



FFI-RAPPORT

21/00552

Alternative baneavisingmidler og -metoder — en litteraturstudie

Ida Vaa Johnsen
Jorunn Aaneby

Alternative baneavisingsmidler og -metoder – en litteraturstudie

Ida Vaa Johnsen
Jorunn Aaneby

Emneord

Avrenning
Korrosjon
Miljøpåvirkning
Vinter
Is
Snø

FFI-rapport

21/00552

Prosjektnummer

555701

Elektronisk ISBN

978-82-464-3334-9

Engelsk tittel

Alternative runway deicing chemicals and methods – a literature study

Godkjennerne

Øyvind Voie, *forskningsleder*
Janet M. Blatny, *forskningsdirektør*

Dokumentet er elektronisk godkjent og har derfor ikke håndskreven signatur.

Opphavsrett

© Forsvarets forskningsinstitutt (FFI). Publikasjonen kan siteres fritt med kildehenvisning.

Sammen drag

Formålet med denne litteraturstudien har vært å sammenstille informasjon som finnes om baneavisingmidler og alternative metoder for å holde rullebaner snø- og isfrie. Målet har vært å finne en metode som ikke forårsaker korrosjon av flymaterialer og ikke er miljøskadelig. Det er besluttet at Evenes flystasjon skal etableres som fremskutt operasjonsbase (QRA) og hovedbase for maritime overvåkningsfly (MPA). Informasjon om forholdene på Evenes er derfor også viet plass, da det er prekært å få i stand en ordening for avising så raskt som mulig fordi Forsvaret etter planen skal være klar for QRA i januar 2022 og MPA sommeren 2022.

For å holde rullebaner snø- og isfrie benyttes i hovedsak tre metoder: kjemiske, mekaniske og termiske metoder. Ved kjemisk fjerning av is og snø, benyttes baneavisingmidler. De vanligste baneavisingmidlene som benyttes i dag, er salter av acetat eller formiat, disse er miljøvennlige, men korrosive. Tidligere ble urea mye benyttet. Urea er lite korrosivt, men ikke miljøvennlig ettersom det inneholder nitrogen og har høyt kjemisk oksygenforbruk (KOF). Utlekking av urea kan føre til eutrofiering i nærliggende vassdrag. Betain er et relativt nytt baneavisingmiddel. Det gir lavere miljøbelastning enn urea, men høyere enn acetat/formiat, mens de korrosive egenskapene likner de for urea. For å hindre at miljøskadelig utlekking fra avisingmidler når resipient, kan avrenningsvannet infiltreres gjennom filtermedier som enten binder til seg eller bryter ned middelet. Avrenningen kan også samles opp og føres til et område som tåler høyere KOF-belastning, eller til kommunalt spillvannnett eller et eget renseanlegg.

God mekanisk fjerning av is og snø, og optimalisert bruk, kan minimere bruken av baneavisingmidler. Tilstrekkelig bemanning, god opplæring av personell, nok og godt utstyr samt beslutningssystemer (intelligente rullebaner/rullebaneteknologi) er virkemidler som kan bidra til å redusere bruken. Disse virkemidlene er allerede på plass på mange flyplasser.

Oppvarming av dekket på flyplasser kan redusere eller fjerne behovet for baneavisingmidler helt. Oppvarmingen kan være hydronisk eller elektrisk. En ny metode som innebærer elektrisk ledende dekke/betong ser ut til å være relativt rimelig og effektivt sammenliknet med hydronisk oppvarming og vanlige elektriske varmekabler. I elektrisk ledende dekke blandes elektrisk ledende materiale (karbonfiber eller fiber av rustfritt stål) inn i betongen. Når spenning tilføres betongblokken utvikles varme på grunn av den høye motstanden i materialet.

FFI anser at det med dagens kunnskap og teknologi er tre reelle alternativer for avising på Evenes: fortsatt bruk av formiat, bytte til betain eller elektrisk ledende dekke. Fortsatt bruk av formiat vil sannsynligvis føre til korrosjon på luftfartøyene. For å minimere korrosjon er det viktig å minimere bruken av avisingmidler så mye som mulig og fokusere på vedlikehold og rengjøring av luftfartøyene. Ved bytte til betain må det innføres tiltak for å hindre stor KOF-belastning på nærliggende resipienter, slik som oppsamling. Ved installasjon av elektrisk ledende dekke, må hele dekket på flyplassen skiftes, men til gjengjeld vil bruken av avisingmidler sannsynligvis kunne reduseres med ca. 90 %.

Summary

The purpose of this literature review was to gather available information regarding runway deicing. The goal was to find a deicing method that is neither corrosive nor environmentally harmful. It has been decided that Evenes Airport will be established as a quick reaction alert (QRA) and as the main base for the maritime patrol aircraft (MPA). Information regarding Evenes is therefore also present in the report because there is an urgent need for a deicing solution, as Evenes is supposed to be ready for QRA in January 2022 and for MPA summer 2022.

To keep runways free from snow and ice, there are three main methods in use: chemical, mechanical and thermic methods. Chemical removal of snow and ice involves use of deicing agents. As of today, the most used deicing agents are salts of acetate and formate, which are environmentally friendly but corrosive. Urea is a deicing agent that was widely used in the past; it is not corrosive but not environmentally friendly as it contains nitrogen and has high chemical oxygen demand (COD). Leaching of urea can lead to eutrophication of nearby watercourses. Betaine is a relatively new deicing agent that has environmental impact between that of urea and formate/acetate, and its corrosive properties are close to those of urea. To prevent that environmentally harmful leachate from deicing agents reach the recipient, the leachate can be filtered through filter media that bind or break down the agent. The leachate can also be collected and led to an area that tolerates the elevated COD load, to a municipal wastewater network or a treatment plant.

Good mechanical snow- and ice removal, and optimized use, can minimize the use of runway deicing agents. Sufficient staffing, good training of personnel, sufficient and good equipment as well as decision-making systems (intelligent runways/runway technology) may contribute to this. These means are already present at many airports.

Heating the concrete/tarmac at airports can reduce or eliminate the need for runway deicing agents. Heating can be hydronic or electric. A new method involving electrically conductive concrete seems to be a relatively inexpensive and efficient method to heat the runway, compared to hydronic heating and normal electric heating cables. In electrically conductive concrete, electrically conductive material (carbon fiber or stainless steel fiber) is mixed into the concrete. When voltage is applied to the concrete block, heat develops because of the high resistance in the material.

At Evenes, FFI considers that there are three realistic options for deicing: continued use of formate, switching to betaine, or electrically conductive concrete. Continued use of formate is likely to lead to corrosion of the aircrafts. To minimize the corrosion, it is essential to minimize the use of deicing agents as much as possible, and focus on maintenance and cleaning of the aircraft. If betaine is to be used, measures must be introduced to prevent a large COD load to nearby recipients, for instance collection of the leachate. If an electrically conductive concrete deck was to be installed, the entire deck at the airport must be replaced, but in return, the use of deicing agents could probably be reduced by approximately 90%.

Innhold

Sammendrag	3
Summary	4
Forord	8
1 Innledning	9
1.1 Bakgrunn	9
1.2 Formål	9
2 Avising og sikring av friksjon på rullebaner	10
2.1 Strategier for sikring av friksjon på rullebaner	10
2.2 Avisingsmidler	11
2.3 Utfordringer ved bruk av avisingsmidler	13
2.4 Hva gjøres i andre land?	13
3 Avisingsmidler	14
3.1 Urea	16
3.2 Acetater og formiater	16
3.3 Betain	17
3.4 Glykol	18
3.5 Gen3	19
4 Miljøutfordringer ved bruk av avisingsmidler	20
4.1 Oksygenforbruk og eutrofiering	20
4.2 Nitrogen	21
4.3 Utslippstillatelser	21
5 Korrosjonsutfordringer ved bruk av avisingsmidler	23
5.1 Katalytisk oksidasjon av karbon/karbon-bremser	24
5.2 Kadmiumkorrosjon	24
5.3 Aluminiumkorrosjon	25
5.4 Elektroniske komponenter	25
6 Metoder for å begrense uheldige effekter ved bruk av avisingsmidler	26

6.1	Filtrering	26
6.1.1	Infiltrasjon i jord	26
6.2	Oppsamling	28
6.2.1	Bassenger/dammer	28
6.3	Optimalisert baneavising	28
6.4	Korrosjonsinhibitorer	29
7	Alternativer til å benytte baneavisingsmidler	31
7.1	Mekanisk fjerning	31
7.2	Oppvarming	31
7.2.1	Hydronisk oppvarming	31
7.2.2	Elektrisk oppvarming	32
7.2.2.1	<i>Elektrisk ledende dekke</i>	32
7.3	Modifikasjoner av rullebanen	35
7.3.1	Superhydrofobe materialer	35
7.3.2	Fasevekslingsmateriale	36
8	Evenes lufthavn	38
8.1	Geografi, økologi og miljø	38
8.2	Dagens strategi for avising og sikring friksjon	40
8.2.1	Utslippstillatelse for avisingsmidler	41
8.2.2	Avrenning av avisingsmidler	41
8.2.3	Prøvetaking/overvåking	42
8.3	Avising og sikring av friksjon etter Forvarets etablering	42
8.3.1	Flyavising	42
8.3.2	Baneavising	42
8.3.3	Avrenning av avisingsmidler	43
8.3.4	Alternativutredning	44
9	Relevante alternative løsninger for avising og sikring av friksjon	45
9.1	Benytte betain som baneavisingmiddel	47
9.2	Oppvarming ved hjelp av elektrisk ledende dekke	48
9.3	Kostnader	48
10	Konklusjon	50
10.1	Generelle funn angående avising og sikring av friksjon på flyplasser	50
10.2	Avising og sikring av friksjon på Evenes lufthavn	51
10.3	FFI har følgende anbefalinger	51
	Referanser	52

11 Vedlegg	57
A E-post-korrespondanse, ledende betong	57
B Avrenning og KOF-belastning Evenes	64
B.1 Beregninger fra Avinors utslippssøknad, dagens bruk	64
B.1.1 Aviform	65
B.1.2 Glykol	68
B.1.3 Total	70
B.2 Beregninger fra Forsvarsbyggs beregninger, tilleggsbelastning ved Forsvarets etablering.	71
B.2.1 Aviform	71
B.2.2 Glykol	73
B.2.3 Total	74
B.3 Nye beregninger Avinor v/Helland, Brev	75

Forord

Dette oppdraget er finansiert av Forsvarsdepartementet (FD). Arbeidet er gjort i samråd med en prosjektrådsgruppe med representanter fra: Avinor, Luftforsvaret, Forsvarsmateriell (FMA), Forsvarsbygg (FB), Forsvarsstaben (FST) og Forsvarsdepartementet (FD). I tillegg har Forsvarets laboratorietjeneste (FOLAT) og Norges teknisk-naturvitenskaplige universitet (NTNU) bidratt med kunnskap.

Denne rapporten er en del av et oppdrag vedrørende alternative avisingsmidler og –metoder. Funnene fra arbeidet med denne rapporten har ført til at FFI har utført laboratorietester av det alternative baneavisingsmiddelet betain, i tillegg til de tradisjonelle baneavisingsmidlene Aviform og urea, for å sammenlikne avisingsegenskapene. Filtermedier har blitt testet for å se på om disse kan binde til seg og/eller bryte ned betain. Resultatene fra disse studiene foreligger i en egen rapport. FFI har også fulgt opp storskalatester av betain. Resultatene fra disse testene foreligger også i en egen rapport. En samlet vurdering og kostnadsanalyse, basert på litteratur-, laboratorie- og storskalastudien, har også vært en del av dette oppdraget.

Lørenskog, 04. mars 2021
Ida Vaa Johnsen og Jorunn Aaneby

1 Innledning

1.1 Bakgrunn

I Norge har vi i vinterhalvåret et klima som fører til isdannelse og snø på rullebanene på flyplasser. For at fly skal kunne lette og lande trygt må det være tilfredsstillende friksjon på rullebanen. Dette innebærer ofte bruk av avisingsmidler. Ved bruk av slike avisingsmidler må det tas hensyn til miljøet, i tillegg til luftfartøyene og rullebanenes konstruksjon. Overgangen til mer miljøvennlige avisingsmidler har resultert i korrosjonsskader på luftfartøy i Norge og enkelte andre land. Over tid vil korrosjonsskader kunne ha store økonomiske konsekvenser. Med Evenes som ny fremskutt operasjonsbase (Quick reaction alert, QRA) og hovedbase for MPA (maritime patrol aircraft), er det viktig at det gjøres en grundig vurdering av avisingsmidlers påvirkning på miljøet og luftfartøy.

1.2 Formål

Målet med dette arbeidet var å kartlegge alternativer til bruk av urea og Aviform, som er baneavisingsmidlene som benyttes i Norge i dag, med hensikt å finne alternativer som ikke medfører korrosjon av flymateriell eller gir skadelige effekter på miljøet. Alternative løsninger til bruk av baneavisingsmidler samt korrosjonsinhibitorer har også blitt undersøkt.

Det er allerede gjort en del arbeid når det gjelder alternative avisingsmidler som er både miljøvennlige og lite korroderende, spesielt med tanke på Forsvarets etablering på Evenes. Arbeidet har blant annet tatt for seg både miljøkonsekvenser, og alternative metoder for avising av rullebanen. Denne studien er dermed ikke den første i rekken som forsøker å belyse og løse problemet med avising av rullebaner eller problematikken rundt korrosjon. Et av formålene med denne rapporten er å samle informasjon om hva som er gjort tidligere, for å forsøke å få et oversiktsbilde. Det vil likevel være å finne en enkel løsning for Evenes som er førsteprioritet. Det er ønskelig med en løsning som kan implementeres raskt. Denne rapporten vil også være et godt grunnlag for videre arbeid, både på Evenes og andre flyplasser.

2 Avising og sikring av friksjon på rullebaner

For å opprettholde høy nok friksjon på rullebaner om vinteren benyttes det en rekke metoder og strategier, og kombinasjoner av disse. Strategiene kan innebære fjerning av is ved hjelp av kjemiske metoder, mekaniske metoder, eller øke friksjonen på andre måter, som for eksempel sand og rilling.

Når det er behov for å øke friksjonen på veier eller rullebaner på grunn av is og snø, er det i hovedsak tre hovedkategorier av metoder som benyttes (Vaa and Sakshaug, 2007):

- Mekaniske metoder:
 - Brøyting
 - Fresing
 - Høvling
 - Kosting
 - Blåsing
 - Sand

- Kjemiske metoder (brukes i kombinasjon med mekaniske metoder):
 - Senking av frysepunktet til vann
 - Endring av kornstrukturen og bindinger i snøen
 - Smelting av is/snø
 - Avisingskjemikalier:
 - Klorider (NaCl, MgCl₂, CaCl₂)
 - Organiske salter:
 - Eddiksyresalter (acetater [Ac], KAc, MgAc, CaAc)
 - Maursyresalter (formiat [F], NaF, CaF)
 - Urea
 - Sukker og sukkeralkoholer:
 - Betain
 - Glykol

- Termiske metoder:
 - Bruk av energi/varme til å smelte is/snø

2.1 Strategier for sikring av friksjon på rullebaner

Det finnes i hovedsak tre forskjellige strategier for å sikre tilstrekkelig høy friksjon på rullebaner: svartbane-strategi, vinterbane-strategi og svart/hvit-strategi. Med svart-bane-strategi skal banen til enhver tid være fri for is og snø. Dette kan kun oppnås med tilstrekkelig bemanning døgnet rundt, og er slik sett en krevende strategi. Det som er positivt med en slik strategi er at det kreves mindre energi for å opprettholde en snø- og isfri bane enn å smelte/rydde store mengder is og snø. Med en såkalt svart/hvit-strategi holdes ikke banen snø-

og isfri til enhver tid, men det smeltes/ryddes etter behov. I tillegg vil det ved svart/hvit-strategi kunne benyttes strøsand istedenfor å smelte/rydde banen ved noen forhold. Ved vinterbanestrategi gjøres det ikke forsøk på å fjerne is og snø, men å opprettholde høy nok friksjon ved andre metoder slik som rilling og strøsand. Hvilken strategi som velges, avhenger blant annet av klimaet i området der flyplassen ligger, flytrafikk og bemanning.

Det skilles generelt mellom to metoder å påføre baneavisingmidler på; såkalt avising (deicing) og antiising (antiicing). Avising er den klassiske metoden der baneavisingmiddelet påføres etter behov, ved snøfall eller tilfrysing. Antiising innebærer å påføre baneavisingmiddel før snøfall eller tilfrysing for å hindre snø og is i å binde seg til asfalten, og dermed gjøre mekanisk snøfjerning lettere. Antiising er en mer effektiv metode som krever mindre baneavisingmiddel fordi den ikke krever at mye av energien benyttes til å smelte seg ned til underlaget, som vil være tilfellet ved påføring av baneavisingkjemikalie etter snøfall (Cargill, 2020). Metoden med antiising vil ikke alltid være mulig å benytte, fordi det ikke alltid er lett å forutse når snøfall/tilfrysing vil skje, eller hvis snøværet varer over lengre perioder.

2.2 Avisingsmidler

Noen avisingsmidler kan ha en negativ innvirkning på miljøet, mens andre kan forårsake korrosjon på luftfartøy. Den negative miljøpåvirkningen forårsakes i hovedsak av høyt oksygenforbruk (KOF-kjemisk oksygenforbruk) ved nedbrytning av avisingsmiddelet i jord og vann, mens korrosjon ofte skyldes høy ledningsevne og overflatespenning til avisingsmiddelet. Avisingsmidlenes miljøpåvirkning og korrosive egenskaper er beskrevet nærmere i egne kapitler i denne rapporten (kapittel 4, 5 og 3). Tabell 2.1 gir en kort introduksjon til de vanligste avisingsmidlene som brukes i dag, samt noen nyere avisingsmidler.

Tabell 2.1 Oversikt over vanlige samt nye bane- og flyavisingmidler. Tabellen inneholder en kort beskrivelse av miljøpåvirkning, korrosivitet og bruk av avisingmidlene.

Avisingsmiddel	Miljøpåvirkning	Korrosivitet	Bruk
Urea	Høy KOF*, inneholder nitrogen	Lite korrosivt	Tidligere mye benyttet til baneavising, men utfaset pga. negativ miljøpåvirkning. Benyttes fortsatt på noen militære flyplasser med drenering rett i hav, eller store vassdrag som er lite sensitive for tilførsel av kjemikalier med høyt KOF.
Organiske salter (acetater og formiater)	Lav KOF*, ingen nitrogen	Høy korrosivitet	Formiater (Aviform, kaliumformiat) benyttes hovedsakelig som baneavisingmiddel på norske flyplasser i dag. Acetater benyttes i stor utstrekning som baneavisingmidler på flyplasser i andre land.
Glykol	Høy KOF*, ingen nitrogen	Lav korrosivitet	Benyttes som flyavisingmiddel på norske flyplasser.
Betain	Middels KOF*, inneholder nitrogen	Middels-lav korrosivitet	Et relativt nytt baneavisingmiddel som foreløpig kun benyttes i Finland og Sveits.
Gen3 (natriumacetat og glyserin)	Middels-lav KOF*, ingen nitrogen	Middels-høy korrosivitet	Et relativt nytt kommersielt baneavisingmiddel, benyttes i noen grad i England og USA.
Kloridsalter	Ingen KOF*, men har en rekke andre negative miljøeffekter ¹	Svært høy korrosivitet	Brukes tradisjonelt på veier. Er ikke aktuelt å benytte på flyplasser grunnet høy korrosivitet.

*KOF-kjemisk oksygenforbruk

¹ AMUNDSEN, C. E., FRENCH, H., HAALAND, S., PEDERSEN, P. A., RIISE, G. & ROSETH, R. 2008. Salt SMART, Miljøkonsekvenser ved salting av veier - en litteraturgjennomgang. Statens Vegvesen.

2.3 Utfordringer ved bruk av avisingsmidler

Tidligere var urea det foretrukne baneavisingsmiddelet på norske flyplasser, både sivile og militære. En del militære flyplasser benytter fremdeles urea. Urea er et effektivt baneavisingsmiddel, som i seg selv hverken er farlig for dyr eller mennesker. Det brukes for eksempel som gjødsel i landbruk. Urea ble allikevel besluttet utfaset som avisingsmiddel på flyplasser, fordi utslippet hadde en negativ effekt på miljøet, på grunn av nitrifisering og høyt kjemisk oksygenforbruk (KOF). Urea har i de fleste land blitt byttet ut med acetat eller formiat. I Norge benyttes formiat og produktet Aviform, i flytende og fast form. Flytende Aviform er et kaliumformiat, mens Aviform i fast form er et granulert natriumformiat. Formiat har et mye lavere oksygenforbruk enn urea, det inneholder ikke nitrogen, og er ikke giftig for planter, dyr eller mennesker.

Acetat/formiat er i teorien et noe mer effektivt baneavisingsmiddel, og det fungerer ved lavere temperaturer enn urea. Etter utfasing av urea, ble det imidlertid oppdaget økende og hyppigere korrosjonsskader på luftfartøy (Vooren, 2020, Huttunen-Saarivirta et al., 2011). For kommersiell flytrafikk er dette problematisk, men fordi flyene byttes ut relativt ofte, er det en problematikk som kan håndteres ved hyppig kontroll, vedlikehold og utskifting av deler. For militære luftfartøy er korrosjonen mer problematisk, da luftfartøyene er ment å vare vesentlig lenger. Kampfly er lavere og har mindre avstand til rullebanen enn kommersielle fly og vil dermed være mer eksponert for avisingsmidler. Dette kan få store økonomiske konsekvenser. Det er derfor viktig å finne alternative løsninger for baneavising på Forsvarets flyplasser, spesielt på Evenes som skal være en QRA og som har et krevende klima.

På enkelte militære flyplasser er det fortsatt tillatt å bruke urea. Dette er flyplasser som ligger slik til at avrenningen ikke vil skape miljømessige problemer for nærliggende vassdrag, for eksempel ved at avrenning skjer direkte til havet eller fjorden. Evenes ligger i et våtmarksområde og avrenningen fra flyplassen går ikke direkte ut til fjord eller hav, men til innsjøer og myrområder. Vassdragene rundt Evenes flyplass er vernet og tillat utslipp av KOF er svært begrenset. Det er derfor behov for alternative løsninger til baneavising som forhindrer både korrosjonseffekter på luftfartøy og miljøskadelige utslipp.

2.4 Hva gjøres i andre land?

Mange land benytter formiater og acetater som baneavisingsmiddel. I Sverige benyttes utvannet urea. Både Finland (Pasanen, 2019) og Sveits (Keiser, 2019) har til en viss grad begynt å bruke et relativt nytt baneavisingsmiddel bestående av betain. Dette produseres av Dupont/Danisco og selges under navnet Nutristim eller Betafrost. Keiser (2019) og Pasanen (2019) forteller at Betafrost/Nutristim har en miljøbelastning som ligger et sted mellom belastningen til urea og formiat, der nitrogen er det største problemet. Keiser (2019) erfarer kraftig minskning av korrosjon etter at formiat ble byttet til betain på rullebaner i Sveits.

3 Avisingsmidler

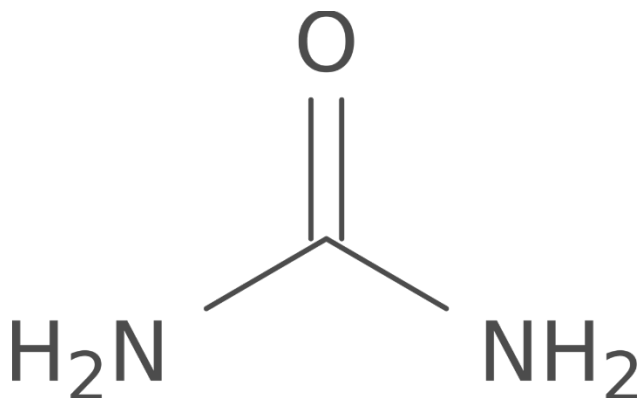
En oppsummering av de kjemiske egenskapene til avisingsmidlene som er omtalt i denne rapporten er gitt i Tabell 3.1.

Tabell 3.1 Oppsummering av avisingsmidler og komponenter i avisingsmidler, kjemiske og biologiske egenskaper. (EPA, 2012, Paaianen, 2017, Krouwer, 2017, Uggerud, 2020b, Acinor, 2012, Addcon, 2015, Addcon, 2012, Clariant, 2017, Clariant, 2016, Shi and Fu, 2018, Shi, 2008, Eastman, 2015, LNTsolutions, Eastman, 2018).

Avisingsmiddel	Kjemisk formel/ sammensetning	pH	Ledningsevne av 1% løsning (µS/cm)	Akutt toksisitet, EC ₅₀ eller LC ₅₀ (mg/l)			BOF (kg O ₂ /kg)	KOF (kg O ₂ /kg)
				fisk	alge	vannlopper		
Urea	CH ₄ N ₂ O	~10 (35% løsning)	18	9100		10000	1,8	2,1
Kaliumformiat (KF)	KCHO ₂		7000	3500	3700	>1000	0,27	0,19
Natriumformiat (NaF)	NaCHO ₂	11			790	>1000	0,27	0,3
Aviform S	>97% NaF	10,5 (15% løsning)		>1000	1600	1070	0,2	0,24
Aviform L50	~50% KF, ~50% vann	11,5		1750	2500	4600	0,095	0,095 (0,13 kg O ₂ /L)
Meltium	Minimum 50 % formiat	<11,5					0,09	
Kaliumacetat (KAc)	CH ₃ CO ₂ K		9000					
Natriumacetat (NaAc)	CH ₃ CO ₂ Na						0,7	0,65
Clearway 1	Minimum 50 % KAc	10,5-11,5		>2000		>2000	0,21	0,33
Gen3	NaAc og glyserin	11-12					0,58	1
Betain	C ₅ H ₁₁ NO ₂	8,6	99					
Betafrost L Plus	50% betain, 50% vann	10,1	13	16 500		77 000	0,2	0,48
Betafrost G	Betain	8,6	40					
Nutristim	Betain		15					
Safewing MPI	Propylenglykol med tensider	8-9,5		8902	3921	8180	1,38	0,6
Safewing MPII	Propylenglykol og tensid	7-7,5		2443	2266	1030	0,35	0,85

3.1 Urea

Urea er en organisk forbindelse som finnes naturlig i kroppen og bruksområdene er mange. I tillegg til snø- og ismelting kan urea benyttes til for eksempel gjødsling, i hudkrem og som førtilskudd. Den kjemiske formelen til urea er $\text{CH}_4\text{N}_2\text{O}$ (strukturformel i Figur 3.1). Urea er lett løselig i både vann og alkohol (Acinor, 2012). Den avisende effekten til urea er å senke vannets frysepunkt, reaksjonen er endoterm, og fordi det da drar varme fra omgivelsene er den effektiv som baneavisingmiddel kun ned til ca. $-4\text{ }^\circ\text{C}$ (Utstøl-Klein et al., 2016). Ren urea inneholder ca. 46 % nitrogen og kan dermed føre til nitrifisering/eutrofiering av vann i nærliggende områder når det slippes ut (Uggerud, 2020b). Urea er ikke giftig for vann- eller jordlevende organismer, men når urea brytes ned dannes ammoniakk/ammonium ($\text{NH}_3/\text{NH}_4^+$). Nedbrytningen av urea til ammoniakk/ammonium og nitrater er sterkt avhengig av temperatur. Ved $20\text{ }^\circ\text{C}$ brytes det ned i løpet av få dager (4-6 dager), mens ved vanntemperaturer under $8\text{ }^\circ\text{C}$ er det tilnærmet ingen nedbrytning (EPA, 2012, Aquateam, 2013). Baneavisingmiddel brukes kun om vinteren når temperaturen i vannet er under $8\text{ }^\circ\text{C}$, dette kan føre til at frem til våren vil store deler av utslippet fra baneavisingmiddelet fortsatt foreligge som urea. Man kan da tenke seg to scenarier; at det blir en voldsom økning av først ammoniakk og deretter nitrater i vassdragene rundt flyplassen når våren kommer, eller at urea rekker å fortynnes og spre seg, slik at ammoniakk- og nitratkonsentrasjonen ikke blir spesielt høy i noen områder.

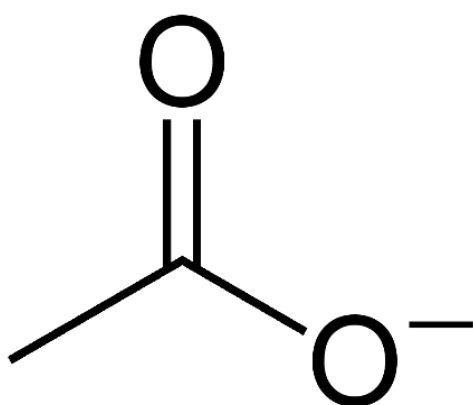


Figur 3.1 Strukturformel av urea, hentet fra Store norske leksikon, laget av Johannes Botne (Uggerud, 2020b).

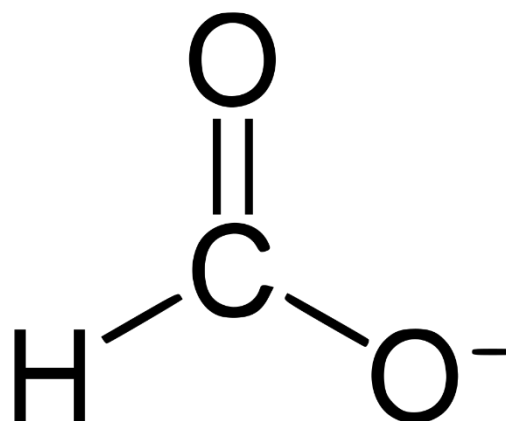
3.2 Acetater og formiater

Strukturformelen til acetat og formiat kan ses i Figur 3.3 og Figur 3.2, de har lavere BOF/KOF enn urea og inneholder ikke nitrogen. Acetater og formiater fungerer ved å senke vannets frysepunkt. Ved bruk slippes det ut $\text{C}_2\text{H}_3\text{O}_2^-$ -ioner fra acetater og CHO_2^- -ioner fra formiater (EPA, 2012). Løselighet i vann vil variere mellom de forskjellige saltene, men generelt er alle godt løselig i vann. Acetat brytes raskt ned i vann og jord, biprodukter ved nedbrytning er bikarbonat, karbondioksid og vann, mens formiat kun danner bikarbonat og karbondioksid. Formiat brytes også raskt ned i vann, men (aerobisk) nedbrytning er betraktelig tregere ved lave

temperaturer. Hverken acetater eller formiater er spesielt giftig for vannlevende organismer (akutt toksisk dose for fisk, vannlopper og alger >1000 mg/L)(Addcon, 2015, Addcon, 2012). På norske flyplasser er det Aviform som i stor grad benyttes. Aviform produseres av ADDCON Nordic AS. Aviform finnes i flytende (L50) og fast (S-solid) form, Aviform L50 er en vandig løsning bestående av 40-80 % kaliumformiat, 20-60 % vann og <1 % korrosjonsinhibitor (Addcon, 2012), Aviform S er et granulært bestående av >97 % natriumformiat og <1 % av tre forskjellige korrosjonsinhibitorer (Addcon, 2015).



Figur 3.2 Strukturformel av acetat, fra Wikipedia.



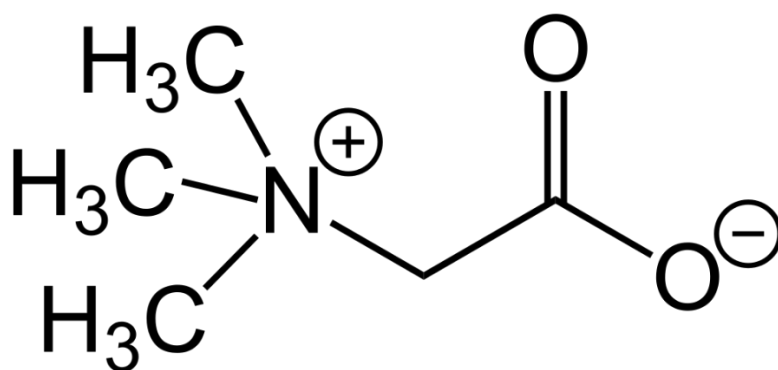
Figur 3.3 Strukturformel av formiat, fra Wikipedia.

3.3 Betain

Betain (trimetylglysin) er et naturlig biprodukt ved prosessering av sukkerbete. Strukturformelen til betain kan ses i Figur 3.4 (Thalasso et al., 1999). Betain inneholder ingen alkalimetaller og har lavere ledningsevne enn acetater og formiater, og er derfor mindre korrosivt. Betain har høyere BOF/KOF enn acetat og formiat, men lavere enn urea. I likhet med urea inneholder betain nitrogen (15 % w/w), men nitrogeninnholdet i betain er lavere enn i urea (46 %). Betainbaserte baneavisingsmidler finnes i flere former; Nutristim, Betafrost G og Betafrost L Plus. Betafrost G er et granulært, Nutristim er krystaller og Betafrost L Plus er en væske. Alle granulerte avisingsmidler vil til en viss grad være følsomme for vind, men Nutristim er mer finkornet og er derfor veldig følsom for vind ved utlegging på rullebane (Wortel, 2017), Betafrost L inneholder ca. 50 % betain og 50 % vann.

Både Sveits og Finland benytter betain som baneavisingmiddel i stor grad. Finland har testet ut betain både i praksis, og i laboratorium siden 2003 (Alatypö and Jutila, 2010b). I laborietester hadde betain en avisingseffekt på ca. halvparten av avisingseffekten til kaliumformiat. I feltforsøk hadde derimot betain og kaliumformiat lik smelte- og

friksjonseffekt. I 2004 ble betain innført på to flyplasser i Finland. Det ble ført dagbøker, slik at effekten av betain kunne sammenliknes med formiat og urea som ble benyttet på andre flyplasser. Det var friksjonen som ble sammenliknet. Alle banevisingsmidlene ga tilfredsstillende friksjon, effekten var som følger: formiat>betain>urea. Sannsynligheten for en suksessfull antiskli-behandling (friksjonen oversteg påkrevd nivå) var 99,9994 % for urea, 99,99995 % for betain og 99,9999994 % for formiat og acetat.

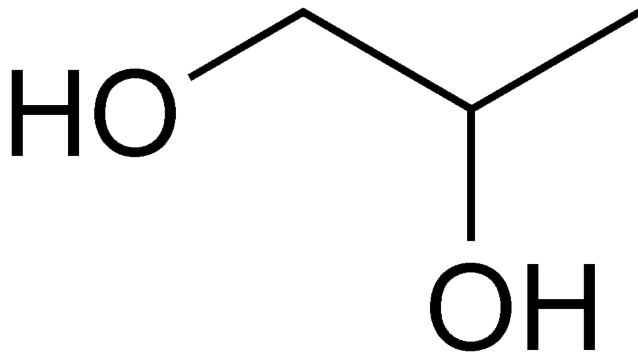


Figur 3.4 Strukturformel av betain, fra Wikipedia.

3.4 Glykol

Det er flere typer glykol som kan brukes som flyavisingsmiddel, de mest kjente er glykol (etylenglykol) og propylenglykol. Propylenglykol er et alkohol med to OH-grupper og strukturformel kan ses i Figur 3.5. Propylenglykol er et frysepunktsnedsettende stoff som benyttes i både kjølevæske og som flyavisingsmiddel på norske flyplasser (Uggerud, 2020a). Stoffet har et frysepunkt på $-59\text{ }^{\circ}\text{C}$.

På Avinors lufthavner (ansvaret for avising ligger hos flyselskapene) benyttes Safewing som avisingsvæske for luftfartøy. Safewing består av propylenglykol. Safewing (MP I og MP II) har en KOF på henholdsvis 0,6 og 0,85 g O_2/g (Clariant, 2017, Clariant, 2016). Det høye oksygenforbruket til propylenglykol gjør at utslippet fra flyavising utgjør en svært stor del av de totale KOF-utslippene på norske flyplasser. Det er på den annen side lettere å begrense utlekking av glykol enn banevisingskjemikaler, da mesteparten vil renne av luftfartøyet ved avisingsplattformen, som muliggjør oppsamling og behandling av avrenningsvannet.



Figur 3.5 Strukturformel propylenglykol, (Wikipedia, 2020)

3.5 Gen3

Gen3, også kalt Batelle-RDF, er et relativt nytt kommersielt baneavisingmiddel som blant annet benyttes i England og USA (Wyderski et al., 2011). Det er et flytende avisingmiddel som fungerer ved å senke frysepunktet til vann. Gen3 inneholder en blanding av natriumacetat og glyserin. Gen 3 har en KOF på 0,66 g O₂/g. Videre kjemiske egenskaper er oppsummert i Tabell 3.1 (LNTsolutions).

4 Miljøutfordringer ved bruk av avisingsmidler

Det er flere parametere som er viktig å se på når det gjelder miljøkonsekvensene av et baneavisingsmiddel, blant annet oksygenforbruk, toksisitet, bioakkumuleringspotensial, biologisk nedbrytning og nedbrytningsprodukter, og næringsstoffer (Aquateam, 2013). Ingen av avisingsmidlene som er omtalt i denne rapporten anses som toksiske for mennesker, dyr, jordlevende eller vannlevende organismer ($LC_{50} \gg 100$ mg/L) (Aquateam, 2013). Urea i seg selv er ikke toksisk, men ved utslipp til vann med høy pH dannes NH_3 (ammoniakk) som er giftig for vannlevende organismer (EPA, 2012). Alle avisingsmidlene brytes ned raskt, og er derfor ikke ansett som persistente eller bioakkumulerende. Nedbrytning av avisingsmidlene, spesielt betain, glykol og urea, krever oksygen og vil derfor gå sakte under anoksiske forhold. Ingen av kjemikaliene inneholder svovel, men både betain og urea inneholder nitrogen som kan føre til eutrofiering, dvs. plante- og algeoppblomstring, av vassdrag. På grunn av metallene i acetater og formiater, kan utslipp av disse føre til mobilisering og utlekking av tungmetaller fra jord (Fay and Shi, 2012).

4.1 Oksygenforbruk og eutrofiering

Både organisk materiale (materialer med høy KOF-belastning) og nitrogen kan føre til eutrofiering av vassdrag. Eutrofiering er en prosess der plante- og algeproduksjonen øker som følge av økt tilførsel av næringsstoffer (Hongve and Kjensmo, 2019). Både nedbrytningen av det organiske materialet og oppblomstringen (og den videre nedbrytningen) av planter og alger, kan føre til anoksiske forhold i vassdrag. Om vannet blir oksygenfattig, vil det føre til endring i artssammensetning da de forskjellige artene har ulike oksygenbehov (Miljødirektoratet, 2018). Høy KOF-belastning kan også føre til begroing av alger som bryter ned det organiske materialet og redusere fiskebestanden som er avhengig av oksygen. I innsjøer med lav bufferkapasitet kan tilførsel av mye organisk materiale (materialer med høy KOF) føre til økning i pH, som igjen kan endre sammensetningen av mikroorganismer (Hongve and Kjensmo, 2019).

Oksygenforbruk kan måles som kjemisk oksygenforbruk (KOF, eng. COD), biologisk/biokjemisk oksygenforbruk (BOF, eng. BOD) og teoretisk beregnet oksygenforbruk (TOF, eng. ThOD). I følge Store Norske Leksikon er KOF og BOF:

«Kjemisk oksygenforbruk er et mål for mengde av kjemisk nedbrytbart, organisk stoff i vann, ofte forkortet KOF eller COD (av eng. Chemical Oxygen Demand). Det bestemmes ved at vannet behandles med en kjent mengde oksidasjonsmiddel, tidligere kaliumpermanganat og i dag kaliumdikromat. Overskuddet av oksidasjonsmiddel bestemmes deretter kvantitativt ved titrering eller spektroskopi.» (Pedersen, 2019)

«Biokjemisk oksygenforbruk, forkortet BOF, er et mål for mengden av oksygenforbrukende materiale i vann. BOF bestemmes ved å måle reduksjonen i oksygen i en vannprøve som er satt i mørke over en bestemt tid og ved en bestemt temperatur (vanligvis 7 døgn og 20 °C, BOF₇).»

Denne metoden gir et mål for bakteriers nedbrytning av organisk materiale i vannprøven. BOF er en nyttig faktor ved undersøkelser av blant annet vannforurensning.» (Bakken, 2019)

Teoretisk oksygenforbruk (TOF) er det støkiometrisk beregnede oksygenforbruket som kreves for å oksidere en kjemisk forbindelse til endeprodukter, slik som CO₂, NH₃, H₂PO₄⁻, SO₄²⁻ og H₂O (Baker et al., 1999). Om den kjemiske forbindelsen er lett nedbrytbar, vil TOF og KOF være relativt like.

4.2 Nitrogen

Nitrogenholdige forbindelser kan ha negative innvirkninger på miljøet på flere måter. Nitrogen og nitrater kan, som beskrevet over, virke gjødselende og bidra til eutrofiering av vassdrag. Ammoniakk kan dessuten være giftig for vannlevende organismer. Ammoniakk er en fargeløs gass med stikkende lukt. Den kan løses i vann, og vil da foreligge som ammoniumhydroksid (NH₄OH) (Spillum, 2018, Pedersen, 2018). I vann vil ammoniakk være i likevekt med den ikke-giftige forbindelsen ammonium (NH₄⁺), likevekten vil skiftes mot ammoniakk når pH er over ca. 9,7 (ved 12 °C i ferskvann), og mot ammonium når pH er lav. Ved nøytral pH (7, ved 12 °C i ferskvann) vil kun ca. 0,2 % av det totale nitrogenet foreligge som ammoniakk (Terjesen and Rosseland, 2009). Så lave konsentrasjoner som 0,02 mg/L NH₃ kan være giftig for sensitive ferskvannsfisk. For *Daphnia magna* er 48 timer LC₅₀ 0,66 mg/L. Det finnes ingen fastsatte grenseverdier for ammoniakk eller ammonium i vann fra EU eller miljødirektoratet, men Vannportalen (2018) har foreslått en klassifisering, se Tabell 4.1. Totalt innhold av nitrogen i innsjøer og elver reguleres kun dersom vannforekomsten er svært eutrofiert eller er i fare for å bli det. Vurdering av vannets tilstand med tanke på nitrogeninnhold avhenger av type vannforekomst (vannkjemi) (Vannportalen, 2018).

Tabell 4.1 Tilstandsklasser for ammonium og ammoniakk i ferskvann foreslått av Vannportalen (2018).

µg/L	Svært god	God	Moderat	Dårlig	Svært dårlig
Ammoniakk	<5	5-10	10-15	15-25	>25
Ammonium	<30	30-60	60-100	100-160	>160

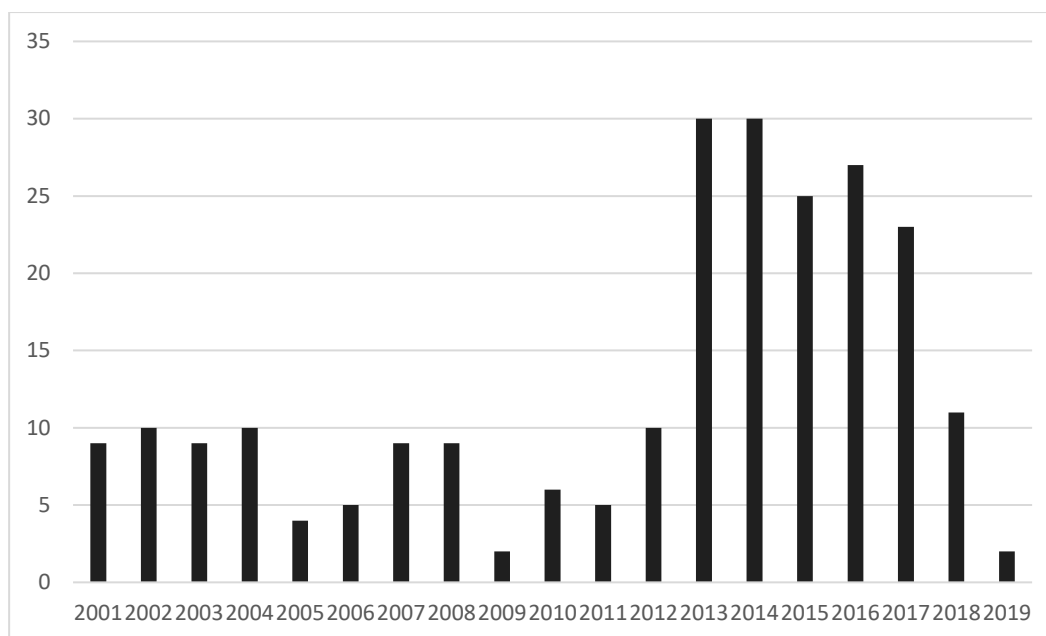
4.3 Utslippstillatelser

Utslipp av avisingsmiddel til vann eller grunnen anses som forurensning dersom utslippet er eller kan være til skade eller ulempe for miljøet, jf. forurensningsloven § 6. Utslipp av avisingsmiddel som kan være til skade for miljøet stiller derfor krav til at de som drifter flyplassen søker om tillatelse til forurensning, jf. forurensningsloven § 11. Det er normalt Statsforvalteren i fylket der flyplassen ligger som er forurensningsmyndighet og gir tillatelse til

forurensning fra flyplassen. Forurensningsmyndigheten kan sette vilkår i tillatelsen for å motvirke at utslipp av avisingsmiddel fører til skader eller ulemper for miljøet, som for eksempel rens tiltak, jf. forurensningsloven § 16. Vilåårene som fastsettes i utslippstillatelsen til den enkelte flyplass vil variere, avhengig av for eksempel driften og beliggenheten av flyplassen. Utslippsgrenser for avisingsmiddel kan fastsettes både i form av mengde avisingsmiddel det er tillatt å slippe ut eller bruke, og/eller mengde KOF det er tillatt å slippe ut eller bruke. I mange tilfeller stiller forurensningsmyndigheten krav i tillatelsen om at resipienten baneavisingsmiddelet slippes ut til skal overvåkes.

5 Korrosjonsutfordringer ved bruk av avisingsmidler

Det er kjent at baneavisingsmidler, og da spesielt acetater og formiater, er korrosive. Bruk av baneavisingsmidler kan dermed føre til korrosjonsskader på luftfartøy. Før avisingsmidler lanseres på markedet, gjør produsentene grundige korrosjonstester i henhold til standard testprosedyrer. Produktet kan ikke lanseres om det ikke presterer i henhold til krav for korrosjon. Allikevel har det etter bytte til nye baneavisingsmidler (formiater og acetater) blitt oppdaget signifikant flere korrosjonstilfeller på luftfartøy (Huttunen-Saarivirta et al., 2011). Huttunen-Saarivirta et al. (2011) spekulerer i om dette kan skyldes at standardtestene er kortvarige og dermed ikke gir et godt bilde av de faktiske forholdene. I Norge er det en tydelig trend at kampfly som har blitt benyttet på flyplasser der det benyttes Aviform korroderer betraktelig mer enn luftfartøy som har blitt benyttet på flyplasser der det benyttes urea (Vooren, 2020). I Figur 5.1 vises korrosjonstilfellene av kampfly fra 2001-2019. Det er ikke mulig å skille ut årsaken til korrosjon, men en drastisk økning av korrosjon sammenfaller med innfasing av Aviform. Også i Finland har det blitt rapportert en dramatisk økning i korrosjonstilfeller og skader på C/C-bremser etter at det ble byttet fra urea til acetater og/eller formiater (Alatypö and Jutila, 2010a).



Figur 5.1 Korrosjonstilfeller på kampfly fra 2001-2019, fra Forsvarets avviksstatistikk (Vooren, 2020). Aviform ble startet innfaset i mindre mengder fra 2002-2006, i 2006-2016 erstattet Aviform urea, fra 2017 har Ørlandet i stor grad benyttet utvannet Urea. I 2015-16 ble vingene byttet.

Hvor korrosivt et avisingsmiddel er, avhenger i stor grad av avisingsmiddelets ledningsevne, alkalimetaller katalyserer også i stor grad oksidasjonsreaksjonen. Overflatespenning kan også ha innvirkning på korrosjonsegenskapene. Løsninger med lav overflatespenning vil i større grad trenge inn i områder/sprekker der vann ikke trenger inn.

Det har blitt utført flere studier der det har blitt sett på avisingsmidlers korrosivitet, en oversikt over baneavisingsmidlene omtalt her kan ses i Tabell 3.1. SINTEF (Bjørgum et al., 2012, Bjørgum and Kvernbråten, 2019) har utført to studier der de så på avisingsmidlers korroderende egenskaper. I Bjørgum et al. (2012) ble korrosjon av Aviform, Clearway 1 og urea på kadmiert stål og karbon/karbon-kompositt testet. I Bjørgum and Kvernbråten (2019) ble korrosjon av Aviform, Nutristim, Gen3 og Betafrost L Plus på kadmiert stål og aluminiumslegeringer testet, i tillegg til inntrengningen i elektriske konnektorer. Det er i tillegg utført studier i både Finland (Huttunen-Saarivirta et al., 2013a, Huttunen-Saarivirta et al., 2011, Huttunen-Saarivirta et al., 2013b, Korpiemi et al., 2014) og USA (Shi, 2008). I Huttunen-Saarivirta et al. (2013a) og Korpiemi et al. (2014) ble korrosjon av kaliumformiat og kaliumacetat (både rent og som kommersielt tilgjengelig avisingsprodukter) på kadmiert stål testet, i tillegg til effekten av konsentrasjonen til avisingsmidlene. I Huttunen-Saarivirta et al. (2011) ble Betafrost B+ og C, Meltium (natriumformiat), Aviform L50 og urea på kadmiert- og kromatbehandlet stål (4340), aluminiumlegering (2024) og magnesiumlegering (RZ5) testet. Shi (2008) er en metastudie/litteraturstudie som omtaler resultater fra flere studier som omhandler avisingsmidlers korroderende effekt på komponenter i luftfartøy.

5.1 Katalytisk oksidasjon av karbon/karbon-bremser

Bremser i luftfartøy er såkalte karbon/karbon (C/C)-bremser. De består av en karbonmatriks som er forsterket med karbonfiber. De har svært gode mekaniske og termiske egenskaper, de er lette og nær friksjonsfrie. Slike bremser er utsatt for oksidasjon ved temperaturer >400 °C, som er temperaturer som lett kan oppstå under vanlig bruk. Derfor er C/C-bremser dekket med antioksidierende belegg, og oksidasjon vil ikke forekomme før dette laget er borte.

Alkalimetaller, slik som magnesium, kalium og natrium, som er komponenter i formiater og acetater, katalyserer oksidasjon av C/C-bremser. Bruk av baneavisingsmidler med alkalimetaller kan føre til at oksidasjonsraten ved lave temperaturer blir høyere enn den ellers ville vært.

Betain og urea inneholder ikke alkalimetaller og oksiderer karbonbremser i svært liten eller ingen grad (Jutila et al., 2011, Shi, 2008, Bjørgum et al., 2012).

5.2 Kadmiumkorrosjon

Kadmium (Cd) benyttes i stor utstrekning for å hindre stål i å korrodere. Enkelte baneavisingsmidler kan også øke korrosjon av kadmiert stål. I tester utført av SINTEF (Bjørgum et al., 2012, Bjørgum and Kvernbråten, 2019) ble det funnet lite korrosjon av det kadmierte stålet som ble eksponert for betain. For Gen3 ble det funnet vektøkning (korrosjon) etter ca. en uke, som oversteg grenseverdien i henhold til standard. Korrosjonen var også betraktelig for Clearway og Aviform. Etter to uker oversteg vektøket i det kadmierte stålet eksponert for

Aviform også grenseverdien i henhold til standard. I studien utført av Huttunen-Saarivirta et al. (2011) var kadmiumkorrosjonen mer tvetydig. Det ble utført tre forskjellige testmetoder som ga ulike resultater. I en av testene (standardtest) oversteg vektendringen etter eksponering for urea og Meltium grenseverdier, mens de andre avisingsmidlene (Betafrost B+ og C, og Aviform L50) var innenfor gitte grenseverdier for standardtest. I en annen test (polarisation curves) fant de en viss korrosjonseffekt av alle (Betafrost C, Meltium, Aviform L50 og urea) avisingsmidlene utenom Betafrost B+. I den tredje testen (open circuit potential measurements) fant de korrosjonseffekt kun av Betafrost C og Aviform L50. Huttunen-Saarivirta et al. (2013a) testet kun korrosjon av kaliumacetat og kaliumformiat, de konkluderte at kaliumformiat generelt var mer korrosivt for kadmium enn det kaliumacetat var.

5.3 Aluminiumkorrosjon

I testen utført av SINTEF (Bjørgum and Kvernbråten, 2019) hadde ingen av avisingsmidlene (Aviform L50, Betafrost L Plus, Gen3 og Nutristim) korroderende effekt på aluminium som oversteg grenseverdier. Prøver utsatt for Nutristim viste tegn til gropkorrosjon etter 24 timer. Huttunen-Saarivirta et al. (2011) fant at urea forårsaket gropkorrosjon, mens at dette kun skjedde ved noen få tilfeller for de andre avisingsmidlene (Betafrost C og B+, Meltium og Aviform L50).

5.4 Elektroniske komponenter

Elektriske komponenter kan også være utsatt for baneavisingsmidler og korrosjon. SINTEF (Bjørgum and Kvernbråten, 2019) testet hvordan Aviform L50, Betafrost L Plus, Nutristim og Gen3 trenger inn i konnektorer (to ulike, aluminium og stål). De fant ut at alle de testede avisingsmidlene viste inntrengning i gjenger og/eller konnektorer etter 24 timer. Kun aluminiumskonnektoren eksponert for Nutristim viste ingen tegn til inntrengning. Alle konnektorene hadde inntrengning etter 168 timer.

6 Metoder for å begrense uheldige effekter ved bruk av avisingsmidler

Det kan virke urealistisk å stoppe all bruk av baneavisingsmidler. For unngå store korrosjonsskader på luftfartøyene, er det ønskelig å unngå å benytte de mest korrosive baneavisingsmidlene, som også er de mest miljøvennlige (f.eks. Aviform). Det kan derfor, enten alene eller i tillegg til andre løsninger, være aktuelt å benytte metoder for å begrense den miljømessige påvirkningen av baneavisingsmidler. Det kan i tillegg være aktuelt å benytte metoder som reduserer behovet for å bruke baneavisingsmidler.

6.1 Filtrering

Filtrering kan foregå på flere måter; vannet kan bli tvunget gjennom aktive barrierer når det forlater rullebanen, vannet kan samles opp og filtreres, eller vannet kan infiltreres i jord med høy KOF-kapasitet (nedbrytningskapasitet) eller tilsetningsmidler som binder eller bryter ned avisingsmidler. Filtrering kan benyttes sammen med andre metoder, slik som sedimentasjonsbassenger eller nitrogenreduksjonsdammer. Metoden som egner seg best vil avhenge av flyplassens beliggenhet i naturen og terrenget, og omkringliggende masser.

6.1.1 Infiltrasjon i jord

Infiltrasjon i jord kan tjene flere hensikter, både å bryte ned komponentene i avisingsmiddelet før det når resipienten, og/eller binde til seg hele eller deler av avisingsmiddelet slik at det ikke når resipienten. Infiltrasjon er en relativt enkel metode som krever liten plass og inngripen (Figur 6.1). Det vil allikevel være noe usikkert hvor god virkningen er om vinteren, når jorden er frossen og bakken potensielt er dekket med is og snø, og i perioden med vårmelting (Mericas et al., 2009).

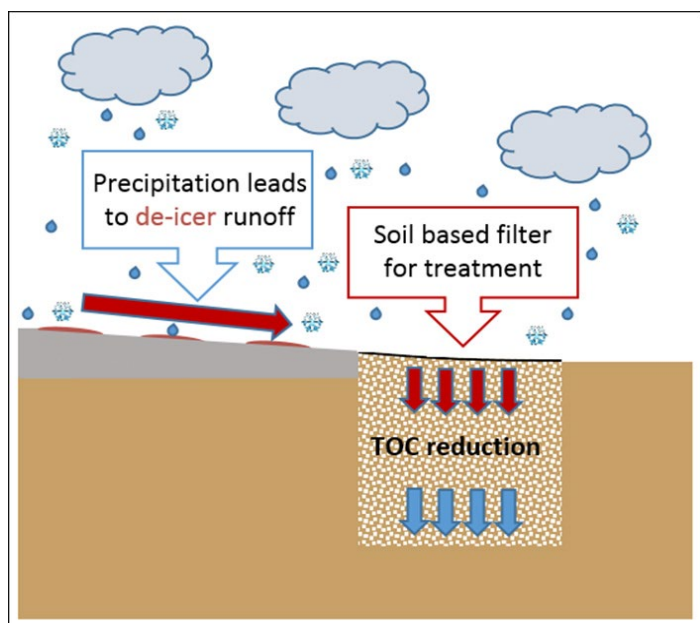
I forbindelse med at Gardermoen ble den nye hovedflyplassen i Norge, ble det bygget et renseanlegg med infiltrasjon i jord. Beskrivelse av forberedende laboratorietester og vurdering av funksjonen for renseløsningene er beskrevet i Kraft and Roseth (96) og Kraft (2000). Det var to typer renseløsninger som ble anlagt. I den ene løsningen ble grunnen optimalisert ved å sortere løsmasser slik at det ble oppnådd en umettet sone på 4-15 meter. I den andre løsningen ble det benyttet filtermedier til infiltrasjon. Renseanlegget hadde til hensikt å rense overvannet som inneholdt avisingsmidler fra fly- og rullebaneaving. I hovedsak var dette glykol, acetater og formiater. Renseløsningene ble valgt fordi det ikke fantes andre gode metoder for rensing av enorme volumer med kaldt vann med relativt lave konsentrasjoner av avisingsmidler. I innledende forsøk ble det funnet at den naturlige jorden på Gardermoen hadde en betydelig renskapasitet. Det ble også gjort en rekke andre funn, blant annet at renseseffekten var størst ved vertikal umettet strømming i jord, derfor var det viktig med en jevnt fordelt overflatebelastning. Videre ble det funnet at stedegen grovsand og zeolitt ga god renseseffekt, og at Leca også ga brukbar renseseffekt. Naturbaserte renseløsninger er/har også vært brukt på andre

store flyplasser, for eksempel på Heathrow (London), Gatwick (London), og i München og Calgary (Stankevičienė et al., 2019).

Nedbrytningen som skjer ved infiltrasjon er biologisk. Det biologiske materialet som bryter ned avisingsmidlene er biofilmen som dannes på overflaten av filtermaterialet. Finkornet materiale har større overflate, men er mindre permeabelt og kan lett tettes av biofilmen. En noe mer grovkornet masse vil derfor være å foretrekke. Acetat, formiat og glykol brytes ned i jord, også ved lave temperaturer. Når fullskalaanlegget på Gardermoen ble testet i 97/98, ble det observert en fullstendig nedbrytning av glykol og acetat. Med unntak av perioder der anlegget ble overbelastet, fungerte rensingen godt. For at biofilmen i renseanleggene skal være effektiv, må filmene «mates», karbon får de fra avisingsmidlene, men de trenger også tilførsel av nitrogen og fosfor. Det er usikkert hvordan et slikt anlegg vil takle tilførsel av urea og betain, disse tilfører nitrogen, men krever mye oksygen ved nedbrytning og kan dermed skape anoksiske forhold.

Etter over 20 års drift av den jordbaserte renseløsningen på Gardermoen, er konklusjonen at den stort sett fungerer godt, bortsett fra i områdene der det er lite mektig umettet sone. Oppholdstiden er den avgjørende faktoren, og det kreves dermed en stor umettet sone for at denne metoden skal fungere optimalt. For å oppnå større umettet sone blåses det luft inn i noen områder. De aktive jordrenseanleggene med filtermedier har derimot ikke fungert like godt, og er tatt ut av drift (Nevland and Helland, 2020a).

Pressl et al. (2019) utførte en laboratoriestudie med filtermedier der også urea var en del av avisingsmidlene som ble filtrert. Urea ble ikke testet alene, men i blanding med kaliumacetat. Jordfilteret ble i dette forsøket blandet med zeolitt og perlitt. Det ble konkludert med at tilstedeværelsen av urea kunne øke nedbrytningen av kaliumacetat. Zeolitt kan både adsorbere og frigi nitrogen, slik at det kan fungere som et lager for biofilmen. Studier eller informasjon om hvordan en slik type filtrering fungerer for betain er ikke funnet. Det kan tenkes at det vil fungere godt, da betain er lett nedbrytbart, og det foretrekkes mating av biofilmen i form av nitrat fremfor ammonium.



Figur 6.1 Infiltrasjon i jord, figur fra Pressl et al. (2019).

6.2 Oppsamling

Oppsamling av avrenningsvann som inneholder avisingsmidler kan være en effektiv måte å unngå høy miljøbelastning på nærliggende resipienter. Å samle opp avrenningsvannet krever en del arbeid i form av installasjon da avisingsmidlene spres over store områder. Det vil være vanskelig å samle opp 100 % av avrenningsvannet. Det oppsamlede vannet kan ledes til et område som tåler den ekstra KOF-belastningen. Om det er kapasitet, kan vannet ledes til kommunalt spillvannnett. Det kan også anlegges et eget renseanlegg i nærheten av flyplassen for å rense det oppsamlede vannet med avisingsmidler.

6.2.1 Bassenger/dammer

Et fordrøyningsbasseng vil i utgangspunktet ikke ha en stor effekt på den totale KOF-belastningen som når resipienten, men det vil kunne forlenge pulser, og forhindre at høye konsentrasjoner av avisingsmiddelet når resipienten samtidig. Selv om et fordrøyningsbasseng ikke vil minke den årlige KOF-belastningen til resipienten nevneverdig, kan den allikevel ha en positiv effekt i at den minker tid- og stedvis høy opphoping av avisingsmiddel i resipienten.

6.3 Optimalisert baneavising

Ved optimal baneavising, kan mengden baneavisingmiddel som legges ut på rullebanen reduseres. Optimal bruk innebærer: påføring til riktig tid, på riktig sted, og i riktig mengde. Optimal bruk kan oppnås ved god opplæring av personell, og ved bruk av rullebaneteknologi. Hvor mye det er å hente i form av å redusere bruken av baneavisingmidler, avhenger av dagens

praksis på den enkelte lufthavnen. På Ørlandet mener de å ha redusert bruken av avisingsmiddel med ca. 25-30 % ved å benytte prinsippet «rett sted til rett tid med rett utstyr». For å oppnå dette er det nødvendig å ha bemanning 24/7, slik at det aldri rekker å legge seg tykke islag på rullebanen.

Det finnes flere systemer som kan hjelpe personell til en mer effektiv bruk av baneavisingsmidler. Beslutningssystemer for salting/avising kan redusere forbruket med opptil 30 % ifølge produsenten av et slikt system (Ramsys). Metoden belager seg på værprognoser og sensordata som gir en oversikt over rullebanens overflatestatus og frysepunkt. Sensoren overvåker frysepunktet til vannet på rullebanen i realtid og kan legge til rette for utlegg av baneavisingsmiddel til riktig tid og i riktig mengde. I tillegg kan det benyttes en GPS-sporer under påføringen av baneavisingsmiddelet som sørger for at områder ikke får dobbel dose baneavisingsmiddel.

På Regina internasjonale flyplass i Canada benyttes Epoke-systemet (Epoke, Stephanow, 2019). Epoke-system-utleggeren kan spre både flytende og granulært baneavisingsmiddel, den tar i tillegg hensyn til farten bilen kjører i, vindhastighet og -retning, temperatur og rullebanens tilstand. På Regina flyplass har denne teknologien redusert forbruket av baneavisingsmidler med 30 %. Reduksjonen i bruken av baneavisingsmidler en slik innretning kan ha, vil i stor grad avhenge av praksis før implementering av systemet. Prisen på et system fra Ramsys ligger i størrelsesorden 2,5-3 mill NOK.

For avisingsmidler i fast form (f.eks. Nutristim, Betafrost G) kan det være aktuelt å lage egne blandinger med flytende avisingsmiddel direkte på flyplassen. Blandingsforholdet mellom avisingsmiddel og vann kan ha påvirkning på hvor effektivt det fungerer, og hvor mye avisingsmiddel som slippes ut. Et optimalt blandingsforhold vil innebære at det brukes minst mulig avisingsmiddel, men ikke mindre enn at effektivitet er god nok til å sikre tilstrekkelig høy friksjon på rullebanen. Det kan også tenkes at det mest optimale vil være at blandingen er så konsentrert som mulig, for å unngå å legge ut vann på rullebanen.

På lufthavner som driftes av Avinor finnes det allerede beslutningssystemer som optimaliserer bruken av avisingsmidler. De har også ekstensiv og standardisert opplæring av alle sine brøyteledere. På grunn av dette er det ikke nødvendigvis så mye å hente ved slike tiltak på flyplasser som driftes av Avinor. Det kan tenkes at det er mer å hente på slike tiltak ved flyplasser som driftes av Forsvaret. Det er heller ikke standard å inneha beslutningssystemer som for eksempel Ramsys. Forsvaret har mange små flyplasser der slike beslutningssystemer ikke vil være lønnsomt eller nødvendig, men på de større og mer trafikkerte flyplassene driftet av Forsvaret, bør slike systemer vurderes der det ikke finnes i dag. Det bør også utarbeides en egen opplæring som sikrer riktig bruk av avisingsmidler i Forsvaret.

6.4 Korrosjonsinhibitorer

Å påføre en korrosjonsinhibitorer eller et middel som hindrer baneavisingsmiddelet å nå metallet på luftfartøy vil kunne forhindre/reducere korrosjon av flykroppen. FFI har fått signaler

om at å påføre belegg på flykroppen ikke er en ønsket løsning, da det er krevende å få godkjenning til dette fra produsent (om det i det heletatt vil godkjennes). Korrosjonsinhibitorer og midler vil uansett ha vanskelig for å hindre inntrengning i sprekker, i elektriske komponenter og i karbon/karbon-bremseskiver på flyet, og vil dermed ikke løse alle problemene knyttet til korrosjon som følge av baneavisingmidler.

Korrosjonsinhibitorer er et stoff, som ved små konsentrasjoner, effektivt reduserer eller hindrer reaksjonen mellom metallet og det korrosive mediet (Buchweishaija, 2009, Popoola, 2019). Korrosjonsinhibitorer kan fungere på følgende måter (Rani and Basu, 2012):

- Adsorpsjon av ioner/molekyler på metalloverflaten
- Øke eller redusere den anodiske og/eller katodiske reaksjonen
- Redusere diffusjonsraten av reaktanten til overflaten av metallet
- Redusere den elektriske motstanden på metalloverflaten

De vanligste korrosjonsinhibitorer som benyttes i dag er syntetiske og lite miljøvennlige. Det har i mange år blitt forsket på «grønne korrosjonsinhibitorer», grønne inhibitorer må være biologisk nedbrytbare og ikke inneholde tungmetaller eller andre giftige komponenter (Rani and Basu, 2012). Det har blitt funnet at planteekstrakter kan ha korrosjonsinhiberende effekt. Planteekstrakter er kostnadseffektive, lett tilgjengelig og snille mot miljøet (Popoola, 2019, Buchweishaija, 2009). En rekke planteekstrakter er blitt testet og forsket på, men slike korrosjonsinhibitorer er foreløpig lite benyttet i industrien. Selv om korrosjonsinhibitorer fremstilt av planter er billigere, mer miljøvennlig og mindre toksisk enn syntetiske inhibitorer, er de fortsatt mye mindre effektive enn tradisjonelle korrosjonsinhibitorer (Popoola, 2019).

Produsenter av baneavisingmidler er svært opptatte av å levere et så lite korrosivt produkt som mulig. FFI har vært i kontakt med leverandør og produsent av Aviform (Addcon, ved Jesper Rosberg), som fortalte at Addcon (og andre produsenter) kontinuerlig jobber med å finne de beste korrosjonsinhibitorer. De har dyktige folk som har som hovedoppgave å forske på dette, det er derfor lite sannsynlig at FFI vil finne noe bedre enn det som allerede benyttes ved å søke i litteraturen. Problemet med korrosjonsinhibitorer er ikke at de ikke fungerer optimalt, men at de er miljøskadelige. Bruken av korrosjonsinhibitorer er derfor en balansegang mellom nok til å hindre korrosjon tilfredsstillende og lite nok til at det ikke belaster miljøet. Om det ikke hadde vært for miljøhensyn kunne korrosjonsinhibitorer blitt tilsatt i slik grad at baneavisingmidler (formiat- og acetater) hadde vært så å si ikke-korroderende.

Av de nye, mer miljøvennlige korrosjonsinhibitorer det forskes på, er de som foreløpig finnes (planteekstrakter) for lite effektive til å kunne erstatte korrosjonsinhibitorer som benyttes i de kommersielle avisingmidlene i dag. Sprøyting av lettflytende oljer (5-56) på luftfartøyene etter vask har gitt noe beskyttelse mot inntrengning av baneavisingmidler. Dette gjøres i dag på F-16 og P-3 (Vooren, 2020). Gode vaskerutiner er generelt et viktig tiltak for å hindre korrosjon som følge av baneavisingmidler eller andre urenheter.

7 Alternativer til å benytte baneavisingmidler

Det er ikke kun baneavisingmidler som kan benyttes for å fjerne is og snø på rullebaner. I dette avsnittet presenteres andre metoder for avising funnet i litteraturen.

7.1 Mekanisk fjerning

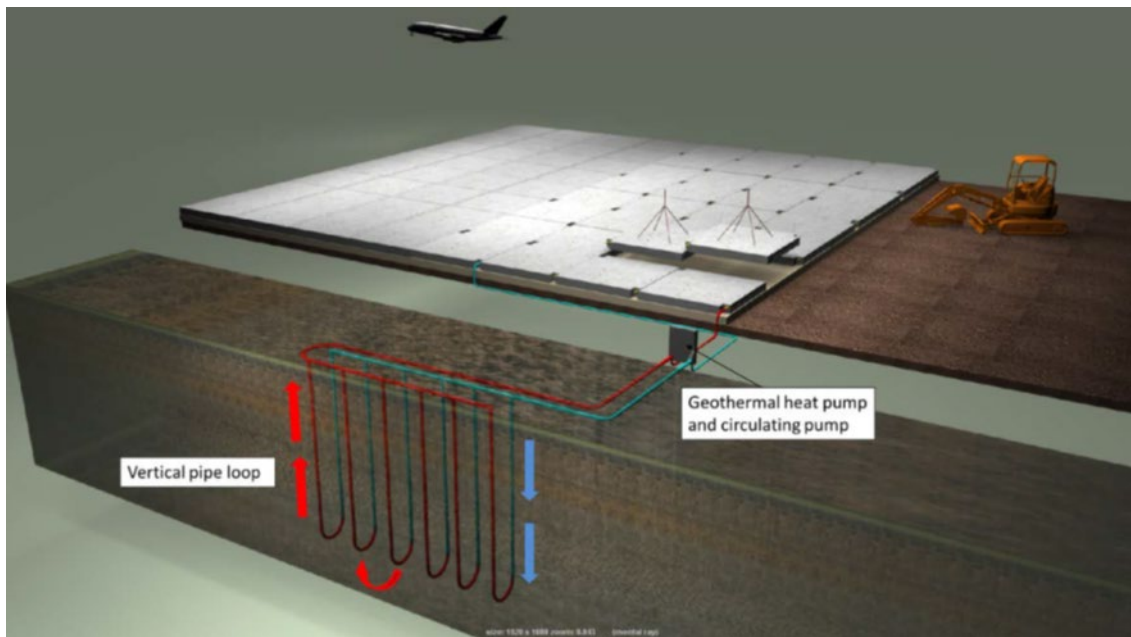
Mekanisk fjerning av snø og is benyttes allerede i stor utstrekning på norske flyplasser. Økt mekanisk fjerning døgnet rundt vil kunne redusere behovet for baneavisingmidler. Oppgradering av utstyr vil også kunne redusere behovet for baneavisingmidler, men dette avhenger av dagens utstyr. Hvor mye mekanisk fjerning og oppgradert utstyr vil kunne redusere behovet for baneavisingmidler, vil variere avhengig av klima, kompetanse og utstyr.

7.2 Oppvarming

Ved å varme opp underlaget på en rullebane, flyoppstillingsplass og/eller taksebane til temperaturer som er over frysepunktet for vann, kan man unngå at is formes og snø legger seg på området. Oppvarming kan også smelte is og/eller snø som allerede befiner seg på området, men dette vil være noe mindre effektivt enn å forhindre at den legger seg/dannes. Oppvarming kan oppnås på forskjellige måter; hydronisk (vannbåren), tradisjonelle varmekabler og en ny teknologi kalt strømførende/elektrisk ledende betong/dekke.

7.2.1 Hydronisk oppvarming

Hydronisk oppvarming innebærer at rullebanen varmes opp ved hjelp av vannførende varmekabler under dekket (rullebanen). Vannet kan varmes ved hjelp av elektrisitet, grunnvarme, solenergi, brenning av flis eller annet materiale m.m. Oppvarming ved brenning av flis har tidligere blitt utredet av NCR (2017). Utredningen er nærmere omtalt i kapittel 8.3.4 «Alternativutredning». Solenergi kan varme opp vann om sommeren, som kan lagres og benyttes til oppvarming av rullebanen om vinteren. Oppvarmingen av vannet gjøres ved at vann sirkulerer under rullebanen og varmes opp av solen om sommeren. Vannet transporteres så til en termisk bank, der grunnen isolerer vannet, og holder på varmen. Om vinteren benyttes varmpumper slik at varm væske igjen kan varme opp rullebanen. Samme system kan også benyttes med grunnvarme (ICAX)(Figur 7.1)(Abdualla et al., 2018b). Dette er et kostbart system å installere, da det i tillegg til nytt dekke med rør til vannføring, også kreves at det installeres en termisk bank under bakken. Om det fungerer optimalt, vil det til gjengjeld være en svært lite energikrevende metode for å fjerne is og snø på rullebanen. Det er usikkert om det er nok å hente i energi/varme i løpet av den norske sommeren til at det er verdt å investere i et slikt system.



Figur 7.1 Illustrasjon av ICAX systemet med en geotermisk bank under bakken (Abdualla et al., 2018b).

7.2.2 Elektrisk oppvarming

Elektrisitet kan i teorien benyttes som energikilde for hydronisk oppvarming, istedenfor brenning av flis eller grunnvarme. Elektrisitet kan også brukes for å varme opp underlaget ved tradisjonelle varmekabler. Dette vil sannsynligvis kreve store mengder elektrisitet og være kostbart.

7.2.2.1 Elektrisk ledende dekke

I USA satses det stort på elektrisk ledende dekke (betong), eller såkalt «self-heating asphalt». Det er flere forskningsmiljøer som i disse dager jobber med testing og vurdering av slike materialer, og store flyplasser i både USA og Canada vurderer å bygge fremtidige rullebaner, taksebaner og flyoppstillingsplasser med et slikt dekke.

«Self-heating», eller selv-oppvarming-metoden, refererer til strukturerte materialer som kan fungere som varmeelementer og slik avise/anti-ise overflaten, heretter kalt elektrisk ledende dekke. Når spenning tilføres materialet, vil den høye motstanden i materialet gjøre at varme utvikles. Betong med korte karbonfiber eller fiber av rustfritt stål (diameter 8 μm) kan fungere som en slik selv-oppvarmer. Rustfritt stål er mest effektivt, men karbonfiber er billigst.

En eldre kommersiell metode som heter SnowFree har blitt benyttet siden 1994 på Chicago O'Hare flyplass i USA. SnowFree er et elektrisk ledende dekke som består av en blanding av grafitt og asfalt, og har lik holdbarhet som vanlig asfalt/betong. Erfaringen er at SnowFree øker temperaturen i dekket med 5-9 $^{\circ}\text{C}$ per time og har smeltet snø tilfredsstillende i alle bortsett fra

de vanskeligste forholdene (svært kaldt, mye vind og/eller mye snø). Ved så lav temperatur som $-23\text{ }^{\circ}\text{C}$ klarte SnowFree å øke temperaturen til $-5,5\text{ }^{\circ}\text{C}$. (Shi and Fu, 2018).

I Iowa (Des Moines International Airport) har de testet en type elektrisk ledende dekke (electrical conductive concrete [ECON]), og konkludert med at dette fungerer godt. Her er det elektrisk ledende dekket laget av 1 % karbonfiber og en spesiell miks av betong, sand og steiner. Dekket er 19 cm tykt, hvor de nederste 10 cm er vanlig betong og de øverste 9 cm er elektrisk ledende betong. Mellom lagene er det tolv metallelektroder, seks per skive, hver testskive er på $4,6 \times 4\text{ m}$, med 1 m mellomrom (Figur 7.2). Det estimeres at å legge denne typen elektrisk ledende dekke (betong) vil koste 40-50 % mer enn vanlig betong (Yu, 2017). På grunn av faren for korrosjon og uønskede objekter på rullebanen, foretrekkes karbonfiber fremfor rustfritt stål i betongen på rullebaner (Abdualla et al., 2018a). På flyplasser der det uansett skal legges nytt dekke, er elektrisk ledende dekke en metode som bør vurderes. Det er estimert at den ekstra kostnaden ved å legge et slikt dekke vil betale seg selv i løpet av 3 år i USA. Dette fordi man ikke trenger like mye personell og baneavisingmidler, og dyre renseanlegg vil være unødvendig. Så vidt vi forstår er det i denne beregningen ikke tatt med midlene som spares ved at flyene korroderer mindre som følge av mindre bruk av baneavisingmidler.



Figur 7.2 Konstruksjon av «Electrical Conductive Concrete» (ECON) på Des Moines International Airport, bilde fra (Abdualla et al., 2018a).

Metoden med elektrisk ledende dekke har blitt testet på en bru i Nebraska der den i en 5 års periode holdt veien fri for is og snø (Figur 7.3)(Schrage, 2016). Det rapporteres (Tuan, 2008) at

dette systemet har fungert godt til å fjerne både is og snø i løpet av de 5 årene det har vært i bruk, og det har vært energieffektivt. Det ser heller ikke ut til at betongen eller effekten har endret seg i løpet av de 5 årene produktet er testet. Det fungerte noe dårligere under forhold med svært lave temperaturer, høy vind og mye snø. Dette mener Tuan (2008) at kan løses ved å integrere en regulerbar transformator for å øke den elektriske strømmen. Abdulla et al. (2019) rapporterte også at effekten i ECON (den elektriske motstanden i betongen) forandret seg svært lite over tid og med værforhold.



Figur 7.3 Bilder fra Roca Bridge med avising ved hjelp av «electrical conductive concrete», bilde fra rapport av Tuan (2008).

Elektrisk ledende dekke kan i teorien driftes av solceller. Tester utført av Heymsfield et al. (2020) viste at i veldig kalde regioner vil ikke solceller være en kostnadseffektiv måte å gi strøm til slike installasjoner. I Norge, hvor strøm i utgangspunktet er relativt rimelig, vil det sannsynligvis derfor ikke lønne seg å bygge solcellepaneler for å tilføre strøm til et slikt dekke.

Det finnes få eller ingen typer elektrisk ledende dekke kommersielt tilgjengelig på markedet. FFI har vært i kontakt med en av de ledende forskerne på området, Prof. Tuan fra University of Nebraska. E-post-utveksling foreligger i vedlegg A. Prof. Tuan forteller at å benytte elektrisk ledende dekke på rullebaner er gjennomførbart med den teknologien som nå er tilgjengelig. Han har startet et firma som jobber med å kommersialisere bruken av ECON. Firmaet tilbyr ikke ferdige konstruksjoner, men materialer og veiledning for installasjon. Firmaet er i designfasen for implementering av ECON på en internasjonal flyplass nord i USA. Det vil også være mulig å gjøre dette i Norge, med veiledning fra Tuan, men ved å benytte lokale entreprenører og materialer. Prisen på et slikt prosjekt er vanskelig å estimere, da material- og lønnskostnader er forskjellige i Norge og USA. I USA koster en «cubic yard» ECON 500 US \$ (5500 NOK/m²) sammenliknet med 300 US \$ (3300 NOK/m²) for «vanlig» betong benyttet på rullebaner.

Tuan (2020) og hans kollegaer har utført tester der de sammenlikner elektrisk ledende dekke med tradisjonelle varmekabler og hydronisk oppvarming (Tabell 7.1). I denne sammenlikningen kommer det frem at varmeoverføringseffekten for elektrisk ledende dekke er over 90 %, mens for varmekabler og hydronisk oppvarming er effekten henholdsvis <70 % og <50 %. I følge

Prof. Tuan er energiforbruket for elektrisk ledende dekke ca. 1 % av energiforbruket for varmekabler og hydronisk oppvarming (testet på fortau). Installasjonskostnadene for elektrisk ledende dekke er 72 % av den for varmekabler og 51 % av den for hydronisk oppvarming. Kostnadene her må tas med en klype salt, da dette er beregnet i USA, prisene kan være annerledes i Norge. Elektrisk ledende dekke er raskt å installere, da betong-brikkene lages på forhånd. Det kreves derfor lite nedetid ved slik installasjon. Installasjonen krever lite/ingen vedlikehold, utover normalt vedlikehold av dekket (samme som for dekke uten elektrisk ledende betong).

Tabell 7.1 Sammenlikning av elektrisk ledende betong med tradisjonelle varmekabler og hydronisk oppvarming (Tuan, 2020).

	Varmekabler	Oppvarmet væske/gass	Elektrisk ledende betong
Energikilde	Elektrisitet	Naturgass/propan + elektrisitet	Elektrisitet
Varmeoverføringseffekt	<70 %	<50 %	>90 %
Plassbehov	Ingen	Mekanisk rom	Ingen
Effekttetthet	236-323 W/m ²	302-322 W/m ²	130-322 W/m ²
Energibruk (fortau)	350 kWh/m ²	150 kWh/m ²	3 kWh/m ²
Energibruk (bru)	600 kWh/m ²	260 kWh/m ²	9,5 kWh/m ²
Installasjonskostnader*	2300 NOK/m ²	3230 NOK/m ²	1660 NOK/m ²
Driftskostnader*	138 NOK/m ²	37 NOK/m ²	3,7 NOK/m ²
Vedlikeholdskostnader	Kabelslitasje, deteksjon og reparasjon	Lekkasjer	Vedlikeholdsfritt
Tidsbruk konstruksjon	Dager/uker	Uker/måneder	Dager

*Beregnet fra dollar, kurs 8,58 (11.01.2021).

7.3 Modifikasjoner av rullebanen

Belegg (coating) på eller i rullebaner kan tenkes å fungere som et alternativ, eller som et supplement, til baneavisingmidler. Belegg kan enten påføres som et lag oppå rullebanen, eller den kan være et stoff som blandes inn i asfalt/betong. Belegget kan være et hydrofobt materiale som hindrer vann og snø/is i å feste seg på overflaten. Belegget kan også være et materiale som utvikler varme når det endrer fase fra flytende til fast form, dette kalles et fasevekslingsmateriale.

7.3.1 Superhydrofobe materialer

Superhydrofobe materialer er materialer som frastøter vann. Dette gjør at vann i form av regndråper vil renne av overflaten før is rekker å formes. Snø kan fortsatt legge seg på overflaten, men det vil ikke formes bånd mellom underlaget og snø/is, som gjør at snøen lettere kan fjernes mekanisk (Arabzadeh et al., 2016). Et eksempel på et superhydrofobt materiale er polytetrafluoretylen (PTFE, teflon) (Ceylan et al., 2016). Teflon kan i teorien fungere som et supplement til mekanisk fjerning og baneavisingmidler eller sammen med oppvarming av

rullebanen. Dersom teflon skal benyttes på rullebaner, må det utføres tester for å undersøke om friksjonen på rullebanen er tilfredsstillende. En test utført av Young (2016) viste at asfalt belagt med PTFE hadde lavere friksjon enn asfalt uten PTFE. Friksjonen på asfalten belagt med PTFE var høyere enn for våt asfalt uten PTFE. Det er uvisst hvor mye et superhydrofobt materiale vil kunne redusere behovet for baneavisingmidler. Et problem med å benytte teflon er at det er giftig, og om dette lekker ut til nærliggende resipienter vil det være et miljøproblem.

Det kan også tenkes at superhydrofobe materialer kan benyttes på luftfartøy, istedenfor på rullebanene. Dette forskes det for øyeblikket på, blant annet er det et EU-prosjekt som ser på superhydrofobt-belegg til luftfartøy (EU, 2019, PHOBIC2ICE, 2016). På luftfartøyene vil det være mindre mekanisk slitasje og belegget vil kunne bevares lenger enn på en rullebane. Et slikt belegg på luftfartøyene kan ha to funksjoner; hindre is i å formes på luftfartøyet og dermed redusere behovet for flyavisingmiddel (glykol), og det kan hindre baneavisingmiddel fra rullebanen i å korrodere luftfartøyet. Effekten med redusert korrosjon vil kun gjelde på selve flyskroget, ikke korrosjon av karbon/karbon-bremser eller i konnektorer. Fordi glykol har høy KOF, og derfor er en stor kilde til den organiske belastningen til resipient fra flyplasser, vil en reduksjon i bruken av glykol ha en god miljøeffekt.

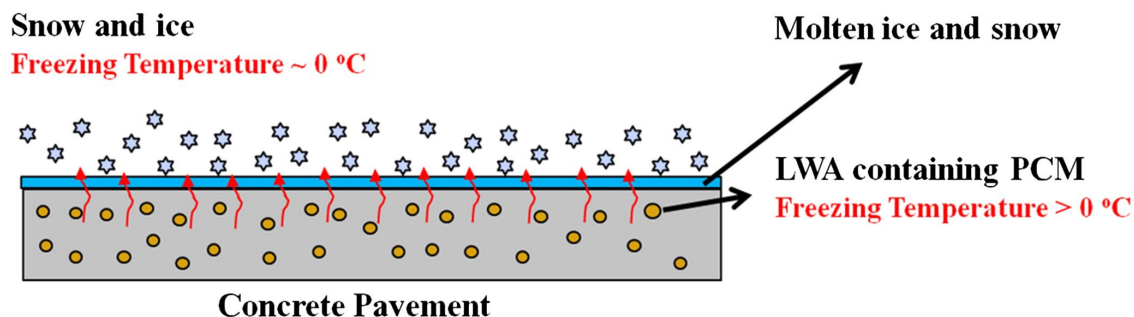
Foreløpig viser forskning at belegging av både luftfartøy og vei/rullebane alene ikke vil være tilstrekkelig til å sørge for is- og snøfrie forhold (Huang et al., 2019).

7.3.2 Fasevekslingsmateriale

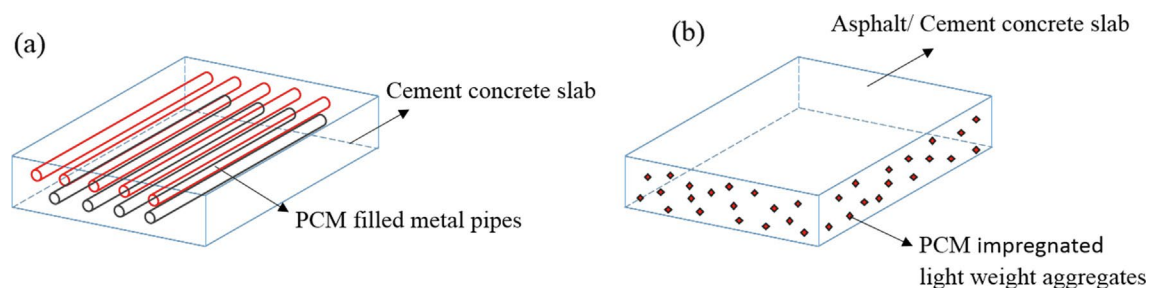
Et fasevekslingsmateriale (phase changing material [PCM]) er et materiale som utskiller energi/varme når den veksler fra en fase til en annen (Figur 7.4). Det innebærer at når det er kaldt og fasevekslingsmaterialet går fra flytende til fast fase, vil det utvikle varme (Farnam et al., 2017). Det gjøres for tiden forskning på om slike materialer kan blandes inn i betong for å øke temperaturen rundt frysepunktet, slik at behovet for baneavisingmidler reduseres (Farnam et al., 2017, Anupam et al., 2020, Afgan et al., 2019). Eksempler på fasevekslingsmaterialer som kan benyttes i sammenheng med ismelting er: parafin, blanding av parafin og voks, Rubitherm (varemerke), tetradekan og vandig saltløsning.

Fasevekslingsmateriale i betong kan også ha en heldig bieffekt i at det kan hindre oppsprekking som følge av mange fryse-tine-sykluser (Afgan et al., 2019). Ved å blande fasevekslingsmaterialer direkte inn i betong kan betongens trykkfasthet reduseres betraktelig, og betongen vil tåle mindre belastning. Dette forskes det også på, og ved enten å innkapsle fasevekslingsmaterialet eller støpe det i rør inne i betongen, kan disse problemene omgås (Figur 7.5)(Farnam et al., 2017, Anupam et al., 2020). Temperaturen fasevekslingsmaterialet er effektivt rundt avhenger av materialer som benyttes. For snøsmelting vil det være mest hensiktsmessig at materialet er effektivt rundt vannets frysepunkt, eller litt under. For at metoden skal fungere over tid, er det viktig at temperaturen i området veksler, da fasevekslingsmaterialet kun avgir varme når det går fra en fase til den andre. Dette vil derfor ikke være en egnet metode for smelting av snø eller is i områder der temperaturen er jevnt under frysepunktet hele vinteren. Fasevekslingsmaterialer vil egne seg godt på områder der temperaturen ofte ligger rundt 0 °C og som opplever mange fryse-tine-sykluser gjennom

vintersesongen. Teknologien er lovende, enkel og rimelig, men er fortsatt på utviklingsstadiet. Tester som er utført kan tyde på at dette er noe som vil fungere bedre i mer tempererte område (på mer sørlige breddegrader), men det er så vidt ikke FFI kjent, testet i storskala i klima som likner det Norske.



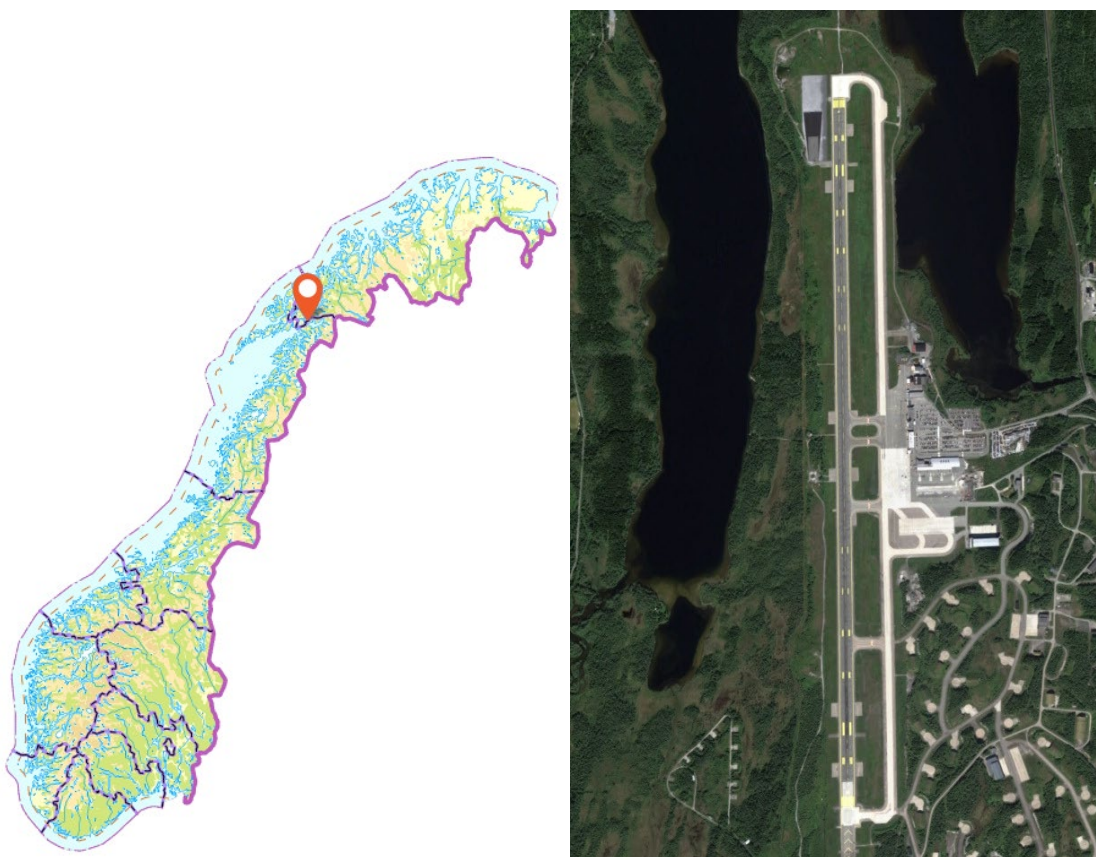
Figur 7.4 Viser prinsippet bak fasevekslingsmateriale i betong, og hvordan det smelter is og snø. Figur hentet fra Farnam et al. (2016). LWA står for lightweight aggregate og PCM for phase changing material (fasevekslingsmateriale).



Figur 7.5 To måter fasevekslingsmaterialer kan implementeres i betong, a) støpt i rør og b) innkapslet, bilde hentet fra Anupam et al. (2020).

8 Evenes lufthavn

Harstad/Narvik lufthavn Evenes ligger i Evenes kommune i Nordland fylke (Figur 8.1). I 2012 vedtok Stortinget at Evenes flystasjon skulle etableres som fremskutt operasjonsbase (QRA) og i 2016 ble det vedtatt at Evenes flystasjon skulle være hovedbase for de maritime overvåkningsfly (MPA). Det er Avinor som drifter den sivile lufthavnen på Evenes, inkl. rullebane og oppstillingsplass for sivile fly. Det er også Avinor som er ansvarlige for utslippstillatelsen for forurensing fra flyplassen. Evenes skal etter planen være klar for QRA i januar 2022 og for MPA sommeren 2022. (Saunes et al., 2019)

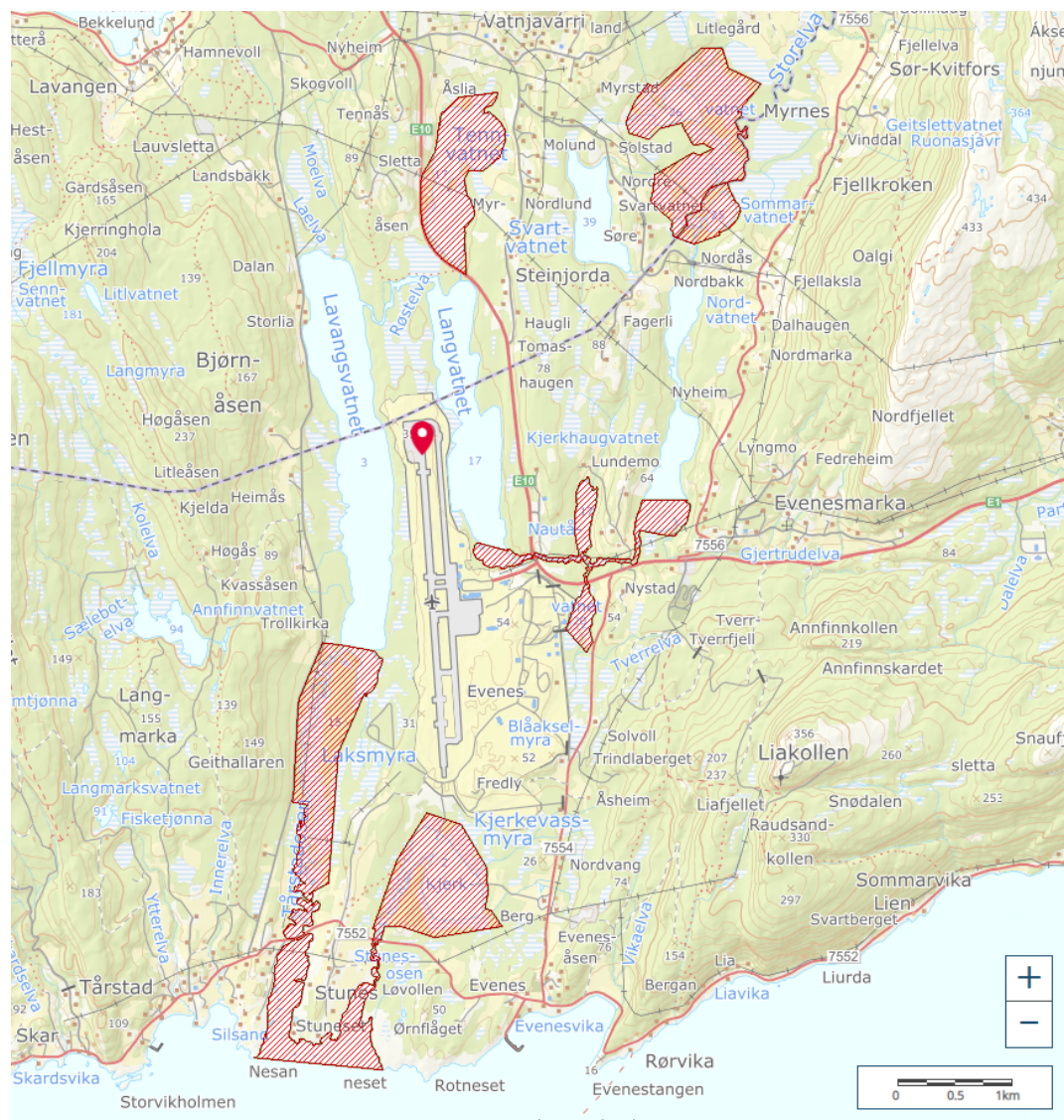


Figur 8.1 Geografisk plassering av Evenes lufthavn til venstre (bilde fra Kartverket (2020)), bilde av Evenes lufthavn ovenfra (før Forsvarets etablering) til høyre (bilde fra Avinor (2017b)).

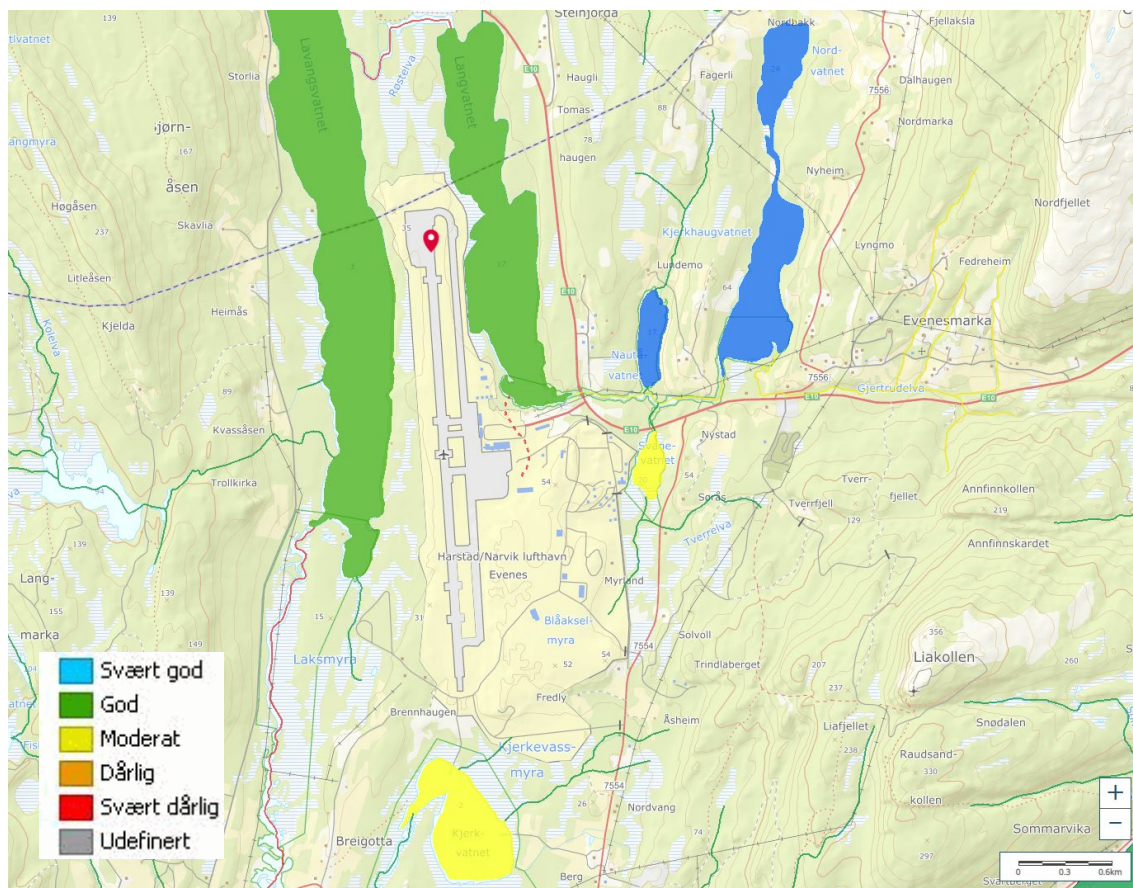
8.1 Geografi, økologi og miljø

Evenes lufthavn er omringet av innsjøer (Langvatn, Lavangsvatn og Kjerkvatn), myr- og våtmark. Lufthavnen ligger i et område med stor limnologisk og botanisk verdi, både nasjonalt og internasjonalt. Deler av området er et naturreservat (Figur 8.2), fellesnavnet er Evenes

våtmarkssystem og deler av dette våtmarkssystemet er omfattet av Ramsar-konvensjonen. Alle innsjøene som omringer Evenes lufthavn er klassifisert som små kalkrike innsjøer som er relativt næringsfattige. Slike kalksjøer er spesielt sensitive for eutrofiering. Oksygenforholdene i alle innsjøene var i 2018 gode, men det så ut til at det kunne ha vært perioder med dårlige oksygenforhold og høye konsentrasjoner av nitrogen i bunnvannet. Innsjøenes vanntilstand er vist i Figur 8.3. Avrenningen fra lufthavnen er størst til Langvatn, etterfulgt av Lavangsvatn, i tillegg til noe til Kjerkvatn. (Saunes et al., 2019, Avinor, 2017a, Helland, 2018, Avinor, 2017b)



Figur 8.2 Rød skravering viser naturreservater rundt Evenes lufthavn, Miljøstatus kart 3.0, (miljoatlas.miljodirektoratet.no, 11.01.2020).



Figur 8.3 Kartet viser status for klassifisering av vanntilstand i vannforekomstene som oppfølging av vannforskriften. Miljøstatus kart 3.0, (miljoatlas.miljodirektoratet.no, 11.01.2020).

8.2 Dagens strategi for avising og sikring friksjon

Det benyttes nå i hovedsak flytende Aviform (L50) som banevisingsmiddel på Evenes lufthavn, men det benyttes også noe Aviform i form av granulat (S). Granulatet benyttes som antiisingsmiddel (preventivt), som legges ut på kvelden for å hindre isdannelse i løpet av natten. For flyavising benyttes propylenglykol (Safewing). Det kan tenkes at behovet for baneavising i Norge vil øke de nærmeste årene som følge av klimaendringene. Det forventes et vinterklima med mer svingene temperatur, og færre perioder med jevnt kaldt klima. Dette, sammen med økte nedbørmengder (estimert 15 % økning innen 2100), vil øke behovet for banevisingsmidler på Evenes. Det benyttes nå strøsand på Evenes, spesielt ved kalde forhold der det er såkalt klink-is. Strøsanden som benyttes er i form av fastsand, dvs. at sanden blandes med varmt vann før den påføres. Dette fører til at den smelter ned i isen og fester seg. Når isen smelter, børstes sanden bort. (Helland, 2018, Saunes et al., 2019)

8.2.1 Utslippstillatelse for avisingsmidler

Avinor søkte i 2018 om en endret utslippstillatelse for avisingsmidler på Evenes lufthavn (Helland, 2018), og søknaden ble innvilget i 2019 (Bruaas, 2019). I denne søknaden ble det ikke tatt hensyn til økt forbruk av avisingsmidler ved Forsvarets etablering, og det bør derfor foreligge en ny tillatelse for Evenes lufthavn innen 2022.

I tillatelsen fra 2019 har Avinor tillatelse til å bruke formiat (Aviform) tilsvarende 35 000 kg KOF/år, dette er en økning på 5 000 kg KOF/år fra tidligere tillatelse. Som flytende Aviform (L50), som er den typen baneavisingsmiddel som benyttes mest, tilsvarer dette ca. 270 000 L/år (Tabell 9.2). Det ble ikke søkt om en økning i bruk av glykol i 2018. Dagens tillatelse er på 202 800 kg KOF/år som tilsvarer 120 000 L polypropylenglykol/år. Av de 35 000 kg KOF i form av Aviform, antas det at 10 % brukes på taksebane, 85 % på rullebane og 5 % på flyoppstillings og trafikkarealer (Vedlegg B.1).

8.2.2 Avrenning av avisingsmidler

Glykol brukes til å avise flyene på avisingsplattform og ca. 75 % av glykolen blir samlet opp her. Av det som spres videre, samles en del opp i snødeponi, noe spres på rullebanen og noe spres diffust i lufta. Glykolen på avisingsplattformen og i snødeponiet føres til kommunalt avløpsnett med utslipp til Ofotfjorden. Overløp renner ut i Langvatn. Langs takse- og rullebanene vil mye av avrenningsvannet innfiltreres i grunnen. Det er også overvannssystem som samler opp noe av avrenningen fra snøen som brøytes av banen. Overvannssystemet har ifølge Avinor blitt spylt og slamsugd, men det er fortsatt behov for utbedring. Overvannssystemet har avrenning til Langvatn, Lavangsvatn og Kjervatn.

Ifølge Avinors beregninger (Vedlegg B.1) vil det ved dagens utslippstillatelse på 35 000 kg KOF fra rullebaneaving og 202 800 kg KOF fra flyaving, være en avrenning på 10 683 kg KOF til Langvatn, 1 496 kg KOF til myr/Lavangsvatn og 1 868 kg KOF til bekk/Kjervatn. Av dette står Aviform for henholdsvis 626 kg KOF, 980 kg KOF og 1 260 kg KOF. Av 35 000 kg KOF som slippes ut av Aviform er det dermed kun ca. 8 % som går rett ut i resipient. Generelt er det flyavisingsmiddel som står for den største KOF-belastningen til omliggende resipienter, spesielt i Langvatn. Bruk og utslipp av avisingsmidler er oppsummert i Tabell 9.2.

Infiltrering i jord fører til at det organiske materialet brytes ned før det når resipient. Avinor har i sine vurderinger antatt at jorden stort sett har et nedbrytningspotensiale på 0,6 kg KOF/m²*år. Dette begrunnes med at massene er godt drenerende og dermed har relativt høy tålegrense. På noen områder der det er kort vei til resipient eller liten umettet sone, har de antatt 0,2 kg KOF/m²*år. Avinor har ikke tatt med i sine beregninger økt avrenning til resipient som følge av at nedbrytningskapasiteten i området rundt snødeponiet overskrides. Se tabeller i vedlegg B.1 for beregninger. (Helland, 2018)

8.2.3 Prøvetaking/overvåking

Miljøovervåkningen på Evenes lufthavn omfatter stikkprøver i utslippspunkter før og etter avisings sesong og i utvalgte punkter 1-2 ganger i løpet av avisings sesongen. Prøvetakingene som gjøres i løpet av sesongen skal foretas på tidspunkter da det har blitt brukt store mengder avisingsmidler (Helland, 2018). Utslippene overvåkes ved at det innhentes prøver i resipientene. Prøvene analyseres for oksygen, temperatur, ledningsevne, pH, suspendert stoff, KOF, TOC, Fe, Mn, sulfat, propylenglykol og formiat (i tillegg måles PFAS og olje i noen prøver) (Avinor, 2017b).

8.3 Avising og sikring av friksjon etter Forsvarets etablering

Kravet ved Evenes vil være svart bane døgnet rundt siden Forsvarets luftfartøy ved QRA skal kunne være i luften i løpet av 15 minutter. Med mer bemanning som kan holde banen snø- og isfri døgnet rundt, og økt fokus på mekanisk snø- og isfjerning, kan forbruket av baneavisingsmiddel minimeres. Det vil derfor nødvendigvis ikke være behov for å øke bruken av baneavisingsmidler like mye som uten økt bemanning. Utformingen av Evenes flystasjon etter Forsvarets etablering er beskrevet i Forsvarsdepartementet (2018) og Forsvarsbygg (2020). Forsvarsbygg (Saunes et al., 2019) har gjort en vurdering av behovet for avisingsmidler som følge av Forsvarets økte aktivitet på Evenes. Det presiseres at prognosene er svært usikre, og at forbruket kan endre seg. Forsvarsbyggs prognose støtter seg i stor grad på Avinors beregninger av dagens forbruk og avrenningsmønster.

8.3.1 Flyavising

Prognose for økt forbruk av glykol som følge av Forsvarets aktivitet er 25 279 kg KOF/år, dette tilsvarer ca. 12 % av dagens tillatelse. Dagens kommunale spillvannsledning har ikke kapasitet til å samle opp den økte mengden glykol som Forsvarets aktivitet vil kreve. Forsvaret kan ikke benytte nåværende avisingsplattform pga. sikkerhetsmessige hensyn. Etablering av en ny avisingsplattform er under utredning. Det planlegges en egen utslippsledning knyttet til denne plattformen. I tilknytning til plattformen kan det være et alternativ å anlegge et nytt (ev. ytterligere et) snødeponi og bedre kapasitet på ledningsnett. Om dette utføres tilfredsstillende, vil det fjerne en kilde til utslipp i Langvatn fra flyavisingsmiddel. Med høyere forbruk av glykol, vil allikevel belastningen sammenliknet med dagens situasjon reduseres dersom alle alternativene nevnt over gjennomføres. (Saunes et al., 2019)

8.3.2 Baneavising

Det er usikkert om det etter Forsvarets etablering kan benyttes strøsand for å oppnå tilstrekkelig friksjon. Om det ikke kan benyttes strøsand, vil det bli et mye større behov for baneavisingsmidler enn det som er antatt i utredningen til Saunes et al. (2019). Dette er fordi Aviform ikke er like effektiv ved så lave temperaturer som der det nå benyttes strøsand. Ved bedre rutiner, mer bemanning og mer/bedre materiell, vil bruken av baneavisingsmidler kunne minimeres. I beregningene av økningen i baneavisingsmidler antas det derfor (med tiltakene

nevnt over) at behovet kun vil øke som følge av økte arealer. Forsvarsbygg legger dermed til grunn en økning på 2 500 kg KOF/år i form av Aviform (til en total på 37 500 kg KOF), dette er en økning på 7,1 % sammenliknet med dagens tillatelse.

Ved Forsvarets etablering på Evenes, vil kravene til baneavising være såkalt «svart bane» døgnet rundt. Forsvarets luftfartøy skal alltid kunne være i luften i løpet av 15 minutter ved QRA. En av grunnene til at Saunes et al. (2019) ikke forventer at bruken av baneavisingmidler skal øke betraktelig med en økning i tiden banen må være isfri, skyldtes at det ikke vil rekke å legge seg is på banen i like stor grad, fordi det vil være døgnbemanning og mer mekanisk rydding/brøyting av snø. Nedsmelting av is krever større mengder baneavisingmiddel enn å opprettholde svart flate.

Den nåværende arbeidshypotesen utarbeidet av arbeidsgruppe drift på Evenes (FEEV) er (per 31.12.2019) (Nevland and Helland, 2020b):

- Mekanisk arbeid skal være primærmetode for fjerning av is/snø.
- Det skal tilstrebtes å benytte minimalt med Aviform (formiat).
- Sand skal unngås benyttet på rulle- og taksebane, men kan benyttes dersom mekanisk og kjemisk baneavising ikke oppnår tilstrekkelig friksjon. Sand kan benyttes i nødstilfeller etter avtale med fartøysjef.

Basert på dette har Avinor gjort vurderinger som skiller seg fra Saunes et al. (2019) hva gjelder antatt kjemikaliebruk etter Forsvarets etablering. Avinor (v/Ingvild Helland) har estimert at forbruket av flytende Aviform vil øke til 72 565 kg KOF/år ved Forsvarets etablering (Helland, 2020) (Vedlegg B.3). Dette både som følge av mindre bruk av sand og større arealer som må holdes is- og snøfrie. Avinor har anslått at bruken av Aviform granulater vil øke med ca. 33 %. Det totale utslippet av KOF i form av Aviform, både granulater og flytende, ble beregnet til 91 171 kg KOF/år. Dette tilsvarer en økning på 160 % sammenliknet med dagens tillatelse.

8.3.3 Avrenning av avisingsmidler

Om det ikke tas hensyn til planer om oppgradering av flyavisingplattform og snødeponi, viser Forsvarsbyggs (Saunes et al., 2019) beregninger at Forsvarets tilstedeværelse vil øke utslippet til Langvatn med 1 298 kg KOF/år (12 % økning, til 11 981 kg KOF/år), til Lavangvatn med 134 kg KOF/år (9 % økning, til 1 630 kg KOF/år) og til Kjerkvatn med 166 kg KOF/år (9 % økning, til 2 034 kg KOF/år). Av dette vil baneavising stå for henholdsvis 45, 70 og 90 kg KOF/år. Ved bygging av ny flyavisingplattform og nytt snødeponi, antas det at utslippet av KOF til Langvatn kan reduseres med ca. 7 675 kg KOF/år (fra flyavising). Beregningen av avrenning er utført av Saunes et al. (2019) (vedlegg B.2). Om Hellands (Avinor) anslåtte behov for baneavisingmidler, som beskrevet i avsnitt 8.2.2, ved Forsvarets etablering legges til grunn, vil sannsynligvis også utlekkingen til nærliggende resipienter øke tilsvarende (160 % + økningen fra flyavising), om ikke tiltak iverksettes. Alle tall er sammenfattet i Tabell 9.2.

8.3.4 Alternativutredning

NCR (2017) (Nordic – Office of architecture, COWI og Rambøll) utførte en alternativutredning for baneavising på Evenes lufthavn i regi av Forsvarsbygg. Nøkkelfunn og informasjon i denne utredningen er gjengitt her:

- Aviform påvirker først og fremst karbon i bremseskiver (katalytisk oksidasjon) og korroderer kadmium i belagte materialer.
- Det er i hovedsak salter som gir korroderende effekt. Det er spesielt de elektroniske overgangene som er utsatt for korrosjon.
- Banevisingskjemikalier (spesielt acetater og formiater) kan mykne bindemiddel i asfalten.
- Jorden på siden av rullebaner vil få høy belastning av avisingsmiddel og det er derfor viktig at denne har god kapasitet for nedbrytning av KOF for å unngå anoksiske forhold.
- Med urea vil det bli en økt miljøbelastning, selv med 70-80 % oppsamling av avrenningsvann.
- Betafrost virker mindre korroderende, men mer skadelig for miljøet enn Aviform, det er derimot vesentlig mindre skadelig for miljøet enn urea. Gen3 er omtrent på samme nivå miljømessig som Betafrost, men er mer korroderende, det er utført få tester, men de som er gjort tyder på at det korroderer ca. 80 % av det Aviform gjør. Utslipp av både Betafrost og Gen3 vil være akseptabelt på Evenes ved 80 % oppsamling.
- Ved å bytte baneavisingsmiddel til for eksempel Betafrost, kan nitrogen bli et problem. For å forhindre at nitrogen lekker ut, kan man ha rasktvoksende planter i kanten av rullebanen som høstes jevnlig.
- Et alternativ for å redusere avrenning til resipienter er oppsamling og pumping til Ofotfjorden, da denne er mindre sårbar for anoksiske forhold enn de nærliggende resipientene. Et oppsamlingssystem vil kunne samle opp 70-80 % av baneavisingskjemikaliene.
- Avrenningsvann kan eventuelt renses i lokalt renseanlegg, eller det kan kjøres til felles renseanlegg for kommunalt spillvann.
- Ved å varme opp banen, vil kjemikaliebruken reduseres med 90 %. Problemet med oppvarming er at det ikke er blitt testet i så stor skala før. Det kan også oppstå issvuller i kanten mellom oppvarmet og ikke-oppvarmet område. Oppvarming av dekket vil sannsynligvis ikke fungere når det er kaldere enn -10 °C.
- Et tiltak som også nevnes er å øke omkringliggende massers oksygeninnhold ved luftinnblåsing og deres KOF nedbrytningskapasitet ved å blande inn f.eks. filtermedier.
- Uansett valg av tiltak burde dette gjøres: økt mekanisk innsats (måking) og bedre overvåking av temperatur- og værforhold.
- Om man ser på kostnadene i et livssyklusperspektiv, er det oppvarming av banedekket som kommer best ut. Oppsamling og bruk av urea og betain kommer også relativt godt ut kostnadmessig. Bruk av oppsamling og Gen3 samt videre bruk av Aviform slik som i dag kommer dårligst ut.

9 Relevante alternative løsninger for avising og sikring av friksjon

I Tabell 9.1 oppsummeres alternative metoder for baneavising og tiltak knyttet til de forskjellige metodene. Tabellen beskriver både implementering av metodene, samt hver enkelt metodes positive og negative sider. Av disse metodene er det bytte av avisingsmiddel til betain sammen med oppsamling av avrenning og oppvarming av dekket ved hjelp av elektrisk ledende betong som anses som mest relevante alternativene til dagens praksis. Disse vurderingene er gjort på bakgrunn av forskning utført på de forskjellige alternativene.

Tabell 9.1 Oppsummering av alternative metoder for sikting av friksjon og baneavising.

Avisingsmetoder	Hva må gjøres	Positivt	Negativt
Acetat/ formiat, status quo	<ul style="list-style-type: none"> • Ingenting per i dag • Økt vedlikehold på luftfartøy på sikt 	<ul style="list-style-type: none"> • Ingen behov for omlegging eller anleggsarbeid • Miljøvennlig baneavisingsmiddel 	<ul style="list-style-type: none"> • Høy kostnad i form av korrosjon på luftfartøy
Betain	<ul style="list-style-type: none"> • Tiltak bør vurderes for å hindre økning i KOF til resipienter • Brukere må opparbeide seg kunnskap og erfaring med nytt avisingsmiddel 	<ul style="list-style-type: none"> • Mindre korrosivt enn formiater og acetater 	<ul style="list-style-type: none"> • Dyrere enn formiater og acetater • Høyere KOF enn acetater og formiater • For å unngå store økninger i KOF utslipp må tiltak vurderes, f.eks. oppsamling
Elektrisk ledende dekke	<ul style="list-style-type: none"> • Hele eller deler av dekket må byttes til elektrisk ledende dekke 	<ul style="list-style-type: none"> • Kan minske bruk av baneavisingsmidler med 90 % • Kan sannsynligvis fortsette å bruke acetater og formiater • Ingen ytterligere tiltak nødvendig (filter, belegg, oppsamling etc.) • Reduserer både korrosjon- og miljøbelastningen • Redusert behov for mannskap og utstyr 	<ul style="list-style-type: none"> • Dyrt å anlegge (70 % mer enn vanlig betong) • Stor inngripen å legge nytt dekke på hele flyplassen • Økt strømforbruk

Avisingsmetoder	Hva må gjøres	Positivt	Negativt
Superhydrofobt belegg på rullebane	<ul style="list-style-type: none"> • Belegg kan legges oppå eksisterende dekke 	<ul style="list-style-type: none"> • Kan redusere bruken av baneavisingsmiddel 	<ul style="list-style-type: none"> • Kan i seg selv være miljøskadelig • Usikkert hvor god effekt det har • Må fortsatt benytte baneavisingsmidler og mekanisk brøyting • Få eller ingen storskala tester, og resultatene er varierende • Usikkert om belegget vil minske friksjon
Superhydrofobt belegg på luftfartøy	<ul style="list-style-type: none"> • Luftfartøyene må belegges med superhydrofobt materiale 	<ul style="list-style-type: none"> • Kan minske/kutte bruken av glykol/flyavisingsmiddel • Vil kanskje også ha en beskyttende effekt mot korrosjon 	<ul style="list-style-type: none"> • I uttestingfase. • Usikkert hvor mye bruken av flyavisingsmidler kan kuttes • Alle luftfartøy, ikke bare Forsvarets, må belegges om det skal ha stor nok effekt (stor nok reduksjon av glykol) • Det vil sannsynligvis være vanskelig å få godkjenning til å bruke dette på Forsvarets luftfartøy
Fasevekslingsmateriale	<ul style="list-style-type: none"> • Hele eller deler av dekket må byttes til dekke med fasevekslingsmateriale 	<ul style="list-style-type: none"> • Vil sannsynligvis betraktelig redusere behovet for baneavisingsmidler, spesielt i perioder hvor temperaturen skifter rundt frysepunktet • Reduserer korrosjon og miljøbelastningen • Sannsynligvis ingen andre tiltak nødvendig • Varmer rullebanen uten behov for tilføring av strøm/energi 	<ul style="list-style-type: none"> • Fortsatt tidlig i forskingsfasen, ikke testet ut i storskala • Stor inngripen å legge nytt dekke på hele flyplassen • Vil ikke fungere i områder med jevnt kaldt vær. Vil generelt ikke fungere ved svært lave temperaturer

I Tabell 9.2 er KOF fra bruk og utslipp fra bane- og flyavisingmidler, som er omtalt i forrige kapittel, samlet. I denne tabellen finnes i tillegg antatt KOF-utslipp ved to alternative løsninger ved Evenes: bytte til betain og oppvarming av dekket.

Tabell 9.2 Sammenfatning av kg KOF for bruk av avisingsmidler samt avrenning av disse til resipient. Effekt av alternative metoder er tatt med i vurderingen

Kg KOF/år	Bruk		Utslipp					
	BA*	Glykol	Langvatn		Lavangsvatn		Kjerkvatn	
			Tot	BA	Tot	BA	Tot	BA
Dagens tillatelse (2020)	35000	202800	10683	66	1496	980	1868	1260
Saunes, beregninger (2019)	37500	228079	11981	61	1630	1050	2034	1350
Avinor, beregninger (2020)	91171	228079	Så usikre verdier at de er valgt å ikke tas med i denne rapporten, for ikke å villedde.					
Oppvarmet dekke ** (90 % reduksjon)	9117	228079						
Betain** (bytte 1:1)	460653	228079						
Betain og oppvarmet dekke**	46065	228079						

*Baneavisingmiddel, både flytende og granulat

**Avinors (Helland, 2020) beregninger lagt til grunn.

9.1 Benytte betain som baneavisingmiddel

Betain har høyere KOF per kg enn formiat (Aviform). Forskjellige kilder opplyser om forskjellig KOF for betain, men Betafrost L har omtrent 5 ganger så høy KOF som Aviform L50. Om det antas at Betafrost kan byttes 1:1 med Aviform, vil KOF-utslippet fra baneavisingmidler på Evenes øke til i overkant av 450 000 kg KOF/år, hvis Avinors antakelser om baneavisingbruk legges til grunn (Tabell 9.2)(Helland, 2020).

Hvis betain (Betafrost) skal benyttes på Evenes i like store mengder som Aviform benyttes i dag, vil det være nødvendig med tiltak for å unngå utslipp av store mengder KOF til resipient.

Oppsamling av avrenningsvann på Evenes kan redusere utlekkningen til resipient med ca. 80 % ifølge NCR (2017). Om det antas at avrenningen til alle resipienter øker i takt med økt bruk av avisingsmiddel, vil det ved bytte til betain fortsatt lekke ut ca. dobbelt så mye som i dag fra baneavisingmidler, selv ved 80 % oppsamling. Dette er med grunnlag i en økning i kjemikaliebruk som beskrevet av Helland (2020)(Tabell 9.2). Hvis man ser på det totale KOF-

utslippet til resipient, vil bytte til betain føre til ca. 30 % økning sammenliknet med dagens utslipp (baneavisingmidler+flyavisingmidler).

Om det bygges et nytt snødeponi og avisingsplattform, beskriver Saunes et al. (2019) at glykolavrenningen til resipient som en konsekvens reduseres med 7 675 kg KOF/år. Med denne reduksjonen vil den totale KOF-avrenningen til resipient minke sammenliknet med dagens, selv om KOF-bidraget fra baneavising dobles (som beskrevet over for betain med 80 % oppsamling).

Andre tiltak som kan vurderes er:

- Optimalisert bruk av baneavisingmiddel ved intelligent rullebaneteknologi. Avinor har for øvrig allerede beslutningssystemer for avising på sine rullebaner, det vil dermed være lite å hente i form av redusert bruk av baneavisingmidler ved å implementere nye/ytterlige systemer.
- Aktive filterbarrierer eller iblanding av filtermedier i jord. Det er usikkert hvor effektive filtermedier vil være, og liknende installasjoner på Gardermoen har hatt varierende effekt. Det kan allikevel kanskje redusere avrenningen av avisingsmidler nok til at KOF-belastingen til resipient blir akseptabel. Det kan dermed tenkes at et slikt tiltak kun vil være aktuelt der man har behov for en liten reduksjon i KOF-avrenningen til resipient, for eksempel ved liten økning i bruk av baneavisingmidler som beskrevet i Saunes et al. (2019), eller i tillegg til andre tiltak, slik som oppsamling.

9.2 Oppvarming ved hjelp av elektrisk ledende dekke

I alternativutredningen utført i regi av Forsvarsbygg (NCR, 2017), ble det vurdert at ved oppvarming av rullebanen vil bruken av baneavisingmidler reduseres med 90 %. Selv om det i denne utredningen var snakk om hydronisk oppvarming, antar FFI at den samme reduksjonen i bruk av baneavisingmidler vil kunne oppnås ved oppvarming med elektrisk ledende dekke (avsnitt 7.2.2.1). Ved bruk av så små mengder baneavisingmidler som det vil være behov for ved oppvarming av dekket, er det mulig at Aviform fortsatt kan benyttes som avisingsmiddel uten at dette vil skade luftfartøyene nevneverdig. Om det allikevel vurderes at det tryggeste vil være å benytte betain, vil utlekking av KOF til resipienter fra betain være omtrent i samme størrelsesorden som utlekkingen fra Aviform er nå (Tabell 9.2). Dette vil være uten noen andre tiltak enn oppvarming. Fordi mye av avrenningen til resipienter kommer fra flyavising (glykol), vil det fortsatt være nødvendig med tiltak knyttet til dette (nytt snødeponi og avisingsplattform).

9.3 Kostnader

Tabell 9.3 oppsummerer kostnader og besparelser ved tre forskjellige scenarioer for baneavising på Evenes (som også kan være aktuelle på andre flyplasser). En full kostnadsanalyse er ikke utført i denne studien. Det henvises til tidligere kostnadsanalyser utført av blant annet NCR (2017).

Tabell 9.3 *Kostnad- og utgiftsposter forbundet med baneavising.*

	Kostnader	Besparelser
Acetat/formiat	<ul style="list-style-type: none"> • Korrosjon på luftfartøy kan medføre en betydelig kostnad over tid 	<ul style="list-style-type: none"> • Ingen behov for omlegging, anleggsarbeid osv.
Betain	<ul style="list-style-type: none"> • Betain er per nå dyrere enn acetat/formiat • Tiltak (f.eks. oppsamling) 	<ul style="list-style-type: none"> • Mindre korrosjon på luftfartøy enn ved bruk av acetat og formiat
Elektrisk ledende dekke	<ul style="list-style-type: none"> • Anlegning, 70 % dyrere enn vanlig betong • Nedstengning i anleggsperiode • Strømkostnader 	<ul style="list-style-type: none"> • Redusert korrosjon • Ca. 90 % reduksjon i bruk av baneavisingmidler • Ingen andre tiltak nødvendig • Mindre behov for personell til brøyting og utlegging av baneavisingmidler • Mindre slitasje i asfalt/betong/dekket som følge av baneavisingmidler

10 Konklusjon

Formålet med denne litteraturstudien har vært å sammenstille informasjon om baneavisingmidler og alternative metoder for å holde rullebaner snø- og isfrie. Informasjon om forholdene på Evenes er også viet plass, da det er prekært å få i stand en ordening der så raskt som mulig. Evenes skal være klar for operasjoner med kampfly i januar 2022 og for maritime overvåkingsfly sommeren 2022. Alle vurderinger som har blitt gjort i denne studien, både generelt og for Evenes spesielt, er basert på informasjon fra litteraturen.

10.1 Generelle funn angående avising og sikring av friksjon på flyplasser

For å redusere både korrosjon og negative miljøkonsekvenser bør bruken av avisingmidler reduseres så mye som mulig. Lite eller minimal bruk av baneavisingmidler er den beste, og kanskje eneste, måten å sikre at elektriske komponenter i hjulbrønnen på luftfartøy ikke skades/svekkes. Økt mekanisk fjerning av snø og is vil kunne redusere behovet for baneavisingmidler, det er da viktig med nok kvalifisert personell og utstyr. Det samme vil god opplæring av personell, og ved bruk av rullebaneteknologi (beslutningsverktøy) kunne gjøre. Reduksjonen avhenger av dagens praksis på den gitte flyplassen. Oppvarming av underlaget vil kunne redusere behovet for avisingmidler betraktelig, og i noen tilfeller kan forbruket kanskje kuttes helt. Oppvarming av underlaget kan utføres på tre forskjellige måter: Hydronisk oppvarming, tradisjonelle varmekabler eller elektrisk ledende dekke. Av disse tyder forskning på at elektrisk ledende dekke er den rimeligste og mest energieffektive metoden. Fasevekslingsmaterialer som blandet i betong vil kunne redusere bruken av avisingmidler i områder der temperaturen ofte ligger rundt 0 °C, og som opplever mange fryse-tine-sykluser gjennom vintersesongen. Teknologien er lovende, enkel og rimelig, men er fortsatt på utviklingsstadiet.

Betain som avisingmiddel vil redusere korrosjonsproblematikken sammenliknet med formiat/acetat. Betain har høyere miljøbelastning (KOF) enn acetat/formiat (ca. 5x), eventuelle tiltak for å redusere avrenningen til resipient må vurderes dersom betain skal benyttes. Filtrering kan være en metode for å begrense den miljømessige påvirkningen av baneavisingmidler. Forsøk viser at effekten av filtre er variabel, det er ikke utført tester på betain, det er dermed usikkert hvor godt, eller om filterløsninger vil fungere for betain. Oppsamling av avrenningsvann som inneholder avisingmidler kan være en effektiv måte å unngå høy miljøbelastning på nærliggende resipienter. Fordi avisingmidler spres utover et stort område, kreves det imidlertid en del infrastruktur for å samle opp en stor nok del av avrenningen før den når resipient.

Belegg (coating) på luftfartøy vil kunne redusere korrosjonsproblematikken på skroget, men vil ikke kunne hindre korrosjon i de elektriske komponentene eller karbon/karbon-bremsene. I tillegg vil det være krevende, kanskje umulig, å få godkjenning (fra produsent) til å påføre dette på Forsvarets luftfartøy. Å belegge luftfartøy anses derfor ikke som et alternativ for å hindre/ redusere korrosjon. En annen måte å redusere korrosjonsproblematikken på kan være å bruke korrosjonsinhibitorer. Tradisjonelle korrosjonsinhibitorer er lite miljøvennlige, det forskes

derfor mye på grønne korrosjonsinhibitorer. Disse er foreløpig ikke effektive nok til å være et godt alternativ til de tradisjonelle korrosjonsinhibitorene.

10.2 Avising og sikring av friksjon på Evenes lufthavn

Bruken av baneavisingmidler vil øke som følge av Forsvarets etablering på Evenes på grunn av større arealer som må holdes is- og snøfrie, og mindre/ingen bruk av sand for å oppnå tilstrekkelig høy friksjon. Hvor mye bruken av baneavisingmidler vil øke er usikkert, men siste estimat er en økning på ca. 160 % sammenliknet med dagens forbruk.

Evenes lufthavn er omringet av næringsfattige kalkrike innsjøer, som er sensitive for eutrofiering, og naturreservater. Det er derfor viktig at områdene rundt Evenes ikke blir utsatt for høy KOF-belastning. Ved bytte fra Aviform til betain må det innføres tiltak for å hindre stor økning i KOF-belastning på resipienter. Hvis forbruket øker med ca. 160 % vil trolig det eneste tiltaket som gir god nok effekt være oppsamling av avrenningsvann. Et nytt snødeponi og avisingplattform kan redusere utlekkingen av glykol. Oppvarming av dekket på Evenes vil trolig kunne redusere bruken av avisingmidler med ca. 90 %. Den billigste og mest effektive metoden er trolig elektrisk ledende dekke, men denne metoden har ikke blitt testet på rullebaner tidligere.

10.3 FFI har følgende anbefalinger

- På Evenes er det trolig tre reelle alternativer, disse alternativene burde utredes videre og kostnadsestimeres:
 - Fortsatt bruk av formiat/acetat, men fokus på å redusere bruken av avisingmidler så mye som mulig, samt fokus på vedlikehold og rengjøring av luftfartøy for å redusere korrosjonstilfeller.
 - Bytte til betain med oppsamling (eventuelt filtrering) av avrenningsvann, her bør det også fokuseres på å redusere bruken av avisingmidler.
 - Installere elektrisk ledende dekke.
- Uttesting av avisingsegenskapene til betain i laboratoriet og i storskala for å få mer kunnskap om egenskapene til dette avisingmiddelet.
 - Uttesting av infiltrasjon med filtermedier som renseløsning for avrenningsvann med betain.
 - Betains avisingsegenskaper sammenliknet med Aviform og urea.
- Hvis elektrisk ledende dekke skal benyttes bør dette først testes ut på et område på den relevante lokaliteten.
- Beslutningsverktøy (smarte/intelligente rullebaner) bør vurderes innført på flyplasser som ikke har dette.
- God opplæring av personell bør innføres på alle flyplasser der dette ikke er på plass.
- Utviklingen på grønne korrosjonsinhibitorer og fasevekslingsmaterialer bør følges, da dette i fremtiden kan bli gode tiltak for å redusere bruk av baneavisingmidler og redusere korrosjon.

Referanser

- ABDUALLA, H., CEYLAN, H., CETIN, K. S., KIM, S., TAYLOR, P. C., MINA, M., CETIN, B., GOPALAKRISHNAN, K. & SADATI, S. 2018a. Construction techniques for electrically conductive heated pavement systems.
- ABDUALLA, H., CEYLAN, H., KIM, S. & GOPALAKRISHNAN, K. 2019. Effect of Temperature Variations on Electrical Resistivity of Conductive Concrete Heated Pavement System. *Airfield and Highway Pavements 2019: Innovation and Sustainability in Highway and Airfield Pavement Technology*. American Society of Civil Engineers Reston, VA.
- ABDUALLA, H., CEYLAN, H., KIM, S., TAYLOR, P. C., GOPALAKRISHNAN, K. & CETIN, K. 2018b. Hydronic Heated Pavement System Using Precast Concrete Pavement for Airport Applications. *Development*, 16.
- ACINOR 2012. Sikkerhetsdatablad Urea. In: ECOONLINE (ed.).
- ADDCON 2012. Sikkerhetsdatablad Aviform L50. In: ECOONLINE (ed.).
- ADDCON 2015. Sikkerhetsdatablad Aviform S - Solid. In: ECOONLINE (ed.).
- AFGAN, S., KHUSHNOOD, R. A., MEMON, S. A. & IQBAL, N. 2019. Development of structural thermal energy storage concrete using paraffin intruded lightweight aggregate with nano-refined modified encapsulation paste layer. *Construction and Building Materials*, 228, 116768.
- ALATYPPÖ, V. & JUTILA, K. Betafrost - A natural de-icing agent. Finnish Road and Traffic, 2010a Lahti, Finland. Finnish Road Association.
- ALATYPPÖ, V. & JUTILA, K. Efficiency of runway de-icing chemicals in practice. XIII International Winter Road Congress, February, 2010b. 8-11.
- AMUNDSEN, C. E., FRENCH, H., HAALAND, S., PEDERSEN, P. A., RIISE, G. & ROSETH, R. 2008. Salt SMART, Miljøkonsekvenser ved salting av veier - en litteraturgjennomgang. Statens Vegvesen.
- ANUPAM, B. R., SAHOO, U. C. & RATH, P. 2020. Phase change materials for pavement applications: A review. *Construction and Building Materials*, 247, 118553.
- AQUATEAM 2013. Chapter 7. Environmental characteristics of de-icing chemicals in "Airport and Aircraft de-icing. Standard, procedure and chemicals", 19.09.13. COWI.
- ARABZADEH, A., CEYLAN, H., KIM, S., GOPALAKRISHNAN, K. & SASSANI, A. 2016. Superhydrophobic coatings on asphalt concrete surfaces: toward smart solutions for winter pavement maintenance. *Transportation Research Record*, 2551, 10-17.
- AVINOR. 2017a. RE: Resultater fra miljøovervåkning ved Harstad/Narvik lufthavn, Evenes, avisingssesong 2016-2017. Type to NORDLAND, F. I.
- AVINOR 2017b. Ytre miljø - miljøforvaltning - miljøovervåkningsprogram - Harstad/Narvik lufthavn Evenes.
- BAKER, J. R., MILKE, M. W. & MIHELICIC, J. R. 1999. Relationship between chemical and theoretical oxygen demand for specific classes of organic chemicals. *Water Research*, 33, 327-334.
- BAKKEN, T. H. 2019. *Biokjemisk oksygenforbruk* [Online]. Store Norske Leksikon. Available: https://snl.no/biokjemisk_oksygenforbruk [Accessed 26.03.2020 2020].
- BJØRGUM, A. & KVERNBRÅTEN, A.-K. 2019. Gradert tittel. SINTEF.
- BJØRGUM, A., KVERNBRÅTEN, A.-K. & STØRE, A. 2012. Gradert tittel. SINTEF.

-
-
- BRUAAS, S. D. 2019. *RE: Endret tillatelse etter forurensningsloven til utslipp av avisingskjemikalier for fly og rullebane, Harstad/Narvik lufthavn Evenes, Evenes kommune*. Type to AVINOR.
- BUCHWEISHAIJA, J. 2009. Phytochemicals as green corrosion inhibitors in various corrosive media: a review. *Tanzania Journal of Science*, 35.
- CARGILL. 2020. *What is anti-icing? - The science behind Anti-icing* [Online]. Available: <https://www.cargill.com/what-is-anti-icing> [Accessed 18.03 2020].
- CEYLAN, H., ARABZADEH, A., SASSANI, A., KIM, S. & GOPALAKRISHNAN, K. 2016. *Innovative Nano-Engineered Asphalt Concrete for Ice and Snow Controls in Pavement Systems*.
- CLARIANT 2016. Sikkerhetsdatablad i henhold til EF-forordning 453/2010 - Safewing MP1 1938 ECO (80).
- CLARIANT 2017. SIKKERHETS DATABLAD i henhold til Forordning (EF) nr. 1907/2006 - Safewing MP II Flight.
- EASTMAN 2015. Safety Data Sheet Meltium.
- EASTMAN 2018. Technical Data Sheet Clearway 1.
- EPA 2012. Environmental impact and benefit assessment for the final effluent limitation guidelines and standards for the airport deicing category. *In: AGENCY, U. S. E. P.* (ed.).
- EPOKE. *Epoke* [Online]. Available: <https://epoke.dk/home/> [Accessed 21.04.2020 2020].
- EU. 2019. *Super-IcePhobic Surfaces to Prevent Ice Formation on Aircraft* [Online]. European Union. Available: <https://cordis.europa.eu/project/id/690819> [Accessed 31.08.2020].
- FARNAM, Y., ESMAEELI, H. S., ZAVATTIERI, P. D., HADDOCK, J. & WEISS, J. 2017. Incorporating phase change materials in concrete pavement to melt snow and ice. *Cement and Concrete Composites*, 84, 134-145.
- FARNAM, Y., KRAFCIK, M., LISTON, L., WASHINGTON, T., ERK, K., TAO, B. & WEISS, J. 2016. Evaluating the Use of Phase Change Materials in Concrete Pavement to Melt Ice and Snow. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 28, 04015161.
- FAY, L. & SHI, X. 2012. Environmental impacts of chemicals for snow and ice control: state of the knowledge. *Water, Air, & Soil Pollution*, 223, 2751-2770.
- FORSVARSBYGG 2020. Evenes flystasjon og Harstad/Narvik lufthavn - Reguleringsplan med konsekvensutredning - planbeskrivelse med konsekvensutredning.
- FORSVARSDEPARTEMENTET 2018. Konseptutredning Evenes flystasjon (ugradert versjon) - Fremskutt operasjonsbase for kampfly og hovedbase for maritime patruljefly.
- HELLAND, I. 2018. Utslippssøknad Harstad/Narvik lufthavn Evenes 2018. *In: AVINOR* (ed.).
- HELLAND, I. 24. november 2020 2020. *RE: Evenes: Estimert fremtidig kjemikalieforbruk*. Type to JOHNSEN, I. V.
- HEYMSFIELD, E., DANIELS, J. W., SAUNDERS, R. F. & KUSS, M. L. 2020. Developing anti-icing airfield runways using surface embedded heat wires and renewable energy. *Sustainable Cities and Society*, 52, 101712.
- HONGVE, D. & KJENSMO, J. 2019. *Eutrofiering* [Online]. Store Norske Leksikon. Available: <https://snl.no/eutrofiering> [Accessed 27.03.2020 2020].
- HUANG, X., TEPYLO, N., POMMIER-BUDINGER, V., BUDINGER, M., BONACCURSO, E., VILLEDIEU, P. & BENNANI, L. 2019. A survey of icephobic coatings and their potential use in a hybrid coating/active ice protection system for aerospace applications. *Progress in Aerospace Sciences*, 105, 74-97.
- HUTTUNEN-SAARIVIRTA, E., KORPINIEMI, H., KUOKKALA, V.-T. & PAAJANEN, H. 2013a. Corrosion of cadmium plating by runway de-icing chemicals: Study of surface

-
- phenomena and comparison of corrosion tests. *Surface and Coatings Technology*, 232, 101-115.
- HUTTUNEN-SAARIVIRTA, E., KUOKKALA, V.-T., KOKKONEN, J. & PAAJANEN, H. 2011. Corrosion effects of runway de-icing chemicals on aircraft alloys and coatings. *Materials Chemistry and Physics*, 126, 138-151.
- HUTTUNEN-SAARIVIRTA, E., VAGANOV, G., YUDIN, V. & VUORINEN, J. 2013b. Characterization and corrosion protection properties of epoxy powder coatings containing nanoclays. *Progress in Organic Coatings*, 76, 757-767.
- JUTILA, K., PAANANEN, H., ALATYPPO, V. & KUUSISTO, J. O. 2011. *Substance composition and method for melting ice and preventing slipperiness and use of betaine for melting ice and preventing slipperiness*. USA patent application.
- KARTVERKET. 2020. *Norgeskartet* [Online]. Kartverket. Available: www.norgeskart.no [Accessed 27.04.2020 2020].
- KEISER, R. 14.03.19 2019. *RE: De-icing*. Type to JOHNSEN, I. V.
- KORPINIEMI, H., HUTTUNEN-SAARIVIRTA, E., KUOKKALA, V.-T. & PAAJANEN, H. 2014. Corrosion of cadmium plating by runway de-icing chemicals in cyclic tests: Effects of chemical concentration and plating quality. *Surface and Coatings Technology*, 248, 91-103.
- KRAFT, P. 2000. Jordbaserte renseanlegg for overvann fra flyplasser - fiasko eller suksess? *Vann*, 2, 195-198.
- KRAFT, P. & ROSETH, R. 96. Overvann med avisingsmidler på Gardermoen - laboratorieforsøk som grunnlag for prosjektering av jordbaserte renseanlegg. *Vann*, 2, 196-207.
- KROUWER, A. 2017. AMS 1435C, FLUID, GENERIC, DEICING/ANTI-ICING, Runway and taxiways, Experimental Betafrost L Plus. Dupont.
- LNTSOLUTIONS GEN3 Runway Deicing Fluid.
- MERICAS, D., AJELLO, T. B., JR., J. A. L. & LONGSWORTH, J. 2009. Deicing Planning Guidelines and Practices for Stormwater Management Systems. *Airport Cooperative Research Program (ACRP)*. Transportation Research Board.
- MILJØDIREKTORATET 2018. Klassifisering av miljøtilstand i vann. Miljødirektoratet.
- NCR 2017. Alternativutredning baneavising. Forsvarsbygg: NORDIC - Office of architecture, COWI, Rambøll.
- NEVLAND, S. J. & HELLAND, I. 24.09.2020 2020a. *RE: Tilbakemelding: Alternative baneavisingmidler og -metoder - En litteraturstudie*. Type to JOHNSEN, I. V.
- NEVLAND, S. J. & HELLAND, I. 13. november 2020 2020b. *RE: Tilbakemelding: Møtereferat Prosjektrådsmøte «Alternative baneavisingmidler»*. Type to JOHNSEN, I. V.
- PASANEN, T. 14.03.19 2019. *RE: De-icing*. Type to JOHNSEN, I. V.
- PEDERSEN, B. 2018. *Ammoniakk* [Online]. snl.no: Store Norske Leksikon. Available: <https://snl.no/ammoniakk> [Accessed 24. august 2020].
- PEDERSEN, B. 2019. *Kjemisk oksygenforbruk* [Online]. Store Norske Leksikon. Available: https://snl.no/kjemisk_oksygenforbruk [Accessed 26.03.2020 2020].
- PHOBIC2ICE. 2016. *The PHOBIC2ICE Project* [Online]. Available: <http://www.phobic2ice.com/> [Accessed 31.08.2020].
- POPOOLA, L. T. 2019. Organic green corrosion inhibitors (OGCIs): a critical review. *Corrosion Reviews*, 37, 71-102.
- PRESSL, A., PUCHER, B., SCHARF, B. & LANGERGRABER, G. 2019. Treatment of de-icing contaminated surface water runoff along an airport runway using in-situ soil

-
- enriched with structural filter materials. *Science of The Total Environment*, 660, 321-328.
- PAAJANEN, H. 2017. Runway de-icing chemicals and corrosion. Tampere: Finnish Defence Force Logistics Command Headquarters.
- RAMSYS. *GPS-styrt salting* [Online]. Ramsys. Available: <http://ramsys.no/flyplass/item/gps-styrt-salting-flyplass> [Accessed 21.04.2020 2020].
- RANI, B. & BASU, B. B. J. 2012. Green inhibitors for corrosion protection of metals and alloys: an overview. *International Journal of corrosion*, 2012.
- SAUNES, H., HONNE, L. M. & TRANDEM, J. 2019. Evenes flystasjon - Miljørisikovurdering av avisingskjemikalier - tilleggsbelastning ved Forsvarets tilstedeværelse. Forsvarsbygg: NCR.
- SCHRAGE, S. 2016. *De-icing concrete could improve roadway safety* [Online]. Nebraska today. Available: <https://news.unl.edu/newsrooms/unltoday/article/de-icing-concrete-could-improve-roadway-safety/> [Accessed 21.04.2020 2020].
- SHI, X. 2008. *Impact of airport pavement deicing products on aircraft and airfield infrastructure*, Airport Cooperative Research Program (ACRP), Transportation Research Board.
- SHI, X. & FU, L. 2018. *Sustainable Winter Road Operations*, John Wiley & Sons
- SPELLUM, B. J. 2018. *Ammoniakk* [Online]. snl.no: Store medisinske leksikon. Available: <https://sml.snl.no/ammoniakk> [Accessed 24. august 2020].
- STANKEVIČIENĖ, R., ŠAULYS, V., SURVILĖ, O., BAGDŽIŪNAITĖ-LITVINAITIENĖ, L. & LITVINAITIS, A. 2019. The treatment and handling systems of de/anti-icing contaminants which generated and discharged into surface runoff from airports territories. *Journal of Water Security*, 5.
- STEPHANOW, C. 2019. *It's a key element of safety: Regina airport has new technology to de-ice the runways* [Online]. CTV News. Available: <https://regina.ctvnews.ca/it-s-a-key-element-of-safety-regina-airport-has-new-technology-to-de-ice-the-runways-1.4707435> [Accessed].
- TERJESEN, B. F. & ROSSELAND, B. O. 2009. Produksjon og giftighet av ammoniakk hos fisk. *Norsk Fiskeoppdrett*, 2, 52-55.
- THALASSO, F., VAN DER BURGT, J., O'FLAHERTY, V. & COLLERAN, E. 1999. Large-scale anaerobic degradation of betaine. *Journal of Chemical Technology & Biotechnology*, 74, 1176-1182.
- TUAN, C. 2020. *RE: Questions about conductive concrete*. Type to JOHNSEN, I. V.
- TUAN, C. Y. 2008. Implementation of conductive concrete for deicing (Roca Bridge). University of Nebraska - Lincoln.
- UGGERUD, E. 2020a. *Glykol* [Online]. Store Norske Leksikon. Available: <https://snl.no/glykol> [Accessed 14.04.2020].
- UGGERUD, E. 2020b. *Urea* [Online]. Store Norske Leksikon. Available: <https://snl.no/urea> [Accessed 18.03. 2020].
- UTSTØL-KLEIN, S., MELNES, M., KARSRUD, T. E. & PRYDZ, P. 2016. Forsvarssektorens miljø- og klimaregnskap for 2015. Forsvarets Forskningsinstitutt (FFI).
- VANNPORTALEN 2018. Klassifisering av miljøstand i vann - Økologisk og kjemisk klassifiseringssystem for kystvann, grunnvann, innsjøer og elver. Vann fra fjell til fjord: Miljødirektoratet.
- VOOREN, A. 2020. Effekter av baneavisingsmidler på militære luftfartøy. Forsvarsmateriell.
- VAA, T. & SAKSHAUG, K. 2007. Salting av veger: En kunnskapsoversikt.

-
- WIKIPEDIA. 2020. *propylenglykol* [Online]. CC BY-SA 3.0,
<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=105596>. Available:
https://en.wikipedia.org/wiki/Ethylene_glycol [Accessed 14.04.2020 2020].
- WORTEL, V. 2017. Betafrost de-icing solutions. Dupont.
- WYDERSKI, M. T., CONKLE, H. N., ROSHON, M. S., CRAFT, J. L. & CHAUHAN, S. P.
2011. Demonstration of an Environmentally Benign and Reduced Corrosion Runway
Deicing Fluid. AIR FORCE AERONAUTICAL SYSTEMS CENTER PROPULSION
DIRECTORATE WRIGHT PATTERSON.
- YOUNG, T. J. 2016. Development of durable superhydrophobic materials for ice-and snow-free
airport concrete pavements.
- YU, A. 2017. *Winter Is Coming. What If Roads And Runways Could De-Ice Themselves?*
[Online]. NPR. Available:
<https://www.npr.org/sections/alltechconsidered/2017/10/01/553756878/winter-is-coming-what-if-roads-and-runways-could-de-ice-themselves?t=1586188775126>
[Accessed 07.04.2020 2020].

11 Vedlegg

A E-post-korrespondanse, ledende betong

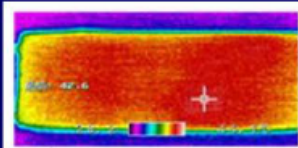
From: [Christopher Tuan](#)
To: [Johnsen, Ida Vaa](#)
Subject: Re: Questions about conductive concrete
Date: fredag 16. oktober 2020 04:19:37
Attachments: [image001.png](#)
[image.png](#)
[image.png](#)
[image.png](#)

Hello Ida,

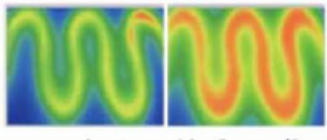
Hope your are staying safe and healthy.

Please find the table of comparison I compiled a while ago.

Comparison of Deicing Systems			
	Electric Heating Cables	Heated Fluid/Gas Hydronic	Conductive Concrete
Energy Source	Electric	Natural gas/propane + electric	electric
Heat Transfer Efficiency	< 70%	< 50%	> 90%
Required Floor Space	None	Mechanical room, \$100-500/sf	None
Power Density	22-30W/sf	28-30W/sf	12-30W/sf
Energy Consumption (sidewalk)	350 kWh/m ²	150 kWh/m ²	3.0 kWh/m ²
Energy Consumption (bridge deck)	600 kWh/m ²	260 kWh/m ²	9.5 kWh/m ²
Installation Cost	\$25/sf	\$35/sf	\$18/sf
Operating Cost	\$1.50/sf	\$0.40/sf	\$0.04/sf
Maintenance Cost	Cable fault detection and repair	Glycol leaks, notify EPA	Maintenance free
Construction Time	Days/weeks	Weeks/months	Days



Conductive Concrete



Hydronic System

I've also attached the energy consumption data of Roca Spur Bridge for your reference:

Deicing Performance Data

Storm Date	Snow depth (in.)	Air temp. (°F)	Wind (mph)	Energy (kW-hr)	Unit Cost (\$/ft ²)	Peak Power Density (W/ft ²)
Dec 8-9, '03	6.5	20.7	16.2	2,023	0.050	40.04
Jan 25-26, '04	10.1	14.9	14.4	2,885	0.070	30.74
Feb 1-2, '04	5.7	14.4	11.1	2,700	0.066	26.57
Feb 4-6, '04	7.8	19.2	11.5	3,797	0.093	35.94
Jan 2-5, '05	8.5	15.6	14.3	3,128	0.076	33.01
Feb 6-8, '05	4.6	17.3	12.7	3,327	0.081	32.25
Mar 18-21, '06	9.9	32.5	16.2	2,786	0.068	29.97
Jan 13-14, '07	3.3	10.9	21.7	2,366	0.058	18.86
Jan 20-21, '07	6.0	19.4	17.4	2,573	0.063	30.19
Feb 12-13, '07	3.8	17.6	16.2	2,653	0.065	33.54
Mar 1-3, '07	7.1	29.8	19.9	2,893	0.071	36.79

Deicing Performance Data (cont.)

Storm Date	Snow depth (in.)	Average Air temp. (°F)	Wind (mph)	Energy (kW-hr)	Unit Cost (\$/ft ²)	Peak Power Density (W/ft ²)
Dec 5-7, '07	3.5	22.5	20.5	2,866	0.070	35.02
Jan 15-18, '08	3.8	18.1	24.8	2,445	0.059	34.56
Feb 4-7, '08	4.6	21.9	22.4	3,046	0.074	36.98

Operating cost

Energy consumption during a major storm (3 days):

Average = 1,000 kW-hr/day

Total Cost = \$240/storm

Unit cost = \$0.075 per sq. ft. of deck surface

Hope the info is useful to you, and I look forward to collaborating on a project with you.

Thanks,
Chris

Christopher Y. Tuan, Ph.D., P.E., S.E., F. ASCE
Professor of Civil Engineering and Director of
Structures Research Laboratory
University of Nebraska-Lincoln
203F Peter Kiewit Institute
1110 S. 67th Street
Omaha, NE 68182-0178
Phone: (402) 554-3867, Fax: (402) 554-3288
E-mail: ctuan@unomaha.edu or ctuan1@unl.edu
<http://www.engineering.unl.edu/civil/faculty/ChrisTuan.shtml>

From: Ida-Vaa.Johnsen@ffi.no <Ida-Vaa.Johnsen@ffi.no>
Sent: Thursday, October 15, 2020 9:34 AM
To: Christopher Tuan <ctuan1@unl.edu>
Subject: SV: Questions about conductive concrete

Hello again Dr. Tuan,

We are still working on this project, and a question has come up that I hope that you have the answer to. What is the energy consumption of Conductive Concrete compared to more conventional pavement heating methods? I have tried finding the information in papers but have not succeeded (there are a lot of papers on the subject though, so I haven't been able to read all thoroughly). I have found that ECON uses from 0,54-1,1 kWh/m² to melt 12,7-38 mm of snow, this is very specific and I guess it will also vary a lot with the ambient temperature, humidity etc.. It is therefore not easy to compare this to the energy consumptions of other methods. Have you or your colleagues done any direct comparisons between methods, or do you have any data that is easily comparable?

Best regards

Ida Vaa Johnsen

Phone: +47 63 80 78 04/+47 92 48 69 53

ffi.no/en

Fra: Christopher Tuan <ctuan1@unl.edu>
Sendt: fredag 24. april 2020 17:16
Til: Johnsen, Ida Vaa <Ida-Vaa.Johnsen@ffi.no>
Emne: RE: Questions about conductive concrete

Hi Ida,

Based on my projects, the average cost by ready-mixed companies for one cubic yard of conductive concrete has been around \$500US, compared to \$300US/CY of P-501 concrete for airfield runway pavement. However, the materials and labor costs in Norway may be quite different from US.

Conductive concrete is very energy efficient, for a typical snowstorm the energy consumption cost is around \$0.43US per square meter of heated area (for 15-cm thick conductive concrete

pavement).

Best regards,
Chris

From: Ida-Vaa.Johnsen@ffi.no [<mailto:Ida-Vaa.Johnsen@ffi.no>]

Sent: Friday, April 24, 2020 4:41 AM

To: Christopher Tuan <ctuan1@unl.edu>

Subject: RE: Questions about conductive concrete

Thank you so much for your quick reply to my inquiries.

This is very interesting, and I will certainly inform stakeholders about this product which allows environmental benign and corrosion free deicing.

Do you have a price estimation on the installation costs implementing this technology on a runway compared to a "normal" runway. And what is the power consumption for a given area?

I will not hesitate to contact you again for further information.

Regards

Ida Vaa Johnsen

Phone: +47 63 80 78 04/+47 92 48 69 53

ffi.no/en

From: Christopher Tuan <ctuan1@unl.edu>

Sent: torsdag 23. april 2020 23:15

To: Johnsen, Ida Vaa <Ida-Vaa.Johnsen@ffi.no>

Subject: RE: Questions about conductive concrete

Hello Ms. Johnsen:

It's great to say hi to someone from Norwegian Defence Research Establishment! In the late 1980's, I had the pleasure to collaborate with Mr. Arnfinn Jessen on a tunnel project when I was with Wilfred Baker Engineering.

Thank you very much for your interest and inquiry about my conductive concrete deicing technology. Yes, it's very feasible to use conductive concrete for airfield runway and taxiway concrete pavement construction. I've accomplished a feasibility study for the FAA in 2016, and the technology has been proven.

I started a company in October 2017, Conductive Concrete Technologies, LLC, to

commercialize the technologies. We provide engineering and construction consulting services. We work with architects and design engineers, and provide the materials and construction specifications to the contractors and the ready mixed concrete company, who install the conductive concrete snowmelt system following my guidelines. We do not have construction crew or a separate entity to sell conductive concrete materials. We are just about to finish installing 24 conductive concrete bus boarding platforms for a municipal BRT project as well as in the design phase for an international airport in the midwest.

The following links show the deicing performance of the test conductive concrete heated pavement section for the FAA project under blizzard condition in 2018:

<https://drive.google.com/open?id=1iqFVvjaw31veBWcvEzejgzuxrfO72I5s>
https://drive.google.com/file/d/1vJVxRWJ_f3A1sxAmwSwKdw7vxeDuN6Az/view?usp=sharing

There has also been another installation in Bulgaria: <https://engineering.unl.edu/nutech-ventures-helps-take-engineering-facultys-conductive-concrete-global/>

Feel free to contact me if you need additional information. I hope I can be of further service to meet your project needs.

Best regards,
Chris Tuan



Christopher Y. Tuan, Ph.D., P.E., S.E., F. ASCE
Professor of Civil Engineering

College of Engineering
University of Nebraska–Lincoln

203F Peter Kiewit Institute, 1110 South 67th Street, Omaha, NE 68182-0178
402-554-3867 | ctuan1@unl.edu | civil.unl.edu
<http://engineering.unl.edu/civil/chris-tuan/>

From: ida-vaa.johnsen@ffi.no [<mailto:ida-vaa.johnsen@ffi.no>]
Sent: Thursday, April 23, 2020 7:36 AM
To: Christopher Tuan <ctuan1@unl.edu>
Subject: Questions about conductive concrete

Good afternoon Dr. Tuan,

My name is Ida Vaa Johnsen, and I work as a scientist for the “Norwegian Defence Research Establishment”. We currently have a project where we are trying to find alternative deicing methods (or chemicals) on the runway (and taxiway) of a combined military airbase and civil

airport. I have read some of your research on conductive concrete, and find it very interesting. Do you think this would be a feasible technique to use on an airport runway? Have you done testing, or are you planning testing of conductive concrete on runways or taxiways? Is, or will conductive concrete for deicing purposes be available commercially?

It would be greatly appreciated if you could make time to answer my questions.

Regards

Ida Vaa Johnsen

Scientist

Office phone: +47 63 80 78 04

Mobile phone: +47 92 48 69 53

Norwegian Defence Research Establishment / Forsvarets Forskningsinstitutt (FFI)

ffi.no/en

B Avrenning og KOF-belastning Evenes

Beregningene som ligger ved er utført av Avinor (Helland, 2018) og Forsvarsbygg (Saunes et al., 2019), FFI har ikke utført egne beregninger.

B.1 Beregninger fra Avinors utslippssøknad, dagens bruk

Beregning av avrenning av utslipp av KOF fra formiat og glykol til resipienter via overvannsnett og infiltrering er gjengitt i dette vedlegget. Beregninger fra Helland (2018), dagens bruk.

B.1.1 Aviform

Formiat			
Årlig mengde:	35000 kg KOF		
<u>Fordeles på følgende måte:</u>			
Flyoppstilling:	5 %	1750	
Rullebane:	85 %	29750	
Taksebane (parallell)	10 %	3500	
Rullebane (85%):			
Bakgrunnsinformasjon for beregning av spredning/belastning:			
<u>Fall rullebane:</u>	takfall	(dvs 50% naturlig avrenning til hver side)	
<u>Brøytemønster:</u>			
Brøyting til østsiden:	50 %		
Brøyting på vestsiden:	50 %		
		% av rullebanelengde	
Rullebane nord	685 m	24 %	Ikke OV-nett, kun infiltrasjon
Rullebane midt/nord	800 m	28 %	
Rullebane midt/sør	730 m	26 %	
Rullebane sør	595 m	21 %	
<u>Total lengde rullebane:</u>	2810 m		
<u>Infiltrasjonsavstand fra rullebanen:</u>	40 m		
		% av taksebanelengde	
Taksebane (10%)			
Taksebane nord	700 m	25 %	
Taksebane midt/nord	840 m	30 %	
Taksebane midt/sør	710 m	25 %	
Taksebane sør	545 m	19 %	
	2795		
Apron (5%)			
Flyoppstilling/trafikkarealer	25 %		
Snødeponi	75 %		
			<u>Rullebane midt/nord deles opp i nordlig og sørlig del pga ulik overvannsdekning:</u>
			<u>Nordlig del:</u> 400 m 50 %
			<u>Sørlig</u> 400 m 50 %

Avrenningsområder	Fordeling ut fra totalt formiatforbruk	Total KOF	Areal (m2)	Ant. Kg KOF/år til resipient (via OV-nett)	Organisk belastning, infiltrasjon (kg KOF/m2*år)	Nedbrytningskapasitet (kg)
TOTAL mengde KOF til taksebane	10 %	3500				
Total mengde KOF til taksebane nord	2,50 %	877				
Overvannsnett utløp Langvatn		131		131		
Infiltrasjon vestsiden		373	28000		0,01	0,6
Infiltrasjon østsiden		373	28000		0,01	0,2
Total mengde KOF til taksebane midt/nord	3,01 %	1052				
Overvannsnett, utløp Langvatn		210		210		
Infiltrasjon vestsiden		421	33600		0,01	0,6
Infiltrasjon østsiden		421	33600		0,01	0,2
Total mengde KOF til taksebane sør	1,95 %	682				
Infiltrasjon vestsiden		341	21800		0,02	0,6
Infiltrasjon østsiden		341	21800		0,02	0,6
Total mengde KOF til taksebane midt/sør	2,54 %	889				
Taksebane midt/sør, vestsiden:		445				
OV-nett, utløp mot myr/Lavangsvatn (to utløp)		89				
Infiltrasjon		356	28400		0,01	0,6
Taksebane midt/sør, østside:		445				
Nordlig del		222				
OV-nett, utløp mot myr/Lavangsvatn		44				
Infiltrasjon		178	16000		0,01	0,6
Sørlig del		222				
Infiltrasjon		222	16000		0,01	0,6
Kontroll		0				
TOTAL mengde KOF til rullebane	85 %	29750				
Total mengde KOF til rullebane nord	21 %	7252				
Infiltrasjon (vestsiden)		3626	27400		0,13	0,6
Infiltrasjon (østsiden)		3626	27400		0,13	0,6
Total mengde KOF rullebane midt/nord	24 %	8470				
Nordlig del:		4235				
Infiltrasjon vestsiden		2117	16000		0,13	0,6
Infiltrasjon østsiden		2117	16000		0,13	0,6
Sørlig del		4235				
OV-nett, utløp mot myr/Lavangsvatn		847				
Infiltrasjon vestsiden		1694	16000		0,11	0,6
Infiltrasjon østsiden		1694	16000		0,11	0,6
Total mengde KOF til rullebane midt/sør	22 %	7729				
Infiltrasjon vestsiden		3864	29200		0,13	0,6
Infiltrasjon østsiden		3864	29200		0,13	0,6
Total mengde KOF til rullebane sør	18 %	6299				
OV-nett, utløp bekk/Kjerkvatn		1260				
Infiltrasjon vestsiden		2520	23800		0,11	0,6
Infiltrasjon østsiden		2520	23800		0,11	0,6
Kontroll rullebane		0				
Totalt flyoppstilling og trafikkarealer	5 %	1750				
Flyoppstilling	1 %	438				
Til kommunalt OV-nett		219				
Til kulvert og videre til Langvatn		219				
Kontroll, totalt forbruk						
Formiat som kjøres til snødeponi	4 %	1313				
Til kommunalt OV-nett		1181				
Formiat som havner utenfor snødeponi, infiltrasjon		66	5200		0,01	0,6
Formiat som havner utenfor snødeponi, til kulvert og videre til Langvatn		66				

Avrenningsområder	Fordeling ut fra totalt formiatforbruk	Total KOF	Areal (m2)	Ant. Kg KOF/år til resipient (via OV-nett)	Organisk belastning, infiltrasjon (kg KOF/m2*år)	Nedbrytningskapasitet (kg)
TOTAL mengde KOF til taksebane	10 %	3500				
Total mengde KOF til taksebane nord	2,50 %	877				
Overvannsnett utløp Langvatn		131		131		
Infiltrasjon vestsiden		373	28000		0,01	0,6
Infiltrasjon østsiden		373	28000		0,01	0,2
Total mengde KOF til taksebane midt/nord	3,01 %	1052				
Overvannsnett, utløp Langvatn		210		210		
Infiltrasjon vestsiden		421	33600		0,01	0,6
Infiltrasjon østsiden		421	33600		0,01	0,2
Total mengde KOF til taksebane sør	1,95 %	682				
Infiltrasjon vestsiden		341	21800		0,02	0,6
Infiltrasjon østsiden		341	21800		0,02	0,6
Total mengde KOF til taksebane midt/sør	2,54 %	889				
Taksebane midt/sør, vestsida:		445				
OV-nett, utløp mot myr/Lavangsvatn (to utløp)		89				
Infiltrasjon		356	28400		0,01	0,6
Taksebane midt/sør, østside:		445				
Nordlig del		222				
OV-nett, utløp mot myr/Lavangsvatn		44				
Infiltrasjon		178	16000		0,01	0,6
Sørlig del		222				
Infiltrasjon		222	16000		0,01	0,6
Kontroll		0				
TOTAL mengde KOF til rullebane	85 %	29750				
Total mengde KOF til rullebane nord	21 %	7252				
Infiltrasjon (vestsiden)		3626	27400		0,13	0,6
Infiltrasjon (østsiden)		3626	27400		0,13	0,6
Total mengde KOF rullebane midt/nord	24 %	8470				
Nordlig del:		4235				
Infiltrasjon vestsiden		2117	16000		0,13	0,6
Infiltrasjon østsiden		2117	16000		0,13	0,6
Sørlig del		4235				
OV-nett, utløp mot myr/Lavangsvatn		847				
Infiltrasjon vestsiden		1694	16000		0,11	0,6
Infiltrasjon østsiden		1694	16000		0,11	0,6
Total mengde KOF til rullebane midt/sør	22 %	7729				
Infiltrasjon vestsiden		3864	29200		0,13	0,6
Infiltrasjon østsiden		3864	29200		0,13	0,6
Total mengde KOF til rullebane sør	18 %	6299				
OV-nett, utløp bekk/Kjerkvatn		1260				
Infiltrasjon vestsiden		2520	23800		0,11	0,6
Infiltrasjon østsiden		2520	23800		0,11	0,6
Kontroll rullebane		0				
Totalt flyoppstilling og trafikkearealer	5 %	1750				
Flyoppstilling	1 %	438				
Til kommunalt OV-nett		219				
Til kulvert og videre til Langvatn		219				
Kontroll, totalt forbruk		0				
Formiat som kjøres til snødeponi	4 %	1313				
Til kommunalt OV-nett		1181				
Formiat som havner utenfor snødeponi, infiltrasjon		66	5200		0,01	0,6
Formiat som havner utenfor snødeponi, til kulvert og videre til Langvatn		66				

B.1.2 Glykol

Glykol					
Årlig omsøkt mengde:	120000 liter 100% glykol				
Årlig mengde KOF:	202800 kg KOF				
Antatt nedbrytningskapasitet:	0,6 kg KOF/m ² /år				
Fordeles på følgende måte:					
Avisingsplattform:	75 %				
Taksebane Y:	10 %				
Rullebane	5 %				
Fly/diffust:	10 %				
Flyvingsplattform(75%):					
<u>Avrenning fra avisingsplattform:</u>					
Glykol som havner på avisingsplattform/Snødeponi	152100 kg KOF	Vi vet at noe havner utenfor snødeponi. Anslår:	10 %		
Glykol som havner utenfor snødeponi	15210				
Glykol til infiltrasjon utenfor snødeponi (% av det som havner på plattform)	7605	Beregnet areal ved snødeponi som påvirkes	5200 m ²		Antar hele det grå området rundt snødeponi
Glykol til OV-nett (kulvert til Langvatn)	7605				
Glykol til kommunalt nett, utslipp Ofotfjorden	136890	Antar at halvparten av det som faller utenfor snødeponi s	50 %		Kontroll:
		Til kulvert/Langvatn	25 %		0
Taksebane (10%):					
Bakgrunnsinformasjon for beregning av spredning/belastning:					
<u>Take-off-retning:</u>					
Fra nord	70 %				
Fra sør	30 %				
Fall rullebane:	takfall	Dvs 50% naurlig avrenning til hver side, brøyting også til hver side			
Fall taksebane	takfall	Dvs 50% naurlig avrenning til hver side, brøyting også til hver side			
<u>Brøyting til østsiden</u>					
50 %					
<u>Brøyting til vestsiden</u>					
50 %					
<u>Takselengde taksebane midt/nord</u>					
840 m					
<u>Takselengde taksebane nord:</u>					
700 m					
Andel v/taksing nord:					
55 %					
45 %					
<u>Taksebane midt/sør: deles pga ulik overvannsdekning:</u>					
<u>Nordlig del:</u> 400 m 56 %					
<u>Sørlig</u> 310 m 44 %					
Andel v/taksing sør:					
57 %					
43 %					
<u>Takselengde taksebane midt/sør</u>					
710 m					
<u>Takselengde taksebane sør:</u>					
545 m					
<u>Takselengde avisingsplattform</u>					
0 m					
Push back					
<u>Take off RWY nord</u>					
685 m					
<u>Takk off RWY sør</u>					
595 m					
<u>Total lengde rullebane:</u>					
2808 m					
For beregning av spredning av formlat					
<u>Infiltrasjonsavstand fra rullebanen:</u>					
40 m					
<u>Oppsamlingsgrad OV-nett:</u>					
20 %					
%andel oppsamling der det er full OV-nett-dekning.OV-nettet					
<u>Dekning OV-nett langs TWY/RWY:</u>					
Taksebane nord	75 %				
Taksebane midt/nord	100 %				
Taksebane midt/sør vestsiden	100 %				
Taksebane midt/sør østsiden, nordlig del	100 %				
Taksebane sør	0 %				
Rullebane nord	0 %				
Rullebane midt/nord nordlig del	0 %				
Rullebane midt/nord sørlig del	100 %				
Rullebane midt/sør	0 %				
Rullebane sør	100 %				
		Flyoppstilling			
		Til kommunalt OV-nett	50 %		
		Til kulvert og videre til Langvatn	50 %		
		Glykol som havner utenfor plattform/snødeponi, infiltrasjon 50%	50 %		
		Glykol som havner utenfor plattform/snødeponi,til Langvatn 50%	50 %		

Glykol						
Avrenningsområder	Fordeling, ut fra totalt glykolforbruk	Total KOF	Areal (m2)	Ant. Kg KOF/år til resipient (utslippsledning/OV-nett)	Organisk belastning infiltrasjon (kg KOF/m2*år)	Nedbrytningskapasitet (kg KOF/m2*år)
Avisingsplattform:	75 %	152100				
Oppsamling på plattform/snødeponi, til OV-nett (Ofotfjorden)		136890		136890		
Glykol som havner utenfor plattform/snødeponi (10%)		15210				
Infiltrasjon		7605	5200	-	1,46	0,2
OV-nett til Langvatn		7605		7605		
Kontroll, avising sør		0				
Taksebane nord og midt/nord (70% av avgangene), andel av total glykolforbruk:	7 %	14196				
Total mengde KOF til taksebane nord		7743				
Overvannsnett utløp Langvatn	15 %	1161		1161		
Infiltrasjon vestsiden	43 %	3291	28000		0,12	0,6
Infiltrasjon østsiden	43 %	3291	28000		0,12	0,6
Total mengde KOF til taksebane midt/nord		6453				
Overvannsnett, utløp Langvatn	20 %	1291		1291		
Infiltrasjon vestsiden	40 %	2581	33600		0,08	0,6
Infiltrasjon østsiden	40 %	2581	33600		0,08	0,2
Kontroll, taksing nord + midt/nord		0				
Rullebane nord (70% av avgangene):	3,5 %	7098				
Total mengde KOF til rullebane nord		7098				
Infiltrasjon (vestsiden)	50 %	3549	27400		0,13	0,6
Infiltrasjon (østsiden)	50 %	3549	27400		0,13	0,6
Kontroll, rullebane nord		0				
Taksebane sør og midt/sør (30% av avgangene):	3 %	6084				
Total mengde KOF til taksebane sør		2642				
Infiltrasjon vestsiden	50 %	1321	21800		0,06	0,6
Infiltrasjon østsiden	50 %	1321	21800		0,06	0,6
Total mengde KOF til taksebane midt/sør		3442				
Taksebane midt/sør, vestside:	50 %	1721				
OV-nett, utløp mot myr/Lavangsvatn (to utløp)		344		344		
Infiltrasjon		1377	28400		0,05	0,6
Taksebane midt/sør, østside:	50 %	1721				
Nordlig del		860				
OV-nett, utløp mot myr/Lavangsvatn		172		172		
Infiltrasjon		688	16000		0,04	0,6
Sørlig del		860				
Infiltrasjon		860	16000		0,05	0,6
Kontroll, taksing sør + midt/sør		0				
Rullebane sør (30% av avgangene):	1,5 %					
Total mengde KOF til rullebane sør		3042				
OV-nett, utløp bekk/Kjerkvatn		608				
Infiltrasjon vestsiden	50 %	1217	23800		0,05	0,6
Infiltrasjon østsiden	50 %	1217	23800		0,05	0,6
Kontroll, rullebane sør		0				
Diffus spredning til luft	10 %	20280				
Kontroll, totalt glykolforbruk	100 %	0				

B.1.3 Total

Avrenningsområder	Ant. Kg KOF/år	Organisk belastning infiltrasjon (kg KOF/m ² *år)	Antatt nedbrytningskapasitet (kg KOF/m ² *år)
Avisingsplattform, flyoppstilling og snødeponi			
Avrenning til kommunalt nett	138290		
Avrenning til Langvatn via kulvert (OV-nett)	7889		
Infiltrasjon ved snødeponi	7671	1,48	0,6
Total mengde KOF taksebane nord			
Avrenning til Langvatn (OV-nett)	1293		
Infiltrasjon på vestsiden	3663	0,13	0,6
Infiltrasjon på østsiden	3663	0,13	0,6
Total mengde KOF taksebane midt/nord			
Avrenning til Langvatn (OV-nett)	1501		
Infiltrasjon på vestsiden	3002	0,09	0,6
Infiltrasjon på østsiden	3002	0,09	0,2
Total mengde KOF taksebane midt/sør			
Vestside			
Avrenning mot myr/Lavangsvatn (OV-nett)	433		
Infiltrasjon	1732	0,06	0,6
Østside			
Nordlig del			
Avrenning mot myr/Lavangsvatn (OV-nett)	217		
Infiltrasjon	866	0,05	0,6
Sørlig del			
Infiltrasjon	1083	0,09	0,6
Total mengde KOF taksebane sør			
Infiltrasjon vestsiden	1662	0,08	
Infiltrasjon østsiden	1662	0,08	
Total mengde KOF rullebane nord			
Infiltrasjon vestside	7175	0,26	0,6
Infiltrasjon østside	7175	0,26	0,6
Total mengde KOF rullebane midt/nord			
Nordlig del			
Infiltrasjon vestside	2117	0,13	0,6
Infiltrasjon østside	2117	0,13	0,6
Sørlig del			
Avrenning mot myr/Lavangsvatn (OV-nett)	847		
Infiltrasjon vestside	1694	0,11	0,6
Infiltrasjon østside	1694	0,11	0,6
Total mengde KOF rullebane midt/sør			
Infiltrasjon vestside	3864	0,13	0,6
Infiltrasjon østside	3864	0,13	0,6
Total mengde KOF rullebane sør			
Avrenning mot bekk/Kjerkvatn (OV-nett)	1868		
Infiltrasjon vestside	3737	0,16	0,6
Infiltrasjon østside	3737	0,16	0,6
Total mengde KOF til Langvatn (fire utslippspunkter)	10683		
Total mengde KOF til myr/Lavangsvatn	1497		
Total mangde KOF til bekk/Kjerkvatn	1868		

B.2 Beregninger fra Forsvarsbyggs beregninger, tilleggsbelastning ved Forsvarets etablering.

Beregning av avrenning av KOF fra formiat og glykol til resipienter via overvannsnett og infiltrering etter Forsvarets etablering. Beregninger fra Saunes et al. (2019) og er basert på beregninger i Helland (2018).

B.2.1 Aviform

	Fordeling ut fra totalt formiatbruk (%)	Total KOF (dagens tillatelse)	Total KOF (økt aktivitet Forsvaret)	Areal (m ²)	Ant. Kg KOF/år til resipient (via OV-nett)	Dagens situasjonOrganisk belastning, infiltrasjon (Kg KOF/m ² *år)	Forsvarets bidrag (kg KOF/m ² *år)	Nedbrytningskapasitet (kg KOF/m ²)
Avrenningsområder								
TOTAL mengde KOF til taksebane og QRA	13	4550	325					
Total mengde KOF til taksebane nord + TPA	2,5	875	63					
Overvannsnett utløp Langvatn		131	9		131			
Infiltrasjon vestsiden		372	27	28000		0,0133	0,0009	0,6
Infiltrasjon østsiden		372	27	28000		0,0133	0,0009	0,2
Total mengde KOF til taksebane midt/nord	3,01	1054	75					
Overvannsnett, utløp Langvatn		211	15		211			
Infiltrasjon vestsiden		421	30	33600		0,0125	0,0009	0,6
Infiltrasjon østsiden		421	30	33600		0,0125	0,0009	0,2
Total mengde KOF til taksebane sør	1,95	683	49					
Infiltrasjon vestsiden		341,25	24,375	21800		0,016	0,0011	0,6
Infiltrasjon østsiden		341,25	24,375	21800		0,016	0,0011	0,6
Total mengde KOF til taksebane midt/sør + QRA	5,54	1939	139					
<i>Taksebane midt/sør, vestsida:</i>		970	69					
OV-nett, utløp mot myr/Lavangsvatn (to utløp)		193,9	13,85					
Infiltrasjon		775,6	55,4	28400		0,027	0,0020	0,6
<i>Taksebane midt/sør, østsida:</i>		970	69					
Nordlig del		485	35					
OV-nett, utløp mot myr/Lavangsvatn		97	7					
Infiltrasjon		387,8	27,7	16000		0,024	0,0017	0,6
Sørliq del		485	35					
Infiltrasjon		485	35	27000		0,018	0,0013	0,6
TOTAL mengde KOF til rullebane	82	28700	2050					
Total mengde KOF til rullebane nord	24	6996	500					
Infiltrasjon (vestsiden)		3498	250	27400		0,128	0,0091	0,6
Infiltrasjon (østsiden)		3498	250	27400		0,128	0,0091	0,6
Total mengde KOF rullebane midt/nord	28	8171	584					
Nordlig del:		4085	292					
Infiltrasjon vestsiden		2043	146	16000		0,128	0,0091	0,6
Infiltrasjon østsiden		2043	146	16000		0,128	0,0091	0,6
Sørliq del		4085	292					
OV-nett, utløp mot myr/Lavangsvatn		817	58					
Infiltrasjon vestsiden		1634	117	16000		0,102	0,0073	0,6
Infiltrasjon østsiden		1634	117	16000		0,102	0,0073	0,6
Total mengde KOF til rullebane midt/sør	26	7456	533					
Infiltrasjon vestsiden		3728	266	29200		0,128	0,0091	0,6
Infiltrasjon østsiden		3728	266	29200		0,128	0,0091	0,6
Total mengde KOF til rullebane sør	21	6027	431					
OV-nett, utløp bekk/Kjerkvatn		1205	86					
Infiltrasjon vestsiden		2411	172	23800		0,101	0,0072	0,6
Infiltrasjon østsiden		2411	172	23800		0,101	0,0072	0,6
Totalt flyoppstilling og trafikkarealer, inkl. C5	5	1750	125					
Flyoppstilling	25	438	31					
Til kommunalt OV-nett		219	16					
Til kulvert og videre til Langvatn		219	16					
Kontroll, totalt forbruk								
Formiat som kjøres til snødeponi	4	1400	100					
Til kommunalt OV-nett	90	1260	90					
Formiat som havner utenfor snødeponi, infiltrasjon	5	70	5	5200		0,013	0,0010	0,6
Formiat som havner utenfor snødeponi, til kulvert og videre til Langvatn	5	70	5		70			

B.2.2 Glykol

(Saunes et al., 2019)

	Fordeling, ut fra glykolforbruk (%)	Total KOF iht. tillatelse	Økt bidrag KOF, Forsvaret	Areal (m ²)	Ant. Kg KOF/år til resipient (utslippsledning/OV-nett)	belastning infiltrasjon (kg KOF/m ² *å)	Nedbrytning skapasitet (kg KOF/m ² *år)
Avrenningsområder							
Avvisingsplattform:	75	152100	18959				
Oppsamling på plattform/snødeponi	90	136890	17063		153953		
Glykol som havner utenfor plattform/snødeponi (10%)	10	15210	1896				
Infiltrasjon		7605	948	5200		1,46	0,2
OV-nett til Langvatn		7605	948		8553		
Taksebane nord og midt/nord (70% av avgangene), andel av total glykolforbruk:							
	7	14196	1770				
Total mengde KOF til taksebane nord		7743	965				
Overvannsnett utløp Langvatn	15	1161	145		1306		
Infiltrasjon vestsiden	43	3329	415	28000		0,12	0,6
Infiltrasjon østsiden	43	3329	415	28000		0,12	0,6
Total mengde KOF til taksebane midt/nord		6453	804				
Overvannsnett, utløp Langvatn	20	1291	161		1451		
Infiltrasjon vestsiden	40	2581	322	33600		0,08	0,6
Infiltrasjon østsiden	40	2581	322	33600		0,08	0,2
Rullebane nord (70% av avgangene):							
	3,5	7098	885				
Total mengde KOF til rullebane nord		7098	885				
Infiltrasjon (vestsiden)	50	3549	442	27400		0,13	0,6
Infiltrasjon (østsiden)	50	3549	442	27400		0,13	0,6
Taksebane sør og midt/sør (30% av avgangene):							
	3	6084	758				
Total mengde KOF til taksebane sør		2642	329				
Infiltrasjon vestsiden	50	1321	165	21800		0,06	0,6
Infiltrasjon østsiden	50	1321	165	21800		0,06	0,6
Total mengde KOF til taksebane midt/sør		3442	429				
Taksebane midt/sør, vestside:		1721	215				
OV-nett, utløp mot myr/Lavangsvatn (to utløp)	20	344	43				
Infiltrasjon	80	1377	172	28400		0,05	0,6
Taksebane midt/sør, østside:		1721	215				
Nordlig del		860	107				
OV-nett, utløp mot myr/Lavangsvatn	20	172	21		194		
Infiltrasjon	80	688	86	16000		0,04	0,6
Sørlig del		860	107				
Infiltrasjon		860	107	16000		0,05	0,6
Rullebane sør (30% av avgangene):							
	1,5						
Total mengde KOF til rullebane sør		3042	379				
OV-nett, utløp bekk/Kjerkvatn	20	608,4	76				
Infiltrasjon vestsiden	50	1216,8	152	23800		0,05	0,6
Infiltrasjon østsiden	50	1216,8	152	23800		0,05	0,6
Diffus spredning til luft	10	20280	2528				

B.2.3 Total

	Ant. Kg KOF/år, iht. tillatelsen	Ant. Kg KOF/år, Forsvarets aktivitet	Organisk belastning, infiltrasjon iht. dagens tillatelse (Kg KOF/m ² *år)	Organisk belastning, infiltrasjon Forsvarets aktivitet (Kg KOF/m ² *år)	Totalbelastning, infiltrasjon (kg KOF/m ² *år)	Nedbrytningskapasitet (kg KOF/m ²)
Avrenningsområder						
Avisingsplattform, flyoppstilling og snødeponi						
Avrenning til kommunalt nett	136890	17063				
Avrenning til Langvatn via kulvert (OV-nett)	7675	953				
Infiltrasjon ved snødeponi	7675	953	1,48	0,183	1,659	0,6
Total mengde KOF taksebane nord						
Avrenning til Langvatn (OV-nett)	1293	154				
Infiltrasjon på vestsiden	3701	442	0,135	0,016	0,151	0,6
Infiltrasjon på østsiden	3701	442	0,135	0,016	0,151	0,6
Total mengde KOF taksebane midt/nord						
Avrenning til Langvatn (OV-nett)	1501	176				
Infiltrasjon på vestsiden	3003	352	0,089	0,010	0,100	0,6
Infiltrasjon på østsiden	3003	352	0,089	0,010	0,100	0,2
Total mengde KOF taksebane midt/sør + QRA						
Vestside						
Avrenning mot myr/Lavangsvatn (OV-nett)	538	57				
Infiltrasjon	2152	227	0,076	0,008	0,084	0,6
Østside						
<i>Nordlig del</i>						
Avrenning mot myr/Lavangsvatn (OV-nett)	269	28				
Infiltrasjon	1076	114	0,067	0,007	0,074	0,6
<i>Sørlig del</i>						
Infiltrasjon	1345	142	0,050	0,005	0,055	0,6
Total mengde KOF taksebane sør						
Infiltrasjon vestsiden	1662	189	0,076	0,009	0,085	0,6
Infiltrasjon østsiden	1662	189	0,076	0,009	0,085	0,6
Total mengde KOF rullebane nord						
Infiltrasjon vestside	7047	692	0,252	0,025	0,276	0,6
Infiltrasjon østside	7047	692	0,252	0,025	0,276	0,6
Total mengde KOF rullebane midt/nord						
<i>Nordlig del</i>						
Infiltrasjon vestside	2043	146	0,128	0,009	0,137	0,6
Infiltrasjon østside	2043	146	0,128	0,009	0,137	0,6
<i>Sørlig del</i>						
Avrenning mot myr/Lavangsvatn (OV-nett)	817	58				
Infiltrasjon vestside	1634	117	0,102	0,007	0,109	0,6
Infiltrasjon østside	1634	117	0,102	0,007	0,109	0,6
Total mengde KOF rullebane midt/sør						
Infiltrasjon vestside	3728	266	0,128	0,009	0,137	0,6
Infiltrasjon østside	3728	266	0,128	0,009	0,137	0,6
Total mengde KOF rullebane sør						
Avrenning mot bekk/Kjerkvatn (OV-nett)	1814	162				
Infiltrasjon vestside	3628	324	0,152	0,014	0,166	0,6
Infiltrasjon østside	3628	324	0,152	0,014	0,166	0,6
Til resipient via OV						
Total mengde KOF til Langvatn (fire utslippspunkter)	10469	1283			Kg KOF 11752	
Total mengde KOF til myr/Lavangsvatn	1624	143			1768	
Total mengde KOF til bekk/Kjerkvatn	1814	162			1976	

B.3 Nye beregninger Avinor v/Helland, Brev

From: [Helland, Ingvild](#)
To: [Johnsen, Ida Vaa](#); [Aaneby, Jorunn](#)
Cc: [Stave, Jørn](#); [Nevland, Stig Jone](#); [Joranger, Tore](#); [Mørch, Torgeir](#); [Ronny Sandaker \(rsandaker@gmail.com\)](mailto:rsandaker@gmail.com)
Subject: Evenes: Estimert fremtidig kjemikalieforbruk
Date: mandag 23. november 2020 15:16:31
Attachments: [image002.png](#)

Hei Ida og Jorunn,
Som nevnt i vår tilbakemelding til møterefertat fra møtet i oktober som Stig Jone sendte på torsdag, så skulle vi komme med et innspill på estimert fremtidig kjemikaliebruk på fredag. Beklager at jeg glemte å sende det over da, men her kommer det.

Tabellen under ble presentert for Forsvarsbygg og Luftforsvaret på fredag og viser antatt fremtidig forbruk av baneavisingkjemikalier i KOF.

Her har vi tatt utgangspunkt i arbeidshypotesen (1. Mekanisk fjerning, 2. Bruk av kjemikalier hvis tilstrekkelig friksjon ikke kan oppnås kun ved mekanisk fjerning, 3. Sand, kunne unntaksvis og etter avtale med fartøysjef), dagens kjemikalieforbruk pr. m², og hvordan vi tror dette vil endre seg basert på arbeidshypotesen (etter innspill fra bl.a. plasstjensten). Tallene er kun basert på bruk av flytende Aviform. Vi tror at andelen granulater vil øke med ca 1/3 (og forbruket i et slikt tilfeller er vist i parentes under sum). Etter en gjennomgang av alle eksisterende arealer + alle arealer som kommer i tillegg ved forsvarrets re-etablering har vi kommet frem til følgende tall i kg KOF pr. sesong (totalt 72 565 kg KOF pr sesong). Ved å erstatte dette med betain/betafrost, vil tallene bli totalt 267 932 kg KOF (basert på at Aviform L50 har en KOF på 0,13 kg KOF/l og Betafrost 0,48 kg KOF/l, og at forbruket som er nødvendig for produktene er 1:1).

Som du ser viser estimatet en betydelig økning fra dagens tillatelse på forbruk tilsvarende 35000 kg KOF/Sesong.

Hilsen Ingvild

Område	Forbruk (kg KOF)
Rullebane	37 200
TWY-Y	10 500
Apron og GA	9 800
Taksebaner sheltere	12 800
TAP-S	540
TAP-N	1 725
Midlertidig MPA	0
Permanent MPA	0
C5-plattformen	0
Sum	72 565 (ikke tatt hensyn til økt andel granulat, bruk av granulat vil gi et forbruk på 91 171 kg KOF)

About FFI

The Norwegian Defence Research Establishment (FFI) was founded 11th of April 1946. It is organised as an administrative agency subordinate to the Ministry of Defence.

FFI's MISSION

FFI is the prime institution responsible for defence related research in Norway. Its principal mission is to carry out research and development to meet the requirements of the Armed Forces. FFI has the role of chief adviser to the political and military leadership. In particular, the institute shall focus on aspects of the development in science and technology that can influence our security policy or defence planning.

FFI's VISION

FFI turns knowledge and ideas into an efficient defence.

FFI's CHARACTERISTICS

Creative, daring, broad-minded and responsible.

Om FFI

Forsvarets forskningsinstitutt ble etablert 11. april 1946. Instituttet er organisert som et forvaltningsorgan med særskilte fullmakter underlagt Forsvarsdepartementet.

FFIs FORMÅL

Forsvarets forskningsinstitutt er Forsvarets sentrale forskningsinstitusjon og har som formål å drive forskning og utvikling for Forsvarets behov. Videre er FFI rådgiver overfor Forsvarets strategiske ledelse. Spesielt skal instituttet følge opp trekk ved vitenskapelig og militærteknisk utvikling som kan påvirke forutsetningene for sikkerhetspolitikken eller forsvarsplanleggingen.

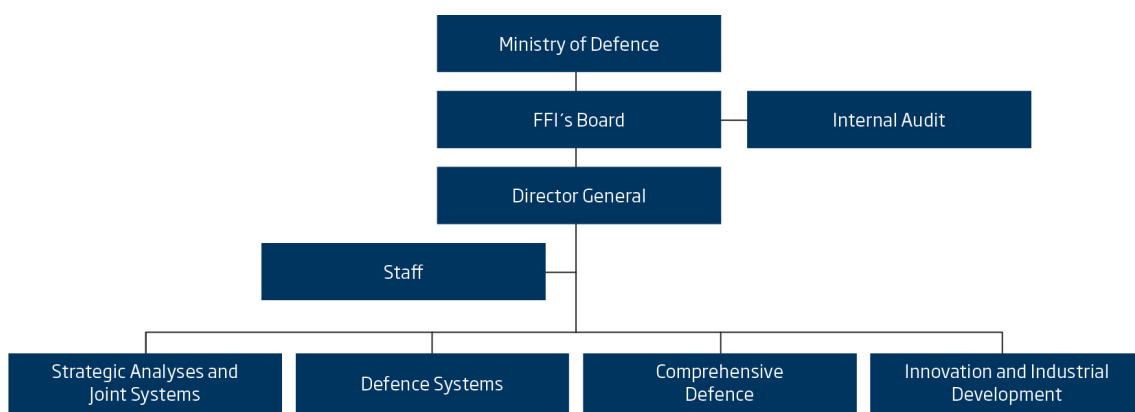
FFIs VISJON

FFI gjør kunnskap og ideer til et effektivt forsvar.

FFIs VERDIER

Skapende, drivende, vidsynt og ansvarlig.

FFI's organisation



Forsvarets forskningsinstitutt
Postboks 25
2027 Kjeller

Besøksadresse:
Instituttveien 20
2007 Kjeller

Telefon: 63 80 70 00
Telefaks: 63 80 71 15
Epost: ffi@ffi.no

Norwegian Defence Research Establishment (FFI)
P.O. Box 25
NO-2027 Kjeller

Office address:
Instituttveien 20
N-2007 Kjeller

Telephone: +47 63 80 70 00
Telefax: +47 63 80 71 15
Email: ffi@ffi.no