plast som satt fast under maskinen (Foto: I. Roche Cerasi).....	26
Figur 20: Sammenligningstest med vanlig feiemaskin og Spring S100N (Foto: I. Roche Cerasi).....	27
Figur 21: Bakken etter sammenligningstest mellom Schmidt feiemaskin (til venstre) og Spring S100N roboten (til høyre) (Foto: I. Roche Cerasi).....	28
Figur 22: Radarsensorer i bruk i manuell modus (Foto: I. Roche Cerasi).....	28
Figur 23: Test med kjegler som simulerer en person (Foto: I. Roche Cerasi).....	29
Figur 24: Storgata og Klokkerbakken på Kongsberg (Foto: I. Roche Cerasi).....	30
Figur 25: Ruteplanlegging i Storgata med 4 runder.....	33
Figur 26: Fullført oppgave i appen (Foto: W.K.Weldu).....	34
Figur 27: Ulike overflater i Gågata på Kongsberg.....	35
Figur 28: Batteriets ladetilstand og vanntank som funksjon av kjøreavstand over 12 oppgaver.....	36
Figur 29: Arealer med skiferheller i midten av vegen kostet på runde 1 (blå farge) og 4 (svart farge).....	37
Figur 30: Hastighet for en rengjøringsoppgave i Gågata (høy hastighetsmodus).....	38
Figur 31: Illustrasjon av en ulykkessituasjon med Spring S100N (øverst) (Foto: I. Roche Cerasi) og TransCar LTC2 Automated Guided Vehicle System (AGV) fra Swisslog.....	39
Figur 32: Feilmelding og kode på maskinens grenseflate (Foto: M.K. Weldu).....	40
Figur 33: Oppgave på Klokkerbakken: 2 runder og startpunkt.....	42
Figur 34: Ladetilstand og vanntank som funksjon av kjøreavstand over 15 oppgaver.....	44
Figur 35: Beholder etter utført testing i Klokkerbakken.....	44
Figur 36: Hastighet for en rengjøringsoppgave i Klokkerbakken.....	45
Figur 37: Feilmelding om stopp for å riste støvfilteret (Foto: I. Roche Cerasi).....	46
Figur 38: Maskinen kjørte utenfor fortauskanten når den svingte på startpunkt (Foto: I. Roche Cerasi).....	46
Figur 39: Samhandling mellom maskinen og personer med redusert funksjonsevner (Foto: I. Roche Cerasi).....	47
Figur 40: Samhandling med syklist, sparkesyklist eller unge med rullebrett (Foto: I. Roche Cerasi).....	47
Figur 41: Maskinen stoppet pga. hindringer, rygget og kjørte forbi (Foto: I. Roche Cerasi).....	48

Figur 42: Maskinen kjører forbi en parkert bil på fortauet (Foto: I. Roche Cerasi).	49
Figur 43: Føreratferd for å filme maskinen (Foto: I. Roche Cerasi).	49
Figur 44: Upresist kjøring langs brostein på fortau (Foto: I. Roche Cerasi).	50
Figur 45: Kjøring og kosting langs benker. (Foto: I. Roche Cerasi).	50
Figur 46: Kosting langs vegg. (Foto: I. Roche Cerasi).	51
Figur 47: "Vehicle back" kommando i appen (Foto: M.K. Weldu).	51
Figur 48: "Gå til startpunkt"-rute (svart farge) med oppgave 14, runder 1 og 2 (oransje farge).	53
Figur 49: Hastighetsforskjell over tid til startpunkt A ₁ med bruk av "Vehicle back" funksjon (14.09.2020).	54
Figur 50: "Vehicle back" kommando (svart farge) med Runde 1 (blå farge) og Runde 2 (oransje farge). (Foto: I. Roche Cerasi)	54
Figur 51: "Vehicle back" ruten med møtende personer med rullestol. (Foto: I. Roche Cerasi).	55
Figur 52: Hastighetsprofil over tid med "Vehicle back" kommando til nødstop.	55
Figur 53: Slitte sidebørster etter testene på Kongsberg (til venstre) og en vanlig feiemaskin (til høyre) (Foto: I. Roche Cerasi).	57
Figur 54: Fylling av vanntank med vaskemaskinsinnløpsslange (Foto: I. Roche Cerasi).	57
Figur 55: Ruteplanlegging rundt stolpe (Foto: I. Roche Cerasi).	59
Figur 56: Kosting rundt benker med Spring S100N (Bildet til venstre) og bemannede gatefeiemaskin (Bildet til høyre) (Foto: I. Roche Cerasi).	59
Figur 57: Ruteplanlegging ved trapper og utgang (Foto: I. Roche Cerasi).	60

Tabeller

Tabell 1: Effektivitet levert av distributør (Spring Mobility GmbH).	12
Tabell 2: Egenskaper og tilgjengelige data i appen.	18
Tabell 3: Beregning av effektivitet for spredning av grus og sand med to ulike hastigheter og bruk av vannspyling.	23
Tabell 4: Test planlagt i Storgata på Kongsberg.	30
Tabell 5: Databehov.	31
Tabell 6: Registrering av avvikssituasjoner (situasjoner som krever menneskelig intervensjon).	31
Tabell 7: Statistiske data.	32
Tabell 8: Sanntidsdata.	33
Tabell 9: Oppgaver i Gågata på Kongsberg.	35
Tabell 10: Gjennomsnittsverdier for 25 fullførte oppgaver ($\geq 94\%$) i Gågata.	36
Tabell 11: Vekt av løv, støv, og grus som ble børstet av maskinen i Gågata.	36
Tabell 12: Gjennomsnittlige hastigheter i autonom modus i Gågata på Kongsberg.	37
Tabell 13: Gjennomsnittlige og maksimale hastigheter for alle 4 runder for oppgaven 2 (11.09.2020).	37
Tabell 14: Oppgaver i Klokkerbakken på Kongsberg.	43
Tabell 15: Gjennomsnittsverdier for 25 fullførte oppgaver i Klokkerbakken.	43

1 Innledning

I samarbeid med By&Lab ITS pilot og FoU programmet BEVEGELSE (2017-2021), ønsket Statens Vegvesen, Vegdirektoratet (i det videre omtalt som SVV) å evaluere den autonome feiemaskinen Spring S100N på Kongsberg.

I forbindelse med BEVEGELSE-programmet har SINTEF fått i oppdrag av SVV å evaluere den selvkjørende maskinen på Kongsberg. Maskinen ble testet i august og september 2020 på et lukket areal på en trafikkstasjon, og i Gågata og Klokkerbakken på Kongsberg.

BEVEGELSE-programmet har som hovedmål å finne nye metoder for drift og vedlikehold som fører til økt gang- og sykkeltrafikk: *"Hvis flere går og sykler vil vi få bedre lokalt miljø, bedre folkehelse, mer levende og aldersvennlige byer og økt livskvalitet. Det bidrar også til å nå nasjonale mål i klima- og transportpolitikken."*

SINTEF og SVV utarbeidet i samarbeid testprotokoller for å planlegge tester som kunne evaluere maskinens kapasitet og ytelser. SINTEF analyserte kjøredata og var til stede sammen med SVV og Applied Autonomy AS for å ta bilder og videoer av maskinens adferd rundt bymøblene og trafikantene.

Tester på lukket areal ble gjennomført over to dager; 26. og 27.08.2020. Det ble testet 8 forskjellige mengder av grus og sand på vegen med eller uten vannspyling. I tillegg ble det prøvd å koste søppel som papir, plast, flasker og bokser. Med hjelp fra Bryn Bydrift, var det mulig å sammenligne kosting av Spring S100N med vanlig feiemaskin som vanligvis benyttes i Kongsberg sentrum.

Kosting på Storgata (delen som er kjent som Gågata) ble organisert over fem dager fra 7. til 11.09.2020. På oppdrag fra SVV, evaluerte TØI interaksjoner og reaksjoner fra publikum ved hjelp av videoregistrering og feltintervjuer. TØIs rapport 1798/2020 er derfor anbefalt som komplementær informasjon til denne rapporten fra SINTEF [1].

Kosting på Myntgata (delen som er kjent som Klokkerbakken) ble gjennomført over to dager; 14. og 15.09.2020. SINTEF med SVV var til stedet for å sikre at maskinen ikke forstyrrer for mange myke trafikanter og at personer som ikke var kjent med maskinen, ble bekymret for sin egen sikkerhet.

2 Spring S100N feiemaskin

2.1 Produsent og distributører

Spring S100N selvkjørende feiemaskin er produsert av Idriverplus Technology Co Ltd i Beijing (Kina) [2] og heter opprinnelig WOXIAOBAI, se Figur 1. Ifølge produsenten er mer enn 100 enheter nå i drift ved universiteter, fabrikker, parker og bygater i flere kinesiske byer [3]. Softwareprogrammering er utviklet av Idriverplus sine ingeniører.

Velodyne LiDAR-sensorer muliggjør navigering og gjenkjenning av objekter og mennesker. Velodyne Lidar har hovedkvarter og forskningscenter i USA, og produksjon er i Beijing.

Maskinen som kan spraye desinfeksjonsmiddel, fikk stor oppmerksomhet i markedet i 2020 på grunn av Corona-pandemien. Idriverplus utviklet samarbeid med andre land som Malaysia, Singapore, Dubai. For testene på Kongsberg, ble maskinen leid av Applied Autonomy AS fra en distributør i Berlin (Tyskland), Spring Mobility GmbH. Boss Europe AS som har kontor i Vestby, er ny distributør i Norge.



Figur 1: WOXIAOBAI S100 maskin produsert av Idriverplus i Beijing (Kina).

2.2 Rengjøring

2.2.1 Bruksanvisning

Kapitlet beskriver restriksjoner, egenskaper og krav som er spesifisert i bruksanvisningen [4].

Viktigste restriksjoner [4]

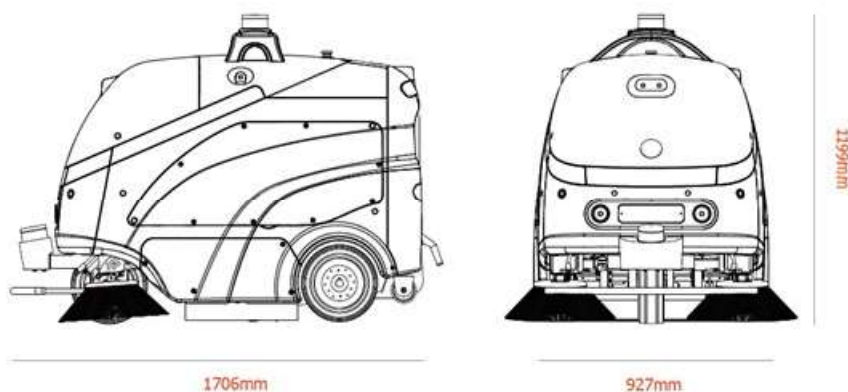
- Maskinen kan kun feie vanlig søppel, men ikke tau, bånd, giftige og skadelige stoffer eller varme materialer.
- Maskinen kan ikke feie søppel over et bestemt volum på grunn av sin egen størrelse.
- I tilfeller hvor maskinen ikke beveger seg på grunn av søppel, er det anbefalt å løfte hovedbørsten og sidebørstene for å unngå materialskader og deformasjon.
- Maskinen kan ikke brukes når utetemperaturen er over 40°C eller under 15 °C.
- For elektriske og elektroniske sikkerhetsforhold, er det forbudt å bruke maskinen i regn, snø, hagl eller tungt dis. Manuell kjøring uten god synlighet er ikke anbefalt.

Viktigste krav [4]

- Vedlikehold, utskifting av defekte deler og reparasjoner må utføres av godkjent og spesialtrent personale.
- Det er viktig å følge krav om kontroll, inspeksjon og vedlikehold som er spesifisert i bruksanvisningen.
- I tilfelle hvor motoren eller børstene ikke klarer å fungere som den/de burde, bør brukeren sjekke om børstene har plukket opp tau eller bånd og deretter kontrollere sikkerhetsboksen for å se om sikringen har gått. Eventuelt kan det være nødvendig å ta kontakt med distributøren.
- Maskinen må ikke brukes på regnfulle dager eller på veier overfylt av vann etter regnfall. Vannet kan komme inn i støvfilteret eller chassiset og kan påvirke støvkontrollen.
- Overflaten på produktets lidarsensorer, ultralydradarer og kameraer må tørkes regelmessig for å holde det rent.

2.2.2 Maskindimensjoner

Spring S100N selvkjørende feiemaskin er kompakt, elektrisk og autonom. Figur 2 viser maskinen som har et volum på 1,9 m³, en bredde på 1,7 meter og en høyde på 1,2 meter. S100N har en bruttovekt på 395 kg. Maskinen har tre hjul med harde gummidekk.



Figur 2: Maskindimensjon [4].

2.2.3 Børster

For rengjøringsoppgaven, er maskinen utstyrt med en hovedbørste og to sidebørster i plastmateriale. Børstene må kontrolleres hver annen uke og hovedbørsten skiftes når diameteren er mindre enn 235 mm. Det samme gjelder for sidebørstene når deres diameter er under 300 mm. Spenningen mellom strammerullen og transportbåndet må også sjekkes hver 40. time (se Figur 3) for å sikre effektiv rengjøring.

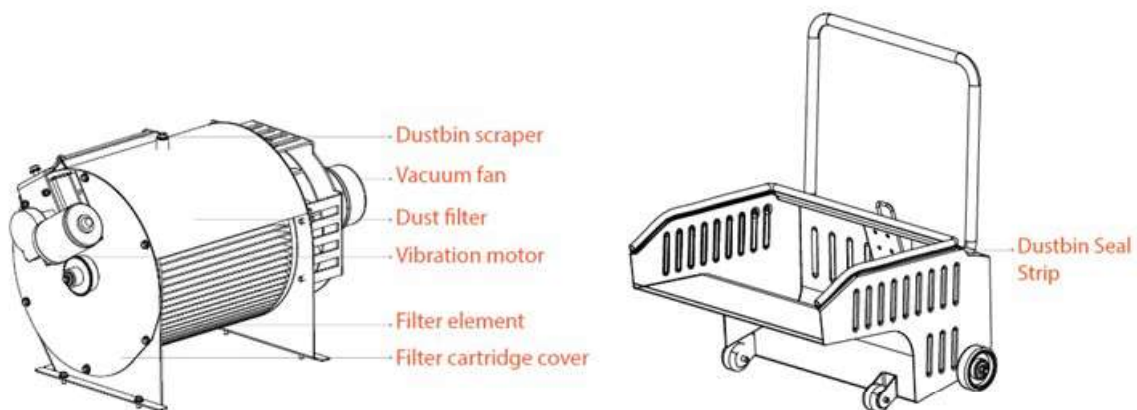
Rotasjonshastigheten til børstene kan ikke endres og er ifølge produsenten satt for best mulig bruk av feieevnen. Hovedbørsten har en standard rotasjonshastighet på 600 rpm. (rotations per minute dvs. omdreininger pr. minutt) og sidebørstene på 140 rpm.



Figur 3: Maskinbørster [4].

2.2.4 Støvsystem

Figur 4 viser støvfilter og søppelskrape som må kontrolleres og vaskes annenhver måned. Disse filterelementene må regelmessig byttes på grunn av slitasje eller hvis de er skadet. Beholderen har en kapasitet på 60 liter og tåler maks 60 kg. En vibrerende motor koblet til støvfilteret rister ifølge produsenten støv hver time. Maskinen stopper for å gjennomføre denne oppgaven.

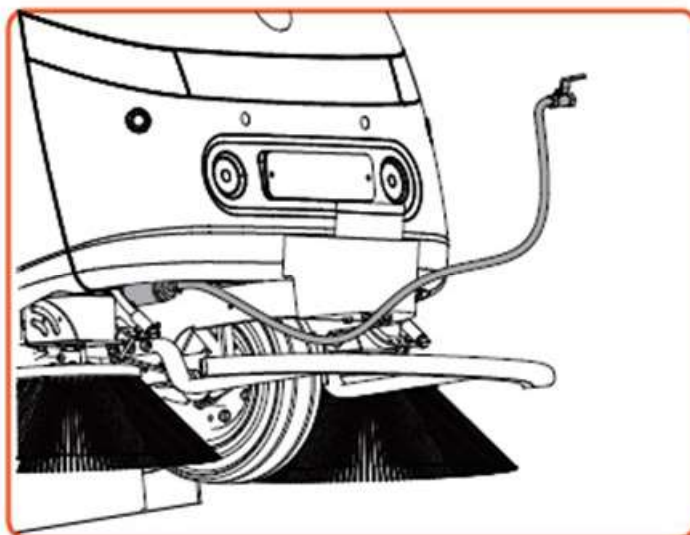


Figur 4: Støvfilter og søppelbeholder [4].

Under maskinen finnes fire gummiskjørt som beskytter hovedbørsten, og disse må kontrolleres annenhver uke. Gummiskjørtets høyde over bakken kan justeres. For side- og bakskjørt, er det anbefalt å feste dem 1-2 mm over bakken.

2.2.5 Vannspyling

Maskinen leveres med et vanlig rør som kobles til vannventil under maskinen for å fylle vanntanken (se Figur 5). Tanken kan fylles med 60 liter vann og tømmes på slutten av dagen ved å åpne utslippsventilen.



Figur 5: Innstilling på vannpåfyll [4].

2.2.6 Effektivitet

Tabell 1 nedenfor, oversendt av distributøren, viser at maskinen har en høy effektivitet for flere typer søppel og naturavfall. Resultatene viser bedre effektivitet ved bruk av vannspyling for å rengjøre små papirskrap, papirfyllstoff eller grus.

Tabell 1: Effektivitet levert av distributør (Spring Mobility GmbH).

Elementer	Tørt eller vått miljø	Effektivitet
Store papirskrap	Tørt miljø	86 %
	Vått miljø	84 %
Små papirskrap	Tørt miljø	76 %
	Vått miljø	96 %
Store papirfyllstoff	Tørt miljø	90 %
	Vått miljø	100 %
Små papirfyllstoff	Tørt eller vått miljø	100 %
Flaskelokk	Tørt eller vått miljø	100 %
Sigaretter	Tørt eller vått miljø	100 %
Sigarettpakker	Tørt eller vått miljø	100 %
Fruktskall	Tørt eller vått miljø	100 %
Grus	Tørt miljø	60 %
	Vått miljø	80 %
Vannflasker og brusbokser	Tørt eller vått miljø	100% (kun hvis tomme flasker eller bokser er klemt) (ellers umulig å plukke dem fordi de ruller)
Løv	Tørt eller vått miljø	95 %

2.2.7 Hastighet og børsteareal

Maskinen har to mulige hastigheter; Lav hastighet (3 km/t) og høy hastighet (5 km/t). Maskinen har et lydnivå på 73 dB (verdien på A-veiet skala, dB(A) er ukjent). I tillegg kan maskinen kjøre i terreng med helning opp til 15 grader (eller 26,8 %).

Med en kjøretid mellom 5 og 8 timer, kan maskinen børste et areal på maks 5000 m²/t eller gjennomsnittlig 3000 m²/t.

2.3 Kjøring

2.3.1 Manuell modus

Maskinen styres med fjernkontroll, se Figur 6. Hvis kontrollen ikke er brukt, går den inn i hvilemodus etter 2 minutter. Når maskinen kjøres med fjernkontrollen, er det viktig å holde en avstand mindre enn 3 meter mellom kontrollen og maskinen ellers kan ikke maskinen styres. Hvis noen trykker på nødstoppeknappen på maskinen, vil ikke fjernkontrollen være i stand til å bevege maskinen fremover eller bakover.

Figur 6 viser 14 funksjonsknapper på fjernkontrollen for å slå på/av og bevege maskinen, velge lav eller høy hastighet, kontrollere hovedlys, blinklys, aktivere automatisk modus, løfte gummiskjørtet foran hovedbørste og slå på/av vannspyling eller børstene.



Figur 6: Spring S100N fjernkontroll [4], [5].

2.3.2 Autonom modus og ruteplanlegging

Applied Autonomy AS viste fremgangsmåten for kartlegging av et areal for autonome rengjøringsoperasjoner med Spring S100N autonome feiemaskin [5]. Informasjon som er gjengitt nedenfor, er i hovedsak basert på Rebecca Ronkes erfaringer (Applied Autonomy AS) når ruteplanlegging ble utarbeidet for testing i Storgata og Myntgata på Kongsberg i samarbeid med SVV og SINTEF.

Forutsetninger for oppsett av maskinen:

- S100N er satt opp og koblet til data- og Real Time Kinematic-nettverk (RTK er en metode for satellittbasert posisjonsbestemmelse som gir posisjon i sanntid med en nøyaktighet på inntil 1 cm i grunnriss og 2 cm i høyde, selv med kort måletid [6].
- Mobiltelefon med Chrome nettleser og tilgang til internett.
- Vær som er egnet for å bruke feiemaskinen.
- Redusert antall bevegelige hindringer (biler, sykler mm) som mulig i området som skal kartlegges.

Forutsetninger for arealet:

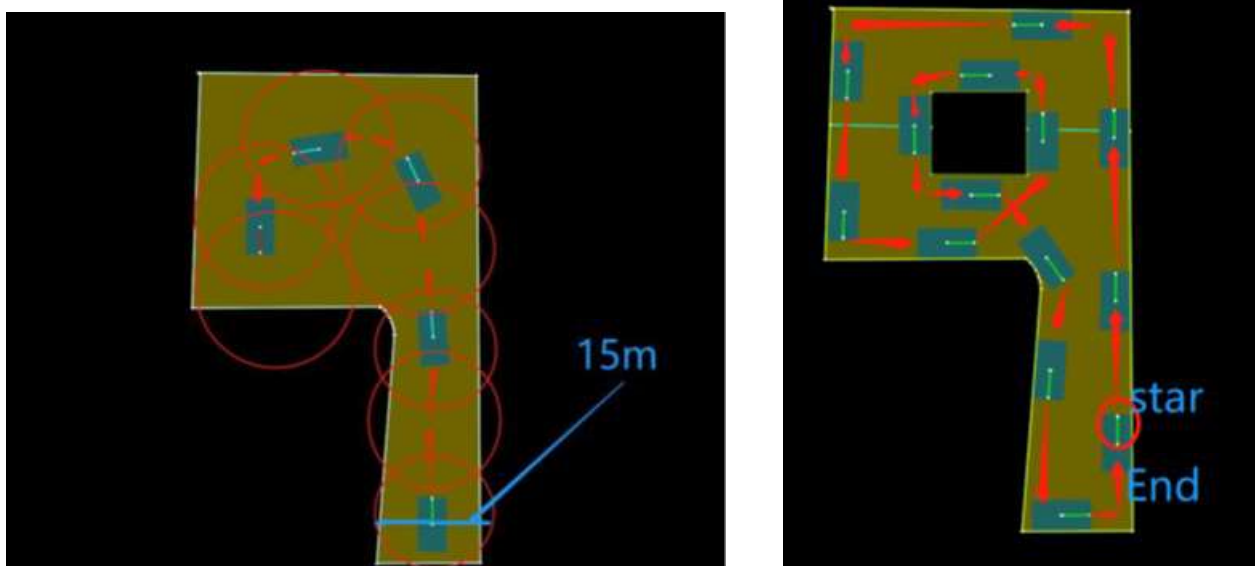
- Ingen eller redusert kjøretøytrafikk.
- Tilstrekkelig bredde for å gjøre det mulig for fotgjengere og syklister å gå eller sykle forbi maskinen.
- Tilstrekkelig bredde for å la maskinen snu (svingesirkel i autonom modus er 3,5 meter).
- Få skiftende hindringer (parkerte sykler, kafébord, butikkskilt mm).
- Nærhet til et sted som inneholder fasiliteter for å lade maskinen og fylle den med vann samt tømning av beholderen og garasjeparkering.

Maskinruten er lagret av produsenten, Idriverplus i Kina.

Ruteplanlegging

For å starte kartleggingen av et område, må maskinen kjøres manuelt til et punkt inne i arealet. Nettapplikasjonen må da startes; operatøren må logge seg inn med brukernavn og passord sendt av Idriverplus i Kina og grensesnittet for en kartleggingsprosedyre må velges, ved å følge trinn 1-11 i håndboken [4].

Den første oppgaven i kartleggingsprosedyren er den såkalte "feltilpasningsoppgaven". I denne oppgaven kjøres feiemaskinen manuelt midt i arealet, og sensorene dekker en diameter på 15 meter, se Figur 7. Hvis området er bredere enn 15 meter, må maskinen kjøres opp og ned til hele området er dekket.



Figur 7: Lagring av fysiske miljødata og rutegrense [4].

Denne opptaksprosessen må utføres må kjøres sammenhengende uten stopp gjennom hele opptaksprosessen. Mens applikasjonen tillater å gjenoppta en pågående kartleggingsprosedyre, kan ikke feltilpasningsoppgaven bli avbrutt. Dersom feltilpasningsoppgaven avbrytes, vil den tidligere startede oppgaven bli overskrevet. Under feltilpasningen må funksjonspunktene settes inn langs ruten når maskinen kjøres. Maskinen stoppes på ønsket funksjonspunkt, som da må være registrert i appen, og ønsket funksjonskarakter spesifiseres; startpunkt, søppelbeholderens dumpingspunkter, vannfyllings-punkter eller ladepunkt. Deretter kan manuell kjøring for feltilpasningsoppgaven gjenopptas. Ikke alle typer funksjonspunkter trenger å bli definert, men et returpunkt er obligatorisk for å ha et definert start- og slutt punkt for oppgaven som er programmert i autonom modus. Før feltilpasningsoppgaven kan fullføres, må maskinen kjøres tilbake til startpunktet slik at den kjørte ruten danner en komplett tur, ideelt sett med noe overlapp med startpunktet for å sikre at turen er virkelig lukket. Da er oppgaven ferdig i appen [5].

Hvis turen ikke er fullført, vil maskinen feile i å lokalisere seg selv på den såkalte oppgaven; "Fortauets tilpasningsoppgaven". Som for feltilpasningsoppgaven, må "Fortauets tilpasningsoppgaven" gjøres sammenhengende og kan ikke bli avbrutt. Hvis arealet er godt avgrenset, vil det bare være en enkel tilpasning for å definere kantene på området. Maskinen kjøres deretter manuelt langs kanten av området, og typen av kant er definert i appen [5].

Hver gang kanttypen endres, må feieren stoppes, den nåværende kanten må avsluttes i appen, og en ny type kant må startes. For å kunne planlegge en effektiv kantrengjøring, kreves det at operatøren kjører 5 cm fra hver kant se Figur 8. I tillegg må informasjon om tre kanttyper skrives inn; uoverstigelig kanthøyde < 5 cm, uoverstigelig kanthøyde ≥ 5 cm med vertikal fasade eller overstigelig kanthøyde med en høydeforskjell på ± 2 cm og ingen kollisjonsrisiko innen 25 cm fra den ideelle ruten.



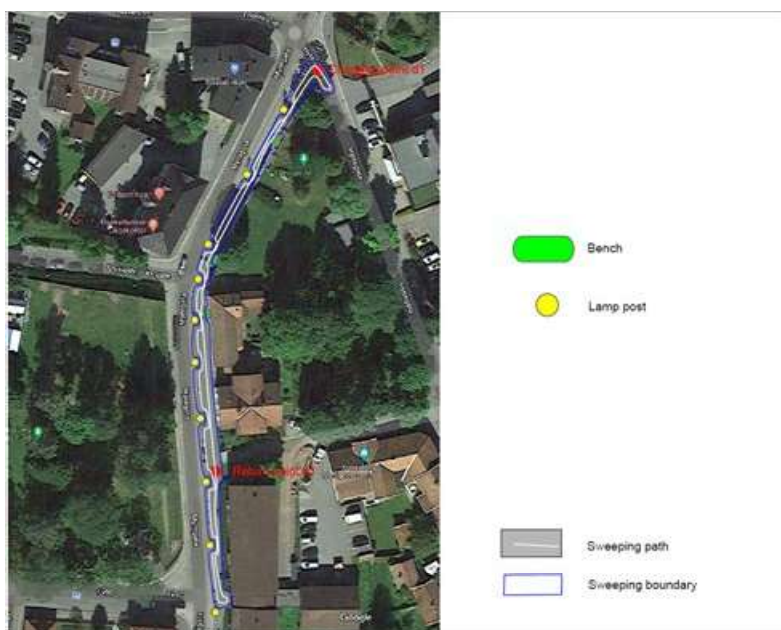
Figur 8: Kanttilpasning for ruteplanlegging [4].

Dersom det er noen hindringer som forhindrer at maskinen kjører nøyaktig på de tiltenkte kantene, bør et bilde tas av hindringen som sendes til kartleggingsteamet i Kina slik at geografiske posisjoner til objekter som er på ruten blir registrert. Maskinen skal kjøre i autonom modus som det ble gjort under tilpasningsoppgaven for å kartlegge fortauskantposisjoner. Dette betyr at hvis manuell kjøring langs en kant ikke er rett eller maskinen beveger seg bort fra kanten, vil maskinen kjøre nøyaktig den samme ruten i autonom modus, og dermed trolig ikke feie en kant "ren". En rute som inneholder kantposisjon, må derfor være en komplett rute som inkluderer å komme tilbake til startpunktet. I tilfeller hvor arealet har indre kanter, må de defineres med separate ruter (et område i form av en "donut" må derfor kartlegges med to ruter, et areal som 8-tall med tre baner, osv.) [5].

Dette kan gjøres bort fra det kartlagte området, og trenger ikke gjøres umiddelbart etter kartleggingen. Imidlertid kan ingen ny kartlegging starte før de tidligere dataene eksporteres, siden de tidligere dataene kan bli overskrevet. Det må også bemerkes at eksporttrinnene bør følges med stor forsiktighet. Dersom operatøren ved et uhell navigerer bort fra det riktige grensesnittet, kan dette lett føre til at dataene ikke lenger er tilgjengelige for eksport via appen. I et slikt tilfelle er det fortsatt mulig å hente dataene, men dette må gjøres gjennom et vedlikeholdspanel på maskinskjermen i stedet for ved bruk av appen. Denne nødvendige tilgangen er normalt ikke tilgjengelig [5].

Etter at tilpasningsoppgavene er fullført, må de registrerte dataene eksporteres til USB-nøkkel med en kapasitet på minst 32 GB. USB nøkkelen må formateres for å sikre at full kapasitet er tilgjengelig. I tillegg må xh-filen kopieres fra rotkatalogen til USB-nøkkelen, da maskinen ellers ikke vil kunne gjenkjenne USB-nøkkelen. Dataoverføringen kan ta flere minutter. Vellykket overføring blir bekreftet både på feieren og i appen [5].

I tillegg til de registrerte dataene; et dokument med bilder av hindringer (se Figur 9) og informasjon som beskriver området, må den tiltenkte driften av maskinen og alle relaterte detaljer være utarbeidet [5].



Figur 9: Dokument utarbeidet av Applied Autonomy AS for å beskrive ruten på Klokkerbakken [7].

Spesielt må det foreslås en rute som tar hensyn til maskinens snukapasitet. Ruten må være sammenhengende, og feieren kan ikke programmeres for å kjøre bakover. Dataene beskriver området og bildene må deretter lastes opp med "wettransfer" og lenken sendes til Spring. Å produsere et kart for strekninger slik som ble testet i Storgata og Klokkegata på Kongsberg tar opptil to virkedager. Når kartet er ferdig, sendes det ut til feieren "over the air". Maskinen kan deretter kjøres manuelt til et funksjonspunkt i arealet for å hjelpe med lokalisering. Små avvik på noen få meter fra punktet kan føre til at den ikke greier å lokalisere seg. Et kart med plasseringen av funksjonspunktene er tilgjengelig i appen. Feieren skal da være startet på nytt på funksjonspunktet og vil laste inn kartet automatisk. Dette kan ta flere minutter. Maskinen er da klar for autonome operasjoner, med jobber sendt inn via appen.

Applikasjon og tilgjengelige data

Tabell 2 nedenfor viser datasett som gir en oversikt over oppgaver gjennomført av maskinen. Datasett vises per dag og fremskaffer den totale kjørelengden, kjørt eller vasket areal, og fullføring av oppgaver planlagt i autonom modus. Operatøren må velge en minimumsbatteritilstand ($\leq 35\%$) og et returpunkt. Når oppgaven blir avsluttet eller når minimumsbatteritilstanden blir oppnådd, kjører maskinen tilbake til det forhåndsinnstilte returpunktet.

Tabell 2: Egenskaper og tilgjengelige data i appen.

	Data
Kjørelengde	Total kjørelengde (km)
Oppgavehistorie	Per oppgave: Starttid-Sluttid: NN:NN-NN:NN Feierute navn: A Feicareal (m ²) Returpunkt: A ₁ , A ₂ eller A ₃ Hastighet: Lav/høy Oppgavens fullføring (%)
Ladetilstand	Minimum ladetilstand: 10, 15, 20, 25, 30 eller 35 % Forventet kjøringstid Returpunkt: A ₁ , A ₂ eller A ₃
Kjøretøyopplysninger (27.10.2020)	BCM (Body Control Module) version: V1.0.12.0 MCU version : V1.0.12.0 DMCU (DSRC Mobile Communications Unit : V1.0.29.0 CGW (Central Gateway) version: V1.0.26.0 CMCU version : V1.0.21.0 App version : V3.3.28.0 AVOS (Advanced Vehicle Options) version: V3.0.44.0 Map version : version : V00.00.00.01 Kernel version : V4.4.38 File system version: Ubuntu V16.04.LTS (Long Term Support) OTA (Over-the-Air) version: V1.3.17.0 Model: WBX-S100-N
Statistikk	Antall oppgaver per dag Areal per dag (m ²) Forbruket strøm per dag (kWt) Kjøringstid per dag (t)
Kamera	Mp4 filer
Data styring	Data kan lastes opp når maskinen er online

Styringssystemet bruker en operativ Ubuntu Linux system og det er i Tabell 2 vist en liste over programvarer og versjoner som er i bruk per i dag. Disse versjonene trenger regelmessig oppdatering med den siste versjonen. Ubuntu filsystemet LTS (Long Term Support) er oppgradert annethvert år i april og versjonen V16.04 kan brukes til juni 2024. Over-the-air (OTA) programoppdatering er en viktig komponent for oppdatering av programvare, innstillinger og sikkerhetsnøkler via Wi-Fi.

Mp4 videofiler fra 4 maskinkameraer og samlet data per dag er tilgjengelige på appen.

2.4 Lading

2.4.1 Bruksanvisning

Kapitlet beskriver restriksjoner, egenskaper og krav som er spesifisert i bruksanvisningen [4].

Viktigste restriksjoner [4]

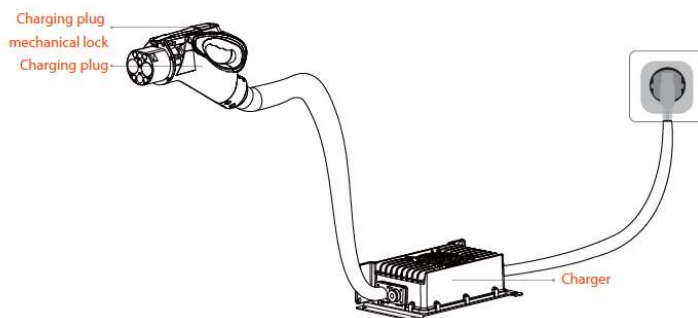
- Maskinen kan ikke lades i direkte sol om sommeren eller i regnvær.
- Maskinen kan ikke lades med en annen ladekabel enn den som er levert av produsenten.

Viktigste krav [4]

- Maskinen må lades i et tørt miljø uten store endringer i værforhold og med minimal fuktighet og vibrasjon.
- Dersom strømforsyningen automatisk blir slått av på grunn av lav strøm, og strømknappen ikke er slått av, må operatøren sørge for å lade kjøretøyet innen 10 dager, ellers vil ikke batteriet bli ladet opp.
- Når maskinen er parkert med kraftknappen slått av, må maskinen lades minst hver måned, ellers kan det påvirke batteriets levetid eller i verste fall føre til ladefeil.
- Det er viktig å kontrollere ladetilstanden før bruk. Dersom batterikapasiteten er mindre enn 10 %, er det viktig (om mulig), å lade maskinen til 100 % for å unngå automatisk avstengning av ladesystemet på grunn av lite batterikapasitet.
- Når maskinen er ikke brukt, er det anbefalt å lade batteriet til 50-80 %, å slå av strømknappen, og parkere et sted hvor temperaturen er mellom 10 °C og 35 °C.

2.4.2 Ladesystem

Maskinen lader på en standard 220V AC strømkontakt med en kabel som inkluderer en lader og en spesial ladekontakt for å koble til maskinen, se Figur 10.



Figur 10: Spring S100N ladekabel [4].

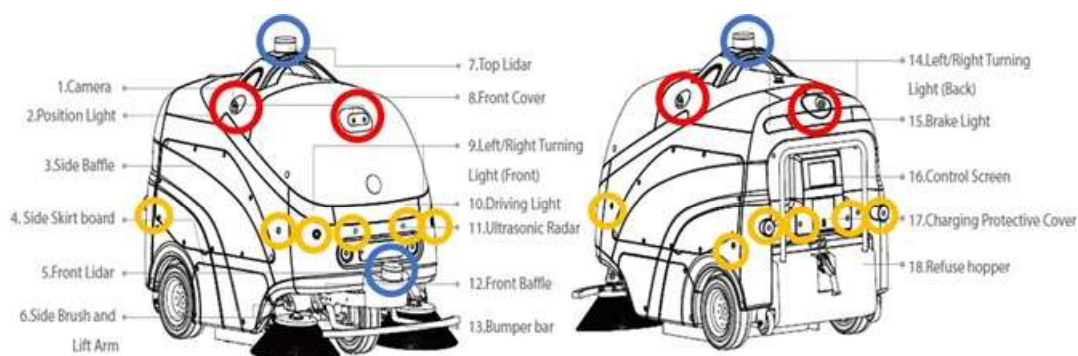
Maskinen lades ved hjelp av en vanlig stikkontakt på ca. 5 timer. Batteriet er et ternære litiumbatteri som inneholder litium, kobolt, nikkel og mangan. Batterikapasitet er 24 V-200 Ah eller 4,8 kWh når fullt ladet og den nominelle effekten er 1 kW. Maks kjøringstid er derfor mellom 5 og 8 timer avhengig av anvendelse. Batterilevetid er på ca. 3 år eller 20 000 km; kapasitetsdemping må ikke være over 20 %.

2.5 Teknologi

Spring S100N bruker en teknologi kalt Multi-perception fusion technology. Denne teknologi inneholder flere sensorer (Bred vinkel og Høy Definisjon kamera, LiDAR og ultrasonisk radar) kombinert med programalgoritmer som bidrar til å optimere persepsjonssystemet til maskinen. Enheten benytter UM482 navigasjonsmodulen utviklet av Unicore Communications.

Autonom kjøring på høyeste nivå, beskrevet av produsenten som L4 automotive grade autonomy stack, krever avansert forståelse (sensing) av miljøet og kjøring med lite eller ingen hjelp av mennesker. Nivå 4 er et funksjonelt sikkerhetsnivå av ISO 26262-ASIL D og maskinen må inneholde et automatisk sikkerhetssystem som kontrollerer bremsing, styring og andre kjøreeaspekter.

Figur 11 viser fire kameraer (rød farge), to liDAR systemer på toppen og foran maskinen (blå farge) og 12 ultrasoniske radarsensorer (gul farge).



Figur 11: Beskrivelse av maskinen [4].

3 Feltforsøk i manuell modus

3.1 Mål

Spring S100N er en prototype som ifølge distributøren er utviklet for å kjøre utendørs.

Viktige forskningsspørsmål relatert til å bruke selvkjørende maskin for kosting utendørs er følgende:

- Realiserer den selvkjørende maskinen de tiltenke kosteoppgavene? Hva er potensialet?
- Er det uønskede konsekvenser ved bruk av autonomi?
- Hvilke betingelser og eksterne faktorer påvirker graden av måloppnåelse?

Feltforsøk må utføres under realistiske forhold slik som bemannede kjøretøyer møter gjennom året. Uttestingen skal bidra med å belyse i hvilken grad selvkjørende maskiner kan erstatte bemannede kjøretøyer. I tillegg skal feltforsøket kartlegge S100Ns tekniske maskinytelser samt miljø- og sikkerhetsutfordringer. Maskinen tåler ikke regn eller for mye vann på veggen.

Tester ble gjennomført på Kongsberg med middeltemperatur mellom 10 og 20 °C.

- Tester på lukket areal på trafikkstasjonen (26. -27.08.2020) i manuell modus
 - o Grus og sand
 - o Løv, kongler og kvister
 - o Sjøppel
 - o Hindring (kjegler)
- Tester i Storgata (fra 7-11.09.2020) i autonom modus
- Tester i Klokkerbakken (14. -15.09.2020) i autonom modus

3.2 Lukket areal

3.2.1 Grus og sand

Det ble gjennomført 8 forskjellige tester med spredning av grus og sand over en lengde på 10 meter fra ca. 160 g/m² til 600 g/m² (se Figur 12). Testing ble utført med lav (3 km/t) og høy (5 km/t) hastighet og med eller uten vannspyling. Maskinen børster ifølge produsenten en bredde på 1 meter. Grus ble spredt over en bredde på mer enn en meter. Stripen av tørt støv som vist på Figur 12 er forårsaket av grussprederen som ble brukt.

Hovedmålet var å evaluere effektiviteten under flere ulike vegforhold. Effektiviteten beregnes som en funksjon av grus og sand børstet av maskinen i forhold til det som var spredt på veggen. Usikkerhetsberegning vil bli evaluert for alle testforhold.



Figur 12: Test med grus og sand på lukket areal (Foto: I. Roche Cerasi).

Effektivitet evalueres slik:

$$EFF (\%) = (B\emptyset_{etter} - B\emptyset) / ((SP_{f\ddot{o}r} - SP_{etter}) / Br)$$

Med disse 4 følgende variabler:

$B\emptyset$ = Beholder veier 16,75 kg.

$B\emptyset_{etter}$ = Beholdervekt med grus etter kosting (kg)

$SP_{f\ddot{o}r}$ = Spreader vekt med grus før spredning (kg)

SP_{etter} = Spreader vekt med grus etter spredning (kg)

Br = Spredning bredde (m)

Effektivitetsusikkerhet ble beregnet basert på hver variabelusikkerhet:

$$dEFF = df = \sqrt{\left[\left(\frac{\partial f}{\partial B\emptyset_{etter}} \Delta B\emptyset_{etter}\right)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial SP_{f\ddot{o}r}} \Delta SP_{f\ddot{o}r}\right)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial SP_{etter}} \Delta SP_{etter}\right)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial Br} \Delta Br\right)^2\right]}$$

$$\Delta B\emptyset_{etter} = \Delta B\emptyset = 0,01 \text{ kg}$$

$$\Delta SP_{f\ddot{o}r} = \Delta SP_{etter} = 0,05 \text{ kg}$$

$$\Delta Br = 0,05 \text{ m eller } 0,1 \text{ m}$$

Tabell 3 viser en akseptabel effektivitet over 80 % (avhengig av hvor mye grus og sand som ble lagt på veggen). Lav hastighet (3 km/t) gir en bedre effektivitet (med rotasjonshastigheter til børstene som nevnt tidligere). Hastighet på 5 km/t er for høy for å samle stor mengde av grus og sand, og uten vann virvlers det opp for mye støv i lufta.

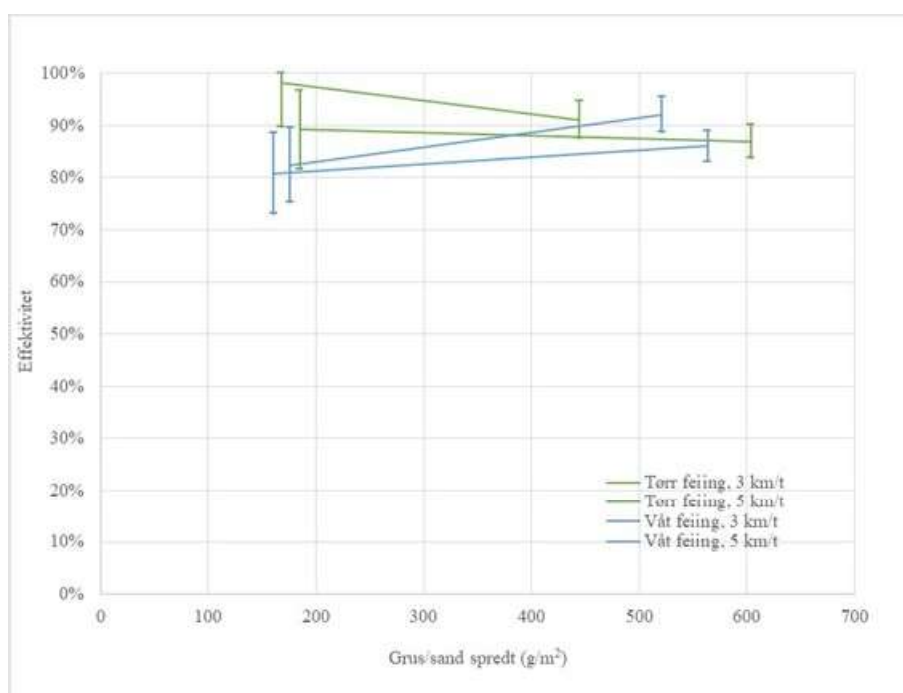
Breddeusikkerhet (ΔBr) for lav mengde av grus og sand er beregnet høyere (10 cm i stedet for 5 cm); bredden ble målt med målebånd, og det var vanskelig å bestemme start- og slutt punkter. Bredden beregnes som den gjennomsnittlige verdien over tre målepunkter langs den 10 meter lange strekningen.

Tabell 3: Beregning av effektivitet for spredning av grus og sand med to ulike hastigheter og bruk av vannspyling.

Hastighet (km/t)	tør/våt	Effektivitet %	Grus/sand (spredt) g/m ²	Usikkerhet
3	tør	98,2 %	168	8,5 %
3	tør	91,1 %	444	3,5 %
3	våt	82,4 %	176	7,1 %
3	våt	92,1 %	521	3,4 %
5	tør	89,2 %	185	7,5 %
5	tør	87,0 %	604	3,2 %
5	våt	80,8 %	161	7,7 %
5	våt	86,1 %	563	3,0 %

Maskinen har en 60 liter beholder som ifølge produsenten kan tåle 60 kg. Den har dessverre ikke et digitalt vektsystem eller automatisk tømme-system. Det ble brukt en grusspreder, og maskinbeholderen ble veid etter hver kjøretest.

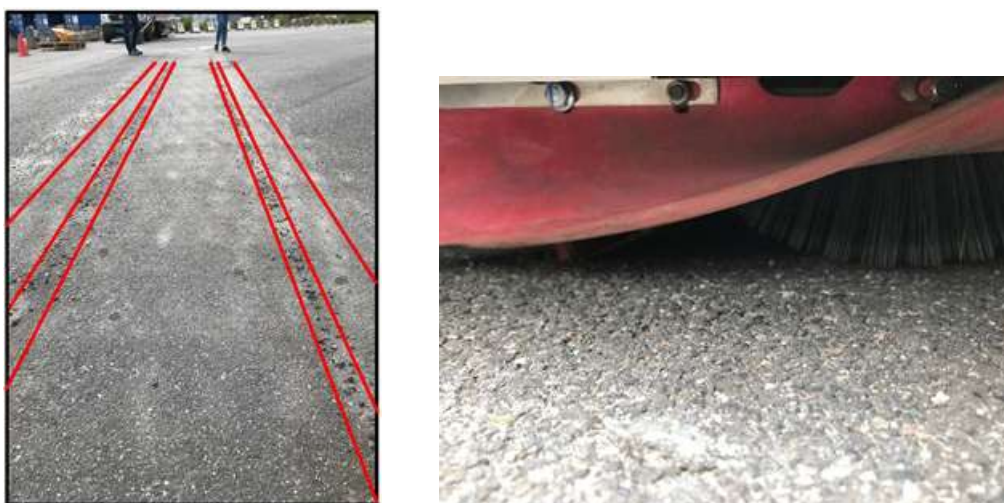
Ifølge produsenten øker et vått miljø effektiviteten for kosting av grus, se Tabell 1. Figur 13 viser en lav effektivitetsforskjell mellom testene. For lav spredning, er det en liten forskjell mellom tør og våt feiing. Dette kan trolig forklares med større målusikkerhet eller at vannspyling fører til at sand sitter fast i bakken. For høy spredning, vil grus og sand henge bedre sammen og derfor være enklere å børste.



Figur 13: Beregnet effektivitet for 8 tester med grus og sand.

Design

Maskinen etterlater to linjer av grus med en avstand på ca. 60 cm, noe som tilsvarer bredden til gummiskjørtet foran hovedbørsten (se Figur 14). De røde linjene viser banedelene som ble børstet. Små endringer i designet kan løse problemet, eller man kan justere høyden på gummiskjørtet for å redusere mengden av grus som maskinen ikke tar med seg. Det er til høyre i Figur 14 vist et bilde av gummiskjørtet som er på siden av maskinen.



Figur 14: Grus og sand ble ikke tatt opp av maskinen og gummiskjørt på siden (Foto: I. Roche Cerasi).

Sidebørster

Sidebørstevinkel ble skrudd med en vinkel på ca. 20 grader og kan eventuelt justeres med en lavere vinkel. Likevel er vinkelen også viktig for å sende grus inn mot midten av gummiskjørtet under maskinen for bedre effektivitet. Det antas at med en redusert vinkel ville det bli mer grus som ikke blir tatt opp av maskinen og mer grus etterlatt i disse to linjene. Et sugesystem kunne øke effektiviteten, men krever behov for høyere batterikapasitet.

Vannspyling

Systemet for å fylle opp vanntanken er ikke brukervennlig, og maskinen må kunne fylle den selv i fremtiden. Vanntrykket kunne også være høyere eller justerbart etter behov med bredere vanning (se Figur 15), selv om en slik endring også vil bruke mer energi. Sensorene (LIDAR og ultrasonisk radar) trenger alltid å være rene, derfor anbefales det å bruke vannspyling for å unngå at støvet virvler opp i lufta.



Figur 15: Bakkemerker av vannspyling etter feiing (Foto: I. Roche Cerasi).

3.2.2 Gress, løv, kongler og kvister

Maskinen ble testet med fire materialer; kongler, gress, kvister og løv over en lengde på 8 meter, se Figur 16.



Figur 16: Test med gress, løv, kongler og kvister (Foto: I. Roche Cerasi).

Resultatene viser en effektivitet på ca. 90-100 % ved både lav og høy hastighet. Resultatene ble som følger: 100% av kongler og løv og 90 % av gress og små kvister havnet inne i beholderen. Det lå gress igjen på banen og noen få kvister på maskinsidene etter testene (se Figur 17). Lange kvister som lå på tvers av banen kan sette seg fast under maskinen og være mer vanskelige å fange opp enn de som lå i kjøreretning. Maskinen kjørte uten problem, hoppet litt over konglene, men stoppet ikke.



Figur 17: Beholder etter en test (til venstre) og kvister som sitter fast under maskinen (til høyre) (Foto: I. Roche Cerasi).

Maskinen hopper av og til, noe som kan forklare hvorfor kongler som ligger foran gummiskjørtet under maskinen ble samlet i bøtta til slutt.

3.2.3 Sjøppel

Maskindesignet er ikke tenkt for å samle opp store ting. Likevel ble det testet fire forskjellige typer søppel; glasskår, papir, plast og brusbokser som man vanligvis kan finne på vegen (se Figur 18). Disse søppeltypene er vanligvis tatt opp av bemannede feiemaskiner uten at sjåføren trenger å gå ut av kjøretøyet og plukke dem selv.

To plastsekker ble kuttet i små 20 cm lange deler for å unngå at de ruller seg rundt hovedbørsten og ødela motoren.



Figur 18: Test med søppel; glasskår, papir, plast og brusbokser (Foto: I. Roche Cerasi).

Etter kjøring ble maskinen manuelt rygget opp for å sjekke søppel som ikke var litt tatt opp av maskinen og som lå foran gummiskjørtet under maskinen (se Figur 19). Resultatet ble det følgende; ca. 90 % av glasskår, 50 % av papir og plast, og ingen av de to brusboksene ble tatt opp av maskinen.



Figur 19: Sjøppel som ikke ble tatt opp av maskinen og plast som satt fast under maskinen (Foto: I. Roche Cerasi).

Sjøppel

Det kunne planlegges at maskinen leverer søppel på et spesifikt sted når det akkumuleres under maskinen. En annen løsning kunne være at maskinen ikke plukker det opp. En stor mengde av slikt søppel på banen kan redusere effektiviteten kraftig og til slutt stoppe maskinen. En kombinasjon av vannspyling og sand kan ha som effekt å lime sammen alt som ligger under maskinen.

Glasskår ble samlet opp av maskinen, men det kan være farlig når det harde gummihjulet kjører akkurat over dem. Hjulet knuste glasskårene i små biter som spredte seg rundt maskinen. Nytt hjulmaterial eller design må vurderes i fremtiden for å redusere ulykkesrisiko, for eksempel ved å flytte hjulet innenfor gummiskjørtet for å hindre at hjulet skyter små harde glassbiter rundt seg i høy fart. En annen løsning kan være at maskinen gjenkjenner glasskår på veggen, og unngår eller tilpasser sin adferd ut fra dette.

Design

Gummiskjørtet foran hovedbørsten kan eventuelt justeres for å samle opp klemte brusbokser, store papir- og plastbiter, men i dette tilfellet må maskinen kunne evaluere søppelstørrelsen og -type, og om det kan sette seg fast i hovedbørsten og ødelegge motoren.

3.3 Sammenligningstest

Det ble gjennomført en sammenligningstest mellom den bemannede feiemaskinen som Bryn Bydrift bruker på Kongsberg og Spring S100N roboten i manuell modus (se Figur 20). Sjøføren som utfører jobben, feier mellom kl. 5 og 11 om morgenen og sa at han sjelden trenger å gå ut av maskinen for å plukke opp noe som ligger på veggen eller fortøuet.



Figur 20: Sammenligningstest med vanlig feiemaskin og Spring S100N (Foto: I. Roche Cerasi).

Leverandøren av den bemannede feiemaskinen er Aebi Schmidt. Maskinen har et sugesystem og tre rundbørster med en børste som er fleksibel på en arm. Kjøretøyet har en begrenset hastighet på 40 km/t, et lydnivå på 77 dBA og har en egen vekt på 5500 kg. Feiebredden er ca. 2 meter og vanntanken kan fylles med slange.

Det ble forberedt to baner på 8 meter med grus, sand og søppel. Begge kjøretøyene brukte vannspyling og kjørte med en hastighet på 3 km/t. Schmidt feiemaskinen hadde en effektivitet på 100 % og børstet banen på en utmerket måte mens Spring S100N hadde en kompakt mengde av søppel liggende foran gummiskjørtet under maskinen, se Figur 21.



Figur 21: Bakken etter sammenligningstest mellom Schmidt feiemaskin (til venstre) og Spring S100N roboten (til høyre) (Foto: I. Roche Cerasi).

3.4 Sikkerhetsfunksjon i manuell modus

Testene ble gjennomført i manuell modus med sikkerhetsfunksjon. Sikkerhetsfunksjon er redusert i manuell modus. Figur 22 nedenfor viser i gul farge de to ultrasoniske sensorene som er aktive i manuell modus. LiDAR sensorene, kameraene eller de andre ultrasoniske sensorene var ikke i bruk. Det var derfor viktig at operatøren var bevisst om den begrenset funksjonen når han/hun styrte maskinen spesielt i bygatene hvor det ligger mange hindringer som plantepotter, benker, søppel eller reklameskilt.



Figur 22: Radarsensorer i bruk i manuell modus (Foto: I. Roche Cerasi).

Deteksjonssystemet ble testet med to typer kjebler med en høyde på 28 cm og 40 cm. For kjebler med en høyde på 40 cm (Figur 22 til høyre) så detekterte maskinen dem som en hindring foran seg og stoppet på en avstand av omtrent 60 cm. For kjebler med en høyde på 28 cm (Figur 22 til venstre) stoppet ikke maskinen og kolliderte med dem. Dette kan skape risikosituasjoner hvor operatøren ikke stopper maskinen fordi han/hun forventer eller var vant til at maskinen stopper for flere hindringer foran seg.



Figur 23: Test med kjegler som simulerer en person (Foto: I. Roche Cerasi).

Sensorene som er plassert på hver side av maskinen er deaktivert i manuell modus. Det er viktig at operatøren er klar over dette når man kjører maskinen i manuell modus blant andre trafikanter (fotgjengere, syklist, eldre personer med rullator, osv.) (se Figur 23).

3.5 Konklusjon

Resultatene viser hvor viktig det er at prototyper som kommer på markedet blir testet for å kartlegge om de kan oppfylle ulike behov hos potensielle kunder. Med bakgrunn i evaluering av ytelser og tilbakemeldinger om begrensninger, kan produsenten utvikle maskinen mot et bedre design ved å ta i betraktning brukerens perspektiv.

Hvis man sammenligner kosting med Spring S100N med en vanlig feiemaskin, viser konklusjonen at maskinen har flere begrensninger:

- For grus og sand er effektiviteten ganske akseptabel med gjennomsnittlig ca. 88,4 %. Dette betyr at for å oppnå 100 %, må maskinen kjører flere ganger mens en vanlig maskin klarer det med en gang. Endring i design og materialer anbefales også for å gi bedre resultater. Tømming av beholderen og vannspyling fungerer ikke optimalt og bør automatiseres i fremtiden.
- For gress, løv, barnåler og kvister viser resultatene en høy effektivitet på ca. 90-100 %. Dette er overraskende resultater. Lange kvister er selvfølgelig umulige for maskinen å plukke opp. Kongler var ikke et stort problem for maskinen, og selv om disse kan akkumuleres foran gummiskjørtet under maskinen, ender de i beholderen til slutt.
- Maskinen er ikke utviklet for å koste større søppel slik som brusboks, flasker, papir, plast, osv. Dette er ikke vanskelige for en vanlig feiemaskin å plukke opp og uansett kan føreren stoppe og gå ut av kjøretøyet for å gjøre det manuelt. Store mengder søppel kan stoppe Spring-maskinen og forhindre den fra å fortsette jobben på grunn av søppelakkumulasjon foran gummiskjørtet. Det er viktig å vurdere endring i designet for å bruke maskinen i område med mange fotgjenger som krever hyppig renhold på grunn av søppelmengde. De harde plasthjulene bør byttes til fordel for materialer som unngår søppel eller glassprojeksjon.

Begrenset sikkerhetsfunksjon i manuell modus var ukjent før testing. Kun to ultrasoniske sensorer er i bruk og det er viktig at operatøren er bevisst på dette når han/hun beveger maskinen hvor det er hindringer og mennesker. Under testing kolliderte maskinen med en plantepotte. Det krever tid og erfaring for å kunne styre maskinen presist og nøyaktig ved bruk av trådløs fjernkontroll. Fjernstyring og autonomi samt kunnskap om å kontrollere ulike enheter er under stadig utvikling, og det antas at utfordringer med fjernkontroll vil reduseres og etter hvert forsvinne i fremtiden.

4 Feltforsøk i autonom modus

4.1 Gågata og Klokkerbakken

Applied Autonomy lagret to børstearealer i appen ved å kjøre maskinen på manuell modus i Storgata (Gågata) og Myntgata (Klokkerbakken) på Kongsberg. Ruten ble planlagt i Kina.

Deler av Storgata er en gågate med en lengde på 110 meter med rød teglstein og gråstein på tvers, se Figur 24. Det var på denne delen av gata at maskinen ble testet. Bredden er på ca. 3 meter, noe som er en god bredde for å la folk gå eller sykle ved siden av maskinen.

Klokkerbakken er en bakke med asfaltbelegg og en bredde på 2,65 meter (ca. 2,10 meter der det er en stolpe eller en benk, se Figur 24). Maskinen kjørte over en lengde på 160 meter opp og ned. Stigningen er på 6,25 %.

Den korteste tiden som ble brukt for å fylle vanntanken var 2,3 min (14.09.2020). Testene startet begge dager med full batteriladetilstand og full vanntank.



Figur 24: Storgata og Klokkerbakken på Kongsberg (Foto: I. Roche Cerasi).

Ruten i autonom modus var planlagt for at maskinen skulle kjøre til tom vanntank eller en batteritilstand på 20%.

4.1.1 Dato og tid

Tabell 4 nedenfor viser testene som var planlagt i Storgata og Myntgata på Kongsberg.

Tabell 4: Test planlagt i Storgata på Kongsberg.

Rute	Dager	Start tid	Slutt tid
Storgata (gågata)	Mandag 07.09.20	Kl. 12:30	Kl. 17:00
Storgata (gågata)	Tirsdag 08.09.20	Kl. 09:00	Kl. 14:00
Storgata (gågata)	Onsdag 09.09.20	Kl. 08:00	Kl. 12:00
Storgata (gågata)	Torsdag 10.09.20	Kl. 09:00	Kl. 14:00
Storgata (gågata)	Fredag 11.09.20	Kl. 09:00	Kl. 14:00
Myntgata (Klokkerbakken)	Mandag 14.09.20	Kl. 09:00	Kl. 14:00
Myntgata (Klokkerbakken)	Tirsdag 15.09.20	Kl. 09:00	Kl. 14:00

4.1.2 Databehov

Tabell 5 nedenfor viser hvilke typer data, datamengde og i hvilket format som man ville ha tilgang til i forbindelse med evalueringen.

Data kan selvfølgelig lagres direkte fra maskinens CAN bus med tillatelse av produsenten. Hovedmålet med å samle data var å kunne ha informasjon om maskinens ytelser, adferd, kapasitet, avvikssituasjoner, risikosituasjoner eller andre situasjoner som krever en menneskelig intervensjon eller forstyrrer fotgjengere eller syklister.

Tabell 5: Databehov.

Kjøringsdata	Ladedata	Avvikssituasjon
<ul style="list-style-type: none"> - Dato - Modus (autonom eller manuell) - Rutekode eller navn - GPS posisjon - Tids(kontroll)stempel - Børster (opp eller ned) - Kjørelengde (km) - Børsteareal (m²) - Hastighet (km/t) - Forbruk energi (kWh) - Ladetilstand (%) - Oppgave fullført (%) - Vanntank (%) - Bruk av lys (bremselys, frontlys, sidelys) (på/av) - Bruk av kommunikasjon (type, på/av) - Bruk av nødknapp - Feilmelding (tid og kode) 	<ul style="list-style-type: none"> - Ladested (navn) - Beholdervekt før lading (kg) - Start dato (nn.nn.nnnn) - Start ladetid (nn.nn.nnnn) - Ladetilstand før lading (%) - Vanntank før ladetid (%) - Estimert slutt ladetid - Slutt dato (nn.nn.nnnn) - Slutt ladetid (nn.nn.nnnn) - Ladetilstand etter lading (%) - Vanntank før kjøring (%) - Kommentarer 	<ul style="list-style-type: none"> - Dato og tid - Hva skjedde? - Hvordan ble det løst? - Kommentarer

Tabell 6 viser hvordan det var tenkt å samle informasjon om hendelser som oppstår når maskinen kjørte i Gågata eller Klokkerbakken.

Data som beholdervekt eller ladetid var ikke tilgjengelige da beholdervekt eller tømning ikke er automatisert. Ladedata blir ikke registrert når maskinen er koblet ut fra nettet. Beholderen måtte veies på slutten av dagen når maskinen var tilbake i garasjen for lading.

Tabell 6: Registrering av avvikssituasjoner (situasjoner som krever menneskelig intervensjon).

Dato og tid	Hva er det som skjer?	Hvordan ble det løst?

4.1.3 Dagens tilgjengelige kjøretøydata

Tabell 7 viser statiske data som er tilgjengelig i dag og som var sendt fra produsenten ved bruk av csv Excel filer. Noen av disse inneholder ingen tekst og virker derfor ikke, men kunne være relevant for operatører som vil styre flere flåter av maskiner samtidig på flere steder. "Fleet id", "vehicle id", "mission id" er ikke i bruk i dag, men er relevante for å vise hvor hver maskin er i sanntid. "Disengagement reason" er nødvendig for å kunne ha på plass en effektiv vedlikeholdstjeneste og for å finne ut av årsaker og faktorer som forstyrrer rengjøringsoppgavene på hvert sted for på denne måten kunne gripe inn på kort varsel.

"Estimated mission time" og "Return point" gir informasjon om når og hvor de ansvarlige ansatte kan plukke opp maskinene eller kjøre dem manuelt til garasjen for å lade dem på nytt. Det antas at dette ikke vil være nødvendig i fremtiden. Maskinen vil kjøre autonomt til garasjen og koble seg selv til strømmnettverket. "Speed mode" hjelper å velge en gjennomsnittlig hastighet mellom to moduser for hver oppgave.

"Sprinkling" er en grunnleggende og enkel funksjon som bør utvikles med mer automatisering i fremtiden. Det samme gjelder også for alle søppel-relaterte funksjoner.

Tabell 7: Statiske data.

Statiske data	Format
Type	Vehicle state
Platform	SPRING S100N
Heading	Not available
Company id	Number
Fleet id	Number
App id	Not available
Source	Spring gateway
D connection	Connected
Fuel type	Electric
Fuel rate	Not available
Mission id	Number
Disengagement reason	Not available
Start	Number
N end	Not available
Force end time	Not available

Statiske data	Format
Estimated_mission_time	Blank Time (min)
Speed_mode	Blank Low High
Sprinkling	Blank False True
Return_point	Blank An
Garbage_interval	Not available
Garbage_site	Not available
Cleaning_route	Blank A

Tabell 8 viser sanntidsdata som er tilgjengelige i dag og var sendt fra produsenten ved bruk av csv Excel filer. "Location point" gir informasjon om breddegrad og lengdegrad som gjør det mulig for operatøren å følge posisjonen til maskiner i sanntid for effektiv kontroll og styring.

"Activity" og "Mode" er informasjon om kontrollfunksjoner når maskinen beveger seg eller har stoppet. "Emergency stop" vil bli viktigst for operatøren i kontrollrommet for å gripe inn med en gang eller sende vedlikeholdstekniker eller beredskapstjeneste.

"Fuel level" er batteriets ladetilstand og er viktig for å samle erfaring om det som kreves for å rengjøre hvert sted gjennom ulike årstider i forhold til søppelmengde (inkludert løv og barnåler), avstand og stedshøyde (og evt. andre forhold som fotgjengerantall eller værforhold).

"Speed" og "Water level" er viktige funksjoner for å sørge for riktig og systematisk rengjøring.

"Clean area" og "Task process" bidrar med å følge opp arealet som blir vasket og fullføring av oppgavene.

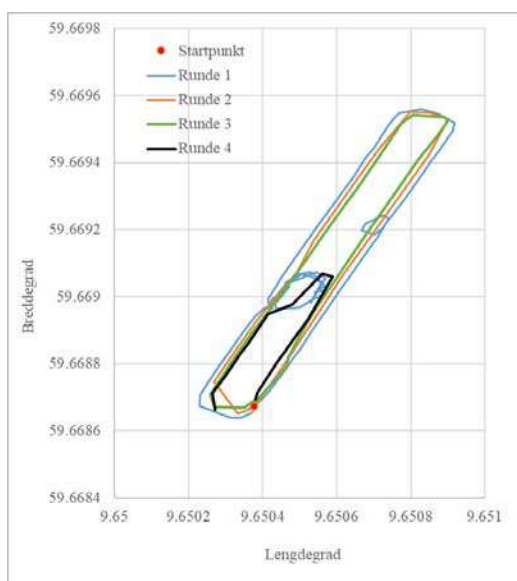
Tabell 8: Sanntidsdata.

Sanntidsdata	Format	Sanntidsdata	Format
Location_point	POINT (Longitude, latitude)	Speed	m/s
Last seen	Date Time UTC	Water level	0-100%
Activity	Charging Driving Go_to Idle Remote control	I_type	Blank Clean_task Low battery
Mode	Auto Auto_ready Dormant Emergency stop Remote control	Clean_area	0-669 m2
Fuel level	20-100%	Task_process	Blank 0-99 %
		Stage	Blank Cleaning Goto_cleaning_start Return_from_cleaning

4.2 Storgata (Gågata)

4.2.1 Ruteplanlegging

Figur 25 nedenfor viser en oppgave gjennomført av maskinen i Gågata. Denne gågaten har en lengde på 110 meter og en bredde på 2 meter med en skråning på 1,8 %, noe som er ganske flatt. Hver oppgave inkluderer fire runder med retur til startpunktet. Maskinen børstet først ved å følge opp den utvendige siden av børstearialet (Runde 1, blå linje) og etterpå arealrommet (Runde 2, oransje linje). Den tredje runden følger den innvendige siden av arealet (Runde 3, grønn farge) og den siste er den korteste runden med en halv runde (Runde 4, svart farge).



Figur 25: Ruteplanlegging i Storgata med 4 runder.

Maskinen kjørte i Storgata i fem dager. Det var planlagt å kjøre oppgavene til en terskel på 20% før batteriets ladetilstand ble oppnådd. Figur 26 nedenfor viser en ferdig oppgave i appen.



Figur 26: Fullført oppgave i appen (Foto: W.K.Weldu).

Tabell 9 nedenfor viser tidsbruk, ladetilstand og vanntank før og etter hver oppgave, samt fullført børsteareal. Tidsbruk er selvfølgelig avhengig av hvor mange ganger maskinen ble stoppet i løpet av oppgaven, i tillegg til valg av lav eller høy hastighet.

De første dagene (07.-08.09.2020) ble maskinprogramvaren oppdatert, og data manglet for den 07.09.2020 og delvis for flere oppgaver den 08.09.2020. Oppdatering av programvare kan egentlig kun gjøres når maskinen er koblet til nettet.

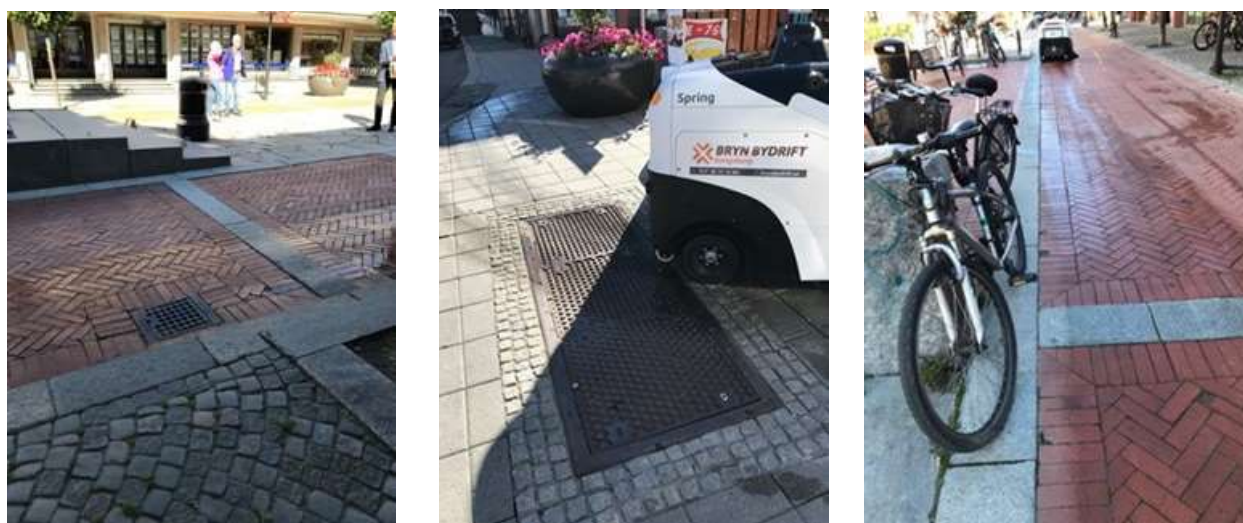
Av totalt 32 oppgaver ble 25 nesten fullført i løpet av 4 dager. Maskinen fullførte ikke den siste oppgaven for dagen på grunn av for lav ladetilstand. Vanntanken ble tom etter den 10. oppgaven før ladetilstand på 20% var oppnådd.

Basert på tilgjengelige data i Tabell 9 nedenfor, kjørte maskinen 72% av oppgavene med en høy hastighet.

Tabell 9: Oppgaver i Gågata på Kongsberg.

Dato	Oppgave	Tidsbruk (min)	Ladetilstand (%) før	Ladetilstand (%) etter	Vanntank (%) før	Vanntank (%) etter	Børsteareal (m2)	Ferdig oppgave (%)	Hastighet
08.09.2020	1	25.1	51.8	44.2	0	0	883	99	Lav
	2	24.7	44.1	36.6	0	0	876	97	Lav
	3	26.0	36.6	28.4	0	0	890	99	Lav
	4	25.4	28.3	20.1	0	0	846	94	Lav
09.09.2020	1	21.6	99.4	92.5	100	80	880	98	Høy
	2	21.1	92.4	85.7	80	70	885	99	Høy
	3	39.0	85.6	76.5	70	60	978	99	Høy
	4	7.0	76.5	74.5	60	50	180	20	Høy
	5	108.7	73.9	48.7	50	0	232	27	Høy
	6	11.3	48.5	46.4	0	0	131	15	Lav
10.09.2020	1	49.2	95.6	85.3	100	90	893	99	Høy
	2	28.4	85.3	77.2	90	70	891	99	Høy
	3	24.3	77.2	69.9	70	60	886	99	Høy
	4	10.8	69.9	67	60	50	254	29	Høy
	5	26.2	55.8	59.1	50	40	904	99	Høy
	6	23.6	59.1	51.5	40	20	892	99	Høy
	7	22.5	51.5	44.3	20	10	883	98	Høy
	8	26.6	44.3	36.7	10	0	885	99	Høy
	9	25.3	36.7	28.8	0	0	884	99	Lav
	10	26.7	28.8	20.8	0	0	870	97	Lav
11.09.2020	1	32.2	99.3	91.1	100	90	940	99	Lav
	2	21.6	91.1	84.5	90	90	888	99	Lav
	3	23.2	84.5	77.8	90	70	886	99	Høy
	4	25.6	77.8	70.6	70	60	891	99	Høy
	5	22.6	70.6	64.0	60	50	878	98	Høy
	6	16.6	64.0	59.8	50	40	491	54	Høy
	7	25.2	59.5	52.2	40	30	919	99	Høy
	8	26.2	52.2	44.8	30	20	906	99	Høy
	9	24.2	44.7	37.4	20	10	887	99	Høy
	10	19.4	37.4	31.3	10	0	716	80	Høy
	11	26.8	30.3	22.5	0	0	891	99	Høy
	12	12.3	22.4	19.5	0	0	306	35	Høy

Observasjoner SINTEF gjorde i Gågata den 25.08.2020 viser at bakken med gråstein og røde teglstein utgjorde ingen store utfordringer for maskinen (se Figur 27). Det samme kan bli sagt om store kumlokk. Dersom det finnes hindringer når operatøren planlegger ruten, eksempelvis sykler eller skilt, vil maskinen unngå disse stedene i henhold til det som var registrert i ruteplanleggingen.



Figur 27: Ulike overflater i Gågata på Kongsberg.

4.2.2 Batteriets ladetilstand

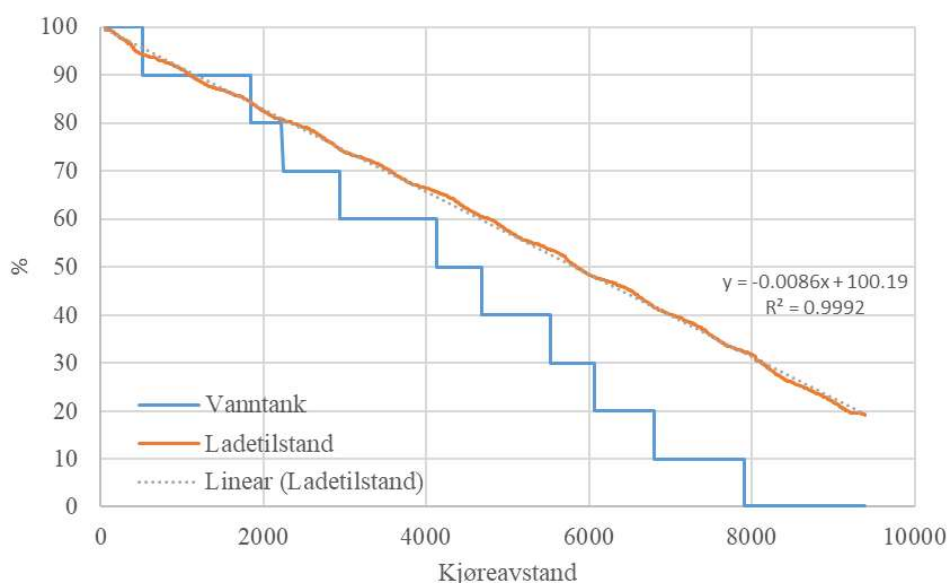
Tabell 10 nedenfor viser gjennomsnittsverdier for børsteoppgaver i Gågata. Oppgaven med å rengjøre minst 94 % av arealet på ca. 892 m² med to runder tok ca. 26,5 min. Maskinen hadde her et forbruk på 7,0 % av batterikapasiteten og 10 % av vanntank (ca. 6 liter vann).

For å rengjøre gågata, ble det brukt ca. 8,6 % batterikapasitet per 1000 m².

Tabell 10: Gjennomsnittsverdier for 25 fullførte oppgaver (≥ 94 %) i Gågata.

Tidsbruk per oppgave	26,5 min
Børsteareal	892 m ²
Batterikapasitet brukt (%)	7,0 %
Vanntank brukt	10 %

Figur 28 nedenfor viser hvordan kjøreavstand påvirket batteriets ladetilstand og vanntank i Gågata den 11.09.2020. Terskel på 20 % for ladetilstand ble oppnådd etter 12 oppgaver. Vanntanken ble tom etter at maskinen hadde kjørt 7909,3 meter. Rengjøringsoppgavene forbruker ca. 8,6 % per 1000 meter av maskinens batterikapasitet.



Figur 28: Batteriets ladetilstand og vanntank som funksjon av kjøreavstand over 12 oppgaver.

Totalt ble det samlet løv, støv, og grus i beholderen over 4 dager. Mengden ble redusert til halvparten etter to dager med kosting (se Tabell 11). I tillegg ble en vanlig personvekt brukt for å veie avfallsmengden, noe som kan ha påvirket nøyaktighet og usikkerhet.

Tabell 11: Vekt av løv, støv, og grus som ble børstet av maskinen i Gågata.

Dato	Vekt
08.09.2020	Ikke tilgjengelig
09.09.2020	4,75kg
10.09.2020	1,65kg
11.09.2020	2,05kg

4.2.3 Hastighet

En oppgave inkluderte fire runder med lav eller høy hastighetsmodus. Tabell 12 viser gjennomsnittlige hastigheter for begge moduser. Med fjernkontroll, bruker operatøren selv en hastighet av maks 1,57 m/s for å bevege maskinen på Kongsberg.

Tabell 12: Gjennomsnittlige hastigheter i autonom modus i Gågata på Kongsberg.

Hastighet modus	Gjennomsnittverdi (m/s)	Maks. verdi (m/s)	Min. verdi (m/s)
Lav	0,51	1,20	-0,36
Høy	0,50	1,65	-0,52

Tabell 13 nedenfor viser at maskinen har forskjellige gjennomsnittlige hastigheter i forhold til rundene. Den starter på runde 1 med en lav gjennomsnittlig hastighet på 0,43 m/s.

Tabell 13: Gjennomsnittlige og maksimale hastigheter for alle 4 runder for oppgaven 2 (11.09.2020).

Runde	Gjennomsnittlig hastighet (m/s)	Maks hastighet (m/s)
1	0,43	1,38
2	1,17	1,54
3	0,88	1,52
4	0,56	1,49

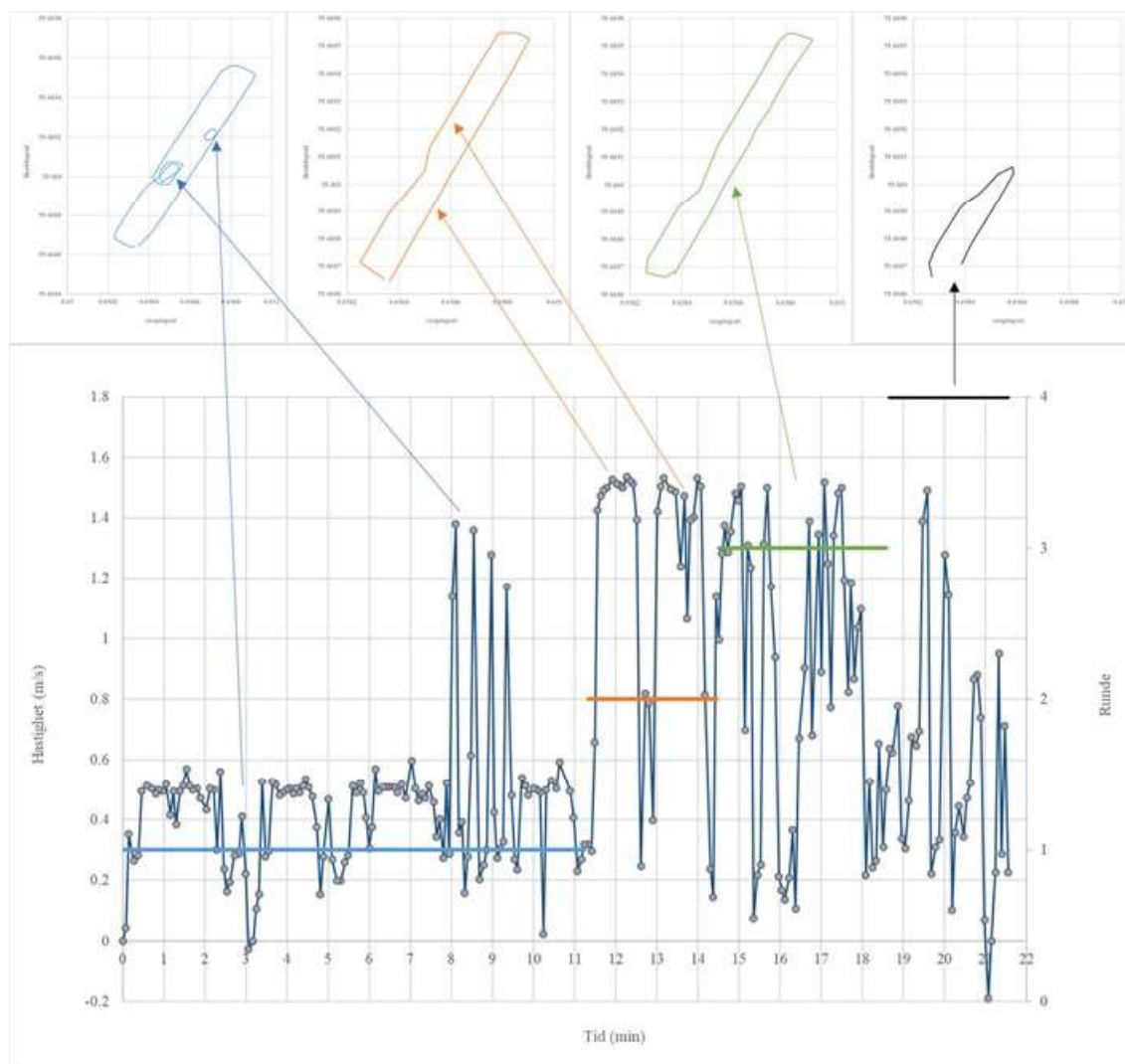
De høyeste hastighetsverdiene ble oppnådd på runde 2 eller 3 når maskinen kjører rett frem. På runde 1, hadde maskinen store akselerasjoner og deselerasjoner når den kjørte tre små omveger. Runde 4 var den korteste runden og planlagt for å koste midten av vegen hvor bakken er kledd med store skiferheller (se Figur 29). Sonen er ofte brukt av varebiler for å levere varer til butikker i gata.



Figur 29: Arealer med skiferheller i midten av vegen kostet på runde 1 (blå farge) og 4 (svart farge).

Figur 30 viser hastighetsprofil for alle 4 runder i oppgave 2 gjennomført den 11.09.2020 med høy hastighet. Oppgaven ble ferdig fullført (99%) og maskinen brukte kun 21.6 min.

Høye hastigheter opp til 1,38 m/s ble oppnådd når maskinen kjørte to omveger på runde 1; 1,5 m/s når den kjørte rett frem på runde 2, 3 og 4.



Figur 30: Hastighet for en rengjøringsoppgave i Gågata (høy hastighetsmodus).

4.2.4 Hendelser

Skader på maskinen

Selv om alle sensorene er aktive i autonom modus, kan det oppstå ulike konfliktsituasjoner med hindringer eller myke trafikanter. Maskinen kommuniserer med predefinert talemeldinger som varsler om at maskinen rygger og at folk må passe seg.

Maskinen ble skadet da den kjørte i Storgata på Kongsberg i autonom modus. Årsaken er ukjent, men hypotesen er at det var en hendelse med rampen til en lastebil som leverte varer i gågata (se Figur 31). En lastebilrampe har en tynn og refleksiv horisontal overflate, og er derfor vanskelig for maskinen å detektere.

Ulykken ligner en personskadeulykke ved St. Olavs hospital da en vaktmester på en trappestige ble kjørt ned. Erfaringene med robotene på St. Olavs viser i tillegg til et par kritiske hendelser og kollisjon med objekter som paller. Sensorene har begrenset rekkevidde i høyden. Videre er det registrert at St. Olavs-robotene har vært til hinder for pasienter og blitt stående eller gått tom for strøm i gangarealet [8].



Figur 31: Illustrasjon av en ulykkesituasjon med Spring S100N (øverst) (Foto: I. Roche Cerasi) og TransCar LTC2 Automated Guided Vehicle System (AGV) fra Swisslog på St. Olavs hospital i Trondheim (nederst) [8].

Årsaken er at autonome kjøretøyer eller små roboter ikke noe begrep om egen høyde eller bredde. Dette er egentlig også det som skjedde ved to Tesla-ulykker med semitrailere i 2016 og 2019 der bilene på autopilot kjørte under traileren uten å bremse og biltaket ble flerret av i kollisjonen [8]. Sensorene dekker ikke et tilstrekkelig område, systemet tror det er åpen veg og stopper ikke.

Den andre typen hendelse som skjedde med Spring S100N, erkjent fra utprøving av autonome minibusser i Norge, og omfatter at de bremses kraftig ned uten noen åpenbar årsak. Maskinen kan stanse brått for greiner, gress, stolper, sykler og andre objekter langs ruten.

Oppstart og posisjonering av maskinen

Det tar litt tid å laste opp kartet i maskinen. Operatøren lyktes ikke i å posisjonere maskinen med en gang. Det tok lang tid for maskinen å gjenkjenne området.

Feilmelding uten informasjon

Operatøren fikk melding den 07.09.2020 om feil med beskjed og kode «*SWEEPER is in a fault state! (0x3000)*» (se Figur 32) uten informasjon om type feil og årsak. Til slutt ble det konkludert med at årsaken var en oppdatering av programvarer planlagt av produsenten i Kina.



Figur 32: Feilmelding og kode på maskinens grenseflate (Foto: M.K. Weldu).

Stopp uten informasjon

Maskinen stoppet flere ganger uten åpenbar årsak.

Kontroll av batteriets ladetilstand

Når maskinen gjennomfører en rekke oppgaver, er det vanskelig for operatøren på stedet å kontrollere batteriets ladetilstand og vanntank på maskinens skjerm uten å stoppe den.

Vannspyling

Når vanntanken ble tom, kjørte maskinen uten sprøyting og uten å si fra.

Nødstopp.

Det skjedde flere ganger at nødstoppknappen ble brukt for å stoppe maskinen:

- Når vareleveringsbiler kjørte i gågata og sto i vegen, og maskinen ikke hadde mulighet til å kjøre rundt.
- En fotgjenger spurte operatøren om å vise frem at maskinen kunne stoppes ved en nødsituasjon.
- Operatøren brukte også nødstoppen for å avbryte driften da det regnet for mye.
- Det var egentlig lettere for operatøren å bruke nødstopp for å stoppe maskinen framfor å stoppe oppdraget i appen og endre autonom modus til manuell modus for så å kjøre fort til et tørt sted.
- Ved ett tilfelle av feil i omkjøringsmanøver, prøvde maskinen å kjøre opp lasterampen til postbilen og ble stoppet av operatøren.

4.2.5 Konklusjon

Maskinen ble testet over 5 dager på Kongsberg og kjørte til tom vanntank og batteriets ladetilstand på 20%. På grunn av oppdatering av programvare når testene ble gjennomført, ble dataene kun delvis samlet inn de to første dagene. Likevel fikk SINTEF nok data til å kartlegge maskinens adferd på et område hvor det ofte finnes fotgjengere, syklistere og vareleveranser.

Maskinen fulgte ruten sin som planlagt. Folk la merke til maskinen og prøvde ikke å forstyrre den. Syklistere valgte å endre egen rute i stedet for å kjøre i nærheten av maskinen. Vareleveranser hindret maskinen og dessverre ble den trolig skadet som følge av en kollisjon med en varebilrampe.

Maskinen hadde en rute som inneholdte fire forskjellige runder. Disse rundene var planlagt for at maskinen skulle koste mest mulig areal. Det røde arealet var enklere å koste fordi det ikke inneholdt hindringer. Stolper, sykler, reklameskilt, benker og plantepotter i midten av eller på sidene av gågata gjør jobben vanskelig for maskinen. Den kunne koste og vaske rundt disse hindringene til en fastsatt avstand og hadde også begrenset bevegelser på grunn av størrelsen sin. Runde 1 var den lengste runden med tre små omveger for å koste midten av arealet. På runde 2 og 3 kjørte maskinen kun på det røde arealet og oppgaven ble gjennomført med de høyeste gjennomsnittlige hastighetene. Runde 4 var den siste runden planlagt for å gjøre en siste kosting av midten av vegen hvor bakken er dekt med skiferheller.

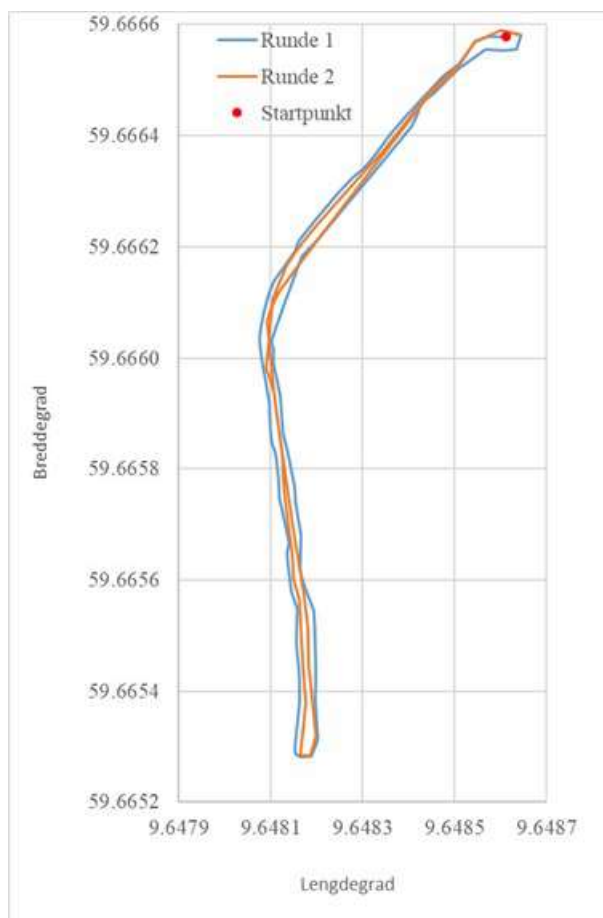
Store akselerasjoner og hard bremsing må unngås og kjøreadferd måjusteres i fremtiden. Dette gjelder spesielt i områder med fotgjengere og syklister. Maskinen ble testet med hastighet på 5 km/t. Høye hastigheter er ikke nødvendige og kan bidra til ulykker i tilfelle hvor eksempelvis en syklist vil sykle forbi maskinen, spesielt når den manevrerer i sirkel. Lav hastighet og jevn kjøring bør være påbudt.

4.3 Klokkerbakken

4.3.1 Ruteplanlegging

Klokkerbakken er en bakke med fortau på begge sider på den nederste halvdelen av gata og på østsiden i den øverste delen av gata. Kjørebane har sykkelfelt og fin, jevn og delvis nylagt asfalt hele vegen. Lite søppel finnes på fortauet; mest løv og lange barnåler. Klokkerbakken har lyktstolper og kantstein ut mot gata, husvegg eller mur på andre siden med benker. Det er jevn stigning langs hele vegen.

Figur 33 nedenfor viser en oppgave gjennomført av maskinen i Klokkerbakken. Mellom startpunktet og bakketoppen er det 10 meter høydeforskjell og en total lengde på 160 meter. Hver oppgave inkluderer to runder med tur og retur til startpunktet. Maskinen børstet først sidene av det planlagt arealet (Runde 1, blå linje) og deretter midten av arealet (Runde 2, oransje linje). Den første runden ble alltid gjennomført med en lavere hastighet enn runde 2.



Figur 33: Oppgave på Klokkerbakken: 2 runder og startpunkt.

I løpet av to dager (14.-15.09.2020) kjørte maskinen i Klokkerbakken. Det var planlagt å kjøre oppgaver til en terskel på 20 % av batteriets ladetilstand ble oppnådd. Tabell 14 nedenfor viser tidsbruk, batterikapasitet og vanntank før og etter hver oppgave, samt fullført børsteareal. Av totalt 30 oppgaver ble 25 fullført på to dager. Maskinen fullførte ikke den 15. oppgaven noen av dagene på grunn av lav batterikapasitet. Vanntanken ble tom på den 12. oppgaven, før ladetilstand på 20% var nådd. I tillegg var to oppgaver redusert til en runde og data mangler delvis for en oppgave.

Maskinen kjørte en lengde på 9523,5 meter den 14.09.2020 og 11940,9 meter dagen etter. Kjøre lengden ble beregnet basert på GPS koordinater (breddegrader og lengdegrader) og er derfor en cirka-verdi. Høyde ble funnet med hjelp av GPS koordinater.

Tabell 14: Oppgaver i Klokkerbakken på Kongsberg.

Dato	Oppgave	Tidsbruk (min)	Ladetilstand (%) for	Ladetilstand (%) etter	Vanntank (%) for	Vanntank (%) etter	Børsteareal (m ²)	Ferdig oppgave (%)
14.09.2020	1	18.06	98.40	93.10	100	90	652	97
	2	22.20	93.10	87.30	90	90	663	98
	3	19.13	87.30	81.90	90	80	658	98
	4	19.79	81.80	76.50	80	70	653	97
	5	20.06	76.50	71.00	70	60	655	97
	6	14.46	71.00	67.50	60	60	327	49
	7	19.87	67.30	61.70	50	40	657	97
	8	20.00	61.70	56.40	40	30	654	97
	9	20.79	56.40	50.70	30	20	660	98
	10	21.33	50.70	44.90	20	10	651	97
	11	20.05	44.90	39.40	10	10	651	97
	12	19.32	39.40	34.10	10	0	647	96
	13	20.69	34.00	28.50	0	0	647	96
	14	23.85	28.50	22.20	0	0	648	96
	15	8.14	22.20	20.00	0	0	129	18
15.09.2020	1	18.26	98.40	93.30	100	90	653	96
	2	23.63	93.30	87.50	90	90	669	99
	3	19.24	87.50	82.30	90	80	642	87
	4	19.88	82.30	77.20	80	70	581	81
	5	19.68	76.90	71.60	70	60	651	82
	6	21.96	71.60	66.30	60	60	640	94
	7	13.43	66.20	62.90	50	50	322	46
	8	20.31	62.70	57.40	40	40	654	98
	9	20.25	57.40	52.00	40	30	661	98
	10	20.31	51.90	46.50	30	20	654	97
	11	19.73	46.40	41.10	20	10	654	97
	12	19.50	41.10	35.60	10	0	655	98
	13	20.74	35.60	30.20	0	0	652	98
	14	19.89	30.00	24.70	0	0	645	96
	15	18.25	24.60	20.10	0	0	484	69

4.3.2 Ladetilstand og børsteareal

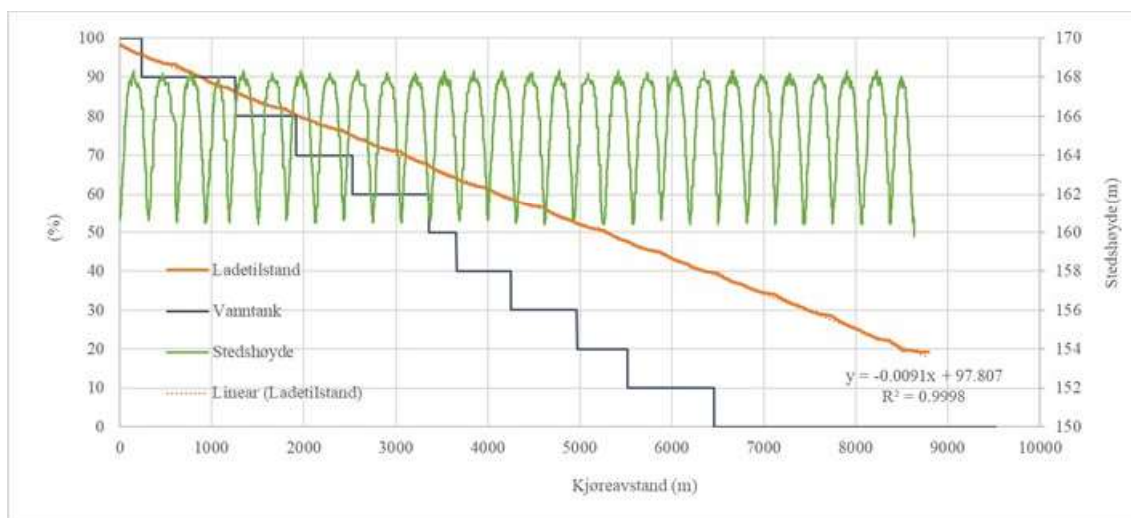
Tabell 15 viser gjennomsnittsverdier for børsteoppgavene i Klokkerbakken. Oppgaven for å rengjøre arealet på ca. 653 m² med to runder tok ca. 20,3 min og brukte 5,5 % av batterikapasiteten og 6,4 % av vanntanken.

For å rengjøre en slik bakke med 10 meter høydeforskjell, hadde maskinen et forbruk tilsvarende ca. 8,4% av batterikapasiteten per 1000 m².

Tabell 15: Gjennomsnittsverdier for 25 fullførte oppgaver i Klokkerbakken.

Tidsbruk per oppgave	20,3 min
Børsteareal	653,0 m ²
Batterikapasitet brukt (%)	5,5 %
Vanntank brukt	6,4 %

Figur 34 nedenfor viser hvordan kjørelengde og høyde påvirket batteriets ladetilstand i Klokkerbakken den 14.09.2020. Resultatene er like for begge dagene. Terskel på 20 % for batteriets ladetilstand ble oppnådd etter 15 oppgaver. Vanntanken ble tom etter at maskinen hadde kjørt 6503 meter. For rengjøringsoppgavene hadde maskinen et forbruk tilsvarende en batterikapasitet på ca. 9,1 % per 1000 meter.



Figur 34: Ladetilstand og vanntank som funksjon av kjøreevstand over 15 oppgaver.

Totalt ble det samlet henholdsvis 4,9 og 2,7 kg av løv, støv, og grus i beholderen de to dagen testen pågikk, se Figur 35. I tillegg kostet den bemannede feiemaskinen arealet den 14.09.2020.

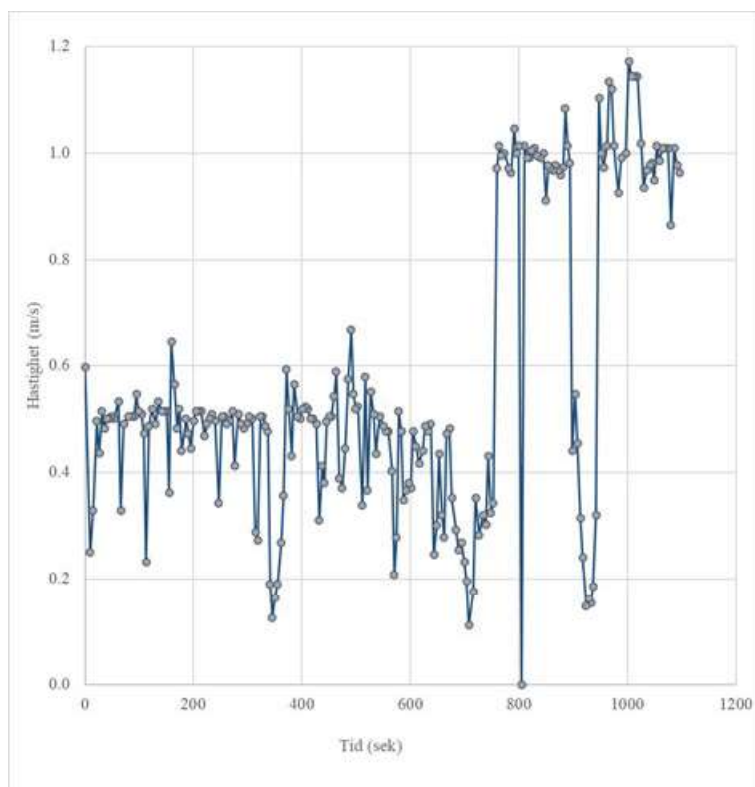


Figur 35: Beholder etter utført testing i Klokkerbakken.

4.3.3 Hastighet

Figur 36 viser maskinens hastighet som funksjon av tid for en av de 25 oppgavene. Maskinen har en gjennomsnittlig hastighet på 0,44 m/s på runde 1 og 0,89 m/s på runde 2. I løpet av denne oppgaven, stoppet maskinen en gang på runde 2 (Tid = 804,5 sekund) og akselererte fra 0 til 1,01 m/s (3,65 km/t) på 5,3 sekund.

På nedkjøring til startpunkt, kunne maskinen oppnå en maksimal hastighet på 1,26 m/s (dvs. 4,5 km/t) og overskredet 4 km/t, gjennomsnittlig 1,8 ganger per oppgave. Totalt 4 km/t ble overskredet 56 ganger i løpet av 30 oppgaver.



Figur 36: Hastighet for en rengjøringsoppgave i Klokkerbakken.

4.3.4 Hendelser

Vannspreder

Venstre vannspreder manglet trykk, men det virket som om det kom like mye vann ut som på høyre side, bare med mindre spredning.

Bryn Bydrift

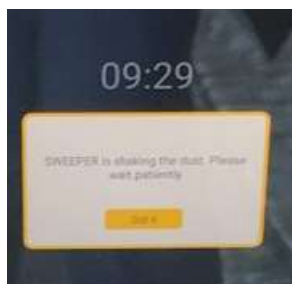
Bryn Bydrift var ute for å vaske gata etter helga og kostet arealet hvor Spring maskinen kjørte den 14.09.2020. Den bemannede maskinen vasket hele arealet rundt benker og lysstolper uten problemer. Dette er arealer som roboten ikke kan koste med ruteplanleggingen og sikkerhetsfunksjon, eller uten at roboten kan skille mellom en stolpe og en person.

Feilmeldinger

Maskinen stoppet oftere enn en gang per time som det er beskrevet i bruksanviseren. Forklaring kan være at filteret ikke ble vasket etter testene med grus og sand som ble utført på trafikkstasjonen, eller etter at den hadde kjørt i gågata over 5 dager. Maskinen fikk flere feilmeldinger og stoppet hyppig. En av feilmeldingene var knyttet til behovet for å riste hovedbørsten og filteret ("Sweeper is shaking the dust. Please wait patiently"), se Figur 37. Det forekom også feil som dessverre ikke ble funnet noen årsak.

Hyppig og merkelig stopping uten grunn

Støvet på sensorene ble fjernet flere ganger for å løse problemet med stoppingen, selv om vi ikke visste om dette var problemet.



Figur 37: Feilmelding om stopp for å riste støvfilteret (Foto: I. Roche Cerasi).

Dårlig lukt av svidd gummi eller plast

Maskinen ble stoppet og restartet manuelt på grunn av en merkelig lukt og hyppige stopp/feilmeldinger.

Kjøring utenfor fortauskanten

Maskinen kjørte utenfor fortauskanten på det nederste snupunkt og «satte fast» det ene bakhjulet utenfor kantsteinen, se Figur 38. Forklaring på dette er knyttet til hvordan kantene ble definert av operatøren da han/hun planla ruten. "Soft edges" innebærer at maskinen kan kjøre opptil 20 cm utenfor, mens "Strick edges" er opptil 5 cm. Det er nødvendig å ta dette med i betraktning når man programmerer løypa for å hindre at dette skjer.



Figur 38: Maskinen kjørte utenfor fortauskanten når den svingte på startpunkt (Foto: I. Roche Cerasi).

Hastighet

Observasjonen under testkjøringen viste at maskinen kjørte fortere oppover og på flere deler av fortauet, som for eksempel etter at den hadde snudd på toppen. Maskinen virket tryggere for omgivelsene da den kjørte saktere. Det gjør det også lettere for folk å gå forbi og den virker mindre skummel. Folk tør å passere maskinen og virket å være veldig positivt innstilt til maskinen. Likevel ble folk tydelig mer forsiktige rundt maskinen da den kjørte i høy fart i midten av gata.

Personer med redusert funksjonsevner

En svaksynt mann med en hvit stokk kom gående oppover på fortauet, mens maskinen kom kjørende nedover og imot mannen. Maskinen ga beskjed "å passe på" men mannen kunne selvfølgelig ikke forstå hvor den ukjente stemmen kom fra og ble forvirret. Han snublet nesten ned fra fortauskanten da han rygget for å trekke

seg unna maskinen. Det var nødvendig å berolige mannen og be ham om å stoppe litt og informere ham om maskinen. Møtet gikk bra mellom dem når mannen sto stille (se Figur 39, bildet til venstre). Flere personer med rullator eller elektrisk rullestol møtte maskinen uten at den forstyrret dem i særlig grad (se Figur 39, bildet til høyre). En mann med redusert mobilitet ved utgangen til et hus hvor bakken var dekket med ujevne steiner, hadde vanskeligheter med å stå på steinene mens han ventet på at maskinen kjørte forbi.



Figur 39: Samhandling mellom maskinen og personer med redusert funksjonsevner (Foto: I. Roche Cerasi).

Samhandling med syklist, sparkesyklist eller unge med rullebrett.

Syklist eller personer med rullebrett hadde stor fart nedover da de møtte maskinen. Dette var ikke et problem da det var god plass for begge parter, se Figur 40, bildet opp til venstre. Derimot da maskinen kjørte forbi en lysstolpe, en benk eller andre hindringer, kunne den ikke evaluere farten til forbigående syklist eller predikere hvor en syklist skal sykle nedover bakken (se Figur 40, bildet opp til høyre).



Figur 40: Samhandling med syklist, sparkesyklist eller unge med rullebrett (Foto: I. Roche Cerasi).

I flere tilfeller ble det ikke stor nok plass for syklister til å sykle forbi maskinen, spesielt når maskinen var mellom en stolpe og en benk (se Figur 40, nedre bilde). Maskinen stoppet da den detekterte syklister, men det var da for sent og beskjeden "forsiktig, pass på" kom etter at personene hadde passert. Flere syklister (inkludert barn) valgte å sykle videre på vegen i stedet for å møte maskinen på fortauet.

Hindringer

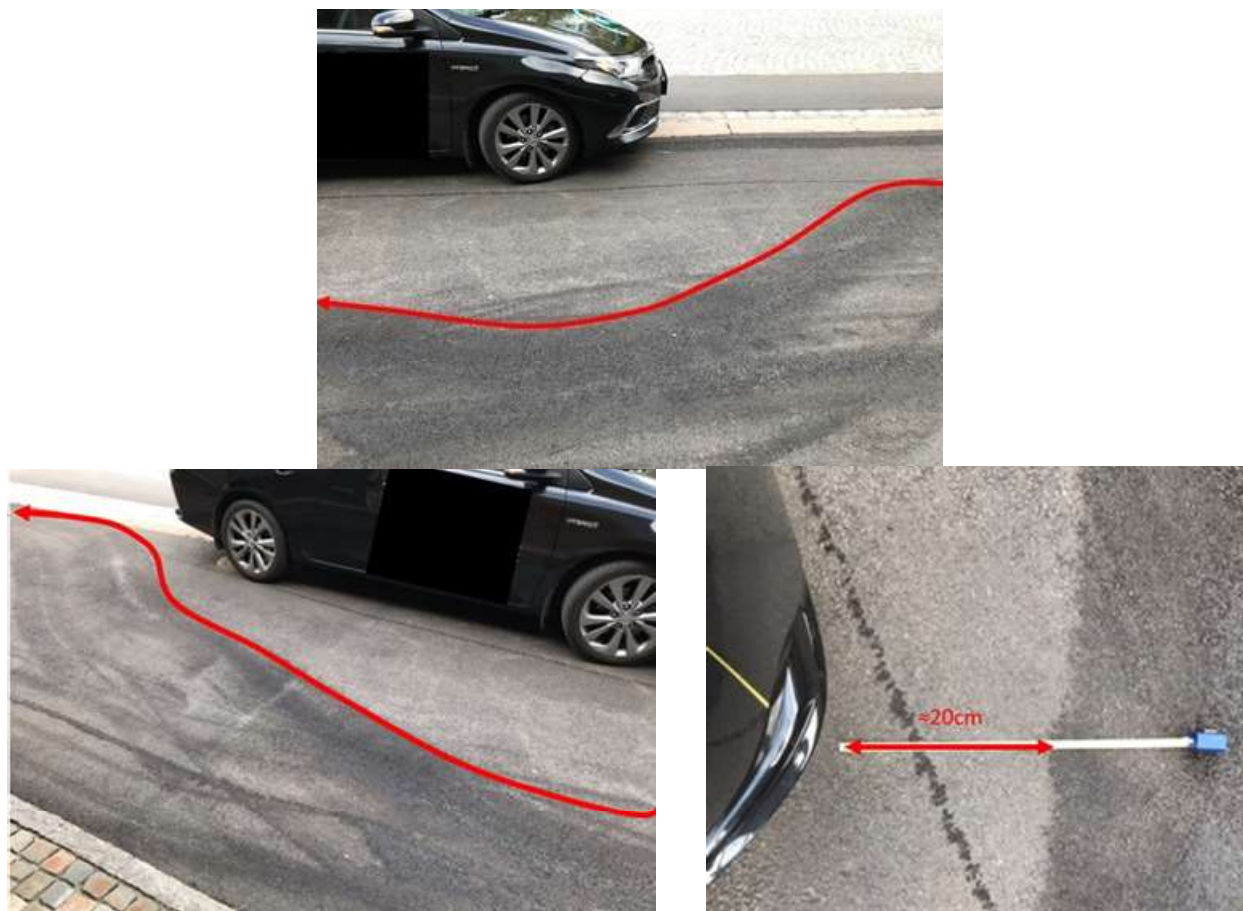
Maskinen stoppet da den møtte hindringer, rygget og kjørte forbi hindringene (se Figur 41, bildet til venstre). I slike situasjoner kan maskinen rygge eller kjøre forbi kun hvis det er nok plass (i begrenset arealet satt opp i ruteplanlegging). Dersom det ikke er plass for maskinen å kjøre forbi, blir den stående der den er og venter på klar veg. I et tilfelle, måtte en person i elektrisk rullestol rygge for å la maskinen kjøre videre. Det samme skjedde med syklister og fotgjengere som vist i Figur 41, bildet til høyre.



Figur 41: Maskinen stoppet pga. hindringer, rygget og kjørte forbi (Foto: I. Roche Cerasi).

Parkert bil

På toppen av vegen hvor maskinen måtte snu, var det et sykehjem med eldre folk med rullator eller elektriske rullestoler. Det var selvfølgelig ikke et godt valg i ruteplanleggingen å legge opp til at maskinen skulle snu der. Beboerne har ofte behov for at drosjer parkerer på fortauet da det ikke finnes parkeringsplasser foran bygningen. Maskinen kjørte langs bilen før en person med begrenset mobilitet kom til bilen. Maskinen beholdt en god avstand (ca. 60 cm) foran bilen (se Figur 42, øvre bilde) men da den kjørte bak bilen var avstanden redusert til ca. 20 cm (se Figur 42, nedre bilde).



Figur 42: Maskinen kjører forbi en parkert bil på fortauet (Foto: I. Roche Cerasi).

Føreratferd

En bilfører valgte å rygge bilen oppover vegen, mens han samtidig filmet maskinen (Figur 43).



Figur 43: Føreratferd for å filme maskinen (Foto: I. Roche Cerasi).

Børsteoppgave

Da maskinen kjørte over brostein (se Figur 44), kastet den grus som var mellom steinene til venstre og ut på asfalten. På grunn av høydeforskjell mellom asfalten og steinene (1-2 cm), ble det umulig for maskinen å koste opp grusen igjen. Det vil være nødvendig å planlegge nøyaktig kjøring langs slike partier med brostein og generelt langs kanter mellom ulike materialer/overganger.



Figur 44: Upresist kjøring langs brostein på fortau (Foto: I. Roche Cerasi).

Kjøring langs benker

Da maskinen kjørte foran en benk, endret den ikke kjøreretningen. Dette gjaldt både om benken var tom eller om det satt noen på den. Maskinen kan ikke skille mellom en tom benk eller en benk hvor det sitter noen. Det ble utført testing ved å la maskinen kjøre forbi benken mens det satt noen på den. Maskinen holdt svært kort avstand, ca. 10 cm til knærne til personen som satt på benken. I tillegg børstet maskinen skoene til personen på benken med sidebørsten (se Figur 45).



Figur 45: Kjøring og kosting langs benker. (Foto: I. Roche Cerasi).

Kjørings langs en vegg

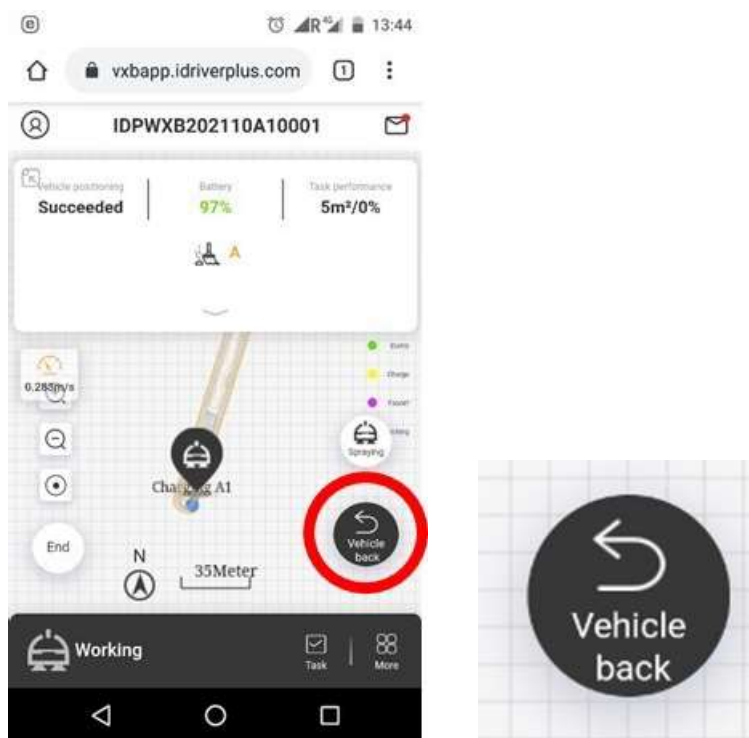
Da maskinen kjørte langs en vegg i Klokkerbakken, ble det utført testing av om maskinen greide å skille mellom selve vegg og noen som kunne ha valgt å stå ved vegg for å vente på at maskinen kjørte forbi. Der det er nok plass er det ikke noe problem; maskinen advarer med "forsiktig, pass på!" og fortsetter å kjøre (se Figur 46). Men da det ikke er nok plass, kostet maskinen skoene til personen som satt på benken med sidebørsten.



Figur 46: Kosting langs vegg. (Foto: I. Roche Cerasi).

Retur til startpunkt A₁

Da batteriets ladetilstand nådde 20 %, ble maskinen stående midt på fortauet (på stoppunktet som var lagret i ruteplanleggingen). Maskinen ga beskjed om «Ferdig med oppgaven». Etterpå måtte operatøren gi manuell kommando for at maskinen skulle kjøre tilbake til startpunkt A₁ (se Figur 47).



Figur 47: "Vehicle back" kommando i appen (Foto: M.K. Weldu).

Den første dagen (14.09.2020) opplevde vi en veldig uryddig kjøring tilbake til startpunktet. Maskinen fulgte ikke planlagt løype, kjørte veldig fort og hadde flere harde bråbremsinger hvor vi kunne se bremsemerker i asfalten. Ved ett tilfelle kom ei ung jente på sykkel bak maskinen, men da det var usikkerhet knyttet til å forstå maskinens adferd, ble det valgt å advare henne om å vente bak maskinen og ikke ta sjansen på å kjøre forbi. Det var i tillegg vanskelig å følge opp blinklysene og bremselysene, som blinket nesten hele tiden og ikke kunne hjelpe til med å indikere hvor maskinen hadde bestemt seg for å kjøre. Dette skjedde bare når maskinen returnerte til startpunktet.

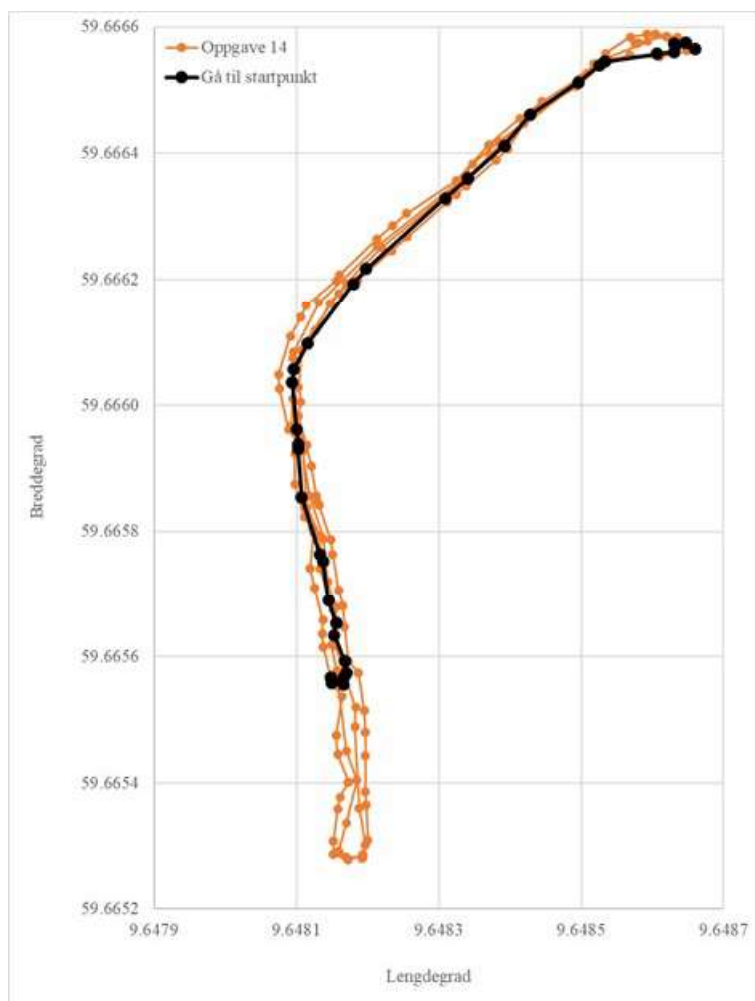
Også den andre dagen (15.09.2020) ble kjøring tilbake til startpunktet utført veldig ukontrollert og i høy hastighet. Det ble valgt å stoppe maskinen da en fotgjenger og en person i rullestol kom i nærheten av den. I dette tilfellet ble det bestemt å stoppe maskinen med nødstoppen og kjørte den manuelt tilbake til garasjen.

4.3.5 Retur til startpunkt A₁

Da batteriets ladetilstand nådde terskelen på 20 %, stoppet maskinen på det nærmeste stoppunktet som ble lagret som stoppunkt da ruteplanlegging ble utført. I Klokkebakken ble det planlagt tre punkt.

Operatøren får to muligheter: å kjøre maskinen tilbake til startpunkt på manuell modus eller å trykke på "Vehicle back" for å la maskinen kjøre på autonom modus tilbake til startpunkt A₁.

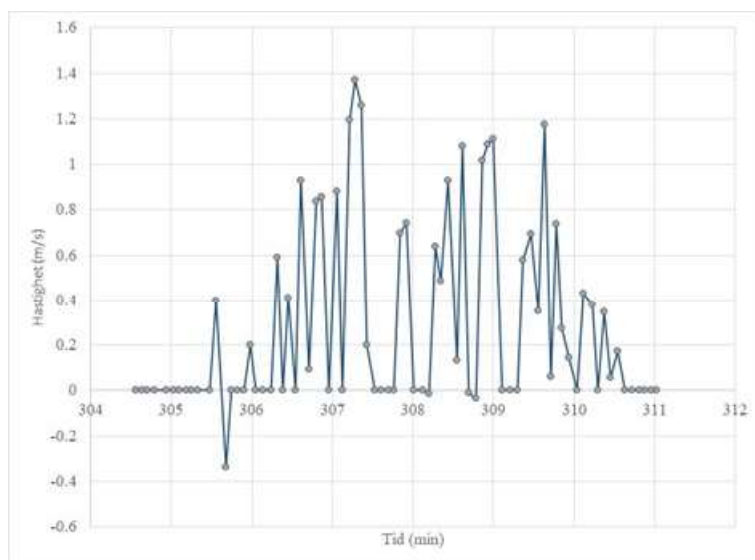
Figur 48 nedenfor viser med svarte punkt at det mangler data i Excel filen for å kunne dokumentere den uryddige adferden maskinen hadde da den kjørte tilbake til A₁ den 14.09.2020. Maskinen fulgte ikke løypa den hadde, hverken da den kjørte runde 1 eller 2.



Figur 48: "Gå til startpunkt"-rute (svart farge) med oppgave 14, runder 1 og 2 (oransje farge).

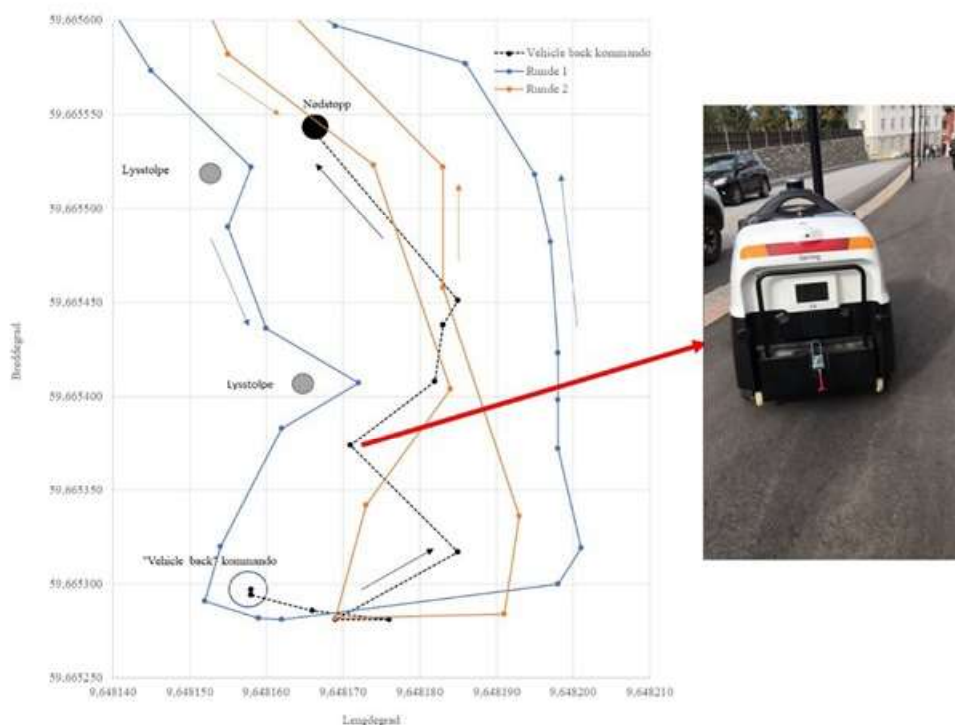
Maskinen kjørte i veldig høy hastighet og bråbremsset hardt etterpå. Figur 49 viser høye akselerasjoner og hard bremsing, samt flere stopptider. Den høyeste hastigheten var 1,37 m/s (4,9 km/t) selv om det ble lagt "lav hastighet" modus i appen.

Det var ingen fotgjengertrafikk foran maskinen, bortsett fra ei ung jente på sykkel bak. Maskinen kjørte tilbake til startpunktet A₁, men man opplevde rutevalget som skremmende.



Figur 49: Hastighetsforskjell over tid til startpunkt A₁ med bruk av "Vehicle back" funksjon (14.09.2020).

På dag 2 brukte vi igjen "vehicle back" kommandoen. Maskinen snudde med bakover og fremover manøvrer på bakketoppen. Selv om det ikke var noen hindringer, kjørte maskinen fra venstre til høyre. Figur 50 nedenfor viser maskinens rute under "vehicle back" kommando; bildet til høyre viser kjøring mot den første lysstolpen.



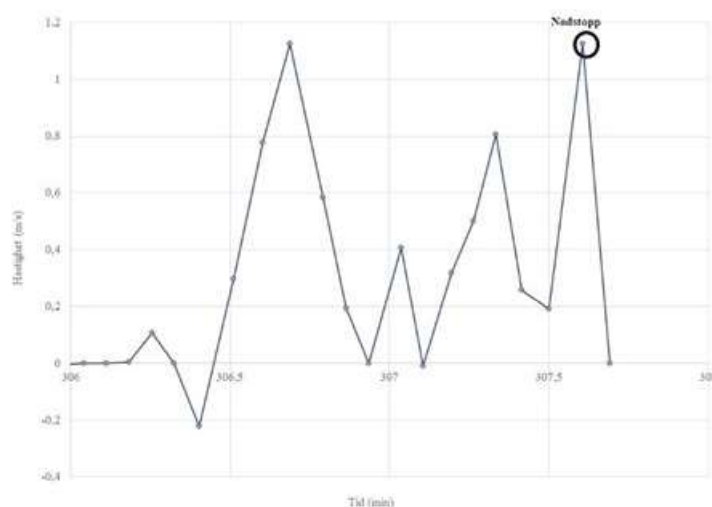
Figur 50: "Vehicle back" kommando (svart farge) med Runde 1 (blå farge) og Runde 2 (oransje farge).
(Foto: I. Roche Cerasi)

Etterpå ble nødstoppknappen brukt på grunn av høy hastighet, uryddig kjøring og møtende personer med rullestol. Maskinen blinket til høyre og vi ble bekymret for at maskinen skulle blokkere rullestolen da en benk gjorde at det ble redusert plass på stedet (se Figur 51).



Figur 51: "Vehicle back" rutene med møtende personer med rullestol. (Foto: I. Roche Cerasi).

Dataanalysen av disse hendelsene bekrefter at maskinen kjørte med høye og ujevne hastigheter, i tillegg til å akselerere over korte avstander og tid. Figur 52 nedenfor viser at nødstoppen ble brukt når maskinen kjørte med en høy hastighet på 1,12 m/s (4,0 km/t) mot møtende personer.



Figur 52: Hastighetsprofil over tid med "Vehicle back" kommando til nødstop.

4.3.6 Konklusjon

Selv om det ble valgt en ruteplanlegging med lav hastighet i Klokkebakken, ble vi ved flere anledninger under testingen bekymret for folks fremkommelighet og sikkerhet på grunn av høydeforskjell mellom ytterpunktene på ruta eller stigningen på denne ruta. Ruta som ble planlagt var kanskje ikke optimalt for å dekke hele arealet, men maskinen gjorde en akseptabel jobb med å koste 4,9 kg dag 1 og 2,7 kg dag 2 av støv, løv og grus.

Maskinen hadde et høyere batteriforbruk enn i Gågata, med 9,1 % per 1000 m² på grunn av høydeforskjell på 10 meter. Maskinen hadde ingen utfordringer med å kjøre opp eller ned bakken, selv om det ble notert høy hastighet på flere steder, spesielt når den kjørte nedover og oppover.

Maskinen stoppet og rygget for å kjøre forbi en hindring hvis det var nok plass. Dersom det ikke var nok plass ble maskinen stående og vente til ruten ble klar igjen.

Maskinen stoppet da personer kom i nærheten foran den; sikkerhetsavstanden her var ca. 40 cm. Dersom noen kom opp på siden av maskinen, stopper den ikke, men den advarer om å være forsiktig og passe på. Sikkerhetsavstand er ca. 10 cm på sidene, som kan vurderes som veldig lite i flere tilfeller.

Maskinen kostet rundt lysstolper, men ikke hele arealet, noe som vil kreve mye tid og manøvrering for å kjøre bakover og fremover. I tillegg ble dette problematisk på grunn av sikkerhetsfunksjonen. Det er også sannsynlig at dersom noen lener seg mot en lysstolpe, vil ikke maskinen detektere at det står noen der i tillegg til stolpen. Dette forklarer også at maskinen ikke endrer ruten sin rundt en benk selv om det sitter noen på den.

Nødstoppknappen stopper maskinen med en gang og virker som det skal. Knappen kunne med fordel være mer synlig og lettere tilgjengelig hvis noen som kommer foran maskinen trenger å stoppe den.

"Vehicle back" kommando for å gi ordre til maskinen om å kjøre tilbake til startpunktet A_1 er ikke ferdig utviklet og trenger å kontrolleres bedre av produsenten. "Vehicle back" ruten var uryddig med kjøring til venstre og høyre uten at vi helt greide å forstå hvor maskinen ville kjøre videre.

Maskinen reduserte fremkommeligheten til personer som gikk eller syklet på fortauet. I flere tilfeller ble det liten plass for syklister for å sykle forbi.

Selv om maskinen ble programmert med "Lav hastighet" modus, var maskinens fart ofte for høy. I tillegg ble det unødvendige høye akselerasjoner og hard bremsing deselerasjoner som kunne skape risikosituasjoner.

5 Hovedkonklusjon

Design og materialer

Som testene på trafikkstasjon viste, vil endring i designet eller materialer øke materiallevetiden og effektiviteten. Det anbefales å forbedre systemet for å plukke opp grus og støv under maskinen med gummiskjørt. Figur 53 viser at sidebørstene i plast ble ganske slitt etter flere dager med testing. Bemannede feiemaskiner har sterkere sidebørster laget med plast og metall. Samtidig kommer disse aldri i nærheten av folks føtter under førers overvåkning.



Figur 53: Slitte sidebørster etter testene på Kongsberg (til venstre) og en vanlig feiemaskin (til høyre) (Foto: I. Roche Cerasi).

Vanntank

Vanntanken bør kunne fylles på en mer brukervennlig måte. Vannkranen under maskinen foran bør være mer tilgjengelig. Det er ingen store utfordringer med å fylle maskinen med en vaskemaskinsinnløpsslange (Figur 54, bildet til venstre), men i tilfeller hvor en flåte av kjøretøy skal fylles med vann, vil dette kreve for mye tid. Testene viste også at maskinen er tom for vann før batterikapasiteten er brukt opp. Det anbefales å vurdere en økning av volumet på vanntanken. I tillegg ble vanntrykket vurdert som ganske lavt. Vannsprederne (angitt med rød farge på bildet til høyre i Figur 54) kunne spre vann over en større bredde. Alle slike endringer vil selvfølgelig øke bruk av batteriets strøm.



Figur 54: Fylling av vanntank med vaskemaskinsinnløpsslange (Foto: I. Roche Cerasi).

Søppelbeholder

Beholderen tåler 60 liter eller 60 kg søppel. Dette kan vurderes som akseptabelt dersom maskinen autonomt kan dumpe søppel på bestemte punkt langs ruten. Uten automatisering av beholderveieing eller dumping av søppel, krever det tid og mannskap.

Kosteoppgaver

Testene på trafikkstasjonen viste en effektivitet for maskinen på over 80 % avhengig av hvor mye grus og sand det lå på vegen. To hastighetsmoduser er tilgjengelige: 3 og 5 km/t. Lav hastighet gir bedre effektivitet og anbefales på grunn av bedre sikkerhet. I tilfeller med store grusmengder, så etterlater maskinen to linjer med grus med en avstand på 60 cm, noe som tilsvarer bredden på hovedbørsten. Det er mulig å justere dette i fremtiden med bedre design eller ved å løfte litt mer på gummiskjørtet som er foran hovedbørsten. Maskinen klarer godt å samle kongler, gress, barnåler, kvister og løv, men får problemer med store ting og søppel slik som flasker og brusbokser. I tillegg var det vanskelig for den å plukke plast og papir som ble akkumulert foran gummiskjørtet under maskinen. Glasskår var lett å koste opp for maskinen, men det ble observert at det harde hjulet i plast knuste glasskårene ytterligere ved å kjøre på dem, og de ble da kastet i lufta.

Sikkerhetsfunksjon

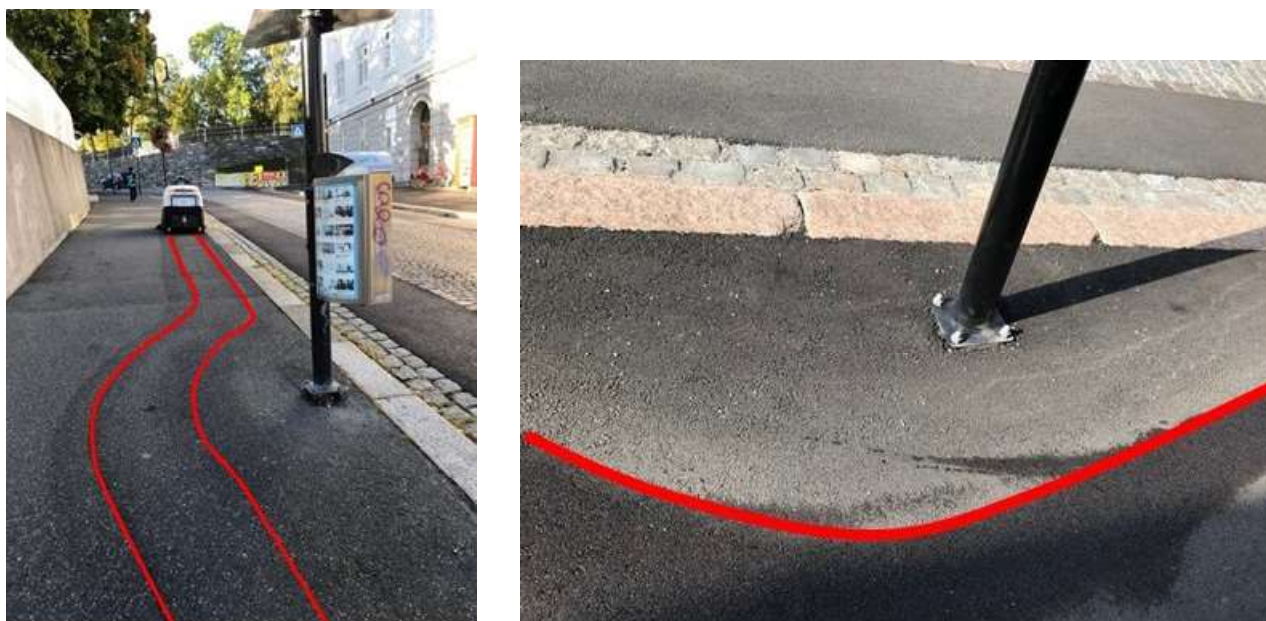
I manuell modus har maskinen redusert sikkerhetsfunksjon, med kun to ultrasoniske sensorer i bruk på fronten av maskinen. Det er derfor viktig at operatøren er bevisst når han/hun kjører eller svinger med maskinen. I autonom modus har sensorene begrenset rekkevidde i høyden. Det er vanskelig for maskinen å detektere noe som står høyt eller som er tynt med en refleksiv overflate. Årsaken til skaden maskinen fikk i Gågata er ukjent, men hypotesen er at det var en kollisjon med en lastebilrampe.

Ruteplanlegging

Løypene bør overlappe mer enn det som ble gjort i denne testkjøringen for best vaskeresultat.

Planlegging av en rute ble ikke utarbeidet detaljert nok for testene i Klokkerbakken med tanke på øvrige trafikanter og urbane møbler. Det var usikkerhet knyttet til hvordan en slik bakke kunne vært kostet best mulig; en bakke hvor det er syklist, fotgjengere og personer med reduserte funksjonsevner.

Maskinen kostet ikke hele arealet rundt lysstolpene (se Figur 55). For å kunne gjøre dette, må maskinen gjennomføre flere manøvreringer både bakover og fremover, noe som vil kreve tid og dessverre skape mer støy for beboerne. I tillegg må sikkerhetsfunksjonen være slått av for at maskinen kan kjøre rett mot stolper. Dette kan være problematisk hvis maskinen ikke skiller mellom en person (som står ved en stolpe) og en stolpe, og følgelig kjøre mot personen.



Figur 55: Ruteplanlegging rundt stolpe (Foto: I. Roche Cerasi).

Maskinen kostet ikke hele arealet rundt benkene (se Figur 56). Her er det nødvendig å beregne en avstand som gjør at maskinen ikke kommer for nær i tilfeller hvor det sitter personer på benken. På sidene av maskinen er sikkerhetsavstand veldig lav, på ca. 10 cm. Dersom noen sitter på en benke, kan det være mulig at maskinen kommer for nær og koster over skoene til vedkommende. Dersom maskinen i fremtiden kan detektere at noen sitter eller ikke på benken ved bruk av kunstig intelligens, kan ruteplanlegging foran benker endres for best mulig rengjøring. En annen løsning kan være å «tegne» kostearealet ved å ta bort møblene hvis mulig og kjøre nærmere vegger og møbler. Svinger og hushjørner som gir dårlig sikt er ugunstige.



Figur 56: Kostning rundt benker med Spring S100N (Bildet til venstre) og bemannede gatefeiemaskin (Bildet til høyre) (Foto: I. Roche Cerasi).

Det var før testene ukjent hvordan maskinen ville oppføre seg i kryss og steder med dårlig sikt, for eksempel hvor det er trapper, inngang eller snarveger mellom bygninger for fotgjengere eller syklister (se Figur 57). Det er ukjent hvor langt maskinen kan kjøre langs en vegg for å bli sett hvis det står en utgang eller en snarveg.

Maskinen vil kjøre til den detekterer en trafikant eller et kjøretøy. Den vil stoppe med en sikkerhetsavstand på ca. 40 cm. Likevel må det tas med i betraktningene at førere eller trafikanter kan bli overrasket og bekymret av maskinen. Dette kan resultere i farlige situasjoner hvor en person med redusert mobilitet eller en syklist kan falle av. Vi har opplevd flere uheldige hendelser med trafikanter som ikke kunne bevege seg fort eller svaksynte personer.



Figur 57: Ruteplanlegging ved trapper og utgang (Foto: I. Roche Cerasi).

Fremkommelighet og sikkerhet til myke trafikanter

For å unngå konflikter med store mengder myke trafikanter, bør det vurderes å la maskinen koste utenfor rushtider. I tillegg bør støynivået som følge av høyere hyppighet også evalueres. Maskinen snakker norsk og tekstene kan man programmere inn selv: «Forsiktig, jeg rygger» og «Pass på». Disse varslene kommer litt for sent fra maskinen; enten er maskinen allerede ferdig med ryggingen, men den fortsetter å si ifra at den skal rygge, eller at faren foran maskinen allerede er borte før den sier "pass på".

Selv der det var minst to meter bredde, forstyrret maskinen fremkommelighet til fotgjengere og syklister samt personer med redusert funksjonsevner, rullator, elektriske rullestol eller med barnevogn. Dette gjaldt spesielt steder hvor det sto benker og stolper. Det kunne være bedre om maskinen kunne vente og la folk passerer før den kjørte videre og forbi en lysstolpe. Dette vil kreve utvikling av programvaren med høyeste nivå av *Kunstig Intelligens (AI)* funksjoner. Per i dag kan ikke maskinen predikere fart eller adferd.

"Vehicle back" funksjon

Når maskinen har oppnådd terskelen for batteriets ladetilstand, stanser maskinen på det nærmeste stoppunktet på ruten. Operatøren kan deretter velge kommando "Vehicle back" som gir beskjed til maskinen å kjøre autonomt tilbake til startpunktet. Under testkjøringen kjørte maskinen en svært uryddig løype i sikksakk. Dette er en funksjon som ikke er ferdig utviklet (Partnere i prosjekt har informert Spring Mobility GmbH).

6 Anbefalinger

For selvkjørende private biler, robottaxier eller anleggsmaskiner gjenstår det fortsatt utvikling før de er klare for å kjøre i trafikken eller på byggeplasser og industriområder hvor trafikanter, kunder eller arbeidere ferdes.

Situasjonen er den samme for små roboter eller autonome feiemaskiner. Basert på vekt, fart og hvor de skal brukes, regnes de ikke inn under *Lov om utprøving av selvkjørende kjøretøy*. Før det kommer mange forskjellige roboter på markedet er det viktig at metodikken for godkjenning er på plass. Dette innebærer blant annet å ha kunnskap om når en robot skal beskrives som et kjøretøy, basert på fart og vekt. Robotene er i teknologisk utviklingsfase, og det blir stadig flere utfordringer knyttet til sikkerhet og personvern. Det er ingen tvil om at robotene utvikler seg veldig raskt, og de neste generasjonene vil trolig bli mer effektive i tillegg til at man kan forvente at ulykkesrisikoen blir redusert.

Spring S100N er en feiemaskin som ifølge produsenten er utviklet for å kjøre på gangarealer og sykkelveger. Prototypen som ble testet på Kongsberg i september 2020 virker lovende og viser hvordan en repeterende oppgave kan gjennomføres av en robot. Dette gir mulighet for bemannede gatefeiemaskiner til å fokusere på andre oppgaver eller på områder eller sykkelveger som er utenfor byområder.

I løpet av de neste 5-10 årene kan man regne med at teknologien vil muliggjøre at en flåte av roboter kan styres fra et kontrollrom hvor en operatør kun trenger å overvåke dem og gripe inn i situasjoner der avvik oppstår. I en slik drømmesituasjon vil det trolig kunne være at styringssystemet optimaliserer bruken av en flåte ved å velge de mest effektive rutene og umiddelbart sende ut roboter til der det er behov.

Det er viktig å kartlegge norske behov samt stille krav til de neste generasjonene av roboter, spesielt når prototypene er i utviklingsfasen. Forskningsinstitutter, myndigheter, byer og forretningspartnere må samarbeide for at robotene som planlegges tatt i bruk, er sikre og ikke utgjør noen risiko for samfunnet og trafikanter.

Det er nedenfor listet opp flere punkter som anbefales undersøkt nærmere i fremtiden:

- Andre maskiner: Andre maskiner som tilpasser kosting i regn og i norske forhold, inkludert kalde temperaturer. Disse maskinene kanskje større enn Spring S100N maskinen, men de bør likevel vurderes fordi deres størrelse trolig vil bli redusert i fremtiden.
- Forretningsmodell: Det må undersøkes hvordan en entreprenør kan sette autonome driftsmaskiner i drift og finne ut hvordan det vil være økonomisk fornuftig for alle partnere.
- Ruteplanlegging: Ruteplanlegging bør kunne utføres av brukere i Norge. Å være avhengig av produsenten i Kina innebærer risiko og utfordringer.
- Vedlikehold: Muligheter for å få utført vedlikehold og service bør finnes i Norge. Her bør det også vurderes om det kan tilbys mulighet for å erstatte eller bytte ut en ødelagt robot i en flåte for å unngå at brukere i Norge befinner seg i en situasjon hvor de må vente flere måneder for å få reparert en maskin.
- Nattarbeid: Det hadde vært interessant å teste ut nattarbeid. Hvordan endres effektiviteten og mulighetene til å gjøre vanskelige operasjoner? Hvor mye støy gir den, og hvor mye plager denne type støy de som bor i nærheten?
- Kommunikasjon og sikkerhet: Kommunikasjonssystemet med trafikanter omfatter både et visuelt system og et audiosystem. Tester bør gjennomføres i en virtuell virkelighet som gjør det mulig å teste alle typer lys, lyd, tekst, størrelse og farge. Det vil også være interessant å forske nærmere på hvordan forskjellige autonome maskiner og kjøretøyer (biler, busser, feiemaskiner eller anleggsmaskiner) må kommunisere med myke trafikanter, arbeidere på arbeidsplass og førere. I tillegg bør man undersøke hvordan maskinen må ferdes eller kommunisere i områder hvor det er trapper, utganger eller snarveger.

- Kommunikasjon og personer med redusert funksjonsevner: Autonome maskiner er en stor risiko for personer som er svaksynte eller ikke beveger seg raskt. Løsninger for slike spesifikke fokusgrupper bør undersøkes nærmere.
- Tilkoblet og autonome maskiner: Autonome maskiner kan kobles til andre kjøretøyer (V2V) slik som autonome busser. Styringssystemet fra et kontrollrom bør i fremtiden kunne testes med hjelp av Applied Autonomys kontrollsenter.
- Signalprioritering: Autonome maskiner kan kobles til infrastruktur (V2X) for eksempel trafikklys og få prioritering når de krysser vegen på fotgjengerovergang eller krysser vegen når det er grønt lys for fotgjengere (med hjelp av Applied Autonomys kontrollsenter).
- On-demand system: Endring i ruten må testes nærmere, blant annet ved å se på tilfeller hvor operatøren fra et kontrollrom må svare raskt på behovet for å planlegge en ny rute. En slik test kan i første omgang simuleres for å evaluere effekten på trafikk og trafikanter.
- Fremkommelighet og sikkerhet for fotgjengere og syklister: SVVs ITS-programmet og FoU Bevegelse-programmet fokuserte på hva som faktisk skal til for å sikre at det er trygt å sende selvkjørende børstemaskiner ut på vegen. I det videre må det undersøkes hvordan en autonom maskin bør kjøre på en effektiv måte rundt bymøbler, lysstolper eller benker, skilt, hvordan må maskinen oppføre seg hvis det er trapper, innganger, garasjer, utkjøring, snarveger for syklister og fotgjengere, osv. samt hvordan maskinen bør kjøre langs en vegg hvis det er trapp eller utgang uten god sikt for trafikantene.
- Kunstig intelligens: Maskinen bør ikke forstyrre fremkommeligheten for myke trafikanter, men per i dag kan ikke systemet evaluere trafikantenes fart eller predikere adferd. Kunstig intelligens vil kunne bidra til å predikere hvor en person vil sykle eller gå videre basert på kroppsspråk eller trafikkforhold.

7 Referanser

- [1] T. Bjørnskau, O. Johansson, P. Pokorny og B. Skender, «Publikums reaksjoner på selvgående driftsmaskin i Kongsberg. TØI rapport 1798/2020.,» 2020.
- [2] [Internett]. Available: <https://www.idriverplus.com/>.
- [3] M. Slovick, «Autonomous Sweepers keep roads clean in major Chinese cities,» 2019.
- [4] Spring Mobility GmbH, «Spring S100 User Manual,» 2020.
- [5] R. 2. Ronke, «Procedure for mapping an area for autonomous operations of the Spring S100N sweeper.».
- [6] L. Mæhlum, «RTK – Real Time Kinematic. Store norske leksikon/Geografi/Kart og geomatikk/Geomatikk,» 2020.
- [7] R. 2. Ronke, «Klokkebakken.pdf».
- [8] G. Jenssen og T. Moen, «Trafikksikkerhet for automatiserte kjøretøy. Smartfeeder: Erfaringer fra norske piloter med selvkjørende minibusser. Sintef rapport.,» SINTEF, 2020.



Teknologi for et bedre samfunn

www.sintef.no