

2019:00653 - Åpen

# Rapport

## Kost som metode i vinterdrift av G/S-veger

Feltforsøk Bjorli flyplass desember 2018

### Forfatter

Hampus Karlsson



# Rapport

## Kost som metode i vinterdrift av G/S-veger

Feltforsøk Bjorli flyplass desember 2018

**EMNEORD:**Kosting  
Syklustid  
Saltbruk  
Gang- og sykkelveg  
Barmarksstandard  
GsA**VERSJON**

1.0

**DATO**

2019-06-17

**FORFATTER**

Hampus Karlsson

**OPPDRAGSGIVER**

Statens vegvesen Vegdirektoratet

**OPPDRAGSGIVERS REF.**

Katja Skille

**PROSJEKTNR**

102019148

**ANTALL SIDER OG VEDLEGG:**

35+ vedlegg

**SAMMENDRAG**

Målet med forsøket var å dokumentere under hvilke forhold kost som metode i vinterdrift av G/S-veger fungerer best. Det ble gjennomført seks forsøk med komprimert og ukomprimert saltblandet snø og tørrsnø. Hver snøtype ble testet med tre ulike kjørehastigheter; 5, 10 og 20 km/t. Resultatene viser at kost egner seg best som metode når det er små mengder snø som skal fjernes og snøen ikke har blitt komprimert på forhånd. Resultatet av de ulike hastighetene viser også at lave hastigheter gir bedre resultat.

I tillegg ble det gjennomført et syklustidsforsøk under snøvær for å se om kravet til to timers syklustid virker å være tilstrekkelig. Resultatet her viste at kosten klarte å fjerne snøen med godt resultat også etter fem timer, dersom arealet ikke blir trafikkert i mellomtiden. Det er sannsynlig at snøen hadde bundet seg til underlagt og blitt vanskeligere å fjerne dersom det i mellomtiden hadde blitt trafikkert jevnlig av gående og syklistere.

Ved å bruke de mest effektive metodene for å fjerne snøen før det saltes, viser teoretiske beregninger at saltmengden som trengs for å smelte restsnøen kan reduseres betraktelig.

**UTARBEIDET AV**

Hampus Karlsson

**SIGNATUR****KONTROLLERT AV**

Alex Klein-Paste

**SIGNATUR****GODKJENT AV**

Torun Rise

**SIGNATUR****RAPPORTNR**

2019:00653

**ISBN**

978-82-14-06360-8

**GRADERING**

Åpen

**GRADERING DENNE SIDE**

Åpen

# Historikk

---

VERSJON	DATO	VERSJONSBEKRIVELSE
0.1	2019-03-15	Utkast rapport
1.0	2019-06-17	Endelig rapport

# Innholdsfortegnelse

<b>1</b>	<b>Innledning</b> .....	<b>4</b>
1.1	Bakgrunn .....	4
1.2	Mål med rapporten.....	4
<b>2</b>	<b>Metode</b> .....	<b>5</b>
2.1	Værsituasjon .....	5
2.2	Testkost.....	6
2.3	Forsøk og testforhold.....	7
2.3.1	Syklustidforsøk.....	7
2.3.2	Mekanisk fjerning av snø .....	7
2.4	Snøkarakterisering .....	8
2.4.1	Saltblandet snø .....	8
2.4.2	Tørrsnø.....	9
2.4.3	Komprimert tørrsnø.....	9
<b>3</b>	<b>Resultater</b> .....	<b>10</b>
3.1	Syklustidforsøk.....	10
3.2	Mekanisk fjerning av snø med kost .....	12
3.2.1	Kosteforsøk 1: Saltblandet snø 7 centimeter .....	12
3.2.2	Kosteforsøk 2: Saltblandet snø 9 centimeter .....	14
3.2.3	Kosteforsøk 3: Tørrsnø .....	16
3.2.4	Kosteforsøk 4: Komprimert tørrsnø uten salt .....	19
3.2.5	Kosteforsøk 5: Komprimert tørrsnø uten salt med økt rotasjonshastighet på kost (160 l/min) .....	24
3.2.6	Kosteforsøk 6: Tørrsnø uten salt komprimert av myke trafikanter.....	25
<b>4</b>	<b>Analyse</b> .....	<b>27</b>
4.1	Ryddeeffektivitet.....	27
4.2	Saltforbruk basert på restsnomålinger .....	30
4.3	Syklustidens effekt på resultatet .....	31
4.4	Snøtype og kostens kondisjons betydning for resultatet .....	31
<b>5</b>	<b>Konklusjon</b> .....	<b>32</b>
	<b>Vegen videre</b> .....	<b>32</b>



## 1 Innledning

### 1.1 Bakgrunn

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

Grunnen til at Statens vegvesen ønsker å heve kompetansen om kosting som metode for fjerning av snø er at dette blir en stadig mer vanlig metode som brukes på gang- og sykkelveger med framfor alt GsA-standard. GsA er den høyeste driftsstandard som betyr bar asfalt hele året. For å oppnå bar veg fjernes først snøen mekanisk ved hjelp av kost eller plog og deretter saltes det. Saltet har tre funksjoner; 1 antikompaktering under snøvær for å unngå at det dannes en is-såle, 2 anti-icing for å hindre tilfrysing og 3, de-icing smelte restsnø eller is-såle etter mekanisk fjerning av snø.

Foreliggende delrapport beskriver metode og oppsummerer resultatene fra feltforsøket på Bjorli og diskuterer hvordan resultatene kan brukes for å bidra til bedre vinterdrift av gang- og sykkelveger. Rapporten er utarbeidet av SINTEF som også har stått for dokumentasjon av resultatene fra forsøkene. Vegdirektoratet med prosjektleder Katja Skille og Bård Nonstad har vært med ved gjennomføring av feltforsøk og kommet med innspill til rapporten.

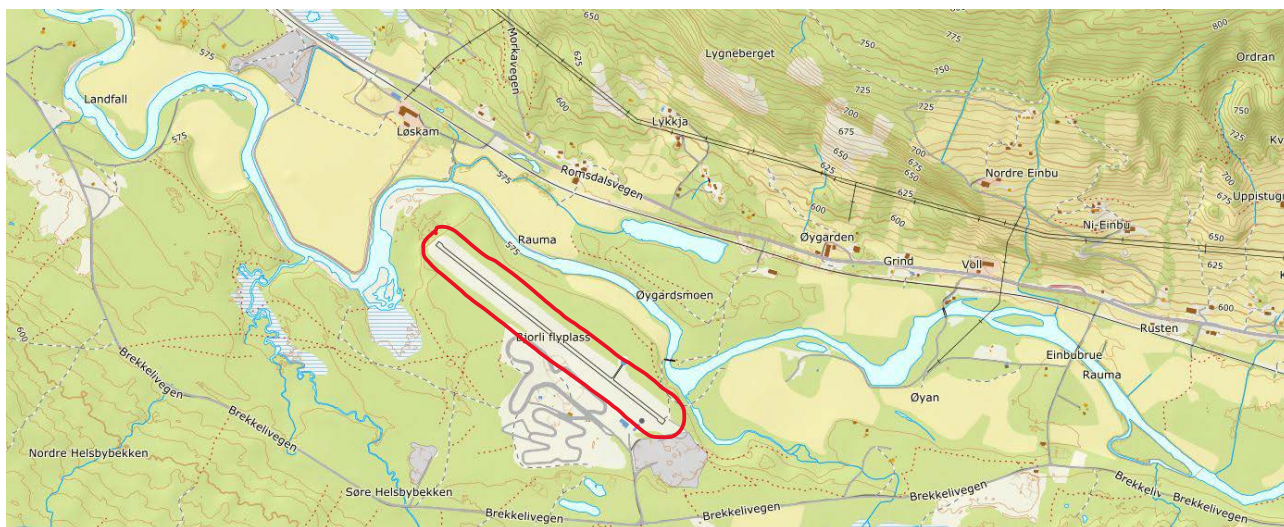
### 1.2 Mål med rapporten

Denne rapporten omhandler et feltforsøk på Bjorli flyplass utført i desember 2018 der det ble sett på resultatet av å bruke kost til fjerning av snø. Ulike snøtyper, hastigheter på traktor og rotasjonshastighet på kost ble testet. Målet var å få bedre kunnskap om hvordan ulike hastigheter og snøtyper virker inn på resultatet slik at kunnskapen kan brukes til opplæring av entreprenører og som underlag for å stille krav i driftskontrakter.

Alle resultat fra forsøkene er dokumentert med bilder og målinger. På grunn av vanskelige forhold med dårlige lysforhold og snøvær, ble bildematerialet fra den første dagen noe dårligere enn bildematerialet fra dag to. Alle bilder sammen med tekst gir imidlertid et rettferdig bilde av de forholdene som ble oppnådd.

## 2 Metode

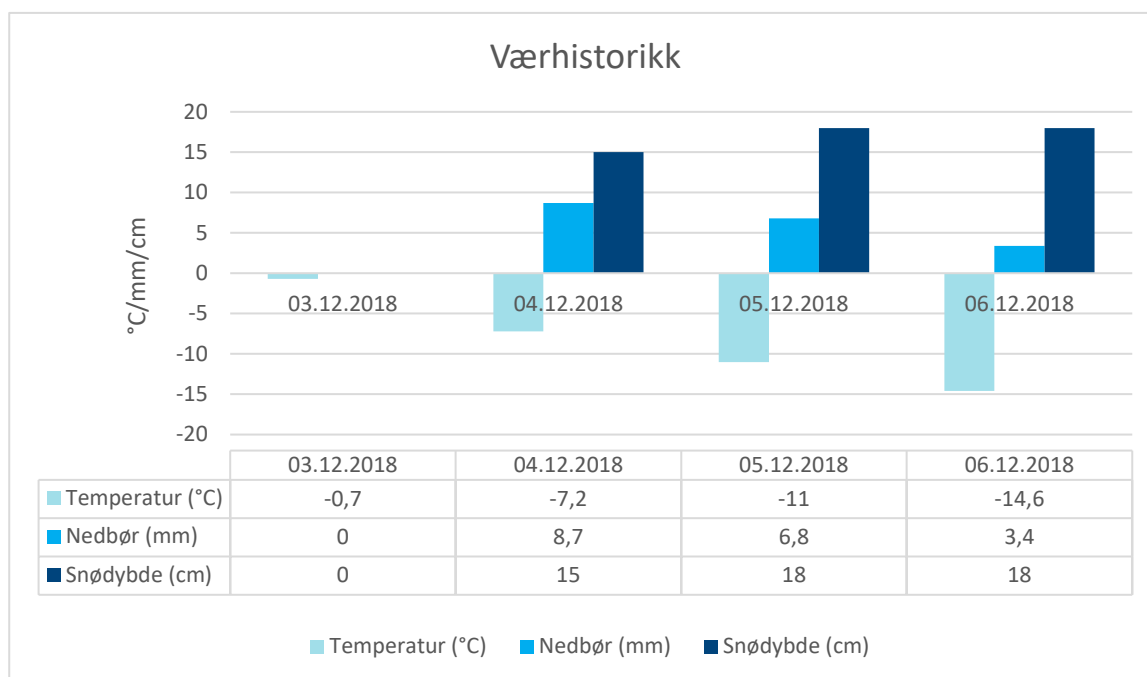
Feltforsøket ble gjennomført 5.-6. desember 2018 på Bjorli flyplass, som Statens Vegvesen disponerer som testsenter i vinterhalvåret. Dette gjør at det er mulig å gjennomføre feltforsøk under kontrollerte og sammenlignbare forhold.



Figur 1: Oversiktsbilde av testområdet. (Kilde Norgeskart.no)

### 2.1 Værsituasjon

Fram til og med den 3. desember 2018 var testområdet bart og uten snø, men et væromslag til minusgrader og snøvær den 4. desember gjorde det mulig å gjennomføre feltforsøket. På morgenen den 5. desember lå det 14 cm tørrnysnø over hele testområdet.



Figur 2: Værstatistikk hentet fra Bjorli meteorologisk stasjon. (Kilde eKlima.no)

Den 5. desember var det meldt et nytt snøvær fra klokken 11, dette var problematisk i og med at mengden snø som skulle bli fjernet i hvert forsøk ikke ville være konstant. Samtidig ga dette en mulighet til å gjennomføre et syklusforsøk under snøvær. Lufttemperaturen var stabil på rundt  $-5^{\circ}\text{C}$  hele onsdagen.

Den 6. desember var det stabilt vær med lufttemperatur på  $-9^{\circ}\text{C}$  og oppholdsvær på Bjorli flyplass. Dette er noe varmere enn målt temperatur på Bjorli meteorologiske stasjon som er vist i Figur 2. Dette ga gode forutsetninger for å få til sammenlignbare forhold i de ulike forsøkene. På testområdet var snødybden 5 cm torsdag den 6. desember, dette er lavere en registrert snødybde på Bjorli metrologisk stasjon som er presentert i Figur 2, grunnen til dette er sannsynligvis at flystripa er mer utsatt for vind og at en del av snøen hadde blåst bort.

## 2.2 Testkost

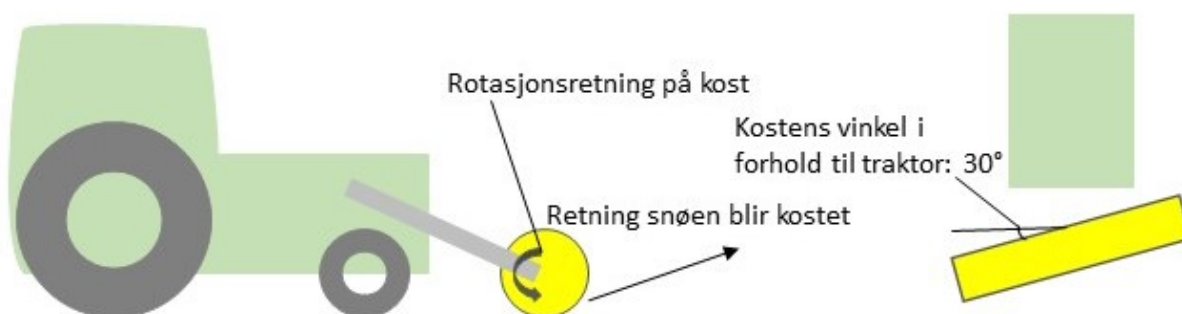
Til forsøket ble det brukt en kost fra Holms, modell Sopvals Light 2,5 fra 2014 montert på en traktor. Diameter på kosten var 67 cm og lengde på børstene var 21 cm. Kosten er utstyrt med to hydrauliske motorer med et slagvolum på 195 cc hver. For den samme kosten finnes det ytterligere en motorkonfigurasjon som er større. Størrelsen på motoren påvirker rotasjonshastigheten på kosten som i sin tur kan påvirke resultatet. Rotasjonshastigheten styres gjennom å justere gjennomstrømningen av olje fra traktor til kost. Ulike koster har ulike anbefalte rotasjonshastigheter, og to like koster med forskjellige motorkonfigurasjoner kan gi ulike rotasjonshastigheter ved samme oljegyennomstrømning. Dette er det viktig å være bevisst på ved senere forsøk og ved opplæring av entreprenører.

I feltforsøket på Bjorli ble det brukt en gjennomstrømningshastighet på 100 l/min som standard, noe som tilsvarer 256 omdreininger i minuttet. På ett forsøk ble det brukt en høyere gjennomstrømningshastighet på 160 l/min, noe som tilsvarer 410 omdreininger i minuttet.

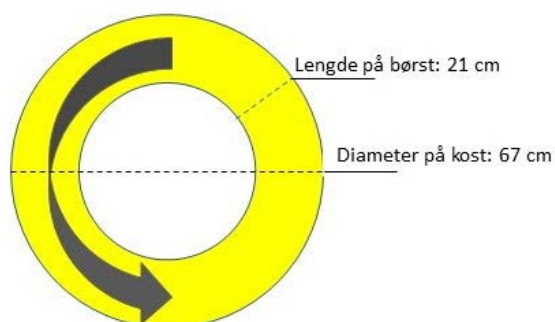
**Tabell 1: Oversikt over hastigheter**

Kjørehastighet (km/t)	Kostens rotasjonshastighet (km/t)	Kostens + traktorens hastighet (km/t)
5	32,3	37,3
10	32,3	42,3
20	32,3	52,3
5 (160 l/min)	51,8	56,8

Tabell 1 viser hvilken hastighet kosten faktisk treffer snøen med siden dette er avhengig av både traktorens kjørehastighet og kostens rotasjonshastighet.



**Figur 3: Illustrasjon av kostens posisjon på traktor og kosteretning.**



**Figur 4: Illustrasjon med mål og bilde av brukt kost.**

Kosten var brukt men hadde fortsatt en god del igjen av levetiden etter informasjon fra sjåføren.

## 2.3 Forsøk og testforhold

### 2.3.1 Syklustidforsøk

Syklustid er maksimal tid som er tillatt mellom tiltak når det ikke er godkjente føreforhold i henhold til kontrakten. For gang- og sykkelveger med GsA-standard er maksimal syklustid 2 timer, men hvis inntilliggende veg har strengere krav (1,5 time) skal også aktuell gang- og sykkelveg driftes etter denne standarden.

Arealet som ble brukt til syklusforsøket ble kostet rent for snø og det ble lagt på et lag med befuktet finkornet salt ( $40\text{g/m}^2$ ) på bar asfalt før det begynte å snø. Arealet ble delt opp i tre soner som ble kostet ved ulike tidspunkt fra værhendelsene for å se hvor lang tid det kan gå mellom hvert tiltak uten at det går utover kvaliteten av tiltaket. Hastighet på traktor (5 km/t) og rotasjonshastighet på kost (256 rpm) var lik mellom hver kosting.

Første kosting skjedde to og en halv time etter at det begynte å snø, deretter ble det kostet to nye areal med cirka en times mellomrom.

Snøen som ble kostet var påvirket av saltet i bunn, men hadde egenskapene til tørrsnø øverst med lav densitet. Forsøket ble gjennomført uten trafikk i testområdet slik at snøen var ukomprimert. Dette har sannsynligvis hatt stor effekt for hvor effektivt snøen har blitt fjernet. Sykkel- og fotgjengertrafikk på arealet hadde sannsynligvis komprimert snøen og bundet den til underlaget på en annen måte.

### 2.3.2 Mekanisk fjerning av snø

Kost som metode for å fjerne snø ble prøvd ut på tre ulike snøtyper; saltblandet snø, tørrsnø og komprimert tørrsnø. Hver snøtype ble testet med samme rotasjonshastighet og vinkel ( $30^\circ$ ) på kosten og tre forskjellige kjørehastigheter; 5, 10 og 20 km/t. For hver hastighet ble det målt restsnømengde på tre forskjellige steder langs teststrekningen. Dette ble gjort ved at all snø som var mulig å fjerne ved å skrape med spade og kost ble samlet opp og veid. Størrelsen på arealet der snøen ble samlet opp var  $1,5\text{ m}^2$ . Oppsamlingsmetoden er illustrert i Figur 5.





**Figur 5: Illustrasjon av oppsamlingsmetode og definering av testareal.**

## 2.4 Snøkarakterisering

De tre ulike snøtypene som ble anvendt i forsøkene (saltblandet snø, tørrsnø og komprimert tørrsnø) er alle reelle på gang- og sykkelveger. Før hvert forsøk ble det gjort en enkel karakterisering av egenskapene til snøen gjennom å se på struktur til snøkrystallene, densitet til snøen, temperatur på snøen og snødybde. Strukturen ble bedømt ut ifra størrelse på snøkrystallene og grad av nedbrytning/omdanning til iskorn. Densitet på snøen ble målt ved å ta en prøve med en sylinder som gjorde det mulig å bestemme volum og vekt til snøen. Temperatur og snødybde ble målt med digitalt termometer og målestokk.

### 2.4.1 Saltblandet snø

Snøen ble blandet med befuktet salt ved hjelp av kosten på traktoren for å skape ulike testfold. Salt dosering var to ganger  $240 \text{ g/m}^2$ , noe som er nesten fem ganger så mye som det som brukes til vanlig på G/S-veger. Saltløsningen fikk virke i 2-3 timer avhengig av når forsøkene ble gjennomført. Det var ikke mulig å ha lik virkningstid i forsøk 1 og 2 på grunn av tiden det tok og samle opp og måle restsnøen.

Det ble gjennomført to forsøk med ulike snødybder på saltblandet snø; den første hadde en dybde på 7 cm og det andre 9 cm. Høyden på snøen ble justert ved å kjøre over forsøksarealet med en plog innstilt på to forskjellige høyder.

Ved snøfall på saltete veibaner vil snøen smelte fram til smeltekapasiteten (i gram is/gram salt) er nådd. Deretter vil resterende snø være i likevekt med den uttynnete saltløsning som er dannet av smeltevannet. Basert på mengde salt som var utlagt, virkningstid og densitet til snøen ble også forholdet mellom uttynnet saltløsning og snø beregnet for kosteforsøk 1 og 2.

**Tabell 2: Snøtype saltblandet snø 70 mm / 90 mm**

<b>Form på krystaller</b>	Lett vindpåvirket nysnø der krystallene hadde begynt å bli brutt ned og klumpe seg sammen på grunn av saltet, 1x1 mm.
<b>Snødybde</b>	70 mm / 90 mm
<b>Uttynnet saltløsningsmengde</b>	2,712 kg/m <sup>2</sup> (24 vekt%) uttynnet saltløsning i snøblandingen
<b>Snømengde</b>	11,13 kg/m <sup>2</sup> / 14,31 kg/m <sup>2</sup> initial snømengde inklusive uttynnet saltløsning.
<b>Snødensitet</b>	159 kg/m <sup>3</sup>
<b>Snøtemperatur</b>	-5,5°C

### 2.4.2 Tørrsnø

Det ble gjennomført ett forsøk (kosteforsøk 3) på torsdagen med tørrsnø oppe på bar asfalt. Dette forsøket ble gjennomført helt uten bruk av salt, ellers lik koste- og oppsamlingsmetode.

**Tabell 3: Snøtype tørrsnø**

<b>Form på krystaller</b>	1x1mm snøkrystaller der de ytterste delene av snøkrystallene hadde begynt å bli brutt ned.
<b>Snødybde</b>	50 mm
<b>Snømengde</b>	3,45 kg/m <sup>2</sup>
<b>Snødensitet</b>	69 kg/m <sup>3</sup>
<b>Snøtemperatur</b>	-8,9°C

### 2.4.3 Komprimert tørrsnø

En del av strekningen med tørrsnø ble komprimert med hjelp av traktoren for å se hvordan trafikk som rekker å trafikere arealet innen tiltak blir igangsatt påvirker resultatet. Her var det ikke brukt salt før, under eller etter det begynte å snø.

På området med komprimert tørrsnø ble det gjennomført fire kosteforsøk (kosteforsøk 3-6), Kosteforsøk tre og fire ble det brukt standard prosedyre fra tidligere forsøk. I kosteforsøk 5 ble rotasjonshastigheten justert opp til maks med en oljegenomstrømning på 160 l/min, dette tilsvarer en rotasjonshastighet på 410 omdreininger i minuttet. I forsøk 6 ble et nytt område komprimert av en fotgjenger, en sykkel, en bil og en traktor uten at de gikk oppi hverandres spor. Deretter ble det kostet med kjørehastighet 5 km/t og gjennomstrømning 100 l/min. Målet med dette var å se hvordan komprimeringen fra ulike trafikanter påvirker sluttresultatet.

**Tabell 4: Snøtype komprimert tørrsnø**

<b>Form på krystaller</b>	Nysnø som har blitt komprimert med traktor
<b>Snødybde før kompresjon</b>	50 mm
<b>Snømengde</b>	3,45 kg/m <sup>2</sup>
<b>Snødensitet før kompresjon</b>	Før kompresjon: 69 kg/m <sup>3</sup>
<b>Snødensitet etter kompresjon</b>	Ikke målt <sup>1</sup>
<b>Snøtemperatur</b>	-6,9°C

<sup>1</sup> Densitetsmetoden var ikke egnet til å måle densiteten av den komprimerte snøen.



### 3 Resultater

#### 3.1 Syklustidforsøk

Bar asfalt (med noen isflekker) med befuktet salt 40 g/m<sup>2</sup> lagt ut kl. 11:28.

Værhendelse: det begynte å snø lett kl. 11.40, kraftig snøfall fra kl. 11.50.

**Tabell 5: Tidsskjema for kosting, snødybde og nysnø mellom hver måling. (- =mangler måledata)**

Hendelsestart	Snødybde testareal med salt	Ny snø mellom hver kosting
11:50	0 mm	-
12:50	10-15 mm	-
13:50	23 mm	10-11 mm
14:25 1.kosting	20 mm	-
15:25 2.kosting	30 mm	5 mm
16:46 3. kosting	35-40 mm	17 mm

I Tabell 5 vises tidsskjema og snømengde ved de ulike kostingene, lengst til høyre i tabellen vises det hvor mye snø som kom mellom kostingene. Målingene av ny snø mellom kostinger er gjort ved siden av testarealer og er så ledes ikke påvirket av saltet. Resultatene fra respektive kosting er vist i Figur 6 til Figur 8.



**Figur 6: Resultat etter første kosting, 2,5 timer etter start værhendelse.**





**Figur 7: Resultat etter andre kosting, 3,5 timer etter start værhendelse.**



**Figur 8: Resultat etter kosting, 4 timer etter start værhendelse.**



## 3.2 Mekanisk fjerning av snø med kost

I denne delen blir alle data fra veiing av restsnø presentert, i tillegg er resultatet illustrert med bilder som viser hvordan vegbanen så ut etter kosting.

### 3.2.1 Kosteforsøk 1: Saltblandet snø 7 centimeter

Tabell 6: Kjørehastighet 5 km/t 7 cm saltblandet snø

Prøve	Vekt med bolle (g)	Vekt bolle (g)	Nettovekt snø (g/m <sup>2</sup> )	Initial snømengde
1	2283	454	1219	11,13 kg/m <sup>2</sup>
2	3749	454	2197 (2094)	11,13 kg/m <sup>2</sup>
3	-	-	-	11,13 kg/m <sup>2</sup>
Helikopter	608	455	102	11,13 kg/m <sup>2</sup>

Det er knyttet usikkerhet til tallene i Tabell 6, for det første på grunn av at vekten var ustabil i kulden (prøve 3). For det andre kom det et helikopter som fløy over testområdet på lav høyde og landet rett ved siden, noe som resulterte i at de ble blåst inn snø over den allerede kostede stripen. Den første prøven var allerede samlet inn, derfor var det mulig å koste ruten på nytt for å anslå hvor mye snø som ble blåst inn på området av helikopteret. Tallet i parentes for prøve 2 viser resultatet hvor innblåst snø fra helikopteret har blitt trukket ifra. I tillegg var kosten dårlig innstilt noe som påvirket ryddeevnen til den på dess høyre side, effekten av dette vises tydelig i Figur 9. Prøvene i Tabell 6 ble samlet på den siden av teststrekningen som ble kostet med best resultat. Kosten ble justert og resultatet ble bedre slikt som vist i Figur 10 og Figur 11.



Figur 9: 5 km/t 7 cm saltblandet snø.

**Tabell 7: Kjøreastighet 10 km/t 7 cm saltblandet snø.**

Prøve	Vekt med bolle (g)	Vekt bolle (g)	Nettovekt snø (g/m <sup>2</sup> )	Initial snømengde (kg/m <sup>2</sup> )
1	2372	449	1282	11,13
2	1964	450	1009	11,13
3	1650	449	801	11,13
<b>Gjennomsnitt</b>	<b>1995</b>		<b>1031</b>	11,13



**Figur 10: 10 km/t 7 cm saltblandet snø.**

**Tabell 8: Kjøreastighet 20 km/t 7 cm saltblandet snø.**

Prøve	Vekt med bolle (g)	Vekt bolle (g)	Nettovekt snø (g/m <sup>2</sup> )	Initial snømengde (kg/m <sup>2</sup> )
1	3465	458	2005	11,13
2	2683	458	1483	11,13
3	1726	458	857	11,13
<b>Gjennomsnitt</b>	<b>2624</b>		<b>1448</b>	11,13





**Figur 11: 20 km/t 7 cm saltblandet snø. Her vises det at en høyere hastighet gir et dårligere resultat. Det er også tydelig at kosten har problem med å effektivt fjerne snøen i ytterkantene.**

For resultat vist i Tabell 7 og Tabell 8 har det ikke blitt tatt hensyn til eventuelle endringer i snømengden som følge av helikopteret, effekten var sannsynligvis mindre uansett på grunn av lenger avstand til landingsplass.

Felles for prøvene presentert i Tabell 7 og Tabell 8 er forholdsvis store variasjoner mellom laveste og høyeste verdi. I Tabell 7 er den prosentvise økningen fra den laveste observasjonen til den høyeste 60,1 %, i Tabell 8 er forskjellen 137,1 %.

### 3.2.2 Kosteforsøk 2: Saltblandet snø 9 centimeter

**Tabell 9: Kjørehastighet 5 km/t 9 cm saltblandet snø.**

Prøve	Vekt med bolle (g)	Vekt bolle (g)	Nettovekt snø (g/m <sup>2</sup> )	Initial snømengde (kg/m <sup>2</sup> )
1	2493	438	1370	14,31
2	2365	452	1275	14,31
3	2886	454	1621	14,31
<b>Gjennomsnitt</b>	<b>2581</b>		<b>1422</b>	14,31



**Figur 12: 5 km/t 9 cm saltblandet snø. Her vises det igjen at kosten får problem å rydde snø i hele bredden. I tillegg er det mye snø igjen etter tiltak.**

**Tabell 10: Kjørehastighet 10 km/t 9 cm saltblandet snø.**

Prøve	Vekt med bolle (g)	Vekt bolle (g)	Nettovekt snø (g/m <sup>2</sup> )	Initial snømengde (kg/m <sup>2</sup> )
1	1921	456	977	14,31
2	2008	457	1034	14,31
3	2019	459	1040	14,31
<b>Gjennomsnitt</b>	<b>5948</b>		<b>1017</b>	14,31

Fra forsøket med resultat presentert i Tabell 10 mangler det bildemateriale.

**Tabell 11: Kjørehastighet 20 km/t 9 cm saltblandet snø.**

Prøve	Vekt med bolle (g)	Vekt bolle (g)	Nettovekt snø (g/m <sup>2</sup> )	Initial snømengde (kg/m <sup>2</sup> )
1	3346	454	1928	14,31
2	2614	454	1440	14,31
3	3151	457	1796	14,31
<b>Gjennomsnitt</b>	<b>3037</b>		<b>1721</b>	14,31





**Figur 13: 20 km/t 9 cm saltblandet snø. Ved slike forhold klarer ikke kosten å skape gode forhold for myke trafikanter.**

I forsøk 2 med mer snø var resultatene noe jevnere enn det som ble observert i forsøk 1. Best og jevnest resultat ble observert når traktoren hadde en hastighet på 10 km/t, her var det 6 % økning fra den laveste verdien til den høyeste verdien.

### 3.2.3 Kosteforsøk 3: Tørrsnø

**Tabell 12: Kjørehastighet 5 km/t tørrsnø uten komprimering**

Prøve	Vekt med bolle (g)	Vekt bolle (g)	Nettovekt snø (g/m <sup>2</sup> )	Initial snømengde (kg/m <sup>2</sup> )
1*	462	423	26	3,45
2	538	454	56	3,45
3	504	452	35	3,45
<b>Gjennomsnitt</b>	<b>501</b>		<b>39</b>	

\*Avvik i vekt på bollen som sannsynligvis skyldes kulde. Avviket er imidlertid ikke av så stor betydning at det vil påvirke helheten fra forsøket.



**Figur 14: 5 km/t tørrsnø.** Ved slike forhold gir kosten gode forhold med lite snø igjen og god opplevd friksjon for myke trafikanter.

**Tabell 13: Kjørehastighet 10 km/t tørrsnø uten komprimering**

Prøve	Vekt med bolle (g)	Vekt bolle (g)	Nettovekt snø (g/m <sup>2</sup> )	Initial snømengde (kg/m <sup>2</sup> )
1	530	454	51	3,45
2	516	448	45	3,45
3	538	452	57	3,45
<b>Gjennomsnitt</b>	<b>528</b>		<b>51</b>	





**Figur 15: 10 km/t tørrsnø. Det er svært lite forskjellen mellom 5 km/t og 10 km/t, ved slike forhold vil ikke farten være avgjørende for resultatet.**

**Tabell 14: Kjørehastighet 20 km/t tørrsnø uten komprimering**

Prøve	Vekt med bolle (g)	Vekt bolle (g)	Nettovekt snø (g/m <sup>2</sup> )	Initial snømengde (kg/m <sup>2</sup> )
1	582	451	87	3,45
2	651	452	133	3,45
3	646	451	130	3,45
<b>Gjennomsnitt</b>	<b>626</b>		<b>117</b>	



**Figur 16: 20 km/t tørrsnø.**

På tørrsnø uten salt er det veldig små forskjeller mellom 5 km/t og 10 km/t, men når hastigheten øker til 20 km/t øker mengden gjennomsnittlig restsnø med 127 % sammenlignet med resultatet i Tabell 13. Det er fortsatt lave verdier sammenlignet med resultatene fra saltblandet snø og tiltaket gir tilfredsstillende resultat. Det som framfor alt gir økte restsnømengder ved forsøket med 20 km/t er turbulens i snøen som gjør at den fyker opp i luften og legger seg bak kosten i stedet for å bli kostet til siden som ønsket.

#### **3.2.4 Kosteforsøk 4: Komprimert tørrsnø uten salt**

I dette forsøket har snøen blitt komprimert før kosteforsøket ble gjennomført. Snømengden var lik den som var i kosteforsøk 3 men her har den blitt kjørt over opptil flere ganger av en traktor. Figur 17 viser hvordan snøen så ut før det ble kostet og Figur 18 viser hvordan snøen måtte skrapes løs fra bakken for å kunne veies i dette forsøket.





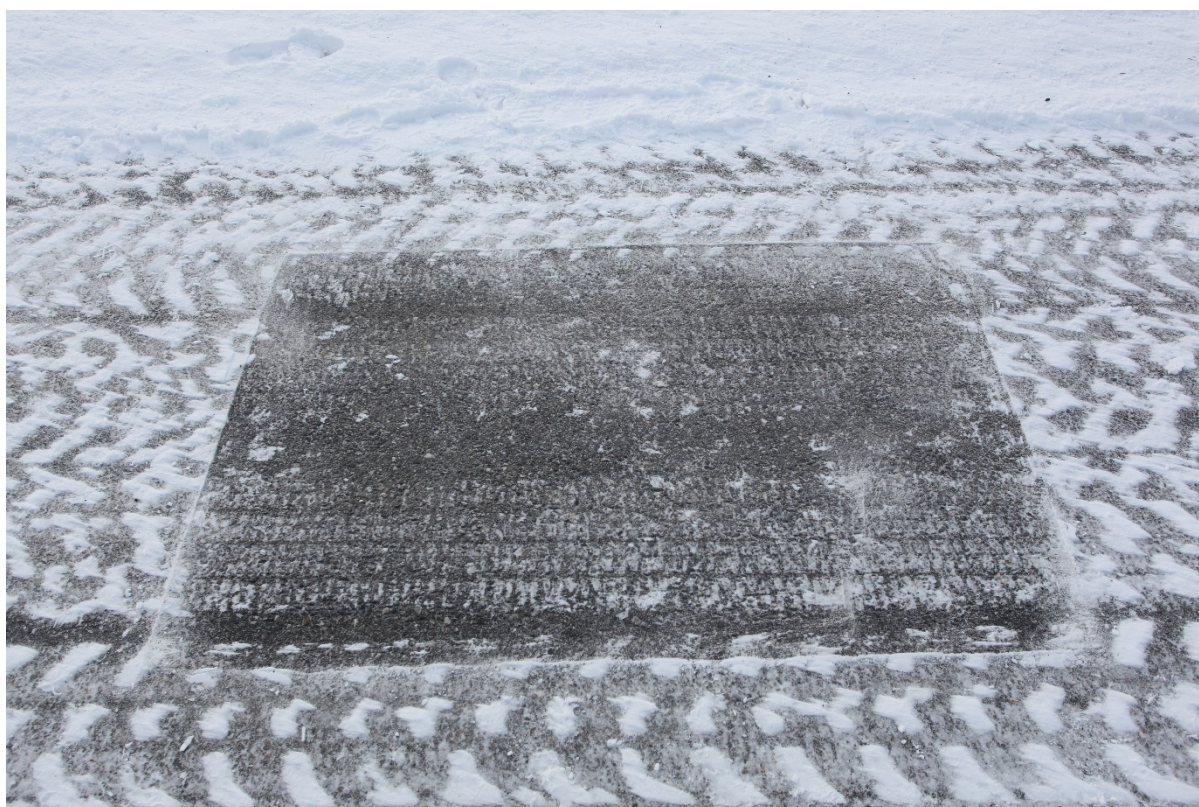
**Figur 17: Utgangspunkt for forsøk med komprimert snø.**



**Figur 18: Metode av oppsamling av restsno.**

**Tabell 15: Kjøre hastighet 5 km/t tørrsnø med komprimering**

Prøve	Vekt med bolle (g)	Vekt bolle (g)	Nettovekt snø (g/m <sup>2</sup> )	Initial snømengde (kg/m <sup>2</sup> )
1	1360	452	605	3,45
2	1316	450	577	3,45
3	1262	451	541	3,45
<b>Gjennomsnitt</b>	<b>1312</b>		<b>574</b>	



**Figur 19: 5 km/t komprimert snø. Her vises resultatet av kostingen rundt, samt hvor mye snø det var mulig å fjerne før veiing i midten.**

**Tabell 16: Kjøre hastighet 10 km/t tørrsnø med komprimering**

Prøve	Vekt med bolle (g)	Vekt bolle (g)	Nettovekt snø (g/m <sup>2</sup> )	Initial snømengde (kg/m <sup>2</sup> )
1	1744	451	862	3,45
2	1769	453	877	3,45
3	1818	453	910	3,45
<b>Gjennomsnitt</b>	<b>1777</b>		<b>883</b>	





**Figur 20: 10 km/t komprimert snø:** Her vises resultatet av kostingen rundt, samt hvor mye snø det var mulig å fjerne før veiing i midten.

**Tabell 17: Kjørehastighet 20 km/t tørrsnø med komprimering**

Prøve	Vekt med bolle (g)	Vekt bolle (g)	Nettovekt snø (g/m <sup>2</sup> )	Initial snømengde (kg/m <sup>2</sup> )
1	1901	451	967	3,45
2	1935	454	987	3,45
3	1861	451	940	3,45
<b>Gjennomsnitt</b>	<b>1899</b>		<b>965</b>	



**Figur 21: 20 km/t komprimert snø. I ytterkanten av bildet vises det tydelig at resultatet blir dårligere når hastigheten på traktoren øker.**

Når snøen hadde blitt komprimert av traktor før det ble kostet, noe som er en mer reell situasjon på grunn av at G/S-veger ofte blir trafikkert innen snøryddingen starter, var det stor forskjell i mengden snø som blir igjen etter første kosting med kjørehastighet 5 km/t sammenlignet med kjørehastighet 20 km/t. Ved forhold med komprimert snø er lav kjørehastighet å anbefale. En økning fra 5 til 10 km/t gir en økning på 53 % i målt restsnø etter kosting. Når hastigheten øker fra 10 til 20 km/t er forskjellen mindre og mengden restsnø øker kun med ytterligere 9 %. Figur 19 og Figur 21 viser at det er stor forskjell mellom 5 km /t og 20 km/t på hvordan en gang og sykkelveg vil se ut etter tiltak.



### 3.2.5 Kosteforsøk 5: Komprimert tørrsnø uten salt med økt rotasjonshastighet på kost (160 l/min)

Det ble gjennomført et forsøk med økt rotasjonshastighet på komprimert tørrsnø for å se om dette ville påvirke resultatet. I tidligere forsøk har kosten hatt en oljegjennomstrømning på 100 l/min, noe som er maks anbefaling fra leverandør for denne kosten. Oljegjennomstrømningen ble nå satt til 160 l/min som er maks kapasitet til traktoren. Kjørehastigheten ble satt til 5 km/t på bakgrunn av at det ga best resultat fra tidligere forsøk på dette underlaget. Det var forventet at dette skulle gi et bedre resultat siden snøen som satt fast til underlaget ville bli utsatt for større mekanisk påvirkning. Alle de tre prøvene visste imidlertid at det ble fjernet mindre snø ved høyere rotasjonshastighet.

**Tabell 18: Kjørehastighet 5 km/t tørrsnø med komprimering og økt rotasjonshastighet**

Prøve	Vekt med bolle (g)	Vekt bolle (g)	Nettovekt snø (g/m <sup>2</sup> )	Initial snømengde (kg/m <sup>2</sup> )
1	1538	454	723	3,45
2	1540	453	725	3,45
3	1656	452	803	3,45
<b>Gjennomsnitt</b>	<b>1578</b>		<b>750</b>	



**Figur 22: Kjørehastighet 5 km/t komprimert tørrsnø. Resultat etter forsøk med økt rotasjonshastighet på kost.**

Hvorfor økt rotasjonshastighet ikke ga et bedre resultat og om dette er gjeldene også for andre typer av koster er ikke mulig å si ut ifra resultatet i dette forsøket. En mulig forklaring er at denne kosten var laget for



en lavere omdreiningshastighet og når kostens rotasjonshastighet økte var ikke børsten stive nok til å opprettholde en optimal form i forhold til å koste bort snø.

### 3.2.6 Kosteforsøk 6: Tørrsnø uten salt komprimert av myke trafikanter

En strekning med tørrsnø på asfalt uten salt ble komprimert av følgende; fotgjenger, syklist, bil og traktor uten at de ulike brukerne gikk oppi hverandres spor. Deretter ble arealet kostet en gang med en kjørehastighet på 5 km/t og en oljegjennomstrømning på 100 l/min da dette hadde best dokumentert effekt i forsøk 5.

Resultatet viste at vekten til brukeren av arealet hadde lite å si for om snøen festet seg såpass godt at kosten fikk problem å fjerne den eller ikke. Alle brukene etterlot seg tydelige spor.

Om resultatet hadde blitt annerledes dersom underlaget hadde vært saltet, er vanskelig å si. Men det er trolig at saltet hadde hatt en antikomparteringseffekt på snøen som hadde gjort at den festet seg dårligere til underlaget og dermed lettere hadde latt seg fjernes. Saltet ville uansett hatt en langtidsvirkende effekt i form av å smelte restsnoen og dermed bidra til bedre forhold for myke trafikanter på sikt.



**Figur 23: Komprimeringseffekten av syklist, fotgjenger og bil. Resultatet viser at vekten ikke spiller en avgjørende rolle for om snøen blir vanskelig å fjerne eller ikke.**





**Figur 24: Komprimeringseffekten av fotgjenger og bil.**

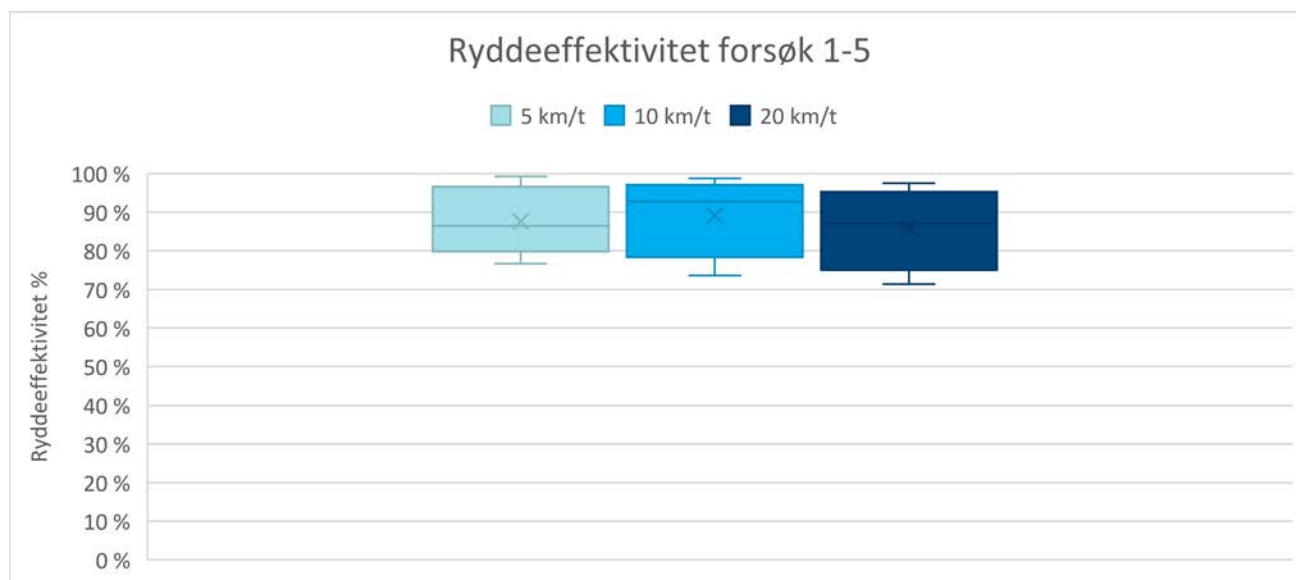
## 4 Analyse

Målet med feltforsøket var å dokumentere effekten av kosting som metode for vinterdrift av G/S-veger. De ulike forsøkene skulle dokumentere ved hvilke hastigheter, snøtyper og snømengder kost som metode fungerer best og når det får problemer.

Verdiene fra samtlige restsnømålinger har blitt brukt for å analysere hva bærekjøretøyets kjørehastighet har å si for resultatet. Alle resultat har både blitt sett på samlet og basert på snøtype, totalt er det 33 restsnømålinger som er brukt i analysene. Det er et begrenset datamateriale men datamaterialet er uansett verdifullt for å indikere effekten både snøtype og hastighet har å si for resultatet.

### 4.1 Ryddeeffektivitet

Kostens effekt til å rydde snø ved ulike hastigheter og snøtyper kan illustreres ved å se på ryddeeffektiviteten i de ulike forsøkene. Ryddeeffekten blir her illustrert gjennom å se på mengden snø som har blitt fjernet sett oppimot initialmengden i hvert forsøk.



**Figur 25: Ryddeeffektivitet forsøk 1-5.**

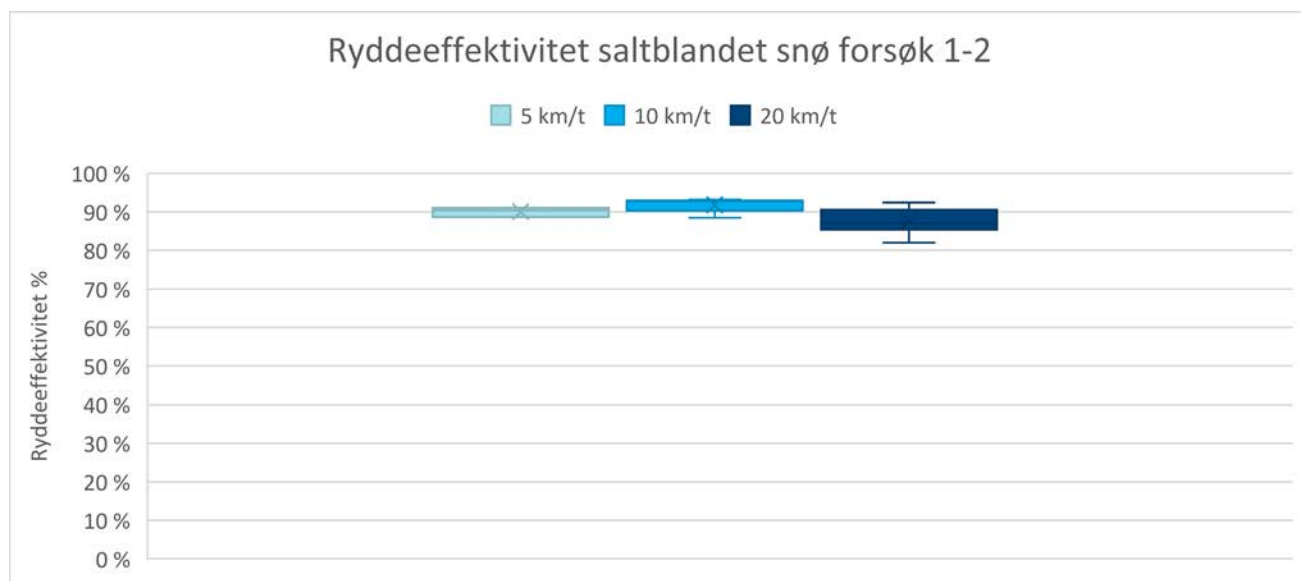
Når samtlige data fra forsøk 1-5 blir illustrert kan man se at den laveste ryddeeffektiviteten knyttet til hver hastighet synker med hastigheten. Gjennomsnittlig ryddeevne og medianverdi varierer lite mellom de ulike hastighetene, men hvis man ser på de to høyeste kvartilene skiller kjørehastighet 10 km/t seg ut og gir et bedre resultat.





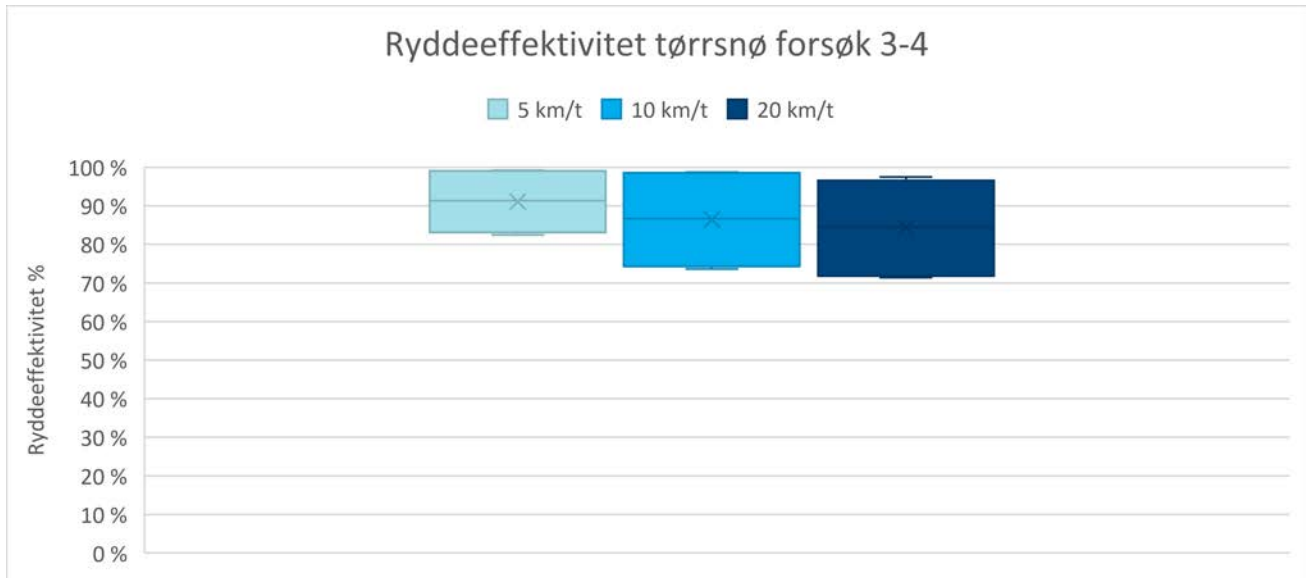
**Figur 26: Ryddeeffektivitet forsøk 2-4 med komplette prøveserier.**

Figur 26 viser kun forsøk med komplette prøveserier for alle hastigheter. Her vises det at hastigheten har en negativ effekt på ryddeeffektiviteten der både laveste observasjon og gjennomsnittlig ryddeeffektivitet synker med økt hastighet.

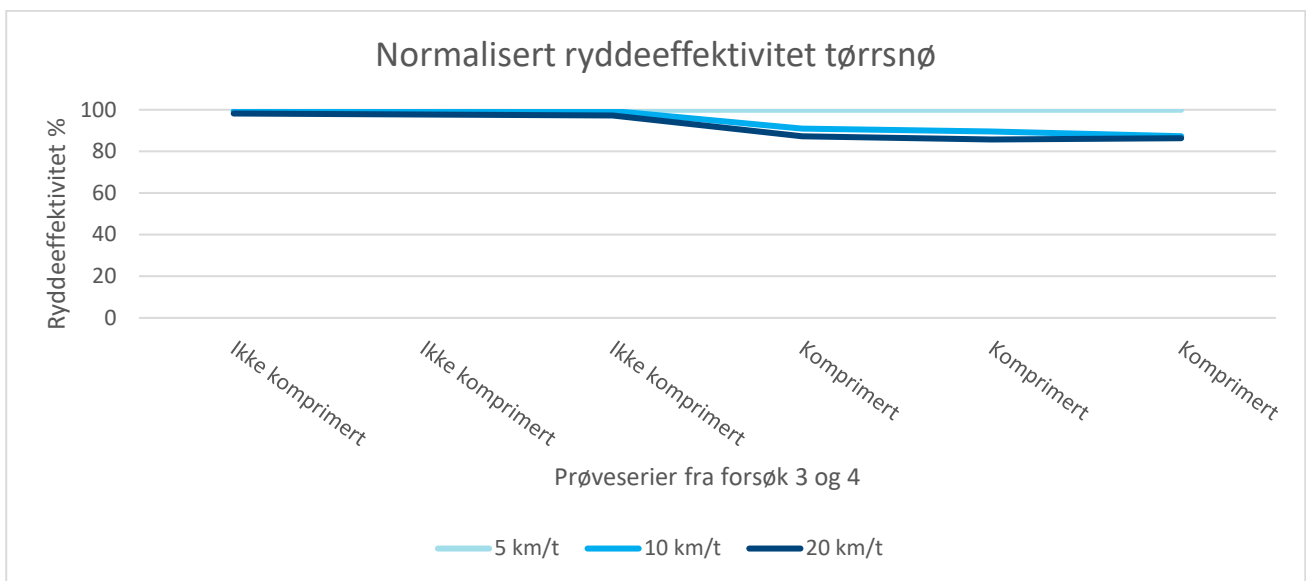


**Figur 27: Ryddeeffektivitet saltblandet snø.**

Når kun data fra forsøkene med saltblandet snø analyseres er det mulig å se at spredningen i resultatet øker når hastigheten på kjøretøyet øker. Resultatet indikerer også her at 10 km/t er den mest gunstige kjørehastigheten. Det må imidlertid bemerkes at det for kjørehastighet 5 km/t kun er prøver fra forsøk 2 på grunn av utfordringer med prøvetakingen i forsøk 1.

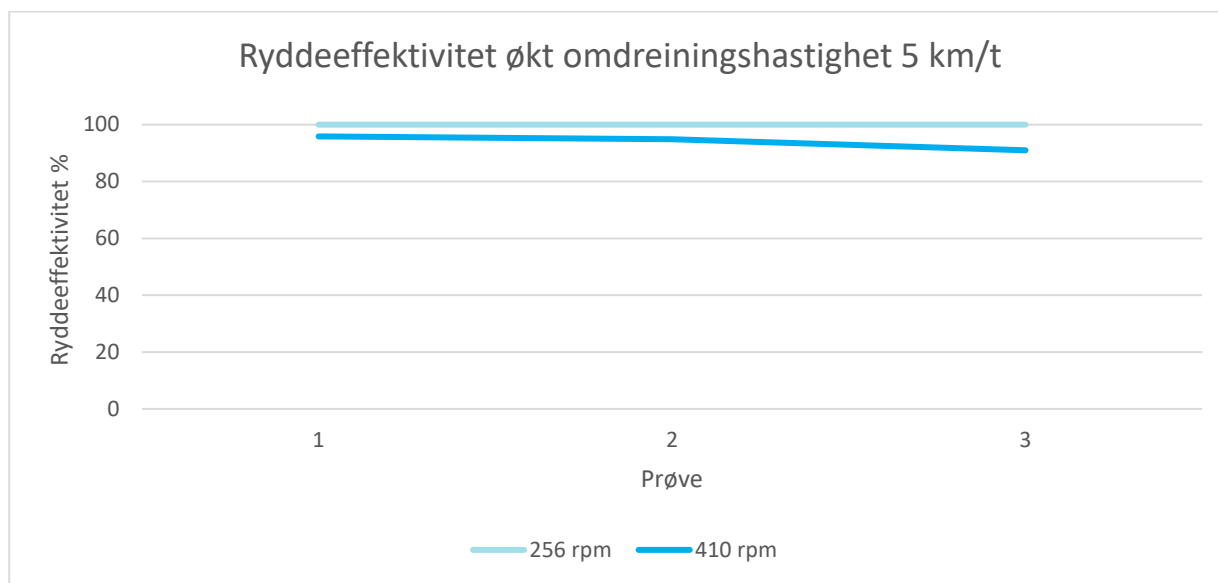


**Figur 28: Ryddeeffektivitet tørrsnø normal rotasjonshastighet**



**Figur 29: Normalisert ryddeeffektivitet tørrsnø**

Resultatet fra forsøk 3-4 med ukomprimert og komprimert tørrsnø viser at økt hastighet har en negativ innvirkning på resultatet i forhold til variasjon i prøveverdier, gjennomsnittlig ryddeeffektivitet og lavest målt ryddeeffektivitet. Forskjellen blir størst når snøen har blitt komprimert, noe som tydelig vises i Figur 29 der serie 4, 5 og 6 viser prøver fra forsøk 4 med komprimert tørrsnø. Ryddeeffektiviteten reduseres mellom 10 % og 15 % når hastigheten øker fra 5 km/t til 20 km/t.



**Figur 30: Ryddeeffektivitet økt rotasjonshastighet.**

Prøvene fra forsøk 5 med økt rotasjonshastighet på kosten viser jevnt over at resultatet blir noe dårligere sammenlignet med resultat for kjørehastighet 5 km/t i forsøk 4 med like forhold.

## 4.2 Saltforbruk basert på restsnomålinger

Et av målene med å forbedre metodene for vinterdrift på gang og sykkelveger er å redusere mengden salt som brukes, både fordi det har en negativ effekt på miljøet og fordi det øker slitasjen på syklene.

Gjennom å fjerne mest mulig snø mekanisk kan saltmengden som må legges ut for å smelte restsnoen reduseres. Tabell 19 viser hvor mye salt som må til for å smelte resterende snø per m<sup>2</sup> ved -5°C og -10°C med NaCl. Saltbehov presentert i Tabell 19 er basert på resultat og beregningsmetodikk presentert i Nilssen et al (2017).

**Tabell 19: Saltbehov per m<sup>2</sup> for å smelte restsno.**

Forsøk/km/t	Gjennomsnittlig restsno m <sup>2</sup>	NaCl (temp -5°C)	NaCl (-10°C)
1 / 5 km/t	-	-	-
1 / 10 km/t	1031g	88,0 g/m <sup>2</sup>	168,5 g/m <sup>2</sup>
1 / 20 km/t	1444g	123,3 g/m <sup>2</sup>	236,1 g/m <sup>2</sup>
2 / 5 km/t	1422g	121,4 g/m <sup>2</sup>	232,5 g/m <sup>2</sup>
2 / 10 km/t	1017g	86,8 g/m <sup>2</sup>	166,2 g/m <sup>2</sup>
2 / 20 km/t	1721g	146,9 g/m <sup>2</sup>	281,4 g/m <sup>2</sup>
3 / 5 km/t	39g	3,3 g/m <sup>2</sup>	6,3 g/m <sup>2</sup>
3 / 10 km/t	51g	4,4 g/m <sup>2</sup>	8,4 g/m <sup>2</sup>
3 / 20 km/t	117g	10,0 g/m <sup>2</sup>	19,1 g/m <sup>2</sup>
4 / 5 km/t	574g	49,0 g/m <sup>2</sup>	93,8 g/m <sup>2</sup>
4 / 10 km/t	883g	75,3 g/m <sup>2</sup>	144,3 g/m <sup>2</sup>
4 / 20 km/t	965g	82,3 g/m <sup>2</sup>	157,7 g/m <sup>2</sup>
5 / 5 km/t	750g	64,0 g/m <sup>2</sup>	122,6 g/m <sup>2</sup>

Som det er vist tidligere får kosten problem både når det er mye snø som skal fjernes som i forsøk 1 og 2 med saltblandet snø og når snøen er blitt komprimert. Dette påvirker også et eventuelt saltforbruk, i Tabell 19 vises det hvor mye NaCl som må tilsettes vegbanen ved  $-5^{\circ}\text{C}$  respektive  $-10^{\circ}\text{C}$  for å smelte den snøen som kosten ikke klarer av å fjerne. Det er tydelig at saltforbruket vil bli størst når initialmengden med snø er stor og snøen er tung hvis kun kost brukes til mekanisk fjerning av snøen.

Saltet har i tillegg til å smelte snø/is en antikompakteringseffekt slik at den ikke binder seg til bakken på samme måte som når snøen ikke inneholder salt. Hvis snøen i forsøk 4-6 hadde vært tilsatt normal mengde salt, som er maks  $40\text{ g/m}^2$  i forkant av kostingen, hadde mengden restsnø sannsynligvis blitt redusert på grunn av antikompakteringsevnen til saltet. Noe som igjen kan virke positivt inn på det totale saltforbruket (Statens Vegvesen, 2018).

### 4.3 Syklustidens effekt på resultatet

Syklusforsøket viste at under de forholdene hvor forsøket ble gjennomført hadde ikke tiden fra snøfall til tiltak noen større betydning. Kosten klarte å skape tilfredsstillende forhold hver gang, men resultatet hadde sannsynligvis blitt annerledes dersom arealet hadde vært trafikkert undervegs, slik det er vist i kosteforsøk 4, 5 og 6.

Snøtypen vil også ha en effekt på resultatet, her var det lett nysnø i minusgrader med lav densitet som lett kunne fjernes. Snøtypen hadde også den effekten at noen snø ble med kosten rundt eller blåst opp i luften innen den landet på det kostede arealet igjen slik at det bidrar til økt saltbehov for å opprettholde GsA-standard. Dette fenomenet med tørrsnø som blir med kosten rundt ser man tydelig i Figur 6.

Forholdene på forsøksarealet før den siste kostingen var imidlertid lite attraktive for myke trafikanter på grunn av snømengden som lå der. Dette betyr at det ikke er kostens kapasitet under slike forhold som vil være avgjørende for kravene i syklustiden, men hvordan forholdene vil oppleves av brukere i mellomtiden.

I dette forsøket ble arealet ikke trafikkert, noe som sannsynligvis påvirket resultatet både i forhold til at saltet ikke blandet seg i snøen, noe som bidrar positivt til smelteprosessen og at snøen ikke har blitt komprimert.

### 4.4 Snøtype og kostens kondisjons betydning for resultatet

Samlet sett kan man se at de laveste verdiene for ryddeeffektivitet kan observeres på komprimert tørrsnø (se Figur 28). I forsøk 1 og 2 med saltblandet snø var mengden snø som skulle fjerne betydelig større (se Tabell 2, Tabell 3 og Tabell 4) men kosten klarte fortsatt å levere en høyere ryddeeffektivitet sett i prosent. Verdiene i gram for restsnø presentert i kapittel 3 viser imidlertid at mengden restsnø er større der og at det i slike tilfeller bør vurderes å bruke plog i tillegg.

I dette forsøket er kun en type kost brukt, lignende forsøk fra Sverige utført av VTI viser at ulike typer av koster og kostens tilstand påvirker resultatet (Niska et al 2017, Niska et al 2018). Hvor lenge kosten som ble brukt i forsøket var brukt er uklart, men den var ikke ny. Derfor er det mulig at en annen type kost eller lik kost med nye børst hadde gitt et annet resultat, noe som det bør forskes mer på.

## 5 Konklusjon

Målet med feltforsøket på Bjorli var å skaffe ny og bedre kunnskap om hvordan kost som metode fungerer på gang og sykkelveger. I forsøket har kost som metode blitt prøvd ut på ulike typer snø og scenarier som er reelle å møte i normal vinterdrift og resultatene har bidratt til ny kunnskap.

Basert på resultatene fra feltforsøket ser det ut til at kost som metode fungerer best når det er mindre mengder snø som skal fjernes og snøen ikke har blitt komprimert av ulike typer trafikanter. Forsøkene viser at det var svært stor forskjell i mengden restsnø; i forsøket med tørrsnø var mengden restsnø neglisjerbar men når snøen var bløt og tung, i dette tilfellet på grunn av saltinnhold ble det betydelig mengder snø som lå igjen på vegbanen. Når snøen er tung og snømengdene er på lik linje med forholdene i forsøk 1 og 2 trengs det ekstra tiltak for å fjerne snøen. Dette er en problemstilling som man bør være ekstra bevisst på der gang- og sykkelveger er plassert inntil bilveg og hvor man risikerer at det brøytes snø innpå fra vegbanen ved siden av.

I dette forsøket ble det brukt traktor for å komprimere snøen. Traktorer er atskillig tyngre enn en myk trafikanter, men er konstruert for å minimere marktrykket ved hjelp av store hjul og lavt dekktrykk. På grunn av at man ikke har tilgang til vekt, dekktrykk og anleggsflate for traktoren er det ikke mulig å si noe om forholdet mellom marktrykk fra en person versus traktor i dette forsøket. Kosteforsøk 6 viste imidlertid at type trafikanter som komprimerer snøen har lite å si i forhold til hvor godt snøen binder seg til underlaget. Dersom dette blir sett i sammenheng med syklustidforsøket der alle tidsintervallene ga tilfredsstillende resultat, er fortsatt en kort syklustid å anbefale for å minimere antallet trafikanter som rekker å komprimere snøen innen det utføres tiltak.

Ryddeeffektiviteten virker å bli dårligere når snøen blir komprimert og binder seg til bakken. Dette gjelder særlig dersom hastigheten på kjøretøyet øker. Når snøen ikke er komprimert er det fortsatt en sammenheng mellom kjørehastighet og ryddekapasitet, der ryddekapasiteten påvirkes negativt av økt hastighet. Det er imidlertid noen avvik i forhold til kjørehastighet for saltblandet snø der en kjørehastighet på 10 km/t ga best resultat. For å konkludere med at det ved slike forhold er bedre med en høyere kjørehastighet må det gjennomføres flere forsøk. Hastigheter over 10 km/t er uansett ikke å anbefale, både med hensyn til sikkerheten til eventuelle trafikanter på gang- og sykkelveger, men også ryddeeffektiviteten basert på resultatet fra dette forsøket.

## Vegen videre

Forsøket har gitt verdifull informasjon om kost som metode samtidig som det har vist at det finnes noen utfordringer. Forslag til framtidens studier er å:

- 1) prøve ut flere typer av koster for å se hva det har å si for resultatet
- 2) involvere brukerperspektivet og se hva brukere synes om de ulike resultatene
- 3) forsøk med syklustid der testarealet blir trafikkert av myke trafikanter underveis i forsøket.

## Litteraturliste

Nilssen, K., Klein-Paste, A., Wåhlin, J., & Delapaz, M. A. (2017). Use of Calorimetry to Measure Ice-Melting Capacity. *Transportation Research Record*, 2613(1), 1–7. <https://doi.org/10.3141/2613-01>

Niska, A., & Blomqvist, G. Sopsaltning av gång- och cykelvägar Fältförsök i Stockholm vintern 2017–2018. VTI 2018.

Niska, A., Blomqvist, G., & Järleskog, I. Utvärdering av sopsaltning på cykelstråk i Stockholm vintern 2016/17. VTI 2017.

Statens vegvesen, Vegdirektoratet: Opplæring i vinterdrift for operatører. Vegdirektoratet 2018



Teknologi for et bedre samfunn

[www.sintef.no](http://www.sintef.no)