



INSTITUTT FOR MASKINTEKNIKK OG PRODUKSJON

Bacheloroppgave logistikk TLOG3001

**Forenkling og automatisering av vinterdriftsplanlegging:  
Algoritmebasert beslutningsstøtte med meteorologiske  
prognosemodeller**

Simplification and automation of winter operations planning: An algorithmic approach to a decision-making tool using meteorological forecasting models



Deltagere: Ardian Agolli  
Thomas Hjørtland

Vår 2019



**BACHELOROPPGAVE VED MTP, TLOG3001**

Tittel (norsk og engelsk): Forenkling og automatisering av vinterdriftsplanlegging: Algoritmebasert beslutningsstøtte med meteorologiske prognosemodeller Simplification and automation of winter operations planning: An algorithmic approach to a decision-making tool using meteorological forecasting models	Prosjektnr.:  002-2019
Forfattere:  Ardian Agolli                      tlf. 476 66 429 Thomas Hjelm Hjärtland      tlf. 411 03 695	Dato: 20.05.2019  Gradering: Åpen
Studieretning: Logistikkingeniør, Institutt for maskinteknikk og produksjon, Fakultet for ingeniørvitenskap	
Veileder internt: Tore Lennart Lauritzen                      tore.l.lauritzen@ntnu.no	
Oppdragsgiver: Veidekke Industri AS	
Oppdragsgivers kontaktperson: Kurt Haarberg	

Sammendrag: <p>Prosjektgruppen utforsker muligheten for å digitalisere hverdagen til vinterdriftsplanleggere. Prosjektgruppen hadde som mål å forenkle og automatisere aktiviteter som inngår i planleggingen. Været er utslagsgivende på hvor trygt det er på veien, og med Statens vegvesen sine tydelige kravspesifikasjoner mener prosjektgruppen at beslutningsgrunnlaget for planlegging av vinterdrift kan automatiseres med en algoritme.</p> <p>Prosjektgruppen har utarbeidet et løsningskonsept som innsamler, bearbeider og presenterer vesentlig meteorologiske data, og med dette kan foreslå produksjonstiltak for en driftsplanlegger. Løsningenskonseptet viser tydelige potensiale for planleggingen innen vinterdriften, samtidig som det finnes områder som må videreutvikles før en komplett løsning kan implementeres.</p>	
Stikkord: Vinterdrift, planleggings verktøy, modellering, meteorologi, prognoser	Keywords: Winter operations, planning tools, modeling, meteorology, forecasting




## Forord

Denne oppgaven er skrevet i forbindelse med avsluttende bachelorprogram for logstikkingeniørstudiet ved NTNU, Institutt for maskinteknikk og produksjon.

Prosjektgruppen har fra tidligere i dette studieløpet arbeidet med en spennende oppgave innen vinterdrift for Veidekke Industri AS. Dette er bakgrunnen som står for prosjektgruppens ønske og interesse om å skrive bacheloroppgave innen samme virksomhetsområde. Igjennom samarbeidet med Veidekke Industri AS har prosjektgruppen kunne anvende erfaringer fra det tidligere prosjektet, kompetanse og kunnskap som er tilegnet gjennom studieprogrammet, samtidig som vi har hatt anledning til å lære om nye fagområder.

Vi ønsker å takke alle som har bidratt til at prosjektgruppen har lyktes med gjennomføring av dette prosjektet. En spesielt stor takk til prosjektgruppens veiledere. Vår ekstern veileder Kurt Haarberg, kalkylesjef hos Veidekke Industri AS, for de ressurser han har gitt prosjektgruppen tilgang til. Vår intern veileder Tore Lennart Lauritzen for orientering når veien videre har vært uklar. Vi ønsker også takke venner og familie som har bidratt enten direkte, eller indirekte til suksessen av prosjektet.

Trondheim 19.05.2019



Ardian Agotti



Thomas Hjelm Hjørtland



---

## Sammendrag

Statens vegvesen sitt hovedbudskap er «Trygt Fram Sammen» og har ansvar for drift og vedlikehold av det norske Europa-, riks- og fylkesvegnettet. Med utskilling av egenproduksjon og konkurranseutsetting av sine driftskontrakter siden 2003 utføres de vanlige vinterdriftsoppgavene nå av entreprenører fra privat sektor. Med bakgrunn av dette og den økende konkurransen om driftskontraktene har prosjektgruppen utført et studie om bruk av meteorologisk data for planlegging av optimal produksjon.

Med mål om å ivareta trygge og fremkommelige veger, ønsker prosjektgruppen å utforske muligheter om å forenkle, standardisere og automatisere mange av de oppgavene som inngår for planlegging av vinterdrift. For dette har prosjektgruppen utarbeidet en algorit mestyrt regnearksmodell som skal imitere beslutningsgrunnlaget til en vinterdriftsplanlegger. Prosjektgruppen har, med hjelp av Veidekke Industri AS, kunne kartlegge prosessene som inngår innen planlegging av vinterdrift og har med dette kunne utføre analyser og feltundersøkelser til å vurdere mulighetene for å benytte meteorologi- og vegforholdsmodeller som beslutningsstøtte for vinteroperasjoner.

Modellen er en konseptløsning som benytter systemintegreerte moduler som utfører de ulike prosessene som inngår innen vinterdriftsplanleggingen. Med dette prosjektet har prosjektgruppen kunne belyse områder innen vinterdriftsplanlegging som er godt egnet for forenkling og automatisering gjennom modellering til å gi standardiserte resultater. Prosjektgruppen har også avdekket områder som foreløpig anses som problematiske for slike tilnærminger. Industri 4.0 og de verktøy som følger har potensial til å løse flere av disse problemområdene, og rapporten vil avslutningsvis introdusere noen av teknologiene som ventes i den nærmeste framtid som kan bidra til bærekraftig og konkurransedyktig vinterdrift.





## **Abstract**

The Norwegian Public Road Administration (NPRA) mission statement is to strive to ensure safe travel for everyone using automobiles, bicycles, or public transport. The NPRA are responsible for overlooking operations and maintenance of the Norwegian public road network. In 2003 the NPRA opted to use contractors from the private sector to perform operations and maintenance on the road network. Before this, the NPRA were committed to performing all operations in the value chain independently. Considering this, and the increasing competition in securing winter maintenance contracts, the project group has carried out a study on the use of meteorological data for planning an optimal production schedule for winter operations.

With the goal of maintaining safe and accessible roads, the project team wish to explore opportunities to simplify, standardize and automate many of the task involved in planning winter operations. For this the project group has prepared an algorithm-based spreadsheet model that can imitate the decision-making process of a winter operations planner. With the help of Veidekke Industri AS the project group has been able to map current processes that are involved in the planning of winter operations. This has further enabled the project group to carry out analyses and field experiments to assess the potential for the use of meteorological and road status models as a decision support tool for planning winter operations.

The project groups model is a conceptual solution that uses system-integrated modules that manage many of the processes that are involved in winter operations planning. With this project, the project group have been able to shed light on areas within winter operations planning that are well suited for simplification and automation through modeling to achieve standardized results. The project group has also uncovered problematic areas for such adaptations. Industry 4.0 and the tools that follow have the potential to solve several of these issues and the report concludes by introducing some of the technologies that are expected in the near future that can contribute to sustainable and competitive winter operations.

## Begrepsliste og forkortelser

<b>Begrep/Forkortelse</b>	<b>Beskrivelse</b>
DMAIC	Define, Measure, Analyze, Improve, Compare
Driftsklasser	Vinterdriftsklasser
Driftskontrakter	Vinterdriftskontrakter
Driftsplanlegger	Vinterdriftsplanlegger
Dk(x)	Driftsklasse A, B, C, D, E
IoT	Internet of Things, Tingenes internett
Industri 4.0	Den 4. industrielle revolusjonen
IT	Informasjonsteknologi
MET	(Det norske) Meteorologisk institutt
Modell	Regnearksmodell
MS	Microsoft
NPRA	Norwegian Public Roads Administration (Statens vegvesen)
NTNU	Norges teknisk- naturvitenskapelig universitet
PDCA	Plan, Do, Check, Act
ROAR	Road Analyzer and Recorder
RSI	Road Status Information
RWIS	Road Weather Information Systems, Vegvær info. system
SI	Systemintegrasjon
VBA	Visual Basic for Applications
Veidekke	Veidekke Industri AS (om ikke annet spesifiseres)
ÅDT	Årlig døgntrafikk

# Innhold

<b>1</b>	<b>Innledning</b>	<b>1</b>
1.1	Bakgrunn for oppgaven . . . . .	1
1.2	Introduksjon til vinterdrift . . . . .	1
1.2.1	Tiltaksplanlegging og beslutningsstøtte . . . . .	2
1.3	Prosjektgrunnlag . . . . .	2
1.4	Mål for oppgaven . . . . .	3
1.4.1	Strategisk mål . . . . .	3
1.4.2	Resultatmål . . . . .	3
1.4.3	Effekt mål . . . . .	3
1.5	Begrensinger og avgrensninger . . . . .	3
1.6	Interessentanalyse . . . . .	4
1.7	Rapportens disposisjon . . . . .	5
<b>2</b>	<b>Metode</b>	<b>7</b>
2.1	Forskningsmetoder . . . . .	7
2.1.1	Kvalitative Metoder . . . . .	7
2.1.2	Kvantitative Metoder . . . . .	7
2.2	Litteraturstudie . . . . .	8
2.3	Kvalitetssikring . . . . .	8
2.4	Metodeutvalgelse . . . . .	9
2.5	Datainnsamling . . . . .	9
2.5.1	Primærdata . . . . .	9
2.5.2	Sekundærdata . . . . .	10
2.6	Databehandling . . . . .	10
2.7	Verktøy . . . . .	10
<b>3</b>	<b>Teori</b>	<b>12</b>
3.1	Syv-trinnsprosess for modellering . . . . .	12
3.2	Industri 4.0 . . . . .	13
3.2.1	Tingenes internett (IoT - Internet of Things) . . . . .	14
3.2.2	Horisontal og vertikal systemintegring . . . . .	14
3.2.3	Stordataanalyse og maskinlæring . . . . .	14
3.2.4	Skytjenester . . . . .	15
3.3	Interessentanalyse . . . . .	15
3.4	SWOT analyse . . . . .	16
3.5	Rotårsaksanalyse: 5 ganger hvorfor . . . . .	16
3.6	Rotårsaksanalyse: Fiskebensdiagram . . . . .	17
<b>4</b>	<b>Meteorologi innen vinterdrift</b>	<b>19</b>
4.1	Observasjoner med værstasjoner . . . . .	19
4.2	Meteorologiske variabler for vinterdrift . . . . .	21
4.3	Observasjon- og måleutstyr for vinterdrift . . . . .	23
4.3.1	Værstasjoner fra Statens vegvesen . . . . .	24
4.3.2	Saltkonsentrasjonsmåler . . . . .	24
4.3.3	Friksjonsmåler . . . . .	24

4.4	Digitale tjenester . . . . .	25
4.4.1	Det norske meteorologisk institutt (MET) . . . . .	25
4.4.2	Yr.no . . . . .	26
4.4.3	Halo . . . . .	26
4.4.4	Vegvær . . . . .	26
<b>5</b>	<b>Case</b>	<b>28</b>
5.1	Veidekke ASA . . . . .	28
5.2	Statens vegvesen . . . . .	28
5.2.1	Teknikker . . . . .	29
5.2.2	Driftskontrakter . . . . .	29
5.2.3	Dokumenter . . . . .	29
5.3	Møter og intervjuer . . . . .	31
5.3.1	Møter med kalkylesjef, Veidekke Industri AS . . . . .	31
5.3.2	Interjvu med anleggsleder ved Indre Namdal, Veidekke Industri AS . . . . .	32
5.4	Analysen . . . . .	32
5.4.1	SWOT analyse . . . . .	32
5.4.2	Verdistrømsanalyse . . . . .	34
5.4.3	Fem ganger 'Hvorfor?' . . . . .	35
5.4.4	Fiskebeinsdiagram . . . . .	36
5.5	Modellen . . . . .	36
5.5.1	Datainnsamling - Værmelding med spørring . . . . .	37
5.5.2	Vegbaneforhold som forekommer av værmeldinger . . . . .	40
5.5.3	Algoritme . . . . .	42
5.5.4	Rapport . . . . .	48
5.6	Resultater fra modellen . . . . .	48
5.6.1	Datainnsamling - Værmelding med spørring . . . . .	48
5.6.2	Vegbaneforhold som forekommer av værmeldinger . . . . .	49
5.6.3	Algoritme . . . . .	51
5.6.4	Rapport . . . . .	51
5.7	Diskusjon . . . . .	52
5.7.1	Diskusjon om modellen . . . . .	52
5.7.2	Kommende teknologier og andre prosjekter . . . . .	56
<b>6</b>	<b>Konklusjon</b>	<b>58</b>
<b>7</b>	<b>Vedlegg</b>	<b>64</b>
7.1	Verdistrømanalyse . . . . .	64
7.2	Fiskebeinsdiagram . . . . .	65
7.3	SWOT analyse . . . . .	66
7.4	Statens vegvesen værstasjon . . . . .	67
7.5	Icebreak modellen . . . . .	68
7.6	Telefonintervju med anleggsleder, Indre Namdal . . . . .	70
7.7	Salttabeller for DkA . . . . .	71
7.8	Spørring VBA-kode . . . . .	72
7.9	Døgntilpasset cosinusdiagram . . . . .	74
7.10	Outlook VBA-kode . . . . .	75
7.11	Diagrammer fra vegbanetemperatur prognosemodell . . . . .	76
7.12	Populærvitenskapelig artikkel . . . . .	79

## Figurer

1.1	Interessentanalyse . . . . .	5
1.2	Rapportens disposisjon . . . . .	5
3.1	Industri 4.0 - Boston Consulting Group . . . . .	13
4.1	Skydekke nivåer . . . . .	22
4.2	Døgnvariasjon av lufttemperatur (T), duggpunktstemperatur (Td) og vegbanetemperatur (Tv) . . . . .	22
4.3	Meteorologiske variabler for vinterdrift . . . . .	22
4.4	Icebreak modellen . . . . .	23
5.1	Løsningskonseptet . . . . .	37
5.2	Hovedside . . . . .	39
5.3	Aktivitetsdiagram . . . . .	39
5.4	Cosinusfunksjonen tilpasset døgnvariasjon . . . . .	40
5.5	Vegbanetemperatur som funksjon av lufttemperatur . . . . .	41
5.6	Salttabell for anti-ising DkA . . . . .	43
5.7	Logisk flytskjema til algoritmen for DkA, anti-ising . . . . .	45
5.8	DkA: forminskning av salttabell for anti-ising . . . . .	46
5.9	Utforming av DkC salttabell . . . . .	46
5.10	Logisk matrise for anti-ising og anti-kompaktering . . . . .	47
5.11	Logisk matrise for temperaturintervaller . . . . .	47
5.12	Produksjonstiltak i tekstform som forekommer av algoritmen . . . . .	48
5.13	Tidsforbuk for innsamling av værmeldinger . . . . .	49
5.14	Funksjon for prognosemodell av vegbanetemperatur . . . . .	49
5.15	Værstasjoner for datainnsamling . . . . .	50
5.16	Korrelasjon mellom prognosert- og inntruffet vegbanetemperatur . . . . .	50
5.17	Gj.snittlig absolutt avvik (°C) mellom prognosert- og inntruffet vegbanetemperatur . . . . .	50
5.18	Resultat fra algoritme . . . . .	51
5.19	Rapport for rode 1 . . . . .	52
5.20	Resultater fra MS Outlook . . . . .	52

# 1 Innledning

I dette kapitlet vil prosjektgruppen begynne med å belyse kompleksiteten i matematiske modeller for værsystemer, og dens revolusjonære utvikling med tiden. Etterfulgt av introduksjon til vinterdrift, som er bransjen oppgaven skrives i. Senere i kapitlet adresserer prosjektgruppen problemstilling, avgrensninger og mål for oppgaven, samt interesser i en interessentanalyse. Avslutningsvis forekommer en innføring i rapportens oppbygning og disposisjon.

## 1.1 Bakgrunn for oppgaven

I 1972 publiserte Edward Lorenz (1917-2008), en meteorologi professor ved MIT, artikkelen *Predictability: Does the Flap of a Butterfly's Wings in Brazil Set Off a Tornado in Texas?* som er utgangspunktet for det vi i dag kjenner som sommerfugl-effekten ([MIT News, 2008](#)). Edward Lorenz jobbet på 1960-tallet med matematisk modellering av værsystemer. Ved et forsøk på å forenkle modellen fra å benytte seks signifikante desimaler til tre desimaler ga modellen drastiske ulike resultater ([MIT Technological Review, 2011](#)). Sommerfugl-effekten sier at en liten endring i initialbetingelsene kan gi stort utslag i resultatene. Denne effekten kalles innen matematikk for kaosteori og Edward Lorenz er anerkjent som grunnleggeren.

Selv om sommerfugl-effekten fremdeles er gjeldende så har meteorologer blitt mye flinkere til å gi nøyaktige værmeldinger. Mye skyldes bedre kunnskap om atmosfæren og bedre kjennskap til initialbetingelsene ved hjelp og radar og satellitter. Samtidig har tilgjengelig datakraft vokst eksponentielt som tillater meteorologer å benytte numeriske datamodeller for å prognosere været ([Alley et al., 2019](#)). Meteorologi bedrer seg stadig og for hvert 10 år har meteorologene anledning til å gi like nøyaktige væremeldinger for en ytterlig dag. Det vil si at påliteligheten til en 5-dagers varsel i dag er like pålitelig som en 1-dagers varsel for 40 år siden ([Bauer et al., 2015](#)).

Den tredje industrielle revolusjonen har muliggjort mye av denne forbedringen innen meteorologi og det forventes at den fjerde industrielle revolusjonen, Industri 4.0, kan tillate videre forbedring. Introduksjon av blant annet 'tingenes internett' enheter, big data analyser, databehandling i skyen, simulering og maskinlæring vil spille en viktig rolle innen meteorologi i framtiden.

Med den utviklingen prosjektgruppen ser innen meteorologi blir det lettere enn noen gang før å planlegge vinterdriftsaktiviteter etter meteorologiske væremeldinger. Entreprenører kan nå i større grad utføre de rette aktivitetene til rett tid, noe som vil øke kvaliteten på tiltakene som utføres som igjen vil sikre bedre trafikksikkerhet på norske veier. Samtidig vil det medføre redusert sløsing i form av unødvendig produksjonstiltak.

## 1.2 Introduksjon til vinterdrift

Vinterdrift omfatter flere aktiviteter som sørger for at trafikksikkerheten og framkommelighet på vegene er ivaretatt. Statens vegvesen har ansvaret for drift og vedlikehold av vegnettet som omfatter Europa-, riks- og fylkesveger, mens kommunen har ansvaret for de kommunale vegene. Selv om arbeidet utføres av entreprenører har Statens vegvesen et overordnet ansvar for at entreprenørene har kompetanse og opplæring. Statens vegvesen ser dermed viktigheten av å

fokusere på faglig utvikling innen vinterdrift, samtidig som de opprettholder god kontakt med resten av bransjen ([Statens vegvesen, 2018f](#)). I 2013 utarbeidet Statens vegvesen en håndbok *Opplæring i vinterdrift for operatører* og samtidig kravfestet at alle som jobber i vinterdrift må igjennom obligatorisk kursing ([Statens vegvesen, 2018d](#)).

I Norge er vinterdrift en enorm aktivitet som stadig har en økende kostnad fra år til år. Fra 4. kvartal i 2016 til 4. kvartal i 2017 økte kostnadene med 2,5 prosent og for året 2017 var prosent økningen 3,3. På Europa-, riks- og fylkesvegnettet ble det i 2017 brukt 2,2 milliarder kroner til vinterdrift, noe som utgjør 17 prosent av budsjettet for drift og vedlikehold av veier. Samme år ble det brukt 325 000 tonn salt og 872 000 tonn sand på Europa-, riks- og fylkesvegnettet. Antall brøytekilometer i 2017 ble estimert til 26,5 millioner brøytekilometer som gjennomsnittlig tilsvarer 230 totale turer på dette vegnettet ([Statistisk sentralbyrå, 2018](#)).

### 1.2.1 Tiltaksplanlegging og beslutningsstøtte

Driftsplanlegging kan føre til effektiv gjennomføring av produksjonstiltak fordi selve prosessen inneholder mindre sløsing når alle verktøy, materialer, arbeidskraft og støttetjenester er tilgjengelig og klare til rett tid. I vinterdrift kan effektiv planlegging redusere kostnadene betydelig og samtidig opprettholde høyt sikkerhetsnivå for all ferdsel og trafikk. For å opprettholde det nødvendige servicenivået, må produksjonstiltak gjennomføres til den rette tid med lavest mulig kostnad samtidig som det ikke går på bekostning av sikkerheten for trafikkferdsel.

[Kociánová \(2015\)](#) beskriver et system som er basert på overvåking, meteorologiske prognoser og vegbaneforhold for å gi en løsning for intelligent vinterdrift. Vegværstasjoner samler og overfører data om vegbaneforhold på vegen, informasjon som frossen, is, rim, snø eller våt veg, flere av vegværstasjonene har monterte kameraer for å gi sanntids bilder av vegen. Stasjonene har også monterte sensorer som gir data om vegbanetemperatur. Værdata fra værstasjoner henter data fra værradarer og satellitter (og dette er beskrevet i teorigapittel 4.1) som er essensielt for å prognosere fremtidig værforhold og derfor fremtidig vegbaneforhold basert på informasjonen om nåværende vegbaneforhold og værstasjonenes meteorologiske prognoser.

## 1.3 Prosjektgrunnlag

Veidekke Industri AS (heretter Veidekke) har i dag ansvaret for flere driftskontrakter i ulike regioner i Norge. Disse kontraktene inndeles videre inn i mindre kontrakter bestående av roder som blir betjent av underentreprenører. Det er underentreprenørene sitt operative ansvar å utføre ulike produksjonstiltak basert på værforhold og kravspesifikasjon fra Statens Vegvesen, disse tiltakene inkluderer blant annet brøyting og strøing. Veidekke har hovedansvaret for at gjennomførte produksjonstiltak blir gjort på best mulig grunnlag basert på værprognoser.

Prosjektgruppen har lyst til å utforske alternative metoder for å gjennomføre driftsplanlegging, uten at det går på bekostning av trafikksikkerhet og krav fra Statens vegvesen.

## 1.4 Mål for oppgaven

Prosjektgruppen har utarbeidet strategisk-, resultat- og effektmål for å imøtekomme problemstillingen. Resultatmål innebærer beskrivende mål som omfatter omfang, kvalitet og tid tilknyttet modellen som prosjektet har ambisjon å frembringe innen innlevering av oppgaven. Effektmålene er beskrivende for langsiktig verdiskapning i form av endring fra dagens situasjon til ønsket situasjon (Rolstadås et al., 2014).

### 1.4.1 Strategisk mål

Norsk industri er på vei inn i den nye revolusjonen, Industri 4.0. Overgangen til digitalisering står sentralt for Industri 4.0 og er en overgang Veidekke har kommet langt med. Prosjektgruppens strategisk mål vil være å bistå i denne digitale overgangen.

### 1.4.2 Resultatmål

Prosjektgruppen ønsker å utarbeide en modell som forenkler og automatiserer oppgavene som omfatter planlegging av produksjonstiltak på vegbane. Modellen prosjektgruppen ønsker å utarbeide skal ha et grensesnitt til meteorologiske databaser og videre med en utarbeidet algoritme behandle dataen i et databehandlingsprogram (f.eks MS Excel). Etersom algoritmen har behandlet dataen ønsker prosjektgruppen å fremstille vær- og vegbaneforhold med tilhørende produksjonstiltak. Med vær- og vegbaneforhold forholdene og ved bruk av Statens vegvesens kravspesifikasjoner kan prosjektgruppen automatisk generere en rapport som inneholder en kortsiktig tiltaksplan for hver av de utvalgte rodene som inngår. Prosjektgruppen vil også se på muligheten til å generere automatisk rapport i MS Outlook for videresending til underentreprenørene. Altså en totalløsning fra værprognoser til arbeideordre for underentreprenørene.

### 1.4.3 Effektmål

Ved hjelp av prosjektgruppens modell ønskes det å redusere den nødvendige tiden som i dag brukes i forbindelse med planlegging av produksjonstiltak. Effekten prosjektgruppen ønsker å oppnå med modellen er at alle disse oppgavene kan utføres innenfor den samme plattformen med minimal tids- og ressursforbruk. Prosjektgruppen har satt opp følgende konkrete effektmål.

- Tids- og kostnadsbesparelser ved utarbeiding av produksjonstiltak
- Redusere opplæringsfasen for utarbeiding av produksjonstiltak
- Standardisere arbeidsordre og dermed redusere muligheten for menneskelige feil

## 1.5 Begrensinger og avgrensninger

Da bacheloroppgaven gjennomføres i forbindelse med logistikkingeniørstudiet så har prosjektgruppen noen begrensningene som tradisjonelt følger slike prosjekter med tanke på tid,



kostnad og ressurser.

Tidsrommet for prosjektet er et skolesemester med varighet fra 7. jan til 20. mai. Ingen kostnader dekkes i forbindelse med gjennomføring av prosjektet og prosjektgruppen er begrenset med det budsjettet som tillates av vanlige studenter.

Ressursene som prosjektgruppen har tilgang til består av det NTNU og oppdragsgiver stiller til rådighet samt den kompetansen prosjektgruppen har tilegnet gjennom logistikkstudiet. Fra NTNU har prosjektgruppen benyttet seg av veiledere, arbeidsrom, bibliotek, tilgang til forskningsportaler og programvarer som tilbys via intranettet. Oppdragsgiver har gitt tilgang til nøkkelpersoner innen Veidekke som har stilt opp til møter og intervjuer med prosjektgruppen. Prosjektgruppen har gjennom det 3. årige studieløpet tilegnet seg relevant kompetanse innen logistikk, modellering, databehandling og lettere programmering. Prosjektgruppen har også fra et tidligere prosjekt tilegnet seg noe erfaring innen vinterdrift. Andre kompetanser som er benyttet for prosjektets gjennomføring er tilegnet iløpet av prosjektets varighet. Av dette fremheves meteorologiske kunnskaper og fordykning innen modellering og programmering med MS Excel.

Gitt de begrensningene prosjektgruppen er utsatt for avgrenses også oppgaven deretter. Modellen som prosjektgruppen har utarbeidet må betraktes som en konseptløsning med formål å påvise mulighets- og problemområdene for slike løsninger. Prosjektet avgrenses også til å omfatte kun de kontraktene som utstedes av Statens vegvesen som gjelder for Europa-, riks- og fylkesvegnettet i Norge. Videre er oppgaven avgrenset til å kun se på brøyting og saltstrøing på vegbane. Disse vinteroperasjonene refereres til som produksjonstiltak igjennom denne rapporten.

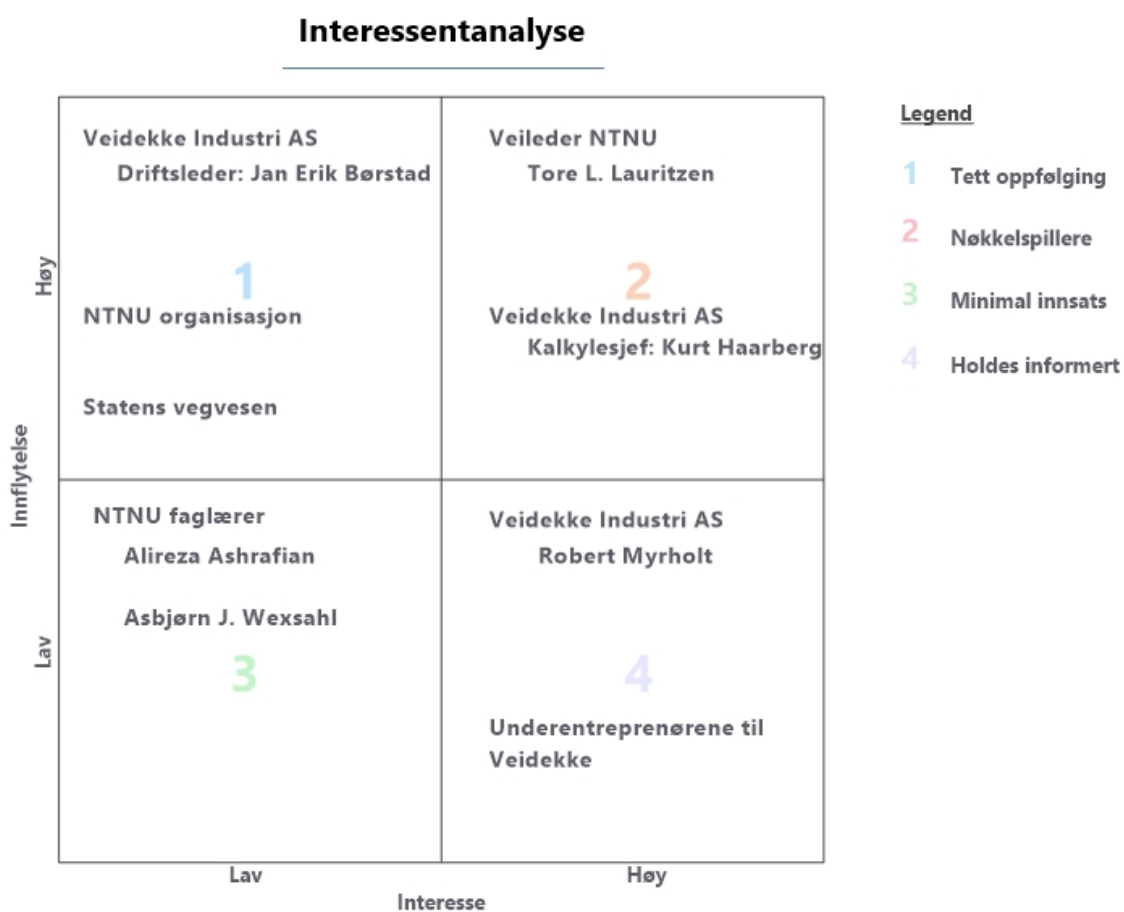
## 1.6 Interessentanalyse

Prosjektgruppen har utarbeidet en interessentanalyse for å kartlegge hvilke personer og organisasjoner som har interesse og innflytelse på prosjektet. Ettersom interessentene er sortert vil aksene gi en tilnærming til hvordan prosjektgruppen ønsker å håndtere dem.

Figur 1.1 viser interessentene i prosjektet. Nøkkelspillere i prosjektet er intern- og ekstern veileder fra NTNU og Veidekke. Nøkkelspillerne holdes godt informert og vil ha muligheten til å si noe om prosjektets gjennomføring og retning.

Veidekke som selskap har også interesse for slike prosjekter da de kan bli påvirket av gjennomføring av prosjektet og eventuelle funn. Det samme gjelder for underentreprenørene som gjennomfører brøyting og strøing for Veidekke.

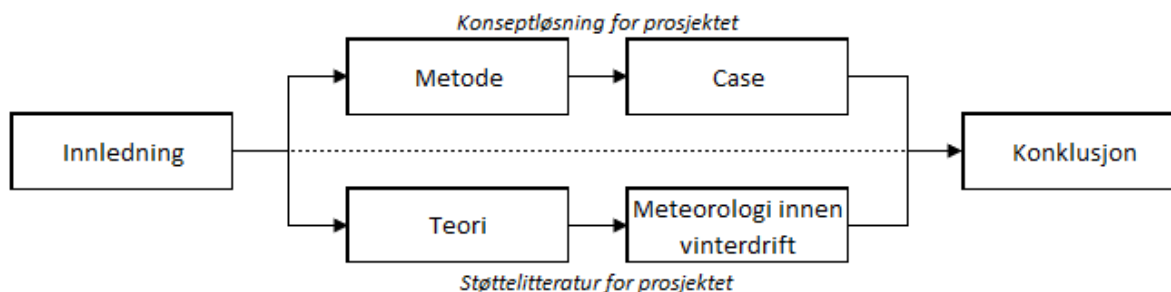
Statens vegvesen har stor innflytelse i prosjektets gjennomføring da Veidekke er pålagt å følge krav som er påpekt av Statens vegvesen. Prosjektgruppen følger dermed flere av standardene som inngår i dokumentene til Statens vegvesen for å sikre at bearbeiding av data er gjort på riktig måte.



**Figur 1.1:** Interessentanalyse

## 1.7 Rapportens disposisjon

Som veiledning til rapporten skal figur 1.2 hjelpe leseren å navigere gjennom prosjektrapporten. Etter innledningen er rapporten delt inn i to logiske spor.



**Figur 1.2:** Rapportens disposisjon

Øvre spor omfatter konseptløsningen prosjektgruppen har valgt til å adressere problemstilling og måloppnåelse. Metodekapitlet (2) beskriver, på strategisk nivå, gjennomføringsdesign og hvordan prosjektgruppen har valgt å imøtekomme problemstillingen. Case-kapitlet (5) tar for seg

gjennomføringsdesignet i praksis og, på detaljert nivå, forklarer hvordan prosjektgruppen har arbeidet mot, og ferdigstilt konseptløsningen. Avslutningsvis vil resultater fra konseptløsningen bli presentert etterfulgt av en diskusjon av resultater og funn.

Nedre spor inneholder nødvendig støttelitteratur slik at leseren vil kunne følge prosjektgruppens resonering og beslutninger for konseptløsningen. Teorikapitlet (3) underbygger metodekapitlet og introduserer relevante analysemetoder i tillegg til digitalisering og nye trender som kommer med Industri 4.0. Kapitlet meteorologi innen vinterdrift (4) er en utvidelse til teorikapitlet og beskriver de meteorologiske hensyn som bidrar til planlegging av vinterdrift og har som hensikten å underbygge case-kapitlet.

Rapporten avsluttes med en konklusjon (6) som innebærer en oppsummering av prosjektet og de signifikante funn som forekommer av gjennomføringen. Her vil det også vurderes i hvilken grad prosjektgruppen har lykket med å nå målene for prosjektet i tillegg til å komme med forslag til videre arbeid.

## 2 Metode

Dette kapitlet vil introdusere metodene som prosjektgruppen har brukt til å imøtekomme problemstillingen. Det vil beskrives hvordan prosjektgruppen har samlet og behandlet data, hvordan prosjektgruppen har utført litteraturstudien, samt beskrive hva som har blitt vektlagt for vurdering av litteraturen. Senere i kapitlet beskrives det hvordan prosjektgruppen har behandlet dataen og vil avslutningsvis presentere verktøy som er benyttet til gjennomføring av oppgaven. Med dette skal det være mulig å gjenta fremgangsmåten, og resultater som forekommer skal kunne reproduseres, samtidig som de skal være etterprøvbare.

### 2.1 Forskningsmetoder

For prosjektet er det benyttet både kvalitative og kvantitative metoder til å vurdere informasjon. Dette delkapitlet vil introdusere hvilken informasjon som er vurdert og prosjektgruppens metode for å vurdere de.

#### 2.1.1 Kvalitative Metoder

Gjennom kvalitative metoder ønsker prosjektgruppen å danne et bilde av nåsituasjonen hos oppdragsgiver. Dette vil danne grunnlag for analyser til å kartlegge hvordan prosjektgruppen mener en ønsket fremtidig situasjon kan oppnås.

##### Undersøkelser med møter og intervjuer

Prosjektgruppen mener oppdragsgiveren er best egnet til å beskrive en nåsituasjon for problemstillingen slik det opereres internt i dag. Dette oppnås med møter og intervjuer av nøkkelpersoner hos oppdragsgiver, både på operasjonelt- og ledelsesnivå.

[Gripsrud et al. \(2016\)](#) skriver i deres bok om undersøkelser og hva slags undersøkelsesdesign som kan benyttes ved ulike scenarioer. Dersom beslutningstakeren vet lite om saksområde, og formålet med undersøkelsen er å utforske et tema nærmere, kan det benyttes et eksplorativt (eller utforskende) design. Hensikten med eksplorative undersøkelser vil da være å tilegne bedre innsikt innen et problemområde. I det tilfelle beslutningstaker har grunnleggende forståelse for problemområdet kan det benyttes et deskriptivt design for undersøkelsen. Deskriptive undersøkelser har som formål å tilegne seg en beskrivende forståelse innen et problemområde.

Møter med nøkkelpersoner på ledelsesnivå har som formål å være eksplorative til å kartlegge mulighetsområder innenfor problemstillingen. Intervjuer med nøkkelpersoner på operasjonelt nivå har som formål å være deskriptive med beskrivelser av prosesser slik de utføres i dag. Prosjektgruppen beskriver intervjuene videre i delkapittel 5.3.

#### 2.1.2 Kvantitative Metoder

Kvantitative metoder vil benyttes der numerisk data skal behandles. Dette inkluderer blant annet prognosemodellen for vegbanetemperatur.

For vegbanetemperatur vil prognoser testes mot empiri til å fastslå i hvilke grad resultater korrelerer mot faktisk inntruffet vegbanetemperaturer. Korrelasjonstest utføres med Pearson-korrelasjon i MS Excel som beskrevet i [Gripsrud et al. \(2016\)](#). Gjennomsnittlig absolutt avvik beregnes med metoden som beskrives i [Winston and Albright \(2015\)](#).

## 2.2 Litteraturstudie

Med utgangspunkt i de eksplorative intervjuene med ledelsen hos oppdragsgiveren, blir litteratursøk brukt til å kartlegge hva slags forskning som allerede er utført i forbindelse med problemstillingen. Dette av hensikt å kartlegge hvilke muligheter som finnes, hvilke fremgangsmetoder som har lyktes og hva som har blitt tatt i bruk tidligere. Mest interessant er muligens hvilke metoder som er mulig å adoptere med de begrensninger som prosjektgruppen er utsatt for. For litteraturstudie benyttes en litteraturlitertidbase for senere referanse av relevant material.

Hoveddelen av litteraturstudie gikk til å bli kjent med Statens vegvesen sine dokumenter som omhandler drift av Norske veger, men også til å lese forskningslitteratur om prognosemodeller for meteorologi innen vinterdrift. Prosjektgruppen vil introdusere de mest relevante forskningsartiklene for prognosemodeller i delkapittel 4.2 og Statens vegvesen dokumenter i delkapittel 5.2.

Øvrige deler av litteraturstudie er rettet mot teorigrunnet, analysemetoder og kartlegging av eksisterende hjelpeverktøy som har, eller blir brukt innen vinterdrift i moderne tid.

## 2.3 Kvalitetssikring

For å sikre at prosjektgruppen finner relevante og troverdige resultater har prosjektgruppen basert datainnsamlingen på ulike prinsipper avhengig av hva dataen skal brukes til.

- Valg av litteratur og informasjon basert på pålitelige kilder
- Ukentlig rapportering til oppdragsgiver og studentveileder
- Verifisering av innsamlet data fra intervjuer og møter

### **Valg av litteratur og informasjon basert på pålitelige kilder**

For å sikre at dataen som prosjektgruppen har benyttet er pålitelig, har det blitt gjennomført en kritisk gjennomgang av kildene som er brukt i oppgaven. Prosjektgruppens kilder er i hovedsak basert på forskningslitteratur, publiserte bøker som brukes i undervisningssammenheng og data hentet fra norske offentlige etater.

### **Ukentlig rapportering til intern og ekstern veileder**

Som nøkkelspillere har intern og ekstern veileder stor innflytelse og interesse i prosjektets gjennomføring. Med ukentlig rapportering som oppfølgingsverktøy for nøkkelspillerne vil de ha innsikt i prosjektets retning og utvikling. Dette vil minimere sannsynligheten for store overraskelser i sluttresultatet, samtidig som det tillater dem å komme med situasjonsspesifikk innspill.

### **Verifisering av innsamlet data fra intervjuer og møter**

I etterkant av informative intervjuer vil prosjektgruppen (intervjueren) skrive referat fra intervjuet slik at informanten kan få anledning til å bekrefte at innholdet i referatet reflekterer det som ble kommunisert i intervjuet.

## **2.4 Metodeutvelgelse**

Gitt problemstillingen og definerte mål så har prosjektgruppen valgt rasjonelle fremgangsmetoder for gjennomføring av prosjektet. Hensikten med dette er at alle vegvalg innen prosjektets gjennomføring skal underbygges av resultatene til foregående aktiviteter slik at prosjektet får en logisk flyt.

Prosjektet begynner med datainnsamling i form av intervjuer og litteraturstudie. Intervjuene har som formål å kartlegge hvordan oppdragsgiveren utfører sine operasjoner og danner utgangspunkt for en nåsituasjon. Litteraturstudiet utføres til å kartlegge hva slags arbeid som tidligere er utført innenfor problemstillingen og baseres på forskningslitteratur. Litteraturstudie benyttes også til å kartlegge hvilke frihetsgrader prosjektgruppen har for gjennomføringen, og denne delen består hovedsakelig av dokumentasjon fra Statens vegvesen, som er oppdragsgiveren til Veidekke for driftskontraktene.

Etter datainnsamlingen har prosjektgruppen foretatt en rekke analyser for å velge det foretrukne løsningskonseptet. Det brukes en verdistrømsanalyse for å skille verdiskapende aktiviteter mot de som betraktes som ikke-verdiskapende. Rotårsaksanalyser brukes til å undersøke mulighetene for reduksjon av de ikke-verdiskapende aktivitetene, men også for å kartlegge alle variabler og faktorer som må hensyntas når en verdistrøm analyseres. Ettersom prosjektgruppen velger løsningskonsept, utføres en SWOT-analyse til å vurdere de strategiske implikasjonene ved den foreslåtte konseptløsningen.

Med hensyn til de utførte analyser har prosjektgruppen valgt å utforske mulighetsområder for å digitalisere beslutningsgrunnlaget for planlegging av vinterdrift. Regnearksmodellering brukes til å automatisere flere ikke-verdiskapende aktiviteter og en algoritme programmeres til å foreslå beslutninger for produksjonstiltak.

Avslutningsvis vil prosjektgruppen analysere konseptløsningen og vurdere i hvilken grad det har lyktes å nå de ulike målene som er satt for prosjektet.

## **2.5 Datainnsamling**

For gjennomføring av dette prosjektet har prosjektgruppen samlet inn en rekke primær- og sekundærdata. Dette delkapitlet beskriver hvilke data som er samlet og dataens formål i prosjektsammenheng.

### **2.5.1 Primærdata**

Primærdata er data som samles inn for å gi svar på en klart avgrenset og aktuell problemstilling. Primærdata finnes ved å gå ut i feltet og kalles derfor også felldata. Feltundersøkelser utføres

på ulike måter som observasjoner, eksperimenter og intervjuer ([Nasjonal Digital Læringsarena, 2017](#)).

### **Primærdata med eksperiment**

Gjennom feltundersøkelse med hjelp av observasjoner fra diverse værstasjoner i Norge, har prosjektgruppen produsert primærdata for vegbanetemperaturer med prognosemodell. Prognosemodellen for vegbanetemperatur og feltundersøkelsen blir videre forklart henholdsvis i delkapittel 5.5.2 og 5.6.2.

### **Primærdata med intervju**

Prosjektgruppen har også tilegnet seg primærdata gjennom en rekke møter og intervjuer med nøkkelpersoner hos Veidekke som vil bli beskrevet videre i delkapittel 5.3.

## **2.5.2 Sekundærdata**

Sekundærdata omfatter allerede eksisterende datakilder, også kalt skrivebordsundersøkelse ([Nasjonal Digital Læringsarena, 2017](#)). Sekundærdata som er benyttet i prosjektet består i hovedsak av vær og vegvær data som har inntruffet, samt Yr.no sine værprognoser. For dette har prosjektgruppen benyttet digitale tjenester som er beskrevet ytterligere i delkapittel 4.4.

## **2.6 Databehandling**

For løsningskonseptet har prosjektgruppen behandlet meteorologisk data i en algoritme. Algoritmen behandler dataen i en logisk matrise der et sett av inngangsvariabler fører til produksjonstiltak.

Logiske matrisen bygges opp av formler som «hvis», «og» og «eller». Når prosjektgruppen har forklart den matematiske algoritmen har prosjektgruppen brukt matematiske symboler, der;

1. og =  $\wedge$
2. eller =  $\vee$

Algoritmen og hvordan databehandlingen er gjennomført er videre forklart i delkapittel 5.5.3.

## **2.7 Verktøy**

Prosjektgruppen presenterer her MS Excel som hovedverktøy for prosjektets gjennomføring, samt referer videre til andre meteorologiske verktøy gruppen har brukt i dette prosjektet.

### **Excel (med VBA)**

MS Excel (heretter Excel) er et regnearksverktøy utviklet av Microsoft hovedsakelig for operativsystemet Windows, og i senere tid gjort tilgjengelig for macOS, Android og iOS. Excel inneholder databehandlingsverktøy som kalkulasjoner, grafeverktøy, makro programmeringsspråk kalt Visual Basic for Applications (VBA) og flere andre nyttige verktøy.

VBA er et programmeringsspråk fra Microsoft og brukes hovedsakelig med MS-applikasjoner som Excel, Word og Access. Først lansert i 1993, og nyeste versjon er VBA 7.1 som ble lansert med MS Office 2016-pakken. VBA har sin hensikt som mange andre programmeringsspråk å forenkle og kvalitetssikre prosesser, og det er dette prosjektgruppen har valgt å bruke VBA til.

Prosjektgruppen har valgt å utvikle løsningskonseptet i Excel, siden det er en software som de fleste bedrifter og selskaper bruker som sitt primære arbeidsverktøy. For å utvikle modellen har prosjektgruppen fulgt strukturen i «Syv-trinnsprosess for modellering» fra boken til [Winston and Albright \(2015\)](#). Det er gjort flere forenklinger i programmeringsspråket VBA for å skape et mer brukervennlig og effektivt løsningskonsept.

### **Meteorologi- og veginformasjon**

Prosjektgruppen har benyttet en rekke verktøy og tjenester for datainnsamling av observasjoner og prognoser av vær og veg hendelser. De mest sentrale inkluderer Yr.no og VegVær og disse blir videre introdusert i delkapittel 4.4.



## 3 Teori

Teorien som introduseres i dette kapitlet er teori som har vært direkte utslagsgivende for hvordan prosjektoppgaven presenteres. Utvalgt teori er faglig relevant og er anvendt i ulike deler av prosjektet. Først introduseres syv-trinnsprosessen for modellering som har bidratt til prosjektgruppens valg av utformingen til konseptløsningen. Deretter introduseres Industri 4.0 og de sentrale teknologier som er relevante til problemstillingen. Noen av teknologiene er benyttet innen konseptløsningen og de øvrige inngår i diskusjonskapitlet (5.7). Avslutningsvis introduseres analysene som er benyttet innenfor de ulike prosjektstadiene.

### 3.1 Syv-trinnsprosess for modellering

Regnearksmodeller har en tendens til å bli komplekse og det kan dermed være behjelpelig å følge en ryddig prosess når modellering utøves. Det finnes flere kategorier av modeller (f.eks. transportmodeller, produktmiks modeller, kortest vei osv.) der de ulike modellene har som formål å løse ulike typer problemstillinger. Utfordringer med mange modeller er at de er utviklet for å løse en situasjonsspesifikk problemstilling og i praksis vil den situasjonsspesifikke problemstillingen være ulik fra organisasjon til organisasjon. [Winston and Albright \(2015\)](#) vektlegger derfor begrepet modellering framfor modeller siden en ferdig utviklet modell ikke nødvendigvis kan implementeres i ulike sammenheng. Med bakgrunn for dette har [Winston and Albright \(2015\)](#) utviklet en syv-trinnsprosess for modellering. Det finnes alternativer til akkurat denne tilnærmingen, men de fleste bygger på de samme prinsippene. Følgende er en beskrivelse av [Winston and Albright \(2015\)](#) sin tilnærming til modelleringsprosessen.

#### Trinn 1: Problemdefinering

Til å definere problemstilling må analytikeren ha forståelse for organisasjonens mål. Det må også kartlegges hvilke deler av organisasjonen som må studeres for å løse problemstillingen.

#### Trinn 2: Datainnsamling

Analytikeren må deretter samle inn data for problemstillingen til å kartlegge hvilke variabler som er gjeldende for organisasjonen. Dette for å utarbeide en matematisk modell (trinn 3) for organisasjonens problemstilling og for å predikere løsninger (trinn 4).

#### Trinn 3: Modellutvikling

Deretter skal det utvikles en modell som speiler problemstillingen. Ved tilfeller der alle inngangsvariabler er kjent brukes deterministiske optimeringsmodeller. Når inngangsvariabler er sannsynlighetsfordelt brukes simulasjonsmodeller.

For noen modeller er situasjonene spesielt komplekse og den vanlige tilnærmingen med referanseceller kan ikke anvendes direkte. I slike tilfeller kan det innføres matematiske funksjoner som kan løses ved hjelp av VBA. Ved slike tilnærminger bør det underbygges med akademisk forskning.

#### Trinn 4: Modellverifisering

For dette trinnet skal det avgjøres om modellen representerer virkeligheten. Minimumskrav er at modellen går gjennom en plausibilitetsjekk. I slike tilfeller kan modellen testes med ulike

inngangsvariabler og beslutningsvariabler til å kontrollere om resultatene som forekommer er troverdige.

### Trinn 5: Optimering og beslutning

Analytikeren skal her avgjøre hvilken strategi som i størst grad imøtekommer organisasjonens mål.

### Trinn 6: Kommunisere modellen ovenfor ledelsen

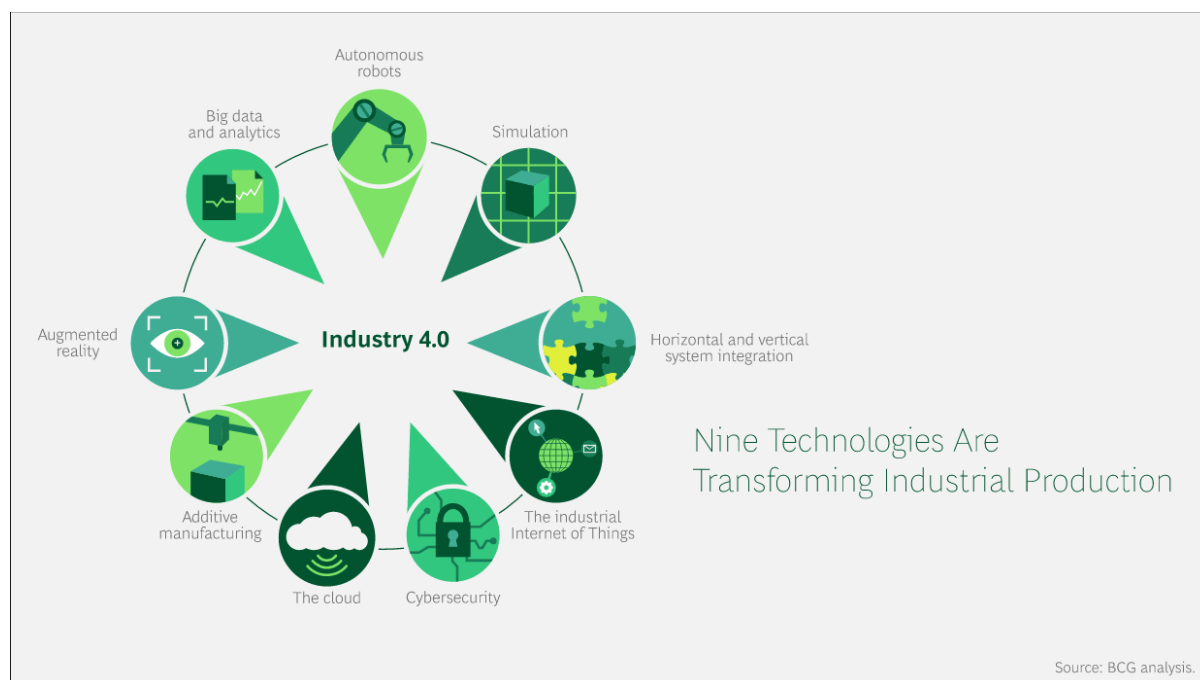
Her skal analytikeren presentere modellen, samt anbefalinger fra tidligere steg til organisasjonen. I noen tilfeller kan flere alternativer presenteres slik at ledelsen kan avgjøre hvilke alternativ som er mest passende.

### Trinn 7: Modellimplementering

Dersom organisasjonen aksepterer gyldighet og nytten av modellen må analytikeren bidra med å implementere ledelsen anbefalinger. Det implementerte systemet må deretter overvåkes konstant slik at den kan oppdateres når eksterne faktorer endrer seg. Dette vil tillate at systemet kan fortsette å imøtekomme organisasjonens mål.

## 3.2 Industri 4.0

Den fjerde industrielle revolusjonen, Industri 4.0, kjennetegnes av nye digitale teknologier som anvendes i industrien. Dette tillater oss å samle og analysere data på tvers av maskiner. Videre tillater dette raskere, mer fleksible og effektive prosesser for produksjon av høyere kvalitetsgoder til reduserte kostnader. Denne revolusjonen skal bidra til økt konkurransefortrinn i form av økt produktivitet og industriell vekst (Boston Consulting Group, 2019).



Figur 3.1: Industri 4.0 - Boston Consulting Group

Boston Consulting Group peker ut ni teknologier som vil transformere industriell produksjon (figur 3.1). Prosjektgruppen vil introdusere de teknologier som er mest relevante for denne oppgaven og problemstillingen.

### 3.2.1 Tingenes internett (IoT - Internet of Things)

IoT tillater fysiske enheter å se, høre, tenke og utføre jobber ved å kommunisere og dele informasjon med hverandre. Tradisjonelle enheter omgjøres til 'smarte enheter' ved å koble dem til internett slik at de kan benyttes uten at en bruker behøver å være på samme plass. Det forventes at IoT vil ha stor betydning på hjemme- og forretningsfronten og vil bidra til økt økonomisk vekst, men også øke levekvalitet ([Al-Fuqaha et al., 2015](#)). Siden 2008 har antall IoT enheter forbigått antall internettbrukere ([Chapman et al., 2014](#)).

I dag er det mulig for en vintervedlikeholdsingeniør å ta beslutninger på bakgrunn av veg- og værinformasjonssystemer (Road Weather Information Systems – RWIS). Slike informasjonssystemer kombinerer værmeldinger, vegbanetemperatur og vegforhold ([Chapman et al., 2014](#)). Da dette foreløpig ikke er spesielt utbredt i Norge, finnes det likevel tjenester som bidrar til denne utviklingen.

### 3.2.2 Horisontal og vertikal systemintegrasjon

Systemintegrasjoner (heretter SI) er en IT (eller ingeniørprosess) som omhandler det å sette sammen delsystemer eller komponenter til et større system for å dekke et behov. SI brukes for å tilsette verdi til et system via nye funksjonaliteter som blir tilgjengelig ved å koble sammen ulike delsystemer. Metoden kjennetegnes som den modulære tilnærmingen til systemutvikling ([Technopedia, 2019](#)).

#### Horisontalintegrasjon

Horisontalintegrasjon brukes til å danne et nytt og unikt system sammensatt av andre delsystemer. Med et selvstendig grensesnitt, eller ESB (Enterprise Service Bus), vil en bruker ha tilgang til de underliggende systemene. Da delsystemene kun har en eneste binding til ESB (og ikke mellom andre delsystemer), kan delsystemene erstattes med nye delsystemer uten å påvirke det overordnede systemet. Horisontalt integrerte systemer anses derfor som fleksible sammenlignet med vertikale systemer.

#### Vertikalintegrasjon

Med vertikal integrasjon er delsystemer sammensatt med hensyn til funksjon og danner en siloeffekt. Vertikalt integrerte systemer er mindre fleksible da delsystemer har forbindelser med andre delsystemer og disse blir mer kostbart å endre på ([Technopedia, 2019](#)).

### 3.2.3 Stordataanalyse og maskinlæring

Stordataanalyse (også kjent som big data analytics) omhandler datainnsamling, evaluering og analyse av store datasett som er utfordrende å behandle på tradisjoneltvis. I 2018 ble det hver dag samlet data tilsvarende 2,5 kvintillioner byte ( $2,5 * 10^{30}$ ) som vil si at 90 prosent av data

som er innsamlet siden menneskers opprinnelse er gjort de siste 2 årene, og dette grunnes i hovedsak datainnsamling med IoT enheter (Forbes, 2019).

Siden det nå har blitt så enkelt å samle data og mye billigere å lagre den, så samles data for alt mulig, selv før en vet hva det skal brukes til. Dette i forberedelse for den dagen dataen blir nyttig, og da er sannsynligheten større for at en vil ha et statistisk tilfredsstillende datagrunnlag når dataen ønskes analysert.

For å analysere stordata er bruken av maskinlæring blitt mye vanligere. Maskinlæring, som en underart av kunstig intelligens, bruker statistiske metoder til å gjenkjenne mønster i et datasett. Maskinen er forhåndsprogrammert med regler, som for eksempel begrensninger og et mål, og «lærer» selv hvordan den kan imøtekomme målet innenfor gitte begrensninger ved mønstergjenkjenning (Store norske leksikon, 2019). Maskinlæring har mange ulike anvendelsesområder, deriblant til preventivt vedlikehold, virtuelle personlige assistenter som Siri og Alexa, innen epostklienter til å gjenkjenne søppelpost, men også for værprognoser (Daffodil Software, 2017)(McQuistan, 2017).

### 3.2.4 Skytjenester

Skytjenester har i større grad begynt å erstatte tradisjonelle 'in-house' dataservere selv om funksjonaliteten er på mange måter lik. Forskjellen er at skytjenester er outsourcet til profesjonelle aktører. Med skytjenester er det mulig å lagre og behandle data eller applikasjoner i skyen slik at den er tilgjengelig enhver plass hvor det finnes internettilkobling.

Fordeler med skytjenester kontra dedikerte 'in-house' servere inkluderer bedre tilgjengelighet da data blir lagret på flere ulike servere, økt sikkerhet med gode tjenestetilbydere, supportstøtte, men for mange er det frigjøring av lagringsplass på personlig enheter som er avgjørende (Singh, 2018).

Med skytjenester kan IoT datalagring og stordataanalyser utføres uten at det vil kreve egen lagringsplass og prosesseringskraft.

## 3.3 Interessentanalyse

For å kartlegge og planlegge hvordan prosjektgruppen skal håndtere interessentene i dette prosjektet har prosjektgruppen utarbeidet en interessentanalyse.

En interessent er definert som «en person eller organisasjon som er aktivt involvert i prosjektet, eller som har interesser som blir berørt av prosjektets gjennomføring eller sluttresultat» (Rolstadås et al., 2014).

Interessentanalysen er en 2x2 matrise der interessentene i prosjektets gjennomføring sorteres etter to akser, innflytelse i prosjektet og interesse i prosjektet. Hensikten er å etablere handlingsplan for hver av de fire inndelte gruppene.

I *Praktisk Prosjektledelse* (Rolstadås et al., 2014) deles disse fire gruppene inn i:

1. De som bør tilfredsstilles.
2. Nøkkelspillere

3. De med minimal innsats
4. De som holdes informert i utviklingen av prosjektet

Prosjektgruppen sin interessentanalyse finnes i delkapittel 1.1.

### 3.4 SWOT analyse

[Sabbaghi and Vaidyanathan \(2004\)](#) beskriver i deres artikkel anvendelse av SWOT analyser for IT-prosjekter. SWOT analysen er et effektivt rammeverk for analyse av en organisasjon eller prosjekt som bidrar til å adressere effektiviteten av prosjektplanlegging og -implementering. Akronymet «SWOT» står for 'Strengths, Weaknesses, Opporntunites og Threats' og brukes for strategisk planlegging til å kartlegge hva som er den riktige veien å gå fram med hensyn til innhold og mål for prosjektet. Den riktige veien er avhengig av grensesnittet mellom prosjektet, prosjektets mål og prosjektets omgivelser (målgrupper, markedet, lover og regulering osv). Tradisjonelt sett blir SWOT analysen presentert med en 2x2 matrise der vi skiller mellom interne faktorer (Strengths og Weaknesses) og eksterne faktorer (Opportunities og Threats). Ved å skille faktorene ønsker vi å besvare følgende spørsmål.

**Interne faktorer** (innen organisasjonen eller prosjektgruppen)

- Strengths (Styrker): Hva er våre fordeler? Hva gjør vi bra? Hvorfor er vi konkurransedyktig? Hvilke ressurser har vi? (F.eks. teknologi, motivasjon, kompetanse, nettverk, likviditet).
- Weaknesses (Svakheter): Hva kan vi gjøre bedre? Hva gjør vi dårlig? Hva bør vi unngå? Hvilke interne faktorer hindrer oss i å imøtekomme våre behov?

**Eksterne faktorer** (utenfor organisasjonen eller prosjektgruppen)

- Opportunities (Muligheter): Hva er de interessante trendene? Hvordan vil markedet utvikle seg over tid? Hvilke eksterne endringer forventer vi som kan være fordelaktig for organisasjonens kompetanse? (F.eks. markedstrender, lovendringer, teknologier).
- Threats (Trusler): Hva gjør konkurrentene våre? Hvilke hindre vil vi møte? Hvordan vil fremtiden påvirke organisasjonen vår? Har vi de rette ressursene, verktøyene og teknologier til å imøtekomme fremtiden ([Sabbaghi and Vaidyanathan, 2004](#))?

### 3.5 Rotårsaksanalyse: 5 ganger hvorfor

Utviklet av Sakichi Toyoda og som del av Toyota Production System (TPS) er 5 ganger hvorfor (Five Why Process) en prosess som har til formål å finne rotårsak til et problem. Prosessen er et hyppig brukt verktøy i Lean og SixSigma forbedringssystemer henholdsvis PDCA og DMAIC.

Metoden har som formål å sikre at det faktiske problemet blir rettet og ikke kun de overfladiske symptomene. Den iterative prosessen utføres ved å spørre 'Hvorfor eksisterer problemet?' fem ganger, der hver påfølgende «hvorfor» skal adressere svaret til den foregående «hvorfor». [Nicholas \(2011\)](#) bruker følgende eksempel i boken *Lean Production for Competitive Advantage*.

1. Hvorfor er delene defekte?  
**Svar:** Maskinene som produserer de klarer ikke å opprettholde toleransenivået.
2. Hvorfor klarer maskinene ikke å opprettholde toleransenivået?  
**Svar:** Maskinoperatørene har ikke den rette treningen.
3. Hvorfor har ikke maskinoperatørene den rette treningen?  
**Svar:** Maskinoperatørene sier opp før de er ferdig trent og må erstattes slik at nivået aldri blir høyt nok.
4. Hvorfor slutter operatørene?  
**Svar:** Arbeidet er repetitivt, ubehagelig og kjedelig.
5. Hvorfor er arbeidet repetitivt, ubehagelig og kjedelig?  
**Svar:** Arbeidsoppgavene ble designet uten å ta hensyn til operatørene som skulle utføre de.

### 3.6 Rotårsaksanalyse: Fiskebensdiagram

Fiskebensdiagrammet brukes til å identifisere alle mulig årsaker som bidrar til et bestemt effekt eller utfall. Diagrammet er opprinnelig oppkalt etter oppfinneren Kaoru Ishikawa, og refereres også til som et årsaks-virkningsdiagram (Nicholas, 2011).

Diagrammet utformes (slik navnet antyder) som en fiskebenstruktur der «hodet» vil være effekten, utfallet eller problemet som skal analyseres. Fra «hodet» følger «rygggraden» som videre deles inn i mindre bein.

Beinene som går ut fra «rygggraden» er mulige hovedårsaker som kan ha sammenheng med effekten. En står fritt til å velge de relevante hovedårsakene selv, men det finnes også maler for ulike typer organisasjoner. Figur av fiskebeinstrukturen kan sees i prosjektgruppens fiskebeindiagram i vedlegg 7.2.

For produksjon brukes ofte 6M'er

- Maskiner
- Metoder
- Materialer
- Omgivelser (Mother Nature)
- Mennesker
- Målinger

I nyere tid ettersom Lean filosofien har i større grad blitt tatt i bruk brukes ofte 6P'er

- Policy
- Prosess
- Program
- Produkt
- Mennesker (People)
- Fabrikk (Plant)

Når hovedårsakene er bestemt kan disse videre brytes ned i underliggende årsaker. Dette gjøres ofte i mindre grupper med deltakere fra ulike områder og nivåer innen organisasjonen.

Gjennom idédugnad er målet å generere så mange ideer som mulig. Alle ideer skal være velkomne uavhengig om de kan virke fjerne eller latterlige. Ideene skal da klassifiseres som underliggende årsak til den relevante hovedårsaken. Alle ideer regnes som kandidater til problemet (effekten) som videre kan brytes ned med ytterlige analyser (f.eks. Paretoanalyse, histogrammer, flytdiagrammer osv.) (Nicholas, 2011).

## 4 Meteorologi innen vinterdrift

Evnen til å planlegge vinterdriften er i stor grad avhengig av tilgang til god meteorologisk informasjon samtidig som én planlegger må ha evnen til å forstå og tolke dataen som er tilgjengelig. Dette kapitlet vil introdusere meteorologiske variabler som inngår i planlegging av vinterdrift, og hvordan de brukes for planlegging av produksjonstiltak. Avslutningsvis vil tilbyderne av meteorologisk informasjon som er benyttet i prosjektet presenteres.

### 4.1 Observasjoner med værstasjoner

I denne delen vil prosjektgruppen avdekke hva slags værstasjoner som finnes og brukes til å måle og forutsi fremtidig vær. Værstasjonene deles hovedsakelig inn i observasjon fra land, luft og fra havet.

Varsling av vær oppsto på 1800-tallet og la grunnlag til moderne værvarsling. Det var i hovedsak at uvær på havet som førte til store tap av menneskeliv som gjorde det spesielt interessant å kunne prediktere været. Telegrafene ble senere brukt til å rapportere om forflytting og bevegelsesmønstre, det var først på 1900-tallet at britiske Lewis F. Richardson utarbeidet likning til hvordan beregningene måtte skje. Senere samme århundre ble det for første gang brukt datakraft til å prediktere været, selv om det tok 24 timer å beregne 24 timer frem i tid var det et steg i riktig retning ([Metrologisk Institutt, 2016b](#)).

#### Observasjoner fra land

Stasjonene fra land kan deles inn i tre hovedgrupper. Værstasjoner med manuell betjening, nedbørstasjoner og helautomatiske stasjoner.

Manuelle værstasjoner gir svært verdifulle målinger og er de stasjonene med de lengste målehistorikkene. Flere av værstasjonene er fremdeles manuelle og det jobbes med å automatisere disse ([Metrologisk Institutt, 2016a](#)).

De helautomatiske stasjonene kan plasseres uavhengig av bosetting, men krever fremdeles regelmessig tilsyn og vedlikehold. På disse stasjonene registreres det i hovedsak lufttemperatur, luftfuktighet, gjennomsnittlig vindhastighet, lufttrykk og nedbørsmengde. Instrumenter som gjør dette mulig er: Termometer (temperatur, nedbør), Barometer(trykk), Vindmåler (Vind), Hygrometer(fuktighet) ([Meteorologisk institutt, 2016a](#)).

Den vanligste typen av nedbørstasjoner i Norge er værradar. Radar brukes for å måle nedbør eller partikler som befinner seg i atmosfæren. Dette gir muligheten til å forutsi relativt nøyaktig prognose en flere timer frem i tid.

Radaren består av en sender og mottaker, som vil veksle mellom å lytte og sende. Radaren starter med å sende ut radiobølger der noen av bølgene reflekteres tilbake til mottakeren som et ekko. Desto kraftigere nedbøren er, desto sterkere ekko vil radaren motta. Denne dataen blir samlet inn hvert kvarter eller oftere, og der hvert datasett er et øyeblikksbilde over hvor det finnes nedbør. Disse datasettene blir brukt til å lage en serie bilder og deretter en animasjon bestående av bildene. Animasjonen blir videre brukt til å lese forflytning av nedbør den siste tiden. ([Meteorologisk institutt, 2016b](#)).



### Observasjoner fra lufta

Det hele startet med en tanke om et internasjonalt moderne meteorologiske system på siste halvdel av 1800. Siden den tid har teknologien endret seg fra ballonger og drager som ble sendt opp i været for å hente informasjon om trykk, temperatur og fuktighet til mer moderne teknologi som radiosonder, satellitter og rute-fly.

En radiosonde er et instrument som sendes opp i lufta. På vei opp fra bakkenivå til ca. 25.000-30.000 meter over havet samler den kontinuerlig data om temperatur, fuktighet, trykk, vindhastighet og vindretning. Radiosonden inneholder en radiosender som videre sender denne dataen til en mottaker på bakken. Når denne dataen er bearbeidet settes det sammen til en melding som kan brukes i prognosemodeller for hvordan været blir. Radiosondene sendes opp til faste tider over hele verden, dette for å få datasett som er representativt for hele atmosfæren over hele jorden til samme tid.

Satellitter er et kjent og hyppig brukt instrument. Siden den første satellitten Sputnik ble sendt opp har vært til nytte for meteorologi og værvarsling og til kartlegging av is- og snøforhold. Satellittene brukes i dag til å finne temperatur og fuktighet i ulike lag av atmosfæren, samt bevegelse av luftmassene. Satellittene er kjent for å ha kapasitet til å sende store mengder data til bakken samtidig som nyutviklede instrumenter kan installeres om bord.

Det skilles mellom to typiske satellitter, geostasjonære og polare satellitter. Geostasjonære satellitter befinner seg i bane rundt ekvator ved en høyde på ca. 36 000 kilometer, og de kan observere hele jordkloden på en gang. Flere av disse stasjonene gjør det mulig å få bilde av hele jorden ved likt tidspunkt. Polare satellitter går i bane fra pol til pol i en høyde av ca. 800 km, og disse dekker polområdene bedre enn geostasjonære satellitter, men har ikke like gode observasjoner på ett vilkårlig sted like ofte.

Rute-fly beveger seg ikke like høyt som satellitter, men på kryss og tvers av atmosfærenes lavere lag. Flere av rute-flyene har siden 1919 utført meteorologiske målinger, men kom først i ordentlig bruk fra 1980 tallet. Rute-fly blir ofte sammenlignet med radiosonden, på den måten at tilsvarende målingene blir gjort i forskjellige høydenivåer. Da radiosonden er forbruksvare og relativt dyr, har man sett flere fordeler ved å utstyre flyene med tilsvarende sensorer. Man får da en slags tilsvarende prosess som radiosonden når flyet letter, men det er flere problemer med denne type målinger siden sensorene blir utsatt for mer ujevne krefter, trykk og temperaturer. Disse operative sensorene er fortsatt under utvikling og finnes i dag kun på noen fly ([Meteorologisk institutt, 2016d](#)).

### Observasjoner fra havet

Tettheten av værstasjoner er mye mindre enn tettheten av værstasjoner på land, men er minst like viktige. Utviklingen av kraftige trykk foregår som regel over havområder og er ofte en grunn til at stormer og orkaner bygger seg opp. Gode overvåkingsnett over havet med hyppige varslinger til land er derfor veldig viktig, det gir også annet nyttig informasjon som brukes til forsterkning av observasjoner fra både land og luft. Disse observasjonene fra havet blir gjort fra skip og båter, olje- og gassplattformer og fra bøyer ([Meteorologisk institutt, 2016c](#)).

## 4.2 Meteorologiske variabler for vinterdrift

For å planlegge vinterdrift må det vises hensyn til både initialbetingelsene (været som var), samtidig som det må vurderes utvikling av initialbetingelsene utover planleggingshorisonten. Variablenes utvikling utover planleggingshorisonten kan være avhengig eller uavhengig av andre meteorologiske variabler. Nedenfor følger en beskrivelse av de meteorologiske variabler som er sentrale for planlegging av vinterdrift og hvordan de står i forhold til hverandre.

**Lufttemperatur:** Måles i °C og varierer med jordens eksponering til solen. Dette medfører døgnvariasjoner der døgnet maksimum oppnås på dagen og minimum om natten. Jordens rotasjonsakse heller 23,5 grader og gir årlige variasjoner mellom sesongene. Lufttemperatur har stor innvirkning på hvilken nedbørstype som kan forventes ved nedbør.

**Duggpunktstemperatur:** Måles i °C og forteller hvilke temperatur luften må avkjøles til, uten endring i lufttrykk, for å bli «mettet». Når luften er «mettet» vil den ikke lenger ha evne til å holde på vanndamp og det oppstår fare for dugg ved varmegrader i luften og eller fare for rim/frost ved kuldegrader. Duggpunktstemperaturen er avhengig av relativ luftfuktighet og lufttrykk. Fare for dugg eller rim/frost er avhengig av avstanden mellom lufttemperatur og duggpunktstemperatur.

**Relativ luftfuktighet:** Måles i prosent. Relativ luftfuktighet gir forholdet mellom mengden vanndamp i luften sammenlignet med den maksimale mengden vanndamp luften kan holde når den betraktes som mettet.

**Lufttrykk:** Lufttrykk (barometrisk- eller atmosfærisk trykk) måles i hektopascal (hPa) som tilsvarer 100 pascal eller en millibar. Målingen er vekten til en luftstøyle målt fra bakken opp til toppen av atmosfæren. Lufttrykk beskrives ofte innenfor intervallet høytrykk og lavtrykk og kan si noe om været som følger. Høytrykk gir ofte mindre vind og mindre skyer. Lavtrykket vil vanligvis gi motsatt effekt. Om sommeren er høytrykket forbundet med fint vær og varme dager. Om vinteren er uttrykket oppholdsvær mer vanlig for å beskrive høytrykk og det er vanligvis forbundet med kaldere perioder. Dette på grunn av mindre soleksponering gjennom døgnet samtidig som hvite, snødekket områder reflekterer solstråler tilbake til atmosfæren. Lufttrykk vil derfor påvirke lufttemperatur, duggpunkt, vindstyrke og -retning. Samtidig vil lufttrykk ha relative forhold med skydekke og nedbør ([Yr.no, 2010](#)).

**Nedbør:** Måles i millimeter nedbør (mm) men også millimeter pr. time (mm/t). Hvilken nedbørstype som forventes avgjøres hovedsakelig av lufttemperatur. Tommelfingerregelen er at 1 mm vann/regn tilsvarer 1 cm snø. I områder med fjell er nedbør i stor grad påvirket av vindretning, der en side av fjellet vil oppleve mer nedbør på grunn av vindretningen.

**Vindretning og -styrke:** Vindstyrke måles i meter pr. sekund (m/s) og oppgis vanligvis med en pil i vindens dominante retning.

**Skydekke (åpen/lukket himmel):** Måles i okta (åttendedeler av himmelen som er dekket av skyer) men også i prosent. MET måler prosentvis skydekke ved fire intervaller der nederste delen av skyen vurderes for inndeling i grupper som vist i figur 4.1.

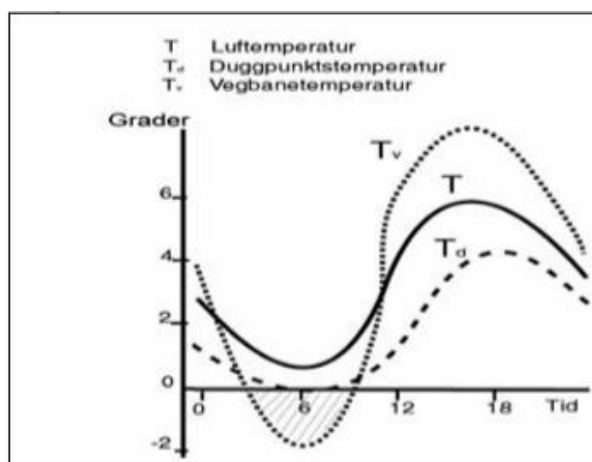
I tillegg til dette gis også en samlet måling av skydekket for alle fire nivåer.

**Vegbanetemperatur:** Måles i °C og er den viktigste variabelen når det skal utføres prognoser for rim, frost og tilfrysing på vegkroppen ([Statens vegvesen, 2018d](#)). Vegbanetemperatur følger en døgnrytme og varierer med sterk tilknytning til vegbanens eksponering til solen. Vanligvis vil

Skydekke	Høyde over bakkenivå
Tåke	inntil 50 meter
Lave skyer	50 - 1500 meter
Middelhøye skyer	1500 - 5000 meter
Høye skyer	mer enn 5000 meter

**Figur 4.1:** Skydekke nivåer

døgnets maksimale vegbanetemperatur måles om ettermiddagen og minimum måles i forkant av soloppgangen. Figur 4.2 viser hvordan døgnvariasjon av vegbanetemperatur og dens forhold til luft- og duggpunktstemperatur. Måleverdier for vegbanetemperatur fra værstasjoner i Norge er tilgjengelig på Vegvær



**Figur 4.2:** Døgnvariasjon av lufttemperatur (T), duggpunktstemperatur (T<sub>d</sub>) og vegbanetemperatur (T<sub>v</sub>) - (Statens vegvesen, 2018d)

Det finnes ulike prognosemodeller for vegbanetemperatur som varierer i design med hensyn til hvilke variabler som inkluderes. Prosjektgruppens litteraturstudie viser at det finnes et mangfold av variabler som kan betraktes som inkluderer bl.a. meteorologiske- og geografiske variabler, men også vegbanens utforming og trafikkmønster. Chapman et al. (2001) bruker en omfattende liste av relevante variabler for sin statistisk modell for prognoser av vegbanetemperatur, variablene vises i figur 4.3.

Meteorologisk	Geografisk	Vegegenskaper
Solstråling	Breddegrad	Vegkroppens dybde
Terrestrisk stråling	Lengdegrad	Termisk ledningsevne
Lufttemperatur	Topografi	Termisk spredningsevne
Skydekke og -type	Skjerming	Emissivitet
Vindhastighet	Himmelutsiktsfaktor	Albedo
Fuktighet (relativ)	Arealbruk	Trafikk
Duggpunkt og fukt	Topografisk eksponering	

**Figur 4.3:** Meteorologiske variabler for vinterdrift - (Chapman et al., 2001)

Berrocal et al. (2010) har også utarbeidet en prognosemodell for vegbanetemperatur. Mathis (2000) er driftsplanlegger i Sveits og bruker en metode som kan sammenlignes med den Statens

vegvesen benytter i tillegg til å innføre energibetraktningen til å generalisere ulike vær- og vegbanefenomen. [Shao \(1998\)](#) benytter et nevralt nettverk for vegbanetemperatur prognoser. Nevrale nettverk er en gren innen kunstig intelligens som er inspirert av hjernecellestrukturens organisering til å bygge et datastrukturer med tilhørende algoritmer ([Store norske leksikon, 2017](#)). Den hyppigste brukte metoden i prosjektgruppens litteraturstudie er numeriske modeller.

[Shao and Lister \(1996\)](#) benytter en numerisk modell til å prognosere isdannelse på vegbane som nå kjennes som Icebreak modellen. Icebreak modellen har fått mye oppmerksomhet i vinterdriften og har i ettertid blitt videre utviklet fra å prognosere isdannelse fra tre timer til seks timer fram i tid. Andre som har benyttet og videreutviklet Icebreak modellen inkluderer blant annet [Sass \(1992\)](#), [Crevier and Delage \(2001\)](#), [Postgård and Lindqvist \(2001\)](#), [Korotenko \(2002\)](#), [Feng and Feng \(2012\)](#) og [Trenouth et al. \(2015\)](#). Den numeriske modellen benytter energibevaringsprinsippet for vegbane. [Feng and Feng \(2012\)](#) viser hvordan det er mulig å benytte energibevaringsprinsippet med energistråling og termisk fluks betraktninger til å prognosere vegbanetemperatur. Utgangspunktet til beregningene vises i figur 4.4 og presenteres mer utfyllende i vedlegg 7.5.

Energibevaringsprinsippet for vegbaneoverflate.

$$R_N + LE + H + S = 0 \quad (1)$$

$R_N$  = Netto stråling

$LE$  og  $H$  = Latent og følbar termisk fluks

$S$  = Overfaltens termisk fluks

Vegbanetemperatur med innsatte for  $R_N$ ,  $LE$ ,  $H$  og  $S$  i ligning (1) (14)

$$(1 - \alpha)(Q + q) + \sigma T_{luft}^4 - \varepsilon \sigma T_{vb}^4 + \frac{\rho k U_2}{[\ln(Z_2/Z_0)]^2} \left\{ C[T_2 - \Gamma Z_2 - T_0] + L \left[ q_2 - \frac{X_\omega}{L} f(T_0) \right] \right\} + \frac{K_s}{\left(\frac{Z_s}{2}\right)} [T_h - T_0] = 0$$

**Figur 4.4:** Icebreak modellen - ([Feng and Feng, 2012](#))

Resultatene fra [Feng and Feng \(2012\)](#) viser til en 0,9 korrelasjon mellom prognoser og realisert vegbanetemperatur inntil 6 timer. Modellen var noe mindre pålitelig med tilfeller der nedbør oppsto. Den største ulempen med de numeriske modellene er at de innebærer spesielt mange variablene som er spesifikke til en bestemt veg og sted. Modellen kan derfor ikke uten tilpasninger benyttes på tvers av alle veger.

### 4.3 Observasjon- og måleutstyr for vinterdrift

Statens vegvesen har tilrettelagt for at entreprenører enkelt kan finne sanntidsinformasjon om vegbanen som beskriver føreforholdene på mange veger i Norge. Dette er gjort mulig med værstasjoner som er plassert i forbindelse med vegnettet i Norge. Første del av dette delkapittel vil beskrive måleverdier som hentes med værstasjonene til Statens vegvesen. Deretter vil det introduseres andre måleverdier og -metoder som benyttes til å tilegne innsikt om vegbaneforhold på vegene som brukes for planlegging av vinterdrift.

### 4.3.1 Værstasjoner fra Statens vegvesen

Statens vegvesen har i 2018 ca. 320 værstasjoner i Norge. Med observasjoner fra Statens vegvesen sine værstasjoner er det mulig å samle sanntidsdata for vegbaneforhold. Følgende data blir samlet med værstasjonene ([Statens vegvesen, 2018g](#)).

- **Lufttemperatur (°C):** Måler plassert som standard 2 meter over vegbanen og minimum 1 meter fra mast for å sikre fri luftsirkulasjon. Sensor skal stå i strålebeskytter som forhindrer påvirkning fra solen.
- **Vegbanetemperatur (°C):** Måles enten ved hjelp av sensor plassert i vegbanen eller med infrarød sensor plassert på mast. Måler temperatur på vegbanes overflate.
- **Relativ luftfuktighet (%), som gir duggpunktstemperatur (°C):** Måles med sensor plassert på mast med like krav som for lufttemperaturmåler. Relativ luftfuktighet måler prosentandelen vanndamp i luften. Med relativ luftfuktighet og lufttemperatur kan duggpunktstemperatur beregnes. Videre blir duggpunktstemperatur sammenlignet med vegbanetemperatur til å vurdere om det finnes fare for rim og frost på vegbane.
- **Nedbørsmengde (mm), nedbørintensitet (mm/time) og nedbørstype (yr/regn/hagl/snø):** Måler plasseres enten på mast (minimum 4 meter over bakken) eller ved bakken (i flatt og åpen terreng). Målerplassering er avgjørende for resultat og måler bør plasseres utenfor le da dette vil ha store innvirkninger for hva som måles. Vind kan føre til underestimering av nedbør og ved kraftig vind kan underestimeringen være betydelig.
- **Vindhastighet (m/s), maks vindkast siste 10 minutter (m/s) og dominant vindretning:** Ulike sensorer brukes (mekanisk, ultrasonisk eller annen) og plasseres 10 meter over bakken ([Statens vegvesen, 2015a](#)).

Bilde av værstasjonen som Statens vegvesen benytter finnes i vedlegg 7.4.

### 4.3.2 Saltkonsentrasjonsmåler

Saltkonsentrasjon måles vanligvis ved produksjon av saltløsning ved å benytte et aerometer. Når aerometeret plasseres i saltløsningen vil den måle massetettheten i løsningen. Konsentrasjon av salt avgjøres av massetetthet i saltløsningen, der en bestemt massetetthet vil ha en tilhørende saltkonsentrasjon.

Det kan også utføres saltkonsentrasjonsmålinger på vegbane som er behandlet med salt. For dette benyttes forskjellige utstyr og sensorer. Et refraktometer kan måle refraksjonsindeksen til lys gjennom en prisme ved prøvetakning av væskedråper fra våt vegbane. Andre metoder inkluderer måling av elektrisk motstand av væskedråper og frysepunktmåling ([Vaa and Sakshaug, 2017](#)).

### 4.3.3 Friksjonsmåler

Tilstrekkelig friksjon er avgjørende for trafikksikkerhet og god ferdsel for kjøretøy på vegbane i tillegg til de som ferder på gang- og sykkelsti. Siden lav friksjon gir flere ulykker så stiller derfor Statens vegvesen strenge krav for friksjonskoeffisient på veger og gang- og sykkelsti. Det finnes

ulike metoder og utstyr for å måle friksjon og hva som kan brukes er ofte definert i gjeldende de driftskontrakter.

Retardasjonsmåler er en nedbremsingsmåler som kobles på personbil. Med korte og kraftige nedbremsningsoperasjoner vil instrumentet beregne friksjon med vurdering av initialhastighet og avslutningshastighet. Noe usikkerhet må beregnes med denne metoden da eksterne variabler vil påvirke resultatene som f.eks. bilens vektfordeling, bremsesystem og dekkutrustning. Statens vegvesen har utarbeidet retningslinjer for hvordan målinger skal utføres for å oppnå repeterbarhet. Denne metoden egner seg godt på vegbaner.

På gang- og sykkelveger blir det vanligvis brukt håndholdt måleutstyr. Disse, i likhet med retardasjonsmålere, finner friksjonskoeffisient ved bremsing av et av hjulene. Håndholdt måleutstyr skyves fremover av operatøren og det stilles krav for gjennomsnittsfriksjon over 5 målemeter.

Kontinuerlig friksjonsmålere (slippmålere) brukes til å beregne nødvendig krefter til å oppnå «slipp» mellom målehjul og vegbane. «Slipp» betegnes som hendelsen der et gummihjul bremses på vegbane og ingen hastighetsreduksjon forekommer samtidig som en glidebevegelse oppstår på målehjul. Med dette kan friksjonskoeffisient beregnes. Statens vegvesen bruker OSCAR friksjonsmåler som referanse for friksjonsmålinger på veg. I 2018 har Statens vegvesen kun en OSCAR friksjonsmåler og denne benyttes for årlig kalibrering av ROAR friksjonsmålere (Road Analyser and Recorder). Statens vegvesen har en ROAR måler i hver av sine 5 regioner (nord, øst, sør, vest, midt). ROAR friksjonsmålere brukes videre til å kalibrere ytterlige vinterfriksjonsmålere.

Det kan også benyttes optiske sensorer som reflekterer lys på vegens overflate. Forskjellige underlag reflekterer lys ulikt, og med dette er det mulig å fastslå om et underlag er våt, dekket med snø eller is. Noen optiske sensorer kan i tillegg gi friksjonsestimater. Optiske sensorer er foreløpig i testfasen og de er ikke godkjente som friksjonsmålere for oppfølging av driftskontrakter.

For Statens vegvesen sine driftskontrakter er det satt krav til entreprenørene om at minst en kontinuerlig friksjonsmåler skal være tilgjengelig i tillegg til et antall retardasjonsmålere, som vil variere mellom kontraktene ([Statens vegvesen, 2018d](#)).

## 4.4 Digitale tjenester

Informasjonen som samles av MET og Statens vegvesen er hyppig brukt i dette prosjektet. Den informasjonen som er brukt leveres av tilbyderne på digitale plattformer, og dette delkapittel vil beskrive de tjenestene som er benyttet av prosjektgruppen.

### 4.4.1 Det norske meteorologisk institutt (MET)

MET, som er etablert i 1866, er et statlig forvaltningsorgan underlagt klima- og miljødepartementet og er et ekspertisesenter innen meteorologi. I 2019 består MET av nesten 500 ansatte og er sammensatt med en unik kombinasjon av geofaglig- og IT-kompetanse som leverer forsknings- og varslings tjenester til sine brukere.

Virksomhetsområdet til MET inkluderer blant annet observasjonsinnsamling, utvikling av prognosemodeller, tungregning og nasjonale og internasjonale forskningsprosjekter. MET er

en brukerorientert organisasjon og utvikler sine produkter og tjenester på bakgrunn av dette. MET sine brukere består av private og offentlige aktører, forskningsinstitutter og academia, både nasjonalt og internasjonalt ([Meteorologisk institutt, 2019](#)).

#### 4.4.2 Yr.no

Konseptet Yr.no ble grunnlagt i januar 2007 og er et resultat av samarbeid mellom NRK og MET. På den tiden hadde både NRK og MET planer om å lansere hver sitt værnnettsted, men fant til slutt ut at de kunne tilby et bedre tilbud til sine brukere dersom de slo seg sammen. Målet med tjenesten er videreutviklet av MET sitt overordnede mål og lyder «Vår oppgave er å bidra til å sikre liv og verdier og gi brukerne våre troverdige værvarsler som gjør de klare for all slags vær» ([Yr.no, 2019](#)). Den første offisielle versjonen av Yr.no var offentlig tilgjengelig på nett september 2007 og mobilapplikasjonen ble lansert i 2009.

I 2006 var antall tilbydere av værmeldinger langt dårligere enn ved dagens situasjon, og kvaliteten var også deretter. Typiske værmeldinger besto den gang av generelle værbeskrivelse med tilhørende temperatur som var gjeldende for hele døgnet. Dette begrunnes med at værvarsler måtte kjøpes inn før de kunne presenteres for befolkningen. I dag gir Yr.no detaljerte time for time varsler samtidig som de gir brukerne tilgang til databaser for været som tidligere har inntruffet.

I dag er MET ansvarlig for datagrunnlaget og det faglige innholdet på Yr.no, mens NRK står for presentasjon, design, redaksjonelt innhold og leveransen av varslene til brukerne ([Yr.no, 2017b](#)). I 2017 har Yr.no varsler for 9 millioner steder i verden og benyttes i over 200 land med over 10 millioner unike ukentlig brukere ([Yr.no, 2017a](#)).

#### 4.4.3 Halo

Halo, som også er utviklet av MET, er en tjeneste tilbudt norske offentlige myndigheter. Formålet med Halo er å levere en pålitelig, tilgjengelig og relevant informasjonskilde for meteorologiske og oseanografiske produkter og tjenester. Første versjon av tjenesten ble lansert i 2012 og brukes av blant annet Avinor, Jernbaneverket, Kystverket, Luftfartstilsynet, Politiet og Statens vegvesen ([Barentswatch, 2013](#)). Halo teamet prioriterer behovene til offentlige myndigheter og kontinuerlig videreutvikler tjenesten i tråd med brukerens behov.

Tjenesten leveres med retningslinjer for hvordan innholdet fra Halo kan brukes. Innholdet i Halo er ment til å oppfylle brukerens myndighetspålagte oppdrag og kan ikke benyttes til kommersielle formål. Enkelte private aktører innvilges tidsbegrenset tilgang dersom de er betraktet som underentreprenør for offentlige myndigheter ([Halo, 2019](#)). Alle entreprenører med driftskontrakter fra Statens vegvesen gis tilgang til Halo ([Statens vegvesen, 2018d](#)).

#### 4.4.4 Vegvær

Utviklet av Statens vegvesen, gir Vegvær brukerne tilgang til dataen som er innsamlet av Statens vegvesen sine værstasjoner. Informasjon om værstasjoner og hvilke data som samles forklares i delkapittel 4.3.1. Målet for produktet er å sikre god fremkommelighet, økt trafikksikkerhet og redusert miljøbelastning. Prosjektet startet i 2008 ([Statens vegvesen, 2014c](#)).

Målgruppe for produktet er alle som jobber med drifting av det Norske vegnettet. Entreprenørene kan benytte produktet som et hjelpeverktøy i planleggingsarbeidet, brøytesjåførene kan til enhver tid bruke den til å kontrollere vegbanene de har ansvar for, og byggherre kan bruke den til oppfølging av utført arbeid. Disse målgruppene vil ha tilgang til nettleserversjon av Vegvær på internett. Det er også utviklet en mobilapplikasjon, VeiVær, som er fritt tilgjengelig for de som ikke kvalifiserer seg for nettleserversjonen for å tilegne seg informasjon fra værstasjoner. Nettleserversjonen inkluderer noen tilleggstjenester som prognoser for vegbanetemperatur og kjøreforhold som ikke inngår i mobilapplikasjonen. Fra 2016 har Vegvær landsdekkende prognoser for hele Norge ([Vegnett, 2016b](#)).



## 5 Case

Dette kapitlet starter med en introduksjon av prosjektgruppens oppdragsgiver, Veidekke. Deretter introduseres Statens vegvesen, som er Veidekke sin oppdragsgiver for driftskontrakter på Europa-, riks- og fylkesveger i Norge, etterfulgt av Statens vegvesen sine dokumenter, ulike driftsklasser og vinterdriftsteknikker som prosjektgruppen har gjennomgått. Dette for å lære om kravene som ligger til grunn for Norsk vinterdrift, og forsikre at prosjektets gjennomføring samsvarer med krav fra Statens vegvesen.

Senere belyser prosjektgruppen funn fra analyser, møter og intervju som er gjennomført, som videre legger grunnlag for dannelsen av løsningskonseptet. Løsningskonseptet er direkte rettet mot aktivitetene som gjennomføres i dagens prosess for driftsplanlegger og har som hensikt å effektivisere prosessen (hovedsakelig de ikke-verdiskapende aktivitetene). Avslutningsvis forekommer resultater fra modellen og diskusjon om løsningskonseptet.

### 5.1 Veidekke ASA

Veidekke ASA ble stiftet i 1936 og er i dag en av Skandinavias største entreprenører og eiendomsutviklere. Selskapet har over 8000 ansatte og i 2017 omsatte de for NOK 32 milliarder. Med hovedkontor i Oslo inndeles Veidekke i tre datterselskap, Veidekke Entreprenør, Veidekke Eiendom og Veidekke Industri. Veidekke Entreprenør utfører bygg- og anleggskontrakter, Veidekke Eiendom selger og utvikler boliger og Veidekke Industri vedlikeholder veger i tillegg til asfalt, pukk- og grus produksjon.

Oppdragsgiver for prosjektgruppen er Veidekke Industri AS og er Norges største produsent av asfalt, pukk og grus. Som totalleverandør av vegvedlikeholdstjenester har Veidekke Industri markedsandel på ca. 17% innen drift og vedlikehold av det offentlige vegnettet. Dette innebærer utførelse av alle tjenester som sikrer fremkommelighet, trafikksikkerhet og vedlikehold på Europa-, riks- og fylkesvegnettet i Norge (Veidekke ASA, 2018). Driftskontraktene utføres på vegne av Statens vegvesen. Kontraktene kunngjøres på Doffin som er den nasjonale kunngjøringsdatabasen for offentlig anskaffelser.

Driftskontraktene fra Statens vegvesen gjelder for regioner i Norge og Veidekke Industri har i dag 17 driftskontrakter spredt innenfor landegrensen (Statens vegvesen, 2019).

### 5.2 Statens vegvesen

Med hovedbudskap «Trygt Fram Sammen» arbeider Statens vegvesen for at «du skal komme trygt fram uansett om du går, sykler, kjører eller reiser kollektivt» (Statens vegvesen, 2018c). Med over 150 års historie som vegetat har Statens vegvesen valgt 'profesjonell, framtidsrettet og inkluderende' som kjerneverdier for hvordan de ønsker arbeidet skal være preget. Oppgaven til Statens vegvesen er å planlegge, bygge og holde ved like Europa-, riks- og fylkesveger i Norge, i tillegg til ansvaret for tilsynet med kjøretøy og trafikanter.

Etaten består av Vegdirektoratet som ledes av vegdirektøren og deretter inndeles ansvar inn i fem regioner med hver sin regionvegsjef. Vegdirektoratet har hovedkontor i Oslo og regionsvegkontorene inkluderer Region øst (Lillehammer), Region sør (Arendal), Region

vest (Leikanger), Region midt (Molde) og Region nord (Bodø). Regionene deles videre inn i vegavdelinger som finnes i alle fylker ([Statens vegvesen, 2018c](#)).

### 5.2.1 Teknikker

Det finnes i hovedsak to typer vintervedlikeholds teknikker som er brukt til å rydde vegene i henhold til krav fra Statens vegvesen, dette omfatter mekaniske og kjemikalske metoder.

#### Mekanisk metoder

Mekaniske metoder innebærer snørydding i form av brøyting og kosting, og har som hensikt å fjerne løs nysnø eller snø som har bundet seg til veg- og fortauoverflate. Dette ved å brøyte området og skyve snøen ut av vegen eller til oppmerkede samlingsplasser. Denne metoden er alltid en reaktiv handling fordi den skjer etter værhendelsen (f.eks snøvær). Mekaniske metoder skjer før kjemiske metoder og kan dermed effektivt redusere behovet for kjemiske metoder.

#### Kjemiske metoder

Kjemiske metoder innebærer bruk av kjemikalier som reduserer frysepunktet til vann når det påføres vegoverflaten. Kjemikaliene hjelper med å holde et lavere frysepunkt og dermed unngår at vann fryser til is. Kjemiske metoder er hyppig brukt til å forhindre at snø kompakteres under trafikk og deretter former seg til tykk is og binder seg til vegbanen. Det finnes flere typer kjemiske midler som blir brukt til avising, anti-ising og anti-kompaktering. Salt er den mest brukte kjemikalien fordi den er billigere, enklere behandlet, anvendt og oppløst i vann samtidig som salt er effektiv for smelting av vann rundt 0°C.

### 5.2.2 Driftskontrakter

I dag finnes det ca. 106 driftskontrakter som driftes av ulike entreprenører. Standarden for disse driftskontraktene er beskrevet i *Håndbok R610 Standard for drift og vedlikehold av riksveger* ([Statens vegvesen, 2014b](#)) som danner grunnlag for alle kravene som er satt i driftskontraktene ([Statens vegvesen, 2018f,a](#)). Entreprenørene drifter kontraktene etter standarden for brøyting, strøing og salting. ÅDT (Årlig døgntrafikk) avgjør mengde ressurser som disponeres til de ulike vegene. Brøyting og strøing skjer innenfor spesifiserte syklustider og tidsfrister. Syklustiden varierer fra 1,5 til 4 timer avhengig driftsklasse som avgjøres av ÅDT([Statens vegvesen, 2018e](#)).

Det norske riks- og fylkesvegnettet er inndelt i driftsklasser, og klassene vil si noe om hvilke type vintervedlikehold som utføres på de. Driftsklassene sorteres fra A til E, der driftsklasser A og B har strengere krav til vedlikehold. Vedlikehold på driftsklasse A og B går ofte under 'strategi bar veg' og målet er å vegbanene skal være frie for snø og is i perioder uten snønedbør. De øvrige driftsklassene (C, D, og E) går vanligvis under 'strategi vinterveg' og skiller seg ut fra bar veg strategien ved at de brukes mindre salt. Salt benyttes kun i de tilfellene det gir spesielt god effekt under overgangsperioder når temperaturen veksler rundt 0°C ([Statens vegvesen, 2018b](#)).

### 5.2.3 Dokumenter

Dette delkapitlet har hensikten å introdusere dokumenter fra Statens vegvesen som har bistått prosjektgruppen med utforming av prosjektet. Dokumentene inkluderer blant annet rutiner,

spesifikasjoner og beslutningstøtte for utførsel av produksjonstiltak, målerutstyr som benyttes på værstasjoner og introduksjon til meteorologi for vinterdrift.

#### **D2-ID9300a Bruk av salt (Statens vegvesen, 2014a)**

Dokumentet er skrevet av Statens vegvesen og beskriver bruk av salt på norske Europa-, riks- og fylkesveger. Innholdet inkluderer blant annet spesifikasjoner for salttyper og -mengder, blandingsforhold, preventiv og korrektiv saltemetoder for å opprettholde bar vegbane. Spesifikasjoner presenteres i tabellform og brytes først ned til driftsklassenivå (DkA t.o.m. DkE) og deretter til formålet for salting (anti-ising, anti-kompaktering og de-ising). Videre beskrives hvilke værprognoser og tilhørende vegbaneforhold som fører til diverse farescenarioer og hvilke saltmetoder og -mengder som kan benyttes for å gjenopprette eller opprettholde bar veg for ulike lufttemperaturer.

For prosjektet er dette dokumentet brukt til å velge de rette produksjonstiltak relatert til saltbruk som forekommer av behandlet vær- og vegdata i modellen. Delkapittel 5.5.2 forklarer hvordan prosjektgruppen har brukt salttabellene som forekommer fra dette dokumentet.

#### **R613 Værstasjoner (Statens vegvesen, 2015a)**

Statens vegvesen beskriver retningslinjer for anskaffelse, oppsetting, montering, drift og vedlikehold av værstasjoner. I tillegg til dette beskrives også de diverse modulene på en typisk værstasjon og hvordan de fungerer og registrerer måledata.

For prosjektgruppen har dette dokumentet vært informativt ved å forklare hvilke måledata som kan forventes målt av en typisk værstasjon. Det beskrives også kortfattet om klimatologiske forhold og variabler som er relevant for vinterdrift som er mer utfyllende forklart i kapittel 4.2. Måleverdier av vegbanetemperatur er hentet fra Statens vegvesen sin værstasjoner og er brukt for å prognosere vegbanetemperatur i delkapittel 5.5.2.

#### **Meteorologi og klimastasjoner (Aas et al., 2001)**

Dokumentet forekommer av et samarbeid mellom Statens vegvesen og Det norske meteorologiske institutt. Dokumentet gir en introduksjon i meteorologi, værstasjonens sensorer og tilgjengelig tjenester som tilbys av MET og hvordan slike hjelpemidler kan brukes for å planlegge god vinterdrift.

Dette dokumentet har vært spesielt behjelpelig for prosjektgruppen som brukes til å forstå meteorologiske målemetoder og værstasjoner (kapittel 4.3.1), relevante meteorologiske variabler (delkapittel 4.2), vegbaneforhold (delkapittel 5.5.2) samt annen praktisk informasjon innen meteorologi og vinterdrift.

#### **Salting av veger - En kunnskapsoversikt (Vaa and Sakshaug, 2017)**

Rapport utarbeidet av SINTEF og Statens vegvesen tar også for seg bruk av salt (i tillegg til sand) innen vinterdrift av veger. Rapporten er rettet mot ansatte i Statens vegvesen, byggherrer, saksbehandlere og ledere, men også til teknisk undervisningssammenheng.

For prosjektet er denne rapporten god støttelitteratur til førstnevnt dokument i dette delkapittel, *Bruk av salt*, og går i detalj på de ulike saltemetodene, hvilke utstyr som benyttes, meteorologiske forhold og beslutningstøtte for rettidig og riktig strøing.

### **Opplæring i vinterdrift for operatører (Statens vegvesen, 2018d)**

Boken er rettet mot opplæring i vinterdrift fra Statens vegvesen og tar for seg mange av de samme momentene som tidligere er nevnt i dette delkapitlet. Boken er spesielt rettet mot driftskontrakter som utstedes av Statens vegvesen.

### **Lærebok - Drift og vedlikehold av veger (Statens vegvesen, 2015b)**

Lærebok fra Statens vegvesen om drift og vedlikehold av veger. Kapittel 12 er skrevet i samarbeid med NTNU og omhandler friksjon på vegbaner. I tillegg til å inkludere mye av det som tidligere er nevnt i de andre dokumentene går den i detaljbeskrivelse på mekanikken som inngår for friksjonsberegninger.

### **Håndbok R610 Standard for drift og vedlikehold av riksveger (Statens vegvesen, 2014b)**

Kapittel 9 i denne boken fra Statens vegvesen omhandler vinterdrift på norske riks- og fylkesveger. Kapitlet går i detalj på hva som kjennetegner de ulike driftsklassene, samt spesifikasjoner og krav som inngår for dem.

## **5.3 Møter og intervjuer**

I forbindelse med prosjektet har prosjektgruppen foretatt flere møter og intervjuer med nøkkelpersoner i Veidekke. Dette delkapitlet vil beskrive formål og resultat av disse og hvordan det er benyttet videre i prosjektet.

### **5.3.1 Møter med kalkylesjef, Veidekke Industri AS**

Som kalkylesjef hos Veidekke er Kurt Haarberg prosjektgruppens dedikerte ekstern veileder. I tillegg til en rekke epost og telefonhenvendelser har prosjektgruppen hatt tre møter med Kurt Haarberg. Møtene har vært eksplorative med formål å utforske Veidekke som konsern, men også mulighetsområder og problemstillinger for å skrive bacheloroppgave. En av møtene er utført ved Veidekke sitt hovedkontor i Oslo og de ytterlige er gjennomført via Skype (IP telefoni). I alle tilfellene er det i etterkant av møtene skrevet møtereferat.

#### **14/01-2019 Skypemøte**

For det første møte besto innholdet av presentasjon av prosjektgruppen, og arbeidet som gruppen tidligere har utført i samarbeid med Veidekke i forbindelse med logistikkingeniørstudiet. Hoveddelen av møte besto av muligheter for videre arbeid og andre interesseområder for bacheloroppgaven. Avslutningsvis ble tidspunkt og sted for neste møte avtalt.

#### **17/01-2019 Veidekke, Oslo**

Neste møte ble holdt ved Veidekke sitt hovedkontor på Skøyen. Innholdet inkluderte presentasjoner, idémyldring og diskusjoner om potensielle bacheloroppgaver. Utgangspunktet til en bacheloroppgave ble dannet.

#### **21/02-2019 Skypemøte**

Siden forrige møte har prosjektgruppen blitt informert om at prosjektforslaget ikke kan jobbes med av sensitivitetshensyn og ny problemstilling må utarbeides. I løpet av dette møte dannet

prosjektgruppen med hjelp av Kurt Haarberg nytt prosjektforslag. Det er dette prosjektforslaget som ble prosjektgruppens endelige bacheloroppgave.

### **5.3.2 Interjvu med anleggsleder ved Indre Namdal, Veidekke Industri AS**

Gitt problemstilling og mål for oppgaven så prosjektgruppen behov for kartlegging og innsikt i de rutinene som utføres innen driftsplanlegging. Intervjuprosessen var deskriptiv i design og prosjektgruppen hadde forberedt en sjekklister over områder og aktiviteter som prosjektgruppen ønsket mer innsikt i. Formål med intervjuet var å danne en nåsituasjon som beskriver hvordan operasjonene innen vinterdrift utføres ved dette anlegget.

#### **01/04-2019 Telefonintervju med anleggsleder, Indre Namdal**

Innledningsvis i dette intervjuet begynte prosjektgruppen med å beskrive oppgaven. Deretter beskrives den foreløpige innsatsen med forklaring om de områder der det var behov for fordypende innsikt. Prosjektgruppen har unnlatt å stille spesielt spesifikke spørsmål, noe som vil tillate at intervjuobjektet kan beskrive situasjoner slik vedkommende opplever de selv. Mot slutten av intervjuet hadde prosjektgruppen anledning til å bruke den forberedte sjekklister til å kontrollere at alle ønskelige områder for intervjuet var dekt. Avslutningsvis spør prosjektgruppen om anleggslederen er villig til å verifisere intervjunotatene. Verifiserte intervjunotater finnes i vedlegg 7.6.

Med funn fra intervjuet har prosjektgruppen bedre forståelse for mengde ressurser som benyttes for vinterdrift, hvordan vinterdriften planlegges, hvordan beslutninger tas og hvordan beslutninger rapporteres til underentreprenører. Med denne tilegnede forståelsen har prosjektgruppen anledning til å analysere nåsituasjonen og hvilke områder som kan effektiviseres eller automatiseres.

## **5.4 Analyser**

I dette delkapittel anvender prosjektgruppen fire analyser. Disse benyttes til å fremme relevante variabler og kartlegge en nåsituasjon av dagens prosesser som inngår i driftsplanlegging. Analysene baseres hovedsaklig på intervjuet med Indre Namdal og annet relevant informasjon for vinterdrift fra Statens vegvesen eller prosjektgruppens intern veileder i Veidekke.

### **5.4.1 SWOT analyse**

Prosjektgruppen har gjennomført en SWOT analyse til å kartlegge hvordan gruppen skal gå frem med å planlegge utvikling av en modell for klimabasert produksjon. Hvilke betraktninger som må tas hensyn til for å ivareta resultat- og effektmål for prosjektet bør kartlegges.

Prosjektgruppen utfører SWOT analysen (vedlegg 7.3) til å kartlegge hvilke styrker, muligheter, svakheter og trusler en organisasjon er eksponert for ved bruk av digitale verktøy for beslutning om produksjonstiltak. Følgende er en oppsummering av områder prosjektgruppen ser som relevant å adresse før utvikling av en modell som kan benyttes til planlegging av vinterdrift initieres.

## Styrker

Tid- og ressursbesparelse: Dette er overordnet mål for prosjektet og en forutsetning for at utvikling av en modell kan vurderes. Dette kan realiseres ved at flere manuelle prosesser som utføres i dag, både kan forenkles og automatiseres.

- Modellen kan tillate at datainnsamling fra diverse kilder automatiseres.
- Når alle beslutningsvariabler som inngår i vurdering av produksjonstiltak er samlet og tilgjengelig for brukeren innen en og samme plattform, vil det bli enklere å ta beslutning for hva som må utføres.
- Rapportering til underentreprenører kan automatiseres ved hjelp av automatisk epostgenerering av produksjonsrapporter til en forhåndsbestemt adressebok.

Kvalitetsøkning: Modellen kan tilrettelegge for reduksjon av variasjon som forekommer ved beslutninger tatt av mennesker.

En algoritme kan foreslå produksjonstiltak med utgangspunkt i de krav som er satt for vinterdrift på norske veier av Statens vegvesen. En algoritme vil gi standardiserte resultater gitt like inngangsvariabler. Modellens forslag som forekommer av algoritmen bør gi brukeren mulighet til å beholde eller forkaste forslagene. Forslagene vil i begge tilfelle fungere som en kontroll for beslutning som tas av mennesker.

Fleksibilitet: Modellen kan utformes slik at den kan benyttes til ulike driftskontrakter som ikke nødvendigvis er standardiserte.

- Modellen kan utvikles slik at den kan benyttes uavhengig av kontraktstype. Strategi 'vinterveg' eller strategi 'bar veg'.
- Modellen kan utvikles slik at brukeren kan angi omfang og størrelse av bruksområde. Brukeren kan definere hvor mange roder som inngår i regionen der den benyttes. Brukeren kan også benytte kun de modulene som er hensiktsmessig til formålet for bruket.

## Svakheter

Innføring av nye rutiner: Med omstilling til nye prosedyrer ser prosjektgruppen flere utfordringer som må vurderes.

- Brukeren må være endringsvillig. Modellen bør appellere til brukeren og raskt påvise hvordan arbeidsdagen blir enklere og bedre.
- Brukeren må lære å bruke regnearksmodellen ved implementering. Prosjektgruppen vil imøtekomme denne utfordringen ved å utforme modellen på en brukervennlig måte. Med brukervennlighet bør det også være mål om å redusere sannsynligheten for at brukerfeil kan oppstå.
- Utviklet modell må kvalitetssikres slik at resultater som forekommer ved bruk er pålitelige. Resultater må også utformes på en måte som tilfredsstiller bruksområdet.

Grensesnitt mot eksterne databaser: Modellen vil være avhengig av informasjon som hentes fra eksterne databaser og dette gir anledning for flere utfordringer både ved utvikling, men også for fremtidig bruk.

- Databaser med informasjonen som er nødvendig for modellens funksjonalitet leveres på ulike måter. Grensesnittet som kreves for automatisk import av data inn til regneark er i

noen tilfeller begrenset eller fraværende.

- Grensesnittet mot eksterne databaser kan endres over tid. Eksempelvis kan værmeldinger fra Yr.no sine forbrukersider importeres direkte inn til modellen ved hjelp av VBA-kode. Dersom Yr.no endrer på måten de presenterer sin data, kan dette påvirke måten modellen importerer dataen. Dette kan for øvrig løses ved horisontal systemintegrasjon (delkapittel 3.2.2) og modulisert modell. Med dette vil kun en modul i modellsystemet måtte tilpasses det nye grensesnittet.

### **Muligheter**

En vellykket modell for produksjonsplanlegging vil kunne gi konkurransefortrinn ovenfor konkurrenter som ikke tar i bruk lignende teknologier. Ved realisering av redusert kostnad, tid- og ressursallokering vil en entreprenør ha muligheten til å legge inn mer konkurransedyktige bud ved anbudskonkurranser.

En entreprenør som arbeider med driftskontrakter ved hjelp av effektive digitale planleggingsmodeller vil kunne sikre seg en posisjon i teknologisk front. Kontinuerlig forbedring innen Lean metodikken foretrekker ofte små, men stadige forbedringsprosesser i motsetning til de sjeldne, men revolusjonerende forbedringene.

Når en modell for produksjonsplanlegging har blitt kvalitetssikret til en tilstrekkelig grad vil dette redusere kompetansebehovet innen meteorologi og vinterdrift for driftsplanleggeren som skal ta den i bruk. Over tid kan det også vurderes å outsource større deler av produksjonsplanleggingen til underentreprenørene som utfører produksjonstiltakene enn det som gjøres i dag.

### **Trusler**

Ved implementering av digitale verktøy som forenkler og automatiserer produksjonsplanlegging for vinterdrift ser prosjektgruppen flere trusler som vil begrense suksessen ved å implementere en slik modell.

Det kan forekomme revolusjonerende endringer som gjør modellen redundant. Mulige endringer inkluderer blant annet hvordan vinterdrift utføres, kravspesifikasjoner fra Statens vegvesen og betingelser for hvordan klimadata brukes til planlegging.

## **5.4.2 Verdistrømsanalyse**

Digitalisering er ofte forbundet med effektivisering og det må dermed tas en beslutning for hvilke prosesser som ønskes effektivisert. Med utgangspunkt i intervju mellom prosjektgruppen og en anleggsleder hos Veidekke (i delkapittel 5.3), har prosjektgruppen utført en verdistrømsanalyse (som finnes i vedlegg 7.1) av prosessene som inngår for planlegging av vinterdriften i Indre Namdal. Prosessene blir klassifisert som enten verdiskapende, ikke-verdiskapende eller ikke-verdiskapende, men nødvendig.

Med denne analysen vil prosjektgruppen ha som formål å minimere alle operasjoner som ikke betraktes som verdiskapende. For vinterdrift vil verdiskapende aktiviteter innebære aktiviteter som påvirker hvordan vinteroperasjoner utføres.

Kvalitetskontroll og utførelse av produksjonstiltak betraktes som verdiskapende. Kvalitetskontroll kan ha direkte implikasjoner for hva som blir utført og prosjektgruppen ønsker ikke å fjerne

denne prosessen. Utførelse av produksjonstiltak gjøres av underentreprenører og vil heller ikke vurderes av prosjektgruppen.

Datainnsamling, vurdering av produksjonstiltak og utsending av arbeidsordre betraktes som ikke-verdiskapende aktiviteter, men likevel nødvendig. Disse aktiviteter blir fokusområde for prosjektgruppen og mål vil være å redusere tid og ressurser som kreves for utførelsen.

### 5.4.3 Fem ganger 'Hvorfor?'

Med utgangspunkt i de aktivitetene prosjektgruppen har klassifisert som ikke-verdiskapende, men nødvendig utføres en 5 ganger hvorfor analyse til å komme til en rotårsak for en problemstilling. Med dette vil det være mulig å løse det opprinnelige problemet og ikke bare de overfladiske symptomene.

*Hvorfor brukes det så mye tid på værmeldinger?*

- Anleggsleder må søke opp alle variabler som inngår i beslutninger for produksjonstiltak.

*Hvorfor må anleggsleder søke opp alle variabler?*

- Informasjon er fordelt på ulike plattformer.

*Hvorfor er informasjonen fordelt på ulike plattformer?*

- Finnes ingen felles plattform for disse opplysninger.

*Hvorfor finnes det ingen felles plattform for disse opplysninger?*

- Ingen har utviklet det.

*Hvorfor har ingen utviklet det?*

- Det krever bred forståelse og tverrfaglig kompetanse.

*Hvorfor brukes det mye ressurser på å bestemme produksjonstiltak?*

- Det er mange variabler å vurdere hver gang.

*Hvorfor må alle variabler vurderes hver gang?*

- Finnes ingen rutiner for å standardisere produksjon basert på inngangsvariabler.

*Hvorfor finnes det ingen standardiserte rutiner for produksjonsbeslutning?*

- Vi har foreløpig ikke verktøy som er nødvendig for en slik standardisering.

*Hvorfor har vi ikke de rette verktøy for å standardisere rutinene?*

- Det har ikke blitt utviklet enda.

*Hvorfor har det ikke blitt utviklet enda?*

- Ser ingen kortsiktig gevinst med dette sammenlignet med kostnaden ved å utvikle dette.

*Hvorfor brukes det så mye tid på utsending av arbeidsordre?*

- Sentralvakten må kontakte alle u.entreprenører for å gi arbeidsordre.

*Hvorfor må sentralvakten kontakte alle u.entreprenører individuelt?*

- Det er slik rutinene er etablert.

*Hvorfor er rutinene etablert slik?*

- U.entreprenørene gis ulike arbeidsordre.

*Hvorfor må ulike arbeidsordre rapporteres individuelt?*

- Det finnes ingen felles system for å informeres alle i plenum.

*Hvorfor finnes det ingen system for å informere alle i plenum?*

- Det er foreløpig ingen rutiner på plass for dette.

Første spørsmål adresserer den første ikke-verdiskapende, men nødvendige aktiviteten



som forekommer fra verdistrømsanalysen. Med dette spørsmål ønsker prosjektgruppen å belyse hvorfor det er nødvendig å bruke så mye tid på værmeldinger og vegbanefaktorer som det gjøres i dag. Hva er begrensningene for at det kan effektiviseres? Svar fra femte iterasjonen i fem ganger 'hvorfor' prosessen tyder på at en løsning krever bred forståelse og tverrfaglig kompetanse. Dette begrunner hvorfor prosessen er som den er i dag. Samtidig viser det at det å utvikle en plattform som forenkler datainnsamlingsprosessen krever bred forståelse for vinterdrift, men også kompetanse fra ulike fagdisipliner som IT/webutvikling og meteorologi.

Andre spørsmål adresserer den andre ikke-verdiskapende, men nødvendige aktiviteten, beslutning om produksjonstiltak. Resultatet viser at den kortsiktige gevinsten ved å standardisere produksjonsbeslutning ved å utvikle en algoritme, kanskje ikke berettiger kostnadene som inntreffer. Dette kan bekreftes med en kostnad-nytte-analyse som for eksempel nåverdimetoden. Analysen bør utføres med utgangspunkt i den skalaen algoritmen forventes å være nyttig. Det kan tenkes at en slik algoritme vil ha bruksområde på tvers av alle gjeldende regioner og de underliggende roder. Analyseperioden bør tilsvare den tiden algoritmen forventes å være nyttig.

Det tredje spørsmålet adresserer den siste ikke-verdiskapende, men nødvendige aktiviteten fra verdistrømsanalysen, rapportering til underentreprenørene. Standardrutine for Veidekkes kontrakt i Indre Namdal innebærer at sentralvakten kontakter underentreprenører individuelt der det besluttes å utføre produksjonstiltak. Selv om flere roder innen denne kontrakten betjenes av de samme underentreprenørene ser prosjektgruppen stor potensial for effektivisering ved å benytte standardiserte rapporteringsmetoder, slik at alle underentreprenører kan rapporteres til samtidig med de ulike beslutningene som gjelder for de individuelle underentreprenørene. Samtidig bør det vurderes å analysere denne prosessen videre for å vurdere om den tette kontakten sentralvakten har med underentreprenørene gir mer verdi enn den potensielle verdien av å frigjøre ressurser ved effektivisering.

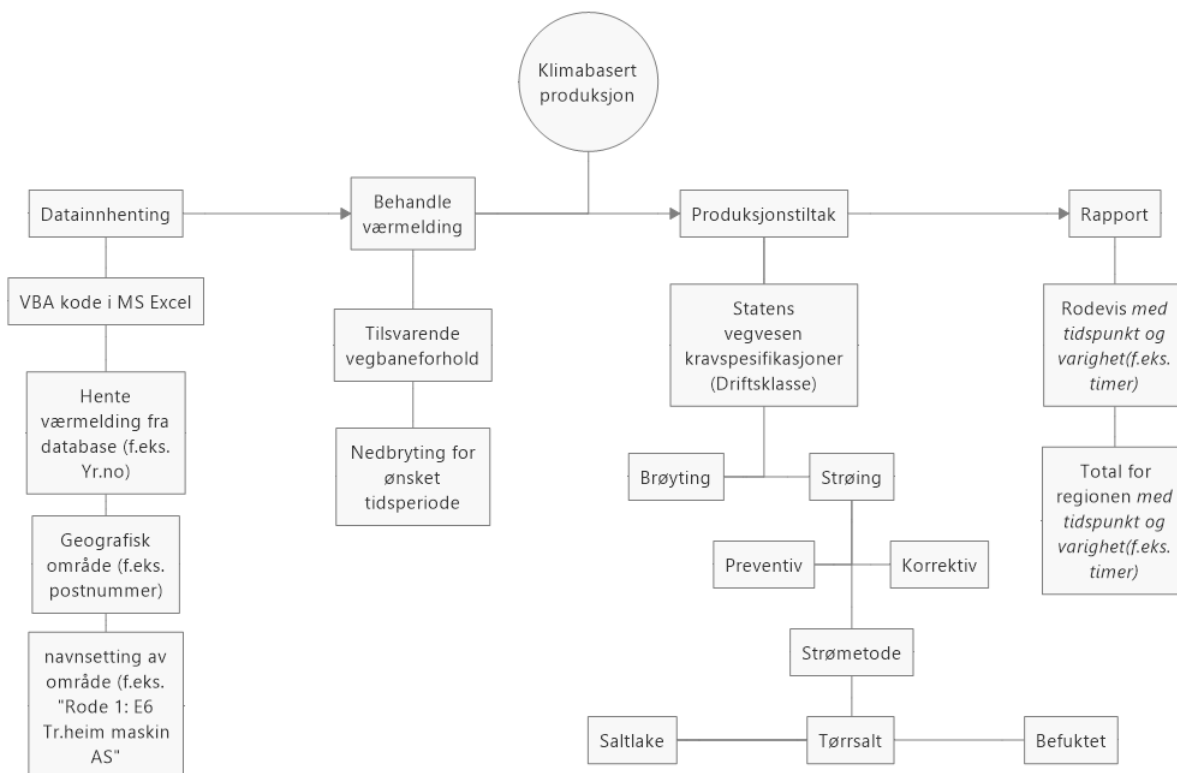
#### **5.4.4 Fiskebeinsdiagram**

Prosjektgruppen har utarbeidet et fiskebeinsdiagram (vedlegg 7.2) til å kartlegge variabler som bør betraktes når beslutning tas om å utvikle en modell for klimabasert produksjon. Diagrammet inkluderer indirekte variabler som bør betraktes ved beslutning om å utvikle en modell for klimabasert produksjon, men også variabler som direkte påvirker resultater og hvilke typer produksjonstiltak som må utføres. Slike diagrammer kan være nyttig i alle faser i et prosjekt.

### **5.5 Modellen**

Basert på analyser av nåværende situasjon har prosjektgruppen kommet frem til et løsningskonsept som har til hensikt å forenkle og automatisere flere av dagens prosesser innen driftsplanlegging.

Prosjektgruppen har valgt å dekomponere løsningskonseptet til fire moduler, dette for å gjøre de forskjellige delene i løsningskonseptet uavhengige. Dette vil tilrettelegge mulighet for å kunne oppdatere eller endre en modul utenom å måtte endre alle modulene. Se figur 5.1 for hvordan prosjektgruppen har modulisert modellen.



**Figur 5.1:** Løsningskonseptet

Innledningsvis gis det en kort beskrivelse av modellen som prosjektgruppen har utviklet;

**Datainnsamling:** Denne modulen henter værprognoser fra Yr.no og klargjør denne dataen for videre behandling.

**Behandle værmelding:** Data som er innsamlet vil bli behandlet for å fastslå vegbaneforhold. De interessante vegbaneforholdene er de som forekommer i Statens vegvesen sine salttabeller som vil berettige produksjonstiltak.

**Produksjonstiltak:** Algoritmen har ved bruk av vær- og vegprognoser muligheten til å foreslå produksjonstiltak som svarer med Statens vegvesens sine kravspesifikasjoner.

**Rapport:** Denne modulen er beslutningsstøtten som driftsplanlegger vil benytte. Her presenteres den viktigste dataen som beslutningsgrunnlag som kan føre til produksjonstiltak. Hver rode har et tildelt rapporteringsfelt som planleggeren kan skrive melding til sine underentreprenører om hvilke og når produksjonstiltak skal utføres, samt annen relevant informasjon.

### 5.5.1 Datainnsamling - Værmelding med spørring

Som første modul i modellen så prosjektgruppen på mulighetene for å behandle værdata på en annerledes og mer effektiv måte. Fra intervjuet med Indre Namdal bemerker prosjektgruppen at de bruker Yr.no som verktøy for å skaffe værmeldinger. I denne delen av løsningskonseptet skal prosjektgruppen utvikle første modul med fokus på å innsamle mest mulig pålitelig værmelding

basert på roden sin geografiske plassering samt værmelding som gjør det mulig å bearbeide i Excel.

Prosjektgruppen ser at den viktigste meteorologiske dataen er den kortsiktige, fordi kortere værprognose er mer pålitelige. Prosjektgruppen har dermed fokusert på 24-timers varsling for i dag og i morgen. Tanken er at 24-timers varsling for i dag skal brukes til å sende ut direkte produksjonstiltak på den bestemte rode, mens 24-timers varsling for i morgen kan brukes for å gi en indikasjon om hva man kan forvente dagen etter. 24-timers varsling for i morgen vil også være gunstig hvis man vil bruke modellen sent på kvelden.

Det finnes muligheter for innsamling av data i Excel fra tilgjengelige databaser. Å gjøre dette manuelt tar lenger tid enn å logge på Yr.no nettlesertjenesten og deretter hente værmelding. Derfor har prosjektgruppen valgt å se på andre muligheter ved bruk av denne funksjonen, men unngå å direkte gjøre de manuelle operasjonene som inngår. Prosjektgruppen har valgt å løse dette ved å skrive kode i VBA. Koden skal automatisere de operasjonene en bruker tradisjonelt sett måtte ha gjort for å hente data fra Yr.no sine databaser. Med dette er mulig å hente 24-timers værprognose automatisk.

### **Generere link**

Prosjektgruppen har valgt å bruke værmeldinger basert på postnummer. Dette for å forsikre oss at hver værmelding som innsamles dekker akkurat det geografiske område roden befinner seg i. For eksempel i Oslo finnes det ca. 640 postnummer, det kan tenkes at alle disse postnumrene ikke gir like værmeldinger. Yr.no har en logisk oppbygning av deres link, eksempel for 0154 (Postnummer i Oslo);

[1] [https://www.yr.no/sted/Norge/Postnummer/0154/time\\_for\\_time\\_detaljert.html](https://www.yr.no/sted/Norge/Postnummer/0154/time_for_time_detaljert.html)

[2] <https://www.yr.no/sted/Norge/Postnummer/0154/almanakk.html>

Link [1] gir detaljert værprognose for framover i tid, mens [2] gir empirisk data for gjeldende dag. Den logiske oppbygningen her at postnummeret er det eneste som skiller seg ut i linkene. Hver link kan derfor lett endres til å tilsvare et annet postnummer ved å endre postnummeret i linken.

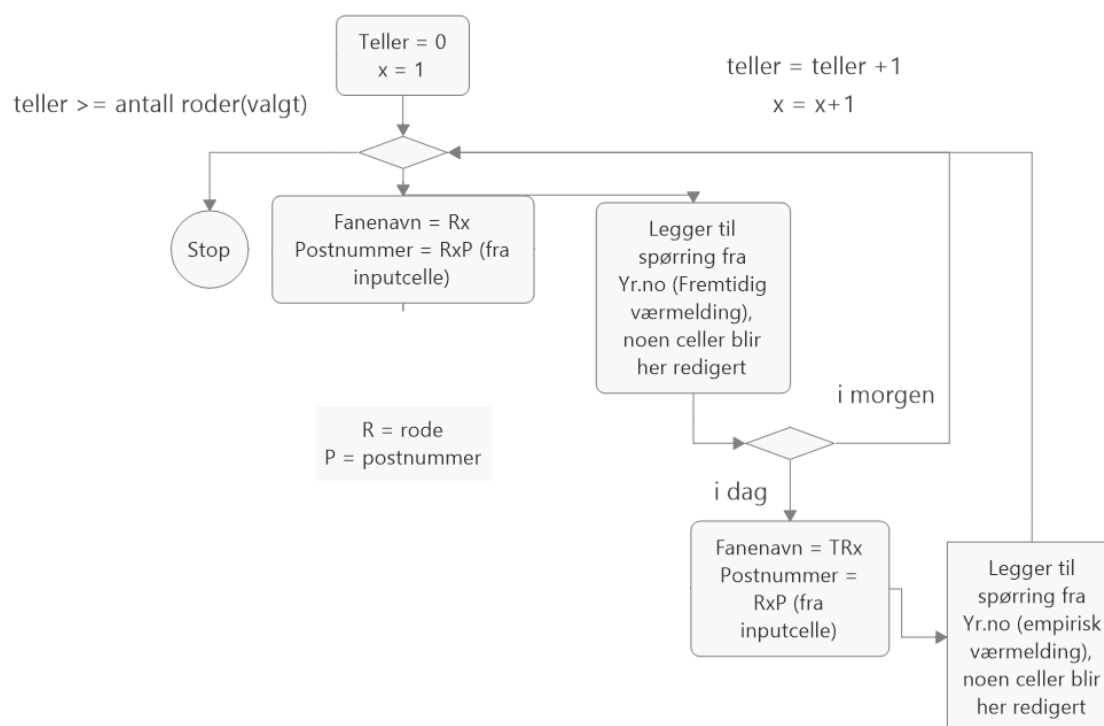
### **Inndata fra brukeren og VBA-kode**

Fra figur 5.2 ser man hovedsiden fra Excel-filen, og det er her inndata fra brukeren av modellen skrives inn. Brukeren begynner med å velge kontraktstype og hvilket tidsperspektiv værmeldingen skal hentes for (i dag/i morgen). Deretter reguleres antall roder ved å trykke pil opp eller ned for de rodene brukeren ønsker å analysere og utarbeide produksjonstiltak/rapport for. Rodenavn, postnummer, driftsklasse og vegbanetemperatur påslag (videre forklart i delkapittel 5.5.2) blir deretter skrevet inn for rodene brukeren har valgt. Når 'Spørring'-knappen blir trykt på, starter koden i bakgrunn å jobbe igjennom alle gjeldene roder for å generere en eller to faner med værdata. Spørring for i dag har en fane som er for sanntid til midnatt (prognose), mens den andre er fra midnatt til sanntid (empirisk). Værmelding for i morgen genereres i fane.

Kontraktstype:		Tiltak for:		Antall roder		Spørring		Tilbakestill	
<input checked="" type="radio"/> Bar veg strategi <input type="radio"/> Vinterveg strategi		<input checked="" type="radio"/> i dag <input type="radio"/> i morgen		<input type="text" value="2"/> ▲ ▼					
	<input type="text" value="Rodenavn"/>	<input type="text" value="Postnummer"/>	<input type="text" value="Slett"/>	<input type="text" value="Driftsklasse"/>	<input type="text" value="Vegbanetemp påslag (+/-)"/>				
R1	<input type="text" value="Tr.E6 Moholt"/>	<input type="text" value="7048"/>	<input type="text" value="Dk A"/>	<input type="text" value="6"/>					
R2	<input type="text" value="Tr. Elgseter"/>	<input type="text" value="7030"/>	<input type="text" value="Dk C"/>	<input type="text" value="10"/>					

**Figur 5.2:** Hovedside

For å lettere beskrive hva som skjer har prosjektgruppen tegnet et aktivitetsdiagram, aktivitetsdiagrammet viser logikken for VBA-koden som brukes for å generere nye faner med data fra Yr.no, se figur 5.3. Denne koden er også lagt i vedlegg 7.9.



**Figur 5.3:** Aktivitetsdiagram

Ettersom dataen er hentet fra Yr.no er det noen celler som redigeres. Dette for å lettere kunne bruke værprognosene videre i bearbeiding. Eksempel på redigerte celler er nedbørsmengde, der innsamlet data vises som et intervall med maks/min mengder og måleenheten mm. Innsamlet data omregnes til en gjennomsnittlig nedbørsmengde og måleenheten fjernes slik at dataen kan behandles numerisk. Alt dette automatiseres med den samme VBA-koden.

## 5.5.2 Vegbaneforhold som forekommer av værmeldinger

Med det som er hentet fra Yr.no er det mulig å si en del om vegbaneforholdene. I dette delkapittel tar prosjektgruppen opp prognosemodellen for vegbanetemperatur samtidig som vi beskriver andre relevante vegbaneforhold som inngår i planlegging av vinterdrift.

### Vegbanetemperatur

For vegbanetemperatur har prosjektgruppen tatt utgangspunkt i diagrammet til Statens vegvesen (se figur 4.2) og etterlignet trenden der vegbanetemperatur står proporsjonalt til lufttemperaturen ved bruk av den trigonometriske cosinuskurven.

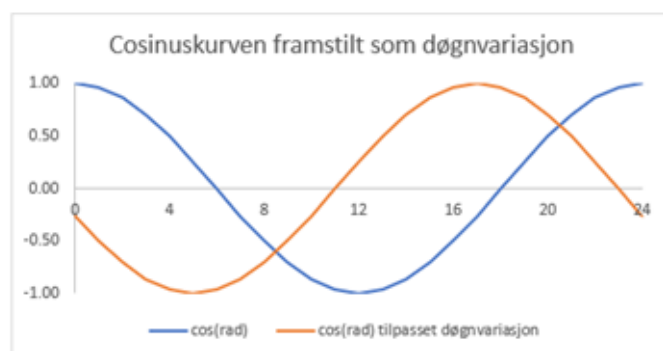
En hel syklus av cosinuskurven har strekning  $2\pi$  (med radian beskrivelse) som tilsvarer hele banen rundt en sirkel. Dette kan også beskrives i grader der en sirkel består av 360 grader. Cosinus av en variabel er en kontinuerlig funksjon der kun en hel syklus ønskes brukt til å framstille døgnvariasjonen av vegbanetemperatur som forekommer av solsyklusen.

### Cosinusfunksjonen tilpasset døgnvariasjon

$$\text{Cosinusfunksjonen } f = \cos(x) \quad [1]$$

En enkel syklus av cosinuskurven fra 0 til  $2\pi$  vil innebære et lokalt minimumspunkt og tilsvarende maksimumspunkt, og avstanden imellom vil være  $\pi$ . Tilpasset for døgnvariasjon vil strekning av funksjonen [1] for 0 til  $2\pi$  tilsvare et 24-timers døgn, med 12-timers avstand fra lokalt minimum og lokalt maksimum. Prosjektgruppen har valgt å benytte grader for beregningen da 360 grader inndelt i 24 timer blir et ryddig tall, altså 15 grader per klokke. Med dette kan prosjektgruppen tidsforskyve kurven slik at lokalt minimum og maksimum plasseres til ønskelig klokkeslett. I figur 5.4 er opprinnelig og tilpasset cosinusfunksjon [1] for  $x \in [0^\circ, 360^\circ)$ , og tilpasset funksjon med  $x \in [105^\circ, 465^\circ)$ . Dette forekommer som et resultat av 15 grader multiplisert med 7 klokke og med dette vil tilpasset cosinusfunksjon gi lokalt minimum klokken 05, og lokalt maksimum 12 timer senere altså klokken 17. Dette istedenfor klokken 24 og klokken 12 som den opprinnelige funksjonen ville gitt. Tabell for alle 24 timer finnes i vedlegg 7.9.

Klokke	Grader	Radian	cos(rad)	Grader tilpasset	cos(rad) tilpasset
0	0	0.00	1.00	105	-0.26
1	15	0.26	0.97	120	-0.50
2	30	0.52	0.87	135	-0.71
3	45	0.79	0.71	150	-0.87
4	60	1.05	0.50	165	-0.97
5	75	1.31	0.26	180	-1.00
6	90	1.57	0.00	195	-0.97
7	105	1.83	-0.26	210	-0.87
8	120	2.09	-0.50	225	-0.71
9	135	2.36	-0.71	240	-0.50
10	150	2.62	-0.87	255	-0.26
11	165	2.88	-0.97	270	0.00
12	180	3.14	-1.00	285	0.26
13	195	3.41	-0.97	300	0.50
14	210	3.67	-0.71	315	0.71
15	225	3.93	-0.50	330	0.87
16	240	4.19	-0.26	345	0.97
17	255	4.45	0.00	360	1.00
18	270	4.71	0.26	375	0.97
19	285	4.98	0.50	390	0.87
20	300	5.24	0.71	405	0.71
21	315	5.50	0.87	420	0.50
22	330	5.76	0.97	435	0.26
23	345	6.02	0.97	450	0.00
24	360	6.28	1.00	465	0.26



Figur 5.4: Cosinusfunksjonen tilpasset døgnvariasjon

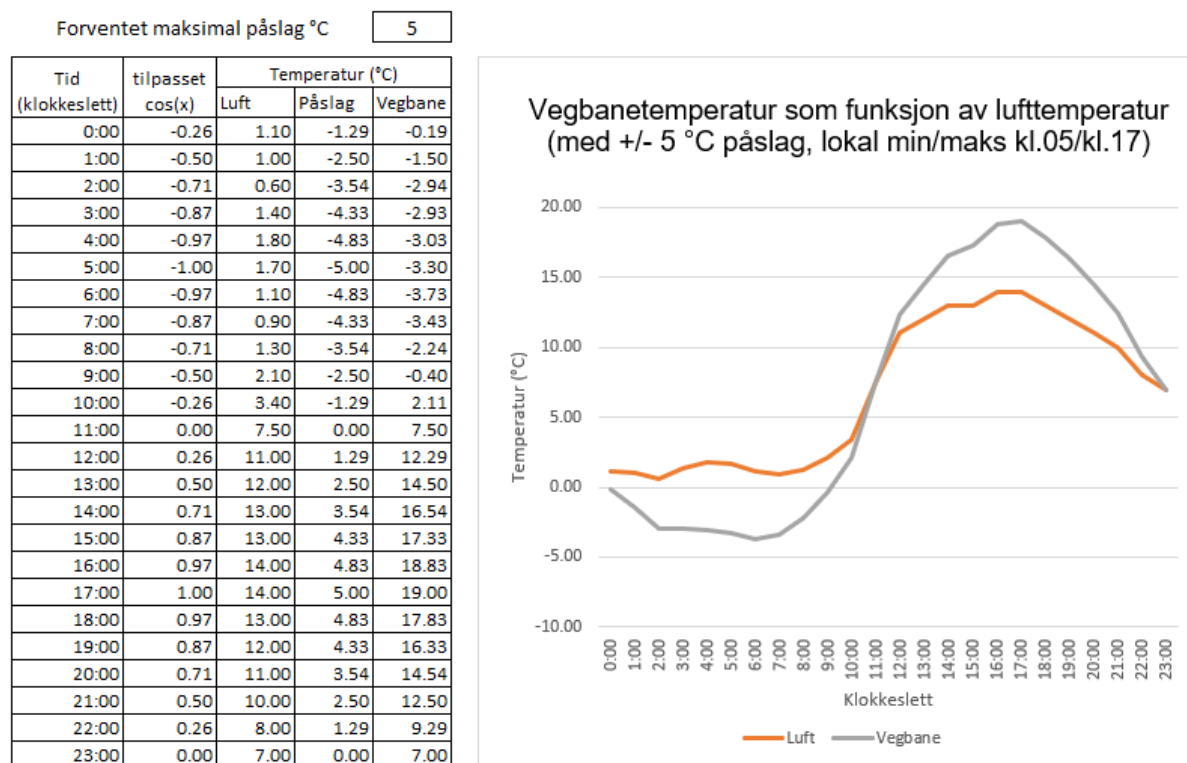
### Vegbanetemperatur som påslag på lufttemperatur

Fra figur 4.2 er vegbanetemperaturen representert som et påslag på lufttemperatur i begge retninger. For timer med soleksponering vil påslaget legges på lufttemperaturen og henholdsvis trekkes fra lufttemperaturen når solen er fraværende. Da størrelsen på påslaget vises å være

proporsjonalt til lufttemperaturen, har prosjektgruppen benyttet cosinusverdien som forekommer av funksjonen [1] som indikator for størrelsen til påslaget.

Da alle verdier som forekommer av funksjonen [1] ligger innenfor intervallet  $[-1, 1]$  kan disse direkte oversettes til prosentsatser innen intervallet  $[-100\%, 100\%]$ . Med dette kan det innføres en maksimal (eller tilsvarende minimal) temperatur som det forventes at vegbanetemperaturen vil overstige (eller understige) lufttemperaturen ved døgnetts lokale maksimum og minimum. Når forventet påslag ved lokale maksimum (eller minimum) er bestemt, brukes prosentsatsene til funksjonen [1] for å avgjøre respektive påslag for døgnetts resterende timer. Figur 5.5 viser hvordan vegbanetemperatur utvikles som funksjon av lufttemperatur over et døgn ved å innføre en tilfeldig værmelding med hensyn til lufttemperatur. I dette eksempelet er det brukt  $\pm 5^\circ\text{C}$  som maksimalt påslag for vegbanetemperatur.

Karakteristisk for funksjonen er at maksimal realisert påslag vil alltid skje ved lokalt maksimum lufttemperatur med tilsvarende avslag ved lokalt minimum 12 timer i forkant. Funksjonen innebærer også to krysningspunkt av luft- og vegbanetemperatur der funksjonen [1] gir 0. Uten døgntilpassning vil dette krysningspunktet skje ved  $90^\circ$  og  $270^\circ$  som forekommer ved [1] for  $x = (\pi/2) + (a \cdot \pi)$  som tilsvarende  $x = 90^\circ + (a \cdot 180^\circ)$ . Her er  $a$  heltallskoeffisient for den repeterende null verdien som forekommer for hver ytterlige  $\pi$  i den kontinuerlige funksjonen [1]. For den døgntilpasset funksjonen av [1] vil krysningspunktene av luft- og vegbanetemperatur forekomme 6 timer før og etter lokalt minimum og -maksimum, og til sammen 12 timer i avstand fra hverandre.



Figur 5.5: Vegbanetemperatur som funksjon av lufttemperatur

### Øvrig vegbaneforhold

Andre vegbaneforhold som blir behandlet er forhold som dekker alle mulige forhold som kan føre til salttiltak, basert på salttabellene for driftsklassene. For å beregne nåværende vegbaneforhold

har prosjektgruppen sett på empiriske meteorologiske sammenhenger som fører til fareforhold, og brukt et 2-timers intervall for å beregne dette.

Salttabellene fra [Statens vegvesen \(2014a\)](#) tar i betraktning fire vegbaneforhold; Tørr, fuktig, våt og frossen veg for anti-ising og anti-kompaktering.

#### **Tørr veg er tilfelle der; 1. Ingen nedbør, 2. duggpunkt lavere enn vegbanetemperatur**

$$\text{Tørr veg}_t = (\text{nedbør}_{t-1} = 0 \text{ mm}_t \wedge \text{nedbør}_{t-2} = 0) \vee (\text{duggpunkt}_{t-1} < \text{Tvb}_{t-1} \wedge \text{Tvb}_{t-2} < \text{lufttemp}_{t-2})$$

#### **Fuktig veg er tilfelle der; 1. nedbørsmengde mindre enn 1 mm/t, 2. duggpunkt høyere enn vegbanetemperatur.**

$$\text{Fuktig veg}_t = (\text{nedbør}_{t-1} < 1 \text{ mm}_{t-1} \wedge \text{nedbør}_{t-2} < 1 \text{ mm}_{t-2}) \vee (\text{duggpunkt}_{t-1} > \text{Tvb}_{t-1} \wedge \text{duggpunkt}_{t-2} > \text{Tvb}_{t-2})$$

#### **Våt veg er tilfelle der; 1. nedbørsmengde er større enn 1 mm/t**

$$\text{Våt veg}_t = (\text{regn}_{t-1} \geq 1 \text{ mm}_{t-1}) \vee (\text{regn}_{t-2} \geq 1 \text{ mm}_{t-2})$$

#### **Frossen veg er tilfelle der; Det enten forekommer fuktig eller våt veg, men vegbanetemperatur er under 0 grader.**

$$\text{Frossen veg}_t = (\text{våt veg}_t \vee \text{fuktig veg}_t) \wedge (\text{Tvb}_{t-1} < 0 \wedge \text{Tvb}_{t-2} < 0)$$

$$t = \text{klokkeslett}, \quad t \in [0, 24)$$

### **5.5.3 Algoritme**

Ettersom værmeldingene kan automatisk hentes inn i Excel, kan man begynne å bruke denne dataen for å gi beslutningsstøtte basert på værprognoser, vegbaneforhold og salttabeller (for de ulike driftsklasser) fra Statens vegvesen .

#### **Variabler som inngår i algoritmen**

I denne delen vil prosjektgruppen forklare hva som blir brukt i algoritmen og hvordan det blir anvendt. For å tilfredsstill salttabellene som er et krav fra Statens vegvesen til når og hvordan det skal saltes. Salttabeller finnes i dokumentet *D2-ID9300a Bruk av salt (Statens vegvesen, 2014a)*. Figur 5.6 viser salttabell for anti-ising på DkA og øvrig DkA salttabeller finnes i vedlegg 7.7.

Salttabellene deles inn i tre kategorier med ulike produksjonstiltak:

1. Salttabell for anti-ising: Dette er salting som gjennomføres på bar vegbane (tørr, fuktig eller våt) for å unngå at vegbanen blir glatt på grunn av gjenfrysning eller rimfrost. Denne type salting skal skje tett opp mot værhendelsen.
2. Salttabell for anti-kompaktering: Dette er salting som gjennomføres før, under eller etter snøvær for å hindre kompaktering av snø. Denne type salting gjennomføres som støtte for mekanisk fjerning av snø og slaps.
3. Salttabell for de-ising: Dette er salting som gjennomføres for å smelte is og snø som ikke lar seg fjerne mekanisk. Dette er sjeldne produksjonstiltak, og bør unngås med preventive produksjonstiltak.

Fare for	Rimfrost	Tilfrysing	Tilfrysing	Tilfrysing	Tilfrysing
<b>Værprognoser</b>	Vegbane-temperatur under duggpunktet	Synkende temperatur	Synkende temperatur	Yr/regn/underkjølt regn (< 1 mm/t) (små mengder)	Regn/underkjølt regn (> 1 mm/t)
<b>Vegbaneforhold</b>	Tørr veg	Fuktig vegbane (ikke sprut fra kjøretøy)	Våt vegbane (sprut fra kjøretøy) <sup>(1)</sup>	Frossen vegbane <sup>(2)</sup>	Frossen vegbane <sup>(2)</sup>
<b>Saltløsning - utlagt væske g/m<sup>2</sup><sup>(3)</sup></b>					
over -3 °C	15	20	30	40	(60)
-3 °C - -6 °C	20	30	(40)	40	(60)
-6 °C - -12 °C	30	40	(60)	40	(60)
under -12 °C <sup>(4)</sup>	(40)	(60)	(60)		
<b>Befuktet salt/slurry g/m<sup>2</sup></b>					
over -3 °C			10	30	40
-3 °C - -6 °C			(15)	30	40
-6 °C - -12 °C			(20)	30	40
under -12 °C <sup>(4)</sup>	(20)	(30)	(40)		

**Figur 5.6:** Salttabell for anti-ising DkA

Salttabellene vil i noen tilfeller kunne gi mulighet for en eller flere gunstige produksjonstiltak (ulike spredemetoder med ulike  $g/m^2$ ) der driftsplanleggeren har mulighet til å velge hvilke som er mest gunstig til formålet. Eksempelvis vil tørr veg og prognosert temperatur under duggpunkt, samtidig som lufttemperatur under -12 ° gi muligheten for enten Saltløsning med 40g/m<sup>2</sup> eller Befuktet salt 20g/m<sup>2</sup>.

Det kan være forhold som kostnad, tilgjengelighet og kapasitet som avgjør dette. Det er i hovedsak DkA som har de mest omfattende salttabellene og dermed flest krav om når og hvor mye som skal saltes. De resterende driftsklassene (DkB, C, D, E) under har likheter til DkA tabellen, mens DkA tabellen dekker alle farene og dermed hendelsene på vegbane som fører til produksjonstiltak. Tabellene under kan sees på som mindre kompliserte, da det er noen farer og hendelser som ikke fører til produksjonstiltak.

Det er tre ulike spredemetoder for salting som tillates av Statens vegvesen.

- Tørrt salt – Forkortet med ‘T’.
- Befuktet salt og saltSlurry - Salt med normalt 30 vektprosent befuktningvæske, minimum 25 vektprosent. Salt slurry betegner tilsvarende salt, men krav om passering i sikt. I denne oppgaven blir disse to typene brukt likt. – Forkortet med ‘B’.
- Saltløsning - Saltløsning bør ha høyest mulig saltkonsentrasjon og skal ha en løsningskonsentrasjon på minimum 20 vektprosent salt. – Forkortet med ‘S’.

S20 = Saltløsning 20g/m<sup>2</sup>, B20 = Befuktet salt 20g/m<sup>2</sup>, T10 = Tørrsalt 10g/m<sup>2</sup>.

**Lufttemperatur:** For de forhold som krever saltbruk så vil lufttemperatur avgjøre hvilke mengde salt som brukes for de ulike spredningsmetodene. Eksempelvis ved DkA vil lavere temperatur



gi større mengder salt enn ved høyere temperaturer. På DkD vil temperatur under  $-3^{\circ}\text{C}$  ikke føre til tiltak. Lufttemperatur er også en variabel som blir brukt ved fare for tilfrysning, der synkende temperatur og fuktig eller våt vegbane kan føre til produksjonstiltak. Prosjektgruppen har valgt å definere synkende temperatur på et intervall over 3 timer.

**Vegbanetemperatur:** Som nevnt i kapittel 4 er dette den viktigste variabelen for planlegging av vinterdrift. Vegbanetemperatur er den variabelen avgjør om det blir vått eller tilfrysning ved regn eller om snøen smelter. Se delkapittel 5.5.2 for hvordan det er gjort rede for denne variabler i denne prosjektoppgaven.

**Duggpunkt:** Duggpunkt under vegbanetemperatur kan føre til forekomst av fukt eller rimfrost.

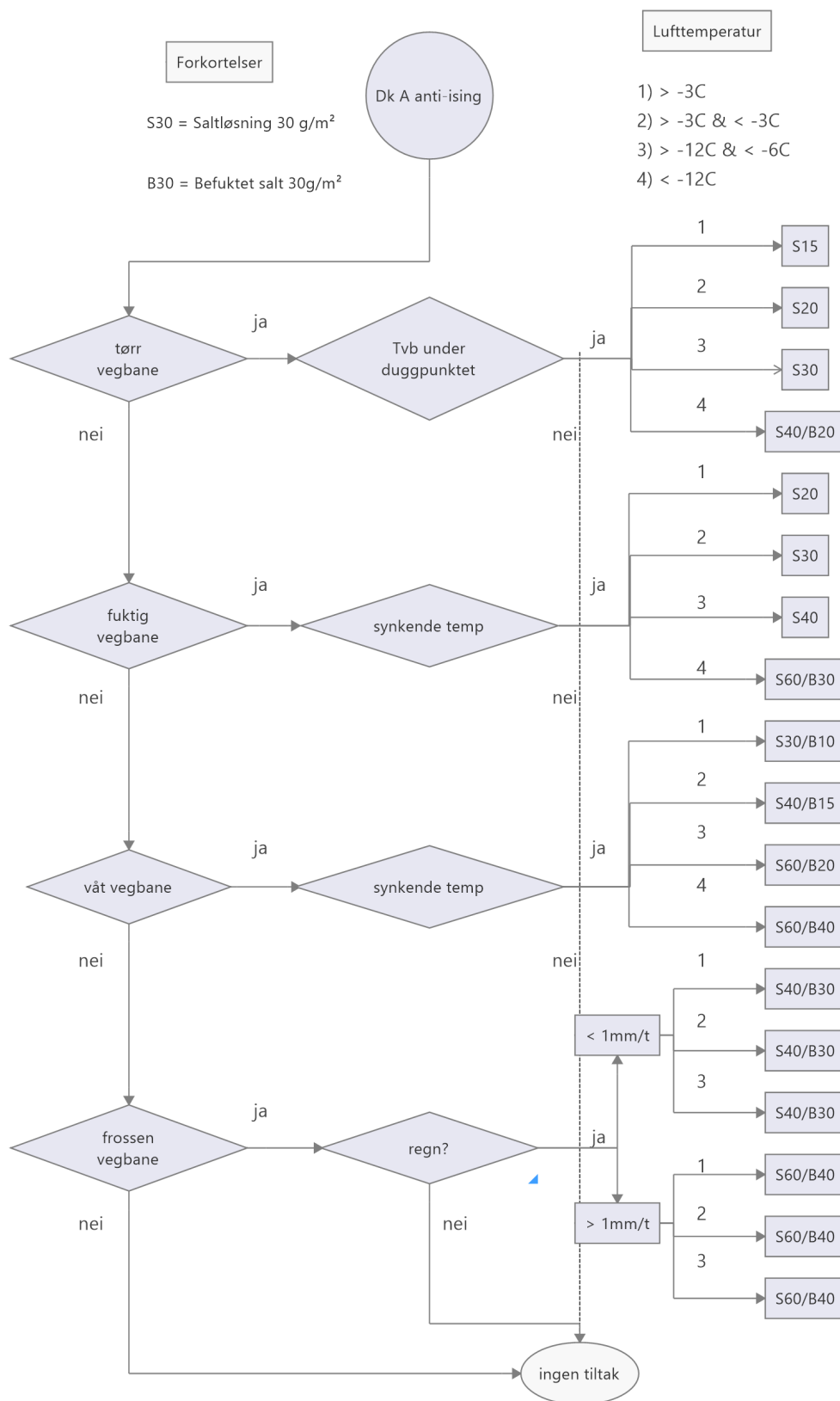
**Værhendelse:** Det er to nedbørstyper som er avgjørende for vinterdrift, og det er regn og snø. Regn kan føre til tilfrysning hvis frossen vegbane forekommer. Snøhendelser vil automatisk innebære salttabellen for anti-kompaktering når driftsklassen tilsier det, og kan gi produksjonstiltak for før snøvær, under snøvær og etter snøvær.

For å lettere illustrere algoritmen har prosjektgruppen her valgt å lage et flytdiagram som viser logikken i algoritmen, samme logiske metode er brukt i Excel. Algoritmen tar time for time i hver eneste røde og gir produksjonstiltak basert på timeintervallet. Dette er ment som støtte for å velge produksjonstiltak, og ikke fasit på hva og når produksjonstiltak bør gjøres. Da algoritmen utformes for å være generell og ikke spesifisert til et geografisk område. Figur for de-ising på DkA algoritmen er vist på neste side, figur 5.7.

For å forenkle algoritmen tar prosjektgruppen driftsklasse betraktningen til slutt, dette fordi driftsklassene har mange likhetstrekk til hverandre. Prosjektgruppen har gjort to markante forenklinger i salttabellene. Første forenkling av salttabellene er komprimering. Dette er i hovedsak forminskning av matrisen. Der vinterdriftsplanlegger har mulighet til å velge mellom flere produksjonstiltak og fortsatt være innenfor krav fra Statens vegvesen, er alle innført inn i én og samme celle, istedenfor å ha opp til tre celler for dem ulike produksjonstiltakene. Figur 5.8 viser hvordan salttabell for DkA ser ut etter forminskning.

Som forenkling nummer to har prosjektgruppen valgt og utformet de forskjellige fanene som inneholder tabellene til hver driftsklasse helt likt. Rodene med DkA har alle fareforholdene som fører til produksjonstiltak, der de øvrige driftsklassene har tilsvarende eller færre. Det betyr at der driftsklasser ikke har produksjonstiltak for fareforhold og temperatur, vil algoritmen finne en tom celle og ikke gi noen produksjonstiltak. For arbeidet i Excel vil dette redusere antall mulige hendelsesforløp betraktelig, og man trenger kun tre hendelsesforløp tilsvarende de tre salttabellene som inngår i hver driftsklasse. Der eneste variabel er den bestemte driftsklassen som brukeren har skrevet inn. Eksempelvis vil salttabell for anti-ising for DkC se slik ut, figur 5.9.

Som første ledd i algoritmen er det vurdering av fareforhold som kan oppstå og som vil kreve produksjonstiltak for å kunne gjennomprette sikker veg etter produksjonstiltak. Gruppen har basert dette på dokumentet som heter *Opplæring i vinterdrift for operatører* ([Statens vegvesen, 2018d](#)).



**Figur 5.7:** Logisk flytskjema til algoritmen for DkA, anti-ising

Salttabell for anti-ising DkA					
Fare for	Rimfrost	Tilfrysning	Tilfrysning	Tilfrysning	Tilfrysning
<b>Værprognose</b>	Temp under duggpunkt	Synkende temp	Synkende temp	regn (< 1 mm/t)	regn (>1 mm/t)
<b>Vegbaneforhold</b>	Tørr veg	Fuktig vegbane	Våt vegbane	Frossen vegbane	Frossen vegbane
<b>Tiltak</b>					
> -3°C	S15	S20	S30/B10	S40/B30	S60/B40
-3°C - -6°C	S20	S30	S40/B15	S40/B30	S60/B40
-6°C - -12°C	S30	S40	S60/B20	S40/B30	S60/B40
under -12°C	S40/B20	S60/B30	S60/B40		

**Figur 5.8:** DkA: forminskning av salttabell for anti-ising

Salttabell for anti-ising DkC					
Fare for	Rimfrost	Tilfrysning	Tilfrysning	Tilfrysning	Tilfrysning
<b>Værprognose</b>	Temp under duggpunkt	Synkende temp	Synkende temp	Yr, regn, underkjølt regn (< 1 mm/t)	Yr, regn, underkjølt regn (>1 mm/t)
<b>Vegbaneforhold</b>	Tørr veg	Fuktig vegbane	Våt vegbane	Frossen vegbane	Frossen vegbane
<b>Tiltak</b>					
> -3°C	S15	S20	S30/B10	S40/B30	S60/B40
-3°C - -6°C	S20	S30	S40/B15	S40/B40	S60/B40
-6°C - -12°C					
under -12°C					

**Figur 5.9:** Utforming av DkC salttabell

## Vurdering av fareforhold til de tre ulike salttabellene

### Anti-ising

1.  $Rimfrost_t = Våt\ vegbane_t \wedge T_{vb}_t < duggpunkt_t \wedge T_{vb}_t < 0$
2.  $Tilfrysning_{1t} = fuktig\ vegbane_t \wedge (lufttemp_{t-1} < lufttemp_{t-2} < lufttemp_{t-3})$
3.  $Tilfrysning_{2t} = våt\ vegbane_t \wedge (lufttemp_{t-1} < lufttemp_{t-2} < lufttemp_{t-3})$
4.  $Tilfrysning_{3t} = frossen\ vegbane_t \wedge regn \leq 1\ mm_t$
5.  $Tilfrysning_{4t} = frossen\ vegbane_t \wedge regn > 1\ mm_t$

### Anti-kompaktering

1. Før snøvær<sub>1t</sub> = (tørr vegbane<sub>t</sub>  $\vee$  fuktig vegbane<sub>t</sub>)  $\wedge$   $T_{vb}_t < 0 \wedge snø > 0\ mm_t$
2. Før snøvær<sub>2t</sub> = våt vegbane<sub>t</sub>  $\wedge$   $T_{vb}_t < 0 \wedge snø > 0\ mm_t$
3. Snøvær<sub>t</sub> =  $snø > 0\ mm_t \wedge T_{vb}_t < 0$
4. Etter snøvær =  $snø > 0\ mm_{t-1} \wedge snø = 0\ mm_t$

$$t = \text{klokkeslett}, \quad t \in [0, 24)$$

### De-ising

De-ising er et korrektivt tiltak som kan unngås når gode preventive tiltak med anti-ising er utført, men som likevel kan være nødvendig for spesielle tilfeller. Prosjektgruppen har ikke mulighet til å redegjøre for disse tilfellene, da de er spesielle tilfeller som ofte forekommer av manglende preventive tiltak som algoritmen allerede ville ha foreslått. Det er opp til driftsplanlegger å eventuelt gjennomføre de-ising tiltak hvis det er nødvendig for det.

### Algoritme i Excel

For å utvikle algoritmen i Excel har prosjektgruppen utarbeidet en funksjonsmatrise som logisk går igjennom et sett hvis-formler som gir 0 eller 1 ettersom den logiske gjennomgangen er sann eller usann, 1 for sann og 0 for usann. Se figur 5.10 for hvordan dette er gjennomført i Excel for anti-ising og anti-kompaktering.

Ja=1/nei=0					Ja=1/nei=0			
Anti-ising					Antikompaktering			
Rimfrost	Tilfrysning	Tilfrysning 2	Tilfrysning 3	Tilfrysning 4	Før snøvær 1	Før snøvær 2	Snøvær	Etter snøvær
0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	1
0	0	0	1	0	0	0	0	1
1	0	0	0	0	0	0	0	0
1	0	0	0	0	0	0	0	0
1	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	1	0	0	0	0	1
0	0	0	0	0	0	0	0	1
1	0	0	0	0	0	0	0	0
1	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	1
0	0	0	0	0	0	0	0	1
0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	0	0	0	0	0	0	0	0
1	0	0	0	0	0	0	0	0
1	0	0	0	0	0	0	0	0

**Figur 5.10:** Logisk matrise for anti-ising og anti-kompaktering

Hver celle i 5.10 inneholder vurdering av vegbaneforhold og værprognose som fører til de ulike fareforhold, og dette gjøres for hver time og for hver rode. Tilfeller der de logiske utfallene blir 1, vil algoritmen videre behandle tilfellene og se på hvilken lufttemperatur som er prognosert for hver av timene. Tilsvarende logisk matrise er utarbeidet for lufttemperaturer. Matrisen inndeler alle mulige temperaturintervaller som kan føre til produksjonstiltak på tvers av driftsklassene. For delvis utdrag av temperaturintervallene se figur 5.11.

> -3°C	-3°C - -6°C	-6°C - -12°C	-6°C - -10°C	< -10°C	< -12°C
1	0	0	0	0	0
1	0	0	0	0	0
1	0	0	0	0	0
1	0	0	0	0	0
0	1	0	0	0	0
0	0	1	1	0	0
0	0	1	1	0	0

**Figur 5.11:** Logisk matrise for temperaturintervaller

Hver salttabell gir produksjonstiltak når beskrevne fareforhold og lufttemperatur er til stede. Siste del av algoritmen tar for seg antall '1' i anti-ising og anti-kompaktering sin logiske matrise, samt henter temperaturintervallet for tidspunktet. Til slutt leter den i fanen som referer til salttabellene etter den bestemte driftsklassen på roden og henter ut produksjonstiltak. Tabellen 5.12 viser algoritmens forslag til produksjonstiltak for anti-ising og anti-kompaktering. Produksjonstiltakene blir videre lagt sammen i en streng med innsatt tekst for presentasjonsverdi. Det er disse «Tekst-kolonnene» som blir satt sammen og sendt til rapportmodulen. Se figur 5.12 for hvordan produksjonstiltak er hentet og presentert i matrisen.

Identisk behandling utføres for antall roder som er valgt.

Tekst	Tiltak hvis ja					Tekst	Tiltak hvis ja				Tekst
	Rimfrost	Tilfrysning	Tilfrysning 2	Tilfrysning 3	Tilfrysning 4		Før snøvær 1	Før snøvær 2	Snøvær	Etter snøvær	
Brøyte,											
Brøyte,				S40/B30		Anti-ising S40/B30,					Anti-kompaktering B20
	S30					Anti-ising S30,			T5		Anti-kompaktering T5
	S30					Anti-ising S30,			T5		Anti-kompaktering T5
	S30					Anti-ising S30,				T10	Anti-kompaktering T10
Brøyte,				S40/B30		Anti-ising S40/B30,				B20	Anti-kompaktering B20
Brøyte,						Anti-ising S40/B30,			T5		Anti-kompaktering T5
	S30					Anti-ising S30,			T5		Anti-kompaktering T5
	S30					Anti-ising S30,					
	S30					Anti-ising S30,					
Brøyte,									T5		Anti-kompaktering T5
Brøyte,									T5		Anti-kompaktering T5
	S20					Anti-ising S20,					
	S30					Anti-ising S30,					
	S30					Anti-ising S30,					

**Figur 5.12:** Produksjonstiltak i tekstform som forekommer av algoritmen

## 5.5.4 Rapport

Rapportmodulen er den siste delen i modellen for planlegging av produksjonstiltak, og den modulen brukeren vil jobbe mest i. I denne modulen er det fokusert på å fremlegge viktig informasjon på en ryddig og systematisk måte, samtidig forenkle prosessen med å kommunisere tiltakene videre.

Denne fanen gir brukeren oversikt over 24-timer værmelding, produksjonstiltak basert på algoritmen, prognose for vegbanetemperatur, en tildelt felt for rapportering der brukeren kan skrive egendefinerte meldinger samt et felt for å skrive epostadresse til underentreprenøren som har ansvar for roden.

Det er her mulighet for å videresende tekst som er skrevet inn i de tildelte feltene. Ved å trykke på «Send»-knappen vil MS Outlook åpne seg, med de respektive feltene ilagt skrivefeltet til MS Outlook. Epostadressene som er skrevet inn i beslutningsfanen vil automatisk være med som mottaker i eposten. Vedlegg 5.20 viser hvordan VBA-koden ser ut for automatisk MS Outlook epostgenerering.

## 5.6 Resultater fra modellen

I dette delkapittel vil prosjektgruppen presentere resultater som forekommer av prosjektets gjennomføring. Resultatene vises modulvis tilsvarende måten modellen er presentert i forrige delkapittel 5.5.

### 5.6.1 Datainnsamling - Værmelding med spørring

For resultat fra spørringen har prosjektgruppen sett på tidsforbruket fra Excel starter å innsamle værmeldinger for et sett av postnummer, samt eventuelle preg fra innsamling av dagens og morgendagens værmelding. Se figur 5.13 for tidsforbuk i Excel. Uavhengig om prosjektgruppen

kjørte spørring for 5 eller 40 roder var gjennomsnittstid pr. rode ca. 3,4 sekunder for i dag og 1,7 sekunder for i morgen.

For i dag	Tidsforbruk		For i morgen	Tidsforbruk
5 roder	17 sek		5 roder	9 sek
10 roder	32 sek		10 roder	17 sek
15 roder	48 sek		15 roder	26 sek
20 roder	1min 02sek		20 roder	33 sek
25 roder	1min 19sek		25 roder	41 sek
30 roder	1min 38 sek		30 roder	50 sek

**Figur 5.13:** Tidsforbuk for innsamling av værmeldinger

Tidsforbruket for kjøring av modellen ser ikke ut til å være påvirket for antall roder, tidsforbruket er ca. dobbel så stor for spørring for i dag mot spørring for i morgen.

Den innsamlede dataen samsvarte med Yr.no for hvert forsøk. For fremtidige værprognoser, i dag (nå t.o.m 23:00) og i morgen (00:00 t.o.m 23:00) er dataen fullstendige fra Yr.no sine nettsider. Ved empirisk værdata (00:00 til sanntid) er dataen mindre fullstendig, der Yr.no kan mangle måleverdier fra noen instrumenter (f.eks duggpunkt) eller alle måleverdier for den siste timen er fraværende.

## 5.6.2 Vegbaneforhold som forekommer av værmeldigner

### Prognosemodell for vegbanetemperatur

Prosjektgruppen har utarbeidet en funksjon til å prognosere vegbanetemperatur som er beskrevet i delkapittel 5.5.2. Funksjonen tar utgangspunkt i lufttemperatur og solens energibetraktning for døgnsyklusen. Figur 5.14 viser funksjonen som er brukt for prognosen.

$$T_{vb} = \cos(\text{rad}((n_{\text{time}} - 1) * 15) - (Tid_{i,\text{maks}} - Tid_{\text{start}}) * 15) * T_{\text{luft}}$$

$$T_{vb} = \text{Vegbanetemperatur, } ^\circ\text{C}$$

$$n_{\text{time}} \in [1,24] = \text{Målenummer, } n = 1 \text{ er første måleverdi}$$

$$Tid_{i,\text{maks}} = \text{Klokke time tilsvarende døgnetts varmeste vegbane, (kl 17:00 blir } Tid_{i,\text{maks}} = 17)$$

$$Tid_{\text{start}} = \text{Klokke time tilsvarende første måleverdi (f. eks 0 = midnatt, 7 = kl 07:00)}$$

$$T_{\text{luft}} = \text{Prognosert lufttemperatur for } n_{\text{time}}, ^\circ\text{C}$$

**Figur 5.14:** Funksjon for prognosemodell av vegbanetemperatur

Ved datainnsamling av inntruffet luft- og vegbanetemperatur fra Statens vegvesen sine værstasjoner har prosjektgruppen kunne vurdere påliteligheten av prognosemodellen for vegbanetemperatur. Datainnsamling er gjort med hjelp av VeiVær applikasjonen (delkapittel 4.4.4) og døgnmålinger er hentet daglig over 7 dager fra tre ulike værstasjoner i Norge. De aktuelle værstasjonene som er brukt beskrives i figur 5.15.

Navn	Fylke	Koordinater
Fv 91 Breivikeidet	Troms	69°39,38'N 19°34,08'E
E6 Malvik	Trøndelag	63°25,57'N 10°39,83'E
Rv 9 Dalehefte	Vest-Agder	58°18,51'N 07°48,75'E

**Figur 5.15:** Værstasjoner for datainnsamling

Til å beregne pålitelighet har prosjektgruppen brukt korrelasjon mellom prognosert- og målt vegbanetemperatur til å vurdere prognosemodellens evne til å følge inntruffet vegbanetemperatur. Til å vurdere prognosemodellens nøyaktighet er gjennomsnittlig absolutt avvik (MAE - Mean Absolute Average) beregnet. Resultater vises i figurer 5.16 og 5.17. Prognosemodellens resultater for de enkelte dager fra værstasjonene Fv 91 Breivikeidet, E6 Malvik og Rv 9 Dalehefte finnes i vedlegg 7.11.

#### Korrelasjon

Dato	RV9 Dalehefte	E6 Malvik	FV91 Brevikeidet
26 04 2019	0.7805	0.9693	0.9565
27 04 2019	0.9643	0.9011	0.9700
28 04 2019	0.9158	0.9752	0.9604
29 04 2019	0.8948	0.9728	0.9607
30 04 2019	0.9519	0.9333	0.9575
01 05 2019	0.9386	0.9604	0.8674
02 05 2019	0.9479	0.9512	0.9694
Gjennomsnitt	0.9134	0.9519	0.9489
Total gj.snitt			0.9381

**Figur 5.16:** Korrelasjon mellom prognosert- og inntruffet vegbanetemperatur

#### Gj.snitt absolutt avvik (MAE)

Dato	RV9 Dalehefte	E6 Malvik	FV91 Brevikeidet
26 04 2019	1.5021	2.1501	4.2441
27 04 2019	1.6170	6.0333	5.2000
28 04 2019	1.9791	3.0917	6.0292
29 04 2019	1.1607	3.3417	5.8250
30 04 2019	3.9767	2.7493	4.0000
01 05 2019	7.3916	2.6479	2.8591
02 05 2019	6.5792	1.8702	8.1042
Gjennomsnitt	3.4581	3.1263	5.1802
Total gj.snitt			3.9215

**Figur 5.17:** Gj.snittlig absolutt avvik (°C) mellom prognosert- og inntruffet vegbanetemperatur

### 5.6.3 Algoritme

Fra gjentatte gjennomganger har prosjektgruppen sett at resultatet fra algoritmen samsvarer med det salttabellene tilsier. Prosjektgruppen har valgt å ta med et tilfelle for å vise at algoritmen kommer frem til forventet resultat. Figurene under tar for seg et vilkårlig tidsintervall og viser forekomst av produksjonstiltak basert på logiske utfall i algoritmen, Der 1 = sann og 0 = usann for uønsket hendelser.

Fra figur 5.18 ser prosjektgruppen at 'tilfrysning3' og 'snøvær' har det logiske utfallet 1, det betyr at det vil forekomme produksjonstiltak for disse farene. Gul viser uønsket hendelse for anti-ising og temperaturintervallet, mens rødfarge indikerer at det er meldt snøvær for samme time. Som man ser fra figur 5.18 henter algoritmen riktig produksjonstiltak og formulerer det til sammenhengende tekst for rapportdelen.

Driftsklasse	Ja/nei		Tiltak hvis snø	Tiltak hvis ja		Utlipp fra rapportdelen <b>Tiltak basert på algoritme</b> Brøyte, Anti-ising S40/B30, Anti-kompaktering T5
	Temperaturintervall	Uønsket hendelser		Anti-ising	Anti-kompaktering	
A	-3°C - -6°C	Tilfrysning 3 Snøvær	Brøyting	Tilfrysning 3	Snøvær	
	1	1 1	Brøyte,	S40/B30	T5	

Fare for	Rimfrost	Tilfrysning1	Tilfrysning2	Tilfrysning3	Tilfrysning4
Værprognose	Temp under duggpunkt	Synkende temp	Synkende temp	regn (< 1 mm/t)	regn (>1 mm/t)
Vegbaneforhold	Tørr veg	Fuktig vegbane	Våt vegbane	Frossen vegbane	Frossen vegbane
Tiltak					
> -3°C	S15	S20	S30/B10	S40/B30	S60/B40
-3°C - -6°C	S20	S30	S40/B15	S40/B30	S60/B40
-6°C - -12°C	S30	S40	S60/B20	S40/B30	S60/B40
under -12°C	S40/B20	S60/B30	S60/B40		

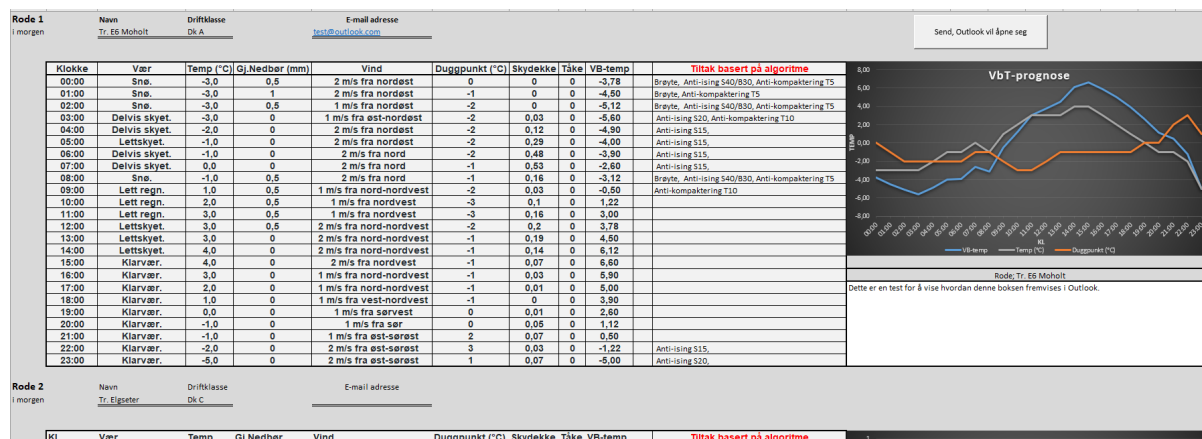
	Før snøvær	Før snøvær	Snøvær	Etter snøvær
Vegbaneforhold	Tørr eller fuktig	Våt		
Tiltak	S40/B15	B20	T5	T10

Figur 5.18: Resultat fra algoritme

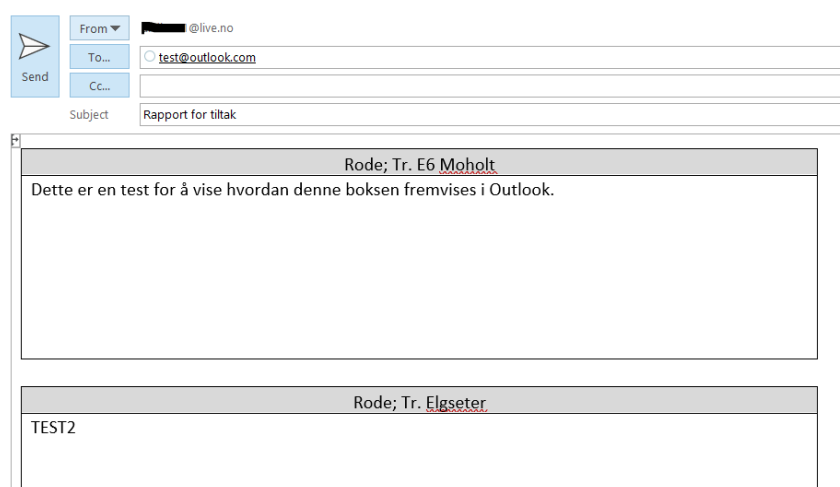
### 5.6.4 Rapport

Fra figur 5.19 og 5.20 vises det et utdrag av utformingen til rapportmodulen. og hvordan kommentarer fra beslutningsgrunnlaget blir behandlet og automatisk generert som epost i MS Outlook.





Figur 5.19: Rapport for rode 1



Figur 5.20: Resultater fra MS Outlook

## 5.7 Diskusjon

Diskusjonsdelen starter med å diskutere modellens fire moduler enkeltvis, og deretter modellen i sin helhet. Avslutningsvis setter prosjektgruppen lys på kommende teknologier og andre prosjekter, som i nær fremtid kan føre til endringer i hvordan vinterdrift planlegges i Norge.

### 5.7.1 Diskusjon om modellen

#### Værmelding med spørring

Denne modulen i modellen har stort gevinstpotensial i form av tids- og ressursbesparelse. En utført spørring med 30 roder fullføres innen 100 sekunder for dagens værmelding, og under minuttet for morgendagens spørring. Fra intervjuet med anleggsleder i Indre Namdal kommer det fram at store deler av arbeidsuken går til værundersøkelser på Yr.no. Gitt at en anleggsleder ville hentet tilsvarende antall værmeldinger enkeltvis fra en nettbasert tjeneste som Yr.no for regionene sin vil dette ta vesentlig lenger tid enn det modellen krever.

Kvaliteten på værmeldingene vurderes mot den grad de tilfredsstillende som forekommer med dagens metode. Prosjektgruppens erfaring er at modellen lykkes med å hente dataen nøyaktig slik den blir presentert på den nettbaserte versjonen av Yr.no. Med spørringen er det også filtrert ut overfladisk informasjon som ikke har noe særlig relevans for planlegging av vinterdrift.

Det kan tenkes at en driftsplanlegger ikke har behov for like mange værmeldinger innen en region og at mange værmeldinger som forekommer på postnummernivå vil gi tilnærmet like værmeldinger. Prosjektgruppen betrakter ikke det mangfoldet av værmeldinger som kan hentes som negativt, spesielt med betraktningen av den relativt raske tiden som benyttes for dette. Tvert imot mener prosjektgruppen at mangfoldet av værmeldinger gir potensial for inkrementelle kvalitetsøkninger med ytterligere værmeldinger.

Prosjektgruppen betrakter denne spørremodulen for konseptløsning som en stor suksess slik den presenteres i dag. Fra prosjektgruppens SWOT analyse har det blitt kartlagt at en endring i måten værmeldinger på Yr.no presenteres kan potensielt gi negative effekter med grensesnittet mellom modellen og værtjenesten. Prosjektgruppen har foreløpig ikke noe erfaring med dette.

### **Prognosemodell for vegbanetemperatur**

Vegbanetemperatur er trolig den viktigste av de variablene for vegbaneforhold, og for prosjektet er det utarbeidet en prognosemodell for vegbanetemperatur som funksjon av lufttemperatur og energibetraktningen fra solen. Påliteligheten av prognosemodellen mot inntruffet vegbanetemperatur er testet med korrelasjon og gjennomsnittlig absolutt avvik gjennom feltundersøkelser av tre værstasjoner over syv dager. Korrelasjon som forekommer av feltundersøkelsen ligger mellom 0,9134 og 0,9489. Gjennomsnittlig korrelasjon for alle de tre værstasjoner er mer overbevisende enn det som forekommer i den mer omfattende studien til [Feng and Feng \(2012\)](#) som viser til en korrelasjon på 0,9. Gjennomsnittlig absolutt avvik for prognosemodellen mot det som er målt av de tre værstasjonene ligger mellom 3,4581°C og 5,1802°C.

For både korrelasjon og gjennomsnittlige absolutt avvik er det gjort forutsetninger ved hjelp av den empiriske dataen som er samlet til å bestemme nødvendige inndata for funksjonen. Klokkeslett og størrelsesorden for lokalt maksimum og minimum vegbanetemperatur for de ulike værstasjonene er funnet ved å analysere dataen som er innsamlet. Deretter er dataen generalisert for hele uken for hvilke klokkeslett vegbanetemperaturen har maksimal gjennomsnittlig absolutt avvik fra lufttemperatur. Dette er noe en erfaren driftsplanlegger har bedre forutsetninger til å fastslå enn prosjektgruppen, og med dette bør korrelasjon og gjennomsnittlig absolutt avvik betraktes som 'best case' scenario.

For feltundersøkelsens datainnsamlingsperioden var Norge utsatt for et høytrykk og været kan beskrives som stabil med klar himmel for majoriteten av perioden. Med dette viser dataen at vegbanetemperatur ikke oppfører seg slik diagrammet (figur 4.2) til Statens vegvesen tilsier under høytrykksvær. Forventingen var at vegbanetemperaturen ville være under lufttemperaturen for halve døgnet og selv om noen målinger viser at vegbanetemperatur kan bli lavere enn lufttemperaturen ser prosjektgruppen for perioden at dette var sjeldent. Den varme perioden (min. -1,9°C, maks. 20,9°C) er ikke stereotypisk for vintervær og videre undersøkelser anbefales til å vurdere påliteligheten for en slik prognosemodell.

Prosjektgruppen sin prognosemodell for vegbanetemperatur tar ikke hensyn til geografiske- og vegegenskaper og bruker kun meteorologiske- og døgnsyklus egenskaper. Da prosjektgruppen ønsker å utforske muligheter som enkelt kan skaleres på nasjonalt nivå, ville de geografiske- og

vegbetraktningene motvirket målet for prosjektoppgaven. Ved å benytte de særbeaktningene som er unike til geografien og vegbaneutformingen blant rodene ville prognosemodellen ikke lykkes med å forenkle driftsplanleggingen.

VegVær, som er utviklet av Statens vegvesen, skal ifølge presentasjon fra 2014d ha en prognosemodell for vegbanetemperatur inntil 10 timer. Denne versjonen av VegVær er ikke offentlig tilgjengelig og prosjektgruppen har ikke lyktes å komme i kontakt med representanter hos Statens vegvesen for å tilegne tilgang til denne tjenesten. Fra intervjuet med anleggsleder hos Veidekke som betjener driftskontrakten for Indre Namdal kommer det frem at denne tjenesten ikke benyttes for vinterplanlegging i denne regionen. Anleggslederen bruker derimot den offentlige tilgjengelige mobilapplikasjonen VeiVær som kun viser empirisk målt vegbanetemperatur og ikke prognosene.

En utfordring med prognosemodeller for vegbanetemperatur som benytter værstasjoner som utgangspunkt, er at målinger ikke behøver å være representativt for den resterende vegstrekningen. Det forventes at vegbanetemperatur kan variere innenfor kritiske intervaller med hensyn til rim og tilfrysning på vegbane. For eksempel kan en del av en vegbane ha blitt asfaltert med andre spesifikasjoner, eller vegbanen kan stå i le eller skygge som potensielt kan forårsake andre vegbanetemperaturmålinger. Statens vegvesen har tydelig spesifisering for hvor og hvordan værstasjoner monteres slik at resultater vil samsvare relativt med andre målinger spredt rundt om i landet, men ikke nødvendigvis for resterende deler av de respektive vegbanene som måles.

Modellen som er utviklet av prosjektgruppen tar ikke hensyn til hva som har hendt og hvilke produksjonstiltak som er utført som kan ha betydning for vegbaneforhold. Med den type data ville det vært mulig å programmere algoritmen til å ta hensyn til tidligere utførte produksjonstiltak som for eksempel salting. Salt som er påført vegbanen til å opprette eller gjenopprette trygg ferdsel har effektiv varighet avhengig av strømetoden og værforholdene som finnes når det benyttes. Denne funksjonen ville vært mulig å innføre i algoritmen slik at modellen ikke vil foreslå produksjonstiltak når det ikke er berettiget.

### **Algoritmen**

Algoritmen som er utarbeidet av prosjektgruppen har basert seg på dokumentet *Meteorologi og klimastasjoner* av Statens vegvesen og MET. En algoritme utarbeidet i direkte samarbeid med MET eller andre institusjoner som er spesialisert innen meteorologi kunne gi en mer pålitelig algoritme, og dermed et resultat som overgår driftsoperatørene og prosjektgruppen sine kunnskaper om meteorologi. Som en antagelse har prosjektgruppen valgt å prognosere vegbaneforhold med et empirisk tidsintervall på to timer. For noen tilfeller kan dette være et greit intervall, men vegbaner som utsatt for større forandringer kan dette kanskje være for lite. Et større empirisk intervall for beregning av vegbaneforhold vil også gi færre timer med produksjonstiltak. Bruk av modellen klokken 01:00, der et 2-timers intervall er brukt, vil ikke gi algoritmen tilstrekkelig empirisk data for å gi produksjonstiltak for dette tidspunktet. En løsning på dette kan være å hente empirisk data for mer enn 24-timer.

Fra SWOT-analysen er redusert kompetansebehov ført opp på som en mulighet, men i motsetning er tap av kjernekompetanse ført som en trussel. En algoritme vil føre til at driftsplanleggeren kanskje ikke trenger tilsvarende meteorologi kompetanse som før, noe som kan føre til at personer med mindre meteorologiske kunnskaper kan ta samme jobb. Ved tilfeller der det forekommer spesielle værhendelser vil det kunne slå feil ut hvis driftsplanleggeren ikke har tilstrekkelig kompetanse og utfører dårlig planlegging. I et perspektiv av konkurransefortrinn kan det være

en fordel å ha en sterkere meteorologisk bakgrunn enn konkurrentene. Det kan tenkes at dette kan være utslagsgivende ved anbudsprosessen. Da algoritmen brukes som beslutningsstøtte vil det kunne redusere frekvensen av menneskelige feil. Et eksempel på menneskelig feil er at en driftsplanlegger kan velge ulike produksjonstiltak gitt de samme inngangsvariablene. Tilsvarende vil algoritme med lik inngangsvariabler gi standardisert resultat hver gang.

## Rapport

Rapportmodulen i modellen er den delen brukeren vil bruke mest av sin tid på, det er derfor viktig at all data fremvises på en oversiktlig måte. Prosjektgruppen vil si at dette er noe prosjektgruppen har lyktes med, for hver rode vil et naturlig «zoom» være tilstrekkelig for å jobbe med all informasjon som er vist for én rode.

Automatisk overføring av egendefinerte meldinger i de tildelte feltene inn i MS Outlook, med epostadressene som allerede er skrevet inn, sees på som en stor tidsbesparelse sammenlignet med dagens situasjon der driftsplanleggeren foretar kommunikasjonen over telefon. Uavhengig om driftsplanleggeren velger å sende direkte ordre til underentreprenørene eller fortsette å ta i bruk sentralvaktens som kvalitetssikringsledd, så vil det fortsatt være en tidsbesparelse. En forbedring kan være muligheten for å generere større rapporter enn kun det tildelte rapportfeltet som driftsplanleggeren benytter. For eksempel rapporter som inneholder beslutningsgrunnlaget som værmelding og/eller prognose for vegbanetemperatur. Ved å endre VBA-koden som er brukt til å generere meldinger i MS Outlook til å dekke større område for hver rode, kan man sørge for at værmelding eller prognose for vegbanetemperatur kan inkluderes i eposten. Det kan tenkes at mottaker av arbeidsordre har behov for å se hvilken beslutningsinformasjon driftsplanleggeren har brukt i sin utredning av produksjonstiltak.

## Modell oppsummering diskusjon

Utviklet modell har med sin hensikt underbygget vårt strategiske mål om å bistå i den digitale overgangen. Prosjektgruppen har tidlig i fasen fokusert på hvordan direkte oppnåelse av resultatmål kan tilfredsstilles. Prosjektgruppen vil si seg fornøyd med å treffe disse, men kvalitetsmessig forbedring er mulig. Modellen kan videre forbedres med å etablere en tverrfaglig prosjektgruppe som inkluderer utviklere, meteorologer og større mangfold av driftsplanleggere for å videreutvikle modellen vår i Excel. Prosjektgruppen har gjennomført intervju med kun en driftsplanlegger, men resultater fra dette intervjuet trenger ikke å være representativt for andre driftskontrakter, ettersom kontraktene til Statens vegvesen ikke er standardiserte.

For effektmål gjenstår det å se etter eventuell implementasjon av modellen om gevinstrealisering blir suksess eller ikke. Som effektmål var tids- og kostnadsbesparelse for utarbeiding av produksjonstiltak sentralt. Det første ikke-verdiskapende aktiviteten var datainnsamling, ved bruk av modellen kan modellen lagres til videre bruk for samme driftskontrakt etter rodenavn, postnummer og driftsklasse er skrevet inn. Noe som gjør den inkrementelle verdiskapning av å ha litt bedre værmeldinger for de forskjellige rodene ytterligere verdt det. Samtidig som den reelle tiden av å innsamle dataen med modellen er minimal i forhold til å fysisk sjekke og vurdere én værmelding om gangen. Den andre ikke-verdiskapende aktiviteten for en driftsplanlegger er vurdering av innsamlet data. Prosjektgruppen mener at algoritmen er en fin beslutningsstøtte for en driftsplanlegger, men at en driftsplanlegger har andre lokale og vinterdriftserfaringer som er vanskelig å gå foruten. Dette kan være driftskontraktsspesifikke krav, geografiske skjønn eller andre spesielle forhold som kan føre til andre produksjonstiltak. Som tredje aktivitet, kvalitetskontroll, som prosjektgruppen har definert som verdiskapende.

Reduksjon av menneskelige feil var også et effektmål som prosjektgruppen satt opp tidlig i prosjektfasen. Når all informasjon er godt presentert øker sannsynligheten for at menneskelige feil unngås. Eksempelvis beslutning om produksjonstiltak med utgangspunkt i feil værmelding, eller utsending av arbeidsordre for feil rode. Standard utsending av arbeidsorde vil gjøre at underentreprenøren blir mer komfortabel med hvordan tiltak og informasjon blir kommunisert. Prosjektgruppen ser på det som stor besparelse av å integrere automatisk utsending arbeidsorde sammen med beslutningsstøtten.

### **Andre kommentarer til konseptløsningen**

Prosjektgruppens tilnærming til konseptløsningen er i stor grad avhengige av inngangsvariablene som den benytter. Modellen som er benyttet tar i bruk dataen som presenteres på Yr.no og prosjektgruppens erfaring er at dataen er pålitelig. Ved noen anledninger har prosjektgruppen observert at enkelte timer for dagens værmelding er fraværende. Dette vanligvis i forbindelse med den klokketimen som spørringen utføres. Prosjektgruppen mistenker at dette kan forekomme for timer der den presenterte dataen flyttes fra prognose til empiri.

Selv om Excel har vært et godt egnet verktøy til å kartlegge muligheter og utfordringer med slike løsninger, innebærer programvaren også noen svakheter som kan løses med andre tilnærminger. En av disse svakhetene inkluderer evnen til å lagre historikk i en database på en effektiv måte. Dersom en modell utvikles med evne til å lagre historikk som værhendelser og utført produksjonstiltak, ville det åpnet for muligheter til å gi bedre forslag til produksjonstiltak. Selv om slike utfordringer kan løses med Excel finnes det bedre og mer effektive metoder. Dette kunne vært løst med en nettleser versjon som kan lagre data på en server eller skytjeneste. Skytjenester eller servere som til enhver tid er tilkoblet internett kan kontinuerlig hente data fra den valgte kilden i motsetning til Excel modellen som trenger en bruker til å initiere spørringen.

## **5.7.2 Kommende teknologier og andre prosjekter**

### **Datainnsamling med IoT enheter og sky-løsninger**

Med den økende bruken av IoT enheter som er sammenkoblet med sky-løsninger har dette bidratt til den store mengde dataen som samles i dag. Yr.no har med hjelp av værstasjonen designet for forbrukere nå anledning til å gi mer frekvente værvarsler for hyperlokale observasjoner. Forbruker værstasjoner sender innsamlet data til Weathermap tjenesten (<https://weathermap.net/atmo.com/>) som er levert av Netatmo, og Yr.no sitt samarbeid med Netatmo tillater oss nå å få bedre værmeldinger. Før dette samarbeidet leverte Yr.no væroppdateringer for 6 timer om gangen med værmodeller generalisert for områder på 2,5x2,5 kilometer omkrets. Som resultat av samarbeidet leverer Yr.no nå time-for-time varsler for områder på 1,0x1,0 kilometer omkrets ([Meteorolisk Institutt, 2018](#)).

Det er liten begrensning på hva det samles data om og hvordan det samles. I dag samles meteorologidata fra blant annet værstasjoner, radar, offshore plattformer, tog, båter, satellitter, luftballonger, fly og spesielt interessant er datainnsamling med privatbiler.

### **Datainnsamling med RSI teknologi (Road Status Information)**

RSI prosjektet startet i 2017 og er et unikt samarbeid mellom Statens vegvesen, Trafikverket, Volvo Cars, Sintef, NTNU, VTI, Universitet i Gøteborg, Luleå Teknisk Universitet, Road IT AB og Klimator AB. Med IoT teknologi skal prosjektet med hjelp av opp til 500 testbiler fra Volvo samle løpende data om vær og føre på vegbanen i Oslo og Gøteborg. Data som samles inkluderer

friksjon, temperatur og nedbør. Samlet data sendes fortløpende inn til en sky-løsning og skal kunne bistå i driftsplanleggingen ved å supplere dataen som allerede samles fra værstasjoner (Statens vegvesen, 2015c).

Statens vegvesen ser at slik teknologi kan endre måten å jobbe på og undersøker om dataen som samles fra vanlige personbiler har god nok kvalitet slik at den også kan benyttes for vinterdrift. Hvordan friksjonsmålinger varierer fra bil til bil er interessant og Statens vegvesen benytter målebiler med ROAR til å kontrollere målingene med testbilene. Dataen som samles fra testbilene er anonymisert og NTNU er ansvarlig for analyser av dataen og prosjektevaluering (Vegnett, 2016a).

Med denne type data til å supplere eksisterende datagrunnlag, vil en driftsplanlegger ha bedre fortløpende sanntidsforståelse av vegbaneforhold for regionen. RSI teknologien har kapasitet til å gi et bedre helhetsbilde av vegforhold med kontinuerlig målinger over en vegstrekke i motsetning til værstasjoner som er montert på ideelle lokasjoner. Dersom Statens vegvesen bestemmer at datakvaliteten er tilstrekkelig for driftsplanlegging kan dette potensielt erstatte noe, eller hele behovet for manuelle friksjonsmålinger som utføres av hovedentreprenøren. Dette forutsatt at ÅDT med RSI teknologi tilsier at det er fornuftig.

### **Maskinlæring**

Kunstig intelligens er et aktuelt tema i dagens debatt om fremtiden og det spekuleres stadig om hvilke typer jobber som blir gjenværende for mennesker. Maskinlæring, men også etterkommeren dyp læring (deep learning), har gjentatte ganger påvist at den kan replikere menneskelig ekspertise med sin evne til å identifisere mønstre fra kaotiske datasett og utforme regler som beskriver dem. Innenfor meteorologi har maskinlæring blitt benyttet til å vurdere klimamodeller, identifisere nye værmønstre, forutse orkaner og andre ekstreme værhendelser.

Claire Monteleoni er datavitenskapsforsker hos George Washington Universitet som jobber med å spleise kunstig intelligens med klimatologi. Hun sier at klima nå er et dataproblem, og kunstig intelligens blir sterkere med data. Det er derfor naturlig å benytte maskinlæring innen klimatologi (Liu, 2017).

Selv om det trolig er tidlig i tidshorisonen å benytte maskinlæring innen vinterdrift kan det tenkes at dette er noe fremtiden kan benytte til å planlegge vinteroperasjoner.

## 6 Konklusjon

### Avsluttende konklusjoner til prosjektet

Med de erfaringer og kunnskaper som er tilegnet ved gjennomføring av prosjektet ønsker prosjektgruppen i dette kapittel å formidle de vesentlige funn som forekommer av dette, samt gi forslag til videre arbeid og interessante teknologier som ventes i den nærmeste framtiden.

Modellen som er utarbeidet har tydelig områder som oppleves som positivt. Forenklet og automatisert datainnsamling av værprognoser gir den samme informasjonen som finnes på Yr.no, men har evne til å hente mangfoldig værmeldinger simultant med de innsatte ønskelige postnummer. Muligheten til å rapportere relevant informasjon på rodenivå til de respektive underentreprenørene fra beslutningstøttegrunnlaget (5.19) vil gjøre planlegging av operasjoner enklere samtidig som beslutninger dokumenteres.

Der modellen har størst svakhet er ved prognosering av vegbanetemperatur. Prognosemodellene for vegbanetemperatur fra litteraturen er spesifikke til område som måles grunnet de mange inngangsvariablene som er unike for akkurat den delen av vegbanen. Derfor er ikke prognosemodellen skalerbar over til et større geografisk område. Statens vegvesen sin generalisering av vegbanetemperatur som funksjon av lufttemperatur vises igjennom prosjektgruppens feltundersøkelser at modellen gir en veldig forenklet representasjon av den virkelige vegbanetemperaturen. Ytterlige feltundersøkelser under vintersesong bør vurderes for å konkludere om det finnes potensial i slike modeller.

Vegbanetemperatur er som påpekt den viktigste variabelen for planlegging av produksjonstiltak og det er hovedsakelig dette som hindrer modellen i å være et fullverdig verktøy. Det bør derfor vurderes om det positive egenskapene ved modellen er gode nok til å videreutvikle konseptet.

### Videre arbeid

Med det prosjektgruppen har konkludert med ønskes det å gi noen forslag til videreføring av prosjektet.

For øyeblikket bør det avventes med utvikling av konseptløsningen inntil det finnes pålitelig prognosemodell for vegbanetemperatur som kan skaleres på nasjonal basis. Dersom Statens vegvesen sin webversjon av VegVær har dette bør det vurderes å teste en modell som tar denne versjonen i bruk.

Det anbefales å holde seg oppdatert på kommende teknologier og andre prosjekter som potensielt kan endre krav til metoden planleggingen av produksjonstiltak gjennomføres i dag. Dersom RSI prosjektet til Volvo godkjennes av Statens vegvesen som målemetode for friksjon vil dette endre beslutningsgrunnlaget for å utføre produksjonstiltak. Dette kan medføre en mer reaktiv tilnærming til vinteroperasjoner der sanntidsdata blir mer vektlagt og hyppigere brukt til sammenligning med dagens beslutningsprosess som tar utgangspunkt i prognoserte vær- og vegbaneforhold.

Det er prosjektgruppens oppfatning at ikke alle menneskelige ferdigheter kan erstattes med algoritmer og det anbefales derfor å beholde den meteorologiske- og lokalkunnskap som Veidekke har tilegnet seg i de ulike regioner.

## Referanser

- Aas, T., Mahle, A. H., and Rogstad, G. (2001). Meteorologi og klimastasjoner: Veileder i bruk av meteorologiske data i statens vegvesen. <https://docplayer.me/36160100-Veileder-i-bruk-av-meteorologiske-data-i-statens-vegvesen.html>.
- Al-Fuqaha, A., Guizani, M., Mohammadi, M., Aledhari, M., and Ayyash, M. (2015). Internet of things: A survey on enabling technologies, protocols, and applications. *IEEE Communication Surveys & Tutorials*, 17(4):2347–2376.
- Alley, R. B., Emanuel, K. A., and Zhang, F. (2019). Advances in weather prediction. *Science*, 363(6425):342–344.
- Barentswatch (2013). Værtjenesten halo. <https://www.barentswatch.no/artikler/Vartjenesten-Halo/>. (Hentet 25-04-2019).
- Bauer, P., Thorpe, A., and Brunet, G. (2015). The quiet revolution of numerical weather prediction. *Nature*, 525(7567):342–344.
- Berrocal, V. J., Raftery, A. E., Gneiting, T., and Steed, R. C. (2010). Probabilistic weather forecasting for winter road maintenance. *Journal of the American Statistical Association*, 105:408:522–537.
- Boston Consulting Group (2019). Nine technologies transforming industrial production. <https://www.bcg.com/capabilities/operations/embracing-industry-4.0-rediscovering-growth.aspx>. (Hentet 15-03-2019).
- Chapman, L., Muller, C. L., Young, D., Rose, P., Lucas, C., and Walden, J. (2014). Winter road maintenance and the internet of things. [https://www.researchgate.net/profile/Catherine\\_Muller2/publication/263443890\\_Winter\\_Road\\_Maintenance\\_and\\_the\\_Internet\\_of\\_Things/links/0f31753ad7a48a4386000000.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Catherine_Muller2/publication/263443890_Winter_Road_Maintenance_and_the_Internet_of_Things/links/0f31753ad7a48a4386000000.pdf). 17th International Road Winter Maintenance Conference (Hentet 15-03-2019).
- Chapman, L., Thornes, J. E., and Bradley, A. V. (2001). Modelling of road surface temperature from a geographical parameter database. part 1: Statistical. *Meteorological Applications*, 8:409–419.
- Crevier, L.-P. and Delage, Y. (2001). Metro: A new model for road-condition forecasting in canada. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 40(11):2026–2037.
- Daffodil Software (2017). 9 applications of machine learning from day-to-day life. <https://medium.com/app-affairs/9-applications-of-machine-learning-from-day-to-day-life-112a47a429d0>. (Hentet 26-04-2019).
- Feng, T. and Feng, S. (2012). A numerical model for predicting road surface temperature in the highway. *Procedia Engineering*, 37:137–142.
- Forbes (2019). How much data do we create every day? the mind-blowing stats everyone should read. <https://www.forbes.com/sites/bernardmarr/2018/05/21/how-much-data-do-we-create-every-day-the-mind-blowing-stats-everyone-should-read/#70fc94fd60ba>. (Hentet 26-04-2019).



- Gripsrud, G., Olsson, U. H., and Silkoset, R. (2016). *Metode og dataanalyse: Beslutningsstøtte for bedrifter ved bruk av JMP, Excel og SPSS*, 3. utgave. Cappelen Damm AS.
- Halo (2019). Om halo. <https://halo.met.no/faces/about.xhtml?locale=no>. (Hentet 25-04-2019).
- Kociánová, A. (2015). The intelligent winter road maintenance management in slovak conditions - sciencedirect. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877705815013582>. (Hentet 03-04-2019).
- Korotenko, K. (2002). An automated system for prediction of icing on the road. *International Conference on Computational Science*, 3:1193–1200.
- Liu, Y. (2017). Nature. <https://www.nature.com/news/how-machine-learning-could-help-to-improve-climate-forecasts-1.22503>. (Hentet 11-05-2019).
- Mathis, A. (2000). Reengineering winter road maintenance: Decision making process. *Proceedings of the 10th SIRWEC Conference, 22-24 March, Davos, Switzerland*, pages 111–118.
- McQuistan, A. (2017). Using machine learning to predict the weather: Part 1. <https://stackabuse.com/using-machine-learning-to-predict-the-weather-part-1/>. (Hentet 26-04-2019).
- Meteorologisk Institutt (2018). Private weather observations improve temperature forecasts on yr. <https://www.met.no/en/archive/private-weather-observations-improve-temperature-forecasts-on-yr>. (Hentet 11-05-2019).
- Meteorologisk institutt (2016a). Manuelle værstasjoner. [https://web.archive.org/web/20160920053510/http://met.no/Meteorologi/A\\_male\\_varet/Observasjoner\\_fra\\_land/Varstasjoner/Automatiske\\_varstasjoner/](https://web.archive.org/web/20160920053510/http://met.no/Meteorologi/A_male_varet/Observasjoner_fra_land/Varstasjoner/Automatiske_varstasjoner/). (Hentet 22-03-2019).
- Meteorologisk institutt (2016b). Observasjon fra land. [https://web.archive.org/web/20160920053510/http://met.no/Meteorologi/A\\_male\\_varet/Observasjoner\\_fra\\_land/Radar/](https://web.archive.org/web/20160920053510/http://met.no/Meteorologi/A_male_varet/Observasjoner_fra_land/Radar/). (Hentet 22-03-2019).
- Meteorologisk institutt (2016c). Observasjoner fra havet. [https://web.archive.org/web/20150916203720/http://met.no/Meteorologi/A\\_male\\_varet/Observasjoner\\_fra\\_havet/](https://web.archive.org/web/20150916203720/http://met.no/Meteorologi/A_male_varet/Observasjoner_fra_havet/). (Hentet 22-03-2019).
- Meteorologisk institutt (2016d). Observasjoner fra lufta. [https://web.archive.org/web/20160918233047/http://met.no/Meteorologi/A\\_male\\_varet/Observasjoner\\_fra\\_lufta/](https://web.archive.org/web/20160918233047/http://met.no/Meteorologi/A_male_varet/Observasjoner_fra_lufta/). (Hentet 22-03-2019).
- Meteorologisk institutt (2019). Om oss. <https://www.met.no/om-oss>. (Hentet 24-04-2019).
- Metrologisk Institutt (2016a). Manuelle værstasjoner. [https://web.archive.org/web/20160918232956/http://met.no/Meteorologi/A\\_male\\_varet/Observasjoner\\_fra\\_land/Varstasjoner/Manuelle\\_varstasjoner/](https://web.archive.org/web/20160918232956/http://met.no/Meteorologi/A_male_varet/Observasjoner_fra_land/Varstasjoner/Manuelle_varstasjoner/). (Hentet 22-03-2019).
- Metrologisk Institutt (2016b). Å varsle været. [https://web.archive.org/web/20150910055127/http://met.no/Meteorologi/A\\_varsle\\_varet/](https://web.archive.org/web/20150910055127/http://met.no/Meteorologi/A_varsle_varet/). (Hentet 22-03-2019).
- MIT News (2008). Edward Lorenz, father of chaos theory and butterfly effect, dies

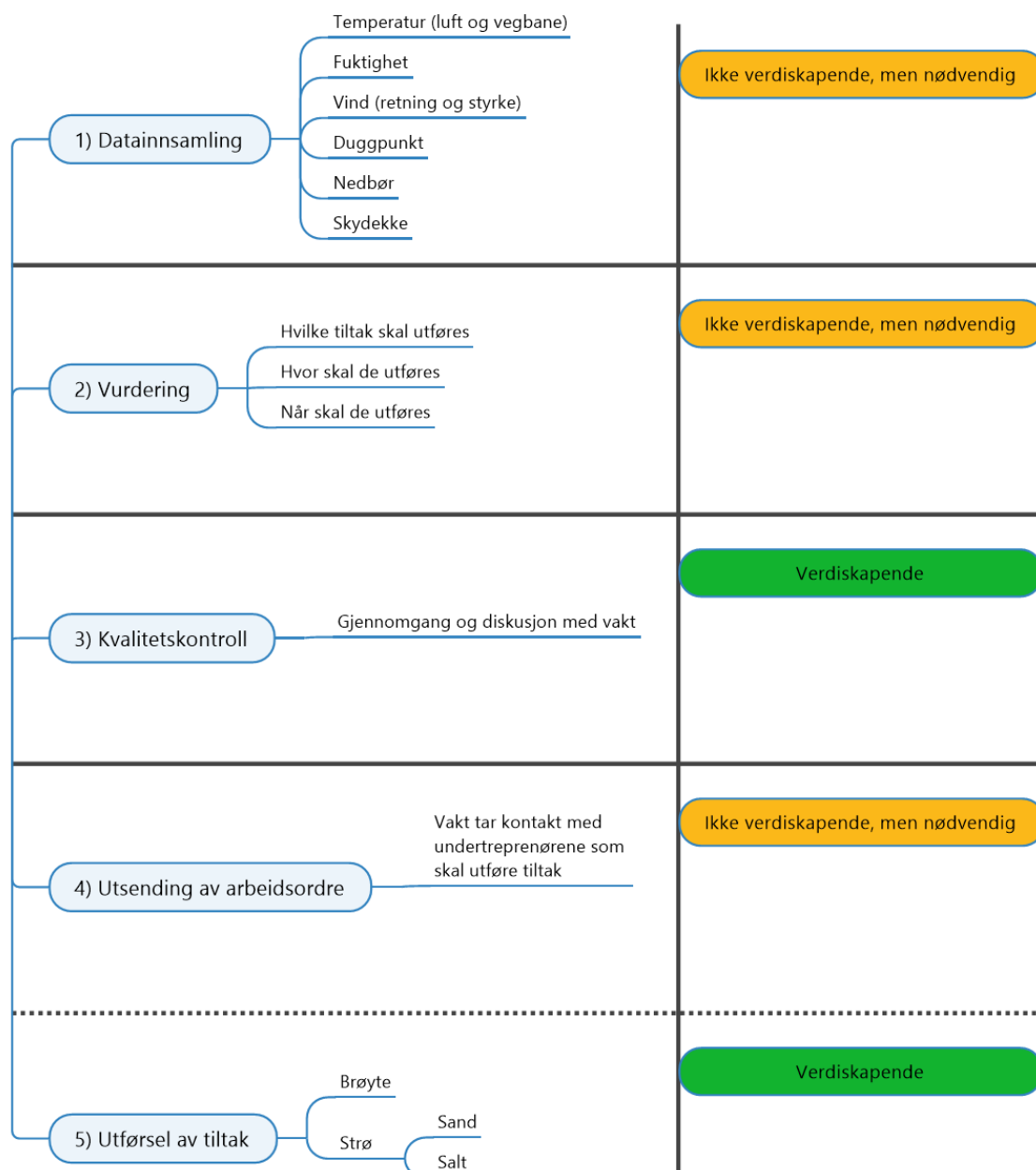
- at 90. [http://news.mit.edu/2008/obit-lorenz-0416?fbclid=IwAR0IUyYo4FrsqcD9IM79\\_vb7dlkEBUQe7i0VR2BxwszQiq7U62DykNasJ5k](http://news.mit.edu/2008/obit-lorenz-0416?fbclid=IwAR0IUyYo4FrsqcD9IM79_vb7dlkEBUQe7i0VR2BxwszQiq7U62DykNasJ5k). Hentet 03-04-2019.
- MIT Technological Review (2011). When the butterfly effect took flight. <https://www.technologyreview.com/s/422809/when-the-butterfly-effect-took-flight/>. Hentet 03-04-2019.
- Nasjonal Digital Læringsarena (2017). Markedsinformasjonssystemet - mis. <https://ndla.no/subjects/subject:7/topic:1:183191/topic:1:105795/resource:1:93370>. (Hentet 24-03-2019).
- Nicholas, J. (2011). *Lean Production For Competitive Advantage: A Comprehensive Guide to Lean Methodologies and Management Practices*. CRC Press, is an imprint of the Taylor & Francis Group an informa business.
- Postgård, U. and Lindqvist, S. (2001). Air and road surface temperature variations during weather change. *Meteorological Applications*, 8(1):77–84.
- Rolstadås, A., Olsson, N., Johansen, A., and Langlo, J. A. (2014). *Praktisk Prosjektledelse - Fra idé til gevinst*. Fagbokforlaget.
- Sabbaghi, A. and Vaidyanathan, G. (2004). Swot analysis and theory of constraint in information technology projects. *Information Systems Education Journal*, 2(23).
- Sass, B. H. (1992). A numerical model for prediction of road temperature and ice. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 31(12):1499–1506.
- Shao, J. (1998). Improving nowcasts of road surface temperature by a backpropagation neural network. *Weather and Forecasting*, 13(1):164–171.
- Shao, J. and Lister, P. (1996). An automated nowcasting model of road surface temperature and state for winter maintenance. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 35(8):1352–1361.
- Singh, S. (2018). Top 7 major differences between a cloud server and dedicated server. <https://www.updatedreviews.in/blog/item/230-top-7-major-differences-between-a-cloud-server-and-dedicated-server>. (Hentet 29-04-2019).
- Statens vegvesen (2014a). D2-id9300a bruk av salt. [https://www.vegvesen.no/s/anbud/dkmal2014/xxxx-D2-ID9300a-Bruk\\_av\\_salt-20130701.pdf](https://www.vegvesen.no/s/anbud/dkmal2014/xxxx-D2-ID9300a-Bruk_av_salt-20130701.pdf).
- Statens vegvesen (2014b). Håndbok r610 standard for drift og vedlikehold av riksveger. [https://www.vegvesen.no/\\_attachment/61430/binary/964067](https://www.vegvesen.no/_attachment/61430/binary/964067).
- Statens vegvesen (2014c). Vegvær. <https://www.vegvesen.no/Fag/Trafikk/Vaerdata/vegv%C3%A6r>. (Hentet 25-04-2019).
- Statens vegvesen (2014d). Vær på veg 2014. [https://www.vegvesen.no/\\_attachment/704482/binary/989186?fast\\_title=1+V%C3%A6r+pa+veg%2C+status+i+prosjektet.pdf](https://www.vegvesen.no/_attachment/704482/binary/989186?fast_title=1+V%C3%A6r+pa+veg%2C+status+i+prosjektet.pdf). (Hentet 09-05-2019).
- Statens vegvesen (2015a). Håndbok r613 værstasjoner. [https://www.vegvesen.no/\\_attachment/69919/binary/1124382](https://www.vegvesen.no/_attachment/69919/binary/1124382).
- Statens vegvesen (2015b). Lærebok - drift og vedlikehold av vegger. [https://www.vegvesen.no/\\_attachment/290248/binary/1050355?fast\\_title=L%C3%A6rebok+Drift+og+vedlikehold+av+veger.pdf](https://www.vegvesen.no/_attachment/290248/binary/1050355?fast_title=L%C3%A6rebok+Drift+og+vedlikehold+av+veger.pdf).

- Statens vegvesen (2015c). Tester biler som rapporterer føreforhold i oslo. <https://www.vegvesen.no/om+statens+vegvesen/presse/nyheter/nasjonalt/tester-biler-som-rapporterer-f%C3%B8reforhold-i-oslo>. (Hentet 11-05-2019).
- Statens vegvesen (2018a). Driftskontrakter. <https://www.vegvesen.no/fag/veg+og+gate/drift+og+vedlikehold/Driftskontrakter>. (Hentet 27-03-2019).
- Statens vegvesen (2018b). Hvilke veger salter vi? <https://www.vegvesen.no/fag/veg+og+gate/drift+og+vedlikehold/Vinterdrift/salting/sporsmal-og-svar/hvilke-veger/hvilke-veger-salter-vi>. (Hentet 19-05-2019).
- Statens vegvesen (2018c). Om statens vegvesen. <https://www.vegvesen.no/om+statens+vegvesen/om+organisasjonen/om-statens-vegvesen>. (Hentet 03-05-2019).
- Statens vegvesen (2018d). Opplæring i vinterdrift for operatører: Driftskontrakter med oppstart 2018. [https://www.vegvesen.no/Fag/Publikasjoner/Publikasjoner/Statens+vegvesens+rapporter/\\_attachment/499619?\\_ts=13fe16516d0&fast\\_title=SVV+rapport+229.pdf](https://www.vegvesen.no/Fag/Publikasjoner/Publikasjoner/Statens+vegvesens+rapporter/_attachment/499619?_ts=13fe16516d0&fast_title=SVV+rapport+229.pdf). (Hentet 27-03-2019).
- Statens vegvesen (2018e). Vinter på veiene. <https://www.vegvesen.no/trafikkinformasjon/reiseinformasjon/vinter-pa-vegene>. (Hentet 27-03-2019).
- Statens vegvesen (2018f). Vinterdrift. <https://www.vegvesen.no/fag/veg+og+gate/drift+og+vedlikehold/Vinterdrift>. (Hentet 27-03-2019).
- Statens vegvesen (2018g). Værstasjoner og meteorologiske data. <https://www.vegvesen.no/fag/teknologi/vegteknologi/Tilstandsregistrering-pa-veg/varstasjoner-og-meteorologiske-data>. (Hentet 12-04-2019).
- Statens vegvesen (2019). Driftskontrakter veg. <http://vegvesen.maps.arcgis.com/apps/SimpleViewer/index.html?appid=f25e30debb814893aa314e57a9891900>.
- Statistisk sentralbyrå (2018). Økte kostnader for vinterdrift av veger i 2017. <https://www.ssb.no/priser-og-prisindekser/artikler-og-publikasjoner/okte-kostnader-for-vinterdrift-av-veger-i-2017>. (Hentet 27-03-2019).
- Store norske leksikon (2017). Nevralt nettverk. [https://snl.no/nevralt\\_nettnetk](https://snl.no/nevralt_nettnetk). (Hentet 23-04-2019).
- Store norske leksikon (2019). Maskinlæring. <https://snl.no/maskinlaering>. (Hentet 26-04-2019).
- Technopedia (2019). What is system integration (si)? <https://www.techopedia.com/definition/9614/system-integration-si>. (Hentet 19-03-2019).
- Trenouth, W. R., Gharabaghi, B., and Perera, N. (2015). Road salt application planning tool for winter de-icing operations. *Journal of Hydrology*, 524(5):401–410.
- Vaa, T. and Sakshaug, K. (2017). Salting av veger: En kunnskapsoversikt. *Vegdirektoratet Teknologivdelingen*, 1(2493).
- Vegnett (2016a). Disse bilene sladrer om hvor det er så glatt at du sladder. <https://vegnett.no/2016/05/disse-bilene-sladrer-om-hvor-det-er-sa-glatt-at-du-sladder/>. (Hentet 09-05-2019).
- Vegnett (2016b). Kan sjekke temperaturen i vegbanen og føreforhold over hele landet. <https://vegnett.no/2016/03/kan-sjekke-temperaturen-i-vegbanen-og-foreforhold-over-hele-landet/>. (Hentet 25-04-2019).

- Veidekke ASA (2018). Fakta om veidekke - om oss - veidekke i norge. <http://veidekke.no/om-oss/article8949.ece>. (Hentet 03-05-2019).
- Winston, W. L. and Albright, S. C. (2015). *Practical Management Science, Fifth Edition*. Cengage Learning.
- Yr.no (2010). Myte eller sannhet om høytrykk. <https://www.yr.no/artikkel/myte-eller-sannhet-om-hoytrykk-1.7071525>. (Hentet 15-04-2019).
- Yr.no (2017a). 10-åring med 10 millioner brukere. <https://www.yr.no/artikkel/10-arang-med-10-millioner-brukere-1.13692781>. (Hentet 24-04-2019).
- Yr.no (2017b). Historikk om yr. <https://hjelp.yr.no/hc/no/articles/360007743413-Historikk-om-Yr>. (Hentet 24-04-2019).
- Yr.no (2019). Om yr. <https://hjelp.yr.no/hc/no/articles/206550539-Fakta-om-Yr>. (Hentet 17-05-2019).

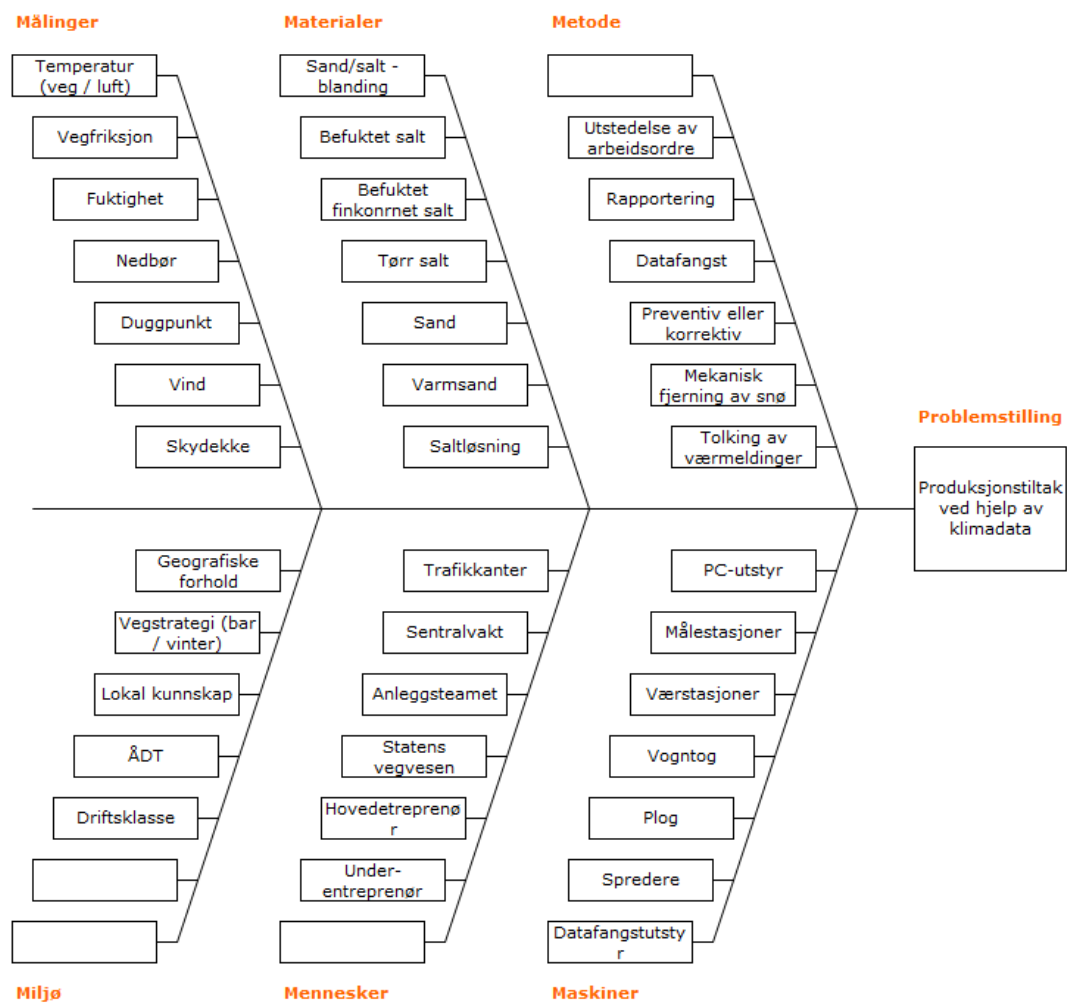
## 7 Vedlegg

### 7.1 Verdistrømanalyse



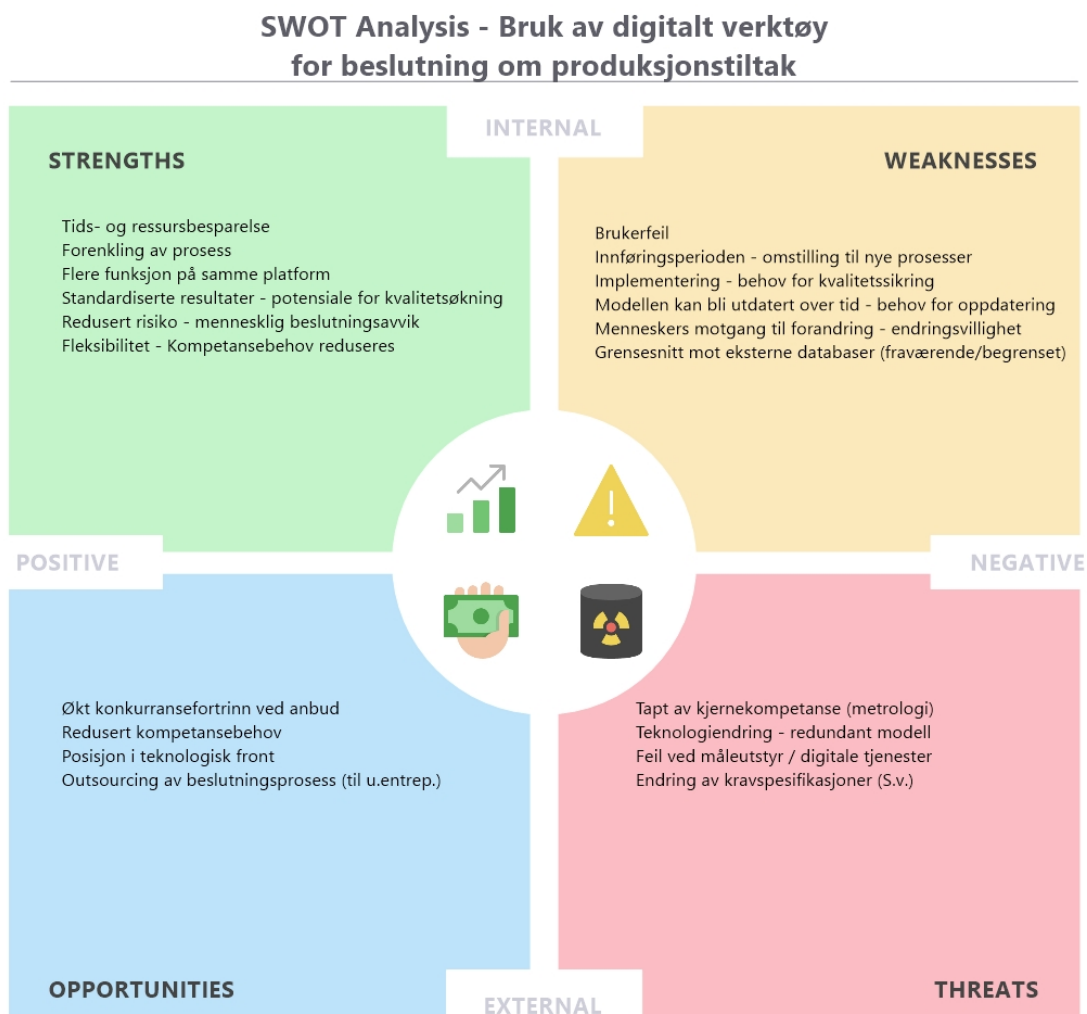
Figur 7.1: Verdistrømanalyse - MindManager 2019

## 7.2 Fiskebeinsdiagram



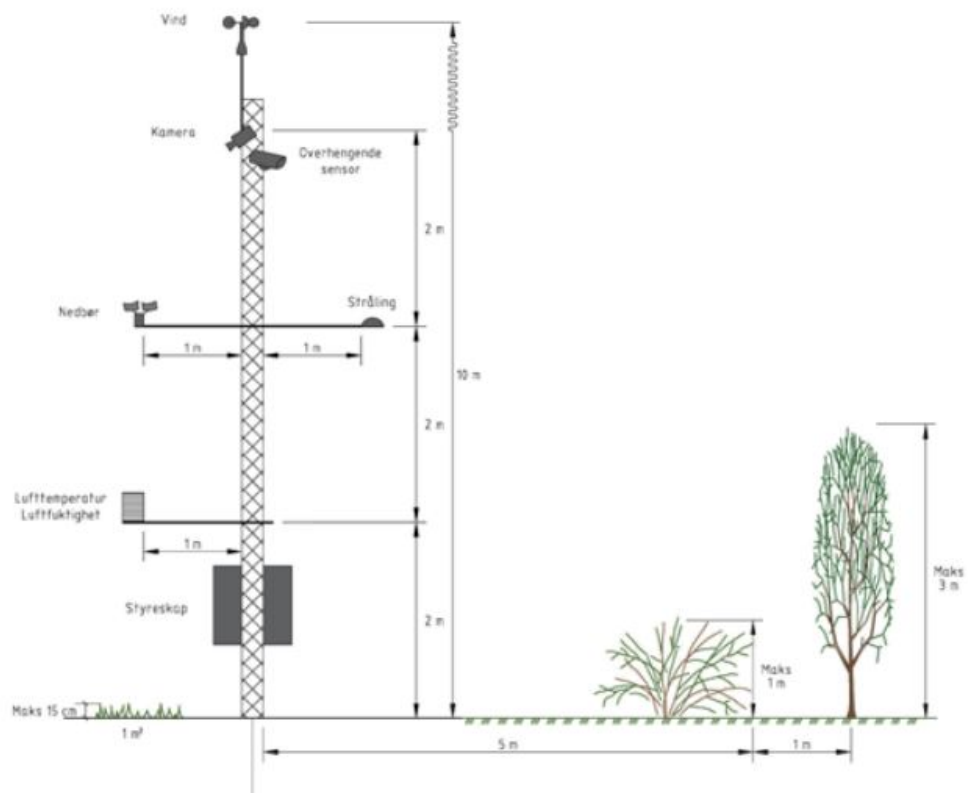
Figur 7.2: Fiskebeinsdiagram

## 7.3 SWOT analyse



**Figur 7.3:** SWOT Analyse - MindManager 2019

## 7.4 Statens vegvesen værstasjon



**Figur 7.4:** Værstasjon - Statens vegvesen



## 7.5 Icebreak modellen

Energibevaringsprinsippet for vegbaneoverflate.

$$R_N + LE + H + S = 0 \quad (1)$$

$R_N =$  Netto stråling

$LE$  og  $H =$  Latent og følbar termisk fluks

$S =$  Overfaltens termisk fluks

Netto stråling ( $R_N$ ) består av kortbølget ( $Q + q$ ) og langbølget stråling ( $\sigma T_{luft}^4 - \sigma T_{vb}^4$ )...

$$R_N = (1 - \alpha)(Q + q) + \sigma T_{luft}^4 - \sigma T_{vb}^4 \quad (2)$$

$\alpha =$  albedoeffekt (refleksjonsevnen til vegbane)

$(Q + q) =$  Direkte og diffuse solstråling

$\sigma =$  Stefan – Boltzmann konstant

$T_{luft} =$  Lufttemperatur

$T_{vb} =$  Vegbane temperatur

Direkte solstråling ( $Q$ ) består av...

$$Q = \frac{2 \cdot 10^3}{R^2} \cos(z) \Psi \quad (3)$$

$$\cos(z) = \sin(L) \sin(d) + \cos(L) \cos(d) \cos(\omega) \quad (4)$$

$$\Psi = \exp \left[ -0,089 * \left( \frac{Pm}{1013,0} \right)^{0,75} - 0,174 * \left( \frac{wm}{20} \right)^{0,6} - 0,083 * (Dm)^{0,9} \right] \quad (5)$$

$$m = \left| \frac{1,0}{\cos(z)} \right| \left( \frac{P}{1013,0} \right) \quad (6)$$

$L =$  geografisk breddegrad

$d =$  breddegrad i himmelkoordinater (deklinasjonsvinkel)

$\omega =$  timevinkel

$w =$  nedbør (mm)

$D =$  støvpartikler (cc)

Diffuse solstråling ( $q$ ) består av...

$$q = 0,5 * \left( 2 * \frac{10^3}{R^2} \right) \cos(z) (1 - \exp(0,083(Dm)^{0,9})) \quad (7)$$

Netto langbølget stråling består av stråling opp fra bakken ( $L \downarrow$ ) og atmosfærisk motstråling ( $L \uparrow$ )

$$L \downarrow = \sigma T_{luft}^4 \quad (8)$$

$$L \uparrow = \sigma T_{vb}^4 \quad (9)$$

Beregning av latent og følbar termisk fluks består av...

$$LE = LK[q_2 - q_0] \quad (10)$$

$$H = CK[T_2 - \Gamma Z_2 - T_0] \quad (11)$$

$$K = (k^2 U_2 \rho) [\ln(Z_2/Z_0)]^2 \quad (12)$$

$C$  = varmekapasitet til luft

$L$  = latent varme av kondens

$q$  = relativ luftfuktighet

$\rho$  = atmosfærisk trykk

$k$  = Von Karman konstant

$U_2$  = 'glattheten' til overflaten

$Z_2$  og  $Z_0$  = maksimal og gjennomsnittlig vindstyrke

$$S = K_s / (Z_s/2) [T_h - T_0] \quad (13)$$

$K_s$  = Termisk ledningsevne

Vegbanetemperatur med innsatte for  $R_N$ ,  $LE$ ,  $H$  og  $S$  i ligning (1) (14)

$$(1 - \alpha)(Q + q) + \sigma T_{luft}^4 - \varepsilon \sigma T_{vb}^4 + \frac{\rho k U_2}{[\ln(Z_2/Z_0)]^2} \left\{ C [T_2 - \Gamma Z_2 - T_0] + L \left[ q_2 - \frac{X_\omega}{L} f(T_0) \right] \right\} + \frac{K_s}{(Z_s/2)} [T_h - T_0] = 0$$

**Figur 7.5:** Icebreak modellen - (Feng and Feng, 2012)

## 7.6 Telefonintervju med anleggsleder, Indre Namdal

### Telefonintervju mellom bachelorgruppen og anleggsleder ved Indre Namdal, 01.04.19

Indre Namdal kontrakten:

- Driftskontraktene er ikke standardisert og kan være ulike fra region til region.
- 75 mil, med to fjelloverganger
- 15 underentreprenører (noen med ansvar for flere roder)
  - 12 ansatte fra Veidekke i driftskontrakten.
  - Ca. 40 operatører fra underentreprenørene ifm vintervedlikehold. Altså ca. 50 personer inngår i driften.
- Omfattes av 'strategi vinterveg' (S.v.) – Saltes sjeldent, sand brukes. Salt primært brukt vær overgangsperioder. Saltbeslutning tas av driftsleder/anleggsleder/vakt.
- Ingen krav til å dokumentere beslutning for tiltak (kan være mer vanlig ved 'saltkontrakter')
- Gjelder fra 1. okt til 1. mai.
- Foretrekker Yr.no framfor Halo for væremeldinger.

Proessen:

- Ved starten av hver uke kontrolleres væremelding fra Yr.no med 3-dagers varsel og så med ukes varsel. Deretter kontaktes 'vakta' for gjennomgang/diskusjon av vær-situasjonen. 'Vakta' tar videre kontakt (telefon eller melding) med underentreprenørene for videre planlegging.
- Væremelding kontrolleres deretter daglig.
- Mot helgen gjøres det en situasjonsanalyse for værhendelser og helgetiltak vurderes. 'Vakta' tar videre kontakt (telefon eller melding) med underentreprenørene for videre planlegging.
- Veidekke sine ansatte utfører stadig friksjonsmålinger på kontraktens vegger.
- Indre Namdal kontrakten har ingen formell forpliktelse om frekvensen for kontroller av væremeldinger.
- Underentreprenørene er autonome når det gjelder brøyting. Brøyting utføres når det snør og fortsetter til værhendelsen er over. De samarbeider likevel med 'vakta'.
- Vakta er bemannet døgnet rundt. (24/7).

Utstyr

- Plogbredde spesifisert i kontrakten (underentreprenør kan fritt velge plog med rett dimensjon).
- Kontrakten krever et bestemt antall tallerkenspredere.
- Har tilgang til 5 værstasjoner i regionen. Tilgang via Veivær applikasjonen.
  - Gir nyttig informasjon som for eksempel duggpunkt, veitemperatur og vindretning og -styrke.
  - Tilbakemelding fra underentreprenører antyder på at applikasjonen ikke er perfekt. Få stasjoner og gir til tider utdatert informasjon. Fremdeles et nyttig verktøy.
- Friksjon måles ved hjelp av ekstraputstyr tilkoblet kjøretøy. Driftsklassen avgjøre friksjonkravet.

Vesentlig variabler for produksjonstiltak

- Vind er spesielt viktig pga. regionale geografiske forhold. Stekt vind har sammenheng med mengde nedbør som legger seg på vegbanen.
- Andre inkluderer: ÅDT, luftfuktighet, luft og vegbane temperatur, duggpunkt, friksjonskoeffisient.

Metoder

- For sanding brukes ofte 'varmsand' som består av sand blandet med vann ved 95°. Denne vil limes til issåle. Varer opp til to døgn. Best effekt mellom -5° og -15°.
- Tørssand tilsatt salt har varighet mellom 4-6 timer avhengig av vegens ÅDT.
- Underentreprenørene står fritt til å velge strømetode som tilsvarer værhendelsen. De velger den metoden som gir det beste tiltaket ut ifra værhendelse. Tilsvarende metode er vanligvis den Statens vegvesen foretrekker.
- Det er ingen krav om friksjon ved værhendelse som snøfall.
- Datafangst med Zeekit elektronisk kjørebok. Rapporteres inn til Statens vegvesen.

Generelt

- Statens vegvesen setter mer fokus for friksjonskoeffisient på vegbane. Pilotprosjekt med friksjonsmåler på brøytebiler gjennomføres med Finske målere. Anleggsleder mener det vil satt mer fokus på slike målinger i nærmeste framtid.

**Figur 7.6:** Verifisert telefonintervju med anleggsleder

## 7.7 Salttabeller for DkA

	Før snøvær	Før snøvær	Snøvær	Etter snøvær
<b>Vegbaneforhold</b>	Tørr eller fuktig	Våt		
<b>Saltløsning - utlagt væske g/m<sup>2</sup> <sup>(1)</sup></b>	40			
<b>Befuktet salt/slurry g/m<sup>2</sup></b>	(15)	20		
<b>Tørt salt</b>			5	10

Figur 7.7: Salttabell for anti-kompaktering DkA

<b>Vegbaneforhold</b>	Tynne isdekker og rimfrost	Tykke snø- og isdekker
<b>Saltløsning - utlagt væske g/m<sup>2</sup> <sup>(1)</sup></b>		
over -3 °C.	20	
-3 °C - -6 °C.	40	
-6 °C - -12 °C.	60	
under -12 °C <sup>(2)</sup>	(60)	
<b>Befuktet salt/slurry g/m<sup>2</sup></b>		
over -3 °C.	5	10
-3 °C - -6 °C.	10	20
-6 °C - -12 °C.	20	40
under -12 °C <sup>(2)</sup>	(30)	(40)
<b>Tørt salt g/m<sup>2</sup></b>		
over -3 °C.	(5)	(10)
-3 °C - -6 °C.	(10)	(20)
-6 °C - -12 °C.	(20)	(40)
under -12 °C <sup>(2)</sup>	(30)	(40)

Figur 7.8: Salttabell for de-ising DkA

## 7.8 Spørring VBA-kode

```

Sub Spørring()
'
' Macro11 Macro
Dim navn As String
Dim Postnummer As String
Dim x As Integer
Dim i As Integer
x = 2
i = 0

Dim j As Integer
If Worksheets("kalkulasjoner").Range("p2").Value = "i dag" Then
j = 0
Else: j = 1
End If

Dim y As Integer
y = Worksheets("main").Cells(2, 7).Value

Do While i < y
navn = Worksheets("main").Cells(6 + x, 3).Value
Postnummer = Worksheets("main").Cells(6 + x, 6).Value

ActiveWorkbook.Queries.Add Name:=navn, Formula:= _
"let" & Chr(13) & "" & Chr(10) & " Source = Web.Page(Web.Contents("https://www.yr.no/sted/Norge/Postnummer/" &
Postnummer & "/time_for_time_detaljert.html")), & Chr(13) & "" & Chr(10) & " Data0 = Source[" & j & "][Data], & Chr(13) & "" &
Chr(10) & " #""Changed Type"" = Table.TransformColumnTypes(Data0,{{""Tidsp."" , type text}, {""Vær"" , type text}, {""Temp."" , type text},
{""Nedbør"" , type text}, {""Vind"" , type text}, {""Trykk"" , type text}, {""Luft-fukt."" &
, Percentage.Type}, {""Dugg-punkt"" , type text}, {""Skydekke Samlet"" , Percentage.Type}, {""Skydekke Tåke"" , Percentage.Type},
{""Skydekke Lave skyer"" , Percentage.Type}, {""Skydekke Mellomh. skyer"" , Percentage.Type}, {""Skydekke Høye skyer"" ,
Percentage.Type}}), & Chr(13) & "" & Chr(10) & " #""Replaced Value"" = Table.ReplaceValue(#""Changed
Type"" , """" , """" , Replacer.ReplaceText, {""Tids" &
"p."" , ""Temp."" , ""Dugg-punkt""}), & Chr(13) & "" & Chr(10) & " #""Split Column by Delimiter"" = Table.SplitColumn(#""Replaced
Value"" , ""Nedbør"" , Splitter.SplitTextByDelimiter(""-"" , QuoteStyle.Csv), {""Nedbør.1"" , ""Nedbør.2""}), & Chr(13) & "" & Chr(10) & "
#""Changed Type1"" = Table.TransformColumnTypes(#""Split Column by Delimiter"" , {""Nedbør.1"" , type number}, {""Nedbør.2"" , type
text}), & Chr(13) & "" & Chr(10) & " #""Replaced" &
" Value1"" = Table.ReplaceValue(#""Changed Type1"" , ""mm"" , """" , Replacer.ReplaceText, {""Nedbør.2""}), & Chr(13) & "" & Chr(10) &
" #""Replaced Value2"" = Table.ReplaceValue(#""Replaced Value1"" , "" "" , """" , Replacer.ReplaceText, {""Nedbør.2""})" & Chr(13) & "" &
Chr(10) & "in" & Chr(13) & "" & Chr(10) & " #""Replaced Value2""
ActiveWorkbook.Worksheets.Add
ActiveSheet.Name = navn
With ActiveSheet.ListObjects.Add(SourceType:=0, Source:= _
"OLEDB;Provider=Microsoft.Mashup.OleDb.1;Data Source=$Workbook$;Location="" & navn & "";Extended Properties="" "" _
, Destination:=Range("$A$1")).QueryTable
.CommandType = xlCmdSql
.CommandText = Array("SELECT * FROM [" & navn & ".j")
.RowNumbers = False
.FillAdjacentFormulas = False
.PreserveFormatting = True
.RefreshOnFileOpen = False
.BackgroundQuery = True
.RefreshStyle = xlInsertDeleteCells
.SavePassword = False
.SaveData = True
.AdjustColumnWidth = True
.RefreshPeriod = 0
.PreserveColumnInfo = True
'.ListObject.DisplayName = navn
.Refresh BackgroundQuery:=False
ActiveWorkbook.Queries(navn).Delete
x = x + 2

```

```

i = i + 1

End With
Loop
x = 2
i = 0
Do While (i < y And j = 0)
navn = Worksheets("main").Cells(6 + x, 3).Value
Postnummer = Worksheets("main").Cells(6 + x, 6).Value

ActiveWorkbook.Queries.Add Name:=navn, Formula:= _
    "let" & Chr(13) & "" & Chr(10) & " Source = Web.Page(Web.Contents("https://www.yr.no/sted/Norge/Postnummer/" &
Postnummer & "/almanakk.html")),," & Chr(13) & "" & Chr(10) & " Data0 = Source[0][Data]," & Chr(13) & "" & Chr(10) & " #""Changed
Type"" = Table.TransformColumnTypes(Data0,{{""Tidsp."" , type text}, {""Vær"" , type text}, {""Temperatur Målt"" , type text}, {""Temperatur
Maks"" , type text}, {""Temperatur Min"" , type text}, {""Nedbør"" , type text}, " & _
    "{""Vind Middel"" , type text}, {""Vind Kraftigste vindkast"" , type text}, {""Luftfuktighet"" , Percentage.Type}})," & Chr(13) & "" & Chr(10)
& " #""Split Column by Position"" = Table.SplitColumn(#""Changed Type"" , ""Tidsp."" , Splitter.SplitTextByPositions({0, 5}, true),
{""Tidsp..1"" , ""Tidsp..2""}," & Chr(13) & "" & Chr(10) & " #""Changed Type1"" = Table.TransformColumnTypes(#""Split Column by
Position"" , {{""Tidsp." & _
    ".1"" , type text}, {""Tidsp..2"" , type text}})," & Chr(13) & "" & Chr(10) & " #""Replaced Value"" = Table.ReplaceValue(#""Changed
Type1"" , ""g"" , """" , Replacer.ReplaceText, {""Tidsp..2""}," & Chr(13) & "" & Chr(10) & " #""Removed Columns"" =
Table.RemoveColumns(#""Replaced Value"" , {""Tidsp..1"" , ""Temperatur Maks"" , ""Temperatur Min""}," & Chr(13) & "" & Chr(10) & "
#""Replaced Value1"" = Table.ReplaceValue(#""Removed Columns"" , ""mm"" , """" , R" & _
    "eplacer.ReplaceText, {""Nedbør""}," & Chr(13) & "" & Chr(10) & " #""Replaced Value2"" = Table.ReplaceValue(#""Replaced
Value1"" , ""e"" , """" , Replacer.ReplaceText, {""Temperatur Målt""}," & Chr(13) & "" & Chr(10) & " #""Replaced Value3"" =
Table.ReplaceValue(#""Replaced Value2"" , "" "" , """" , Replacer.ReplaceText, {""Nedbør""}," & Chr(13) & "" & Chr(10) & " #""Duplicated
Column"" = Table.DuplicateColumn(#""Replaced Value3"" , ""Nedbør"" , ""Nedbør" & _
    "- Copy"")," & Chr(13) & "" & Chr(10) & " #""Reordered Columns"" = Table.ReorderColumns(#""Duplicated Column"" , {""Tidsp..2"" ,
""Vær"" , ""Temperatur Målt"" , ""Nedbør"" , ""Nedbør - Copy"" , ""Vind Middel"" , ""Vind Kraftigste vindkast"" , ""Luftfuktighet""}) & Chr(13)
& "" & Chr(10) & "in" & Chr(13) & "" & Chr(10) & " #""Reordered Columns""

ActiveWorkbook.Worksheets.Add
ActiveSheet.Name = "T" & navn
With ActiveSheet.ListObjects.Add(SourceType:=0, Source:=Array( _
    "OLEDB;Provider=Microsoft.Mashup.OleDb.1;Data Source=$Workbook$;Location="" & navn & """";Extend" _
    , "ed Properties=""""""), Destination:=Range("$A$1")).QueryTable
.CommandType = xlCmdSql
.CommandText = Array("SELECT * FROM [" & navn & "]")
.RowNumbers = False
.FillAdjacentFormulas = False
.PreserveFormatting = True
.RefreshOnFileOpen = False
.BackgroundQuery = True
.RefreshStyle = xlInsertDeleteCells
.SavePassword = False
.SaveData = True
.AdjustColumnWidth = True
.RefreshPeriod = 0
.PreserveColumnInfo = True
'.ListObject.DisplayName = navn
.Refresh BackgroundQuery:=False
ActiveWorkbook.Queries(navn).Delete
x = x + 2
i = i + 1
End With
Loop
End Sub

```

**Figur 7.9:** Spørring VBA-kode

## 7.9 Døgntilpasset cosinusdiagram

Klokke	Grader	Radian	cos(rad)	Grader tilpasset	cos(rad) tilpasset
0	0	0.00	1.00	105	-0.26
1	15	0.26	0.97	120	-0.50
2	30	0.52	0.87	135	-0.71
3	45	0.79	0.71	150	-0.87
4	60	1.05	0.50	165	-0.97
5	75	1.31	0.26	180	-1.00
6	90	1.57	0.00	195	-0.97
7	105	1.83	-0.26	210	-0.87
8	120	2.09	-0.50	225	-0.71
9	135	2.36	-0.71	240	-0.50
10	150	2.62	-0.87	255	-0.26
11	165	2.88	-0.97	270	0.00
12	180	3.14	-1.00	285	0.26
13	195	3.40	-0.97	300	0.50
14	210	3.67	-0.87	315	0.71
15	225	3.93	-0.71	330	0.87
16	240	4.19	-0.50	345	0.97
17	255	4.45	-0.26	360	1.00
18	270	4.71	0.00	375	0.97
19	285	4.97	0.26	390	0.87
20	300	5.24	0.50	405	0.71
21	315	5.50	0.71	420	0.50
22	330	5.76	0.87	435	0.26
23	345	6.02	0.97	450	0.00
24	360	6.28	1.00	465	-0.26

Figur 7.10: Døgntilpasset cosinusdiagram for 24 timer

## 7.10 Outlook VBA-kode

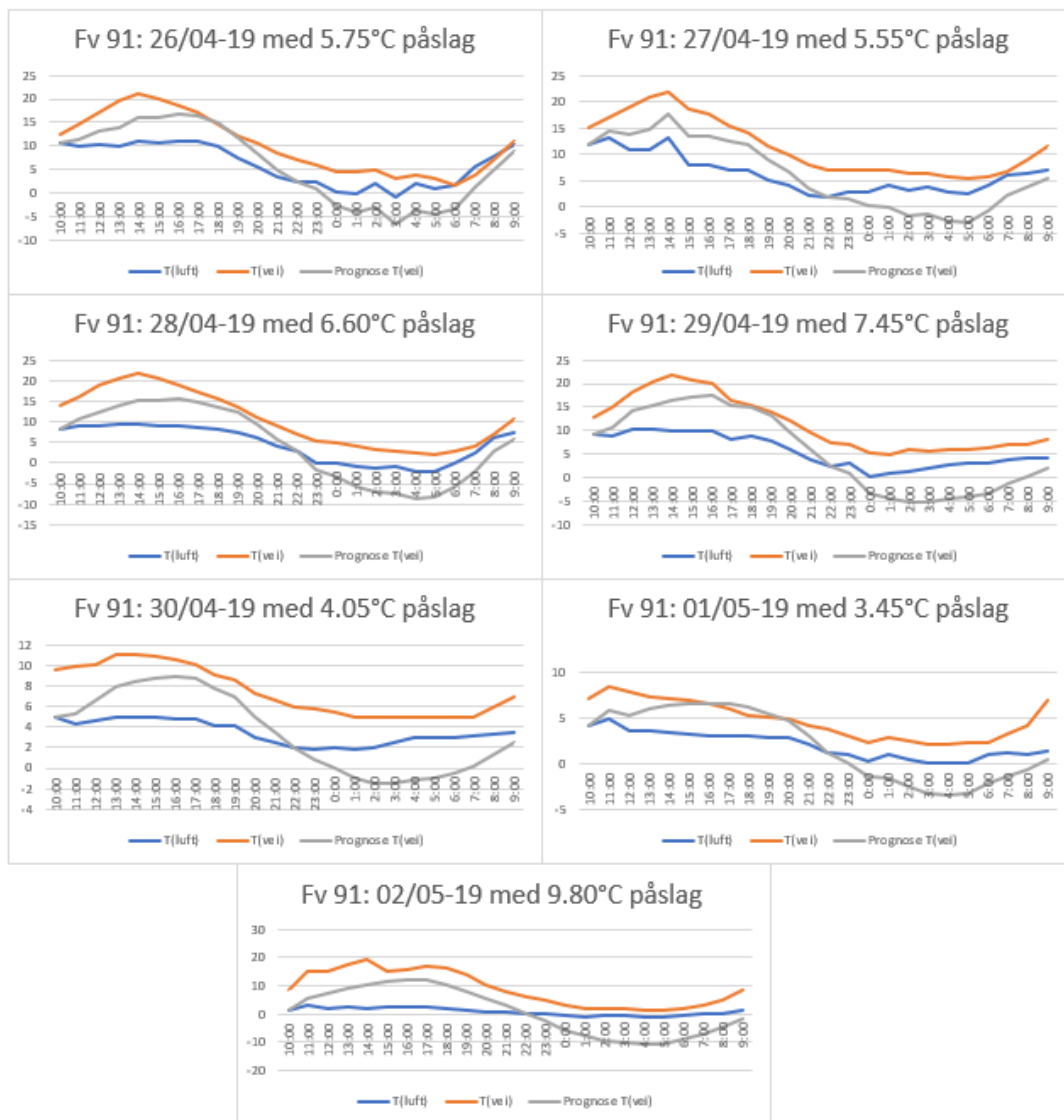
---

```
Sub outlook()  
'  
' Outlook Macro  
'  
'  
Dim outlook As Object  
Dim newEmail As Object  
Dim xInspect As Object  
Dim pageEditor As Object  
  
Set outlook = CreateObject("Outlook.Application")  
Set newEmail = outlook.CreateItem(0)  
  
With newEmail  
    .To = Sheets("rapport").Range("A2")  
    .CC = ""  
    .BCC = ""  
    .Subject = "Rapport for tiltak"  
    .Body = ""  
    .display  
  
    Set xInspect = newEmail.GetInspector  
    Set pageEditor = xInspect.WordEditor  
  
    Sheets("rapport").Range("K2:S45").Copy  
  
    pageEditor.Application.Selection.Start = Len(.Body)  
    pageEditor.Application.Selection.End = pageEditor.Application.Selection.Start  
    pageEditor.Application.Selection.PasteAndFormat (wdFormatPlainText)  
    .display  
    Set pageEditor = Nothing  
    Set xInspect = Nothing  
End With  
  
Set newEmail = Nothing  
Set outlook = Nothing  
  
End Sub
```

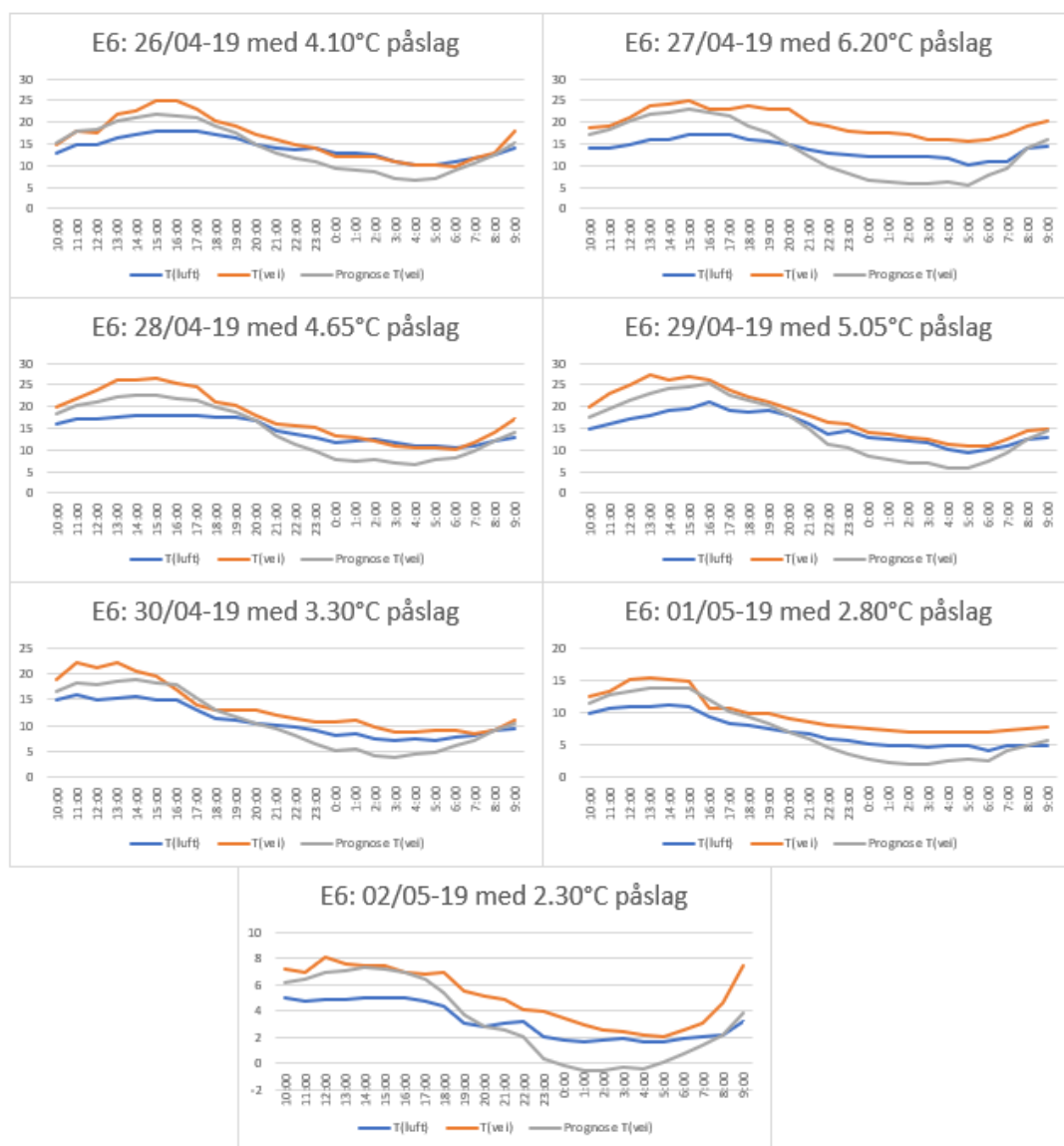
**Figur 7.11:** Outlook VBA-kode



## 7.11 Diagrammer fra vegbanetemperatur prognosemodell



Figur 7.12: Vegbanetemperatur prognosemodell Fv 91 Breivikeidet



**Figur 7.13:** Vegbanetemperatur prognosemodell E6 Malvik



**Figur 7.14:** Vegbanetemperatur prognosemodell Rv 9 Dalehefte

## **7.12 Populærvitenskapelig artikkel**



## Planlegge vinterdrift uten å planlegge?

### VISSTE DU AT ?

## Kan robot ta over planlegging av vinterdrift?

Oppgaven konkluderer med at modellen er en foreløpig suksess, men at det trengs videre utvikling innen vinterdrifts viktigste variabel, nemlig vegbanetemperatur. Den dagen det finnes en tilgjengelig og fullverdig prognosemodell for vegbanetemperatur tror prosjektgruppen at det lar seg utvikle en modell som klarer å ta over oppgavene til vinterdriftsplanleggeren.

Uansett er det flere av modulene i modellen som kan tas i bruk i dag.

Ardian og Thomas har utviklet en modell som kan forenkler og automatiserer flere av dagen prosesser for Veidekke sine vinterdriftsplanleggere.

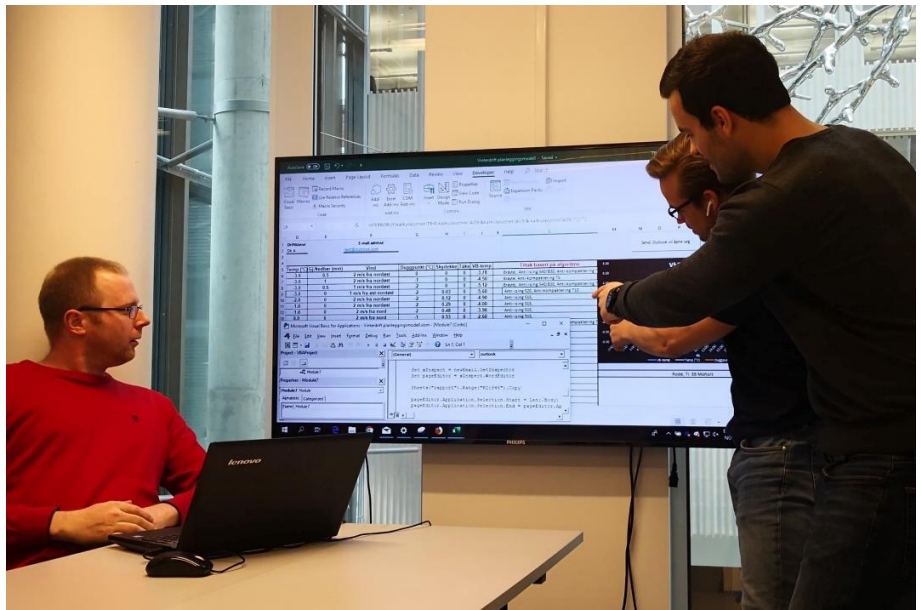
Modellen innsamler værdata fra norske databaser og gir brøyte- og saltetiltak i henhold til krav fra Statens vegvesen. Alt dette med en algoritme.

### Resultater

Modellen klarer å innhente 30 unike værmelding fra Yr.no på under 1. minutt. Ikke nok med det, modellen flytter arbeidsordre automatisk over til Outlook for videre utsending til underentreprenørene.

- Årlig brukes ca. 2.2 milliarder kroner på å sikre Europa-, riks- og fylkesveger for norsk vinter!
- Vinteren 2017/18 ble det brukt ca. 330 000 tonn salt og 870 000 tonn sand på riks- og fylkesvegnettet som er 57 000 km langt.
- Nye teknologier er i dag under testing. Det testes nye systemer på 500 Volvo biler, der private biler laster opp løpende data om vær- og føreforhold på vegbanen i Oslo. Vil slike systemer godkjennes av Statens vegvesen i fremtiden? I så fall vil vinterdrift gjennomføres med en mer sanntids tilnærming.
- Eller er det kanskje kunstig intelligens som skal gjennomføre norsk vinterdrift i fremtiden?

## Modelltesting



*Sett fra venstre - Thomas, Elias (testkanin for modellen) og Ardian*

For å realisere drømmen om å inngravere modellen hos Veidekke Industri AS må den igjennom en kvalitetssjekk hos andre enn prosjektgruppen selv. Som bilde viser har vi allerede tatt en testkanin under vingene, denne kaninen har igjennom våren fått muligheten til å komme med forslag til design og utforming av modellen.