

Ruben Rokstad

Simulering av vinterdriftstjenester – utvikling av en utkallingsalgoritme

Masteroppgave i Bygg- og miljøteknikk

Veileder: Alex Klein-Paste

Medveileder: Nafiseh Mohammadi

Juni 2022

Ruben Rokstad

Simulering av vinterdriftstjenester – utvikling av en utkallingsalgoritme

Masteroppgave i Bygg- og miljøteknikk
Veileder: Alex Klein-Paste
Medveileder: Nafiseh Mohammadi
Juni 2022

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet
Fakultet for ingeniørvitenskap
Institutt for bygg- og miljøteknikk



Kunnskap for en bedre verden

Sammendrag

Vinterdrift sikrer fremkommelighet langs det norske vegnettet på vinterstid og utgjør en stor andel av driftsbudsjettene. Små endringer kan gi store utslag i saltforbruk, kjørte kilometer og tilhørende kostnader. Dette er bakgrunnen for ønske om å simulere vinterdrift på et taktisk og strategisk nivå. Simulering gjør det mulig å se effekten av endringer uten å gjennomføre kostbare og tidkrevende undersøkelser. Følgende forskningsspørsmål ble definert for belyse tematikken:

1. Hvordan kan man forutse nødvendig vinterdrift?
2. Hvor god vil prediksjonsytelsen til en utkallingsalgoritme være?

Metodene benyttet i masteroppgaven er litteraturstudie, uformelle intervju, observasjon, analyse av flåtestyringsdata og modellutvikling. Litteraturen avdekket ulike tilnæringer til simulering av ulike deler av vinterdrift, med tilhørende kriterier, grenser og parametere. Det ble gjennomført befarings (observasjon) og analyse av flåtestyringsdata for en 23 kilometer lang strekning av E18 på Sørlandet. Vegen er en firefelts motorvei med nærhet til kysten, som driftes med høyeste driftsklasse tilknyttet vinterdrift.

For å forutse nødvendig vinterdrift ble det utviklet en værhendelsesmodell og en tiltaksmodell som til sammen utgjør en utkallingsalgoritme. Værhendelsesmodellen identifiserer perioder basert på tre værhendelser som kan utløse behov vinterdrift. Den første værhendelsen er *våt*, dette innebærer våt vegbane med synkende temperatur eller regn på frosne vegbane. Den andre er *rim* som identifiserer om forholdene for avsetning av vanddamp på vegoverflaten er til stede. Den tredje er *snø* som undersøker når nedbør kommer som iskrystaller. Tiltaksmodellen analyserer værhendelsene og predikerer behov for vinterdrift (tiltak) basert på definerte parametere, kriterier og grenser funnet i litteratur, intervju, observasjon og kalibrering.

Over de to analyserte vintersesongene finner værhendelsesmodellen 190 værhendelser med varighet på mellom 0,5-50 timer sammensatt av en eller flere vær fenomener. Værhendelsene utgjør 16% av de totalt 8250 timene med tilgjengelig værdata.

Tiltaksmodellen analyserer så værhendelsene og predikerer behovet for vinterdrift. Prediksjonen gir antall tiltak som må gjennomføres med enten *brøyting og salting* eller *salting*, og tidspunkt for gjennomføring. De *predikerte tiltakene* sammenlignes så mot historisk gjennomførte *faktiske tiltak*, fra flåtestyringsdata. Værhendelsesmodellen identifiserer 86% av de faktiske tiltakene over den analyserte perioden. Ved å sammenligne antall faktiske og predikerte tiltak direkte, overestimerer utkallingsalgoritmen med 2%. Da modellen er kalibrert mot all flåtestyringsdataen øker avvikene ved å skille mellom type tiltak og enkelt-sesonger. I sesongen 2020/2021 overestimerte modellen antall tiltak med 39%, mens den underestimerte antall tiltak med 16% i 2021/2022. Dette ses i sammenheng med at det for vintersesongen 2021/2022 (0,39 tiltak/time) ble gjennomført 44% flere faktiske tiltak per time værhendelse, enn for sesongen 2020/2021 (0,27 tiltak/time). Tiltaksmodellen beholdt derimot den samme raten på 0,4 tiltak per time værhendelse, gjennom begge sesongene. Dermed ble det gjennomført flere tiltak per time værhendelse i vintersesongen 2021/2022.

Utkallingsalgoritmen gir dermed en tilnærming til simulering av vinterdrift, og kan enkelt justeres til å anvendes på to-, tre- eller firefelts- riks- og fylkesveger driftet med driftsklasse DkA eller DkB, med ulik trafikkmengde. Prediksjonsytelsen er ikke høy nok til å fungere på et operativt nivå, men modellen har en akseptabel prediksjonsytelse av nødvendig vinterdrift for et strategisk og taktisk nivå.

Abstract

Winter operations ensure accessibility along the Norwegian road network during the winter and make up a large proportion of the operating budgets. Small changes can have a big impact on fuel consumption, the number of driven kilometers and associated costs. This is the background for the desire to simulate winter operations on a tactical and strategic level. Simulation makes it possible to see the effect of changes without conducting costly and time-consuming investigations. The following research questions were defined to shed light on the topic:

1. How to predict the necessary extent of winter maintenance?
2. How good will the prediction performance of a winter maintenance algorithm be?

The methods used for this master's thesis are literature study, informal interviews, observation, analysis of fleet management data and model development. The literature revealed different approaches to simulating different parts of winter operation, with associated criteria, limits and parameters. An inspection (observation) and analysis of fleet management data were carried out for a 23-kilometer stretch of E18 in Sørlandet, Norway. The road is a four-lane highway close to the coast, and is operated with the highest operating class associated with winter operation.

In order to predict the necessary winter operation, a *weather event model* and a *model of measures* were developed, which gives a *winter-maintenance-algorithm*. The weather event model identifies periods based on three weather events that can trigger the need for winter operation. The first weather event is *wet*, which entails falling temperatures when the road is wet or rain on an already frozen road. The second is *rime*, which identifies whether the conditions for hoar frost on the road surface are present. The third is *snow* which examines what precipitation comes as ice crystals. The measure model analyzes the weather events and predicts the need for winter operations (measures) based on defined parameters, criteria, and limits found from literature, interviews, observation, and calibration of the algorithm.

The weather event model finds 190 weather events with a varying length of 0,5-50 hours, composed of one or more weather phenomena. The weather events make up 16% of the total 8250 hours of available weather data.

The model of measures then analyzes the weather events and predicts the need for winter operations. The prediction gives the number of measures that must be implemented with either *plowing and salting* or *salting*, and time for implementation. The predicted measures are then compared against historically implemented *actual measures*, from fleet management data. The weather event model identifies 86% of the actual measures over the analyzed period. By comparing the number of actual and predicted measures directly, the *winter-maintenance-algorithm* overestimates by 2%. As the model is calibrated against the fleet management data, the discrepancies increase by dividing them between the types of measures and between seasons. For the season 2020/2021, the model overestimates the number of measures by 39%, while it underestimates the number of measures by 16% for the season of 2021/2022. This must be seen in correlation with the fact that the winter season of 2021/2022 (0,39 measures/hour) had 44% more measures per hour of weather events, compared to the measures taken in the previous season (0,27 measures/hour). The model of measures, on the other hand, maintained the same rate of 0,4 measures per hour of weather events, through both seasons. Thus, there were done more measures per hour of weather events in the winter season of 2021/2022.

The *winter-maintenance-algorithm* thus provides an approach to simulating winter operation, and can easily be adjusted to be used on other two-, three- or four-lane national or county roads operated with high operating classes (DkA or DkB), with different traffic volumes. The prediction performance is not high enough to function at an operational level, but the model has an acceptable prediction performance for necessary winter operations at a strategic and tactical level.

Forord

Masteroppgaven er gjennomført våren 2022, og er skrevet som avsluttende oppgave for masterstudiet i Bygg- og miljøteknikk ved NTNU i Trondheim. Hovedveileder fra NTNU har vært professor Alex Klein-Paste og doktorstipendiat Nafiseh Mohammadi har vært biveileder. Jeg vil takke dem begge for god veiledning, gode faglige diskusjoner og motiverende samtaler igjennom arbeidet.

Oppgaven er gjennomført i samarbeid med RISA. De har sikret tilgang til data og systemer, samt tilrettelagt for intervju og observasjon. Det rettes dermed en takk til RISA, og spesielt til prosjektingeniør Stein Arild Boi Pedersen som har vært kontaktpersonen min.

Arbeidet med oppgaven har vært lærerikt og interessant. Jeg var heldig nok til å få jobbe med et tema jeg fant svært spennende og tidsriktig. Arbeidet har gitt innsyn og økt forståelse for hvordan en viktig del av driften av vegnettet blir gjennomført.

Det rettes også en takk til venner og familie som har hjulpet med motivasjon under både opp- og nedturene i arbeidet med oppgaven.



Ruben Rokstad

Trondheim, juni 2022

Innhold

Figurer	xi
Tabeller	xiii
1 Innledning	1
1.1 Bakgrunn	1
1.2 Forskningsspørsmål	2
1.3 Avgrensninger og forutsetninger	2
1.4 Ordforklaringer	2
1.5 Oppgavens oppbygning	3
2 Litteraturgjennomgang	4
2.1 Vinterdrift	4
2.2 Værhendelser	5
2.3 Driftskontrakter	6
2.4 Snøbrøyting	7
2.4.1 Maskiner og utstyr for brøyting	7
2.4.2 Brøyteteknikk	7
2.5 Saltingstiltak	8
2.6 Viktige faktorer ved driftsopplegg	10
2.7 Beslutningsstøtte	11
2.7.1 Operative	11
2.7.2 Strategisk og taktisk	16
2.8 Oppsummering	19
3 Metode	20
3.1 Case	20
3.1.1 Strekningen	20
3.1.2 Klima og området	21
3.1.3 Flåtestyringsdata	21
3.1.4 Uformelle intervju og observasjon	22
3.2 Litteraturstudie	22
3.3 Bearbeiding av flåtestyringsdata	24
3.3.1 Filtrering av relevant data	25
3.3.2 Fra periode-tiltak til enkelttur-tiltak	25
3.3.3 Mangelfull data	29
3.4 Værdata	29
3.5 Værhendelsesmodell	31
3.6 Tiltaksmodell	33
3.7 Utkallingsalgoritme	37
3.8 Kalibrering og validering	38
3.8.1 Manuell	38
3.8.2 Automatisk	40
4 Resultater	44
4.1 Uformelle intervju og observasjoner	44
4.1.1 Logistikk	44
4.1.2 Beslutningsstøtte	44
4.1.3 Gjennomføring av tiltak	45
4.1.4 utfordringer	46
4.2 Værhendelsesmodell	46

4.3	Prediksjonsytelse	49
4.3.1	Antall tiltak over hele perioden	49
4.3.2	Nøyaktighet under værhendelser	53
5	Diskusjon	57
5.1	Identifisere værhendelser og nødvendige parametere	57
5.1.1	Datakvalitet	57
5.1.2	Menneskelige vurderinger	58
5.1.3	Forenklinger i modellen	59
5.2	Prediksjonsytelse	61
5.2.1	Hele perioden	61
5.2.2	Nøyaktighet under værhendelser	62
5.3	Anvendbarhet	64
6	Konklusjon	66
7	Videre arbeid	67
	Referanser	68
	Vedlegg	72

Figurer

1	Vinterdriftsklasser og godkjente føreforhold (SVV R610 [3, s. 120]). . .	5
2	Brøyting på tofeltsveg (SVV Nr.673 [10, s. 152]).	8
3	Tandemkjøring under vinterdrift på en firefeltsveg (SVV Nr.673 [10, s. 152]).	8
4	Spredemetoder for strøing med salt (SVV Nr.673 [10, s. 277]).	9
5	Eksempel på meteogram for Tvedestrand (YR [15]).	12
6	Brukergrensesnitt til Danmarks trafikkinformasjons-nettside (Vejdirektoratet [27]).	14
7	Skjermutklipp fra VegVær-modellen til Statens vegvesen. Vegbanetemperatur i svart, relativ fuktighet i grønn, lufttemperatur i rød og duggpunkt i lilla. Den grønne og blå linjen svarer til prognose av føreforhold; som er henholdsvis <i>ingen ny nedbør</i> og <i>våt vegbane</i> (SVV [30]).	15
8	Analysert strekning av E18 mellom Arendal og Tvedestrand markert på kartutsnittene. Fargekodene definerer delene innenfor og utenfor roden, samt lagerplassering (Google Maps [45]).	20
9	Anvendt metode for litteratursøk.	24
10	Analyse av et gjennomført tiltak med posisjon som funksjon av tid. Analysen leter etter stopp- og vendepunkter (Tidsformat: [MM-DD tt]). . . .	26
11	Analyse av et gjennomført tiltak med posisjon som funksjon av tid. Kryssningspunktene svarer til passering av et punkt langs roden (Tidsformat [Epoch]).	27
12	Beregnete gjennomsnittstider mellom endende av roden, samt tiden fra/til det definerte filterpunktet på breddegrad 58,55.	29
13	Kartutsnitt av strekningen der roden er markert i blått og, de seks nærmeste værstasjonene tilknyttet strekningen er markert (Kartdata: Nor-kart [56]).	30
14	Oppbygging av værhendelsesmodellen med definert input og output. . .	32
15	Oppbygging og sammensetning av tiltaksmodellen.	34
16	Håndtering av overlapp mellom tiltak i tiltaksmodellen.	34
17	Oppbyggingen av den komplette utkallingsalgoritmen.	38
18	Faktiske og predikerte tiltak plottet mot hverandre som funksjon av tid og vær. Stjerner opp er predikerte tiltak, mens faktiske tiltak vender nedover (Tidsformat: [MM-DD tt]).	39
19	Nærmeste nabo validering. Hvert faktiske tiltak (stjerne ned) får et søkeområde på $[t-4, t+4]$ markert på figuren i svart, for å kontrollere om det er matchende predikerte tiltak(stjerne opp) (Tidsformat: [MM-DD tt]). .	41
20	Andel av værdata definert som en værhendelse og opptredende vær fenomener i værhendelsene for vintersesongen 2020/2021 og 2021/2022. Værhendelsene utgjør 1340 timer av hele værdatasettet på 8250 timer.	47
21	Fordeling av værhendelser basert på varighet og type værhendelse. . . .	48
22	Sammenligning av antall faktiske og predikerte tiltak.	49
23	Sammenligning av faktiske og predikerte tiltak tilknyttet <i>brøyting og salting</i> og <i>salting</i>	50
24	Sammenligning av antall faktiske og predikerte tiltak i de ulike vinterse- songene.	50
25	Spredning av værhendelser og faktiske og predikerte tiltak for vinterse- songen 2020/2021 og 2021/2022.	51
26	Andel av faktiske tiltak som skjer under en værhendelse funnet av utkal- lingsalgoritmen.	52

27	Andel av faktiske tiltak som ikke har matchende predikerte tiltak (<i>Søkeområde</i> $[t-4, t+4]$).	52
28	Andel av værhendelser delt inn etter om den inneholder faktiske og/eller predikerte tiltak.	53
29	Totalt antall faktiske og predikerte tiltak sortert etter værhendelsenes varighet. Plottet mot tiltak per time i hvert intervall.	54
30	Tiltak per time værhendelse i de ulike vintersesongene.	54
31	Antall værhendelser med tiltak plottet mot gjennomsnittlig absolutt feil mellom antall faktiske og predikerte tiltak i hvert intervall med værhendelser.	56

Tabeller

1	Generelle mål for drift og vedlikehold basert på fremkommelighet, trafiksikkerhet, miljø, universell utforming, service og vegkapital (SVV R610 [3, s. 13]).	4
2	Krav, aktiviteter og føreforhold til ulike driftsperioder (SVV R610 [3, s. 119]).	6
3	Parametere i den danske saltindeksen (Vejdirektoratet [38, s. 5]).	17
4	Oppsummering av de viktigste kravene til driftsklasse DkA (Fra håndbok R610 [3]).	21
5	Fordeling av gjennomførte tiltak basert på type i perioden 10/2019-02/2022.	25
6	Utklipp av resultat fra analyse for å finne antall kjørte runder i hver tiltaksrapport fra flåtestyringsdata.	28
7	Tidsbruk mellom Arendal-Tvedestrand og det definerte filterpunktet (Tidsformat: [tt:mm:ss]).	28
8	Utdrag av resultatet fra værhendelsesmodellen. Modellen viser perioder med værhendelser og i intervaller basert på aktivt værphenomen.	33
9	Oppsummering av verdier og parametere for værhendelsesmodellen satt med utgangspunkt i intervju, samtaler og litteratur.	33
10	Oppsummering av verdier for delmodellen rimdannelse satt med utgangspunkt i intervju, samtaler og litteratur.	35
11	Oppsummering av verdier for delmodellen våt-vegbane satt med utgangspunkt i intervju, samtaler og litteratur.	36
12	Oppsummering av verdier for delmodellen snøfall satt med utgangspunkt i intervju, samtaler og litteratur.	37
13	Feilmatrix for beregning av Cohen's kapp for begge år.	42
14	Retningslinjer fra Landis og Koch [60] til å tolke verdier fra en Cohen's Kappa-test.	42
15	Alle parametere fra værhendelsesmodellen og tiltaksmodellen samlet fra tabell 9, 10, 11 og 12 med initial- verdi og justert verdi fra kalibrering og validering. Justerte parametere er satt i kursiv.	43
16	Oversikt av værdata og værhendelser fordelt mellom de analyserte sesongene.	46
17	Fordeling av tiltak mellom flåtestyringsdata og utkallingsalgoritmen under værhendelser.	55
18	Beregning av Cohen's kapp av data fra faktiske og predikerte tiltak, under værhendelser funnet av utkallingsalgoritmen.	55

1 Innledning

1.1 Bakgrunn

Vinterdrift av det norske vegnettet er en nødvendighet for å sikre god fremkommelighet og en trygg trafikkavvikling gjennom vinteren. Vinterdriften skal bli gjennomført på en måte som ivaretar miljøhensyn, så langt det lar seg gjøre. På vegene driftet av statens vegvesen (Europa- og riksveger) ble det vinteren 2020/2021 brukt 82 000 tonn salt, 132 000 tonn sand og kjørt 6,7 millioner brøytekilometer [1]. Dette gir et betydelig utslipp av CO_2 årlig, og må reduseres for å nå klimamålene i NTP (Nasjonal transportplan) [1]. Utslipp tilknyttet vinterdrift varierer for hver sesong ut ifra værforholdene. Sett bort fra de naturlige svingningene er det nødvendig å redusere utslippsavtrykket på en bærekraftig måte.

Dette skaper et behov for å optimalisere og redusere utslippene tilknyttet vinterdrift. Behovet for vinterdrift styres av en rekke faktorer som snøfall, temperatursvingninger, plassering og veggeometri. Den valgte Vinterdriftsstrategien definerer føreforholdene som skal gjelde for strekningen. Vinterdrift handler om å minske påvirkning av værhendelser som reduserer føreforholdene; gjennom brøyting, salting, sanding eller en kombinasjon av disse.

Små endringer i vinterdriften kan dermed gi store utslag i et nasjonalt perspektiv med tanke på tidsbruk, kostnader og utslipp. Endringene kan gjøres på ulike nivåer; på et strategisk, taktisk eller operasjonelt nivå. Strategiske tiltak kan bestå av endringer av driftsklasser med tilhørende krav og endringer i kontraktstrategi, kontraktskrav og oppgjørsform. Taktiske tiltak kan omfatte alternative brøyteplaner, lagerplassering, rodeinndeling eller hvilket utstyr som benyttes. Operasjonelle tiltak kan bestå av endringer i kjøreplaner, overvåkningsrutiner og benytte nye teknologiske løsninger. Det er både tidskrevende og kostbart å dokumentere effekten av endringer i fullskala-testing på de ulike nivåene.

Dette er bakgrunnen for ønsket om å simulere vinterdrift. Simulering handler om å gjenskape en situasjon, en prosess eller et hendelsesforløp. Det er en teknikk som anvendes i mange sammenhenger for å støtte beslutningstakere. Gjennom simulering er det mulig å utforske endringer og justeringer av blant annet vinterdrift, uten å måtte gjennomføre tidskrevende og kostbare forskningsprosjekter.

En tilnærming til simulering av vinterdrift er å simulere den operative delen av vinterdriften basert på tilgjengelig beslutningsstøtte. I dag overvåkes gjeldende føre- og værforhold primært gjennom menneskelig observasjon, og tiltak utløses basert på dette. Det utvikles stadige mer omfattende beslutningstøtter som bildegjenkjenning av føreforhold og tilhørende friksjon [2]. Men per nå er de primært hjelpemidler til å støtte de fortsatt manuelle og menneskelige vurderingene som blir tatt, i forhold til gjennomføring av vinterdrift.

I forsøket på å optimalisere deler av vinterdriften, er det trolig ikke nødvendig å ha en modell som prediker nødvendig vinterdrift nøyaktig på et operasjonelt nivå. Mens ved å simulere det operasjonelle nivået med en akseptabel nøyaktighet, vil det være mulig å simulere endringenes påvirkning på et taktisk og strategisk nivå. Det gir et ønske om en modell som er i stand å predikere innsats (antall operasjoner som brøyting, salting osv.) for en gitt strekning, med sine randbetingelser som valgt driftsklasse, trafikksammensetning og klima.

1.2 Forsknings spørsmål

Målet med denne oppgaven er å utvikle en utkallingsalgoritme som kan predikere behov for vinterdrift basert på historisk værdata på en timesbasis. Studien kartlegger videre hvor godt en slik algoritme klarer å treffe på historisk gjennomførte utkallinger på tilhørende værdata. Følgende forsknings spørsmål blir besvart gjennom masteroppgaven:

1. Hvordan kan man forutse nødvendig vinterdrift?
2. Hvor god vil prediksjonsytelsen til en utkallingsalgoritme være?

Hovedfokuset i oppgaven ligger på å besvare de to forsknings spørsmålene, men oppgavens overordnede mål er ønsket om å simulere vinterdrift. Simuleringen sikter på å støtte beslutningstakere på et taktisk og strategisk nivå.

1.3 Avgrensninger og forutsetninger

Masteroppgaven bearbeider kun flåtestyringsdata fra en strekning av E18 mellom Arendal og Tvedestrand, på Sørlandet. Den analyserte dataen baseres dermed på en firefelts motorvei som driftes med den strengeste vinterdriftsklassen, DkA. Det innebærer en simuleringstilnærming der salt brukes som preventivt tiltak for å opprettholde og gjenopprette bar veg, og godkjent føreforhold er bar veg (våt/tørr) [3]. Deler av vinterdrift som blir gjennomført i lavere driftsklasser eller på andre veger enn riks- og fylkesveger blir ikke undersøkt videre. Det betyr at det ikke simuleres for dannelse av en snø-/issåle eller bruk av sand som tiltak.

1.4 Ordforklaringer

Flåtestyringsdata Data fra RISA sine kjøretøy. Inkludert posisjon og tiltak.

Tiltak En komplett kjørt runde/tur av roden med ett kjøretøy (*topp-bunn-topp* eller *bunn-topp-bunn*).

Faktiske tiltak Historisk gjennomførte tiltak fra flåtestyringsdata.

Predikerte tiltak Tiltak predikert av utkallingsalgoritmen (utviklet modell i denne studien).

Runde/tur Henviser til ett gjennomført tiltak.

Våt Vegbane med synkende temperatur eller regn på frossen vegbane.

Snø Nedbør i form av iskrystaller som vanligvis er kittet sammen til snøfugg [4].

Rim Vanndamp som fryser til iskrystaller på faste underlag (vegbane) [5].

1.5 Oppgavens oppbygning

Det første kapittelet er innledningen, med hensikt å forklare hvorfor det er ønskelig å simulere vinterdrift. Her blir forskningsspørsmålene presentert sammen med studiets avgrensninger.

I kapittel to presenteres generell teori tilknyttet vinterdrift og gjennomføring av den. Etterfulgt av et bredt litteratursøk av tilgjengelig beslutningsstøtte for vinterdrift. Det omfatter nasjonale og internasjonale tilnærminger på ulike nivåer (taktisk, strategisk og operasjonelt).

Det tredje kapittelet tar for seg metoden som er brukt i oppgaven, og beskriver hvordan de ulike delene av oppgaven er planlagt og gjennomført. Først presenteres strekningen og den tilhørende tilgjengelige dataen. Etterfulgt av en kort beskrivelse av intervjuer og litteraturstudie. Metoden går så videre til gjennomføring av datainnsamling og analyse. Deretter beskrives utviklingen av ulike modeller, og til slutt hvordan disse modellene ble kalibrert og validert.

Resultatene presenteres i kapittel fire, med en gjennomgang av hovedpunktene fra de gjennomførte intervjuene og observasjonen. Etterfulgt av resultatene fra utkalingsalgoritmens prediksjonsytelse.

Kapittel fem er diskusjonen. Her blir resultatene drøftet mot forskningsspørsmålene og oppgavens overordnede mål. Dette gjøres i lys av teori og litteratur som er funnet. Det diskuteres forenklinger og deres påvirkning på prediksjonsytelsen. Til slutt diskuteres modellens muligheter for bruk til simulering av vinterdrift.

Kapittel seks er konklusjon som summerer de viktigste funnene, sett mot forskningsspørsmålene.

Kapittel sju beskriver forslag til videre arbeid.

2 Litteraturgjennomgang

2.1 Vinterdrift

Statens vegvesen har ansvaret for drift og vedlikehold av riksvegnettet, og arbeidet blir tildelt entreprenører gjennom femårskontrakter. Vinterdriften utgjør ca. 20% av de årlige kostnadene tilknyttet drift og vedlikehold [6][7].

Drift av veg omfatter alle aktiviteter og innsats som er nødvendig for å sikre trafikanter fremkommelighet fra A til B, på en trygg og effektiv måte. Driftsoppgaver er typisk oppgaver som må gjentas flere ganger og gjennom hele året. Det omfatter aktiviteter som vask og rengjøring, oppretting av skilt, trafikantinformasjon, snørydding/brøyting og forbedring av friksjon. I tillegg vil det være behov for å ha gode data på værvarsling og andre systemer for å bedre kunne iverksette preventive tiltak i forkant av værhendelser [8]. Vedlikehold av veg har typisk et lengre perspektiv og skal ivareta den fysiske infrastrukturen; som vegdekke og grøfter.

Håndbok R610 - *Standard for drift og vedlikehold av veger* tar for seg krav knyttet til drift og vedlikehold av veger [3]. Tabell 1 oppsummerer de generelle målene Statens vegvesen har tilknyttet drift og vedlikehold med hensyn til fremkommelighet, trafikksikkerhet, miljø, universell utforming, service og vegkapital.

Tabell 1: Generelle mål for drift og vedlikehold basert på fremkommelighet, trafikksikkerhet, miljø, universell utforming, service og vegkapital (SVV R610 [3, s. 13]).

Framkommelighet:	Lave transportkostnader og kort reisetid for alle trafikanter (gående og syklende, kollektivtrafikk, godstransport, person-transport). God tilgjengelighet for alle trafikanter. Spesielt for utførelse av drift/vedlikehold: Drift og vedlikehold skal utføres slik at det fører til minst mulig forsinkelser eller andre ulemper for alle trafikanter.
Trafikksikkerhet:	Begrense antall skadde og drepte samt materielle skader. Spesielt for utførelse av drift/vedlikehold: Drift og vedlikehold skal utføres slik at gjennomføringen ikke fører til trafikkulykker.
Miljø:	Begrense miljøproblemene knyttet til veger og vegtrafikk samt til utførelsen av drifts- og vedlikeholdsoppgaver mht støy, forurensning, kultur- og naturmiljø, landskapsbilde og arealdisponeringer.
Universell utforming:	Objekter, ruter eller strekninger etablert som en del av universell utforming av transportsystemet, skal beholde sin tiltenkte funksjon gjennom hele året. Drift og vedlikehold skal sikre at øvrige objekter, ruter eller strekninger fungerer i henhold til prinsippene for universell utforming i den grad dette er beskrevet i de spesifikke objektkravene.
Service:	God service overfor trafikanter og vegens naboer.
Vegkapital:	Samfunnmessig optimal forvaltning av eksisterende vegkapital.

Vinterdrift skal ifølge Håndbok R610 - *Standard for drift og vedlikehold av veger* sikre en forutsigbar og god fremkommelighet med god regularitet. Dette skal gjennomføres på en sikker måte som ivaretar miljøhensyn. Det skal sikres sikt for alle trafikanter, og adgang til vegutstyr for de som utfører drift og vedlikehold. Dette oppnås gjennom

å gjennomføre vinterdrift for å redusere periodene med vanskeligere føreforhold. I perioder det aksepteres is- og/eller snødekke på vegen skal det sikres et best mulig veggrep og jevnhet [3].

Omfanget, hyppigheten og type vinterdrift styres i stor grad av vinterdriftsklassene. Det opereres i dag med fem driftsklasser som vist i figur 1. Der de strengeste kravene til godkjent føreforhold er DkA, med synkende krav ned til driftsklasse DkE. En veg med driftsklasse DkA har bar veg som godkjent føreforhold, og benytter salt som preventivt tiltak. Vegen skal tilbakeføres til bar kjørebane innen 2 timer (ved ÅDT < 6000 gjelder 4 timer, men bart hjulspor innen 2 timer). Motsatt er det tillatt med et jevnt dekke av snø og is for veger med driftsklasse DkE. Her benyttes også sand for friksjonsbedring, og tidskravet for å gjenopprette vegbanen til godkjent føreforhold økes til 4 timer [3].

Vinterdriftsklasse A – DkA	Godkjent føreforhold er bar veg (tørr eller våt).
Vinterdriftsklasse B – DkB	Godkjent føreforhold er bar veg (tørr eller våt), hard snø/is tillates utenom hjulspor i begrenset tidsrom.
Vinterdriftsklasse C – DkC	Godkjent føreforhold er bar veg (tørr eller våt) i milde perioder og hard snø/is i kalde perioder.
Vinterdriftsklasse D – DkD	Godkjent føreforhold er hard snø/is.
Vinterdriftsklasse E – DkE	Godkjent føreforhold er hard snø/is. Friksjon ned til 0,20 aksepteres. DkE skal ikke nyttes på riksveg.

Figur 1: Vinterdriftsklasser og godkjente føreforhold (SVV R610 [3, s. 120]).

Valg av vinterdriftsklasser skal gjøres på bakgrunn av den aktuelle strekningens trafikkvolum. I tillegg skal det tas hensyn til vegklasse, trafikk sammensetning, kollektivtrafikk, geometrisk standard, topografi, klima, næringstrafikk og andre lokale variasjoner [3]. Transportruter som naturlig henger sammen skal ikke veksle hyppig mellom driftsklasser, og skal tilstrebes å ha samme driftsklasse. Om standarden endres skal det ikke skje overraskende for trafikanter [7].

Statens vegvesen skriver selv at vinterdrift baseres på vurderinger fra vinterdriftspersonell som igjen baserer sine valg av tiltak på værprognoser [7]. Noen ganger vil det forekomme dårlige værvarsler eller dårlige vurderinger fra vinterdriftspersonell, når dette skjer kan det ta lengre tid før vinterdriften starter. I tillegg vil det til tider være vanskelig å gjennomføre arbeidet for å oppnå ønsket standard av vegbanen. Dette kan skyldes kraftig snøfall over lengre tid eller hyppige endringer i værforhold [7].

2.2 Værhendelser

En værhendelse kan defineres som værforhold som påvirker eller endrer føreforhold bort fra et godkjent føreforhold [3]. Typiske værhendelser vil være nedbør, vind, temperaturendring eller utfelling av fuktighet fra luften. Når en værhendelse starter og avslutter defineres ut fra en totalvurdering; basert på faktorer som grad av påvirkning og tilhørende innsats for å opprettholde og tilbake stille til godkjent føreforhold.

Godkjent føreforhold er føreforholdene som skal tilstrebes under værhendelser, og som skal oppnås og opprettholdes i periodene mellom værhendelser [3]. Vinterdrift er omfattet av drift som utføres i perioden før, under og etter en værhendelse, se tabell 2.

Tabell 2: Krav, aktiviteter og føreforhold til ulike driftsperioder (SVV R610 [3, s. 119]).

	Driftsperioder			
	Før værhendelse		Under værhendelse	Etter værhendelse
	Stabil periode	Varslet værhendelse		Opprydding
Føreforhold	Godkjent føreforhold	Godkjent føreforhold	Avvik fra godkjent føreforhold aksepteres	Tilbakeføring til godkjent føreforhold innen gitt tidskrav
Aktiviteter	Overvåking Vinterdrift for å opprettholde godkjent føreforhold	Overvåking Vinterdrift for å opprettholde godkjent føreforhold Preventive tiltak ved indikasjoner og varsel om kommende værhendelse	Vinterdrift for å søke å opprettholde godkjent føreforhold og for å gjøre avvikene fra godkjent føreforhold minst mulig Overvåking	Vinterdrift for å gjenopprette godkjent føreforhold innen gitt tidskrav Overvåking
Krav	Krav til godkjent føreforhold gjelder	Krav til godkjent føreforhold gjelder	Ved avvik fra godkjent føreforhold: Kontinuerlig innsats med ressurser og utførelse i henhold til krav til innsats Ved godkjent føreforhold: Innsats som er nødvendig for å opprettholde godkjent føreforhold	Ved avvik fra godkjent føreforhold: Kontinuerlig innsats med ressurser og utførelse i henhold til krav til innsats inntil vegen er tilbakeført til godkjent føreforhold

2.3 Driftskontrakter

Vinterdrift er organisert slik at det er vegeier som bestiller driftstjenester som private entreprenører leverer. Driftskontraktene til Statens vegvesen lyses ut på anbud, der ulike entreprenører kan legge inn tilbud.

Etter anbudsprosessen inngås det en Driftskontrakt. Kontraktene har en standard kontraktperiode på fem år, men kan forlenges tre år om dersom begge parter er fornøyde. Driftskontrakten danner grunnlaget for at det skal utføres drifts- og vedlikeholdsoppgaver på vegnettet og tilhørende områder over den kontraktfestede tidsperioden. Entreprenøren plikter seg til å følge bestemmelsene som er gitt i kontrakten [9].

2.4 Snøbrøyting

Snøbrøyting utføres med den hensikt å fjerne løs snø fra et brøyteareal. Et brøyteareal består ikke bare av vegbanen, men kan i tillegg omfatte rasteplasser, busslommer, snuplasser, møteplasser, parkeringsplasser, gang- og sykkelfelt og fortau [3].

Snøbrøyting utføres primært under, eller umiddelbart etter snøvær. For å unngå dannelsen av et hardt nedkjørt snødekke som er vanskelig å fjerne med plog, er det viktig å handle raskt når snøen kommer og før trafikken kompakterer den. Brøyteplovene oppnår best effekt ved brøytehastigheter opp til 40 km/t. Brøytes det med en høyere hastighet reduseres effekten og det blir liggende igjen mer snø i vegbanen. Høy hastighet vil også kunne skade skilt og andre gjenstander langs vegen, eller skape farlige situasjoner om ploven treffer ujevnheter [7].

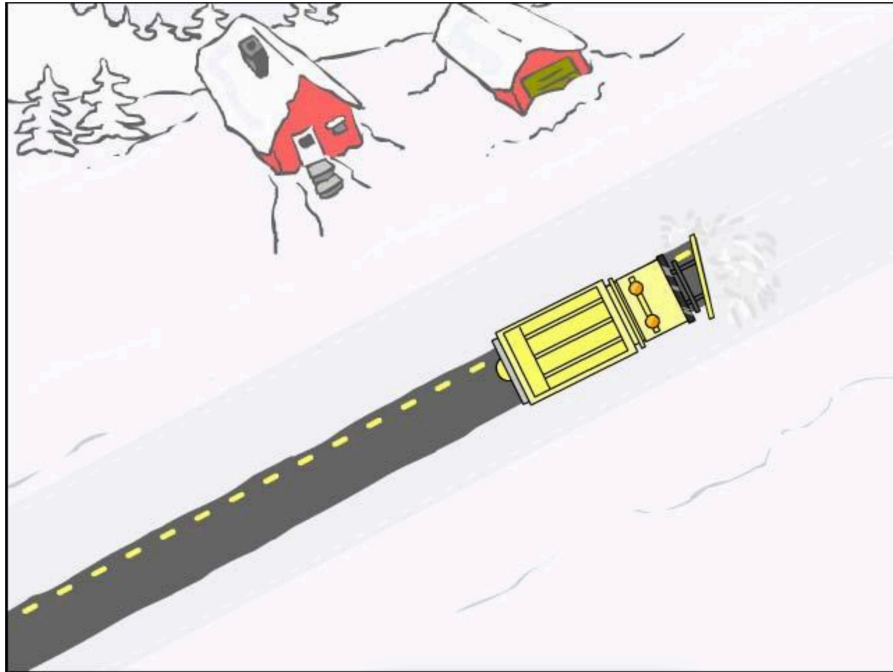
2.4.1 Maskiner og utstyr for brøyting

Det benyttes ulike typer bærekjøretøy til utførelse av brøyting. De mest aktuelle er lastebil, traktor hjullaster, veggøvel og redskapsbærere. Lastebil med frontmontert plog er det mest brukte bærekjøretøyet for fjerning av snø, slaps og is i vinterdrift av riks- og fylkesvegene. Det finnes en rekke ulike frontploger for ulike forhold og hvordan man ønsker å avsette snøen. Lastebiler som brøyter på brede veger eller veger med flere felt kan suppleres med sideplog. Lastebilene kan da i teorien gjøre jobben til to brøytebiler som kjører i tandem. Lastebilene kan også suppleres med underliggende skjær[10].

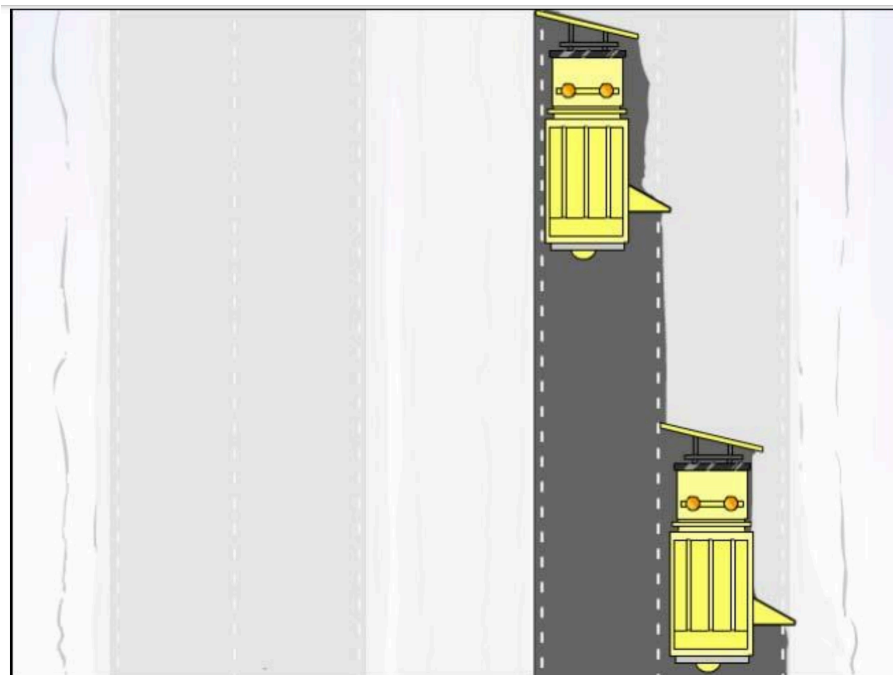
2.4.2 Brøyteknikk

Det benyttes ulike brøytestrategier på to- og flerfeltsveger. På en tofeltsveg er det viktig å forhindre at snø bygger seg opp i midten av vegbanen. Dermed brøytes det så langt til venstre at midtstripa kommer til syne ved brøyting [10]. Dette kan gjøre det nødvendig å brøyte en gang til i samme felt for å få ryddet den ytterste delen av feltet, som illustrert i figur 2.

På veger med flere felt i samme kjøreretning må alle feltene brøytes samtidig. Hvis ikke risikerer man at det blir liggende snø igjen etter ploven i nabofeltet. Derfor gjennomføres det tandembrøyting der flere brøytebiler kjører etter hverandre med kort nok avstand til at hele veibredden brøytes samtidig [7]. Dette foregår med tandemkjøring fra venstre mot høyre. Slik at det første kjøretøyet i følget kaster snøen til høyre til det etterfølgende kjøretøyet. Avstanden mellom kjøretøyene burde være så kort som mulig for å forhindre at vanlig trafikk presser seg mellom, som vist i figur 3. Brøyting skal gjennomføres så langt ut på vegkanten som kjørebane er "kjøresterk" [10]. Avhengig av vegklasse, veggeometri og vinterdriftsklasser er det dermed ulike krav til hvor mange kjøretøy som må være i beredskap og som eventuelt må kjøre samtidig, ved gjennomføring av tiltak.



Figur 2: Brøyting på tofeltsveg (SVV Nr.673 [10, s. 152]).



Figur 3: Tandemkjøring under vinterdrift på en firefeltsveg (SVV Nr.673 [10, s. 152]).

2.5 Saltingstiltak

Salting av veger er et hjelpemiddel for å ivareta eller oppnå bar veg. Bruken av salt skal samordnes med den øvrige vinterdriften. Det skal i hovedsak benyttes som tiltak i forkant av en forventet værhendelse som kan redusere kjøreforholdene [10]. Det skal brukes så lite salt som mulig for å oppnå ønsket effekt, da salt kan skade miljø, utstyr og materialer [11].

Statens vegvesen operer med fire ulike måter salt kan spres på vegbanen. Det er tørt salt, befuktet salt, befuktet finkornet salt (slurry) og saltløsning. De ulike spredemetodene er vist i figur 4. Type salt velges basert på hensikt, trafikk-, vær- og vegbaneforhold. I tillegg vill ulike kontrakter og lokale bestemmelser påvirke valgt saltingsmetode [11]. Det er uavhengig av valgt metode, natriumklorid (NaCl) som blir benyttet som salt til vinterdriften i Norge. Anbefalt hastighet for strøing med befuktet salt er 40 km/t, likt som høyeste tillatte brøyte hastighet. Ved spredning av ren saltløsning kan hastigheten økes noe, men ikke over produsentens anbefaling [10].



Figur 4: Spredemetoder for strøing med salt (SVV Nr.673 [10, s. 277]).

Tørt salt er tørre saltkorn som blir spredd utover vegbanen. Korngraderingen er ikke så viktig, og det er en enkel og billig metode. Gitt at det er snø på vegen eller at vegbanen er fuktig kan metoden være effektiv. Hvis vegen derimot er tørr vil mye av saltet blåses av som følge av trafikken. Tørt salt vil også reagere langsommere enn andre metoder, da saltet må løses opp i løsning før det blir effektivt. Metoden egner seg dermed primært som et preventivt tiltak når vegbanen fuktig eller under snøvær [11].

Befuktet salt er saltkorn som blir befuktet med vann eller saltløsning på sprederen før det spres på vegbanen. Hensikten ved å tilføre væske er å forbedre vedhefte mellom saltet og vegbanen, for å unngå avblåsning. I tillegg oppnår man en mer effektiv løsning, da noe av saltet er i løsningsform når det blir spredd ut. Metoden egner seg både som et preventivt tiltak på både våt og tørr vegbane, samt under snøvær [11].

Finkornet befuktet salt (slurry) fungerer på samme måte som befuktet salt. Men minst 50% av saltkornene må være mindre enn 1 mm og de resterende mindre enn 4 mm. Forskjellen fra vanlig befuktet salt er mindre korn, som raskere går over til løsning. Dermed oppnås det raskere effekt av salttiltaket [10].

Statens vegvesen ønsker at løse snø og is først og fremst skal fjernes ved bruk av mekaniske metoder. Dermed vil god og hyppig brøyting gi gode kjøreforhold og et lavere saltforbruk. I vinterdriften er det tre hovedprinsipper for å utnytte saltets egenskaper: anti-ising, anti-kompaktering og de-ising [10].

Anti-ising består av å forhindre dannelsen av is på vegene. Vann på en fuktig vegbane vil fryse ved frysepunktet på 0 °C, og varme trekkes ut av systemet. Dette kan forekomme gjennom konvektiv kjøling hvis lufttemperaturen er lavere enn frysepunktet for vann, konduktiv nedkjøling av nedbør som faller på en frossen vegbane eller avkjøling ved stråling på klare netter. For å unngå tilfrysing av vegbanen kan man enten redusere frysepunktet til vann, eller tilføre varme til systemet for å kompensere for varmetapet. Tilføring av varme i systemer er i de fleste tilfeller for dyrt og lite effektivt, men kan forsvares på mindre områder som broer og fortau [12]. Statens vegvesen utnytter hovedsakelig at salt senker frysepunktet til vann, for å få en snø- og isfri vegbane. Frysepunktnedsettelsen bestemmes av saltkonsentrasjonen på vegbanen. En høy konsentrasjon vil redusere frysepunktet mer enn en lavere konsentrasjon. En mettet saltløsning vil maksimalt kunne gi en frysepunktnedsettelse på -21 °C, med en tilhørende saltkonsentrasjon 23,3% [10].

Anti-kompaktering handler om å unngå at snøen pakker seg, slik at den blir enklere å fjerne ved brøyting. Snø som blir komprimert med en viss belastning medfører at snøkrystaller presses sammen og berører hverandre. Det oppstår da bindinger mellom snøkrystallene og vegbanen, og snølaget blir sterkere og vanskeligere å fjerne. Ved å tilføre salt binder ikke snøkrystallene seg like lett til hverandre eller vegbanen. Dermed oppstår det ikke like raskt et is- og/eller snødekke. Ved salting før, under og etter snøfall legger man grunnlaget for å enklere fjerne snø og is mekanisk [12].

De-ising benyttes for å fjerne snø og is kjemisk fra vegbanen. Dette gjøres ved å tvinge isen til å smelte ved å redusere frysepunktet til vann. Saltets smelteevne avtar ved lavere temperaturer. Salt skal heller ikke benyttes på tykk is- eller snøsåle for å smelte alt, men er ment for å svekke/løse opp såler/is for å lettere kunne fjernes mekanisk [12]. For fordeling av saltet og bidrag til knusing av is- og snøsålen er trafikkpåvirkning en viktig faktor.

2.6 Viktige faktorer ved driftsopplegg

En rode kan defineres som den arbeidsstrekningen som er angitt i en vinterplan for en bestemt maskin eller kjøretøy ved utførelse av vinterdrift. Strekningens lengde blir begrenset av at den ikke skal overstige den strekningen som kan kjøres innenfor kravet til syklustid, for den aktuelle operasjonen til gjeldende kjøretøy [13].

Syklustid defineres som tidsbruken mellom hver gang hele brøyte- eller strøarealet er bearbeidet. Forsinkelser som følge av trafikk eller andre hendelser er ikke beregnet inn, men syklustiden er bestemt ut fra krav til maksimal brøyte/strøfart [3].

For å optimalisere driften er lagerplassering, rodelengde, syklustid og kapasitet viktige faktorer. Et lager i direkte nærhet til roden medfører mindre tapt tid i rene transport-etapper [10].

2.7 Beslutningsstøtte

Det er utviklet ulike former for beslutningsstøtte til vinterdrift, med ulikt formål og nivå de skal støtte. For land med kaldt klima og snøfall kan vinterdrift utgjøre en stor del av drift- og vedlikeholdsbudsjettene [6]. Det er derfor viktig å kunne ha tilnærminger for å forstå kostnadene og omfanget av vinterdrift i et større bilde. Samtidig må det være en klar forståelse for hvordan driften blir gjennomført på et operasjonelt nivå, for å lage tilnærminger til de øvre nivåene. Beslutningsstøtte kan dermed deles inn tre ulike nivåer, avhengig av hvem de er ment å hjelpe:

- Operative
- Taktiske
- Strategiske

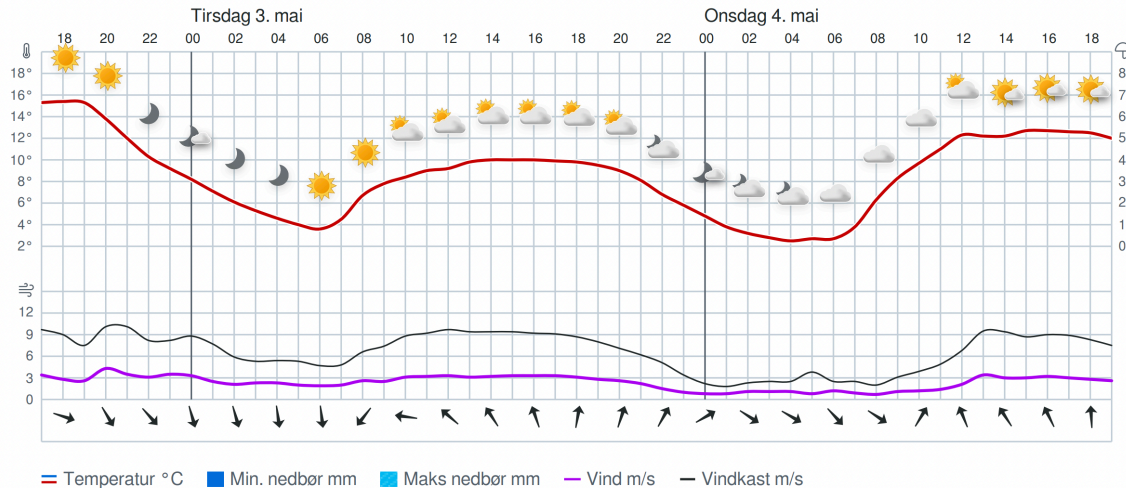
2.7.1 Operative

Den operative beslutningsstøtten omfatter hjelpemidlene som er ment å hjelpe vinterdriftspersonell til gjennomføring av vinterdrift. Det vil si verktøyene som brukes i den daglige gjennomføringen av vinterdrift. For å forstå vinterdrift på et strategisk og taktisk nivå er det essensielt å se hvordan driften blir gjennomført på et operasjonelt nivå. Dette er nødvendig for å forstå de bakomliggende faktorene og vurderingene som ligger bak valgene som blir tatt for gjennomføring av vinterdrift. Det vil være vanskelig å lage simuleringer og tilnærminger av vinterdriften uten denne forståelsen.

I Norge har vinterdriftsentrepreneurer tilgang til systemer fra Statens vegvesen og tradisjonelle værvarsler som *YR.no* og tilsvarende tjenester. Verktøyene gir historisk data som gjør det mulig å følge utviklingen til eksempelvis vegbane- og duggpunktstemperaturen gjennom det siste døgnet. Historiske radar- og Satellittbilder gjør det også mulig å se utviklingen som har vært frem til nåtid. Utover de historiske dataene kommer prognosedataen som omhandler hvilken værtype det forventes fremover. Denne dataen presenteres hovedsakelig gjennom meteogrammer eller rene værmeldinger [10].

Halo er en værtjeneste utviklet av Metrologisk institutt for offentlige samarbeidspartnere [14], som tilbys alle driftsentrepreneurer for Statens vegvesen. Tjenesten gir tilgang på meteogrammer, radarbilder og satellittbilder. Et meteogram er en grafisk fremstilling av et punktvarsel [10]. Avhengig av type meteogram og leverandør er det ofte mulig å hente ut predikert data om luft-, duggpunktstemperatur, vindretning og styrke, lufttrykk og nedbør. Det er illustrert et eksempel på meteogram i figur 5. Satellittbilder gir en oversikt over den overordnede værsituasjonen der det er mulig å gjenkjenne lavtrykk, fronter og skytyper og deres bevegelser. Radarbildene gjenkjenner ikke skydekket, men selve nedbøren. Dette gir god data for den gjeldende nedbørintensiteten og nedbørens bevegelse videre.

Meteogram 2. mai kl. 17:00 – 4. mai kl. 19:00



Figur 5: Eksempel på meteogram for Tvedestrand (YR [15]).

Norge er et langstrakt land med svært ulik topografi, og tilhørende områder i både le og lo. Dette gir store variasjoner i temperaturer og nedbørsmengde. De store geografiske forskjellene kombinert med årlige svingninger gjør det umulig å varsle været helt riktig alle steder til alle tider. Meteorologisk institutt presenterte i 2020 at de oppnådde en treffprosent på varslet nedbør per døgn i Norge på ca. 80% [16]. Tilsvarende tall for værtjenester som YR og Storm var på mellom 70-80%. Det vil alltid være en usikkerhet tilknyttet prognosedata, og usikkerheten øker jo lengre prognosen er.

En del av prognosedataen beregnes blant annet fra data fra meteorologiske stasjoner. Stasjonene måler parametere som nedbør, temperatur, fuktighet, lufttrykk, vind og tilsvarende [17]. Statens vegvesen har selv rundt 370 værstasjoner langs riks- og fylkesvegene i følge tall fra 2018 [18], med tilhørende sensorer for å registrere målinger. Dataen arkiveres og gir punktmålinger for historisk vær [10]. Men stasjonene benyttes også for å supplere prognosemodeller, gjennom å bruke data fra flere av stasjonene sammen [16].

I 2019 gjennomførte Dao med flere [19] en studie med data fra 31 stater i USA, som identifiserte de viktigste parameterne for vinterdriftspersonell. Studien viste at de viktigste værvariablene var snøfall, vegbanetemperatur, rimdannelse og underkjølt regn. Samtidig viste det seg at under halvparten av vinterdriftspersonellet i de undersøkte statene mente at lufttemperatur og vind var viktige faktorer for vinterdrift [19]. I følge Statens vegvesen [20] er vind et betydelig problem for driften av høyfjellsveger og andre veger lokalisert i åpne områder med lite vegetasjon med tanke på drivsnø.

Vegbanetemperaturen har større treghet enn lufttemperaturen, og bestemmes av ulike faktorer. Dermed kan det oppstå rim på vegoverflater på tross av at meldt lufttemperatur ikke blikker under på minussiden, da vegoverflaten kan være kaldere enn luften. Flere av de meteorologiske stasjonene har en egen sensor i bakken for å registrere vegbanetemperaturen. Disse kan avdekke om det er fare for frost på våt bakke eller rimdannelse. Rim kan oppstå på flater med lavere temperatur enn luftens duggpunktstemperatur og temperatur under eller lik 0°C. Rim og frost kan dermed oppstå uten at lufttemperaturen tilsier det [10].

Det er utført flere studier der overflatetemperaturen modelleres uten bruk av dedikert sensor i overflaten. Hosseini med flere [21] undersøkte blant annet om det var mulig å lage en modell som predikerte overflatetemperaturen til vegbanen gjennom kjente parametere som lufttemperatur, vind, skydekke og materialvalg i vegdekke. Modellen gav stort sett tilfredsstillende verdier mot de registrerte sensorverdiene. Opara og Zielinski [22] undersøkte videre om det var tilstrekkelig å bruke målte temperaturer de siste syv dagene for å beregne overflatetemperaturen. Modellen var i stand til å predikere overflatetemperaturen med en gjennomsnittlig feil på 1,2 °C.

Karlsson [23] undersøkte i 2001 mulighetene for å predikere dannelsen av rim på vegbanen ved ulike værforhold. De grunnleggende forholdene for avsetning av rim på vegoverflaten er at duggpunktstemperaturen overstiger overflatetemperaturen, samtidig som overflaten har en temperatur under 0°C. Undersøkelsene viste at den akkumulerte mengden rim på vegbanen og tilhørende friksjon er en faktor av tid. Når forholdene lå til rette for rimdannelse sank friksjonen på vegbanen jevnt de første 6 timene. Deretter flatet utviklingen ut, og friksjonen sank med en lavere rate frem til undersøkelsens siste måling etter 14 timer.

Utover den tilgjengelige beslutningsstøtten det er mulig å hente fra værdata beskriver Statens vegvesen:

Det aller beste verktøyet en entreprenør kan ha er imidlertid erfaring og lokalkunnskap! Det er svært verdifullt å kjenne til hvilke vær-situasjoner som kan gi lokalt vanskelige føreforhold; for eksempel vindretninger som fører til opphopning av snø/fokkskavler, områder hvor det alltid faller mye nedbør, eller spesielle punkter hvor det fryser på tidlig. Til sammen vil riktig bruk av hjelpemidler sammen med god lokalkunnskap være det beste utgangspunktet for en godt planlagt og gjennomført vinterdrift [10, s. 89].

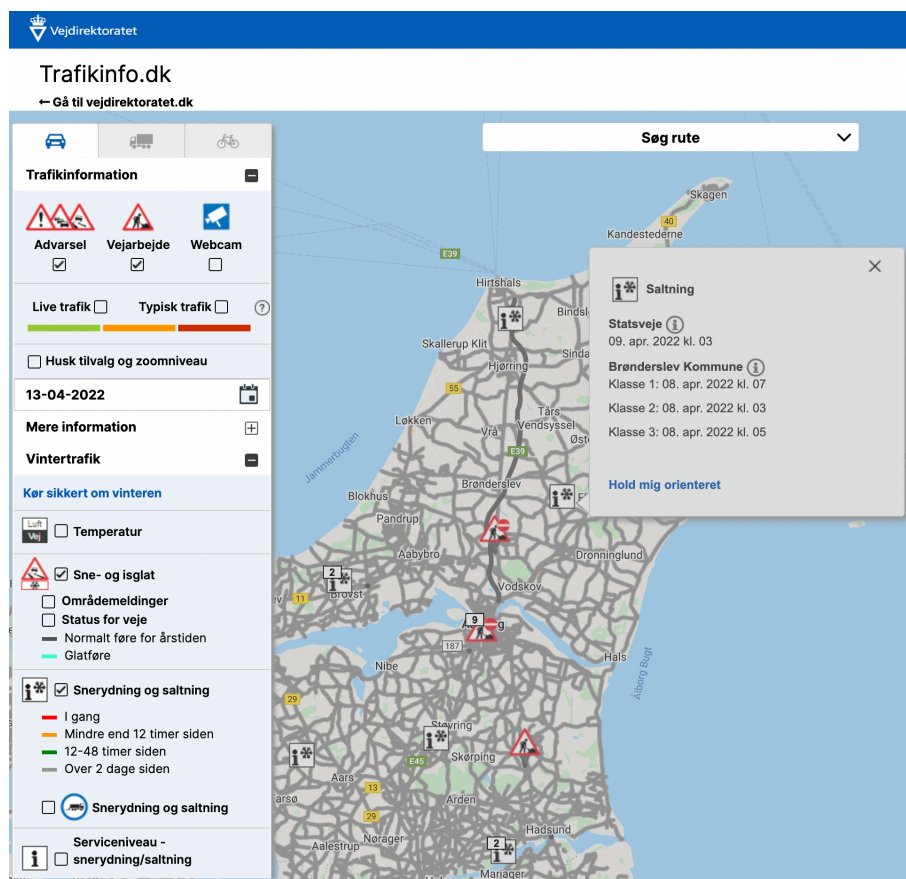
Kangas, Heikinheimo og Hippi [24] beskrev i 2015 vegværmodellen *RoadSurf*. Modellen har blitt utviklet av det meteorologiske instituttet i Finland siden starten av 2000-tallet. *RoadSurf* er en energibalansmodell som predikerer føreforhold de neste 24 timene. Dette er basert på undermodeller for vegbanetemperatur, friksjon og vann/snø-mengde på vegen [24].

Vegdirektoratet i Finland tok i 2016 i bruk et drifts- og vedlikeholdssystem, *Harja*. Målet var å kartlegge omfanget av vinterdrift og kunne få en sanntids vurdering av vegene i landet. Systemet benyttes til å overvåke vinterdrift, og arkivere gjennomførte tiltak. I tillegg er det mulig for både trafikanter og driftsentreprenører å laste opp tilbakemeldinger om kjøreforhold som vises på sanntidsmodellen [25]. I tillegg er det en prognosemodell lik *RoadSurf*, som gir forventede føreforhold de neste 12 timene [26].

Vegdirektoratet i Danmark har tilgjengeliggjort informasjon om når tidligere tiltak har blitt gjennomført, vegklasse, føreforhold, vegbane-, duggpunkts- og lufttemperatur på en offentlig nettside [27]. Brukergrensesnittet er illustrert i figur 6. Her kan informasjon tilknyttet vinterdrift velges; denne delen består av to undermodeller, *VejVejr* og *Vinterman*. *VejVejr* er et varslingsystem for glatt føre, som består av omfattende overvåkings- og prognosedata. Dataen baseres på 400 målestasjoner i Danmark. Værmodellen bestemmer farenivå basert på temperatur, fuktighet, vind og nedbør. Dataen blir prosessert av Danmarks meteorologiske institutt [28]. Da delmodellen går parallelt med *vinterman* har modellen data på når sist salttiltak ble gjennomført. Dette gjør det mulig å anslå føreforhold, i form av om det fortsatt er salt på vegba-

nen. Det er uklart om denne dataen blir benyttet som automatisk beslutningsvalg av vinterdrift. *VejVejr* har dermed prognosedata på føreforhold, som blir brukt som beslutningsgrunnlag på aktuelle tiltak som skal bli gjennomført (enten automatisk eller manuelt).

Via *vintermann* blir majoriteten av utkallinger av vinterdrift i Danmark gjennomført sømløst, fra en hovedsentral. Alle tiltak registreres, og vinterdriftspersonellet kan levere fra seg enkle meldinger som gir økt informasjon om føreforhold til trafikanter [25]. Tjenesten fungerer som en sanntidsinformasjonskanal. Bakgrunnen til utkallingene av driftskjøretøy og føreforhold-informasjon på nettsiden baserer seg derimot på informasjon fra delmodellen *VejVejr*).

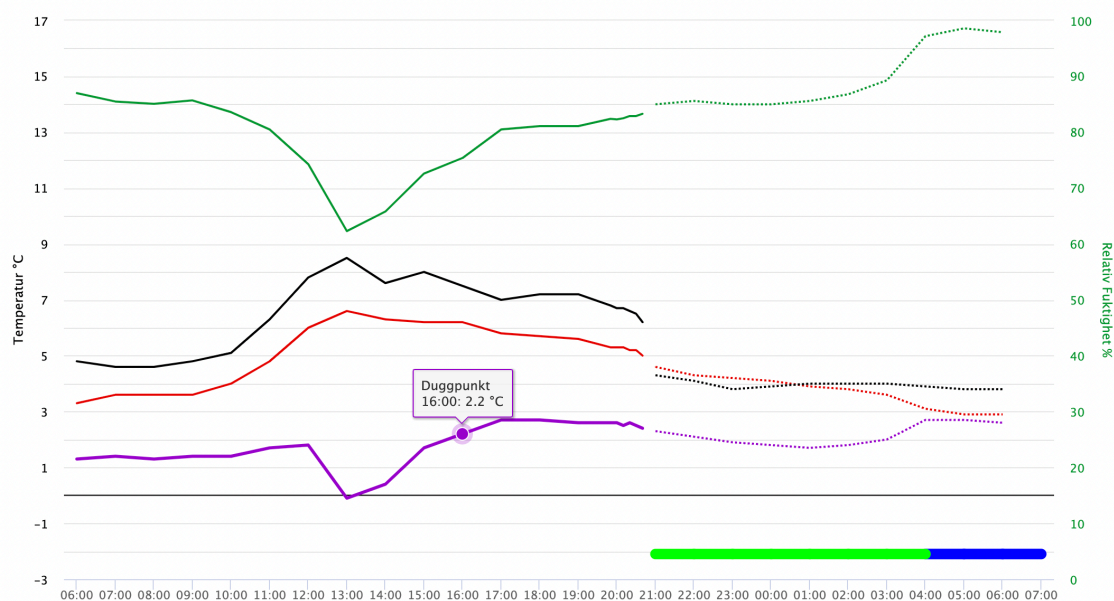


Figur 6: Brukergrensesnitt til Danmarks trafikinformasjons-nettside (*Vejdirektoratet* [27]).

Statens vegvesen utviklet etter hvert et eget prediksjonssystem for føreforhold i Norge. Et samarbeid mellom Statens vegvesen og Rambøll fra 2011 [29] beskriver et beslutningsstøttesystem kalt VegVær. Systemet skulle være et verktøy for å få sanntidsinformasjon og prognoser for føreforhold fire til ti timer frem i tid. Hensikten var å hjelpe vinterdriftsentreprenører til å gjennomføre rett tiltak til rett tid. Systemet skulle ikke løsrive entreprenøren for ansvar, men fungere som et *beslutningsstøttesystem*.

Systemet er i dag operativt og alle som jobber i eller for Statens vegvesen har tilgang til systemet [18]. Systemet baserer seg i stor grad på de 370 værstasjonene Statens vegvesen har langs vegnettet i Norge. De fleste stasjonene har sensorer for å måle og registrere lufttemperatur, relativ fuktighet, vegbanetemperatur og nedbør. Noen har i tillegg vindsensor, kamera, føreforhold og indikasjonsdata på friksjon.

Målet til VegVær er i dag nådd, da man har prognoser 9 timer frem i tid for både føreforhold og temperaturendringer. Prognosene er et resultat av værvarslingsmodeller fra metrologisk institutt og en egen energibalansmodell. Mellom stasjonene er det strekningsprognoser, men det er bare interpolerte verdier mellom punktmålingene stasjonene gir. Prognosene i VegVær oppdateres ikke av utførte Vinterdriftstiltak [18]. Modellen gir dermed prognoser, men ikke forslag til aktuelle tiltak eller effekten av dem på føreforhold. I tillegg fremkommer det heller ikke hvordan energibalansmodellen er bygget opp, eller i hvor stor grad metrologisk institutt bearbejder dataen for Statens vegvesen. Uansett er det vist et eksempel på historisk data og prognosedata i figur 7.



Figur 7: Skjermtutklipp fra VegVær-modellen til Statens vegvesen. Vegbanetemperatur i svart, relativ fuktighet i grønn, lufttemperatur i rød og duggpunkt i lilla. Den grønne og blå linjen svarer til prognose av føreforhold; som er henholdsvis *ingen ny nedbør* og *våt vegbane* (SVV [30]).

Mahoney og Myers [31] beskrev i 2003 en operativ modell som skulle analysere værdata og predikere føreforhold, "the Maintenance Decision Support System" (MDSS). Modellen skulle fungere som et beslutningsverktøy for vinterdriftspersonell. Vegdirektoratet i USA startet utviklingen av modellen allerede i 1999. Modellen er i dag i bruk i en rekke stater i USA. Systemet bygger på omfattende værdata som input, og nøyaktigheten varierer fra stat til stat. Da det benyttes ulike tiltaksmetoder og vegklasser i ulike stater trenger modellen en del manuell input i form av "lovlige tiltak" og mengder [32]. Modellen har i tillegg ulike alternativer til gjennomføring av tiltak, og konsekvens av valgt løsning [26]. Derimot fremkommer ikke modellens oppbygging, tilhørende kriterer og hvordan den definerer mengde arbeid av den tilgjengelige litteraturen.

I Russland har det blitt utviklet et eget system, *MeteTrassa* [26]. Systemet tar inn store mengder værdata fra landets metrologiske institutt. Dataen består av værstasjoner, termisk fotografering og numeriske modeller for å kunne gi nøyaktig prediksjon av føreforholdene. Denne prediksjonen gir igjen grunnlaget for å komme med forslag til tiltak [33]. Det deles lite detaljer om hvordan modellen definerer mengde arbeid, og værparametere som utløser tiltak.

2.7.2 Strategisk og taktisk

Det strategiske nivået sikter til vegeier; som bestiller vinterdriften, setter driftsklasser og andre aktuelle kriterier for gjennomføring av vinterdriften. Det omfatter blant annet oppgjørsformen og kontraktstrategien. Det taktiske nivået omhandler hvordan de som påtar seg jobben (entreprenører) velger å løse og/eller gjennomføre vinterdriften, basert på utlysningens kriterier. Det gir handlingsrom innen blant annet plassering av lager og valg av utstyr.

Disse nivåene overlapper til en viss grad og styrer direkte hvordan den operasjonelle driften skal gjennomføres. De overliggende føringene spores til kriterier bestemt av økonomi, politikk og tekniske føringer. Modeller og simulering på dette nivået tar utgangspunkt i den samme dataen som på et operasjonelt nivå, men sikter i enda større grad på å generalisere og forenkle den.

For å kunne ta de beste avgjørelsene til hvordan vinterdrift skal gjennomføres er det viktig med god data å basere de strategiske og taktiske valgene på. Dette kan gjøres gjennom å kvantifisere ulike deler av vinterdriften. En av disse metodene er å måle intensiteten til vær fenomener, primært over en hel vintersesong. Dette kan gjøres ved å kvantifisere vær fenomener som temperatur, vind og nedbør. De kvantifiserte mengdene adderes, og den endelige summen blir et mål på hvor intensiv en vintersesong var. Dette er grunnprinsippet bak vinterindekser.

Walker med flere [34] gjennomførte i 2019 et omfattende litteratursøk for å avdekke de eksisterende vinterindeksene som var i bruk i USA. De fant 19 ulike vinterindekser i bruk. Indeksene kvantifiserte i stor grad vær fenomener ut fra de samme parameterne (temperatur, snø, vind og nedkjølt regn), men ulike indekser vektla ulike vær fenomener ulikt. Så tilsvarende vær fenomener ble gitt ulike verdier i ulike stater. I tillegg var det variasjoner i hvordan dataen ble analysert. Noen av modellene fokuserte eksempelvis på på maksimum og minimumstemperatur under visse forhold, mens andre indekser fokuserte kun på antall dager med snø eller minusgrader. Walker konkluderte med at modellene i stor grad besto av de samme grunnelementene, men var stilt inn for lokale forhold i regionen de tilhørte. Dette gjorde at indeksene kunne være mer nøyaktige der de var i bruk, men det gjorde det samtidig vanskelig å få til en felles plattform for å sammenligne ulike regioner sine vintre.

Mahle [35] beskrev i 2002 en norsk vinterindeksmodell under utvikling, i samarbeid med Statens vegvesen. Indeksen besto av å summere antall temperaturstigninger, temperaturfall, nedbør og snødriv gjennom over en vintersesong. De ulike vær fenomenene hadde ulik verdi, og summen av dem gav et mål på intensiteten av en vinter. Visjonen for indekser var å få et tall på hvor intensiv en vinter hadde vært. Dette kunne da brukes til å få et estimat på forventet arbeidsmengde og tilhørende kostnader; for både Statens vegvesen og driftsentreprenøren. I 2005 [36] var prosjektet i en testfase der målet var utvidet til å i tillegg identifisere vær hendelser som utløser tiltak tilknyttet vinterdrift. Dette skulle danne grunnlaget for å sammenligne predikert arbeid, mot faktisk gjennomført innsats. Men i en oppfølgingsrapport fra 2007 [37] er prosjektet lagt på is, og det er ikke mulig å finne mer litteratur om prosjektet.

I Danmark er det utviklet to indekser for å definere intensiteten til vintre: *Saltindeks* og *Normalvinter*. *Saltindeksen* er bygget opp av parameterne illustrert i tabell 3. Det beregnes så en verdi for hver dag mellom 1. oktober til 1. mai ved bruk av *ligning 1* basert på parameterne. Alle verdiene summeres så sammen ved bruk av *ligning 2*. Denne verdien gir et mål på forventet saltforbruk og kostnad over en hel sesong [38].

$$V_{dag} = \frac{A * (10b + 0,1c + 7f + 18g) + 0,3a}{10} \quad (1)$$

$$v_i = \sum_{1.oktober}^{1.mai} V_{dag} \quad (2)$$

Tabell 3: Parametere i den danske saltindeksen (Vejdirektoratet [38, s. 5]).

Parameter	Betydning	Forklaring
a	Hvis vejtemperaturen er mindre end +0,5°C på noget tidspunkt i døgnet sættes a=1, ellers sættes a=0	For at der kan dannes rim eller is, er det en forudsætning at vejtemperaturen er under 0°C. Vinterindekset er sat til at kunne antage værdier når vejtemperaturen er under 0,5°C.
b	b sættes til antallet af gange vejtemperaturen er under 0°C samtidig med at vejtemperaturen er under dugpunktstemperaturen for en periode på mindst 3 timer og med et interval på mindst 12 timer. Værdien for b kan således højst blive 2.	Denne parameter antager værdier når forudsætningerne for rimdannelse er til stede.
c	Parameteren c angiver antallet af gange vejtemperaturen falder til under 0°C fra mindst 0,5°C til -0,5°C.	Denne parameter antager værdier når vejtemperaturen flere gange i løbet af et døgn krydser 0°C
f	Hvis der indenfor et døgn måles nedbør under frysepunktet i en samlet tid af minimum: 30 minutter sættes f=1 90 minutter sættes f=3 270 minutter sættes f=9 420 minutter sættes f=12 Der skal mindst to sammenhængende målinger for at det skal tælle med. Eftersom målinger logges med 10 minutters interval betyder det i praksis at der skal sne i mindst 15 minutter inden det begynder at tælle.	Denne parameter antager værdier når målestationerne har målt nedbør samtidigt med at nedbørstemperaturen har været under 0 grader. Det vil sige sne og isslag situationer.
g	Når vejtemperaturen kommer under frysepunktet undersøges om der har været nedbør i løbet af de seneste 3 timer. Hvis minimum 3 logninger har vist nedbør på intervallet sættes g=1. (logningerne behøver ikke at være sammenhængende). Intervallet er 12 timer hvilket betyder at g kan højst blive 2.	Denne parameter antager værdier når forudsætningerne for frysende våde veje er til stede.

Normalvinter sammenligner gjeldende sesongs intensitet mot gjennomsnittet av de fem forrige kalenderårene sin vinter. Denne indeksen består av antall utkallinger, saltforbruk, antall timer snøbrøyting per 100km veg og saltindeksen [39]. Historisk gjennomført tiltaksdata brukes dermed som et estimat på fremtidig forventet arbeidsmengde, og gir et mål på vinterens intensitet.

I 2001 startet arbeidet med *Vintermodellen* i Sverige, en modell som fortsatt utvikles. En rapport fra 2017 [40] henviser til 16 tidligere skrevne publikasjoner med resultater og utvikling fra prosjektet. Etter 2017 er det funnet to nye publikasjoner [41]. Prosjektets mål fra start var å gjøre det mulig å beregne de viktigste effektene for

trafikanter, vegeiere og samfunnet ved bruk av ulike strategier og tiltak tilknyttet vinterdrift av vegene [42]. Siden den gang har modellen utviklet seg og består i dag av en rekke delmodeller. Den komplette modellen baser seg på en føreforhold-modell (*Vägslagsmodellen*) som utgangspunkt til det meste av beregningene sine. Føreforholdmodellen beregner veiforhold time for time i vintersesongen basert på værdata, veiklasse og trafikkmengde [43]. Basert på denne modellen kjøres det modeller for blant annet ulykker, tilgjengelighet, kostnader, miljø og kostnader for vegforvalter.

Ulykkesmodellen beregner antall ulykker, type og konsekvensene av dem som en faktor av føreforhold. Kostnadsmodellen ser nærmere på økt drivstofforbruket ved dårligere kjøreforhold, og indirekte korrosjonsskader på kjøretøyene fra vegsaltet. Miljømodellen ser på skadene vegetasjonen rundt vegbanen blir påført som følge av saltet. Vegforvaltningsmodellen gir et kostnadsanslag på slitasje på vegdekke og oppmerking som følge av ulike typer vinterdrift [43].

Modellen er kompleks og prøver å modellere mange ulike problemer. I denne sammenhengen er det føreforholdmodellen som er mest relevant i forhold til en vintermodell for drift og vedlikehold. Føreforholdmodellen er delt opp i ni delmodeller [44]:

1. Preventiv salting.
2. Kombikjøring (salting og brøyting).
3. Brøyting.
4. Bruk av sand.
5. Høvling av is.
6. Fjerning av kompaktert snø og is.
7. Kondensering.
8. Avrenning fra fuktig vegbane.
9. Tørking av fuktig vegbane.

De første seks delmodellene modellerer gjennomføring av ulike typer tiltak, mens de tre siste modellerer føreforholdene. Føreforholdene i modellen baseres på vær- og trafikldata. Fra delmodellene som modellerer ulike typer tiltak er det modellene for preventiv salting, kombikjøring og brøyting som er relevante for veger med driftsklasse DkA eller DkB i Norge. Hovedkriteriene funnet fra disse modellene definerer følgende kriterier tilknyttet vinterdrift [44]:

- Preventiv salting utføres 1 time etter fare for isdannelse oppstår.
- Det antas at preventiv salting har effekt med varighet 3-6 timer.
- Kombikjøring starter når det ligger mer enn 1 cm snø på vegbanen.
- Det vil være behov for preventiv salting om vegbanetemperaturen er høyere enn duggpunktstemperaturen.
- Om vegbanen er fuktig når temperaturen synker er det fare for frost på vegbanen.
- Fjern værhendelser med under 2 mm snø.

Vintermodellen analyserer hele vintersesonger på en timebasis med værdata fra *Vägverkets VägVäderinformationsSystem (VVIS)*, som har over 700 målestasjoner rundt i Sverige. Datasettene gir data på luft-, vegbane-, duggpunktstemperatur, vindhastighet, vindretning, nedbørstype og nedbørmengde. Da flere av værhendelsene modellen søker etter kan forekomme samtidig vektlegger modellen den dominerende hendelsen [43]. Modellen gir dermed et predikert omfang av vinterdrift med antall og type, men ikke nødvendigvis når tiltaket burde bli gjennomført.

2.8 Oppsummering

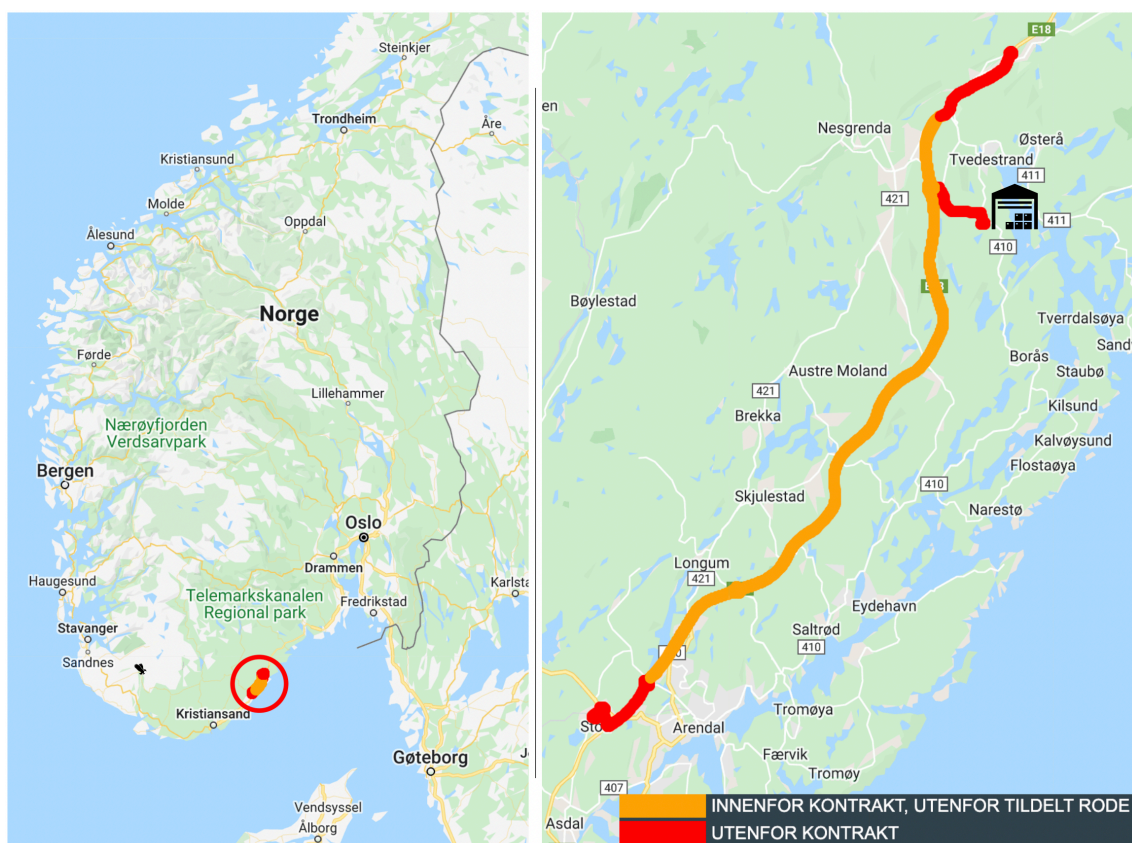
Det eksisterer i dag ulike typer beslutningsstøtter til vinterdriftspersonell på et operasjonelt nivå. På tross av mer omfattende tilgjengelig beslutningsstøtte gjennom ulike verktøy og tjenester, er det til syvende og sist menneskelige vurderinger og valg som utløser vinterdrift.

Det eksisterer dermed modeller for å finne værhendelser fra værdata som kan si noe om en vinters intensitet. Det finnes også modeller som kan predikere nødvendig innsats basert på værdata. Det er derimot få sammensatte modeller som gjør begge deler selv, eller med en offentlig tilgjengelig metode. De enkleste værmodellene analyserer utelukkende over hele vintersesonger, og parameterne er ikke laget for å fungere på en timebasis. Modellene som derimot benytter analysert værdata for på en timebasis for prediksjon av tiltak, har sjeldent analysert værdataen selv. Den stammer primært fra det aktuelle landets metrologiske institutt, spesiallaget for nettopp disse modellene. Disse modellene består igjen av en rekke delmodeller for ulike fenomener, uten at delmodellens oppbygging kommer frem av litteraturen. Litteratursøket har dermed ikke avdekket klare parametere for analyse av værdata. Det er heller ikke funnet fullverdige grenser som utløser vinterdrift, eller nødvendig mengde vinterdrift i form av mannskap og kjøretøy basert på værdata. Det er derimot funnet bruddvise tilnærminger til flere av de nødvendige parameterne og kriteriene som trengs for å kunne simulere vinterdrift.

3 Metode

3.1 Case

Utgangspunktet for dataen som skal analyseres i denne oppgaven er flåtestyringsdata fra en delstrekning av E18 mellom Arendal og Tvedestrand. Strekningen er lokalisert på Sørlandet, illustrert i figur 8. Nedenfor presenteres strekningen med tilhørende klima og tilgjengelig flåtestyringsdata. Dette suppleres til slutt med metode for gjennomføring av observasjon og intervju med vinterdriftspersonell på strekningen.



Figur 8: Analysert strekning av E18 mellom Arendal og Tvedestrand markert på kartutsnittene. Fargekodene definerer delene innenfor og utenfor roden, samt lagerplassering (Google Maps [45]).

3.1.1 Strekningen

Det ble inngått en kontrakt mellom NyeVeier og AF-gruppen i 2016 om bygging av motorveistrekningen Arendal-Tvedestrand. Vegen hadde offisiell åpning og ferdigstilling 2. juli 2019 [46]. I forkant av åpningen inngikk Risa kontrakt med NyeVeier den 5. juni 2019 om å drifte inntil 125 kilometer motorvei for NyeVeier. Strekningen Arendal-Tvedestrand var den første strekningen i kontrakten der Risa overtok ansvaret for drift og vedlikehold [47].

Strekningen/roden Risa drifter i dag er detaljert illustrert i figur 8. De markerte fargene på figuren viser hvor kjøretøyene kjører under typisk vinterdrift. De røde områdene illustrerer delene av strekningen som er utenfor roden/ansvarsområdet i henhold til

kontrakten. Bakgrunnen for dette er at det ikke er mulig eller trafikkikkert å snu der roden opphører. Dermed må driftskjøretøyene kjøre noe lengre for å få snudd. Lagerområdet til Risa er tegnet inn nord-enden av roden på figuren.

Strekningen består av 23 km firefelts motorvei med fartsgrense på 110 km/t [48]. Strekningen består av 24 broer, 9 kulverter og 4 doble tunnellop [46]. Vegen har en ÅDT på 9800 med tungtrafikkandel på 19% ifølge data fra 2021 [48]. Strekningen ble i følge planprosjektet [49] prosjektert ut fra *N100-2013*. Der vegen ble prosjektert for vegklasse H8 med vegbredde på 20 meter og 1,5 meter vegskuldre. De siste 4 km av strekningen mot Arendal har høyere ÅDT. Dette strekket ble dermed prosjektert til vegklasse H9, med tilhørende vegbredde på 23 meter, og vegskuldre på 3 meter.

Strekningen driftes i dag med den høyeste driftsklassen i Norge, DkA [48]. De ulike driftsklassene er kort beskrevet i kapittel 2.1. Salt skal her nyttes som preventivt tiltak for glatt føre og for å opprettholde eller gjenopprette bar veg. I tillegg kommer egne krav til godkjent føreforhold og krav til innsats ved værhendelser, de viktigste kravene er oppsummert i tabell 4.

Tabell 4: Oppsummering av de viktigste kravene til driftsklasse DkA (*Fra håndbok R610 [3]*).

Innsats ved værhendelse / Godkjent føreforhold	Krav DkA
Tilstand på vegen	Bar (våt/tørr)
Maksimal syklustid for brøyting	1,5 timer
Maksimal syklustid for strøing	1,5 timer
Start preventiv strøing	Preventiv strøing skal starte tidnok til at strøingen kan avsluttes og ha gitt effekt i forhold til forventet værhendelse

3.1.2 Klima og området

Strekningen er lokalisert på Sørlandet, med et typisk kystklima. På generelt grunnlag innebærer dette små temperatursvingninger gjennom året og til dels mye nedbør. For den aktuelle strekningen betyr det en rekke tilfeller med svingninger rundt 0°C. Tvedestrand og Arendal opplever kulde under 0°C i perioden november-april, mens gjennomsnittstemperaturen i denne perioden varierer mellom 0,5°C og 11°C for begge stedene [50][51].

3.1.3 Flåtestyringsdata

Risa benytter en rekke ulike systemer for å arkivere, registrere og innhente data. Alle driftskjøretøyene er utstyrt med en modul som arkiverer både posisjon og hvilket tiltak som blir gjort til enhver tid. Dette gjør at Risa besitter omfattende flåtestyringsdata til kjøretøyene sine. Sjøførene må selv velge type tiltak som skal gjennomføres når de starter opp et kjøretøy. Dette tiltaket er ikke ferdig før sjøføren selv avslutter tiltaket; primært tilbake på basen. Det blir da lagret en automatisk rapport fra turen. Uavhengig av tiltakets lengde blir rapportene lagret. Det spiller dermed ingen rolle om tiltaket er en transportetappe for å hente salt fra saltlageret med varighet på 1 time eller om det er kontinuerlig kjøring i 20 timer grunnet snøfall. All flåtestyringsdataen

ble analysert for å konvertere de sammensatte rapportene ned til antall gjennomførte enkelt-turer på strekningen, med tilhørende tidspunkt for gjennomføring. Dette er beskrevet i kapittel 3.3.

3.1.4 Uformelle intervju og observasjon

Risa sin base i Tvedestrand ble besøkt over to dager i januar 2022. Formålet med besøket var å få en økt forståelse av vinterdrift og den tilgjengelige beslutningstøtten. Intervjuene er dermed ikke en hovedkilde til data, men ment for å øke forståelsen og eventuelt støtte opp under funn fra litteraturen.

I løpet av natten som ble tilbrakt på basen startet et meldt snøfall. Snøfallet varte frem til avreise fra basen påfølgende dag. Å få være med å observere planleggingen, forberedelsene og organiseringen i forkant av en værhendelse, ga et verdifullt innsyn i omfanget av de preventive tiltak som settes til verks. I tillegg ble den tilgjengelige beslutningsstøtten synliggjort. Det var svært nyttig å observere en konkret plan bli utarbeidet, samt å vitne implementeringen og fullføringen av denne både fra basen og kjøretøyene.

Ved å få være med på ulike skift og vaktbytter på dag- og nattestid før og under snøvær, fikk man en økt forståelse for den daglige driften som omfatter vinterdrift. Parallelt med observasjonene ble det gjennomført uformelle intervjuer med fem ulike vinterdriftspersonell gjennom deres arbeidsskift, over de to dagene.

Et uformelt intervju kjennetegnes av det ikke er noen planlagte spørsmål; kun et definert tema og mål. Dette skaper en mer avslappet atmosfære, som i tillegg kan gjennomføres parallelt med en vanlig arbeidsdag [52]. I forberedelsene av observasjonen og intervju ble det skissert noen stikkord det var ønskelig å få innspill, innsikt og samtaler rundt. De viktigste stikkordene var: *Gjennomføring av tiltak, beslutningsstøtte, anti-kompaktering/ising, oppgjørsform, strategi, barveg, vintervei, driftsklasser, opplegg, kjøretøy, salting, brøyting, lagerplassering, vanskelige føreforhold, værfenomener, rode, unntakstilfeller og logistikk.*

Det valgte intervjuformatet gav en naturlig flyt av samtaler der relevante temaer og stikkord ble belyst gjennom arbeidsskiftene til intervjuobjektene. Dette gav en uanstrengt atmosfære der svarene ofte kom frem gjennom arbeidet som ble gjort, eller i perioder med samtaler. Alle var svært behjelpelige og innsiktsfulle i arbeidet sitt. Underveis ble det tatt ikke-personidentifiserende notater. Intervjuene fungerte som støtte til funn i litteraturen, og gjorde det enklere å bearbeide flåtestyringsdataen og det tilhørende kjøremønsteret i ettertid.

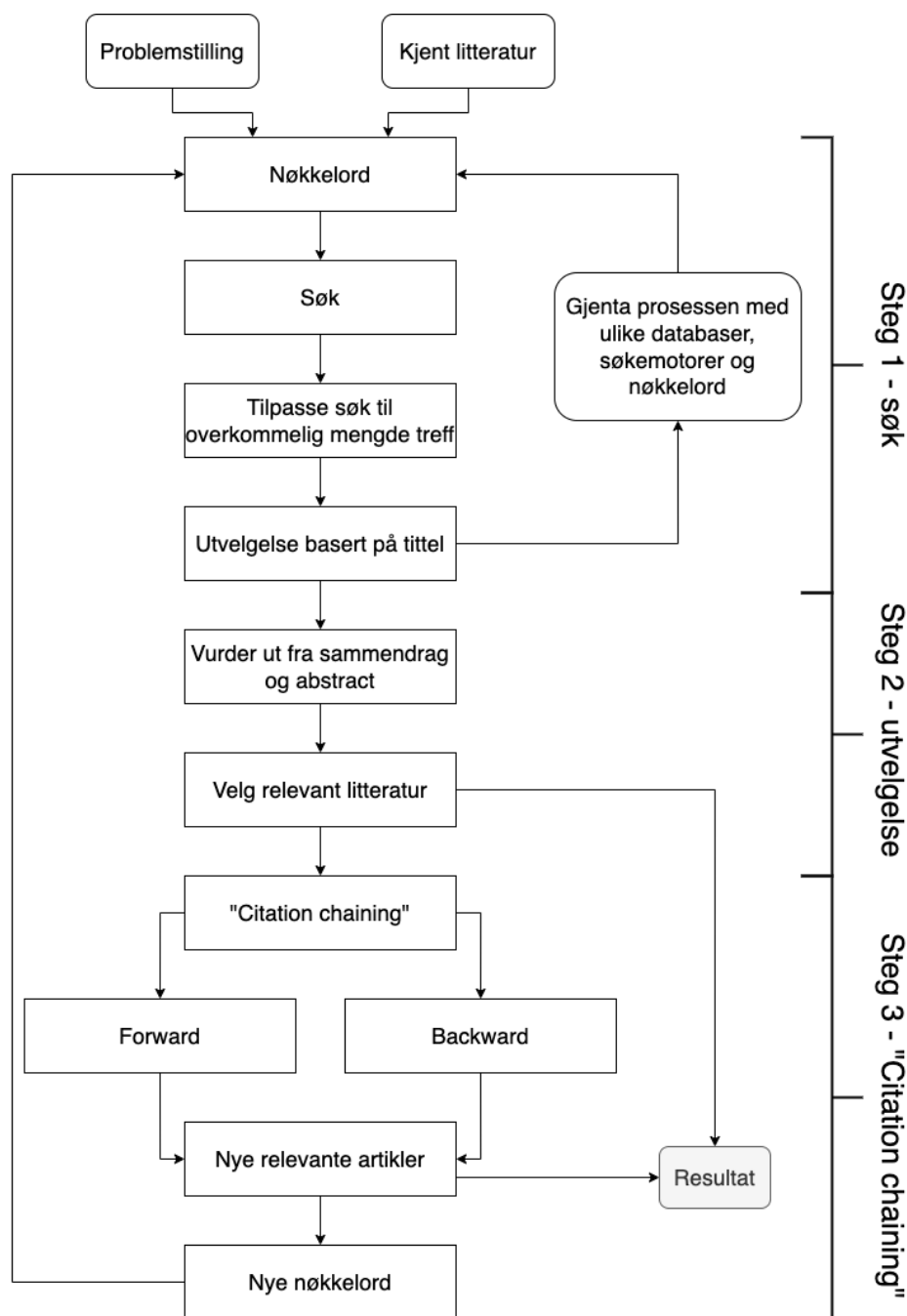
3.2 Litteraturstudie

Gjennom arbeidet med masteroppgaven ble det gjennomført en litteraturstudie. Målet med litteratursøket var å finne eksisterende relevant litteratur og forskning tilknyttet simulering av vinterdrift. Gjennom uformelle intervjuer, samtaler med veileder og gjennomlesing av relevant litteratur ble det valgt fraser og ord som ble benyttet som søkord i ulike databaser. Det ble primært brukt databasene *Oria*, *Web of Science*, *ASCE* og *Compendex* etter rådføring med universitetsbiblioteket.

Litteratursøket i databasene var tredelt; det besto av en søke-, utvelgelses- og en "citation chaining"-prosess [53]. Prosessen er basert på metodene anvendt av Nøklebye [54] i 2018, tilknyttet hans masteroppgave. Oppbygningen av metoden for litteratursøket i denne masteroppgaven er oppsummert i figur 9, med tilhørende delprosesser.

I *steg 1* av metoden i figur 9 filtreres relevante søk basert på språk og type verk i databasene. Ved en overkommelig mengde treff ble artiklene lagret eller forkastet basert på relevansen i tittelen. I *steg 2* ble de lagrede artiklene forkastet eller bevart basert på en vurdering og gjennomlesing av sammendrag og/eller *abstract*. I *steg 3* ble det gjennomført en *citation chaining* for å avdekke mer relevant litteratur. Den relevante litteraturen som sto igjen på dette punktet ble lest i sin helhet, og bestemt til å være relevant eller ikke. Den gjenstående litteraturen er primært faglitteratur og forskningsartikler fra USA og Norden, områder med vintersesong. Den relevante litteraturen ble lagret i en egen liste. Det er viktig å bemerke at ikke all litteraturen som ble satt til å være relevant faktisk ble benyttet i denne oppgaven, men samtlige har gitt økt forståelse for tematikken. Litteratursøket inkludert søkeprosessen, utvelgelsesprosessen og den resulterende relevante litteraturen er vedlagt i vedlegg A. I *Steg 3* med *citation chaining* ble det ikke funnet ny relevant litteratur utover det som ble funnet i *steg 1 og 2*, og søket er utelatt fra vedlegget.

I tillegg til det tradisjonelle litteratursøket ble det gjort søk i databasene til NTNU (*NTNU Open*) og Statens vegvesen. Fra databasen til NTNU var målet å finne tidligere relevant forskning fra NTNU. På den andre siden har Statens vegvesen en mengde faglitteratur med hjemmel i lovverket, og har vært en viktig ressurs for å undersøke hvilke retningslinjer og krav ulike instanser av vinterdrift må forholde seg til.



Figur 9: Anvendt metode for litteratursøk.

3.3 Bearbeiding av flåtestyringsdata

Hvert gjennomførte tiltak tilknyttet vinterdrift blir arkivert med en unik ID, start- og stopptid, kjøretøy, sjåfør og type tiltak. Med tiltak menes i denne sammenhengen hele perioden det blir gjennomført et arbeid, uavhengig av posisjon eller gjøremål. Den tilgjengelige dataen strekker seg tilbake til kontraktsstart for strekningen i 2019. Fra oppstarten i 2019 frem til slutten av februar 2022 er det arkivert 381 unike tiltak i arkivet. Hvert tiltak (uten feil) får en tilhørende rapport med utvidet informasjon etter tiltaket avsluttes. I denne rapporten arkiveres 32 unike parametere med omtrent 1000 datapunkter i timen, inkludert posisjon.

Rapportene fra flåtestyringsdataen var sammensatte tiltak med varighet fra 5 minutter til over 24 timer. Det var nødvendig å dele disse rapportene opp i faktisk innsats på en mer objektiv måte. Da store perioder av datasettene er venting på mer akkumulert vær eller pauser.

3.3.1 Filtrering av relevant data

Risa samler inn store mengder data, og dataen fra gjennomførte tiltak blir arkivert på to ulike databaser. Den ene databasen er for daglige tiltak som å rydde vegbanen for eventuelt søppel, opprydding etter ulykker eller befaringer for føreforhold. Det andre systemet omfatter alle tiltakene som blir gjort (med unntak av føreforhold-befaringer) i forbindelse med vinterdriften. Det var kun denne dataen som ble bearbeidet videre.

Sjåførene må selv velge hvilket tiltak de skal gjennomføre i kjøretøyene, før de kan gjennomføre vinterdrift. Her kan de velge mellom 73 ulike typer tiltak, men det er kun arkivert tiltak i 10 av kategoriene. Disse er illustrert i tabell 5. Av disse dataene ble tiltakstypene *Friksjonsmåling* og *Transport* ekskludert for videre analyser, som reduserte antall tiltaks-rapporter fra 381 til 355.

Tabell 5: Fordeling av gjennomførte tiltak basert på type i perioden 10/2019-02/2022.

Type	Antall
Friksjonsmåling	1
Transport	25
Brøyting med bil	50
Strøing tørrsalt	2
Strøing saltløsning	14
Kombinert brøyting og salting	186
Kombinert brøyting og saltløsning	3
Strøing befuktet salt	99
Kombinert brøyting og befuktet	1

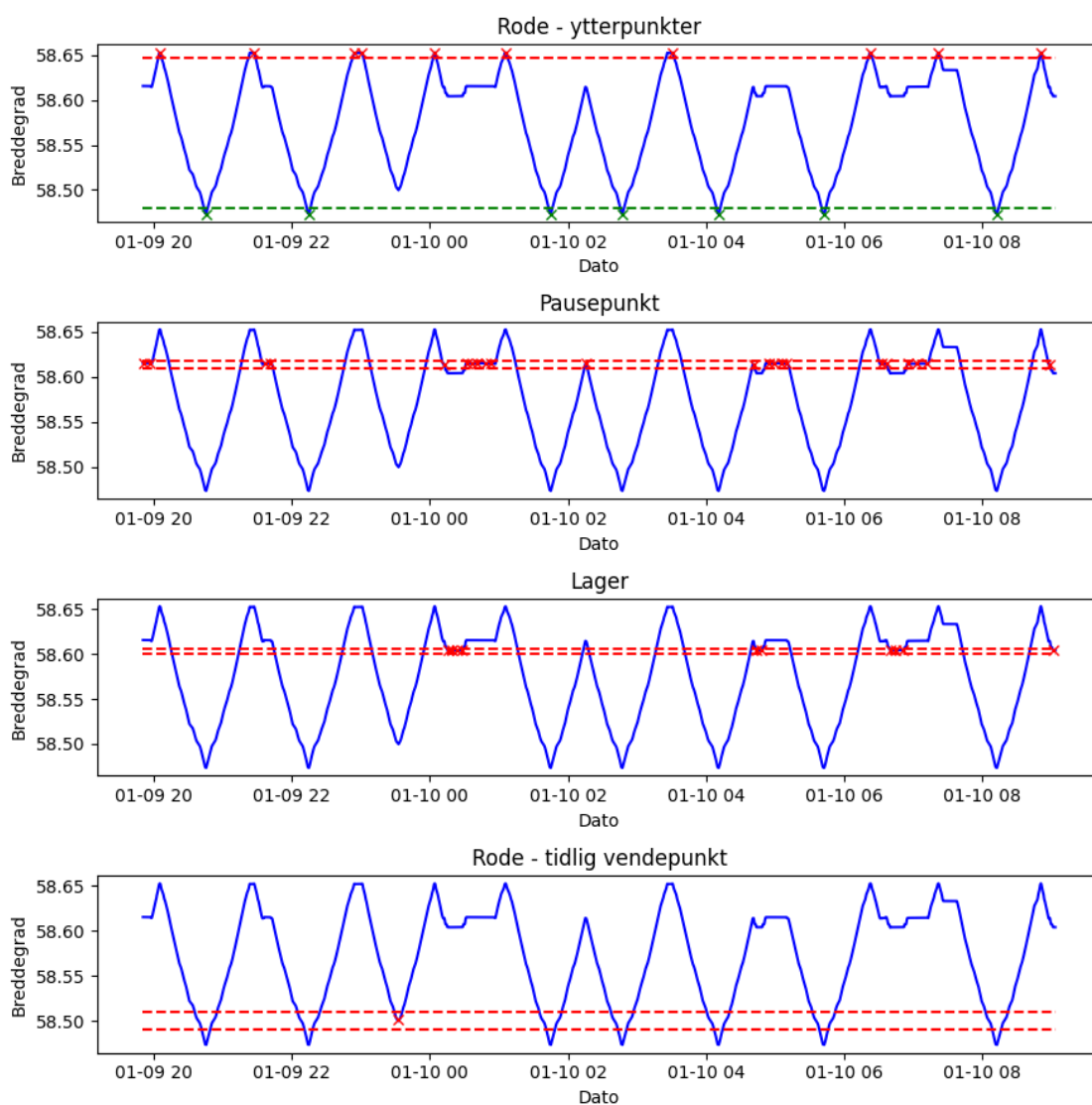
3.3.2 Fra periode-tiltak til enkelttur-tiltak

For å konvertere rapportene bestående av sammensatte tiltak til mer objektiv innsats, ble det utviklet ulike analyseverktøy for å tolke datasettene. Det innebar å finne en tilnærming til når et kjøretøy har kjørt en komplett runde på roden, eller fullført "ett stykk arbeid". En komplett kjøretur ble dermed definert til: når et driftskjøretøy har kjørt fra et endepunkt til et annet endepunkt av roden og tilbake igjen.

Under enkelte værhendelser benyttes opptil tre kjøretøy samtidig, og det arkiveres dermed tre rapporter med tiltaksdata for omtrent samme periode. Ved å dele dataen opp i antall kjøreturer er ikke antall kjøretøy i bruk eller overlapp et problem lenger. Dette gjorde det enklere å skille mellom innsats under arbeidsintensive værhendelser. Da innsats nå måles i antall gjennomførte/kjorte turer, uavhengig av antall kjøretøy i bruk.

Flere ulike tilnærminger ble brukt for å prøve å isolere hver spesifikk tur fra hvert kjøretøy, samt for å finne start- og slutt punkt i de ulike datasettene. Den enkleste var å dele gjennomsnittlig tid per tur på totaltiden i rapporten. Imidlertid ble antall turer både unøyaktig og for høyt ved å ikke ta hensyn til pauser og andre stopp.

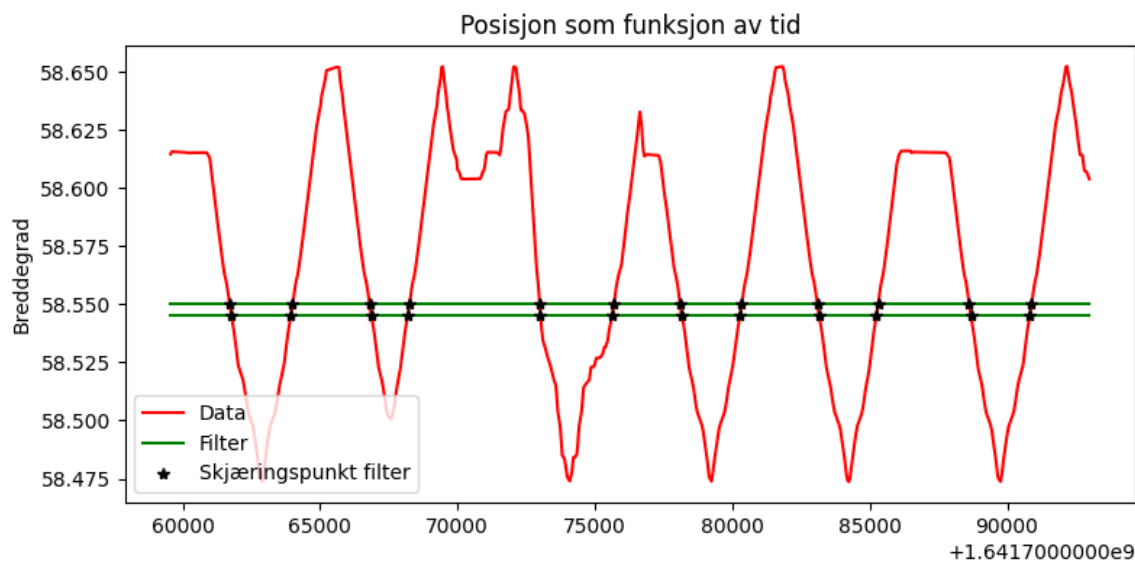
Den neste tilnærming baserte seg på posisjonsdata som ble analysert gjennom script i Python. Det ble utviklet egne filter som skulle telle antall passeringer i nord og sør av roden. Modellen viste at det ved gjennomføring av vinterdrift ikke alltid ble kjørt til ytterpunktene av roden. Modellen ble dermed utvidet for å innkapsle stoppunkter og snupunkter. Dette er illustrert i figur 10. Modellen plottet breddegrad som funksjon av tid (Strekningens lokasjon mellom to breddegrader gjør det overflødig å inkludere lengdegrader i denne tilnærmingen). Modellens kompleksitet gjorde til slutt at den filtrerte ut deler av det varierende kjøremønsteret, og flere særhendelser endte opp med å bli luket ut eller ikke fanget opp av modellen.



Figur 10: Analyse av et gjennomført tiltak med posisjon som funksjon av tid. Analysen leter etter stopp- og vendepunkter (*Tidsformat: [MM-DD tt]*).

Med erfaringene fra de første tilnærmingene ble det utviklet en enklere modell som satte søkelys på et punkt som nesten alltid ble passert ved gjennomføring av en runde, illustrert i figur 11. Av prosesseringshensyn ble datasettene rensket i form av at bare hvert femte punkt ble beholdt for beregningsgrunnlaget i plottene. Dette ga fortsatt presis nok data til ha posisjon på en 5-10 sekunders nøyaktighet. Modellen lager et filter mellom to breddegrader og returnerer to kryssningspunkter. Disse punktene ana-

lyseres av modellen og forteller om kjøretøyet først kjører nordover eller sørover langs roden. Modellen arkiverer tid for passering av dette punktet og tilhørende retning. Antall gjennomførte turer telles til slutt som antall hendelser med *topp-bunn-topp*, eller *bunn-topp-bunn* avhengig av startpunkt. Da det viste seg at kjøretøyene ikke alltid starter fra basen i nordenden av roden.



Figur 11: Analyse av et gjennomført tiltak med posisjon som funksjon av tid. Kryssningspunktene svarer til passering av et punkt langs roden (*Tidsformat [Epoch]*).

Modellen ble automatisert til å iterere gjennom alle de arkiverte tiltakene basert på deres unike ID med følgende funksjoner:

1. Undersøk om det eksisterer en utvidet rapport (med GPS/posisjon) tilhørende det unike tiltaket.
 - Hvis nei: Lagre tiltakets unike ID inkludert starttid, stopptid og type tiltak.
 - Hvis ja: Gå til *Funksjon 2*.
2. Kjør modellen på gjeldende datasett.
 - (a) Hvis modellen ikke finner noen gjennomførte turer: Lagre tiltakets unike ID inkludert starttid, stopptid og type tiltak. I tillegg legges det igjen en kommentar om å undersøke tiltaket manuelt.
 - (b) Produser en figur som illustrert i figur 11 for hvert tiltak for eventuell manuell validering.
 - (c) Lagre hver enkelt tur med starttid satt fra første registrerte måling forbi filter-punktet. Avhengig av retning defineres en fullført tur som *topp-bunn-topp* eller *bunn-topp-bunn*. Deretter telles antall fullførte turer videre, med tilhørende startpunkt. Dette gir et dataark med unike turer med starttid for hver enkelt tur, med sin tilhørende unike ID.

Modellen gav til slutt 841 gjennomførte enkelt-tiltak basert på 289 av 330 dataark. Tiltak henviser nå til enkelturer (én runde med ett kjøretøy). De manglende dataarkene er forklart i kapittel 3.3.3. Et utklipp av resultatet er illustrert i tabell 6. Runder i tabellen svarer til hvor mange runder som ble kjørt for den aktuelle ID-en, mens

hvert punkt svarer til en egen gjennomført runde. I tillegg er retningen loggført i tabellen der retningen *topp-bunn-topp* står for majoriteten av tiltakene med verdi 2 i det komplette datasettet.

Tabell 6: Utklipp av resultat fra analyse for å finne antall kjørte runder i hver tiltaksrapport fra flåtestyringsdata.

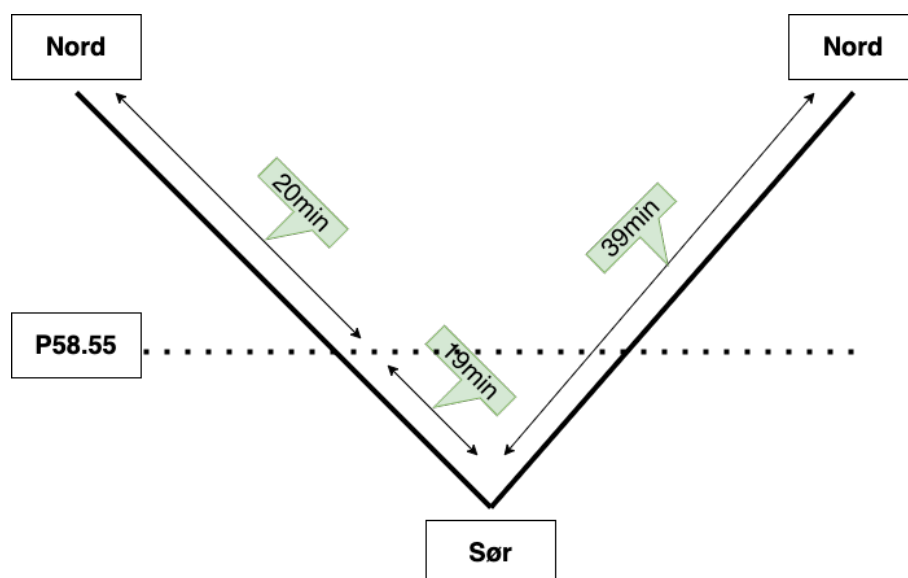
ID	Dato	Runder	Retning
1246036	2020-02-28 01:16	2	2
1246036	2020-02-28 03:06	2	2
1246053	2020-02-28 01:29	5	1
1246053	2020-02-28 02:59	5	1
1246053	2020-02-28 04:23	5	1
1246053	2020-02-28 06:26	5	1
1246053	2020-02-28 07:32	5	1

Den forenkla modellen analyserer dermed retning, og teller antall gjennomførte turer basert på denne. Men tidene i tabell 6 viser når flåtekjøretøyene passerte det definerte punktet, for gjennomføring av en runde. Startpunktet til disse tiltakene er dermed midt i roden, og ikke fra lageret.

Det ble gjennomført en forenkling for å finne realistisk startpunkt for hver runde. Det ble valgt 25 tilfeldige tiltaksrapporter for manuell kontroll av tidene mellom valgte punkter i dem. Som i dette tilfellet var ytterpunktene av roden og et punkt som i praksis alltid ble passert. Dette for å få en tilnærming på hvor lang tid det vanligvis går mellom punktene ved gjennomføring av vinterdrift. Som påpekt ble det produsert figurer tilsvarende figur 11 for alle tiltaksrapporter, og det var disse ble analysert. Analysen besto av å måle tidsbruken fra toppunktene ned til det valgte filterområdet ved breddegrad 58,55. Den neste målingen var å finne tidsbruken fra filterområdet til bunnpunktet og den siste målingen var tidsbruken fra bunnpunktet tilbake til toppunktet. Om det var pauser eller tilsvarende stopp ble tiden på disse trukket fra på den registrerte målingen. Tidene mellom tidspunktene ble beregnet, og det ble funnet gjennomsnittstider for de aktuelle strekningene. I tillegg ble det beregnet gjennomsnittstider der kun data innenfor 10-90 persentil ble bevart. Dette utgjorde liten forskjell, men det var denne dataen som ble brukt videre. Resultatene av tidene er illustrert i tabell 7. Tidene er i tillegg illustrert grafisk i figur 12.

Tabell 7: Tidsbruk mellom Arendal-Tvedestrand og det definerte filterpunktet (*Tidsformat: [tt:mm:ss]*).

	Topp P58.55	-	P58.55 Bunn	-	Topp bunn	-	Bunn Topp	-
Gjennomsnitt	00:21:00		00:19:00		00:40:00		00:38:00	
Persentil 10/90	00:20:10		00:18:50		00:39		00:38:44	



Figur 12: Beregnede gjennomsnittstider mellom endene av roden, samt tiden fra/til det definerte filterpunktet på breddegrad 58,55.

Dataene fra tabell 6 ble justert basert på dataene fra tabell 7, og oppdatert basert på hvilken retning den første turen av hvert tiltak hadde. Dette gav en endelig tabell som var lik tabell 6, med korrigert starttidspunkt til enten toppen eller bunnen av roden. De enkelte turene fra flåtestyringsdataen omtales videre som *faktiske tiltak*.

3.3.3 Mangelfull data

De resterende 355 arkiverte tiltakene ble kjørt gjennom tur-finner-funksjonen beskrevet i kapittel 3.3.2. *Funksjon 1* fant ut at 46 av tiltakene mangler utvidet rapport med posisjon (GPS). Kommentarer til rapportene avslørte at tekniske problemer som dekning, nedetid på systemene og brukerfeil medførte at tiltakene ikke ble loggført korrekt. I tillegg fant modellen 20 tiltak omfattet av *funksjon 2 (a)*. Disse tiltakene ble gjennomgått manuelt, og dataene var ikke konsise. Dette kan trolig spores tilbake til ekstraordinære hendelser som har gitt et ikke konsist kjøremønster eller eventuelle målefeil på utstyret, som det ikke mulig å hente fornuftige data fra.

I 19% (66/355) av de registrerte tiltakene mangler dermed dataark med posisjon, og det har ikke vært mulig å hente unike turer fra dem. Disse ble utelatt for videre arbeid. Ved å benytte startpunkt og sluttspunkt av de problematiske tiltakene ble tidsseriene omfattet av disse tiltakene fjernet fra værdatasettene. Dette innebærer at tiltak berørt av tidsserier med mangelfull data også ble fjernet.

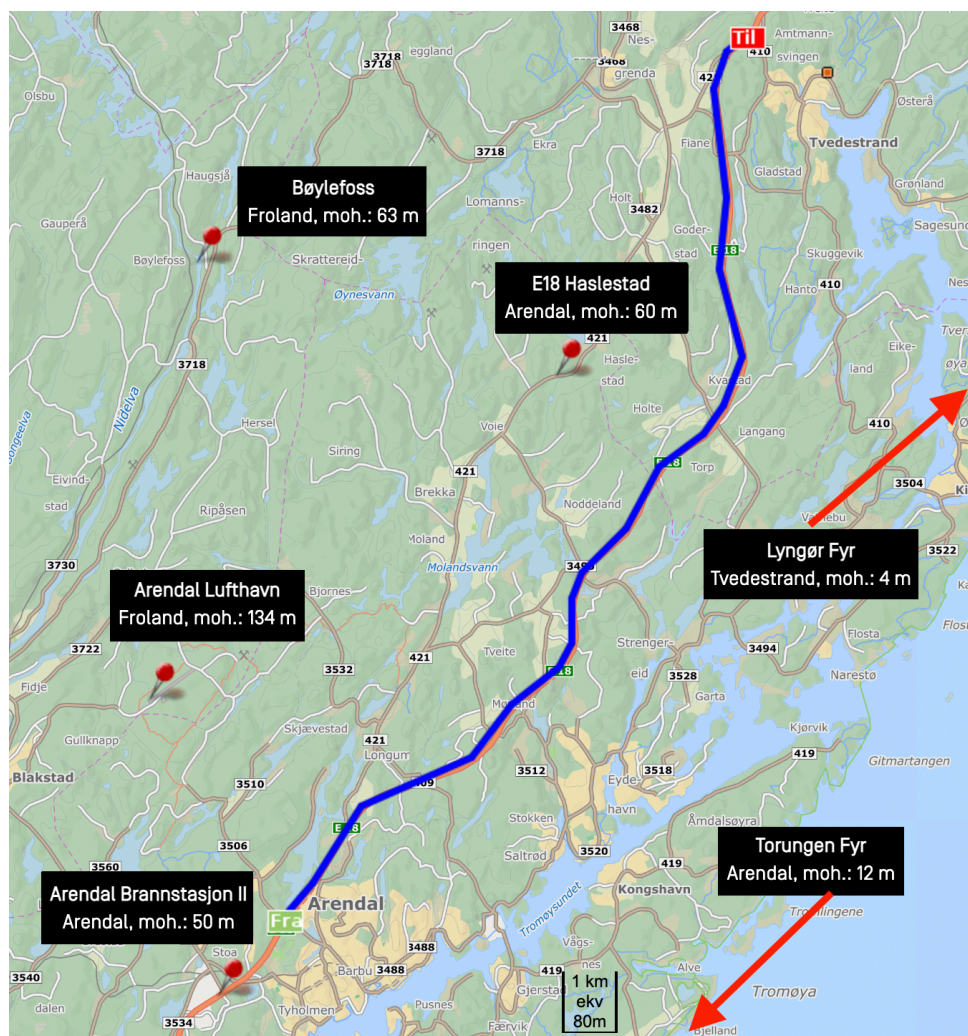
3.4 Værdata

Det ble gjennomført et omfattende søk for å avdekke eventuelle kilder til værdata i området ved og rundt strekningen. Værdata var nødvendig for å kunne predikere hva som burde blitt gjort når og se hva som utløser tiltak.

Det ble utviklet et script i Python som kobler seg til metrologisk institutt sine datasett. Dette gjorde det mulig å laste ned historisk og predikert prognosedata fra arealfordelte

modelldata ("grid-data"), basert på GPS-koordinater [55]. Scriptet hentet ut data for temperatur, vind, nedbør og luftfuktighet på en timesbasis.

For å kunne validere dataene fra metrologisk institutt ble muligheten for å samle værdata fra værstasjonene i området rundt strekningen undersøkt. De nærmeste seks værstasjonene er *Bøylefoss Forland*, *E18 Haslestad Arendal*, *Arendal Lufthavn*, *Arendal Brannstasjon II*, *Lyngør Fyr Tvedestrand* og *Torungen Fyr Arendal*. Plassering i forhold til roden er illustrert i figur 13. Stasjonene i havgapet og lengre inn i landet hadde som forventet forskjeller på målingene sine. Hovedproblemet til de ulike stasjonene var den tilgjengelige arkiverte dataen. På flere av værstasjonene var det kun arkivert målinger av lufttemperatur, og ikke nedbør, vegbanetemperatur eller luftfuktighet. I tillegg var målinger på timebasis kun tilgjengelig fra *E18 Haslestad Arendal*. De resterende opererte på en daglig eller ukentlig basis, som gjorde datasettene tilnærmet ubrukelige i denne sammenhengen.



Figur 13: Kartutsnitt av strekningen der roden er markert i blått og, de seks nærmeste værstasjonene tilknyttet strekningen er markert (Kartdata: Norkart [56]).

Gjennom tilgang i Statens vegvesen sine interne systemer for værdata (VegVær) var det mulig å hente ut mer omfattende værdata fra deres målestasjon *E18 Haslestad Arendal*. Målestasjonen er en del av den gamle E18, og derav den gamle vegen som strekningen i denne oppgaven avlastet. Statens vegvesen kaller stasjonen *FV421*

Haslestad i sine systemer. Som illustrert i figur 13 står stasjonen i nærheten av strekningen, og målingene forventes å være representative.

Gjennom tilgangen til statens vegvesen var det mulig å hente ut mer data enn det som var offentlig tilgjengelig. Det omfattet historisk data på lufttemperatur, vegbanetemperatur, relativ luftfuktighet, nedbørintensitet, nedbørstype, duggpunktstemperatur, sikt i nedbør og akkumulert nedbør på timesbasis. Stasjonen hadde kun historisk tilgjengelig data for vintersesongen 2020/2021 og 2021/2022. Vintersesongen ble definert fra 1. oktober til 10. april for vintersesongen 2020/2021 og gav 4600 timer med data. For vintersesongen 2021/2022 ble det lastet ned værdata fra 1. oktober til 1. mars, som utgjorde 3650 timer med data. Etter dette var datainnsamlingen slutt, og det var heller ikke lastet ned flere datasett fra flåtestyringsdataen.

Ved sammenligning av prognosedataene fra meteorologisk institutt og målestasjonen til Statens vegvesen ble det oppdaget store avvik. Metrologisk institutt ble kontaktet for veiledning. Her fremkom det at prognosedataen deres er avhengig av mange observasjoner i nærheten for å være nøyaktig, ellers vil den hovedsakelig bestå av deres værmodell ifølge I. Seiersted ved meteorologisk institutt (personlig kommunikasjon, 09.02.2022).

Denne usikkerheten tilknyttet prognosedataene fra meteorologisk institutt gjorde at målestasjonsdataene til Statens vegvesen ble valgt som datasett for vær. Det ble ansett som viktigere å kalibrere modellen med realistisk data; før den eventuelt ble innkjørt eller testet med prognosedata.

Som beskrevet i kapittel 3.3.2 tar ett komplett tiltak (en runde) med vinterdrift på roden omtrent 80 minutter å fullføre. En modell utviklet på en timesbasis, slik værdatasettene var passet dårlig med denne rundetiden. Værdatasettene ble dermed "upsamlet" til en halvtimesbasis for å passe bedre med flåtestyringsdataen for å øke nøyaktigheten av eventuelle prediksjoner.

3.5 Værhendelsesmodell

En utkallingsalgoritme som kan forutse nødvendig vinterdrift må kunne definere værperioder med behov for tiltak. Videre må værperiodene analyseres for omfanget av disse tiltakene. Utviklingen av en utkallingsalgoritme ble dermed delt i to delmodeller, en værhendelsesmodell og en tiltaksmodell.

Værhendelsesmodellen ble utviklet og innstilt på vinterdrift. Det betyr at modellen søkte etter perioder med vær som kunne utløse vinterdrift. Dette fundamentet la grunnlag for tre hovedkriterier værdataen ble gjennomført for: snøfall, fare for rimdannelse og fare for frost på våt vegbane. Dette gav grunnlaget for tre undermodeller i værhendelsesmodellen, som illustrert i figur 14. Videre ble det definert ulike søkekriterier for hver av delmodellene.

Kriteriene for snøfall-delmodellen tok utgangspunkt i Norges vassdrags- og energidirektorat (NVE) sine forenklinger til nedbør, temperatur og mengde snø [57]. De er som følger:

1. Temperatur lavere enn 0,5 °C gir snø.
2. Temperatur høyere enn 0,5 °C gir regn.
3. Estimert på at 1 mm nedbør (regn) tilsvarer 1 cm snø.

Delmodellen for rimdannelse tok utgangspunkt i at det kan oppstå fare for glatt vegbane når de underliggende kriteriene er oppfylt [23]:

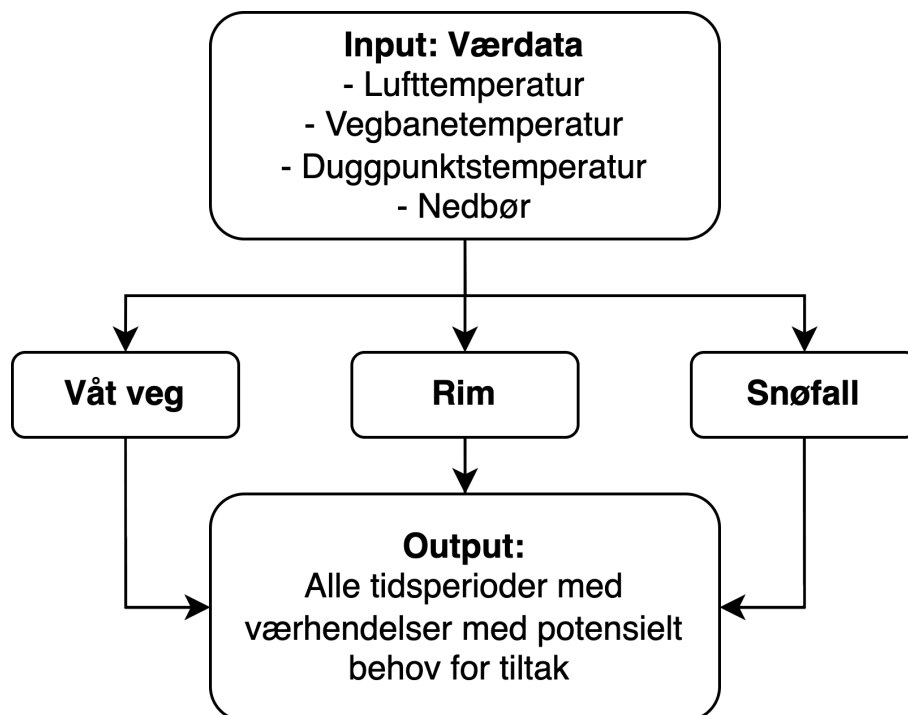
1. Vegbanetemperatur \leq duggpunktstemperaturen.
2. Vegbanetemperatur \leq frysepunktet.
3. Frysepunktet settes til 0 °C.

Den siste delmodellen skulle søke etter fare for frost på våt vegbane. For å oppdage tilfeller med en vegbane med synkende temperaturer, eller regn på en frossen vegbane. Dette omfattet å utvikle en parameter for når vegbanen var våt og om dette utgjorde noen risiko for problemer. Det finnes ulike modeller for beregning av fuktighet på veg, men av tidshensyn har det blitt benyttet visse forenklinger til dette kriteriet. Etter samtaler med veileder ble tørketiden definert til å være 5 timer etter nedbør. Videre måtte det defineres om denne fuktigheten var problematisk eller ikke. Dette la grunnlaget for følgende parametere som undermodellen søkte etter:

1. Vegbanen er enten våt eller ikke våt. Registrert nedbør gjør at vegbanen er *våt* de neste 5 timene.
2. En våt vegbane er et problem hvis: Vegbanetemperaturen \leq 0 °C.

Det ble utviklet modeller for å definere værhendelser både i Excel og Python, men all utviklingen ble til slutt gjennomført i Python.

Den endelige værmodellen ble sammensatt av de tre vær-delmodellene. Som inputdata trenger modellen luft-, vegbane-, duggpunktstemperatur og nedbørsdata. Modellens oppbygging er illustrert i figur 14. Værmodellen analyserer inputen basert på de definerte kriteriene til hvert værphenomen. I retur finner modellen alle værhendelsene der det er fare for at minst en av de tre værhendelsene kan forekomme.



Figur 14: Oppbygging av værhendelsesmodellen med definert input og output.

Værhendelser funnet av de tre ulike undermodellene omtales videre som henholdsvis *våt*, *rim* og *snø*.

Værhendelsesmodellen fra figur 14 operer på et teknisk plan omtrent som vist i tabell 8. Utdraget illustrert i tabellen viser et ekstremtilfelle en tilfeldig dag, der alle tre værhendelsene forekommer omtrent samtidig. Basert på de definerte kriteriene angir værhendelsesmodellen når vegbanen er *våt* (Og utgjør et problem), om det er fare for *rim* og om det er *snø*. Hvis en av de tre kriteriene får utslag arkiveres punktet som en værhendelse.

Om en værhendelse forekommer arkiveres dette som verdien 1 i modellen. I det værhendelsen opphører, returnerer verdien til 0. Værhendelse arkiveres dermed binært som illustrert i tabell 8. Kolonnene med de binære verdiene ble så iterert gjennom ved en funksjon som plasserte vedvarende verdier i ulike intervaller (i1, i2, i3 og i4). Lengden av hvert unike intervall ble dermed et mål på varigheten av de enkelte værhendelsene og alle samlet (i4). I denne kategoriseringen var det enkelt å hente ut start- og slutt punkt for hver unik værhendelse, eller alle samlet.

De endelige definerte parameterne og tilhørende verdier for værhendelsesmodellen er oppsummert i tabell 9.

Tabell 8: Utdrag av resultatet fra værhendelsesmodellen. Modellen viser perioder med værhendelser og i intervaller basert på aktivt værphenomen.

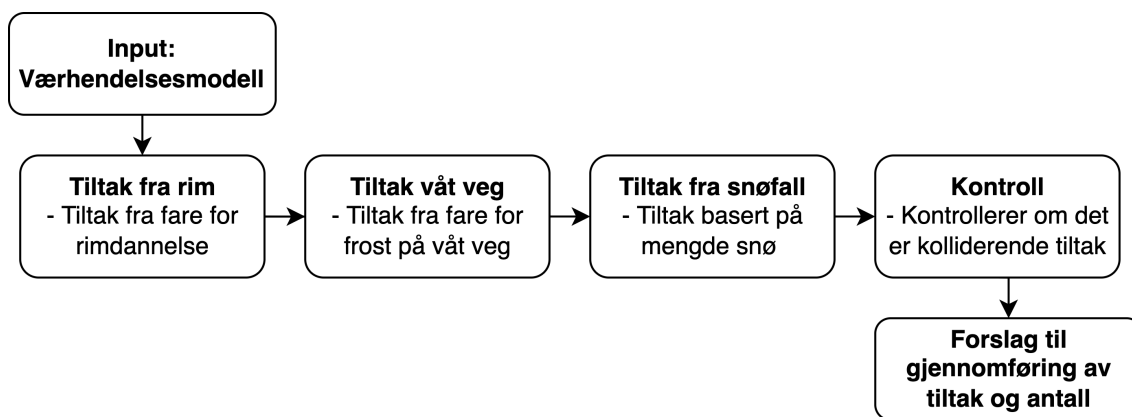
Tid	Bare våt	Våt problem	i1	Rim	i2	Snø	i3	Værhendelse	i4
12:00	1	1	31	0	x	0	x	1	20
12:30	0	0	x	0	x	1	x	0	x
13:00	1	0	x	1	66	1	x	1	21
13:30	1	0	x	1	66	1	x	1	21
14:00	1	1	32	0	x	1	30	1	21
14:30	1	1	32	0	x	1	30	1	21

Tabell 9: Oppsummering av verdier og parametere for værhendelsesmodellen satt med utgangspunkt i intervju, samtaler og litteratur.

Parameter	Initialverdi
Minimum mengde nedbør (>) som medfører fuktig vegbane [mm]	0
Varighet fuktig vegbane [t]	5
Fare for frost på våt veg ved temperatur mindre eller lik [C]	0
Fare for rim ved vegbanetemperatur mindre eller lik (og vegbane- \leq duggpunktstemperatur) [C]	0
Nedbør blir til snø ved temperatur mindre eller lik [C]	0,5

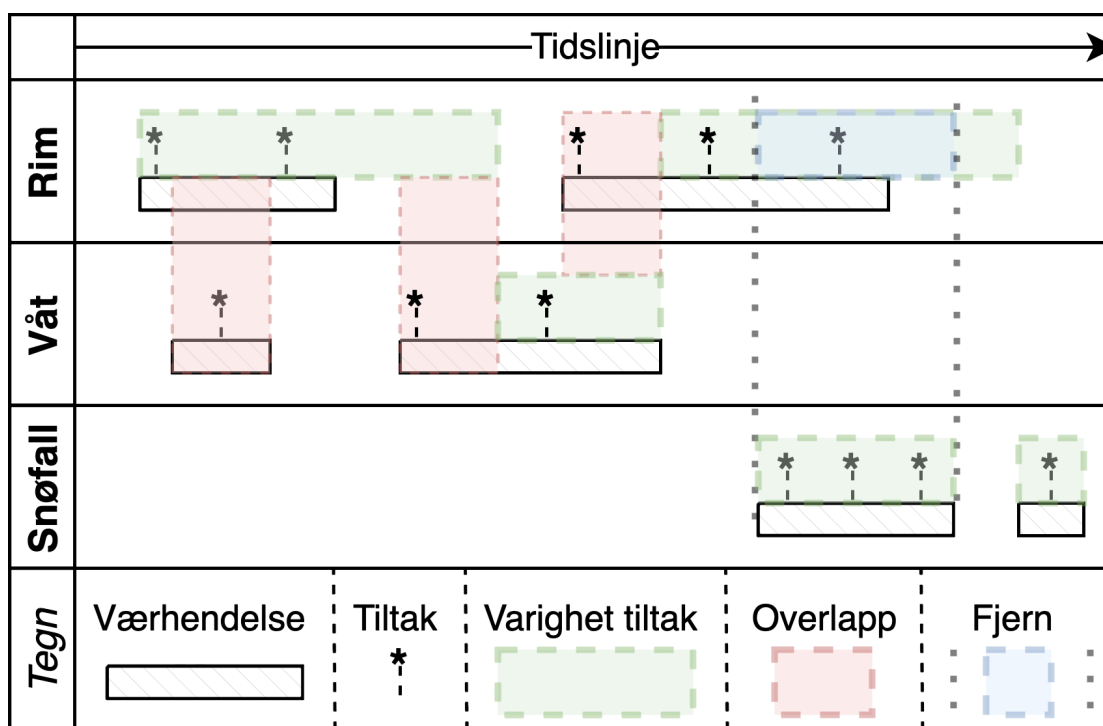
3.6 Tiltaksmodell

Det var nødvendig å analysere periodene definert som værhendelser av værhendelsesmodellen for å predikere forventet arbeidsomfang. Det ble dermed utviklet en tiltaksmodell. Modellen ble bygget opp av fire delmodeller som illustrert i figur 15. De tre første iterer alle gjennom værdet dataen hver sin gang for å se om det er behov for tiltak basert på sine kriterier: *rim*, *våt* og *snø*. Til slutt kontrolleres dataene for å undersøke om det er overlappende tiltak, som vil gjøre andre tiltak overflødige.



Figur 15: Oppbygging og sammensetning av tiltaksmodellen.

Løsningen på overlapp i tiltaksmodellen er illustrert i figur 16. Figuren viser at alle de tre værhendelsene kan utløse tiltak. Ved direkte overlapp av to værhendelser vil tiltak fra *rim* prioriteres over *våt* i henhold til hierarkiet. Hvert gjennomførte tiltak tilknyttet salting gir en varighet utover værhendelsen, og blir arkivert videre. Denne varigheten kan gjøre tiltak i både *rim* og *våt* overflødige, og medfører at de fjernes. Øverst på hierarkiet står tiltakene fra *snøfall*. Eventuelle preventive tiltak som blir gjort i en periode det gjennomføres tiltak tilknyttet snøfall fjernes. Da det med gjennomføring av tiltak tilknyttet snøfall også saltes for å unngå kompaktering av snøen.



Figur 16: Håndtering av overlapp mellom tiltak i tiltaksmodellen.

I arbeidet med tiltaksmodellen var det viktig å finne relevante parametere som det var mulig å endre, for å senere justere og optimalisere modellen. Nedenfor beskrives kort oppbyggingen og de tilhørende utgangspunktene som ble tatt for hver delmodell. I tillegg utbroderes bakgrunnen for overlapp og varigheten av ulike tiltak.

Rim

Delmodellen analyserer alle værhendelsene med fare for rimdannelse. Arbeidet avdekket følgende premisser som nødvendige å inkludere i delmodellen:

- Minimumstid for værhendelse før det kan oppstå fare for rimdannelse.
- Varighet av værhendelse før første tiltak blir gjennomført.
- Varighet av tiltak - når må det gjennomføres nytt tiltak.
- Antall kjøretøy og runder ved gjennomføring av tiltak.

Korte værhendelser trenger ikke nødvendigvis behandles, og det ble definert en minimums varighet før det var behov for tiltak. Denne ble satt til å være 5 timer på bakgrunn av intervju med vinterdriftspersonell og undersøkelsene til Karlsson [23]. Gjennomføringen av et tiltak ble satt til å være 1 time inn i værhendelsen etter den svenske modellen beskrevet i kapittel 2.7.2. Varigheten av et gjennomført tiltak ble satt til å være 6 timer etter den svenske modellen. Denne verdien ble lagret i en egen saltmodell som har oversikt over når det er salt på vegen (tiltakets varighet). Ved gjennomføring av et saltingstiltak ble det ifølge intervjuene kjørt to eller tre runder. I modellen ble denne variabelen satt til to.

Oppsummert i tabell 10 er følgende parametere lagt til grunn for delmodellen for tiltak fra værhendelser med rimdannelse.

Tabell 10: Oppsummering av verdier for delmodellen rimdannelse satt med utgangspunkt i intervju, samtaler og litteratur.

Parameter	Initialverdi
Minimum varighet (\geq) av en rim-værhendelse før tiltak er nødvendig [t]	5
Antall timer inn i rim-værhendelse før tiltak gjennomføres [t]	1
Varighet rim-tiltak og tid mellom tiltak [t]	6
Antall turer ved gjennomføring av preventivt saltingstiltak [n]	2x

Våt

Den andre delmodellen er bygget opp på samme måte som delmodellen for rimdannelse med de samme nødvendige parameterne:

- Minimumstid for værhendelse før det kan oppstå fare for frost på våt vegbane.
- Varighet av værhendelse før første tiltak blir gjennomført.
- Varighet av tiltak - når må det gjennomføres nytt tiltak.
- Antall kjøretøy og runder ved gjennomføring av tiltak.

Utgangspunktet og kilden for parameterne var det samme som for rimdannelse. I tillegg ble det hentet inspirasjon fra den danske saltindeksen [38] til justering av

parameterne. Modellen søker også i saltdatabasen fra *rim*, om det er salt på vegbanen. Hvis vegbanen er salt fjernes eventuelt predikert behov for tiltak. I tillegg oppdateres saltdatabasen hvis det gjennomføres nye predikerte tiltak.

Oppsummert i tabell 11 er følgende parametere lagt til grunn for delmodellen for tiltak fra værhendelser med fare frost på *våt* vegbane.

Tabell 11: Oppsummering av verdier for delmodellen *våt*-vegbane satt med utgangspunkt i intervju, samtaler og litteratur.

Parameter	Initialverdi
Minimum varighet mindre eller lik av værhendelse med våt vegbane med fare for frost før tiltak er nødvendig [t]	5
Antall timer inn i værhendelse med våt vegbane med fare for frost før tiltak gjennomføres [t]	1
Varighet av tiltak utført for fare for frost på våt vegbane, og tid mellom tiltak [t]	6
Antall turer ved gjennomføring av preventivt saltingstiltak [n]	2x

Snø

Den siste delmodellen tar for seg værhendelsene med *snø*. Det ble identifisert behov for følgende parametere:

- Akkumulert mengde snø før tiltak gjennomføres og verdien nullstilles.
- Minimumsmengde akkumulert snø for om det er behov for tiltak eller ikke.
- Intervall mellom minimumsmengde og en satt verdi der det kun blir benyttet salting og ikke brøyting.
- Minimumstid mellom tiltak som følge av rundetid.
- Antall kjøretøy i bruk ved gjennomføring av første runde i et tiltak.
- Antall kjøretøy i bruk ved gjennomføring av resterende runder i et tiltak (med unntak av siste runde).
- Antall kjøretøy i bruk ved gjennomføring av siste runde i et tiltak.
- Antall kjøretøy i bruk ved gjennomføring av et *saltings*-tiltak fremfor *brøyting og salting*.

Hver enkelt værhendelse ble prosessert gjennom en akkumuleringsfunksjon. Funk-sjonen la sammen akkumulert snøfall per halvtide frem til en definert grense. Når grensen var nådd utløste det et tiltak, og den akkumulerte mengden ble nullstilt. Grensen ble satt til 1 mm nedbør som tilsvarer 1 cm snøekvivalenter fra den svenske vintermodellen [44]. Basert på den svenske vintermodellen ble det definert ingen behov for tiltak om den akkumulerte mengden var mindre enn 0,1 mm nedbør. Den definerte grensen mellom "ikke-tiltak" og full vinterdrift med *brøyting og salting* ble satt til å være mellom 0,1-0,3 mm basert på senere kalibrering og justering (se kapittel: 3.8). I dette intervallet blir det gjennomført bare *salting* fremfor *brøyting og salting*.

Begrensingen i minimumstid mellom tiltak er begrenset av tiden en runde tar, i gjennomsnitt ca. 80 minutter. Grensen settes dermed til 1,5 timer for å enkelt passe værdataene og legge inn noe rom for pause og/eller stopp.

Under full vinterdrift ble det alltid benyttet 3 kjøretøy ifølge driftspersonellet og egne observasjoner. Men det gjennomføres et preventivt tiltak i forkant av tiltak tilknyttet snøfall, gitt at vegbanen ikke har salt på seg. I tillegg gjennomføres den siste runden av snøfall hovedsakelig for å fjerne rester og sette et avsluttende preventivt saltlag på vegbanen. Dermed består første og siste gjennomførte tiltak under snøfall av to kjøretøy/runder.

Oppsummert i tabell 12 er følgende parametere lagt til grunn for delmodellen for tiltak fra værhendelser snøfall.

Tabell 12: Oppsummering av verdier for delmodellen snøfall satt med utgangspunkt i intervju, samtaler og litteratur.

Parameter	Initialverdi
Akkumulert tiltaksgrense ved nedbør (snøfall), før tiltak [mm]	1
Ingen tiltak hvis akkumulert mengde nedbør (snøfall) er mindre enn eller lik [mm]	0,1
Saltings-tiltak hvis akkumulert mengde er større enn minimumsgrensen, og mindre eller lik [mm]	-
Eventuelle saltings-tiltak fremfor brøyting gjennomføres X antall timer inn i en værhendelse [t]	1
Minimumstid mellom gjennomføring av tiltak [t]	1,5
Antall turer ved gjennomføring av preventivt saltingstiltak [n]	2x
Antall turer ved aktiv brøyting [n]	3x
Antall turer ved preventiv salting før brøyting [n]	2x
Antall turer siste tiltak ved værhendelse snøfall [n]	2x

Kontroll

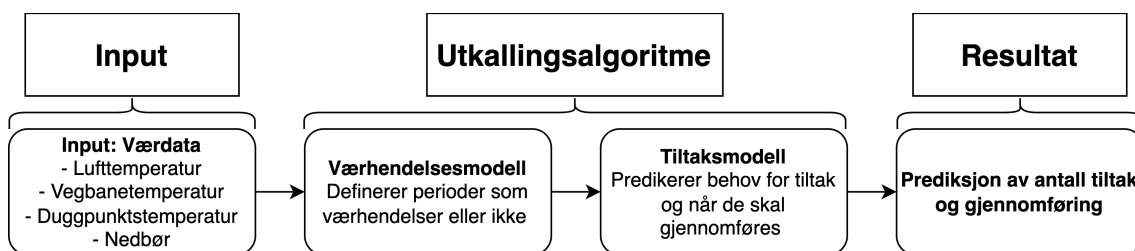
Hele figur 16 viser hvordan delmodellen for *kontroll* opererer. Delmodellen kontrollerer om det er overlapp mellom tiltak basert på saltdatabasen fra delmodellen til *rim* eller *våt*. Om modellen finner overlapp mellom disse delmodellene fjernes tiltaket som ble predikert senest, så lenge det fortsatt er tilstrekkelig varighet igjen av tiltaket (salt på vegbanen).

Modellen kontrollerer til slutt om noen av tiltakene fra *snø* overlapper med tiltak fra de to andre delmodellene. Om det er overlapp blir tiltaket fra *snø* stående, og de resterende fjernet.

3.7 Utkallingsalgoritme

Værhendelsesmodellen og tiltaksmodellen ble slått sammen, og utgjør til sammen en komplett utkallingsalgoritme. Denne er illustrert i figur 17. Algoritmen leser av et dataark på halvtimesformat. Inndataen må bestå av luft-, vegbane, duggpunktstemperatur og nedbør. Modellen vil predikere nødvendige tiltak basert på analysert værdata av delmodellen *værhendelsesmodell*. Denne dataen blir så benyttet av del-

modellen *tiltaksmodell* for å definere forventet mengde vinterdrift i de ulike værhendelsene. Dette gir til slutt grunnlag for å predikere når tiltak skal gjennomføres og antall tiltak.



Figur 17: Oppbyggingen av den komplette utkallingsalgoritmen.

3.8 Kalibrering og validering

Utkallingsalgoritmen ble kalibrert på bakgrunn av informasjon fra litteraturstudiet, gjennomførte intervjuer, samtaler med veileder og iterativt arbeid med utviklingen av utkallingsalgoritmen. De tre førstnevnte danner utgangspunktet for verdier til kriteriene i undermodellene: værhendelsesmodellen og tiltaksmodellen. Verdiene ble omtalt som initialverdi i tabell 9, 10, 11 og 12. Det iterative arbeidet der utkallingsalgoritmen ble utviklet, testet og validert danner grunnlaget for videre justeringer av kriteriene og parameterne. Dette ble gjennomført innen rimelighetens grenser basert på litteraturen og intervjuene.

Utkallingsalgoritmen ble validert og kalibrert gjennom egendefinerte valideringer og ulike valideringsmetoder beskrevet av Sargent [58]. En valideringsprosess kan ifølge Sargent deles inn i tre steg:

1. Utvikle en modell som er så virkelighetsnær som mulig.
2. Valider og verifiser modellen sine antakelser.
3. Sammenlign modellens sin input/output imot det reelle systemets input/output.

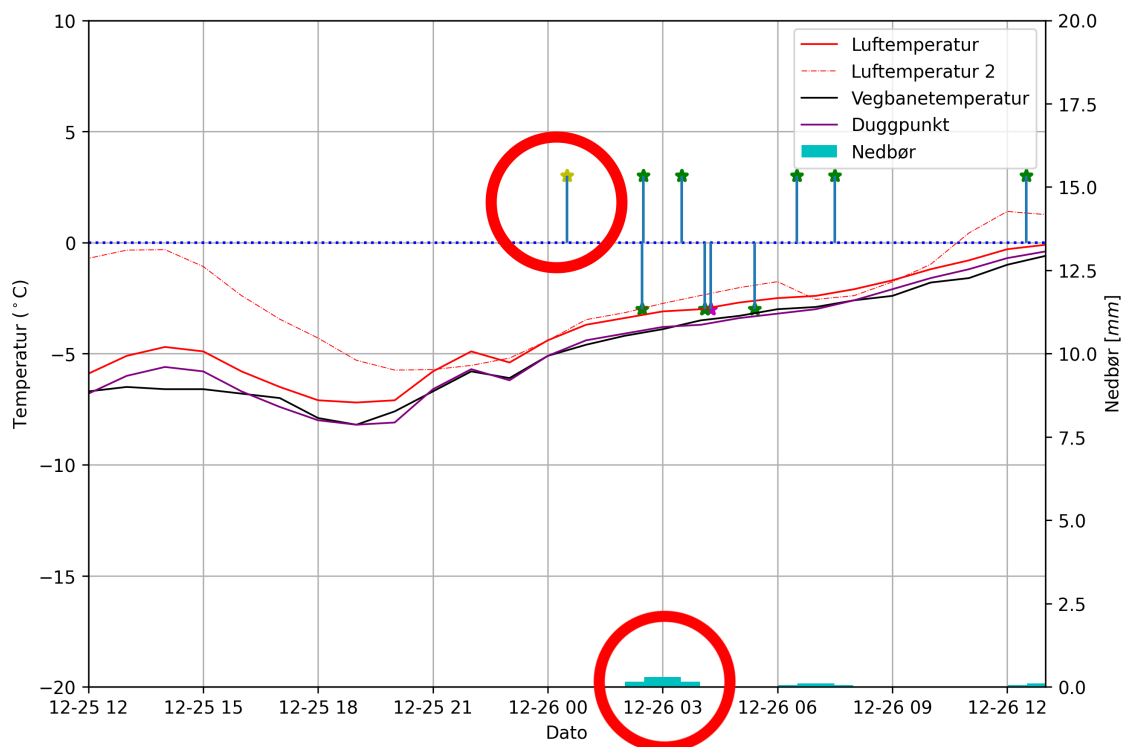
Resultatene fra utkallingsalgoritmen omtales videre som *predikerte tiltak*, og de sammenlignes mot *faktiske* tiltak fra flåtestyringsdataen. Alle valideringsmetodene som er benyttet tar utgangspunkt i sammenligning mellom faktiske og predikerte tiltak. Modellen ble kun validert og kalibrert på data for vintersesongen 2020/2021 og 2021/2022, da det ikke var tilgjengelig målestasjon-værdata for vintersesongen 2019/2020. De ulike formene for validering gav også et grunnlag for å kalibrere og justere parameterne i utkallingsalgoritmen, for å øke prediksjonsytelsen. Dette gjorde at modellen til dels ble kalibrert og validert på samme tid. De justerte verdiene er oppsummert i enden av dette delkapittelet, i tabell 15. Nedenfor presenteres de ulike formene for validering som ble gjennomført, for å kalibrere og validere modellen.

3.8.1 Manuell

Det ble gjennomført en manuell sammenligning av faktiske og predikerte tiltak. Dette ble gjort ved å plote tiltakene mot hverandre som funksjon av tid, som illustrert i

figur 18. Her ble det undersøkt for anomalier eller tilfeller som skilte seg ut fra det som var forventet. Hovedfunnene er oppsummert nedenfor:

- Utkallingsalgoritmen finner oftere behov for preventive tiltak, uten at dette støttes i de faktiske tiltakene.
- Utkallingsalgoritmen trenger ikke en egen modell for å sette preventiv salting i forkant av snøfall. Disse predikerte tiltakene ble som vist i figur 18 stående uten støtte fra faktiske tiltak. De predikerte tiltakene peker opp, mens de faktiske tiltakene peker ned i figuren. Dette viser at det i praksis ble gjennomført preventivt tiltak i forkant av værhendelsen, men at denne først ble gjort i det værhendelsen startet. Den preventive modellen ble dermed fjernet, og den første runden av vinterdrift ble omdefinert til et preventiv tiltak (salting).
- Temperaturen der nedbør defineres som snø viste svakheter i enkelte tilfeller. Det ble funnet tilfeller der utkallingsalgoritmen predikerte snøbrøyting, mens de faktiske tiltakene tydelig viser at nedbøren kom som regn.
- Små mengder nedbør (snø) utløser ikke faktiske tiltak.
- Akkumulert nedbør (snø) over minimumsgrensen for tiltak, og under et vist nivå blir ofte behandlet med *salting* fremfor *brøyting*.
- Det er avvik mellom antall faktiske og predikerte tiltak. Dette ble håndtert ved å juster de gjennomførte turene til det som kom frem i intervjuene.



Figur 18: Faktiske og predikerte tiltak plottet mot hverandre som funksjon av tid og vær. Stjerner opp er predikerte tiltak, mens faktiske tiltak vender nedover (*Tidsformat: [MM-DD tt]*).

3.8.2 Automatisk

For å ytterligere kalibrere og validere modellen ble det benyttet ulike mer automatiserte metoder. Hensikten var å få objektive mål på nøyaktigheten av prediksjonene til utkallingsalgoritmen.

De ulike metodene modellen ble kalibrert og validert på er som følger:

- Sammenligne antall faktiske og predikerte tiltak.
- Treffprosent innen værhendelser.
- Nærmeste-nabo-validering.
- Ekstreme forhold test.
- Prediktiv validering test.
- Cohens kappa modell validering.

Sammenligne antall tiltak

Den enkleste valideringen bestod av å sammenligne antall predikerte og faktiske tiltak. Dette ble gjort over hele den analyserte perioden, og for hver enkelt sesong. I tillegg ble dataen delt opp til å enten bestå av *salting* eller *brøyting og salting*.

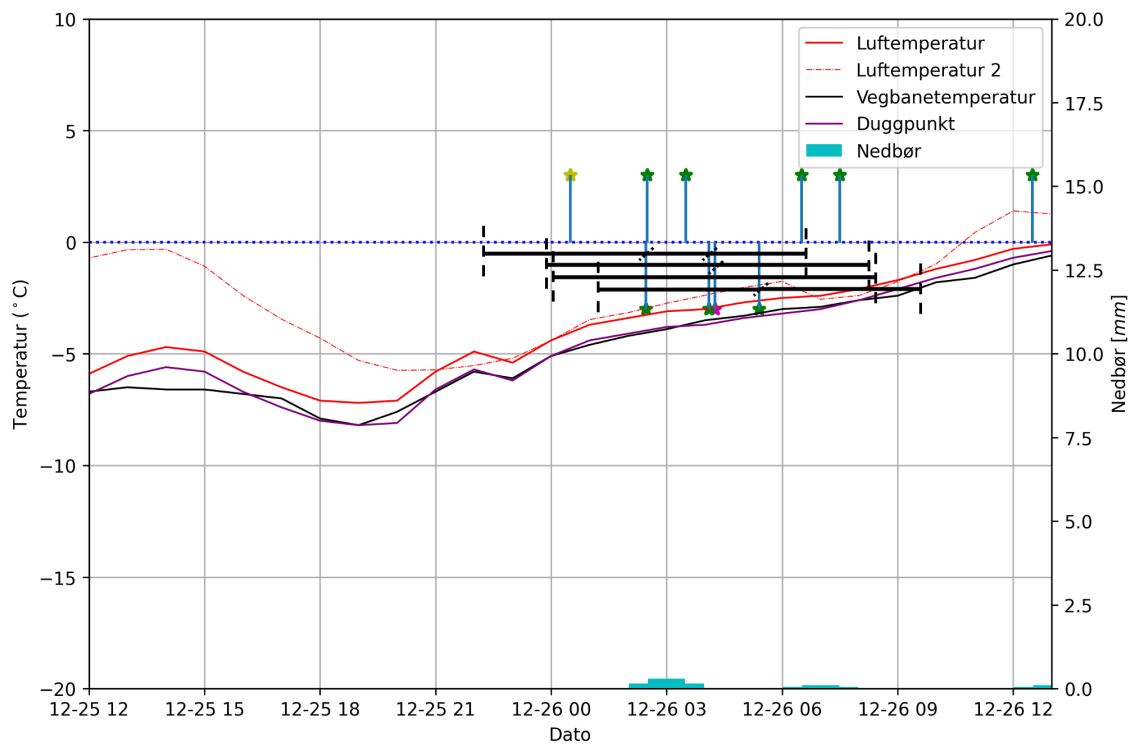
Treffprosent av værhendelser

Valideringen ble gjennomført ved å analysere hvor mange av de faktiske tiltakene som forekom under værhendelser funnet av værhendelsesmodellen. Dette ble et viktig mål på hvor mange av de faktiske tiltakene utkallingsalgoritmen maksimalt var i stand til å identifisere.

I tillegg ble alle datapunktene med et eller flere aktive værhendelser sortert ut, og sammenlignet mot det totale antallet datapunkter i værdatabasen. Dette gav et mål på andelen av værdatabasen som faktisk er værhendelser. Dataen ble videre delt inn i hvilken type værhendelse som var aktiv.

Nærmeste-nabo-validering

Den nærmeste nabo valideringen tok utgangspunkt i alle de faktiske tiltakene. Ut fra hvert enkelt tiltak ble det så søkt i fire timer både før og etter om det var registrert et predikert tiltak. Denne valideringen ble gjennomført før antall kjøretøy/runder var en viktig faktor. Valideringen gav dermed et mål på hvor godt de faktiske og predikerte tiltakene matchet, uten hensyn til det faktiske antallet i hvert intervall. Metodikken er illustrert i figur 19. Figuren viser søkeområdet fra hvert faktiske tiltak tegnet i svart. Alle de faktiske tiltakene i figuren defineres til å ha matchende tiltak basert på valideringen.



Figur 19: Nærmeste nabo validering. Hvert faktiske tiltak (stjerne ned) får et søkeområde på $[t-4, t+4]$ markert på figuren i svart, for å kontrollere om det er matchende predikerte tiltak(stjerne opp) (Tidsformat: [MM-DD tt]).

Ekstreme forhold test

Utkallingsalgoritmen ble kjørt med et manuelt produsert værdataark. Værdataene i arket bestod av ekstreme mengder nedbør, usannsynlige kombinasjoner av værhendelser og ekstreme verdier av temperatur. I tillegg ble det lagt inn perioder midt i værhendelsene uten data. Dette ble gjort for å se hvordan modellen håndterte de ulike scenarioene. Testen ble gjennomført uten å avdekke spesielle problemer eller svakheter basert på kriteriene.

Prediktiv validering test

Testen ble brukt til å predikere utkallingsalgoritmen sin oppførsel, og sammenligne det mot flåtestyringsdataen. I praksis betydde det å undersøke alle periodene definert som en værhendelse, og hva som ble gjennomført i dem. Både fra dataen til utkallingsalgoritmen og flåtestyringsdataen.

Valideringstesten itererte over alle værhendelsesperiodene, og samlet antall tiltak fra begge dataarkene for hver enkelt værhendelse. Valideringen skilte mellom fire ulike tilfeller:

1. Værhendelser med faktiske og predikerte tiltak.
2. Værhendelser uten faktiske og predikerte tiltak.
3. Værhendelser med *kun* predikerte tiltak.
4. Værhendelser med *kun* faktiske tiltak.

Disse fire premisene ble grunnlaget for å sammenligne antall tiltak forventet i hver værhendelse, og eventuelt hvor mange av tiltakene fra flåtestyringsdataen som ikke ble funnet. I tillegg var det mulig å få et mål på hvor mange unødvendige tiltak som ble predikert av utkallingsalgoritmen.

Cohen's kappa modell validering

Det ble gjennomført en Cohen's Kappa test av datasettene for å validere om de faktiske og predikerte tiltakene hadde en statistisk korrelasjon. En Kappa-test gir et bedre mål på dataene enn bare prosentvis andel, siden testen tar hensyn til statistiske anomalier eller tilfeldigheter. Testen baseres på hendelser der to datasett er enige om en verdi, enige om hva som er "feil" og de to tilfellene der kun en av datasettene mener noe [59].

Denne valideringen ble gjennomført på tiltakene som ble funnet under værhendelser funnet av utkallingsalgoritmen, de resterende dataene ble utelukket. I beregningen ble det satt opp feilmatiser som vist i tabell 13 for begge periodene samlet, og for hver enkelt sesong.

Tabell 13: Feilmatrix for beregning av Cohen's kappa for begge år.

Tiltak	Utkallingsalgoritme (predikerte)			
Flåtestyrings- data (faktiske)		+	-	Totalt
	+	58	5	63
	-	27	100	127
Totalt	85	105	190	

Det er ingen absolutte standarder for å fastslå om en bestemt kappa-verdi er høy eller lav; Imidlertid bruker mange forskere retningslinjene publisert av Landis og Koch [60] presentert i tabell 14.

Tabell 14: Retningslinjer fra Landis og Koch [60] til å tolke verdier fra en Cohen's Kappa-test.

Kappa value	Agreement
$k = 0$	Change agreement
$0 < k \leq 0,2$	Slight agreement
$0,2 < k \leq 0,4$	Fair agreement
$0,4 < k \leq 0,6$	Moderate agreement
$0,6 < k \leq 0,8$	Substantial agreement
$0,8 < k \leq 1$	Almost perfect agreement
$k = 1$	Perfect agreement

Tabell 15: Alle parametere fra værhendelsesmodellen og tiltaksmodellen samlet fra tabell 9, 10, 11 og 12 med initial- verdi og justert verdi fra kalibrering og validering. Justerte parametere er satt i kursiv.

Parameter	Initial-verdi	Justert verdi
Minimum mengde nedbør (>) som medfører fuktig vegbane [mm]	0	0
Varighet fuktig vegbane [t]	5	<i>10</i>
Fare for frost på våt veg ved temperatur mindre eller lik [C]	0	0
Fare for rim ved vegbanetemperatur mindre eller lik (og vegbane- \leq duggpunktstemperatur) [C]	0	<i>0,6</i>
Nedbør blir til snø ved temperatur mindre eller lik [C]	0,5	<i>0,1</i>
Minimum varighet (\geq) av en rim-værhendelse før tiltak er nødvendig [t]	5	6
Antall timer inn i rim-værhendelse før tiltak gjennomføres [t]	1	4
Varighet rim-tiltak og tid mellom tiltak [t]	6	<i>10</i>
Antall turer ved gjennomføring av preventivt saltingstiltak [n]	2x	2x
Minimum varighet mindre eller lik av værhendelse med våt vegbane med fare for frost før tiltak er nødvendig [t]	5	3
Antall timer inn i værhendelse med våt vegbane med fare for frost før tiltak gjennomføres [t]	1	3
Varighet av tiltak utført for fare for frost på våt vegbane, og tid mellom tiltak [t]	6	<i>10</i>
Antall turer ved gjennomføring av preventivt saltingstiltak [n]	2x	2x
Akkumulert tiltaksgrense ved nedbør (snøfall), før tiltak [mm]	1	1
Ingen tiltak hvis akkumulert mengde nedbør (snøfall) er mindre enn eller lik [mm]	0,1	0,1
Saltings-tiltak hvis akkumulert mengde er større enn minimumsgrensen, og mindre eller lik [mm]	-	<i>0,3</i>
Eventuelle saltings-tiltak fremfor brøyting gjennomføres X antall timer inn i en værhendelse [t]	1	2
Minimumstid mellom gjennomføring av tiltak [t]	1,5	1,5
Antall turer ved gjennomføring av preventivt saltingstiltak [n]	2x	2x
Antall turer ved aktiv brøyting [n]	3x	3x
Antall turer ved preventiv salting før brøyting [n]	2x	2x
Antall turer siste tiltak ved værhendelse snøfall [n]	2x	<i>1x</i>

4 Resultater

Etter gjennomføring av uformelle intervju, observasjon og bearbeiding av innsamlet datamateriale fra vintersesongen 2020/2021 og 2021/2022, er resultatene bearbeidet og analysert. Først presenteres resultatene fra gjennomførte intervjuer og observasjon. Deretter presenteres nøkkeltallene fra værhendelsesmodellen. Til slutt presenteres modellens prediksjonsytelse sammenlignet mot faktiske tiltak fra flåtestyringsdata.

4.1 Uformelle intervju og observasjoner

De gjennomførte intervjuene og observasjonene gav innsyn i de menneskelige faktorene ved vinterdrift og innblikk i hvordan normal vinterdrift gjennomføres. Hovedfunnene som ble benyttet direkte eller indirekte i utvikling av utkallingsalgoritmen presenteres her. Resultatene gjenspeiler en sammensetning av svarene fra alle intervjuobjektene. Det skiller mellom logistikk, beslutningsstøtte, gjennomføring av tiltak og utfordringer.

4.1.1 Logistikk

I den operative delen av vintersesongen gjennomføres vinterdriften gjennom et tredelt skift over 24 timer. I helgene er en person på vakt, med andre i bakvakt. Avstanden mellom lageret og roden på denne strekningen var såpass kort at den ikke utgjorde noen logistiske begrensninger.

Det er enighet mellom driftspersonellet om hvor mange kjøretøy som trengs ved ulike værhendelser. Den generelle konsensusen er at ved preventive tiltak mot frost på våt vegbane eller som følge av rim er det tilstrekkelig med et kjøretøy. Snøfall vil derimot alltid kreve minst to kjøretøy som opererer i tandem. I praksis blir det imidlertid "alltid" benyttet tre kjøretøy for å gjennomføre full vinterdrift ved snøfall, ifølge vinterdriftspersonellet.

4.1.2 Beslutningsstøtte

Gjennomførte tiltak gjøres på bakgrunn av menneskelige vurderinger og valg. Intervjuene og observasjonene viser at det er noe variasjon mellom beslutningsstøtten som blir brukt blant driftspersonellet, men at det i praksis kun brukes værprognoser fra *YR.no* (til nød *storm.no*), foruten befaringer av vegbanen.

Værprognoser blir brukt omtrent 1 uke i forkant for å planlegge forventet behov for arbeidsinnsats og derav vinterdriftspersonell. For gjennomføring av drift mente vinterdriftspersonellet det var mulig å planlegge ut ifra værprognosene 24 timer frem i tid. Når denne luken var kommet ned til 12 timer var værprognosene stort sett til å stole på. Etter dette punktet følges uansett værmeldingen tett mot selve værhendelsen, da starttidspunktet eller intensiteten kan avvike noe.

Det ble ifølge vinterdriftspersonellet utført minst en befaring av vegbanen under hvert skift. Befaringen bestod av å bekrefte validiteten til værprognosene og gjeldende førforhold. Ved gjennomføring av befaringen benyttes ofte et eget kjøretøy med senso-

rer som måler og/eller beregner friksjon, vegbane- og duggpunktstemperatur. Denne dataen kan benyttes som indikatorer på en utvikling som skjer av føreforholdene. I tillegg blir det med vaktbytte gjennomført en kunnskapsoverføring mellom vinterdriftspersonellet; som gir innsyn i forholdene som har vært, og forventet utvikling videre.

4.1.3 Gjennomføring av tiltak

Ifølge driftspersonellet og observasjon, tar en komplett runde med vinterdrift omtrent 1,5 timer, uavhengig av type tiltak. Det er denne tidsbegrensingen som blir utslagsgivende for når det er behov for flere kjøretøy.

Preventive tiltak (salting) blir ofte gjennomført lenge etter den reelle starten av værhendelsen. Utover dette var det stor grad av individuelle vurderinger som ble utslagsgivende for når det ble valgt og kjørt for denne typen tiltak.

Preventive tiltak gjennomføres ved minst to runder. En full runde med saltutkast i begge felt, etterfulgt av en runde for å bearbeide avkjørings- og påkjøringsrampene. Men enkelte av vinterdriftspersonellet kjørte en egen runde for hvert felt, som sammen med rampene innebærer tre runder.

Ved snøfall benyttes tre kjøretøy til vinterdrift. Den fremste kjører i venstre felt med skjær, sideplog og saltkaster. Det blir saltet for å unngå kompaktering av snøen under værhendelsene. Med noe avstand følger en brøytebil med skjær i høyre felt. Det siste kjøretøyet kaster de samlede snømassene bort fra vegskulderen og ut til sideterrenget, samt behandler av- og påkjøringsrampene.

I forkant av snøfall gjennomføres det preventivt salttiltak om det ikke allerede er salt på vegen, ifølge vinterdriftspersonellet. Hvis det må saltes skal det gjøres så tett opp mot værhendelsen som mulig. Uavhengig av om saltingen gjennomføres ved to eller tre runder, skal den siste runden være ferdig før snøfallet begynner.

Så lenge det er snø i luften, og frem til vegbanen er bar, gjennomføres vinterdrift. Men i perioder med lav intensitet kan det være nødvendig og fornuftig å ta pauser. En av vinterdriftspersonellet presiserte at "Det må være noe å dytte på". Foruten pausene går tiltakene/rundene kontinuerlig frem til værhendelsens slutt.

4.1.4 utfordringer

Det ble avdekket enkelte tilfeller som kunne påvirke når tiltak ble gjennomført, utover befaringer av vegbanen og værprognoser.

- Rushtrafikk: Et preventivt salttiltak kan gjennomføres 1-2 timer tidligere enn under vanlige forhold, for å ta hensyn til trafikken. Men vinterdriftspersonellet mente dette ble gjort i liten grad, da vegens ÅDT sjeldent var et problem uavhengig av tidspunkt.
- Preventiv salting natt: Lav trafikkmengde på natten gjør at påført salt ikke blir knust, og risikerer å blåse eller renne av vegbanen før det har gitt effekt. Tiltak på nattestid kan dermed ha kortere varighet enn på dagtid. Det er også større rom for å følge utviklingen av fuktigheten til vegbanen. Tørker vegen før nattefrosten kommer er det ikke nødvendig med tiltak, men slike kalkulererte "sjanser" kan ikke gjøres på dagtid.
- Brøyting natt: Det kan tillates mer akkumulert snø på vegbanen før det gjennomføres tiltak på nattestid.
- Menneskelig faktor: Usikkerhet til værprognoser og befaringer resulterer ofte i at "Det er bedre å salte en gang for mye, enn en gang for lite!" (Driftspersonell).
- Vaktskifte: Behov for tiltak styres av værhendelser og ikke vaktskifter. Tiltakene kan justeres noe for å passe bedre inn med arbeidstidene. Men ifølge driftspersonellet var det mer normalt å forlenge eget skift, eller å bytte sjåfør i driftskjøretøyet langs strekningen ved behov.

4.2 Værhendelsesmodell

Værhendelsesmodellen identifiserte 190 værhendelser over 8250 timer med værdata, som vist i tabell 16. Værhendelsene utgjorde til sammen 1340 timer av datagrunnlaget. Denne andelen utgjør 16% av all værdata definert som værhendelser, illustrert i figur 20.

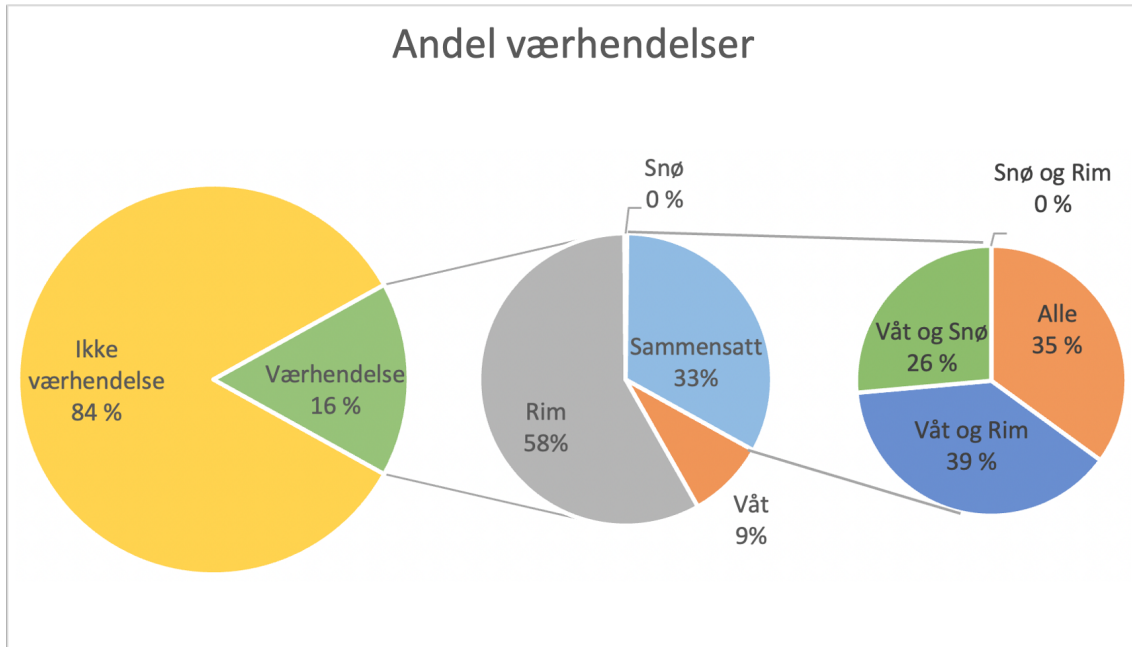
Tabell 16: Oversikt av værdata og værhendelser fordelt mellom de analyserte sesongene.

	2020/2021	2021/2022
Værdata [t]	4600	3650
Værhendelser [t]	596,5	743,5
Antall værhendelser [n]	86	104
Gjennomsnittlig varighet værhendelser [t]	6,9	7,1

Det opereres med tre vær fenomener i resultatkapittelet:

1. *Våt*: Våt vegbane med synkende temperatur eller regn på frossen vegbane.
2. *Snø*: Nedbør i form av iskrystaller som vanligvis er kittet sammen til snøfnugg.
3. *Rim*: Vanndamp som fryser til iskrystaller på vegbanen.

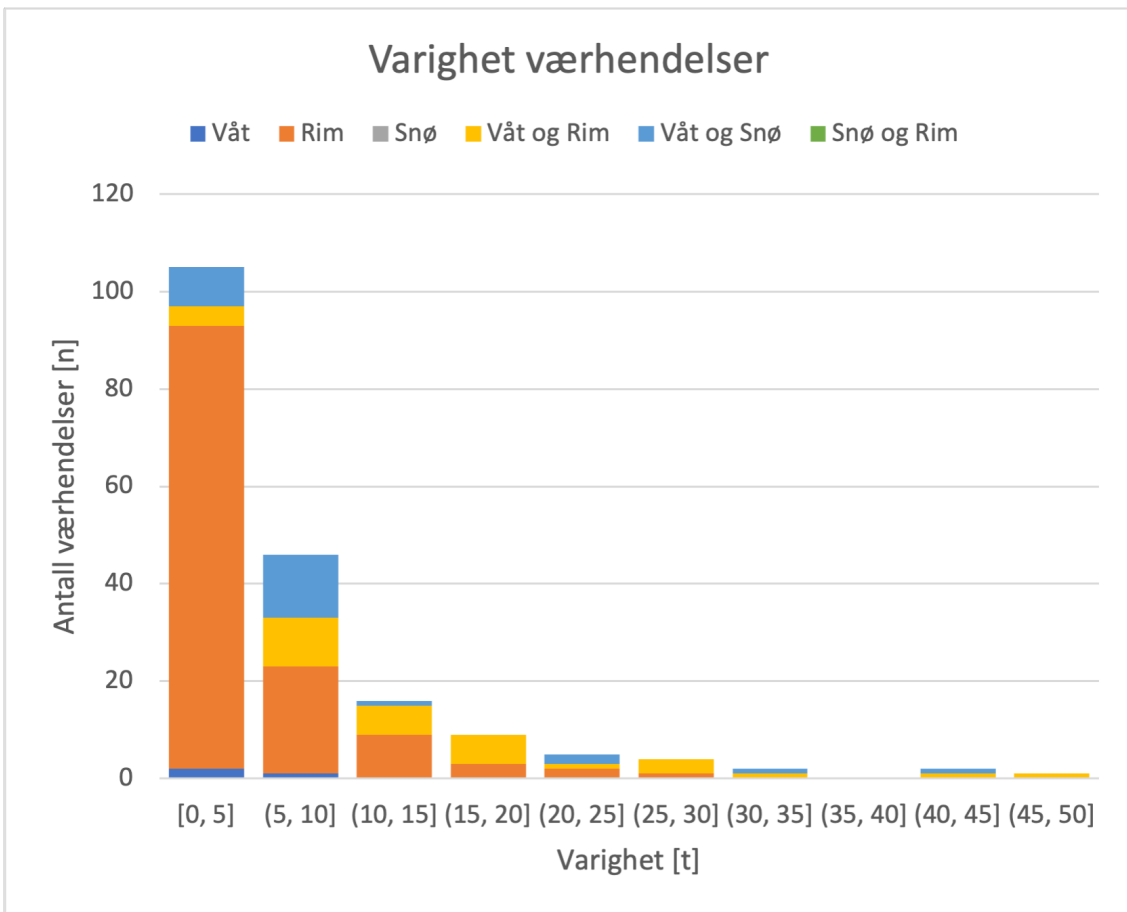
Værhendelsesmodellen søker etter værhendelser satt sammen av flere værfenomener, og tilfeller der bare et av dem opptrer alene. I figur 20 er det illustrert at 33% av værhendelsene består av sammensatte hendelser med minst to værfenomener, mens de resterende 67% av værhendelsene spores til værfenomenene *rim* og *våt*. Værhendelsesmodellen finner ingen tilfeller der det kun er registrert *snø*. Den *sammensatte* andelen deles videre inn i sammensatte værhendelser. Her oppstår aldri *snø og rim* samtidig. De resterende sammensatte værhendelsene fordeles jevnt over alle tilfellene.



Figur 20: Andel av værdata definert som en værhendelse og opptredende værfenomener i værhendelsene for vintersesongen 2020/2021 og 2021/2022. Værhendelsene utgjør 1340 timer av hele værdatasettet på 8250 timer.

Varigheten av de ulike værhendelsene og tilhørende type er illustrert i figur 21. Bearbeiding av dataen viser at 55% av værhendelsene har en varighet på mellom 0-5 timer. Som vist i figur 20 står *rim* for majoriteten av værhendelsene, og 71% av værhendelsene til *rim* skjer i dette intervallet. Værhendelsesmodellen har ikke en minimumstid før den arkiverer værhendelser tilknyttet *rim*, som tyder på mange korte perioder der kriteriene til *rim* er oppfylt. For de sammensatte værhendelsene med *våt og rim* og *våt og snø* er det flest registrerte værhendelser med varighet på mellom 5-10 timer.

Det er vanskelig å vurdere i hvilken grad modellen identifiserer værhendelsene korrekt (både antall og varighet). Da det ikke er objektive mål å sammenligne mot; før det sammenlignes mot faktiske og predikerte tiltak. Men figur 21 ble forevist en prosjektingeniør i RISA (S. A. Pedersen, personlig kommunikasjon, 02. juni 2022), som mente resultatene samsvarte bra med virkeligheten.



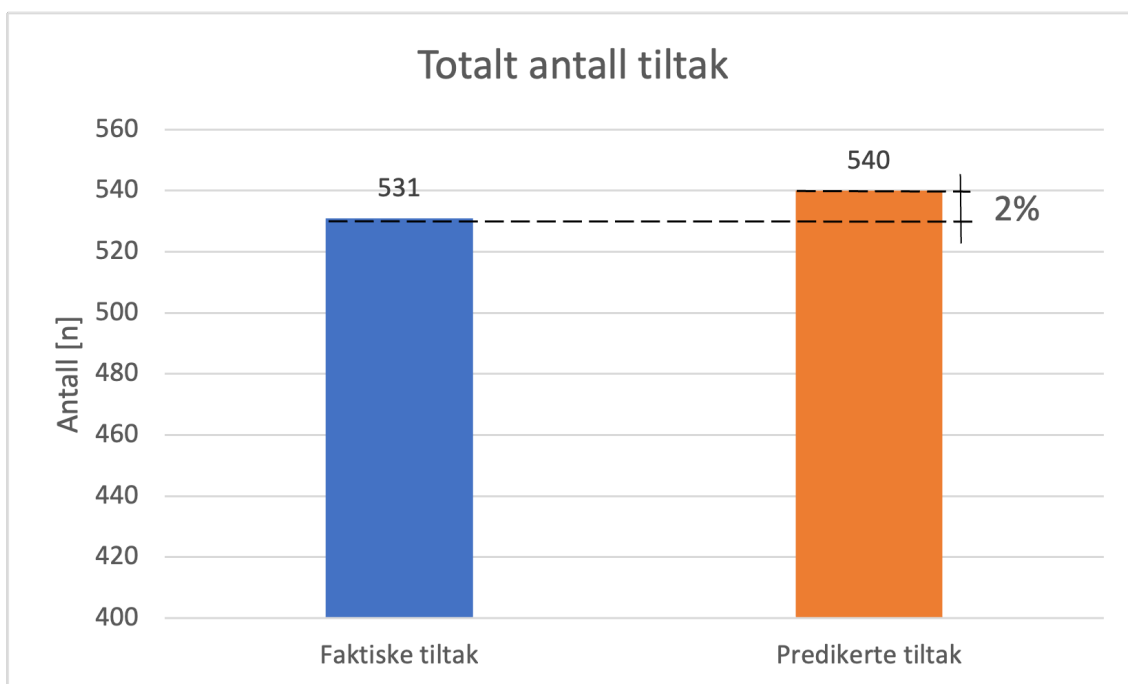
Figur 21: Fordeling av værhendelser basert på varighet og type værhendelse.

4.3 Prediksjonsytelse

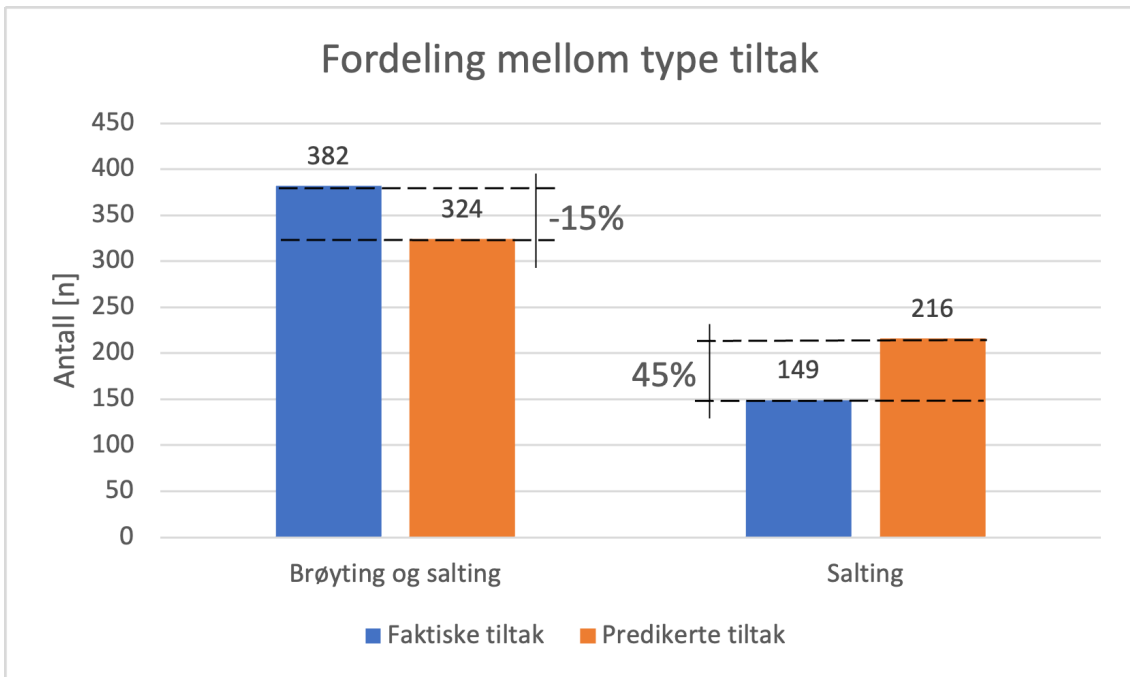
Utkallingsalgoritmen er sammensatt av en værhendelsesmodell og en tiltaksmodell. Prediksjonsytelsen er et mål på hvor godt den komplette utkallingsalgoritmen er i stand til å predikere behov for vinterdrift. Dette gjøres hovedsakelig gjennom å sammenligne faktiske tiltak mot predikerte tiltak. Det vil si tiltakene fra flåtestyringsdataen og predikert av utkallingsalgoritmen.

4.3.1 Antall tiltak over hele perioden

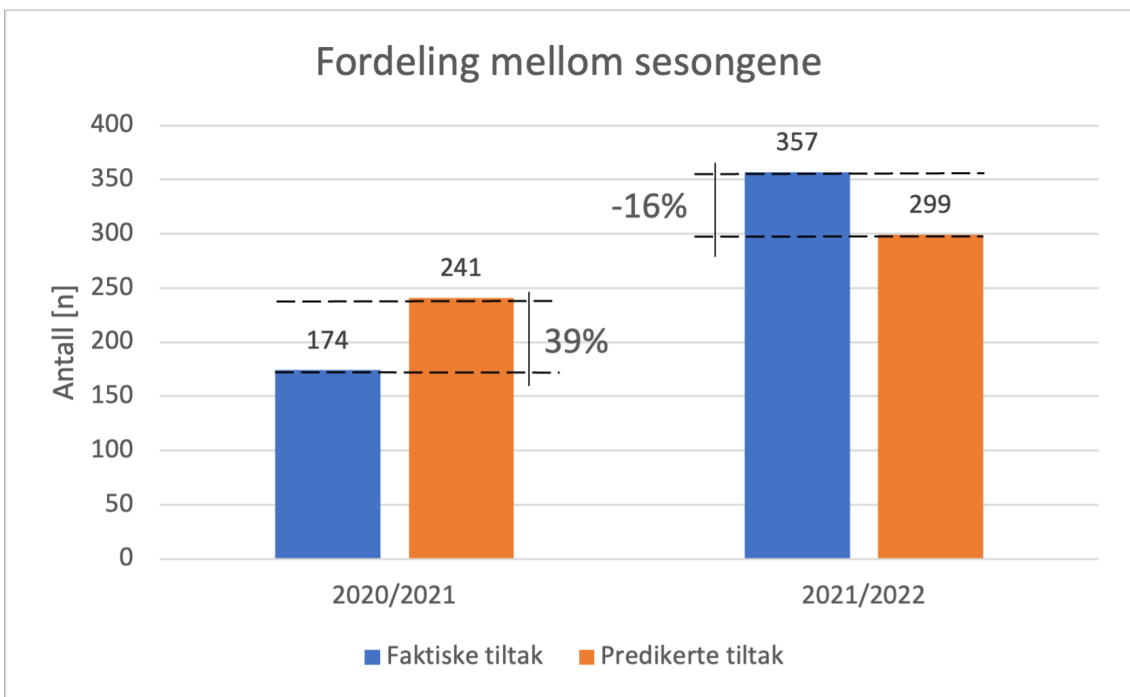
Resultatene i figur 22 viser at utkallingsalgoritmen predikerer 540 tiltak over den analyserte perioden, mot 531 faktiske tiltak. Det gir et avvik på kun 2% mellom faktiske og predikerte tiltak, dette tilsier at datasettene samsvarer meget godt. I figur 23 deles tiltakene inn i type, henholdsvis *brøyting og salting* og *salting*. I denne inndelingen foreligger det et større sprik mellom prediksjonsytelsen. Utkallingsalgoritmen underestimerer 15% av tiltakene tilknyttet *brøyting og salting*, og overestimerer antall tiltak tilknyttet *salting* med 45%. Resultatene av å skille mellom prediksjonsytelsen for de to analyserte sesongene er illustrert i figur 24. Resultatene viser at det er større avvik i hver enkelt sesong, enn kombinert. Spesielt er det verdt å bemerke seg at utkallingsalgoritmen overestimerer antall tiltak den første sesongen, mens den underestimerer for den neste.



Figur 22: Sammenligning av antall faktiske og predikerte tiltak.

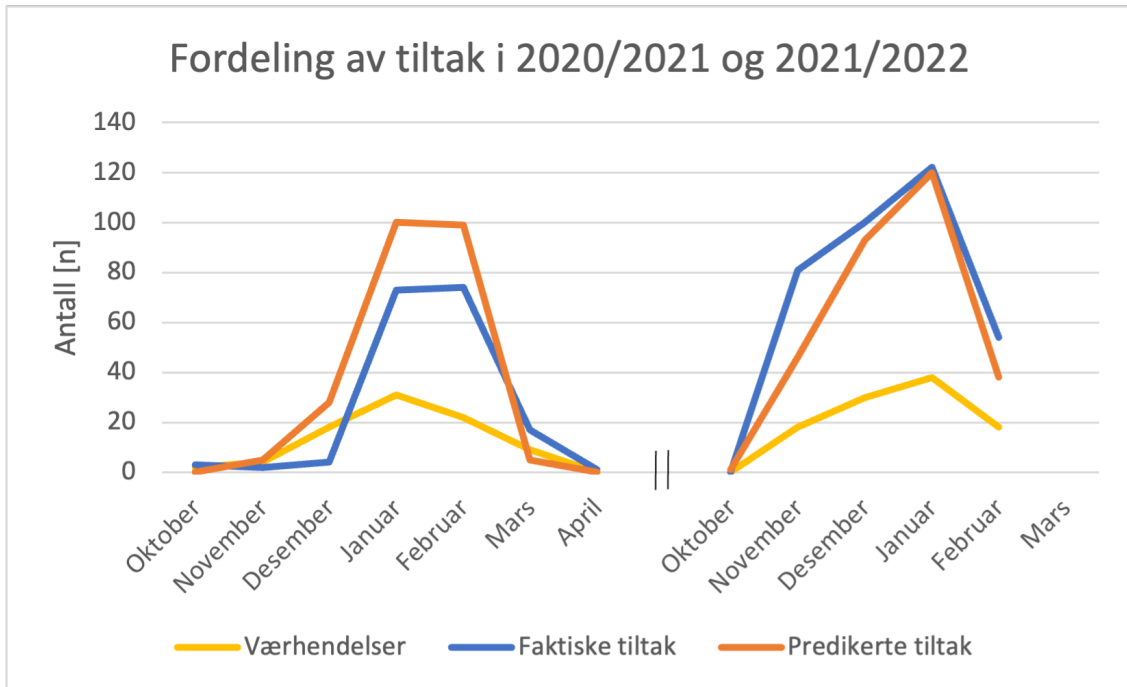


Figur 23: Sammenligning av faktiske og predikerte tiltak tilknyttet *brøyting og salting* og *salting*.



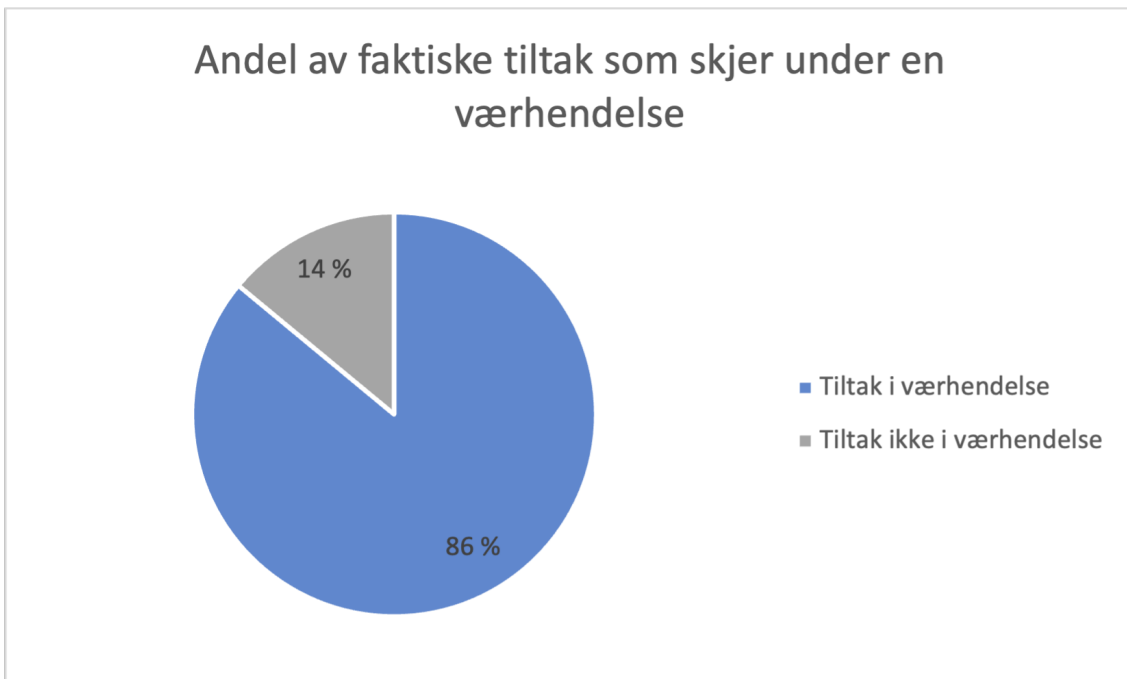
Figur 24: Sammenligning av antall faktiske og predikerte tiltak i de ulike vinterse-
songene.

Fordelingen av tiltak gjennom vintersesongen 2020/2021 og 2021/2022 er illustrert i figur 25. Her vises antall faktiske og predikerte tiltak hver måned, plottet mot antall værhendelser. Figuren viser at det gjennomføres flest tiltak i januar. Det vises også at utkallingsalgoritmen konsekvent overestimerer for vintersesongen 2020/2021. Mens den for vintersesongen 2021/2022 samsvarer bedre, samtidig som den underestimerer noe.

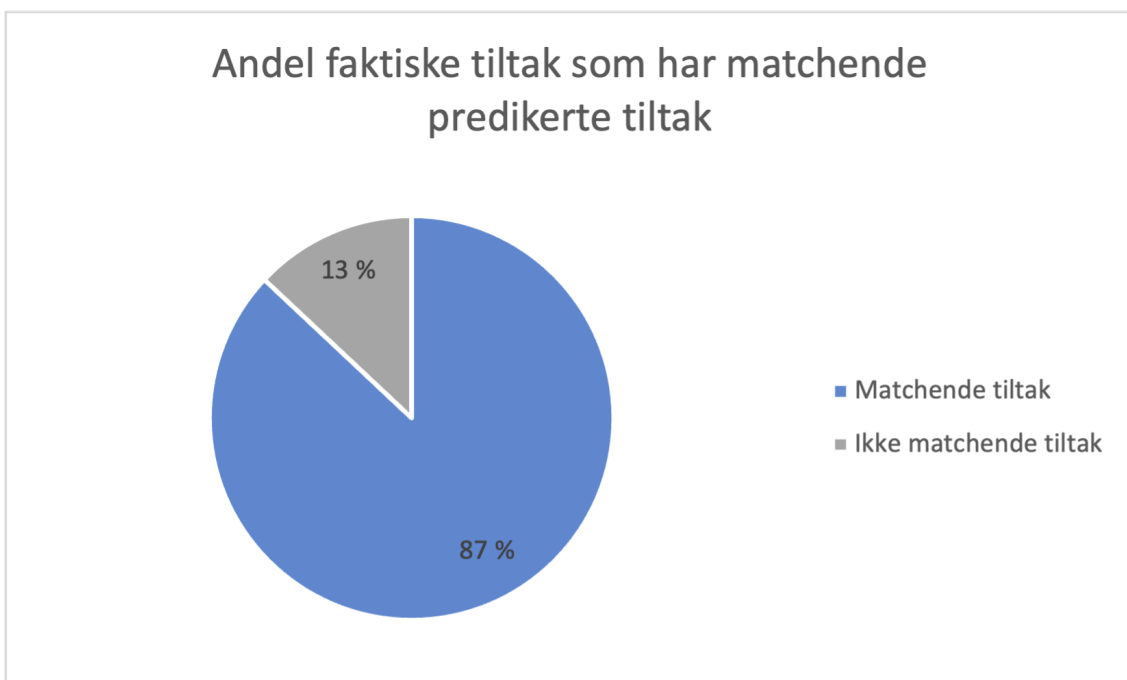


Figur 25: Spredning av værhendelser og faktiske og predikerte tiltak for vintersesongen 2020/2021 og 2021/2022.

Resultatene illustrert i figur 26 viser at periodene definert av værhendelsesmodellen innkapsler 86% av alle faktiske tiltak. Dette samsvarer med dataen fra nærmeste-nabo-valideringen illustrert i figur 27. Valideringen gir et mål på andelen av faktiske tiltak som har minst et matchende tiltak i dataen til de predikerte tiltakene. Det ble søkt med et fire timers intervall både før og etter de faktiske tiltakene det ble tatt utgangspunkt i. Resultatene viser at 13% av de faktiske tiltakene ikke hadde matchende predikerte tiltak, og havnet i tillegg primært utenfor værhendelsene.



Figur 26: Andel av faktiske tiltak som skjer under en værhendelse funnet av utkallingsalgoritmen.

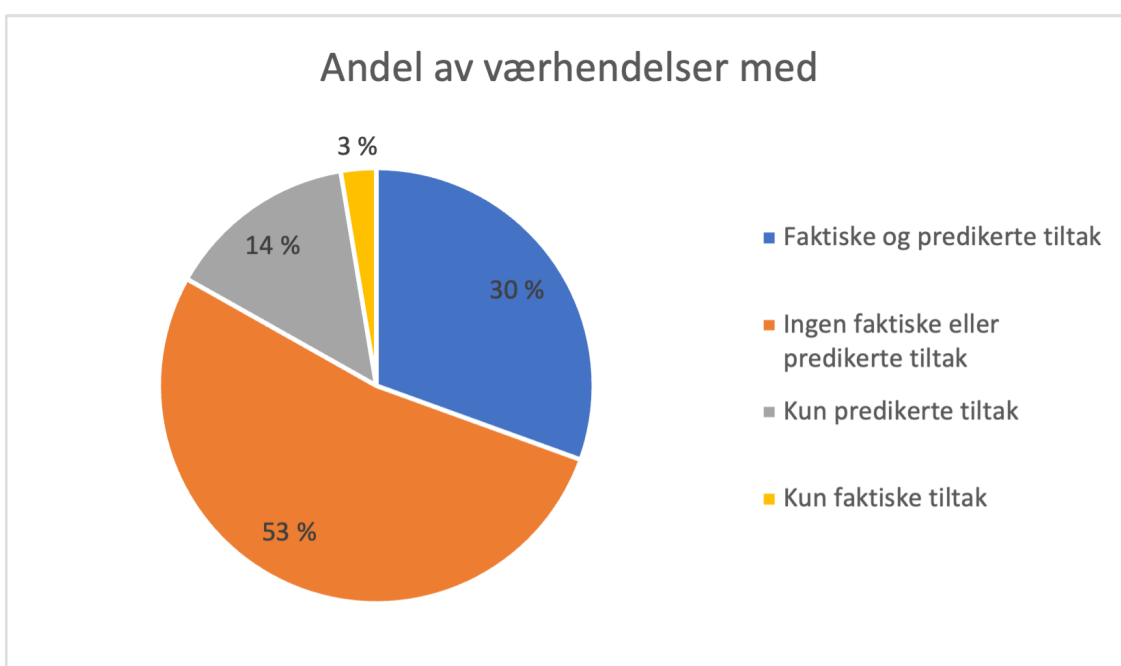


Figur 27: Andel av faktiske tiltak som ikke har matchende predikerte tiltak (Søkeområde $[t-4, t+4]$).

4.3.2 Nøyaktighet under værhendelser

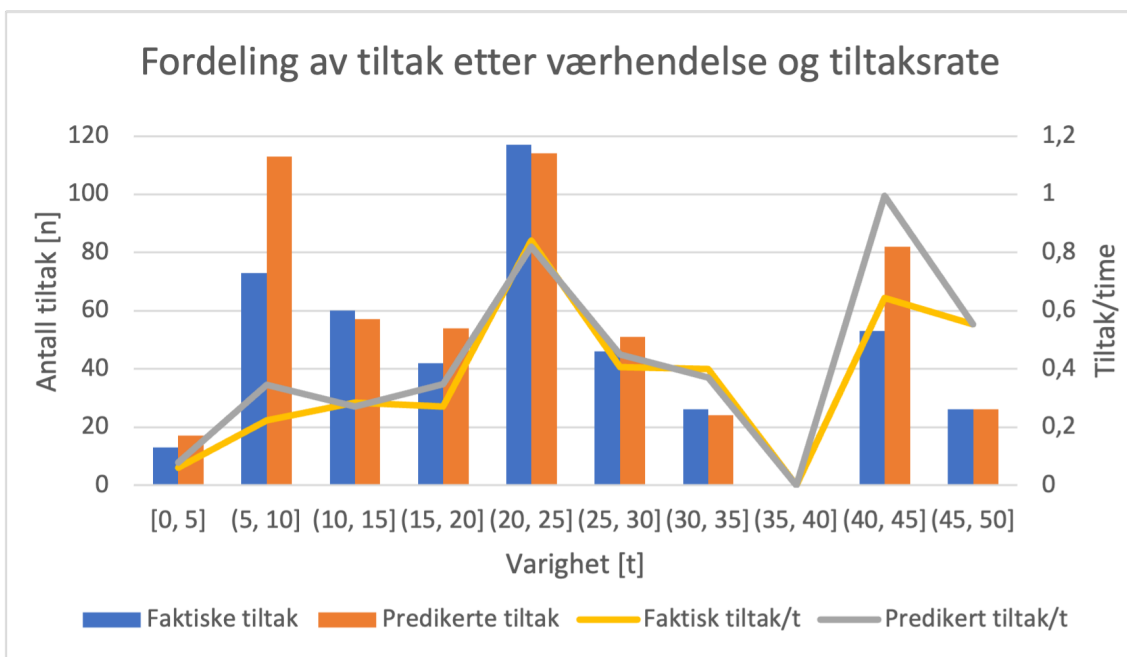
Utkallingsalgoritmen fant 86% av de gjennomførte tiltakene i flåtestyringsdataen basert på 16% av værdataen, som vist i figur 20 og 26. Disse tiltakene ble undersøkt videre for å validere modellens prediksjonsytelse i værhendelser den finner.

Alle værhendelsene ble kategorisert basert på om værhendelsen inneholdt et eller flere tiltak; enten faktiske eller predikerte. Dette gir fire ulike kategorier som er illustrert i figur 28. I 30% av værhendelsene registreres det både faktiske og predikerte tiltak. Inkluderer andelen der begge modellene/datasettene er enige om at det ikke er behov for tiltak, er de samstemte i 83% av værhendelsene. Værhendelsene det kun registreres faktiske tiltak utgjør 3%, mens andelen med bare predikerte tiltak er på 14%. Det betyr at utkallingsalgoritmen klarer å definere nesten alle periodene med behov for faktiske tiltak og predikere noen selv. Samtidig betyr andelen av kun predikerte tiltak at utkallingsalgoritmen overestimerer i noen tilfeller. Dette betyr også at det ikke gjennomføres faktiske tiltak i 67% av værhendelsene som er funnet.



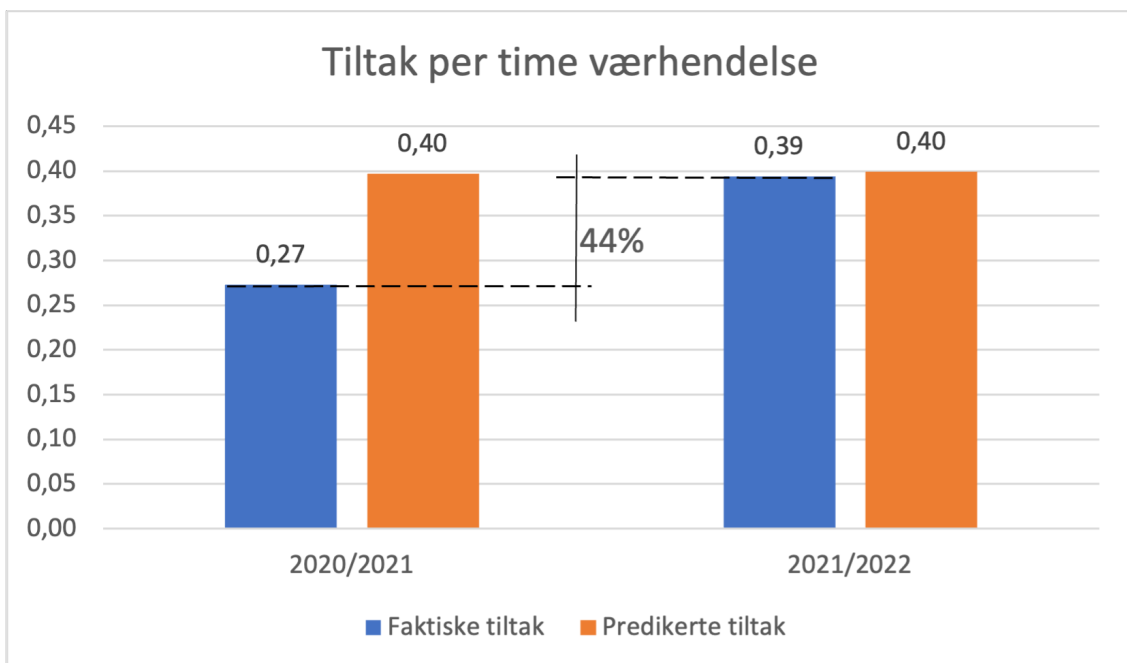
Figur 28: Andel av værhendelser delt inn etter om den inneholder faktiske og/eller predikerte tiltak.

I figur 29 er de faktiske og predikerte tiltakene sortert basert på varigheten av værhendelsen de ble gjennomført i. I tillegg er det plottet tiltak per time i hvert av intervallene. Antallet faktiske og predikerte tiltak følger hverandre relativt jevnt og viser korrelasjon mellom datasettene, med unntak av intervallene (5-10) og (40-45) der avviket er større. Tiltaksraten (tiltak per time værhendelse) er som forventet lav, da det gjennomføres få tiltak i dette intervallet og de består av mange værhendelser, som vist i figur 21.



Figur 29: Totalt antall faktiske og predikerte tiltak sortert etter værhendelsenes varighet. Plottet mot tiltak per time i hvert intervall.

Figur 30 viser at det for vintersesongen 2020/2021 ble gjennomført 0,27 runder med tiltak per time værhendelse, og 0,39 for vintersesongen 2021/2022. Utkallingsalgoritmen beholder den samme tiltaksraten og innsatsen over begge sesongene. Det ble dermed gjennomført 44% mer tiltak per time værhendelse i vintersesongen 2021/2022, sammenlignet med vintersesongen 2020/2021.



Figur 30: Tiltak per time værhendelse i de ulike vintersesongene.

Rådataen fra grupperingen fra figur 28 er oppsummert i tabell 17. Resultatene viser at utkallingsalgoritmen overestimerer med 3% i værhendelsene begge datasettene er enige om behov for tiltak. I tillegg er det kun 6 faktiske tiltak som ikke blir funnet av værhendelsesmodellen og tiltaksmodellen.

Tabell 17: Fordeling av tiltak mellom flåtestyringsdata og utkallingsalgoritmen under værhendelser.

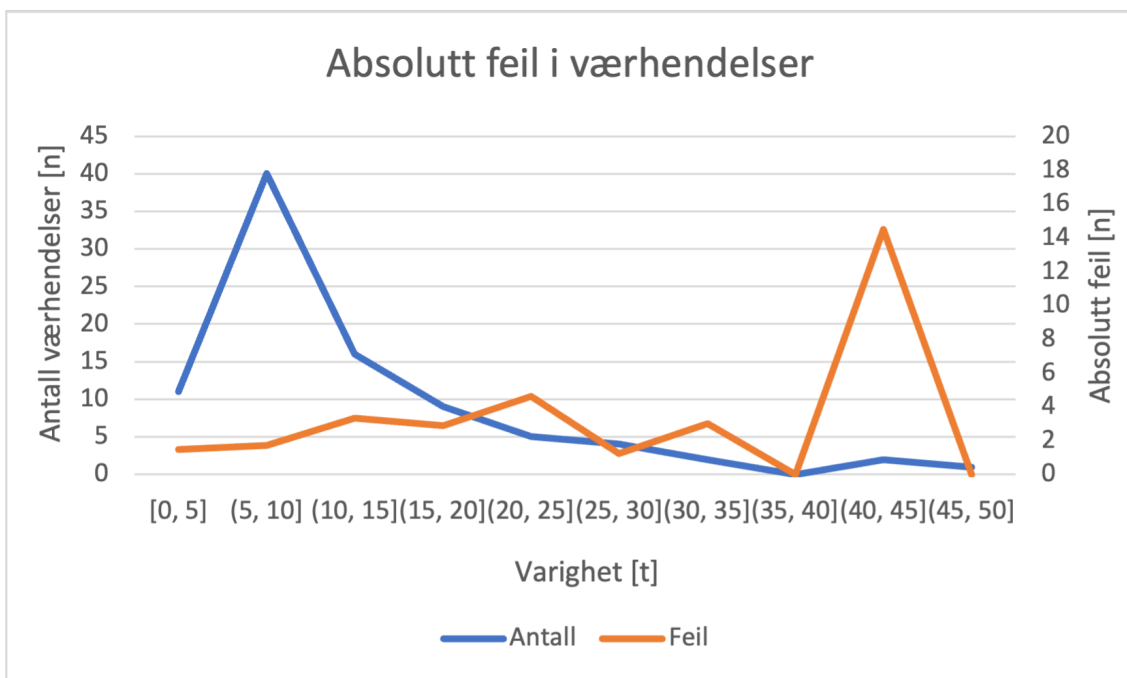
Forklaring	Værhendelser	Faktiske tiltak	Predikerte tiltak
Faktiske og predikerte tiltak	58	450	462
Ingen faktiske eller predikerte tiltak	100	0	0
Kun predikerte tiltak	27	x	72
Kun faktiske tiltak	5	6	x

Cohen's kapp ble beregnet basert på grupperingene av værhendelsene i tabell 17. Resultatet er illustrert i tabell 18. Verdien gir et mål for å undersøke statistisk samsvare mellom datasettene. Det ble beregnet for begge årene og hver enkelt sesong. Resultatene viser at det for de to årene samlet og for sesongen 2021/2022, har flåtestyringsdataen og utkallingsalgoritmen en *vesentlig sammenheng*. Ved å kun se på kappaværdien for sesongen 2020/2021 nedjusteres sammenhengen til *moderat*. Dette indikerer at det er en bedre korrelasjon mellom de faktiske og predikerte tiltakene for vintersesongen 2021/2022, sammenlignet mot vintersesongen 2020/2021.

Tabell 18: Beregning av Cohen's kapp av data fra faktiske og predikerte tiltak, under værhendelser funnet av utkallingsalgoritmen.

Periode	Cohen's kapp verdi
Begge år	0,65
2020/2021	0,59
2021/2022	0,67

Basert på de 47% av værhendelsene med faktiske og/eller predikerte tiltak fra figur 28, ble den absolutte feilen for hver enkelt værhendelse funnet. Figur 31 viser den gjennomsnittlige absolutte feilen mellom faktiske og predikerte tiltak i hvert intervall med værhendelser. Dette er plottet mot antall værhendelser (med tiltak) i hvert intervall. Figuren viser at den absolutte feilen øker i takt med at det blir færre unike værhendelser med tiltak frem til et toppunkt rundt intervallet 20-25 timer. Fra dette punktet synker den absolutte feilen igjen, med unntak av en stor absolutt feil i intervallet 40-45 timer.



Figur 31: Antall værhendelser med tiltak plottet mot gjennomsnittlig absolutt feil mellom antall faktiske og predikerte tiltak i hvert intervall med værhendelser.

5 Diskusjon

Formålet med denne oppgaven er som beskrevet innledningsvis å finne en metode for å forutse nødvendig vinterdrift og utvikle en tilhørende utkallingsalgoritme. I denne delen av oppgaven settes resultatene i sammenheng, vurderes og drøftes mot forskningsspørsmålene.

5.1 Identifisere værhendelser og nødvendige parametere

Det første forskningsspørsmålet var å svare på hvordan man kan forutse nødvendig vinterdrift. Tilnærmingen i denne studien var å lage en Værhendelsesmodell som kunne identifisere perioder med værhendelser med behov for tiltak.

Værhendelsesmodellen definerer at 16% av all analysert værdata er en værhendelse, som illustrert i figur 20. Ved å sammenligne dette med resultatene i figur 26 ser man at 86% av alle faktiske tiltak fra flåtestyringsdataen ble gjennomført i denne perioden. Det betyr på den andre siden at 14% av de faktiske tiltakene havner utenfor de definerte værhendelsesperiodene. Videre diskuteres hvordan det er mulig å øke nøyaktigheten til modellen ytterligere, gjennom å redusere usikkerhetsmomentene til modellen. Dette gjøres gjennom å vurdere de tre største kildene til usikkerhetsmomenter i modellen, som er:

1. Datakvalitet.
2. Menneskelige vurderinger.
3. Forenklinger i modellen.

5.1.1 Datakvalitet

Værhendelsesmodellen er utviklet og kalibrert på værdata. For å bruke så virkelighetsnær data som mulig var det ønskelig å analysere den samme prognosedataen som hadde blitt brukt som beslutningsstøtte, ved gjennomføringen av tiltak. Prognosedata blir produsert på bakgrunn av en rekke målestasjoner, analyser og prognoser som blir interpolert over ulike områder. Datapunktene gir dermed et kalkulert snitt av vær situasjonen som er predikert. Denne dataen var derimot ikke tilgjengelig, og den tilgjengelige prognosedataen for området viste seg å være unøyaktig.

I direkte nærhet til strekningen var det tilgjengelige punktmålinger fra en målestasjon. Dette gav et bilde på været som hadde vært; målt i dette punktet. Denne dataen er sårbar for lokale vær fenomener og målefeil. Da vegstrekningen spenner seg over to mil vil det være variasjoner i nedbørsmengde og temperaturer langs strekningen. Noen vær hendelser vil heller aldri nå målestasjonen. Å basere værdataen på bare en punktmåling er dermed ikke optimalt, og det antas at ikke alle de historiske dataene gjenspeiler realiteten perfekt. En unøyaktighet på $\pm 0,5$ grader vil kunne gi store utslag i hva modellen oppfatter og tolker. Med bare et datasett er det umulig å utelukke målefeil, eller med sikkerhet si noe om hvor nøyaktig værdataen er.

Det ble gjort en avveining mellom å benytte værdata fra en målestasjon og å benytte historisk prognosedata; datakvalitet mot representativitet. Målestasjonen ville gi et

mer nøyaktig tall på været som faktiske hadde vært, med sine tilhørende svakheter. Prognosedataen ville antakeligvis være mindre nøyaktig siden den består av predikert data, og ikke målt. I arbeidet med å utvikle og kalibrere sammenhenger mellom gjennomførte tiltak og værdata var det ønskelig at grunnmodellene baserte seg på så nøyaktige og konsise verdier som mulig. Dermed ble det valgt data av høyest kvalitet; værdata fra målestasjonen. I tillegg fremsto den tilgjengelige prognosedataen for området som mangelfull og lite representativ, og derav lite egnet til å kalibrere en modell på.

Som påpekt ble noen perioder med værdata filtrert bort som følge av korrupte tiltaksrapporter. Tabell 16 viser i tillegg at det er 950 timer mindre værdata for sesongen 2021/2022, enn for den foregående. Den fjernede dataen utgjør en marginal del av datasettene, og antas å ikke påvirke resultatene eller nøyaktigheten. Figur 25 viser at det gjennomføres flest tiltak i januar, og synkende frem til mars. Den manglende dataen for sesongen 2021/2022 antas dermed heller ikke å påvirke nøyaktigheten til datasettet, eller kalibreringen av utkallingsalgoritmen.

For å redusere usikkerheten tilknyttet værdataen ville det vært optimalt med værdata fra tre eller flere målestasjoner langs strekningen. Dette ville gitt grunnlag til å avdekke målefeil og produsert et mer vektet snitt av den historiske vær-situasjonen. Dette ville gitt nøyaktig data for å kalibrere utkallingsalgoritmen. I andre rekke hadde det vært ønskelig med den samme prognosedataen benyttet som beslutningsstøtte av vinterdriftspersonellet. Dette for å sammenligne for avvik mellom datasettene, og om eventuelle forskjeller kunne forklart faktiske tiltak som ikke ble funnet av værhendelsesmodellen. Dette ville ikke nødvendigvis gjort at flere av de faktiske tiltakene ville blitt innkapslet av værhendelsesmodellen, men det ville redusert usikkerheten. Å hvis usikkerheten reduseres øker nøyaktigheten.

5.1.2 Menneskelige vurderinger

Alle tiltak gjennomføres på bakgrunn av menneskelige valg basert på tilgjengelig beslutningsstøtte. Derimot benyttes ikke nødvendigvis all tilgjengelig beslutningsstøtte. Som påpekt fra intervjuene ble vinterdrift i stor grad gjennomført på bakgrunn av tilgjengelig prognosedata og meteogrammer fra YR, og manuelle kontroller av føreforholdene. Driftspersonellet skal basert på denne informasjonen bedømme om føreforholdene kommer til å endres, og om det vil være behov for tiltak.

Resultatene fra figur 30 viser at utkallingsalgoritmen predikerer den samme tiltaksraten (tiltak per time værhendelse) for begge de analyserte vintersesongene. Derimot er det gjennomført 44% flere tiltak per time værhendelse for vintersesongen 2021/2022, enn for vintersesongen 2020/2021. Dette gir en sterk indikasjon på at de menneskelige vurderingene har vært ulike i de to sesongene. Da utkallingsalgoritmen er kalibrert på hele datasettet med flåtestyringsdata, er den et gjennomsnitt av den menneskelige innsatsen over de to sesongene. Dette betyr samtidig at nøyaktigheten reduseres per sesong, som følge av tilnærmingen til den menneskelige innsatsen/faktoren.

Noen av tiltakene fra figur 26 som havner utenfor værhendelsene spores til tilsynelatende uproblematisk vær-situasjoner. I realiteten er mange av dem gjennomført på feil eller dårlig grunnlag, på grunn av den menneskelige faktoren. Det kan være vær-situasjoner som er i grenseland på behov av tiltak. På toppen av dette kommer subjektive forskjeller mellom når ulike vinterdriftspersonell velger å gjennomføre vinterdrift. Noen har kanskje større behov for å "sikre seg", ved å heller gjennomføre et

tiltak for mye enn for lite. Dataen fra målestasjonen vil heller ikke gjenspeile periodene med dårlige prognosedata, som det kan ha blitt gjennomført tiltak fra. Så noen tiltak vil ha blitt gjennomført på rett grunnlag, men viste seg kanskje å være unødvendige i ettertid. Dette betyr også at man ikke nødvendigvis ønsker å finne alle faktiske tiltak i en værhendelsesmodell. Da ikke alle tiltak burde blitt gjennomført.

Modellutviklingen er dermed en faktor av menneskelige valg, som ikke nødvendigvis er korrekte eller perfekte. For å øke nøyaktigheten ville tilgang på mer flåtestyringsdata å sammenligne mot kunne redusere usikkerheten. Det ville gitt et større grunnlag for å finne trender og forventet innsats ved ulike værphenomener. Noe avvik må forventes når man prøver å simulere menneskelig adferd.

5.1.3 Forenklinger i modellen

Den siste primære årsaken til usikkerhet som reduseres modellens nøyaktighet spores til forenklinger gjort i utviklingen av modellen. Forenklingene kan medføre at ikke alle periodene med faktiske tiltak blir funnet. Det gir en avveining i presisjon: finne for mange værhendelser eller for få. Ved å lage en modell som innkapsler alle de faktiske tiltakene vil sannsynligvis presisjonen synke, og øke overestimeringen til tiltaksmodellen. Værphenomener som er vanskelige for driftspersonellet å avgjøre beslutninger på, vil også være vanskelige å modellere. Dette resulterer i at noen av de faktiske tiltakene blir ekskludert med rette, mens andre har blitt utelatt på feil grunnlag. Det skilles videre mellom usikkerhetene som kommer fra valg av parametere og fra selve modelloppbyggingen.

Valg av parametere og grenser

Modellen er sammensatt av parametere valgt på bakgrunn av litteratursøk, intervjuer og samtaler med veileder. Parameterne skulle gjenspeile beslutningsstøtten brukt av driftspersonellet, og samtidig kompensere for manglende manuelle undersøkelser av føreforholdene. I tillegg ble de valgt på bakgrunn av veggeometri og tilhørende driftsklasse. Den siste begrensningen lå i hvilken data det var mulig å oppdrive.

Grensene til værhendelsesmodellen kunne ha blitt utvidet til å innkapsle flere faktiske tiltak. Men dette ville gått på bekostning av nøyaktigheten til tiltaksmodellen. Derimot kan modellen tilføres nye parametere eller gjøre dagens parametere mer omfattende, for å øke nøyaktigheten til værhendelsesmodellen.

Vind er en naturlig parameter som kunne gitt modellen økt nøyaktighet. Men intervjuene og litteraturen [19][20] viste at vind hovedsakelig er et problem på høyfjellsveger med drivsnø. Da modellen ble utviklet for en motorvei nært kysten på Sørlandet, ville parameteren tilført lite. I tillegg ville det vært lite data å kalibrere parameteren på. Men parameteren kunne bidratt til å øke nøyaktigheten til andre parametere, som har blitt brukt.

Utkallingsalgoritmen har egne parametere på når vegbanen er fuktig, salt og når nedbør kommer som snø. Denne dataen var ikke tilgjengelig og det ble utviklet forenklinger til alle. Verdiene av de forenklete modellene ble satt på bakgrunn av intervjuer, litteratur og samtaler med veileder. Disse ble justert sammen med kalibreringen av utkallingsalgoritmen innen rimelige grenser. Mer komplekse modeller ville antakeligvis klart å 1) filtrere ut flere unødvendige værhendelser og 2) identifisert flere

faktiske tiltak. En tilnærming kunne også vært å inkludert etablerte vegværmodeller som *RoadSurf* [24] eller Statens vegvesen sin *VegVær* [18]. Igjen ville "sterkere" parametere redusere usikkerheten til værdataen, og derav øke nøyaktigheten.

Ifølge vinterdriftspersonellet benyttet de ikke vegbanetemperatur i stor grad som beslutningsstøtte. Men vegbanetemperatur er en viktig parameter i undermodellene, til værhendelsesmodellen. I figur 20 spores 67% av værhendelsene (*rim* og *våt*) direkte til værfenomener som i stor grad bestemmes av vegbanetemperatur. Dette kan tyde på at det er en mer nøyaktig tilnærming enn lufttemperatur, og at den til dels kompenserer for manuelle undersøkelser av vegbanen. Modellen er avhengig av vegbanetemperatur, som derimot er sjeldent i prognosedata. Det eksisterer modeller og tilnærminger til å beregne vegbanetemperatur basert på andre værparametere [21][22]. Men i mangel på god prognosedata å validere og teste modellen på, har det heller ikke blitt forsøkt å implementere disse modellene i utkallingsalgoritmen.

De satte grensene for å definere værfenomener baseres i hovedsak på temperaturgrenser, enten fra lufttemperatur eller vegbanetemperatur. Grensene har blitt justert til dels basert på hvor mange faktiske tiltak som innkapsles. Men som påpekt er det ikke alle faktiske tiltak som burde blitt gjennomført, som betyr at modellen kan justeres i feil retning. Parallelt finner antakeligvis modellen perioder med behov for tiltak, uten det ble gjennomført faktiske tiltak. Dermed kan en innstramming av grenser basert på kun flåtestyringsdataen redusere modellens nøyaktighet. Denne typen justering og kalibrering tar samtidig utgangspunkt i at værdataen er helt korrekt. Dette forsterker igjen behovet og ønsket for flere værdatasett.

Oppbygging av modell

Modellens oppbygging har resultert i noen avvik fra forventede resultater, som må bemerkes. De har lite og si for modellens nøyaktighet, men dataene fremstår som misvisende.

Det er en forenkling og overlapp av mellom værhendelser illustrert i figur 20 som gjør at det er 0% av værhendelser med *snø* og det sammensatte værfenomenet *snø og rim*. Dette skyldes at kriteriene for *snø* i praksis alltid overlapper med kriteriene for *våt*, som gjør at *snø* aldri opptrer alene eller kun sammen med et annet værfenomen. Dette gir parallelt få perioder der det kun er værhendelsen *våt* som er opptredende. Dette gir et litt forvrengt bilde av de opptredende værhendelsene. *Snø* som utløser den mest omfattende vinterdriften er en del av 61% av de sammensatte værhendelsene, og tilsvarer dermed 20% av de totale værhendelsene. Denne overlappen er primært visuelt misvisende, og påvirker verken nøyaktigheten eller resultatene. Figur 16 viser hvordan tiltaksmodellen håndterer overlappingen.

Figur 21 viser værhendelsenes fordeling basert på varighet og type. Til kontrast viser figur 28 at det bare er tiltak i 47% av værhendelsene, og kun faktiske tiltak funnet i 33% av dem. Det betyr at værhendelsesmodellen finner unødvendig mange perioder det ikke er behov for tiltak.

Hele 55% av værhendelsene har en varighet på mellom 0-5 timer, men som vist i figur 29 gjennomføres kun 3% av både faktiske og predikerte tiltak her. Dette skyldes de definerte parameterne i tabell 15. Her defineres det at en værhendelse bestående av *rim* må ha en varighet på over 6 timer for å utløse tiltak. Dermed utløser aldri de 87% av *rim*-værhendelsene i intervallet på 0-5 timer tiltak. Det gjennomføres

heller ikke faktiske tiltak i dette intervallet, som betyr at værhendelser med *rim* under 5 timer ikke behandles. Det er spesielt i de korte værhendelsene det sjeldent blir utløst tiltak. Da tiltaksmodellen analyserer værhendelsene enkeltvis, utgjør ikke de mange ubehandlede værhendelsene et problem for nøyaktigheten. Men den viser at værhendelsesmodellen har store forbedringspotensialer i forhold til nøyaktighet, og kan avlaste tiltaksmodellen ved å øke denne.

5.2 Prediksjonsytelse

Det andre forskningsspørsmålet var å svare på hvordan prediksjonsytelsen til en utkallingsalgoritme vil være. Spørsmålet besvares ved å belyse og diskutere resultatene fra utkallingsalgoritmen sammenlignet mot flåtestyringsdataen. Det vil si å sammenligne faktiske og predikerte tiltak.

5.2.1 Hele perioden

Figur 22 viser at utkallingsalgoritmen kun overestimerer antall tiltak med 2% over de to vintersesongene. Dette gir en meget god korrelasjon mellom prediksjonsytelsen til utkallingsalgoritmen og faktiske tiltak. Men utkallingsalgoritmen har blitt kalibrert ved bruk av all flåtestyringsdataen, som naturligvis forklarer hvorfor avviket øker ved å se på mindre deler av dataene. Det samme vil antageligvis gjelde om modellen anvendes på andre datasett. Dette forsterkes av resultatene fra figur 27, der 13% av de faktiske tiltakene står uten matchende predikerte tiltak. Det betyr at det lille avviket av overestimering skyldes at utkallingsalgoritmen predikerer omtrent like mange feil, som faktiske tiltak den ikke klarer å finne. Settes dette i sammenheng med resultatene illustrert i figur 26, ser man at 14% av de faktiske tiltakene skjer utenfor værhendelsene. Det er de samme tiltakene som blir stående uten matchende tiltak, og utenfor værhendelsene. Dette skyldes som påpekt i kapittel 5.1: datakvalitet, menneskelige vurderinger og forenklinger i modellen.

Som påpekt fra figur 22 er det kun et 2% avvik mellom faktiske og predikerte tiltak, mens figur 27 viser at 13% av tiltakene fra flåtestyringsdataen står uten et matchende tiltak. Det betyr parallelt at de predikerte tiltakene har minst like mange overestimerte tiltak, som faktiske tiltak den ikke finner. De bakomliggende årsakene til forskjeller mellom datasettene diskuteres videre i kapittel 5.2.2.

Resultatene i figur 23 illustrerer fordelingen av tiltak delt inn i enten *brøyting og salting* eller *salting*. Der førstnevnt underestimeres med 15%, mens sistnevnte overestimeres med 45%. En manuell kontroll av resultatene viser at mange ganger lå forholdene til rette for *salting*, mens tiltaket var lagret som *brøyting og salting*. Dette tyder dermed på at mange av tiltakene lagret som *brøyting og salting*, egentlig er *salting*, og at fordelingen i praksis er jevnere enn figuren tilsier. For å få en bedre sortering på faktiske tiltak må flåtestyringsdataen analyseres på nytt sammen med flere parametere på aktivt utstyr på driftskjøretøyene, for å se hva som egentlig ble gjort.

Det fremkommer av figur 24 at utkallingsalgoritmen overestimerer antall tiltak for vintersesongen 2020/2021 og underestimerer for vintersesongen 2021/2022. Værdatagrunnlaget for vintersesongene er illustrert i tabell 16. Det er flere registrerte perioder med værhendelser i vintersesongen 2021/2022 enn året før, på tross av mindre værddata. Når man sammenligner antall tiltak per time værhendelse i figur 30

ser man at utkallingsalgoritmen gir like resultater. Derimot varierte intensiteten av de faktiske tiltakene fra 0,27 tiltak/time i sesongen 2020/2021 til 0,39 tiltak/time i sesongen 2021/2022. Utkallingsalgoritmen har en tiltaksrate på 0,4 tiltak/time som samsvarer godt med de faktiske tiltakene for vintersesongen 2021/2022. Dette forsterkes av resultatene fra kappa-valideringen fra tabell 18, som viser at det er større statistisk sammenheng mellom de faktiske og predikerte tiltakene for denne sesongen. Sammenhengen mellom de faktiske og predikerte tiltakene under værhendelser er plottet gjennom de to sesongene i figur 25. Figuren viser at utkallingsalgoritmen jevnt overestimerer antall tiltak gjennom hele vintersesongen 2020/2021, mens den følger tettere (og tidvis underestimerer) antall tiltak i ulike perioder gjennom sesongen 2021/2022.

Resultatene indikerer dermed at det er forskjell mellom sesongene, og det er best samsvar mellom modellen for sesongen 2021/2022. Det betyr at den samme værhendelsen utløste ulik mengde vinterdrift i de ulike sesongene. Figur 30 viser at det ble gjennomført 44% flere tiltak per time værhendelse i sesongen 2021/2022, sammenlignet mot sesongen 2020/2021. Denne forskjellen i innsats er primært en faktor av menneskelig valg og vurderinger. Sesongen 2020/2021 var det andre året strekningen ble driftet av RISA. Dette var dermed relativt tidlig inn i driftskontrakten, som på generell basis går over fem år [9]. Det vil naturligvis være endringer i hvordan drift blir gjennomført i takt med at entreprenør og vinterdriftspersonellet blir bedre kjent med roden/strekningen.

Da modellen er kalibrert og justert for begge sesongene finner den et punkt der begge sesongene presterer bra samlet. Men med så store variasjoner i gjennomførte tiltak per time værhendelse per sesong, er det vanskelig å optimalisere og generalisere på et operasjonelt nivå. Modellen vil med denne tilnærmingen ha noe avvik fra begge sesongene.

5.2.2 Nøyaktighet under værhendelser

Figur 26 viser at 86% av de faktiske tiltakene skjer i en værhendelse. Denne dataen ble bearbeidet videre for å måle nøyaktigheten innad i værhendelser. Tiltakene funnet av utkallingsalgoritmen er oppsummert i tabell 17, med den prosentvise fordelingen illustrert i figur 28. Basert på tabell 17 innkapsler utkallingsalgoritmen 99% av de faktiske tiltakene, i perioder den selv predikerer tiltak. Utkallingsalgoritmen finner dermed samtlige værhendelser med behov for gjennomføring av tiltak, så lenge værhendelsesmodellen klarer å definere perioden.

I tillegg til disse tiltakene, overestimerer utkallingsalgoritmen 72 tiltak fordelt på 27 værhendelser, uten støtte fra faktiske tiltak. Overestimeringen av predikerte tiltak og værhendelser er synlig i figur 29. Figuren viser spesielt avvik mellom de predikerte og faktiske tiltakene i intervallene 5-10 timer og 40-45 timer. Tiltaksraten gir innsyn i hvilke tiltak som ble gjennomført i hvert intervall. En lav tiltaksrate tyder på mange timer med værhendelse det kanskje ikke ble gjort noe, og/eller lang tid mellom tiltak. Mens en høy tiltaksrate spores hovedsakelig til *brøyting og salting*, som utløser tiltak med mange kjøretøy og kort varighet mellom tiltakene.

I intervallet 5-10 timer vist i figur 21, spores 72% av værhendelsene til *våt, rim* eller en kombinasjon av disse. Den relativt lave tiltaksraten i intervallet 5-10 timer spores dermed primært til preventive saltings tiltak, som medfører få tiltak per værhendelse. Det betyr at utkallingsalgoritmen predikerer for mange værhendelser tilknyttet

preventiv salting i værhendelser tilknyttet *rim* og/eller *våt*. Dette verifiseres videre ved manuell kontroll av de predikerte tiltakene uten matchende faktiske tiltak. Som påpekt i kapittel 5.1.3 vil en innstramning av værhendelse-parameterne i verste fall ekskludere andre *saltings*-tiltak, som egentlig ble predikert korrekt.

Den gjennomsnittlige absolutte feilen i antall faktiske og predikerte tiltak i hvert intervall med værhendelse er illustrert i figur 31, plottet mot antall værhendelser som inneholder faktiske og/eller predikerte tiltak. Figuren viser at den absolutte feilen øker jevnt frem til intervallet 20-25 timer. Dette var en forventet utvikling da det i kortere værhendelser gjennomføres færre faktiske og predikerte tiltak, og derav gir mindre rom for feil. Etter dette intervallet reduseres den absolutte feilen igjen. Som vist på figuren baseres gjennomsnittene på stadig færre værhendelser, som gjør at at gjennomsnittet i større grad baseres på enkelthendelser sin nøyaktighet. Intervallet 40-45 timer kan tyde på at utkallingsalgoritmen ikke klarer å predikere nøyaktig i lange værhendelser. Men i intervallene 25-30 timer og 45-50 timer, treffer modellen bra. Fellesfaktoren er at de alle baseres på kun 1-3 værhendelser i hvert intervall. Den absolutte feilen gjenspeiler da i stor grad enkelttilfeller og ikke et vektet snitt.

Den absolutte feilen fra figur 31 sees i sammenheng med fordelingen av tiltak illustrert i figur 29. På samme måte som det er få værhendelser å basere den absolutte feilen på for intervallet 40-45 timer, er det i intervallet 0-5 timer få tiltak å validere mot. Så i begge tilfellene er det få data, enten som faktor av tiltak eller værhendelser. Dette gir en noe skjev og svekket fremstilling av dataene.

Den store absolutte feilen i intervallet 40-45 timer fra figur 31 vises som overestimering av utkallingsalgoritmen i figur 29. I denne figuren ser man også en høy tiltaksrate for de faktiske og predikerte tiltakene. Dette tyder som tidligere påpekt, på at det har blitt gjennomført *brøyting og salting*. Men tiltaksraten til utkallingsalgoritmen er mye høyere, enn for de faktiske tiltakene. Dette indikerer at værhendelsesmodellen har predikert snøfall og tilhørende behov for vinterdrift, mens det i virkeligheten enten har blitt kjørt med færre kjøretøy eller benyttet lengre tid mellom tiltakene. Dette kan også skyldes at værhendelsesmodellen og værdataen har registrert mer snø enn det som var tilfellet på strekningen. Noen av tiltakene har nok derfor blitt gjennomført som preventiv salting, som gir en lavere tiltaksrate.

Utover feil i enkelttilfeller er det andre mer generelle faktorer som bidrar til den absolutte feilen i de ulike intervallene i figur 31. Flere av de korteste værhendelsene hadde kun et faktisk tiltak. Utkallingsalgoritmens parametere er derimot bygget opp til å aldri kun predikere ett tiltak under en værhendelse. Ut i fra intervjuene og observasjonene fremsto det heller ikke som at dette ble gjort i praksis (å bare kjøre en tur). Dette kan skyldes ulikt kjøremønster, eller at modellen som ble utviklet for å finne start- og sluttpunkter av alle gjennomførte tiltak har identifisert noen tiltak feil. I tillegg kom det som påpekt frem i intervjuene at det er ulike preferanser på antall tiltak/turer som må gjennomføres ved visse værphenomener, som vil gi utslag i disse intervallene. Utkallingsalgoritmen har derimot satt en fast parameter som en forenkling, som da ikke vil gjenspeile alle sjåførene.

I de lengre værhendelsene øker den absolutte feilen i takt med at det gjennomføres flere faktiske og predikerte tiltak. I disse værhendelser øker også muligheten for subjektive valg av driftspersonell og mer værdata som kan være dårlig. En værhendelse over to dager kan medføre at grensene strekkes litt i forhold til gjennomføring av tiltak, mens i kortere perioder er det tiltak som må gjennomføres uansett. I tillegg vil enkeltsjåførers preferanser på gjennomføring av tiltak gi større utslag i lengre værhendelser, som påpekt.

5.3 Anvendbarhet

For å besvare på det overordnede målet om å simulere vinterdrift, og forskningsspørsmålet om hvordan man kan forutse nødvendig vinterdrift belyses hvordan utkallingsalgoritmen simulerer vinterdrift. Dette inkluderer hvordan utkallingsalgoritmen kan justeres for nye situasjoner, og dens begrensninger. Det er parameterne definert i tabell 15 som gjør disse justeringene mulig. Modellen er utviklet og kalibrert på data og informasjon tilknyttet en firefelts motorvei med høyeste krav til drift og vedlikehold, med begrensningene dette gir.

Utkallingsalgoritmen kan justeres for strekninger basert på lengde og veggeometri. Gjennom å justere på minimumstid mellom tiltak er det mulig å ta hensyn til strekningenes lengde, som indirekte gjenspeiler syklustiden. Da med utgangspunkt i at modellen er ment for fylkes- og riksveger der vinterdrift gjennomføres i 40 km/t [7]. Dermed oppdateres modellen enkelt til nye strekninger basert på lengde. Veggeometri påvirker også simuleringen, som i dag er kalibrert for en firefelts motorvei. Reduseres dette til tre eller to felt, reduseres også behovet for antall tiltak og/eller kjøretøy. Imidlertid kan en bred tofeltsveg kreve like mye vinterdrift som en smal trefeltsveg, som illustrert i figur 2. Dette er mulig å simulere gjennom å endre på antall turer hver værhendelse utløser. Da turene enten viser til antall aktive kjøretøy, eller antall turer som gjennomføres per værhendelse. Om antall tilgjengelige kjøretøy skulle bli en begrensning, justeres enkelt minimumstiden mellom tiltak for å simulere at en komplett syklus vil ta lengre tid.

I forhold til de gjeldende driftsklassene presentert i kapittel 2.1 er modellen justert og kalibrert til å fungere for en DkA veg. Men kan enkelt justeres til å simulere strekninger omfattet av driftsklasse DkB. Hovedforskjellen er at maksimal tillatt syklustid øker med en halvtime, og det opereres med lengre tidsrom før vegen må tilbakeføres til godkjent føreforhold. I tillegg tillates det mer snø på vegbanen før gjennomføring av vinterdrift, mens kravene tilknyttet start og omfang av preventive salt-tiltak forblir uendret [3]. Driften fremstår dermed som lik, men grensene for tid og akkumulering av snø justeres uproblematisk i modellen.

Geografiske og klimatiske forhold påvirker utkallingsalgoritmens mulighet til å simulere vinterdrift. Modellen er kalibrert på en vegstrekning på Sørlandet, med tilhørende kystklima. Motsetningen blir da innlandsklima lengre nord i landet. Dette gir lengre vintersesonger, med mindre nedbør og vedvarende kalde temperaturer over tid. Sammenlignes det mot veger med driftsklasse DkA og DkB endrer ikke dette driften. Tiltaksgrensene for akkumulert snø på vegbanen vil være lik som før. De kalde periodene vil potensielt gi behov for flere preventive tiltak, men det vil være de samme bakenforliggende værphenomenene med tilhørende fysikk til grunn. Derimot må kanskje varigheten og hyppigheten til gjennomføring av tiltak justeres. I tillegg kan vegetasjonen rundt vegbanen være problematisk. Snø som blir transportert med vinden (drivsnø) er et betydelig problem for driften av høyfjellsveger og andre veger lokalisert i åpne området med lite vegetasjon ifølge Statens vegvesen [20]. Utkallingsalgoritmen har ikke parametere på verken snødybde i terrenget rundt vegbanen eller vind. Uten denne dataen ville tilfeller med drivsnø være tilnærmet umulig å simulere uten forenklinger, med uviss nøyaktighet. Det har heller ikke vært fokus på å implementere dette, da det ikke er problematisk for strekningen som har blitt analysert. Veger omfattet av driftsklasse DkA og DkB tilhører sjeldent problemstrekningene omtalt av Statens vegvesen [20]. For lavere driftsklasser vil dette derimot være aktuelle problemer som utkallingsalgoritmen ikke er modellert for å håndtere.

Veger driftet med driftsklasse DkC eller lavere vil by på flere utfordringer for utkallingsalgoritmen. Føreforholdene er ikke lenger omfattet av en bar-veg strategi. Det betyr at reduserte føreforhold kan tillates også etter værhendelsens slutt. Modellene kan ikke da belage seg på å fjerne "alle problemene" på vegbanen hver gang. Føreforhold er nå en faktor av friksjon og hvilke føreforhold som tillates. Det vil da være behov for delmodeller som tar hensyn til tiltak som ikke fører vegen tilbake til bar veg, men tillater eksempelvis en is- og/eller snøsåle. I tillegg vil trafikkmengden være med på å bestemme utviklingen av is- og/eller snøsåler, og virkningen og varigheten av tiltak. Dette legger i større grad opp til en modell som konverterer føreforhold til akseptabel friksjon eller tilsvarende. Samt introduseres sandings-tiltak som en del av vinterdriften på vegger driftet som DkC eller lavere (sand skal brukes i perioder hvor salt ikke kan nyttes også for DkB [3]). Utkallingsalgoritmen har ikke delmodeller for trafikk, friksjon eller sandings-tiltak og vil ikke kunne simulere strekninger med DkC eller lavere realistisk. Derimot kan utkallingsalgoritmen benyttes for å simulere et anslag på brøytedelen av vinterdriften på disse vegklassene. Da snømodellen fungerer på en satt minimumstid og maksimum tillatt snø på vegbanen, før den skal tilbakeføres til godkjent føreforhold. Dette er uproblematisk å justere modellen mot, men det må bli gjort for hver enkelt driftsklasse.

Veger driftet med driftsklasse DkC eller lavere påvirkes mer av drift basert på skjønn. Når grensene øker blir ikke gjennomføringen av tiltak like tidskrittisk som for vegger omfattet av driftsklasse DkA eller DkB. Dermed ville nøyaktigheten til både tidspunkt for gjennomføring og absolutt feil i hver værhendelse økt. Dette ville resultert i modeller som er vanskelige å validere, da det vil være flere gode løsninger av vinterdrift. Men den totale arbeidsinnsatsen ville vært relativt lik, som betyr at det på et taktisk og strategisk nivå kan man leve med denne reduksjonen i nøyaktighet.

Ulike strekninger vil kunne benytte ulike driftskjøretøy og typer saltingstiltak. Begge disse faktorene vil kunne endre varigheten og syklustiden for hvert enkelt tiltak. Optimalt burde eventuelt ulike saltings-tiltak og kjøretøy være en del av prediksjonen, hvis de har ulike syklustider. I dette tilfellet viste undersøkelsene at alle de gjennomførte tiltakene tar omtrent like lang tid, som tillot denne forenklingen. For simuleringen sin skyld kan modellen justeres for tid mellom preventive tiltak og mellom brøytetiltak, hver for seg. Dette gir rom for å simulere med ulike kjøretøy og syklustider.

Intervjuene med driftspersonell viste at det kunne bli tatt hensyn for å tilpasse vaktbytter, morgen- og ettermiddagsrush. I tillegg kunne grensene strekkes litt ved lav trafikkbetlastning på nattestid. Dette ble derimot gjort i såpass liten grad at det ikke påvirket de faktiske tiltakene i merkverdig grad. På vegger med høyere ÅDT enn i denne casen, er dette potensielt faktorer som det må tas hensyn til i større grad. Dette gir en lavere presisjon av tiltak i simuleringen; da tid for gjennomføring blir en faktor av andre elementer enn bare vær og føreforhold. Arbeidsbelastningen vil i praksis være lik, men gjennomføres til andre tider. Men om tiltakene gjennomføres i forkant av aktuelle værhendelser, vil varigheten av tiltakene reduseres. Så den totale arbeidsinnsatsen kan øke noe, hvis det må gjennomføres flere tiltak som følge av kortere varighet. Men denne forskjellen anses som for liten til gi store unøyaktigheter, i forhold til simuleringsmålet på et taktisk og strategisk nivå.

6 Konklusjon

Det har blitt utviklet en værhendelsesmodell som identifiserer tre værhendelser der vinterdrift blir utløst. Den første værhendelsen er *våt*, dette innebærer våt vegbane med synkende temperatur eller regn på frossen vegbane. Den andre er *rim* som identifiserer om forholdene for avsetning av vanndamp på vegoverflaten er til stede. Den tredje er *snø* som undersøker når nedbør kommer som iskrystaller.

Over to analyserte vintersesonger ble det funnet 190 værhendelser med en sammenlagt varighet på 1340 timer, av totalt 8250 timer med værdata. Værhendelsene utgjør dermed 16% av værdataen. Værhendelsene deles inn som 58% *rim*, 9% *våt*, 0% *snø* og 33% sammensatte værhendelser der minst to værhendelser overlapper. Av de sammensatte værhendelsene utgjør værhendelser tilknyttet *snø* 61% av tilfellene. Værhendelsesmodellen identifiserer 86% av faktiske tiltak gjennomført for strekningen i den analyserte perioden.

Det ble så utviklet en tiltaksmodell som kombinert med værhendelsesmodellen utgjør den sammensatte utkallingsalgoritmen. Tiltaksmodellen predikerer når det er behov for vinterdrift, og skiller mellom tiltakene *salting* og *brøyting og salting*. De *predikerte tiltakene* sammenlignes så mot historisk gjennomførte *faktiske tiltak*, fra flåtestyringsdata for å valideres. Samlet over begge sesongene overestimerer utkallingsalgoritmen totalt antall tiltak med 2%, sammenlignet mot de faktiske tiltakene. Ved å skille mellom type tiltak underestimerer utkallingsalgoritmen antall tiltak med *brøyting og salting* med 15%, mens den overestimerer *saltings* tiltak med 45%. Per sesong overestimerer modellen antall tiltak med 39% for sesongen 2020/2021, mens den underestimerer antall tiltak med 16% i 2021/2022. Dette ses i sammenheng med at det for vintersesongen 2021/2022 (0,39 tiltak/time) ble gjennomført 44% flere faktiske tiltak per time værhendelse, enn for sesongen 2020/2021 (0,27 tiltak/time). Tiltaksmodellen beholdt derimot den samme raten på 0,4 tiltak per time værhendelse, gjennom begge sesongene.

Oppsummert er det i denne studien vist at det er mulig å gjenskape 86% av faktiske tiltak, med 16% av værdataen for perioden. Utkallingsalgoritmen samsvarer godt i mange værhendelser, men bommer i enkelte tilfeller som følge av datakvalitet, menneskelige vurderinger eller forenklinger i modellen. Dette er primærårsakene til overestimering, og de faktiske tiltakene modellen ikke finner.

For simulering av vinterdrift kan utkallingsalgoritmen trolig enkelt justeres til å anvendes på to-, tre- eller firefelts- riks- og fylkesveger driftet med driftsklasse DkA eller DkB. For en tilnærming på mengde vinterdrift på et taktisk og strategisk plan kan modellen også anvendes andre geografiske steder, på tross av hvor den er utviklet og trafikkmengde. Utkallingsalgoritmen gir dermed en tilnærming til å simulere vinterdrift med sin tilhørende prediksjonsytelse. Nøyaktigheten er ikke høy nok til å direkte kunne anvendes på et operasjonelt nivå, men for å simulere nødvendig vinterdrift på et taktisk og strategisk nivå gir modellen et akseptabelt mål på nødvendig innsats.

7 Videre arbeid

Denne studien har sett på simulering av vinterdrift for å støtte taktiske og strategiske beslutninger, primært på motorveier med høye driftsklasser (DKA eller DkB). Neste steg vil være å utvide modellens parametere til å også omfatte veger med lavere driftsklasser og lavere vegklasser, uavhengig av geografisk plassering. Det vil gi behov for å utvikle modeller som i større grad simulerer føreforholdene og tar hensyn til trafikkbelastningen. Dette burde suppleres med tilnærminger på saltforbruk og eventuelt sandforbruk; for å få estimater på varighet av tiltak og tilhørende utslipp. I tillegg burde modellen få egne parametere på rodeplassering, slik at tidsbruk mellom lager og rode kan simuleres.

En naturlig videreføring av arbeidet ville vært å teste modellen på prognosedata. Resultatene av dette burde så sammenlignes mot resultater fra målestasjoner; som modellen i dag er kalibrert og utviklet på. Dette ville gitt et bedre utgangspunkt for å eventuelt teste modellen på et operasjonelt nivå. Det vil i denne sammenhengen si å predikere tiltak i sanntid for vinterdriftspersonell. Men prediksjonsytelsen må opp på et høyere nivå, før modellen kan stå ansvarlig for reelle vinterdriftsutkallinger. Samtidig burde det implementeres en koordinatsbasert værmodell for automatisk innhenting av værdata, for å enkelt simulere og undersøke ulike strekninger.

For å øke nøyaktigheten til modellen burde det ses nærmere på å øke omfanget av modellens parametere. Dette kan gjøres gjennom å implementere mer omfattende værmodeller og vegværmodeller i de ulike parameterne. I tillegg er det aktuelt å hente inn mer flåtestyringsdata fra flere geografiske områder og aktører av vinterdrift for å bli analysert. Dette ville gitt et sterkere datagrunnlag å validere og kalibrere modellen og dens parametere på. I tillegg ville det i større grad gjort det mulig å identifisere unødvendige tiltak.

Referanser

1. Isaksen, T. (2021) *Mengderapport vinteren 2020/2021*. (Nr 738). Lillehammer: SVV. Tilgjengelig fra: <https://vegvesen.brage.unit.no/vegvesen-xmlui/bitstream/handle/11250/2835223/SVV%20rapport%20nr%20738%20Mengderapport%20vinteren%202020-2021.pdf?sequence=1> (Hentet: 02.02.22)
2. Feng, F. og Fu, L. (2015) Winter Road Surface Condition Forecasting, *Journal of Infrastructure Systems*, 21(3). Doi:10.1061/(ASCE)IS.1943-555X.0000241.
3. Statens vegvesen. (2012) *Standard for drift og vedlikehold av riksveger* (Håndbok R610). Oslo: SVV. Tilgjengelig fra: <https://www.vegvesen.no/globalassets/fag/handboker/hb-r610.pdf> (Hentet: 05.01.22).
4. Dannevig, P. (2020) *Snø*. Tilgjengelig fra: <https://snl.no/sn%C3%B8> (Hentet: 06.06.22)
5. Meteorologisk institutt. (2017) *Rim (isbelegg)*. Tilgjengelig fra: https://snl.no/rim_-_isbelegg (Hentet: 06.06.22).
6. Statens vegvesen. (2021) *Vinterdrift*. Tilgjengelig fra: <https://www.vegvesen.no/nn/fag/veg-og-gate/vinterdrift/> (Hentet: 01.03.22)
7. Statens vegvesen. (2021) *Brøyting, strøing og salting*. Tilgjengelig fra: <https://www.vegvesen.no/nn/trafikkinformasjon/langs-vegen/drift-og-vedlikehold-av-vei/broyting-stroing-og-salting-av-vei/> (Hentet: 01.03.22)
8. Statens vegvesen. (2015) *Lærebok drift og vedlikehold av veier*. (Nr. 365). Oslo/Trondheim: SVV. Tilgjengelig fra: <https://vegvesen.brage.unit.no/vegvesen-xmlui/handle/11250/2659628> (Hentet: 02.02.22)
9. Statens vegvesen. (2020) *Organisering*. Tilgjengelig fra: <https://www.vegvesen.no/nn/fag/veg-og-gate/vinterdrift/organisering/> (Hentet: 01.03.22)
10. Gryteselv, D., Nonstad, B. og Lysbakken, K. R. (2018) *Opplæring i vinterdrift for operatører* (Nr 673.). Trondheim: SVV. Tilgjengelig fra: <https://vegvesen.brage.unit.no/vegvesen-xmlui/handle/11250/2561504> (Hentet: 04.03.22)
11. Statens vegvesen. (2021) *Hva slags salt brukes på veiene?* Tilgjengelig fra: <https://www.vegvesen.no/nn/fag/veg-og-gate/vinterdrift/salting/sporsmal-og-svar/hva-slags-salt/> (Hentet: 04.03.22).
12. Paste, A. K. og Dalen, R. (2018) The Fundamentals of Plowing, Anti-icing, De-icing and Sanding, i Shi, X. og Fu, L. (red.) *Sustainable Winter Road Operations*. 1. utg. USA: Wiley-Blackwell, S. 82.
13. Statens vegvesen. (2022) *Endringer i HB R763 - mal for Driftskontrakter med oppstart i 2018*. Tilgjengelig fra: https://www.vegvesen.no/s/anbud/dkmal2018/Endringer%20i%20Driftskontrakt%20veg_malversjon_2017.09.28.pptx (Hentet: 07.03.22)
14. Meteorologisk institutt. (2019) *Årsrapport for Meteorologisk institutt 2018* (Saksnr. 2018/22). Oslo: Met. Tilgjengelig fra: https://www.met.no/om-oss/_/attachment/inline/9eb2535f-5b2a-405c-8bad-384bb9138830:ca4bcf836239092579a8cfb49d2431acf33af586/%C3%85rsrapport%20for%20Meteorologisk%20institutt%202018-med-regnskap.pdf (Hentet: 30.05.22)
15. *Værvarsel for Tvedestrand - Meteogram 2. mai kl. 17:00 – 4. mai kl. 19:00* (2022) [Skjermutklipp]. Tilgjengelig fra: <https://www.yr.no/nb/utskrift/v%C3%A6rvarsel/1-14627/Norge/Agder/Tvedestrand/Tvedestrand> (Hentet: 02.05.22).
16. Sivle, A. (2021) *Værvarsling*. Tilgjengelig fra: <https://snl.no/værvarsling> (Hentet: 15.04.22).

17. Sidselrud, L. (2021) *Meteorologisk stasjon*. Tilgjengelig fra: https://snl.no/meteorologisk_stasjon (Hentet: 15.04.22)
18. Holen, Å., Mahle, A. H. og Johansen J. M. (2018) *Underkjølt regn og andre værforhold som gir hurtig glatt veg*. (Nr. 148). Trondheim: SVV. Tilgjengelig fra: <https://vegvesen.brage.unit.no/vegvesen-xmlui/bitstream/handle/11250/2579358/Underkjolt%20regn%20SVV%20rapport%20148%20%289%20MB%29.pdf?sequence=1&isAllowed=y> (Hentet: 18.03.22)
19. Dao, B., Hasanzadeh, S., Walker, C. L., Steinkruger, D., Esmaeili, B. og Anderson M. (2019) Current Practices of Winter Maintenance Operations and Perceptions of Winter Weather Conditions, *J. Cold Reg.* 33(3). Doi: 10.1061/(ASCE)CR.1943-5495.0000191.
20. Statens vegvesen. (2014) *Veger og drivsnø* (Håndbok V137.). Oslo; SVV. Tilgjengelig fra: <https://www.vegvesen.no/globalassets/fag/handboker/hb-v137.pdf> (Hentet: 15.05.22)
21. Hosseini, F., Hossain, S. M. K., Fu, L., Johnson, M. og Fei, Y. (2015) Prediction of Pavement Surface Temperature Using Meteorological Data for Optimal Winter Operations in Parking Lots., i Guthrie, W. S. (red.) *Cold Regions Engineering 2015: Developing and Maintaining Resilient Infrastructure*. Reston, Va: American Society of Civil Engineers, 440 - 451.
22. Opara, K. og Zielinski, J. (2017) Road temperature modelling without in-situ sensors. *The Baltic journal of road and bridge engineering.* 12(4), 241-247. Doi: 10.3846/bjrbe.2017.30.
23. Karlsson, M. (2001) Prediction of hoar-frost by use of a Road Weather information System. *Meteorol. Appl.* 8, 95–105. Doi: 10.1017/S1350482701001086.
24. Kangas, M., Heikinheimo, M. og Hippel, M. (2015) RoadSurf: a modelling system for predicting road weather and road surface conditions. *Meteorol. Appl.*, 22, 544–553. Doi: 10.1002/met.1486.
25. Arvidsson, A., Jacobsen, A., Gauksson, B., Nonstad, B., Knudsen, F., Natanaelsson, K. et al. (2020) *Vinterväghållning i de nordiska länderna. Statusrapport 2020* (Nr. 26). Norden:NVF. Hentet fra: <http://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1534323/FULLTEXT01.pdf> (Hentet: 15.05.22)
26. Arvidsson, A. K. (2014) *Winter Management Systems*. (VTI notat 5–2014). Göteborg: Vägverket. Tilgjengelig fra: <http://vti.diva-portal.org/smash/get/diva2:695930/FULLTEXT01.pdf> (Hentet: 14.04.22)
27. Vejdirektoratet. *Brukergrensesnitt - trafikinfo.dk* (2022). [skjermutklipp]. Tilgjengelig fra: <https://trafikinfo.dk/> (Hentet: 13.04.22)
28. Vejdirektoratet. (2012) *En kort demonstration av VejVejr*. Danmark: Vejdirektoratet. Tilgjengelig fra: https://vejvejr.dk/vejvejrinfo/demo_jan_2012.pdf(Hentet: 04.04.22)
29. Statens vegvesen. (2011) *Optimal vinterdrift*. Nor: SVV. Tilgjengelig fra: <https://vegvesen.brage.unit.no/vegvesen-xmlui/bitstream/handle/11250/2723234/Sluttrapport%20Saltsmart.pdf?sequence=1&isAllowed=y> (Hentet: 15.04.22)
30. Målestasjon - Fv 421 Haslestad. (2022) [Skjermutklipp]. Tilgjengelig fra: <https://www.vegvesen.no/vegvar/stasjon/sammendrag> (Hentet 02.04.22)
31. Mahoney, W. P. og Myers, W. L. (2003) Predicting Weather and Road Conditions, *Transportation Research Record Journal of the Transportation Research Board*, 1824(1). 98-105. Doi: 10.3141/1824-11

32. Pisano, P. A, Stern, A. D. og Mahoney, W. P. (2005) *The U.S. federal highway administration winter road maintenance decision support system (mdss) project: overview and results*. USA: PIARC. Tilgjengelig fra: https://www.researchgate.net/publication/228747744_The_US_Federal_Highway_Administration_Winter_Road_Maintenance_Decision_Support_System_MDSS_Project_Overview_and_Results (Hentet: 15.04.22)
33. Bazlova, T., Bocharnikov, N., Vinogradov, M., Solonin A. og Iakimainen, N. (2012) *Road Weather Forecasting*. Russia: IRAM. Tilgjengelig fra: <https://www.essl.org/ECSS/2013/programme/poster/99.pdf> (Hentet: 15.04.22)
34. Walkera, C. L., Hasanzadehb, S., Esmailic, B., Andersond, M. R. og Daoe B. (2019) Developing a winter severity index: A critical review, *Cold Regions Science and Technology*, 160, 139-149. Doi: 10.1016/j.coldregions.2019.02.005
35. Heiberg, A. M. og Rogstad, G. (2002) *NORIKS – A WINTER INDEX FOR NORWEGIAN CONDITIONS, New Challenges for Winter Road Service. XIth International Winter Road Congress*. Sapporo, Japan: 2002-1-28 til 2002-1-31. Nor: PIARC, 6.
36. Knudsen, F., Gabrielsson, G., Kuusela, R., Durhuus, F., Palsson, E. og Støtterud, R. (2005) *Nordisk Gruppe for Vintertjeneste. (Statusrapport 2005)*. Norden: NVF. Tilgjengelig fra: <https://vegvesen.brage.unit.no/vegvesen-xmlui/bitstream/handle/11250/191170/Statusrapport%202005%20Vinter.pdf?sequence=1&isAllowed=y> (Hentet: 04.02.22)
37. Knudsen, F., Lidstrøm, P., Kuusela, R., Durhuus, F., Palsson, E. og Nonstad B. (2007) *Nordisk Gruppe for Vintertjeneste. (Statusrapport 2007)*. Norden: NVF. Tilgjengelig fra: <https://vegvesen.brage.unit.no/vegvesen-xmlui/bitstream/handle/11250/191164/Statusrapport%202007.pdf?sequence=1&isAllowed=y> (Hentet: 05.02.22)
38. Vejdirektoratet. (2020) *Vejdirektoratets Saltindeks*. (Nr 20/15107-1). Skanderborg, Danmark:Vejdirektoratet. Tilgjengelig fra: http://www.vinterman.dk/vinterman/statistik/2020-11-Metode_notat_SI.pdf (Hentet 04.04.22)
39. Vejdirektoratet. (2021) *Normalvinter*. Danmark: Vejdirektoratet. Tilgjengelig fra: <https://www.vejdirektoratet.dk/side/normalvinter/> (Hentet: 25.03.22)
40. Andrén, P. (2017) *Tema Vintermodell: Etapp 3 - Dokumentation av programkod*. (VTI notat 2-2017). Linköping: Vägverket. Tilgjengelig fra: <http://vti.diva-portal.org/smash/get/diva2:1070754/FULLTEXT01.pdf> (Hentet: 30.05.22)
41. Statens väg- og transportforskningsinstitut. (2022) *Träfflista (vintermodellen)*. Tilgjengelig fra: http://vti.diva-portal.org/smash/resultList.jsf?dswid=-7357&language=sv&searchType=SIMPLE&query=vintermodellen&af=%5B%5D&aq=%5B%5B%5D%5D&aq2=%5B%5B%5D%5D&aqe=%5B%5D&noOfRows=50&sortOrder=author_sort_asc&sortOrder2=dateIssued_sort_desc&onlyFullText=false&sf=all (Hentet: 25.05.22)
42. Wallman, C. (2002) *Tema Vintermodell: Olycksrisiker vid olika vinterväglag*. (VTI notat 60-2001). Linköping: Vägverket. Tilgjengelig fra: <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:670098/FULLTEXT01.pdf> (Hentet: 04.04.22)
43. Wallman, C., Möller, S., Blomqvist, G., Gustafsson, M., Niska, A., Öberg, G. et al. (2006) *Tema Vintermodell: Etapp 2 Huvudrapport*. (Nr. 531). Linköping: Vägverket. Tilgjengelig fra: <http://vti.diva-portal.org/smash/get/diva2:675297/FULLTEXT01.pdf> (Hentet 04.04.22)
44. Möller, S. (2006) *Tema Vintermodell: Väglagsmodellen* (Nr. 529). Linköping: Vägverket. Tilgjengelig fra: <http://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:670549/FULLTEXT01.pdf> (Hentet: 04.04.22)

45. Google Maps. (2022) Redigert kartutsnitt [Skjermutklipp]. Tilgjengelig fra: <https://www.google.no/maps> (Hentet: 13.04.22)
46. AF-gruppen. (2019) *E18 Tvedestrand - Arendal*. Tilgjengelig fra: <https://afgruppen.no/prosjekter/anlegg/e18-tvedestrand---arendal/> (Hentet: 15.04.22)
47. Underhaug L. (2019) *Risa - Banebrytende kontrakt med Nye Veier*. Tilgjengelig fra: <https://risa.no/banebrytende-kontrakt-med-nye-veier/> (Hentet: 15.04.22)
48. Statens vegvesen. (2022) *Nasjonal vegdatabank (NVDB) - Vegkart*. Tilgjengelig fra: <https://vegkart.atlas.vegvesen.no/> (Hentet: 01.04.22)
49. Statens vegvesen Region sør. (2014) *Planbeskrivelse - Reguleringsplan for E18 Tvedestrand - Arendal*. (Planbeskrivelse 2014-01-22). Region sør: SVV. Tilgjengelig fra: https://karttjenester.ikt-agder.no/planinnsyn_arendal/api/plandocument?documentId=21256 (Hentet: 05.05.22)
50. YR. (2022) *Arendal - Torungen fyr målestasjon*. Tilgjengelig fra: <https://www.yr.no/nb/historikk/graf/1-7396/Norge/Agder/Arendal/Arendal?q=siste-13-m%C3%A5neder> (Hentet: 01.06.22)
51. YR. (2022) *Tvedestrand - Lyngør fyr målestasjon*. Tilgjengelig fra: <https://www.yr.no/nb/historikk/graf/1-2285437/Norge/Agder/Tvedestrand/Vesteg%C3%A5rden?q=siste-13-m%C3%A5neder> (Hentet: 01.06.22)
52. Jacobsen, D. I. (2015) *Hvordan gjennomføre undersøkelser? Innføring i samfunnsvitenskapelig metode*. 5. utg. Oslo: Cappelen Damm AS.
53. Walden University. (2020) *What is citation chaining?* Tilgjengelig fra: <https://academicanswers.waldenu.edu/faq/73253> (Hentet: 05.12.21)
54. Nøklebye, A. (2018) *Enabling Lean Design with Management of Model Maturity*. Masteroppgave. NTNU: Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet. Tilgjengelig fra: https://ntnuopen.ntnu.no/ntnu-xmlui/bitstream/handle/11250/2563269/19945_FULLTEXT.pdf?sequence=1&isAllowed=y (Hentet: 02.02.22)
55. Nipen, T. (2022) *Metrologisk Institutt - wiki numerical weather prediction*. Tilgjengelig fra: <https://github.com/metno/NWPdocs/wiki/> (Hentet: 04.04.22)
56. Finn kart. (2022) Redigert kartutsnitt, *Kardata: Norkart* [Skjermutklipp]. Tilgjengelig fra: <https://kart.finn.no/> (Hentet: 09.06.22)
57. Norges Vassdrags- og Energidirektorat. (2016) *Hvordan lages snøkartene i se-Norge og Xgeo?* Tilgjengelig fra: <https://www.nve.no/media/11700/hvordan-lages-sn%C3%B8kartene-i-senorge-og-xgeo.pdf> (Hentet: 15.03.22)
58. Sargent, R. G. (2011) Verification and validation of simulation models, *Journal of Simulation*, 7(1), S. 12-24. Doi: 10.1057/jos.2012.20
59. Boslaugh, S. og Watters, P. A. (2008) *Statistics in a nutshell*. 1. utg. Reading, MA: Addison Wesley
60. Mosteller, F og Tukey, J. W. (1977) *Data Analysis and Regression: A Second-Course in Statistics*. Reading, MA: Addison Wesley

Vedlegg

A - Litteratursøk

A - Litteratursøk

Litteratursøket er sammensatt av:

- Steg 1 – Søk
- Steg 2 – Utvelgelse
- Resultat

Forkortelser og fargekoder:

Forkortelser til *søkemotor* i *steg 1*:

Forkortelse	Søkemotor
Comp.	Compendex
W.O.S	Web of science
G.S	Google Scholar

Forkortelser til *konklusjon* i *steg 1*:

Forkortelse	Forklaring
UV	Undersøk videre
FMT	For mange treff
IRT	Ingen relevante treff
IT	Ingen treff

Fargekoder og deres betydning i alle stegene av litteratursøket:

	Fargekoder og forklaring			
Steg 1	Nytt treff	Treff	For mange eller ingen treff	Finner ingen relevante treff
Steg 2		Treff	Ikke relevant	
Steg 3	<i>Få nye funn: ikke skissert opp</i>			
Resultat		Relevant litteratur	Ikke relevant	Kanskje relevant

Steg 1- Søk

Søkemotor	Søkeområde: Hele artikkel (HA) eller tittel (T)	Filter	Antalln treff	Antall relevante	År	Forfattere	Tittel	Forlag	Konklusjon
Comp.	T: Winter maintenance	English, Journal, Book, Book chapter	274						FMT
Comp.	T: Winter maintenance and simulation	English, Journal, Book, Book chapter	1	1		Ny litteratur			
					2021	Li Y., RazaviAlavi S., AbouRizk S.	Data-Driven Simulation Approach for Short-Term Planning of Winter Highway Maintenance Operations	American Society of Civil Engineers (ASCE)	UV
Comp.	HA: Winter maintenance and simulation	English, Journal, Book, Book chapter	151						FMT
Comp.	HA: Winter maintenance and simulation	English, Journal, Book, Book chapter, 2010-2022	108	2		Ny litteratur			
					2021	Li Y., RazaviAlavi S., AbouRizk S.	Data-Driven Simulation Approach for Short-Term Planning of Winter Highway Maintenance Operations	American Society of Civil Engineers (ASCE)	FF
					2015	Markku K., Martti H., Marjo H.	RoadSurf: A modelling system for predicting road weather and road surface conditions	John Wiley and Sons Ltd	UV
Comp.	T: Winter maintenance and algorithm	English, Journal, Book, Book chapter	4	4		Ny litteratur			
					2006	Perrier N., Langevin A., Campbell J. F.	A survey of models and algorithms for winter road maintenance. Part I: System design for spreading and plowing	Elsevier Ltd	UV
					2006	Perrier N., Langevin A., Campbell J. F.	A survey of models and algorithms for winter road maintenance. Part II: System design for snow disposal	Elsevier Ltd	UV
					2007	Perrier N., Langevin A., Campbell J. F.	A survey of models and algorithms for winter road maintenance. Part III: Vehicle routing and depot location for spreading	Elsevier Ltd	UV

					2007	Perrier N., Langevin A., Campbell J. F.	A survey of models and algorithms for winter road maintenance. Part IV: Vehicle routing and fleet sizing for plowing and snow disposal	Elsevier Ltd	UV
Comp.	HA: Winter maintenance and algorithm	English, Journal, Book, Book chapter	51						FMT
Comp.	HA: Winter maintenance and algorithm	English, Journal, Book, Book chapter, 2010-2022	32	1			Ny litteratur		
					2020	Alim A., Joshi A., Chen F., Lawson C. T.	Techniques for efficient detection of rapid weather changes and analysis of their impacts on a highway network	Springer Science and Business Media B.V.	UV
Comp.	HA: Winter maintenance and forecast	English, Journal, Book, Book chapter	118	6			Ny litteratur		
					2018	Steck-Winter H., Stölting C., Unger G.	Predictive maintenance with data-driven condition monitoring - Part 2	DIV Deutscher Industrieverlag GmbH	UV
					2009	Fu L., Trudel M., Kim V.	Optimizing winter road maintenance operations under real-time information	Elsevier Ltd	UV
					2015	Feng F., Fu L.	Winter road surface condition forecasting	American Society of Civil Engineers (ASCE)	UV
					2005	Stidger R. W.	Special feature: Winter strategies for the season ahead	Better Roads	UV
					2019	Chen J., Wang H., Xie P.	Pavement temperature prediction: Theoretical models and critical affecting factors	Elsevier Ltd	UV
					2017	Opara K., Zielinski J.	Road temperature modelling without in-situ sensors	Riga Technical University	UV
Comp.	HA: Winter maintenance and prediction	English, Journal, Book, Book chapter	187						FMT
Comp.	T: Winter maintenance and prediction	English, Journal, Book, Book chapter	1	1			Ny litteratur		
					2021	Hatamzad M., Pinerex G. P., Casselgren J.	Using Slightly Imbalanced Binary Classification to Predict the Efficiency of Winter Road Maintenance	Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc.	UV
Comp.	HA: Winter algorithm	English, Journal, Book, Book chapter	2852						FMT

Comp.	T: Winter algorithm	English, Journal, Book, Book chapter	53						FMT
Comp.	T: Winter algorithm	English, Journal, Book, Book chapter, 2010-2022	41	0					IRT
Comp.	T: Weather servery index	English, Journal, Book, Book chapter	2	1		Ny litteratur			
					2018	Raynauds L., Touze B., Arbogast P	Detection of severe weather events in a high-resolution ensemble prediction system using the extreme forecast index (EFI) and shift of tails (SOT)	American Meteorological Society	UV
Comp.	T: Winter Storm Severity Index	English, Journal, Book, Book chapter	0	0					IT
Comp.	T: Winter Storm Severity Index	English, Journal, Book, Book chapter	4	0					IRT
Comp.	HA: Winter Storm Severity Index	English, Journal, Book, Book chapter	62	0					IRT
Comp.	T: Weather Index	English, Journal, Book, Book chapter	202						FMT
Comp.	T: Weather Index and road	English, Journal, Book, Book chapter	2	0					IRT
Comp.	T: Weather Index and winter	English, Journal, Book, Book chapter	1	1		Ny litteratur			
					2004	Charmichael C. G., Gallus W. A., Temeyer B. R., Bryden M. K.	A Winter Weather Index for Estimating Winter Roadway Maintenance Costs in the Midwest	American Meteorological Society	UV
Comp.	T: Grid weather data	English, Journal, Book, Book chapter	21	0					IRT

Comp.	HA: Grid weather data and winter	English, Journal, Book, Book chapter	224	0					
Comp.	HA: Grid weather data and winter maintenance	English, Journal, Book, Book chapter	1	0					IRT
Comp.	T: Winter maintenance and meteorology	English, Journal, Book, Book chapter	2	1		Ny litteratur			
					1989	Runacres A. M E.m Colville- Sumons A. H., Symons L. J.	Highway meteorology and winter maintenance operations	Municipal engineer	UV
Comp.	HA: Winter maintenance and meteorology	English, Journal, Book, Book chapter	7	2		Ny litteratur			
					2020	Alim A., Joshi A., Chen F., Lawson C. T.	Techniques for efficient detection of rapid weather changes and analysis of their impacts on a highway network	Springer Science and Business Media B.V.	UV
					2016	Choi S., Oh C.	Proactive strategy for variable speed limit operations on freeways under foggy weather conditions	National Research Council	UV
Comp.	HA: Winter maintenance and meteorology and algorithm	English, Journal, Book, Book chapter	191						FMT
Comp.	T: Winter maintenance and prediction	English, Journal, Book, Book chapter	1	0					IRT
Comp.	T: Winter maintenance and weather	English, Journal, Book, Book chapter	8	5		Ny litteratur			
					2019	Dao B. Hasanzadeh S., Walker C. L., Steinkruger D., Esmaeili B. Anderson M. R.	Current Practices of Winter Maintenance Operations and Perceptions of Winter Weather Conditions	Journal of Cold Regions Engineering	UV
					2017	Kwon T. J., Fu L., Melles S. J.	Location Optimization of Road Weather Information System (RWIS) Network Considering the Needs of Winter Road Maintenance and the Traveling Public	Blackwell Publishing Inc.	UV
					2009	Ye Z. Shi X., Strong C. K., Greenfield T. H.	Evaluation of effects of weather information on winter maintenance costs	Transportation Research Record	UV

					2009	Petty K. R.	Winter weather and road condition forecasts: Advances in models, sensors, tools, and platforms improve maintenance operations	National Research Council	UV
					2004	Carmichael C. G., Gallus W. A., Temeyer B. R, Bryden M. K.	A winter weather index for estimating winter roadway maintenance costs in the Midwest	American Society of Civil Engineers (ASCE)	UV
Comp.	HA: Winter maintenance and weather event	English, Journal, Book, Book chapter	47	1		Ny litteratur			
					2015	Trenouth W. R, Gharabaghi B., Perera N.	Road salt application planning tool for winter de-icing operations	University of Guelph	UV
Comp.	HA: Vinterdrift		1	0					IRT
Comp.	HA: Utkalling		1389						FMT
Comp.	HA: Vinterdrift	Norwegian	0	0					IT
Comp.	HA: Værdata		0	0					IT
Comp.	HA: Veivær	Norwegian	0	0					IT
ASCE	HA: Winter maintenance	Journal	4818						FMT
ASCE	T: Winter maintenance		27	1		Ny litteratur			
					2020	Li Y., Liu C., Lei Z., AbouRizk S.	A Predictive Simulation Model of Regional Weather Events for Winter Road Maintenance Operations	Construction Research Congress	UV
ASCE	HA: Winter maintenance, T: Simulation	2010-2022	77	3		Ny litteratur			
					2017	Brink W., Dwyer C., Larson G., Varvik W.	Evaluation of a Simulated Roadway Weather Information System's Pavement Temperature Data in Illinois	Congress on Technical Advancement	UV
					2020	Fjærestad J. S., Wåhlin J., Paste A. K.	Experimental Setup Simulating Hoarfrost Formation on Roadways	American Society of Civil Engineers (ASCE)	UV

					2018	Jafari P., Mohamed E., Ali M., Siu M. F. F., Abourizk S., Jewkes L., Wales R.	Reaction Time Optimization Based on Sensor Data-Driven Simulation for Snow Removal Projects	Construction Research Congress	UV
ASCE	HA: Winter maintenance, T: Algorithm		32	0					IRT
ASCE	HA: Winter maintenance, T: Forecast	Journal, book, book chapter, 2010-2022	41	1		Ny litteratur			
					2016	Yu Y., Sun L., Li G.	Short-Term Traffic Forecasting Using the Double Seasonal Holt- Winters Method	CICTP	UV
ASCE	HA: Winter maintenance, T: Prediction	2010-2022	78	1		Ny litteratur			
					2015	Hosseini F., Hossain S. M. K., Fu L., Johnson M., Fei Y.	Prediction of Pavement Surface Temperature Using Meteorological Data for Optimal Winter Operations in Parking Lots	Cold Regions Engineering	UV
ASCE	HA: Weather serverity index		231						FMT
ASCE	HA: Weather serverity index		231						FMT
ASCE	T: Weather serverity index		0						IT
ASCE	HA: Winter and Weather serverity index		40	0					IRT
ASCE	HA: Winter storm serverity index, T: Road		11	1		Ny litteratur			
					2009	Noremnd H.	Selection of Strategies for Winter Maintenance of Roads Based on Climatic Parameters	Journal of Cold Regions Engineering	UV
ASCE	HA: Weather index		2	0					IRT
ASCE	T: Grid weather		0						IT
ASCE	HA: Winter maintenance, T: meteorology		8	0					IRT
ASCE	HA: Vinterdrift		0						IT
W.O.S	HA: Winter maintenance		347						FMT
W.O.S	T: Winter maintenance	2010-2022	42	1		Ny litteratur			

					2018	Miller T., Gleichert B., Crabtree H., Hendershot J., Nuveman R., Schneider W.	Role of Route Optimization in Benefiting Winter Maintenance Operations	National Academy of Sciences: Transportati on Research Board	UV
W.O.S	HA: Winter maintenance, T: Simulation	2010-2022	70	0					IRT
W.O.S	HA: Winter maintenance, T: Algorithm	2010-2022	6	0					IRT
W.O.S	HA: Winter maintenance, T: Forecast		34	4		Ny litteratur			
					2010	Berrocal V. J., Gneiting T., Steed R. C.	Probabilistic Weather Forecasting for Winter Road Maintenance	Journal of the American Statistical Association	UV
					2019	Li F., Orolini Y J., Keenlyside N., Shen M. L., Counillon F., Wang Y. G.	Impact of Snow Initialization in Subseasonal-to-Seasonal Winter Forecasts With the Norwegian Climate Prediction Model	Journal of Geophysical Reserach- Atmosphere s	UV
					2016	Sokol Z., Bližňák V., Sedlák P., Zacharov P., Pešice P., Škuthan M.	Ensemble forecasts of road surface temperatures	Institute of Atmospheric Physics, Czech Academy of Sciences	UV
					2010	Hammond D. S, Chapman L., Thomes J. E.	Verification of route-based road weather forecasts	Springer Verlag	UV
W.O.S	HA: Winter maintenance, T: Prediction		31	0					IRT
W.O.S	HA: Weather serverity index, T: Road		9	0					IRT
W.O.S	HA: Weather serverity index, T: Winter maintenance		5	0					IRT

G.S	T: winter maintenance algorithm or winter operations algorithm		8	1		Ny litteratur			
					2003	Mahoney W. P., Myers W. L.	Predicting Weather and Road Conditions: Integrated Decision-Support Tool for Winter Road-Maintenance Operations	Transportation Research Record	UV
G.S	T: winter maintenance simulation		8	0					IRT
G.S	T: winter maintenance prediction		11	0					IRT
Comp.	T: Winter Severity Index	Journal, Book, 2010-2022	6	4		Ny litteratur			
					2019	Walker C. L., Hasanzadeh S., Esmaili B., Anderson M. R., Dao B.	Developing a winter severity index: A critical review	Elsevier Ltd	UV
					2019	Walker C. L., Steinkruger D., Gholizadeh P., Hasanzadeh S., Anderson M. R., Esmaili B.	Developing a department of transportation winter severity index	American Meteorological Society	UV
					2017	Matthews L., Jean A., Derrick H., Ivan M.	Development of a flexible winter severity index for snow and ice control	American Society of Civil Engineers (ASCE)	UV
					2015	Boustead B. E. M., Hilberg S.D., Shulski M. D., Hubbard K. G.	The Accumulated Winter Season Severity Index (AWSSI)	American Meteorological Society	UV
Comp.	T: Winter Storm Severity Index	Journal, Book, 2010-2022	35	0					IRT

Steg 2 - Utvelgelse

Tittel	År	Forfatter	Forlag	Utvelgelse basert på sammendrag / abstract
Data-Driven Simulation Approach for Short-Term Planning of Winter Highway Maintenance Operations	2021	Li Y., RazaviAlavi S., AbouRizk S.	American Society of Civil Engineers (ASCE)	Undersøk videre
RoadSurf: A modelling system for predicting road weather and road surface conditions	2015	Markku K., Martti H., Marjo H.	John Wiley and Sons Ltd	Undersøk videre
A survey of models and algorithms for winter road maintenance. Part I: System design for spreading and plowing	2006	Perrier N., Langevin A., Campbell J. F.	Elsevier Ltd	Ikke relevant
A survey of models and algorithms for winter road maintenance. Part II: System design for snow disposal	2006	Perrier N., Langevin A., Campbell J. F.	Elsevier Ltd	Ikke relevant
A survey of models and algorithms for winter road maintenance. Part III: Vehicle routing and depot location for spreading	2007	Perrier N., Langevin A., Campbell J. F.	Elsevier Ltd	Ikke relevant
A survey of models and algorithms for winter road maintenance. Part IV: Vehicle routing and fleet sizing for plowing and snow disposal	2007	Perrier N., Langevin A., Campbell J. F.	Elsevier Ltd	Ikke relevant
Techniques for efficient detection of rapid weather changes and analysis of their impacts on a highway network	2020	Alim A., Joshi A., Chen F., Lawson C. T.	Springer Science and Business Media B.V.	Ikke relevant
Predictive maintenance with data-driven condition monitoring - Part 2	2018	Steck-Winter H., Stölting C., Unger G.	DIV Deutscher Industrieverlag GmbH	Ikke relevant
Optimizing winter road maintenance operations under real-time information	2009	Fu L., Trudel M., Kim V.	Elsevier Ltd	Undersøk videre
Winter road surface condition forecasting	2015	Feng F., Fu L.	American Society of Civil Engineers (ASCE)	Undersøk videre
Special feature: Winter strategies for the season ahead	2005	Stidger R. W.	Better Roads	Ikke relevant
Pavement temperature prediction: Theoretical models and critical affecting factors	2019	Chen J., Wang H., Xie P.	Elsevier Ltd	Ikke relevant
Road temperature modelling without in-situ sensors	2017	Opara K., Zielinski J.	Riga Technical University	Undersøk videre
Using Slightly Imbalanced Binary Classification to Predict the Efficiency of Winter Road Maintenance	2021	Hatamzad M., Pinex G. P., Casselgren J.	Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc.	Ikke relevant
Detection of severe weather events in a high-resolution ensemble prediction system using the extreme forecast index (EFI) and shift of tails (SOT)	2018	Raynauds L., Touze B., Arbogast P.	American Meteorological Society	Ikke relevant
A Winter Weather Index for Estimating Winter Roadway Maintenance Costs in the Midwest	2004	Charmichael C. G., Gallus W. A., Temeyer B. R., Bryden M. K.	American Meteorological Society	Ikke relevant
Highway meteorology and winter maintenance operations	1989	Runacres A. M., E.m Colville-Sumons A. H., Symons L. J.	Municipal engineer	Ikke relevant
Proactive strategy for variable speed limit operations on freeways under foggy weather conditions	2016	Choi S., Oh C.	National Research Council	Ikke relevant

Current Practices of Winter Maintenance Operations and Perceptions of Winter Weather Conditions	2019	Dao B., Hasanzadeh S., Walker C. L., Steinkruger D., Esmaili B., Anderson M. R.	Journal of Cold Regions Engineering	Undersøk videre
Location Optimization of Road Weather Information System (RWIS) Network Considering the Needs of Winter Road Maintenance and the Traveling Public	2017	Kwon T. J., Fu L., Melles S. J.	Blackwell Publishing Inc.	Ikke relevant
Evaluation of effects of weather information on winter maintenance costs	2009	Ye Z., Shi X., Strong C. K., Greenfield T. H.	Transportation Research Record	Ikke relevant
Winter weather and road condition forecasts: Advances in models, sensors, tools, and platforms improve maintenance operations	2009	Petty K. R.	National Research Council	Ikke relevant
Road salt application planning tool for winter de-icing operations	2015	Trenouth W. R., Gharabaghi B., Perera N.	University of Guelph	Undersøk videre
A Predictive Simulation Model of Regional Weather Events for Winter Road Maintenance Operations	2020	Li Y., Liu C., Lei Z., AbouRizk S.	Construction Research Congress	Undersøk videre
Evaluation of a Simulated Roadway Weather Information System's Pavement Temperature Data in Illinois	2017	Brink W., Dwyer C., Larson G., Varvik W.	Congress on Technical Advancement	Ikke relevant
Experimental Setup Simulating Hoarfrost Formation on Roadways	2020	Fjærestad J. S., Wåhlin J., Paste A. K.	American Society of Civil Engineers (ASCE)	Ikke relevant
Reaction Time Optimization Based on Sensor Data-Driven Simulation for Snow Removal Projects	2018	Jafari P., Mohamed E., Ali M., Siu M. F. F., Abourizk S., Jewkes L., Wales R.	Construction Research Congress	Ikke relevant
Short-Term Traffic Forecasting Using the Double Seasonal Holt-Winters Method	2016	Yu Y., Sun L., Li G.	CICTP	Ikke relevant
Prediction of Pavement Surface Temperature Using Meteorological Data for Optimal Winter Operations in Parking Lots	2015	Hosseini F., Hossain S. M. K., Fu L., Johnson M., Fei Y.	Cold Regions Engineering	Undersøk videre
Selection of Strategies for Winter Maintenance of Roads Based on Climatic Parameters	2009	Noremd H.	Journal of Cold Regions Engineering	Undersøk videre
Role of Route Optimization in Benefiting Winter Maintenance Operations	2018	Miller T., Gleichert B., Crabtree H., Hendershot J., Nuveman R., Schneider W.	National Academy of Sciences: Transportation Research Board	Ikke relevant
Probabilistic Weather Forecasting for Winter Road Maintenance	2010	Berrocal V. J., Gneiting T., Steed R. C.	Journal of the American Statistical Association	Ikke relevant
Impact of Snow Initialization in Subseasonal-to-Seasonal Winter Forecasts With the Norwegian Climate Prediction Model	2019	Li F., Orolini Y J., Keenlyside N., Shen M. L., Counillon F., Wang Y. G.	Journal of Geophysical Reserach- Atmospheres	Ikke relevant

Ensemble forecasts of road surface temperatures	2016	Sokol Z., Bližňák V., Sedlák P., Zacharov P., Pešice P., Škuthan M.	Institute of Atmospheric Physics, Czech Academy of Sciences	Ikke relevant
Verification of route-based road weather forecasts	2010	Hammond D. S., Chapman L., Thomes J. E.	Springer Verlag	Ikke relevant
Predicting Weather and Road Conditions: Integrated Decision-Support Tool for Winter Road-Maintenance Operations	2003	Mahoney W. P., Myers W. L.	Transportation Research Record	Undersøk videre
Developing a winter severity index: A critical review	2019	Walker C. L., Hasanzadeh S., Esmaili B., Anderson M. R., Dao B.	Elsevier Ltd	Undersøk videre
Developing a department of transportation winter severity index	2017	Walker C. L., Steinkruger D., Gholizadeh P., Hasanzadeh S., Anderson M. R., Esmaili B.	American Meteorological Society	Undersøk videre
Development of a flexible winter severity index for snow and ice control	2015	Matthews L., Jean A., Derrick H., Ivan M.	American Society of Civil Engineers (ASCE)	Undersøk videre
The Accumulated Winter Season Severity Index (AWSSI)	2015	Boustead B. E. M., Hilberg S.D., Shulski M. D., Hubbard K. G.	American Meteorological Society	Undersøk videre

Resultat

Tittel	År	Forfatter	Forlag	Kommentar
Data-Driven Simulation Approach for Short-Term Planning of Winter Highway Maintenance Operations	2021	Li Y., RazaviAlavi S., AbouRizk S.	American Society of Civil Engineers (ASCE)	Kanskje relevant
RoadSurf: A modelling system for predicting road weather and road surface conditions	2015	Markku K., Martti H., Marjo H.	John Wiley and Sons Ltd	Relevant
Optimizing winter road maintenance operations under real-time information	2009	Fu L., Trudel M., Kim V.	Elsevier Ltd	Ikke relevant
Winter road surface condition forecasting	2015	Feng F., Fu L.	American Society of Civil Engineers (ASCE)	Ikke relevant
Road temperature modelling without in-situ sensors	2017	Opara K., Zielinski J.	Riga Technical University	Relevant
Current Practices of Winter Maintenance Operations and Perceptions of Winter Weather Conditions	2019	Dao B. Hasanzadeh S., Walker C. L., Steinkruger D., Esmaeili B. Anderson M. R.	Journal of Cold Regions Engineering	Relevant
Road salt application planning tool for winter de-icing operations	2015	Trenouth W. R., Gharabaghi B., Perera N.	University of Guelph	Kanskje relevant
A Predictive Simulation Model of Regional Weather Events for Winter Road Maintenance Operations	2020	Li Y., Liu C., Lei Z., AbouRizk S.	Construction Research Congress	Ikke relevant
Prediction of Pavement Surface Temperature Using Meteorological Data for Optimal Winter Operations in Parking Lots	2015	Hosseini F., Hossain S. M. K., Fu L., Johnson M., Fei Y.	Cold Regions Engineering	Relevant
Selection of Strategies for Winter Maintenance of Roads Based on Climatic Parameters	2009	Noremd H.	Journal of Cold Regions Engineering	Kanskje relevant
Predicting Weather and Road Conditions: Integrated Decision-Support Tool for Winter Road-Maintenance Operations	2003	Mahoney W. P., Myers W. L.	Transportation Research Record	Relevant
Developing a winter severity index: A critical review	2019	Walker C. L., Hasanzadeh S., Esmaeili B., Anderson M. R., Dao B.	Elseveier Ltd	Relevant
Developing a department of transportation winter severity index	2017	Walker C. L., Steinkruger D., Gholizadeh P., Hasanzadeh S., Anderson M. R., Esmaeili B.	American Meteorological Society	Relevant
Development of a flexible winter severity index for snow and ice control	2015	Matthews L., Jean A., Derrick H., Ivan M.	American Society of Civil Engineers	Relevant
The Accumulated Winter Season Severity Index (AWSSI)	2015	Boustead B. E. M., Hilberg S.D., Shulski M. D., Hubbard K. G.	American Meteorological Society	Ikke relevant

