



UiT Norges arktiske universitet

Fakultet for ingeniørvitenskap og teknologi

## **Permanente og mobile løsninger for tining av stikkrenner, grøfter og bekkeløp**

Jon-Inge Fæster

Masteroppgave i Integrert Bygningsteknologi BYG-3900 Mai 2022







## OPPDRAGSBESKRIVELSE

OPPGAENS TITTEL

**«Permanente og mobile løsninger for tining av stikkrenner, grøfter og bekkeløp»**

Postadresse: UiT Norges arktiske universitet  
Pb. 6050 Langnes  
9037 Tromsø

UTFØRENDE

Telefon: 77 64 40 00

Jon-Inge Fæster

e-post: [postmottak@uit.no](mailto:postmottak@uit.no)

web-side: [www.uit.no](http://www.uit.no)

OPPDRAGSGIVER

Bane NOR SF

### KOMPETANSE

Student innen Integrert bygningsteknologi ved UiT

### INVOLVERTE

Knut Karlsen – Prosjektleder og veileder, Bane NOR  
Knut Erik Nikolaisen – Banesjef Ofotbanen, Bane NOR  
Rune Brandfjel – Teknisk sjef, Bane NOR  
Per-Arne Sundsbø – Professor UiT, veileder

### SAMMENDRAG OPPSUMMERING

Oppgaven handler om de mekanismene som gir utfordringer knyttet til stikkrenner, linjegrøfter og bekkeløp. Videre tar oppgaven for seg de løsninger som kan være anvendbare i en byggefase, slik at det er mulig å gjøre forebyggende tiltak tidlig og man unngår de store utfordringene.

Oppgaven tar for seg noe teori om de mekanismene som er bestemt av de fysiske lover og regler, samt at det sees på de klimatiske faktorer som er medvirkende årsak til at vannet fryser og gir utfordringer for drift av infrastruktur.

Kunnskapen som er presentert i oppgaven er i hovedsak basert på litteraturstudier for å forstå hva som medfører utfordringa, slik at det har vært mulig å komme med løsninger basert på litteratur og de erfaringer som man har fra befaringer og arbeid som byggeleder på Ofotbanen.

### STIKKORD

- ❖ Stikkrenner
- ❖ Grøfter
- ❖ Bekkeløp
- ❖ Tining
- ❖ Arktisk klima



## MASTEROPPGAVE

For

**Jon-Inge Fæster (530627)**

Vår 2022

## Permanente og mobile løsninger for tining av stikkrenner og bekkeløp

(Permanent and mobile solutions for thawing gutters and brooks)

This document is the formal assignment and task description for a master's thesis project at University of Tromsø (UiT). The master's thesis project may be given in collaborating with industry partner or external research institute.

Changes may be done with respect to the content and extent of the project. The given title of this master thesis project is to be regarded as a working title and may be slightly change during this project. However, such changes should be discussed with all parties and must be approved by the main supervisor at the UiT.

### Bakgrunn

Bane NORs samfunnsoppdrag er å planlegge, bygge, drifte og vedlikeholde det nasjonale jernbanenettet, styre togtrafikken og forvalte og utvikle jernbanens eiendom. Våre forpliktelser og rettigheter ovenfor staten ved utvikling av det nasjonale jernbanenettet fastsettes gjennom avtaler med jernbanedirektoratet.

I arbeid med nasjonal transportplan er det i hovedsak Jernbanedirektoratet som har gittsektorens svar på oppgavene gitt av Samferdselsdepartementet. Bane NOR har bistått med faglige innspill på bestilling fra Jernbanedirektoratet. Fra Januar 2020 ble Bane NOR en likeverdig partner med direktoratet i arbeid med NTP 2022-2033. Svarene som er gitt på oppdrag 9 om økonomiske prioriteringer var et felles svar fra Jernbanedirektoratet og Bane NOR. Svarene på oppdragene utgjør virksomhetens faglige innspill til stortingsmeldingen om Nasjonal transportplan 2022-2033.

For prioriteringer av midler til drift, vedlikehold, pågående og nye investeringsprosjekter har Jernbanedirektoratet og Bane NOR blitt bedt om å prioritere innenfor to ulike økonomiske rammer. I første seksårsperiode er vi bedt om å foreslå prioriteringer på prosjekt- og effektpakkenivå. Effektpakkene tar utgangspunkt i hva slags effekt eller forbedring som er mest etterspurt (for eksempel flere avganger eller lengre godstog), mens arbeidet med hva som er de rette tiltakene for å oppnå ønskede effekter (for eksempel nytt dobbeltspor eller et forlenget krysningsspor) følger etter. For andre seksårsperiode er det bedt om forslag til prioriterte effekter i de ulike transportkorridorer.



Bane NOR har hatt utfordringer knyttet til å holde stikkrenner og bekkeløp åpen i vårsmeltinga. Den største utfordringen er at det er like mye behov på alle plassene samtidig for å få ting og sikre en fri passasje i vannveien. Per i dag har Bane NOR nyttet løsninger som elektriske varmekabler for å holde en fri passasje. Dette er ikke anvendbart på alle banestrekninger, siden man er avhengig av elektrisitet og gjerne 50 Hz strøm for å ha slike elektriske installasjoner i drift. Kjørestrømmen på jernbane ligger på andre frekvenser herunder 16 2/3 Hz. Noe som gjør at vanlig hyllevare for elektromateriell på 50 Hz ikke like enkelt kan nyttes mot denne kilden.

Det har tidligere vært utført prosjekt på løsninger for tining av stikkrenner og bekkeløpprosjekt for Ofotbanen, men løsningene har vært komplisert og vanskelig å drifte. For disse løsningene var man avhengig av å benytte arbeidstog og containere for å forsyne anlegget med varmekilde og drivstoff.

Oppgaven skal i hovedsak dreie seg om bruk av eksisterende teknologi og anvendelse av denne på nye måter for å gjøre den formålstjenlig til bruk knyttet til infrastruktur, hvor det er problemer med isdannelse og man ønsker å lede vannet bort i smelteperioder på en trygg og sikker måte. Herunder se på løsninger som kan øke den vertikale smeltingen rundt innløp til stikkrenner og bekkeløp.

## Hovedproblemstilling

Generell beskrivelse og analyse av mobile løsninger for tining av stikkrenner og bekkeløp, spesielt tilrettelagt eller anvendbar for infrastruktur, herunder veg og jernbane.

Det skal legges vekt på en systematisk oppbygging av oppgaven i forhold til klimatiske parametere, aktuelle løsninger og eventuell fordelaktig utforming av stikkrenner og bekkeløp i forhold til avising/anti-ising.

Opgaven skal inneholde vurdering/analyse av:

- Effekt av stikkrenners og bekkeløps utforming på frysing/tinging (kombinasjon av utforming og tiningstiltak). Eventuelt plassering av stikkrenner i forhold til sideterreng og bekkeløp.
- Forhold til smeltevann.
- Eventuelle case på Ofotbanen vinteren 2022.

## Prosjektbeskrivelse masteroppgave

- ⌘ **Innledende arbeid & forstudie** relatert til den aktuelle oppgaven, en naturlig forberedelse og klargjøring av det videre arbeid i prosjektet:
  - Generell analyse av oppgavens problemstillinger og problemområder.
  - Undersøkelse/analyse av aktuelle lover, regler, kravspesifikasjoner, retningslinjer, praktiske erfaringer og anbefalinger. Miljø og vernebestemmelser må også inkluderes.
  - State-of-the-art undersøkelse med hensyn til tekniske løsninger for tining av stikkrenner og bekkeløp.
  - Klargjøring av behov og føringer fra oppdragsgiver. Klarere definisjon i forhold til begrensninger og omfang av oppgaven. Behov som drift vil ha klassifisert (systemer, målinger og sensordata)
  - Klargjøring/beskrivelse av de arbeidsoppgaver som må gjennomføres for løsning av oppgaven.
  - Revidert prosjektbeskrivelse og tidsplan for framdriften av prosjektet.
- ⌘ **Vurdering, analyse og utprøving av tineløsninger**
  - Kartlegge, vurdere og systematisere aktuelle klimatiske parametere og faktorer.
  - Kartlegge, vurdere og systematisere aktuelle tekniske løsninger.
  - Eksisterende alternativ teknologi som kan nyttes
    - o Mobile løsninger (strømtilgang vs ikke strømtilgang)
    - o Smartstyring mot klimadata (værstasjoner).
  - Vedlikehold, økonomi og virkningsgrad, driftsvennlig (bruk må ikke kreve omfattende kompetanse)
  - Fremtidsrettede energikilder
    - o Strøm
    - o Hydrogen / Brenselcelle – eventuelt ammoniakk
- ⌘ Forslag til eventuelt fremtidig/gjenstående arbeid, eventuelt kort beskrivelse av videre FoU-prosjekt med Ofotbanen som laboratorium.

## Begrensning av oppgaven/prosjekt

En videre beskrivelse av begrensninger i oppgaven vil bli utarbeidet i det innledende arbeid & forstudie.

## Samarbeidspartner

Oppgaven gjennomføres i samarbeid med, og for Bane NOR - Prosjektenheten, Infrastruktur Område Nord.

Oppdragsgiver skal fremskaffe nødvendige opplysninger og grunnlag for å løse oppgaven (tegninger, spesifikasjoner etc.).

## Klassifisering av oppgaven

Oppgaven skal i utgangspunktet klassifiseres som *åpen* og i henhold til UIT's retningslinjer. Endringer med hensyn til klassifisering, publisering eller deling av rapporten kan eventuelt bli gitt for å beskytte oppdragsgivers rettigheter/eiendom.

## Innledende arbeid & forstudie

Innen 2 uker etter at oppgaveteksten er utlevert skal resultatene fra det innledende arbeid og litteraturstudium være ferdigstilt og diskuteres med veilederne. Arbeidsplan og planlagte arbeidsoppgaver skal godkjennes av veilederne før kandidaten fortsetter med resten av hovedoppgaven. Resultater fra det innledende arbeid inkluderes naturlig inn i innledningen og andre kapitler i masteroppgaven og det trenger dermed ikke være utformet en egen forstudierapport.

## Generelle krav til rapportering/besvarelse

Besvarelsen redigeres som en forskning/utviklingsrapport med et sammendrag både på norsk og engelsk, konklusjon, litteraturliste, referanser, innholdsfortegnelse etc. Påstander skal begrunnes ved bevis, referanser eller logisk argumentasjonsrekke. Måleresultatene vedlegges i både skriftlig og digitalt format.

Ved utarbeidelsen av teksten skal kandidaten legge vekt på å gjøre teksten oversiktlig, velskrevet og godt dokumentert. Oppgaveteksten skal være en del av besvarelsen (plasseres foran Forord).

Materiell som er utviklet i forbindelse med oppgaven, så som programvare/kildekoder eller fysisk utstyr, er å betrakte som en del av besvarelsen. Dokumentasjon for korrekt bruk av dette skal så langt som mulig også vedlegges besvarelsen.

### Generelle retningslinjer

Dersom oppgaven utføres i samarbeid med en ekstern aktør, skal kandidaten rette seg etter de retningslinjer som gjelder hos denne, samt etter eventuelle andre pålegg fra ledelsen i den aktuelle bedriften.

Kandidaten har ikke anledning til å foreta inngrep i den eksterne aktørs informasjonssystemer, produksjonsutstyr o.l. Dersom dette skulle være aktuelt i forbindelse med gjennomføring av oppgaven, skal spesiell tillatelse innhentes fra ledelsen.

Eventuelle reiseutgifter, kopierings- og telefonutgifter må bæres av studenten selv med mindre andre avtaler foreligger.

Hvis kandidaten, mens arbeidet med oppgaven pågår, støter på vanskeligheter som ikke var forutsatt ved oppgavens utforming, og som eventuelt vil kunne kreve endringer i eller utelatelse av enkelte spørsmål fra oppgaven, skal dette umiddelbart tas opp med veileder på UIT.

Besvarelsen leveres digitalt i WISEflow.

Utleveringsdato (starttidspunkt):	10.01.2022
Innleveringsdato (deadline):	16.05.2022, kl 1200

Kandidat	Jon-Inge Fæster (530627) Telefon: (+47) 957 94 645 e-mail: jfa022@post.uit.no
Med-veileder/kontaktperson bedrift	Knut Karlsen Prosjektleder teknisk avdeling Telefon: (+47) 916 75 790 e-mail: knut.karlsen@banenor.no
Faglig ansvarlig/veileder ved UIT	Professor Per-Arne Sundsbø, Dr. Ing. Telefon: (+47) 769 66257 / 92 46 34 30 e-mail: psu002@uit.no

Narvik, 07.01.2022



Per-Arne Sundsbø  
Faglig ansvarlig/veileder

# Forord

Denne masteroppgaven er skrevet ved Institutt bygg, energi og materialteknologi på Norges Arktiske Universitet, UiT. Oppgaven skal ta for seg de problemer og utfordringer som oppstår langs veg, jernbane og annen infrastruktur. Oppgaven er skrevet i samarbeid med Bane NOR, som også har vært min arbeidsgiver de siste fire årene som byggeleder, samtidig som man har jobbet frem mot å ta sivilingeniørutdanningen ved UiT ved side av fulltidsjobb. I starten av studiet var man usikker på hva som var mulig å skrive om. I løpet av studiet og jobben så man viktigheten av å ha kontroll på vind og vann, noe som fagene knyttet til kaldt klima, varme- og strømningsslære gav forståelse og interesse for.

Det var samtaler med professor Per-Arne Sundsbø i forbindelse med utforming av oppgave og det var ønskelig å gjøre snø driftsanalyser i masteroppgaven, siden dette har vært et interessant tema tidligere under prosjektet i kaldt klima, hvor man kombinerte arbeidskravet i strømningsslære og kaldt klima til noe mer. Dette har vist seg å være nyttig i sammenheng med arbeid som byggeleder for snøskjermer på Ofotbanen. Fagfeltet som var tiltenkt i begynnelsen viste seg å være et noe mer snevert fagfelt enn hva som først var antatt i valget av oppgave.

Bane NOR har utfordringer knyttet til jernbanen, både med snødrift, frosne bekkeløp og vann som må ledes vekk fra infrastrukturen. Tematikken i masteroppgaven har vært noe oppdragsgiver har vært opptatt av. Det har vært mye engasjement rundt dette i Bane NOR, for å finne gode og spesifikke løsninger, både på utforming av linjegrøfter, stikkrenner og bekkeløp. Men samtidig hvordan man kan benytte eksisterende teknologi til oppvarming av frosne linjegrøfter og stikkrenner, hvor dette kombineres med dagens løsninger innen «Internet of Things» (IoT). Dette gjør at man kan planlegge og etablere permanente eller mobile løsninger for drift og vedlikeholds personellet, og man får løsningene til å bli en del av konseptet «Railroad 4.0» som baserer seg på en høyere grad av IoT og smart vedlikehold. Dette var et av de store fokusområdene på International Heavy Haul konferansen i Narvik i 2019.

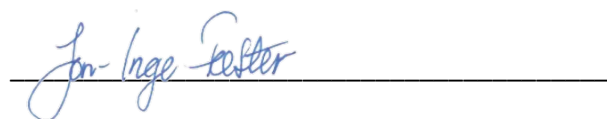
Det som i hovedsak er gjort i oppgaven har vært å fokusere på hva er egentlig problemet som gjør at utfordringene med vann som blir til is og lager problemer for infrastrukturen oppstår. Videre ser man på hvordan man kan løse dette med planlegging før byggefase og effektive tiltak som kan brukes i driftsfasen. Oppgaven har vært et litteraturstudium av andre tilsvarende oppgaver og tekniske rapporter knyttet til metoder og løsninger. Problemet med gjenfrysing av frosne linjegrøfter og stikkrenner gjelder også for veinett som er nokså likt oppbygd som jernbane.

Det rettes også en stor takk til mine faglige veiledere i Bane NOR, Knut Karlsen og Rune Brandfjell som har gjort det mulig for meg å få en oppgave som kan brukes videre i forebyggende arbeid på Ofotbanen og Nordlandsbanen. Banesjef på Ofotbane har bistått med erfaringer og bilder som kunne nyttes og retter med dette en takk til Knut-Erik Nikolaisen.

Min veileder ved UiT, professor Per-Arne Sundsbø, har vært imøtekommende og gitt meg en god start på oppgaven, han skal ha en stor takk for god veiledning underveis.

Narvik

12.05.2022



Jon-Inge Fæster

Forsidebilde: Illustrasjon laget av foto fra Rombakksveien ved utprøving av IGS-Tinesystemer.  
Illustrasjon: Jon-Inge Fæster



## Sammendrag – oppsummering

Åpne linjegrøfter, stikkrenner og bekkeløp er essensielt for å ha et sikkert og velfungerende veg- og jernbanenett. Det vises at iskjøving er et av hovedproblemene som gjør at vannet fryser til is i nærheten til infrastrukturen og man får driftsforstyrrelser i form at is som enten har falt ned på vegbanen, eller fryser ut i skjæringene og gir reduksjon av profilet som jernbanens materiell krever for å komme frem. Denne oppgaven ser på de problemer, årsaker og nødvendige korrektive tiltak mot at linjegrøfter, stikkrenner og bekkeløp skal fryse igjen langs veg- og jernbanenettet i Norge. Hensikten er å finne gode tekniske løsninger som kan videreutvikles og bli et godt verktøy for drift av veg- og jernbanenettet.

Det meste av forståelse og kunnskap for utfordringene er innhentet gjennom studie av litteratur og andre oppgaver som har hatt tilsvarende tematikk. Statens Vegvesen og Bane NOR sine håndbøker og tekniske regelverk har vært sentrale i studiet. Det har også vært gjennomført ei befarings langs Ofotbanen som har gitt noen praktiske erfaringer. Befaringene var gjennomført for å se på noen problemområder som er under prosjektering av Bane NOR og skal til utførelse i løpet av sommeren 2022.

Masteroppgaven går overfladisk gjennom det som har vist seg å være den største årsaken til utfordringene, de klimatiske påvirkninger som nedbør vind og temperatur gir. Disse faktorene er med på å skape et naturfenomen som også er beskrevet i overfladisk, iskjøving. Siden iskjøvingen er det som gjør at linjegrøfter, stikkrenner og bekkeløp fryser igjen.

Oppgaven går litt mer inn på hvilke tiltak man kan gjøre for å redusere effekten av iskjøving, siden det finnes tiltak som kan være mer effektive enn å tine is. Her kan det være mulig å gjøre noe med grøfteutforming, sikre at det er stikkrenner på kritiske punkter hvor det vil få store konsekvenser om det oppstår fyllingsbrudd. Men det som er vesentlig for å sikre at vannet renner der man ønsker er å påse at det er tilstrekkelig drenering av sideterrenget og man har kontroll på overflatevann som stikker seg ned i nærheten til infrastrukturen. For å gjøre korrekt tiltak, så må dette baseres på hvor det konkrete problemområdet er og hva som er den utslagsgivende årsaken. Da kan man enten direkte fjerne problemet, eller man kan gjøre rett tiltak som gir størst mulig effekt.

Oppgaven har som hensikt å vise noen løsninger som kan være et supplement for drift av veg- og jernbanenettet der man ikke kan utføre de tiltakene som er ønskelig for å ha kontroll på overflatevann, vann i linjegrøfter og stikkrenner som fryser. Her tar oppgaven for seg ulike systemer som kan brukes til å tine opp og sikre at frosten ikke får grepet om vannet og bidrar til iskjøving. Dette kan man gjøre ved at det benyttes gammel og teknologi som er driftssikker, men det kombineres videre med nyere teknologi som Internet of Things (IoT) slik at systemene kan settes ut på kritiske punkter og driftes fra en driftssentral eller at driftspersonell kan overvåke dette som en del av jobben sin.

På bakgrunn av alt som man har sett over og hentet frem i løpet av oppgaven, har det også kommet opp en ide til en hybridløsning som er tiltenkt bygget på Ofotbanen i løpet av vedlikeholdssesongen 2022, for vider utprøving under vinterdrift, slik at arbeidet blir prøvd ut i praksis for å se om løsningen gir ønsket effekt.

Det gis innspill fra oppgaven hvor det er sett på som hensiktsmessig å dra i gang et FoU-prosjekt, hvor man benytter Ofotbanen eller Nordlandsbanen som laboratorium. Hvor det prosjekteres og kjøres fullskala forsøk på de mest utsatte områdene, med ulike systemer.

Det som viser seg å være gjennomgående ved studering av litteratur til de ulike systemene er at væskebårne systemer er de som gir best virkningsgrad ved tining av is i tilknytning til veg- og jernbane. Dette er også de systemene som hittil er mest mobile også. De øvrige systemene er permanente og man er i stor grad avhengig av strøm på de permanente systemene, eller annen form for energibærer som vil være lite driftsvennlig med tanke på mobilitet.

## Abstract

Open line ditches, gutters and streams are essential to have a safe and well-functioning road and railway network. It is shown that icing is one of the main problems that causes the water to freeze to be close to the infrastructure and you get operational distortions in the form that are that have either fallen on the roadway or freeze out in the cuts and reduce the profile that the railway equipment requires for to arrive. This thesis looks at the problems, causes and necessary corrective measures against line ditches, culverts and streams being frozen again along the road and railway network in Norway. The purpose is to find good technical solutions that can be further developed and become a good tool for the operation of the road and railway network.

Most of the understanding and knowledge of the challenges has been obtained through the study of literature and other assignments that have had similar topics. The Norwegian Public Roads Administration and Bane NOR's handbooks and technical regulations have been central to the study. An inspection has also been carried out along the Ofoten line, which has provided some practical experience. The inspections were carried out to look at some problem areas that are being planned by Bane NOR and will be carried out during the summer of 2022.

The master's thesis goes superficially through what has proven to be the biggest cause of the challenges, the climatic influences that precipitation wind and temperature give. These factors help to create a natural phenomenon that is also described in superficial, ice shear. Since the ice shift is what causes line ditches, gutters and stream runs to freeze again.

The thesis goes a little more into what measures can be taken to reduce the effect of ice shifting, since there are measures that can be more effective than thawing ice. Here it may be possible to do something about ditch design, ensure that there are gutters at critical points where it will have major consequences if a fill fracture occurs. But what is essential to ensure that the water flows where you want it is to ensure that there is sufficient drainage of the side terrain, and you have control of surface water that juts down near the tilt infrastructure. To take the correct measures, this must be based on where the specific problem area is and what the decisive cause is. Then you can either directly remove the problem, or you can take the right measures that give the greatest possible effect.

The purpose of the thesis is to show some solutions that can be a supplement for the operation of the road and railway network where it is not possible to carry out the measures that are desirable to have control of surface water, water in line ditches and gutters that freeze. Here, the task deals with various systems that can be used to thaw and ensure that the frost does not get hold of the water and contributes to ice shifting. This can be done by using old and reliable technology, but it is further combined with newer technology such as the Internet of Things (IoT) so that the systems can be deployed at critical points and operated from operations centre or that operating personnel can monitor this as part of his job.

Based on everything that has been reviewed and retrieved during the project, an idea has also come up for a hybrid solution that is intended to be built on the Ofoten line during the maintenance season 2022, for further testing during winter operation, so that the work is tested. out in practice to see if the solution gives the desired effect.

Input is given from the assignment where it is seen as appropriate to start an R&D project, where the Ofoten line or the Nordlands line is used as a laboratory. Where full-scale experiments are designed and run in the most exposed areas, with different systems.

What turns out to be consistent when studying the literature on the various systems is that liquid-borne systems are the ones that provide the best efficiency when thawing ice in connection with roads and railways. These are also the systems that are so far most mobile as well. The other systems are permanent, and one is largely dependent on electricity on the permanent systems, or another form of energy carrier that will not be easy to operate in terms of mobility.

# Innholdsfortegnelse

Oppgavetekst .....	ii
Forord .....	vii
Sammendrag – oppsummering .....	viii
Abstract .....	ix
Vedlegg .....	xii
Figurliste .....	xiii
Ordforklaringer .....	xv
1 Innledning .....	1
1.1 Bakgrunn for valg av oppgaven .....	1
1.2 Målsetning for oppgaven .....	2
1.3 Oppbygging av oppgaven .....	2
2 Metode .....	3
2.1 Litteratursøk .....	3
2.2 Befaringer .....	4
3 Varme og fukttransport .....	5
3.1 Varmetransport .....	5
3.1.1 Varmeoverføring i fra rør .....	7
3.2 Strømning i vann og luft .....	8
4 Aktuelle klimatiske parametere .....	9
4.1 Definisjon - klima .....	9
4.2 Utbredelse og klimasoner .....	10
4.3 Påvirkning av de ulike klimaparameterer .....	11
4.3.1 Havets rolle .....	11
4.3.2 Vindstrømninger .....	12
4.3.3 Hydrologi og klima .....	13
5 Iskjøving .....	14
5.1 Definisjon .....	14
5.2 Utbredelse .....	14
5.3 Ulike typer iskjøving og årsaker .....	15
5.3.1 Iskjøving i bekker og elveløp .....	15
5.3.2 Iskjøving fra grunnvann .....	16
5.3.3 Iskjøving som oppstår fra naturlige kilder .....	17
6 Årsaker til iskjøving .....	18
6.1 Vannkilder til grøfter og bekkeløp .....	18

6.2	Årsaker til iskjøving i grøfter og bekker.....	19
6.2.1	Iskjøving på grunn av skjæringer.....	19
6.2.2	Iskjøving som følger sideterreng og inn i grøft.....	20
6.2.3	Iskjøving fra grøftebunn som følge av tette stikkrenner eller rister.....	21
6.2.4	Iskjøving i grøftebunn som følge av lav vannføring.....	21
7	Utforming av stikkrenner, grøfter og bekkeløp.....	23
7.1	Dimensjonering av stikkrenner og sårbarhet.....	23
7.2	Forebyggende og korrektive tiltak.....	24
7.3	Tilstrekkelig drenering i sideterreng.....	25
7.3.1	Terrenggrøfter.....	25
7.3.2	Sidegrøfter og linjegrøfter.....	26
7.3.3	Drøfting av løsninger knyttet til valg av grøfter.....	27
7.4	Isolering av skjæringer og etablering av isnett.....	29
7.4.1	Isolering av skjæringer og tunneller med PE-skum.....	29
7.4.2	Etablere isnett.....	31
7.4.3	Drøfting av løsning mellom isolering og etablering av isnett.....	32
8	Mobile og permanente løsninger for tining av linjegrøfter, stikkrenner og bekkeløp.....	33
8.1	Kartlegge, vurdere og systematisere aktuelle klimatiske parametere.....	33
8.1.1	Dimensjonerende nedbørsmengde.....	34
8.1.2	Avrenningskoeffisient.....	34
8.1.3	Temperatur og temperaturregistrering.....	35
8.2	Kartlegge, vurdere og systematisere aktuelle tekniske løsninger.....	37
8.2.1	Kartlegging av løsninger.....	37
8.2.2	Vurdering av løsninger.....	38
8.3	Eksisterende teknologi som kan nyttes.....	41
8.3.1	Mobile løsninger.....	41
8.3.2	Smartstyring av tinesystemer mot klimadata.....	46
8.4	Driftsvennlighet, vedlikehold, økonomi og virkningsgrad.....	47
8.4.1	Driftsvennlighet.....	47
8.4.2	Vedlikehold.....	47
8.4.3	Økonomi.....	47
8.4.4	Virkningsgrad.....	47
8.5	Fremtidsrettede energikilder.....	51
8.5.1	Strøm.....	51
8.5.2	Brenselcelle – fossilfritt.....	52

9	Videre arbeid .....	53
9.1	Hybrid løsning.....	53
10	Forslag til FoU Prosjekt .....	54
11	Konklusjon – oppsummering.....	55
	Referanseliste.....	58

## **Vedlegg**

Vedlegg 1 - Oppgavetekst

Vedlegg 2 - Rapport etter utglidning av fylling i Lønsdal - JBV / Bane NOR

Vedlegg 3 - Internforelesning om Drenering og vedlikehold Bane NOR

Vedlegg 4 - Foto av arbeid med å fjerne iskjøving på Ofofbanen

Vedlegg 5 - Original foto til forsideillustrasjon

Vedlegg 6 - Forside illustrasjon



# Figurliste

Figur 1. Utsnitt av banestrekningen Narvik Havn - Bjørnfjell Stasjon, med markeringer (Kartverket, 2022).....	4
Figur 2. Illustrasjon av varmetransport gjennom thermovindu (Glasfakta, 2022).....	6
Figur 3. Prinsippfigur fra kompendium (Sveen, Heat transfer in hydronic based systems adapted for artificial thawing of frozen ground, 2013). .....	7
Figur 4. Illustrasjon av strømning i et rør (Sintef, 2022).....	8
Figur 5. Antatt nedbørmengde for hele året 2031-2060 (Norsk KlimaserviceSenter, 2022) .....	9
Figur 6. Klimasoner i Norge (Store Norske Leksikon, 2022) .....	10
Figur 7. Havets strømninger (Store Norske Leksikon, 2022).....	11
Figur 8. Klima - Köppens klassifikasjon (Store Norske Leksikon, 2022).....	12
Figur 9. Vannføringsmønster i Norden (Store Norske Leksikon, 2022).....	13
Figur 10. Kart over Arktis og sub-Arktis (Store Norske Leksikon, 2022).....	14
Figur 11. Elv med iskjøving. Elven har blitt oppfylt og isen har spredd seg til sideterreng langs elvebredden (Liereng, 2016). .....	15
Figur 12. Slik ser det ut når det oppstår iskjøving fra grunnvann. Foto fra Meråkerbanen Foto: A.Liereng (Liereng, 2016).....	16
Figur 13. Vannets kretsløp og de hydrologiske prosesser (Thomas Øiseth, 2004) .....	18
Figur 14. Iskjøving på grunn av vann fra overliggende terreng og fra bergsprekker på Ofofbanen Foto: Knut Karlsen, JBV/Bane NOR.....	19
Figur 15. Iskjøving "oppstrøms" fra grøft normalt på veg/jernbanekroppen (Liereng, 2016).....	20
Figur 16. Lav vintervannsføring som har medført iskjøving (Carey, 1973) .....	21
Figur 17. Forskjell mellom stor og liten vanddybde og isdannelser (Carey, 1973) .....	22
Figur 18. Fyllingskollaps Lønnsdalen 2010 Foto: JBV/Bane NOR .....	23
Figur 19. Steinkiste som ikke er renovert og steinkiste som har vært renovert (Bane NOR SF, 27.04.2022) .....	24
Figur 20. Plassering av terrenggrøft (Statens Vegvesen, 2020) .....	25
Figur 21. Linjegrøft som er oppfylt av vann som kan bli til is (Bane NOR SF, 27.04.2022) .....	26
Figur 22. Avskjærende tiltak for å få vann ned i linjegrøft – skisse Jon-Inge Fæster .....	27
Figur 23. Ikke fungerende isolering av tunellprofil på Ofofbanen. Foto: Bane NOR v/Jon-Inge Fæster .....	29
Figur 24. Iskjøving som følge av at grøft og drenering ikke tar unna, og skader på PE-skum Foto: Bane NOR v/Jon-Inge Fæster .....	30
Figur 25. Steinsprangnett / isnett (Pretec AS, 2022).....	31
Figur 26. IVF-Kurve for Oslo-Blindern (Store Norske Leksikon, 2022).....	34
Figur 27. Illustrasjon av temperaturmål (Store Norske Leksikon, 2022).....	35
Figur 28. Illustrasjon instrumentering (Siemens, 2022) .....	36

Figur 29. Svillelokk / tredekke over innløp til stikkrenne med føringsrør for steamslange Foto: Bane NOR .....	37
Figur 30. Nexans varmekabelmatte (Nexans, 2015-2017) .....	38
Figur 31. Eksempel på vann til luft varmepumpe (cmcvarme, 2022) .....	39
Figur 32. Tineaggeregat for steam .....	40
Figur 33. Rippertann til gravemaskin (NASTA, 2022) .....	40
Figur 34. Mobil el-kassett fra Roth (Roth, 2022) .....	41
Figur 35. Hurtigkobling ISO hunn og han for hydraulikk (Felleskjøpet, 2022) .....	42
Figur 36. Hovedkomponenter i en mobil løsning (Sveen, Heat transfer in hydronic based systems adapted for artificial thawing of frozen ground, 2013).....	43
Figur 37. Utsnitt av brosjyre fra TESS (Statens Vegvesen, 2017) .....	44
Figur 38. Tining med steam (Statens Vegvesen, 2017) .....	45
Figur 39. Illustrasjon av nødvendige klimadata for smartstyring (yr.no, 2022) .....	46
Figur 40. Effektbegrensninger varmekabler.....	47
Figur 41. Eksempel på sløyfelegging fra gatevarme som prinsipp, permanent system (LK Systems AS, 2022).....	48
Figur 42. Prinsippet rundt oppvarming rundt et rør (Sveen, Heat transfer in hydronic based systems adapted for artificial thawing of frozen ground, 2013).....	49
Figur 43. Kvotepris på CO2-utslipp i Europa (Nettavisen v/ Magnus Baker, 2021).....	51
Figur 44. Systemskisse av beskrevet hybridløsning Skisse: Jon-inge Fæster .....	53

## Tabelliste

Tabell 1. Materialeegenskaper termisk konduktivitet (Wikipedia, 2022).....	5
Tabell 2. Vannkilder til grøfter og bekker.....	18
Tabell 3. Anslag på kapasitet for åpning av stikkrenner med ulike systemer (Statens Vegvesen, 2017) .....	50
Tabell 4. Nedre brennverdi for noen brensler brukt i motorer (Store Norske Leksikon, 2020) .....	52
Tabell 5. Anslåtte timeverk og kostnader til utstyr i FoU prosjekt.....	54
Tabell 6. Ulike løsninger med fordeler og ulemper.....	56

## Ordforklaringer

Hydrologisk regime – beskriver variasjon av karakteristiske vannstrømningsforhold i vassdrag over året (Liereng, 2016).

Permeabilitet – Evnen vann har til å strømme gjennom jordlag avhengig av sorteringsgrad og tetthet på jordlagene. Tette jordlag har dårlig permeabilitet f.eks. leire og silt. Mens morene og grus har god permeabilitet (NGU, 2021).

# 1 Innledning

## 1.1 Bakgrunn for valg av oppgaven

Denne masteroppgaven handler om ising i linjegrøfter, stikkrenner og bekkeløp langs norske veier og jernbanelinjer. Isingen som fører til at overflatevann og is bygges opp i form av iskjøving er ei utfordring man kan se langs linjegrøfter, stikkrenner og bekkeløp. Dette er med på å gi driftsutfordringer, som kan være til hinder for trafikk og kan i verste fall forårsake alvorlige ulykker hvor is kommer som nedfall fra skjæringer, enten i form av skade på infrastrukturen eller direkte treff på kjøretøy. I smelteperiodene er utfordringa størst, siden man får vann på avveie og vannet trenger seg frem på plasser man ikke ønsker i forhold til driftssikkerhet på veier og jernbaner. Det kan i verste fall føre til flom, utvasking og linjebrudd. I noen tilfeller kan det være stor risiko for driftspersonale å dra ut for å løse opp i disse driftsproblemene knyttet til igjenfrosne linjegrøfter og stikkrenner, samtidig som det er en kortvarig effekt frem til neste kuldeperiode kommer.

Vann vil alltid være ei utfordring for moderne transportsystemer, og alle inngrep som er menneskeskapt i terrenget for å føre frem infrastruktur gjør at strømninger i grunnen endres. Dette er nødvendigvis ikke hensiktsmessig for infrastrukturen og det må være et større fokus på de medførende utfordringer knyttet til vann. Veier og jernbaner er avhengige av at det er tørt i overbygninga og underbygninga, slik at man unngår teleproblematikk som vil oppstå i arktisk og sub-arktisk klima. Derfor vil man i aller høyeste grad sikre seg å ha åpne linjegrøfter, stikkrenner, kanaler og bekkeløp som kan lede vekk den vannmengden som er uønsket inn i infrastrukturen. Det kan da være hensiktsmessig å ivareta overvannet og infiltrasjonsvannet mest mulig lokalt før det når infrastrukturen.

Under vinterdrift på veier og jernbaner vil man oppleve at vannet fryser, som følge av de kalde temperaturene og de termiske egenskapene til byggematerialene som benyttes, berg og knust fjell. Dette er med på å skape utfordringer med å lede vannet vekk.

I dag har man mange fine maskiner og fint utstyr som kan være med på å løse disse utfordringene, så man skulle på sett og vis tro at det som er tema i oppgaven egentlig er et problem som er løst tidligere, men så synes ikke. Mye av eldre erfaringer knyttet til dreneringstiltak kan man se ikke er så omtalt i dag, siden dette er gammel kunnskap som våre forfedre hadde og måtte nyttiggjøre seg på en helt annen måte enn hva vi i dag gjør med maskiner og større utstyr og ikke manuelt arbeid som tidligere.

Denne masteroppgaven er skrevet i samarbeid med Bane NOR SF og var som nevnt i forordet tenkt å se på ei annen problemstilling, problemstillinga knyttet til ising og tining av linjegrøfter, stikkrenner og bekkeløp var mer relevant og det var et større behov for å løse dette. Oppgaven har i all hovedsak bestått av studier rundt litteratur og tilsvarende oppgaver som har et annet problemfokus. Det har vært gjennomført ei befaring på Ofotbanen, hvor man har sttt på noen problemområder inne i enkelte tuneller og tunellpåkugg. Masteroppgaven beskriver problemet og naturfenomenet iskjøving som er årsaken i stor grad til at det iser i linjegrøfter, stikkrenner og bekkeløp. Som da er det man ønsker å se videre på hvordan man effektivt kan gjøre tiltak som kan tine isen og gi fri åpning i vannveiene.

Masteroppgaven vil rette fokus mot først og fremst noe teori rundt kulde og klima, før man ser videre på hva som er konsekvensen og mekanismene som foregår i bakken og langs infrastruktur. Dette vil da danne grunnlaget for å finne ei løsning på problemet som er i all hovedsak frosne linjegrøfter og stikkrenner, hvordan man videre skal kunne tine dette og sikre at vannet ikke finner veien inn i veg- eller jernbanen og gir driftsmessige utfordringer.

## 1.2 Målsetning for oppgaven

Målet med masteroppgaven er forsøkt brutt ned i tre hovedmål. Det første var å samle inn korrekt og relevant litteratur til å kunne danne en grunnleggende forståelse for problemet som skal løses. Her har det vært skriftlig litteratur fra innland og utland som har gitt disse rammene, hvor det er ren teori om varme, kjøling og klima. Det andre delmålet som har vært fokusert på er å gi en økt forståelse for hva som skjer ute i felten når kaldt vann blir kjølt og renner nedover i terrenget mot infrastrukturen, og hva dette er. Det tredje delmålet i oppgaven har vært et konkret svar på en del av selve oppgaveteksten, hvordan man kan utforme stikkrenner og bekkeløp med hensyn på frysing. Det fjerde og siste delmålet med oppgaven har vært å gi konkrete mekaniske tiltak i form av hvilket utstyr som kan benyttes til å gjøre tinearbeid på vanskelige plasser, samtidig som dette kan være mobile løsninger som kan flyttes rundt etter behov.

Mens det har vært jobbet med masteroppgaven, er det gjort vurderinger underveis knyttet til avgrensning av oppgaven, siden temaet er veldig bredt og kan utredes enda mer. Det er to spørsmål som er fokusert på å besvare i oppgaven, basert på problemstillingen som er gitt:

1. Hvordan kan man utforme linjegrøfter og sideterreng slik at man unngår iskjøving? Hvilke klimatiske og geologiske parametere er viktige for å lykkes med ei slik utforming?
2. Hvilke løsninger kan settes opp som permanente og mobile løsninger til tining av linjegrøfter, stikkrenner og bekkeløp?

Dette er spørsmål som er bevist valgt ut fra problemstillinga, slik at det skal være lett å treffe konkrete tiltak som gir god effekt mot det som ønskes løst ute langs veger og jernbaner. Alle tiltak må man tilpasse de lokale rådende forhold for at man skal kunne treffe effektive tiltak. Dette krever at man besitter tilstrekkelig kunnskap om problemet som gjør at linjegrøfter, stikkrenner og bekkeløp fryser. Har man denne kunnskapen kan man da være med å fatte konkrete tiltak i en prosjekteringsfase videre for nye infrastrukturprosjekter. Og kunne utvikle løsninger for å drifte allerede eksisterende infrastruktur uten å nødvendigvis gjøre store inngrep i infrastrukturen.

## 1.3 Oppbygging av oppgaven

Oppgaven har i de innledende to kapitlene fokusert på innledning til bakgrunnen for arbeidet og hvilke vurderinger og metoder som er benyttet i skrivingen av masteroppgaven. Masteroppgaven er bygget opp etter prinsippene for en monografi og er deretter delt inn i kapitler som skal gjøre det tydelig og vise en rød tråd i tematikken som er omdiskutert.

Fra kapittel 4 har fokuset vært på de klimatiske parametere som er en del av værdata. I kapittel 5 og 6 rettes fokuset mot iskjøving som en del av problemområdet, som igjen er forårsaket av de klimatiske parametere. Og hvordan dette oppstår. Dette forklares slik at leseren skal kjenne til hva årsaken til utfordringen er.

Videre i kapittel 7 har oppgaven fokuset vært rettet til hvordan stikkrenner, grøfter og bekkeløp skal kunne utformes slik at man unngår å få så store problemer knyttet til iskjøving og ising. Deretter tar masteroppgaven for seg å se på hvilke mobile og permanente løsninger som finnes for tining i kapittel 8. Kapittel 9.1 vil gi en konklusjon og ei drøfting av oppgaven i sin helet og kapittel 9 vil gi et forslag til videre arbeid etter oppgaven er levert, siden noe av arbeidet er et pågående prosjekt som skal utføres i vedlikeholdssesongen 2022, som starter i uke 22 og varer til uke 35. Masteroppgaven gir også videre et forslag til problemstilling for et FoU prosjekt som kan benytte Ofofbanen som laboratorium og testområde.



## 2 Metode

Dette kapitelet skal gi en kort beskrivelse av de metodene som er benyttet i arbeidet med masteroppgaven. Den største delen av arbeidet har vært å finne relevant litteratur og komme inn på rett spor i forhold til hva oppgaven skal besvare og utrede.

Opgaven har i all hovedsak vært et rent litteraturstudie, dette som følge av tid. Samtidig er det ikke enkelt å komme seg ut på jernbanelinja for å foreta befarings, siden dette er noe som må planlegges godt, som følge av den høye trafikken på Ofotbanen. Det har ikke vært foretatt laboratorieforsøk, i ettertid ser man at det kunne vært verdifullt og gjennomført. Siden det hadde gitt ei praktisk tilnærming til teorien som oppgaven omfatter.

### 2.1 Litteratursøk

Opgaven har hatt et reelt informasjonsbehov for å bli til det den er nå. Dette er innhentet gjennom litteratursøk og skriftlige kilder. Det meste av litteratur som er benyttet er rapporter og håndbøker. Det er også benyttet noen masteroppgaver og andre vitenskapelige rapporter. Det som har vært best litteratur å støtte seg på gjennom søkene har vært masteroppgaven som Andrea Liereng har skrevet i 2016. Oppgaven som hun har skrevet har vært veldig relevant og tar for seg mye av tematikken. Iskjøving i grøfter og skjæringer langs veg og jernbane (Liereng, 2016).

Opgaven som Liereng har skrevet var tydelig relevant for arbeidet med denne oppgaven, det ble tydeliggjort etter ei befarings på Ofotbanen i mars 2022. Her fikk man da se hva Liereng har skrevet om i praksis og man fikk også se viktigheten av å ha god kontroll på avrenning.

De øvrige rapporter som har vært tilgjengeliggjort i arbeidet med oppgaven har det vært Norges Arktiske Universitet (UiT) som har stilt til rådighet. Den ene var sluttrapporten fra «IGS-tinging – utprøving av tre typer innløpsrør» (Sveen, IGS-tinging - utprøving av tre typer innløpsrør, 2015) som Svein-Erik Sveen har skrevet, samt «Heat transfer in hydronic based systems adapted for artificial thawing of frozen ground» (Sveen, Heat transfer in hydronic based systems adapted for artificial thawing of frozen ground, 2013). Dette er relevant litteratur for både den teoretiske og praktiske forståelsen.

Læreboka i VA-teknikk og læreboka i varmelære har også vært benyttet i forbindelse med de teoretiske fremstillingene som skal være en del av oppgaven.

Øvrig litteratur som har vært benyttet i denne oppgaven er da hentet fra litteraturreferanselister i de oppgavene og rapportene som er benyttet i arbeidet.

Det finnes andre plasser å hente litteratur til oppgaven som er vesentlig å ta med, dette som ei opplisting, siden en slik oppgave som dette ikke er som en vanlig konstruksjonsoppgave og ikke så mye omtalt.

Øvrige litteraturkilder:

1. Byggdetaljblader
2. Statens Vegvesens håndbøker
3. Statens Vegvesen rapporter
4. Bane NOR tekniske regelverk
5. United States corps of engineering

## 2.2 Befaringer

I forbindelse med oppgaven har det vært gjennomført ei befarings på Ofotbanen, denne fant sted i mars 2022. Her var det ei generell befarings, fokuset på befaringsa var knyttet til fjell og vann. Det var flere steder hvor man stoppet og inspiserte der det var meldt inn at isen hadde fått bygge seg opp i tunellene både i overbygninga og i tunellprofilen.



Figur 1. Utsnitt av banestrekningen Narvik Havn - Bjørnfjell Stasjon, med markeringer (Kartverket, 2022)

Figur 1 viser banestrekningen til Ofotbanen. Her kan man se det er gjort markeringer på de to aktuelle lokasjonene som er brukt i oppgaven. Knyttet til bilder og øvrige henvisninger som kommer frem i oppgaven. Denne befaringsa var utført som en kombinasjon, herunder knyttet til masteroppgaven og rollen som byggeleder på Ofotbanen.

På disse lokasjonene var man også interessert i å se om anleggene som tidligere har vært etablerte virket etter sin hensikt. Dette var nyttig å få kjennskap til i forhold til det videre arbeidet med oppgaven.

### 3 Varme og fukttransport

Varme og fukttransport er prosesser som påvirker hverandre gjensidig, noe som man har lært i faget varmelære, disse prosessene bør derfor betraktes samtidig med varme og fukttransport når dette analyseres over tid.

#### 3.1 Varmetransport

Varmetransport kan forekomme i flere forskjellige metoder, som ledning, stråling og konveksjon. Til de ulike tilstandene vil det medfølge variasjon av temperatur gjennom tunneler eller rør som da er problemområdet for oppgaven.

Alle materialer har ulike egenskaper og påvirker hverandre på ulike måter. Det som er relevant å påpeke her er den termiske konduktiviteten til de ulike materialene, siden dette er av relevans for å kunne gjøre beregninger av hvilke materialer som kan gi god effekt. Tabell 1 er et utdrag av en tabell, som her viser de viktigste materialene som man kommer i forbindelse med knyttet å finne gode løsninger.

Tabell 1. Materialeegenskaper termisk konduktivitet (Wikipedia, 2022)

Material	W/mK
Luft (stillestående)	0,024
Glassull	0,03-0,04
Snø	0,05-0,25
Vann	0,5
Is	2
Stein	2-4
Jern	80

### Spesifikk varmekapasitet

Her kommer begrepet spesifikk varme som også den engelske litteraturen omtales som *Specific Heat (Heat Capacity)* dette er definisjonen på varmekapasiteten til et material som er definert og hvor mye varme som må tilføres for å øke temperaturen med 1°C (Ghajar, 2015).

Matematisk kan man definere det slik:

$$c = \frac{1}{m} \cdot \frac{dQ}{dT}$$

Hvor:

m = massen

Q = er energiinnholdet

dQ = er energi som er lagt til eller trukket fra

dT = Temperaturendringen

### Termisk konduktivitet

Grunnlaget for varmeledning dannes av Fouriers lov [3]

$$q = \lambda * \frac{d\theta}{dx}$$

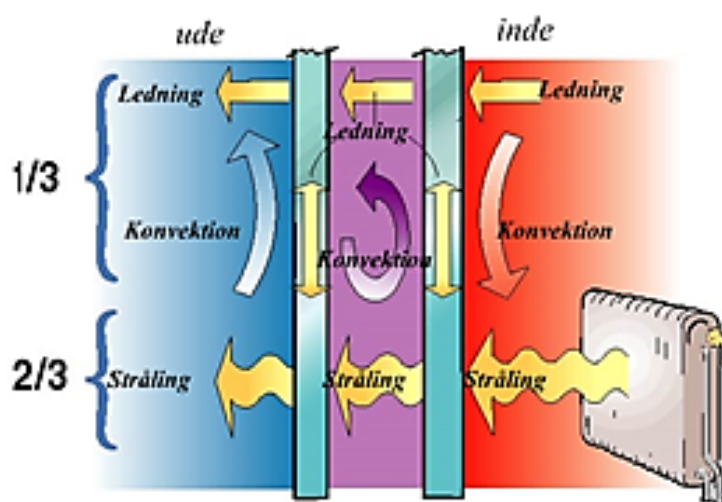
Hvor  $q$  = Varmestrøm til flateenhet  $[\frac{W}{m^2}]$  og  $\lambda$  = Varmeledningsevne  $[\frac{W}{m K}]$

$$\frac{d\theta}{dx} = \text{Forandring i temperatur per materialtykkelse} [\frac{K}{m}]$$

Denne loven kan kun benyttes i endimensjonale varmeledningsberegninger ved stasjonære forhold, dette betyr ved konstante temperaturforhold. Metoden tar heller ikke hensyn til varierende varmeledningsevne i forhold til fuktinnhold.

Det som er vesentlig å kjenne til videre i forbindelse med ber

En illustrasjon av varmetransport kan du se i Figur 2, her illustreres de ulike fasene av varmetransport.

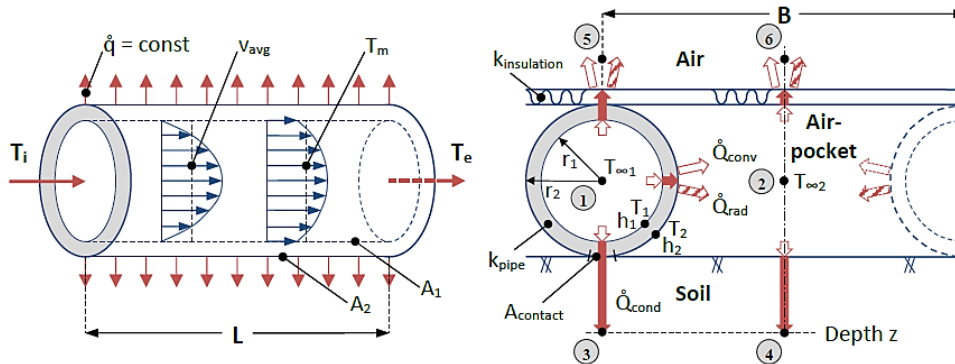


Figur 2. Illustrasjon av varmetransport gjennom thermovindu (Glasfakta, 2022)

### 3.1.1 Varmeoverføring i fra rør

Det er i prinsippet ønskelig med en jevn varmeledning gjennom rør, varme vil da avgis til omgivelsene kontinuerlig gjennom rørvæggen. Slik varmeoverføring vil skje i normal retning til røroverflaten, det vil ikke være noen varmeoverføring som finner sted andre retninger. Røret vil i hovedsak skille fluidene fra hverandre. Dette gjør at temperaturgradienten er relativt stor i radiell retning.

Se Figur 3 som synliggjør de ulike parametere knyttet til varmeoverføring mellom væskebårne systemer og jord.



Figur 3. Prinsippfigur fra kompendium  
(Sveen, Heat transfer in hydronic based systems adapted for artificial thawing of frozen ground, 2013).

Her ser man at det er mange beregningstekniske parametere som man kan ta med seg for å finne effekten av overføringen av varme fra røret og til bakken eller isen som man ønsker å tine opp.

Varmetapet som oppstår fra rørene ved stabile driftsforhold er utledet i kompendiet (Sveen, Heat transfer in hydronic based systems adapted for artificial thawing of frozen ground, 2013), hvor det er foretatt en energianalyse av tilsvarende system som er tenkt nytt til løsning av oppgaven. I dette kapittelet henter man det teoretiske grunnlaget til videre beregninger.

Det som er interessant å ta med videre i masteroppgaven er følgende formler og ligninger

$$1. W_{max} = \eta_{max} \cdot (m_{fuel} \cdot H_e) [kW] \quad (3.1)$$

$m$  = strømmingen av drivstoff over brennerdysen  
 $H_e$  er den nedre oppvarmings verdien av valgt drivstoff.

Denne formelen gir effekten som en oljebrenner vil kunne avgi til å varme opp et væskemedium, når brenneren gir konstant oppvarming uten pause (Sveen, Heat transfer in hydronic based systems adapted for artificial thawing of frozen ground, 2013). Noe som er relevant for å finne effektbehovet mot andre alternative mulige systemer.

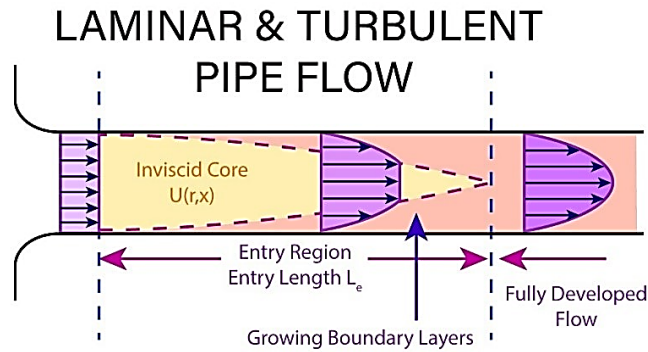
$$2. \eta = \eta_{max} \left(1 - \frac{l}{l_m}\right) \quad (3.2)$$

Formel 3.2 er knyttet til pausen som kjelen får når den ikke varmer væskemediet, som følge at av instrumenteringen har stoppet den.  $l$  er her nødvendig tid for pause, mens  $l_m$  er intermittgrensen når kjelen er satt på tomgang. (Sveen, Heat transfer in hydronic based systems adapted for artificial thawing of frozen ground, 2013).



## 3.2 Strømning i vann og luft

Strømninger i luft og vann omtales også som fluidmekanikk. Siden fluider er en fellesbetegnelse for stoff som ikke har en bestemt form og som kan strømme, noe som omfatter væsker og gasser. Fluidmekanikk er en del av fysikken, denne delen av fysikken beskriver hvordan væsker og gasser beveger og oppfører seg. I denne delen av fysikken er *Navier-Stokes* ligninger benyttet, siden disse ligningene viser hvordan fluidene reagerer i de ulike situasjonene. Til å løse disse ligningene nyttes det ofte CFD (*Computational fluid dynamics*), altså numerisk løsning (Sintef, 2022).



Figur 4. Illustrasjon av strømning i et rør (Sintef, 2022)

Figur 4 viser en illustrasjon av en numerisk løsning for et problem knyttet til fluidmekanikken. Dette skal gi en god forståelse av strømningene i det aktuelle røret, og de ulike fasene av strømningene.

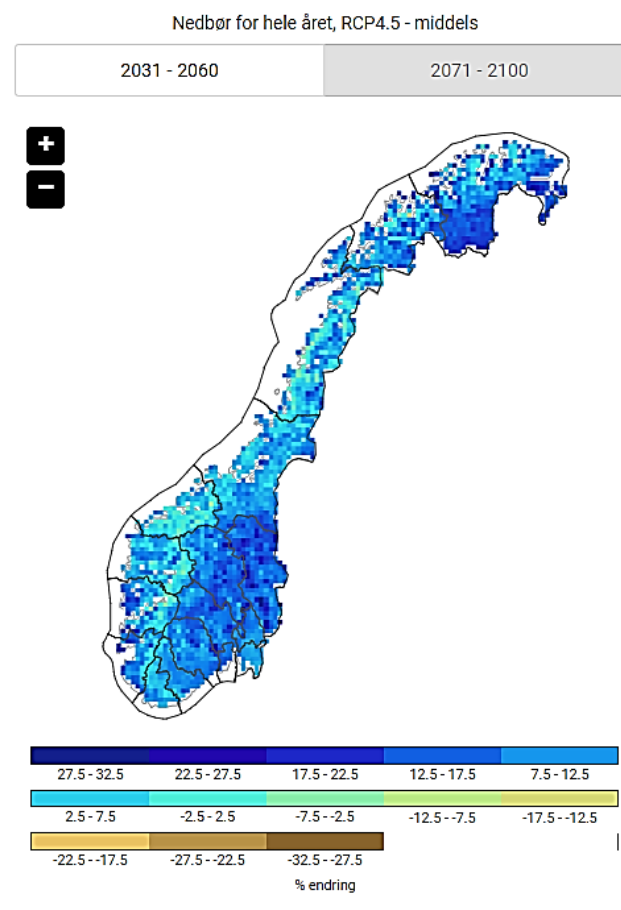
## 4 Aktuelle klimatiske parametere

### 4.1 Definisjon - klima

Klima er et typisk og gjennomsnittlig værmønster over tid. Klimaet på et bestemt geografisk sted sier ikke noe om hvordan været blir en dag, klimaet forteller mer om hvilket vær som er typisk på dette stedet over tid. For å ta et eksempel, så har klimaforskere sett på klimaet i Bergen over tid. Her har dem studert faktorer og parametere som: gjennomsnittlig nedbørsmengde, maksimums- og minimumstemperaturer eller hvor ofte det blåser kraftig. I Norge er det Meteorologisk institutt som foretar slike klimatiske målinger, som også kalles observasjoner. Dette utføres over mange år. Basert på disse målingene og observasjonene kan man da danne en klimanormal, denne kan da beskrive klimaet for en geografisk lokalitet, for eksempel Narvik, Norge eller Europa. Ekstremvær er også noe som hører inn under klima, noe av dette er vær-situasjoner som ikke har samme gjentakende frekvens som øvrige klimatiske hendelser (Store Norske Leksikon, 2022).

Klima er et typisk værmønster på en geografisk lokasjon, basert på statistikk over været. Dette samles vanligvis over et 30-års intervall.

Under kan man i Figur 5 se hvordan den antatte nedbørsmengden i Norge vil se ut i fremtiden.



Figur 5. Antatt nedbørsmengde for hele året 2031-2060 (Norsk KlimaserviceSenter, 2022)

## 4.2 Utbredelse og klimasoner

Klimaet finner man over hele kloden, med de ulike variasjoner. Det vil vise seg i tropiske strøk, polare strøk og de tempererte strøk. Dette er en ganske enkel sammenheng, som kompliseres som følge av jordens overflate, varierende materialegenskaper til på de ulike stedene, som igjen fører til at man får variasjoner (Store Norske Leksikon, 2022).

I Figur 6 ser man at Norge er inndelt i ulike klimasoner. Dette gir landet ulike utfordringer knyttet til hvor man får utfordringer knyttet til frost og is, siden at det er både veger og jernbaner som er plassert i alle de ulike klimasonene.



Figur 6. Klimasoner i Norge (Store Norske Leksikon, 2022)

## 4.3 Påvirkning av de ulike klimaparameterer

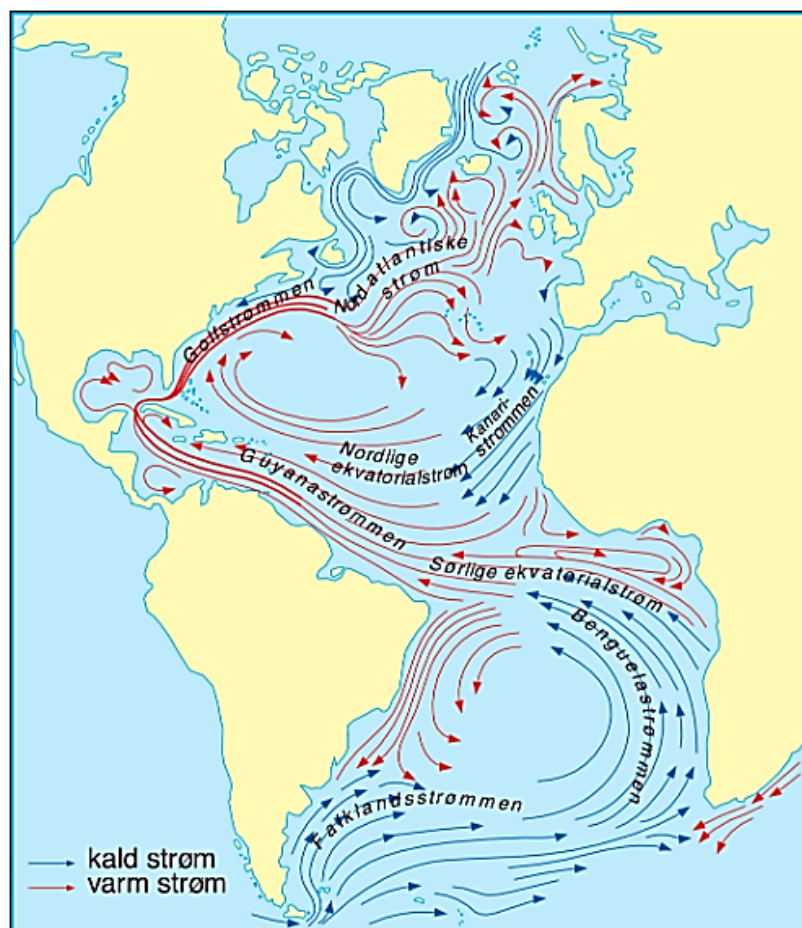
### 4.3.1 Havets rolle

Havet er en væske, som man tidligere i oppgaven har sett på i forbindelse med varme og strømninger. Havet har en mye høyere evne til å holde på varme enn hva landområdene har. Svingningene som temperaturen gir på land vil ikke bli like stor i havet, som følge av de termiske egenskapene til havet.

Det er kjent at kalde og varme havstrømmer vil påvirke temperaturer og nedbør. Dette kan være med på å avgjøre hvor mye nedbør som kommer på en geografisk lokasjon basert på temperatur og luftfuktighet.

Den viktigste kilden til fuktighet i jordens atmosfære er havet, siden nedbør fra fordampningsprosessene faller på bakken som regn. Selv om det er områder som ligger langt fra havet, så vil nedbørmengden som transporteres til disse plassene avhenge også av vindretningen og hvor mye fuktighet vindene transporterer med seg.

I Figur 7 kommer kapasiteten til havets unike mulighet til å transportere varme og kulde rundt tydelig frem, og dette er en viktig kilde til liv i nordområdene, de arktiske og subarktiske strøk.

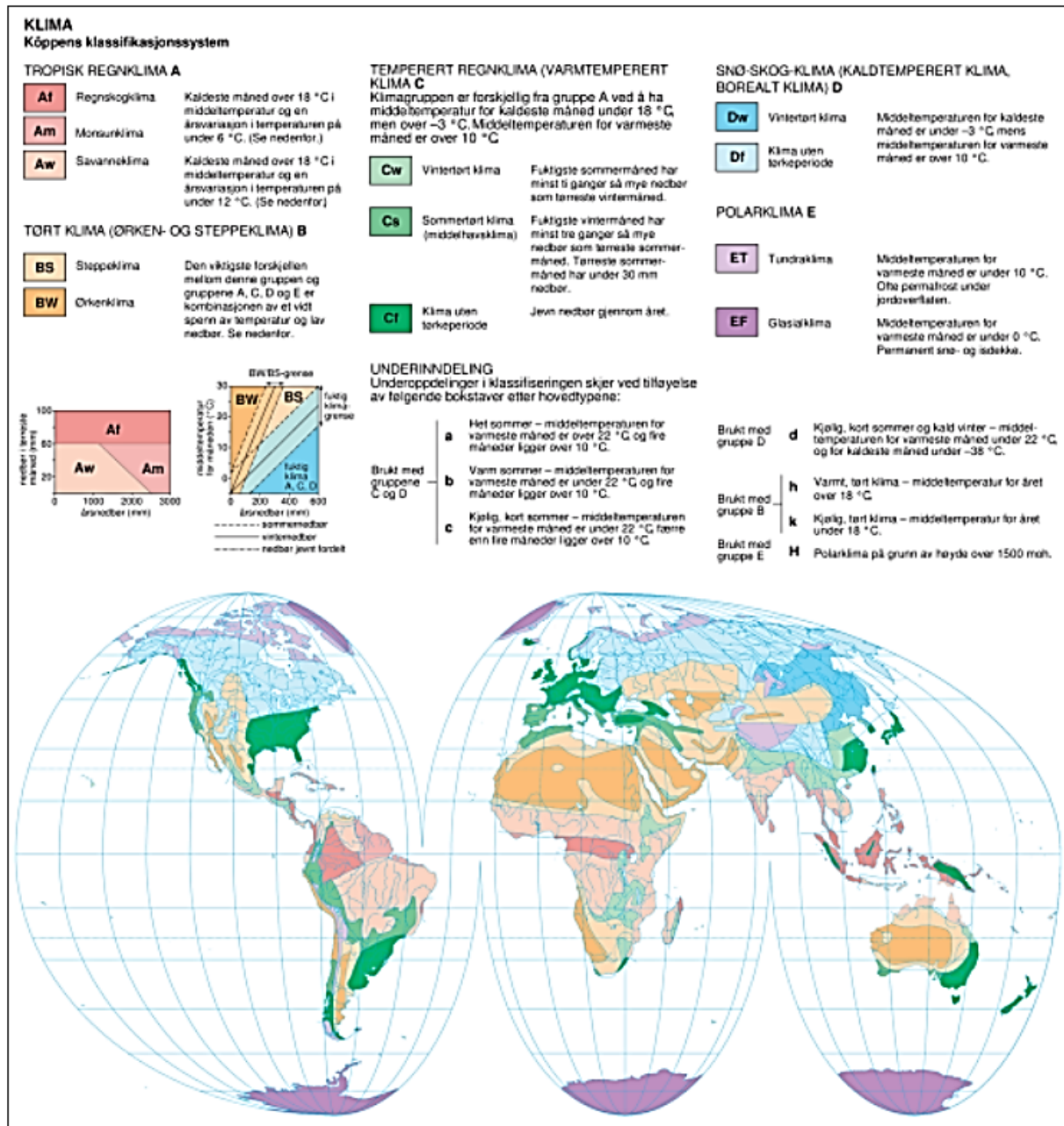


Figur 7. Havets strømninger (Store Norske Leksikon, 2022)

### 4.3.2 Vindstrømninger

Det blir som følge av varme og kulde noen temperaturmotsetninger som dannes. Disse dannes mellom pol og ekvator og mellom hav og land. Mellom disse punktene settes det opp et sirkulasjonsmønster. Sirkulasjonsmønsteret er omtalt som følgende vinder: Vestvindbeltet, passatvinder og monsuner. Disse mønstrene modifiseres av omkringliggende fjellkjeder og innlandsiser.

Fjellkjedene i Amerika, Rocky Mountains, og Grønlandsplatået er landområder som har store betydninger for klimaet i det nordvestlige Europa. Den skandinaviske fjellkjeden er med på å forsterke forskjellen mellom kystklimaet i vest og det mer innlandspregede klimaet i østlige deler. Her kan også nedbøren variere svært mye over kortere avstander, det er som følge av resultatet som samspillet mellom breddegrad, havområder, landområder og sirkulasjonsmønsteret gitt i vindstrømningene.

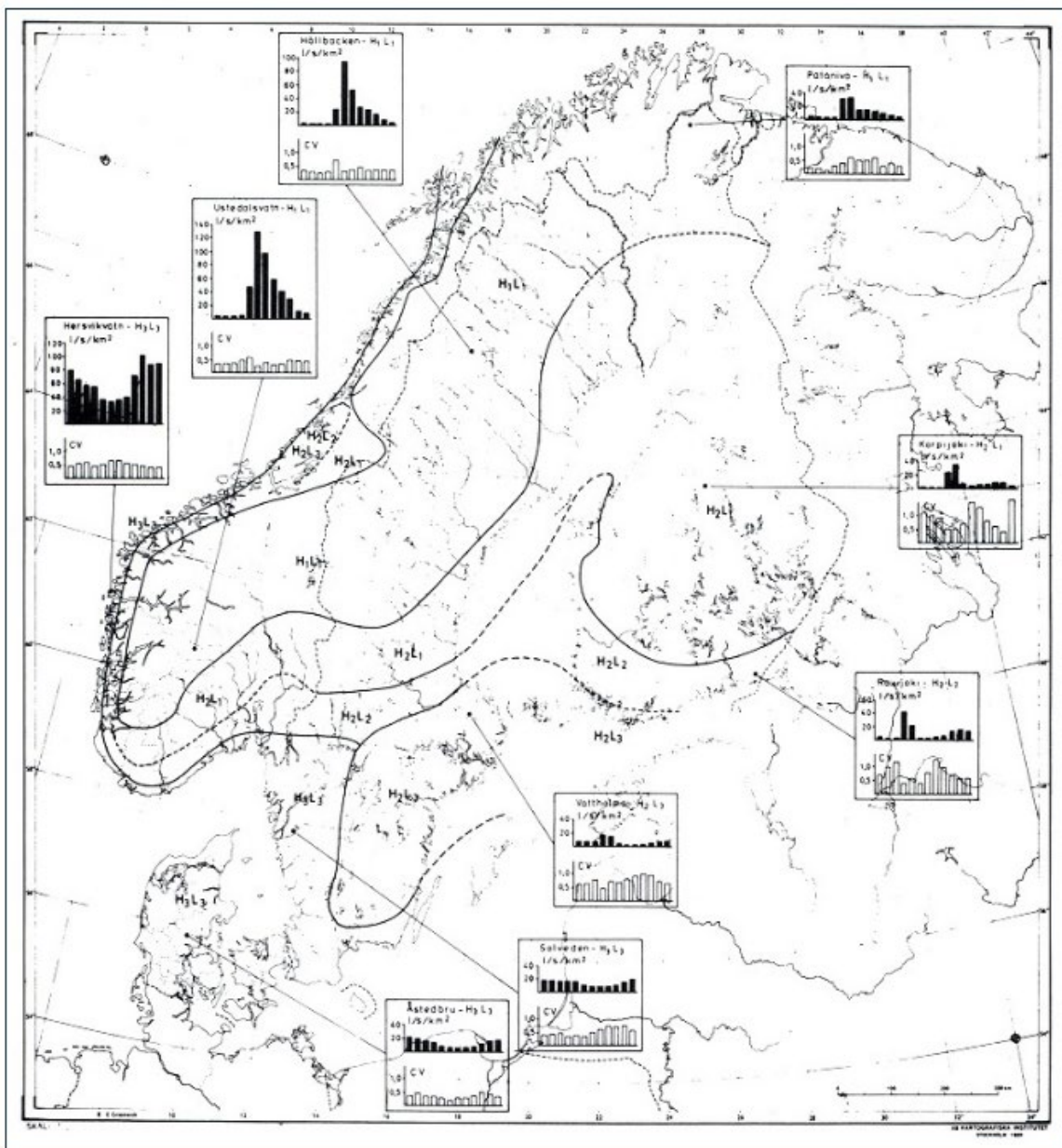


Figur 8. Klima - Köppens klassifikasjon (Store Norske Leksikon, 2022)



### 4.3.3 Hydrologi og klima

Norden spenner seg vidt over hele 16 breddegrader, og det gir noen store klimatiske variasjoner som påvirker vannets kretsløp (hydrologien). Dette vil gi store hydrologiske ulikheter som viser seg i form av ulike variasjoner knyttet til vannføring i grøfter, stikkrenner og bekkeløp over hele året. Det påvirker også hvordan flommer og lavvannsperioder vil fordele seg. Endringene i klimaet i Norden forventer å påføre endringer i det hydrologiske regimet. I de siste tiårene har vannkraftverkene i Norge fått mer tilsig som følge en økning i nedbør, noe som har gitt en økt kraftkapasitet i form av vannkraftproduksjon her til lands (Store Norske Leksikon, 2022). Dette gir dog ikke bare fordeler med et økt tilsig, dette vil på sikt gi utfordringer for infrastruktur som veg- og bane, siden der kreves det at man holder underbygning og overbygning mest mulig tørr og frostfri. Klarer man ikke dette vil man få vannoppstuvning, og fare for økt jordtrykk på fyllinger, eller man får teleproblematikk.



Figur 9. Vannføringsmønster i Norden (Store Norske Leksikon, 2022)

## 5 Iskjøving

### 5.1 Definisjon

Iskjøving defineres som islag som bygges opp over tid gjennom gjentakelse av frysing av vann i tynne sjikt over eksisterende isflate eller andre kalde overflater. Begrepet iskjøving brukes både om prosessen der vannet fryser, og om resultatet av prosessen.

### 5.2 Utbredelse

Dette er en naturlig hendelse, som i hovedsak forekommer i de arktiske eller subarktiske regionene. For at dette naturfenomenet skal kunne inntreffe må man ha, tilgang på vann og tilstrekkelig frost. Problemer til dette naturfenomenet oppstår når det er infrastruktur eller bebyggelse som er plassert i områder der iskjøving vil oppstå. Land som ligger i subarktiske strøk og regioner med mye infrastruktur og har størst utfordringer med dette fenomenet er: Norge, Sverige, Finland, USA (Alaska), Canada, Russland, Mongolia og Nord-Kina (Liereng, 2016).



Figur 10. Kart over Arktis og sub-Arktis (Store Norske Leksikon, 2022)

## 5.3 Ulike typer iskjøving og årsaker

Som nevnt i forrige underkapittel er dette et naturlig fenomen som kan oppstå, som beskrevet trengs det at noen forutsetninger inntreffer, herunder vannkilder og frost. Iskjøving deles i teorien inn i tre grupperinger: 1. Iskjøving i elver (river icings), 2. Iskjøving fra grunnvann (ground icings) og 3. Iskjøving fra naturlige kilder (spring icings). Ser man på dette i praksis vil man da se at det er en glidende overgang mellom kategoriene. Oppstandelsen til fenomenet skjer gjerne i kombinasjon fra flere vannkilder samtidig. Inndelingen som er gjort teoretisk kommer til nytte når man skal se på de ulike årsakene til iskjøving, hvilke naturlige prosesser som skjer ute og på bakgrunn av dette beslutte hvilke tiltak som er effektive for å hindre fenomenet på ulike steder (Liereng, 2016).

Kapiteler som du leser nå, vil gi en kort beskrivelse av de ulike typene iskjøving. Hensikten med det er å gi leseren en forståelse og oversikt over hvordan fenomenet opptrer, spesielt rettet mot en leser som ikke er kjent med hva dette dreier seg om. Alle typene av iskjøving har blitt tatt med i oversikten, slik at det skal være gjenkjennbart for videre bruk i oppgaven. Det er ikke alle de ulike variantene som vil bli brukt videre i oppgaven.

### 5.3.1 Iskjøving i bekker og elveløp

Elver og bekker er utsatte for at det kan oppstå iskjøving. Årsaken til dette er at det allerede er lagt seg et tynt islag på overflaten når kuldeperioden har kommet. Iskjøvingen oppstår da ved at vann strømmer over dette isdekket og fryser i tynne lag. Dette medfører da at isen bygger seg opp over elva eller bekkeløpet. Når denne formen for iskjøving oppstår forutsetter det da at vannstrømmen under islaget hindres, dette vil oftest skje i områder der det er lav vannstand og elvebunnen er impermeabel. Ved kuldeperioder med lengre varighet kan isen komme til å fylle hele elveløpet og spre seg utover store områder, dette er vist i Figur 11. Den isen som har fått bygge seg opp over det eksisterende laget kalles svellis eller stevning. I engelsk litteratur kalles denne typen iskjøving for river icing.



*Figur 11. Elv med iskjøving. Elven har blitt oppfylt og isen har spredd seg til sideterreng langs elvebredden (Liereng, 2016).*

Videre i denne oppgaven beskrives iskjøving som oppstår i elv og bekkeløp, siden oppgavens hovedfokus er hvordan man skal kunne tine stikkrenner og bekkeløp å holde disse isfrie. For ytterligere detaljerte beskrivelser av iskjøving i elver henvises det til (Carey, 1973).



### 5.3.2 Iskjøving fra grunnvann

Det oppstår også iskjøving knyttet til grunnvann, denne typen iskjøving oppstår når man har jevnt fordelt grunnvann i terrenget som eksponeres for kald luft og fryser i tynne lag. Denne isen kan dannes overalt i terrenget som er eksponert: i naturlige skråninger, skjæringer av fjell eller jord og på flat mark. Iskjøving fra grunnvann vil som regel oppstå der de naturlige vannveiene er avskjært og forekommer sjeldent naturlig som følge av at vannet vanligvis renner under et isolert jordlag hele året. De stedende denne typen iskjøving fra grunnvann oppstår er i all hovedsak langs veger og jernbaner. Denne typen iskjøving er en av de mest utfordrende og problematiske for drift av veger og jernbaner. Temperatursituasjonen i jordlagene er forandret som en direkte årsak av at infrastrukturen som er menneskelig skapt endrer de naturlige vannveier og dreneringsmønstre. I engelsk litteratur er denne formen for iskjøving fra grunnvann enten navngitt som *ground icing* eller *seepage icing* (Carey, 1973). Dette er ofte omtalt som issvuller når man ser på det som kommer ut i vegbane eller i jernbanens frie profil.



Figur 12. Slik ser det ut når det oppstår iskjøving fra grunnvann. Foto fra Meråkerbanen  
Foto: A.Liereng (Liereng, 2016)

Dette er noe som kan oppstå så fort det blir frost og kuldeperioder på høsten, tidspunktet for når dette inntreffer avhenger av vannkilden, lokale forhold og klimatiske parametere. De områdene hvor grunnvann sildrer over overflaten om sommeren, så vil denne prosessen starte umiddelbart når det blir kuldeperioder. De områdene som er tørre i sommerhalvåret vil ikke iskjøving starte før senere på høsten eller vinteren. Årsaken til dette er at telen må komme dypt nok ned, slik at grunnvannet presses opp til overflaten før iskjøvingen starter. Iskjøvingen kan opptre nokså ulikt fra sted til sted, både i størrelse og omfang. Dette kan variere fra sesong til sesong også. Dimensjonene på iskjøving fra grunnvann blir sjeldent store som følge av at det er begrenset vanntilgang (Carey, 1973).

### 5.3.3 Iskjøving som oppstår fra naturlige kilder

Ut fra det som står skrevet i rapporten som har blitt benyttet som litteratur ser man at iskjøving kan oppstå av vann fra naturlige kilder (Carey, 1973). Dette er steder hvor grunnvannet renner ut i dagen fra et fast punkt og danner en kilde. Dette kan oppstå på ulike steder, i all hovedsak i bunnen av skråninger, skjæringer eller i flatt terreng, det er geologien på stedet som fører vannet til overflaten. Dette er kilder som er mest kjent på norsk som oppkommer, utspring eller vannårer (Liereng, 2016). Dette kalles på engelsk for *natural springs*. Her er det naturlige kilder som vannet renner ut i dagen fra hele året, gjerne langs en tydelig definert kanal. På vinterstid vil det vannet som kommer ut fra disse kildene bli eksponert for kulde, noe som da vil føre til at det vil begynne å dannes is på skjæringer eller i utløpssonene til disse kildene. Vannet kan da fryse i utløpssonen til kilden, eller et stykke nedstrøms i kilden som følge av blokkeringer av snø eller vegetasjon (Carey, 1973).

Iskjøving som dannes fra kilder med fritt utløp oppstår ofte før det oppstår iskjøving fra grunnvann. Årsaken til dette er eksponeringsgraden for kulde som både vannkilden og overflatematerialene er, noe som grunnvannet ikke er, siden det er naturlig isolert av snø og jordlag. Prosessen for dannelsen av is er lik som for iskjøving fra grunnvann (Liereng, 2016). Her er det et men, siden vannkilden vil holde seg på ett stede gjennom vinteren, så medfører dette til at isformasjonene ofte blir brede og flate. Siden det er en kontinuerlig jevn strøm av vann gjennom hele vinteren vil det medføre til at isen får brede og flate formasjoner. Den kontinuerlige tilgangen på vann vil gjøre at isen vil vokse gjennom hele vinteren.

## 6 Årsaker til iskjøving

En av de faktorene som man ser på som en stor og medvirkende årsak til at det oppstår iskjøving er som følge av menneskelige inngrep i de naturlige vannveiene. Som man oftest kan se og oppfatte er at det ligger islag på skjæringer og i grøfter, hvor det er utspring av kilder som har kommet frem i dagen, som følge av menneskelige inngrep. De steder hvor man har naturlig iskjøving, som for eksempel i grøfter og bekkeløp, så vil man se at menneskelige inngrep har påvirket vannstrømninger på stedet og forsterket iskjøvingen (Carey, 1973). Ofte ser man at etablering av infrastruktur er en utslagsgivende årsak til iskjøving og i hovedsak ser man at denne oppstår i tilknytning til veg og jernbane, i all hovedsak i linjegrøfter. I dette kapittelet vil det fokuseres på beskrivelse av hvilke vannkilder som er utslagsgivende, samtidig kort ta opp om de årsakene til iskjøving i grøfter.

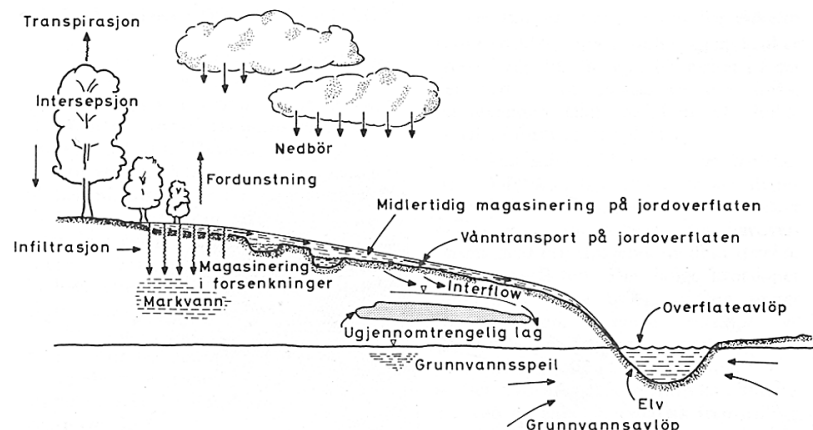
### 6.1 Vannkilder til grøfter og bekkeløp

Som hovedkilder til vann i grøfter og bekkeløp, så er det da overflatevann og grunnvann. Overflatevannet vil man finne i bekker, elver, tjern og innsjøer. Overflatevannet har også trukket ned i de øverste jordlagene, slik at porer i jorda bare er delvis vannmettet. Hvor mye overflatevann som man har på de ulike lokasjonene, avhenger i stor grad av vær og klima. Løsmassenes permeable egenskaper og lagdelinger i jordoverflaten vil ha stor betydning for kapasiteten for å holde på vannet. Noen jordarter har høy lagringskapasitet og kan lagre mye overflatevann i de øvre jordlagene (Liereng, 2016).

Tabell 2. Vannkilder til grøfter og bekker

	Jevnt fordelt	Konsentrert
Grunnvann	Grunnvann i bergmassen og i løsmassene.	Naturlige kilder i berg eller løsmasser, vann fra store sprekker i fjellet.
Overflatevann	Vann i øvre jordlag	Grøfter og bekker.

I Figur 13 synliggjøres vannets kretsløp, som er det mest essensielle å ha kontroll på for å hindre iskjøving knyttet til infrastruktur. Har man ikke kontroll på vannet, så har man heller ikke kontroll på de øvrige konsekvenser som ras, flom og iskjøving.



Figur 13. Vannets kretsløp og de hydrologiske prosesser (Thomas Øiseth, 2004)

## 6.2 Årsaker til iskjøving i grøfter og bekker

Overvannet og grunnvannet samles i åpne grøfter, som leder videre til bekker og elveløp. Dette vannet kommer fra sideterreng, og blir transportert videre til stikkrenner, kulverter eller utløpsrister, avhengig av størrelsesorden på grøftene eller bekkene. Det er flere årsaker til at det oppstår iskjøving, og det kan være seg vann som kommer fra sideterreng, vann som er ført til grøft og renner der, eller menneskelige inngrep som stikkrenner og rister. Det kan da deles inn i ulike grupper, slik at man enkelt kan få oversikt over problematikk for å kunne fatte rett tiltak.

De fire hovedgruppene man kan dele iskjøving i grøfter og bekkeløp inn i:

1. Iskjøving på grunn av skjæringer
2. Iskjøving som oppstår som følger sideterreng og inn i grøft
3. Iskjøving fra grøftebunn, som følge av tette stikkrenner eller rister
4. Iskjøving fra grøftebunn som følge av lav vannføring.

*På bakgrunn av disse fire kategoriene, ser man at det er på rett vei til å adressere utfordringa i problemstillinga til oppgaven.*

Basert på disse kategoriene, vil oppgaven gå litt overfladisk gjennom og forklare dem noe før man ser på ei løsning av utforming av stikkrenner, grøfter og bekkeløp.

### 6.2.1 Iskjøving på grunn av skjæringer

Som følge av vann som kommer ut på kalde skjæringer, oppstår det iskjøving på disse skjæringene. Fenomenet er ikke bare på selve skjæringene dette er karakteristisk, men også i grøftene nedenfor skjæringene, disse utsettes også for iskjøving. For å begrense denne problematikken, så vil det være noen faktorer som spiller inn. Faktorene som er avgjørende for å begrense dette er utforming på skjæringen, utformingen på grøften, vannmengde på stedet og de klimatiske forhold som er med på å være avgjørende for hvorvidt iskjøving oppstår.

Nedenfor i Figur 14 synliggjøres denne problematikken, som er på Ofofbanen.



Figur 14. Iskjøving på grunn av vann fra overliggende terreng og fra bergsprekker på Ofofbanen  
Foto: Knut Karlsen, JBV/Bane NOR



## 6.2.2 Iskjøving som følger sideterreng og inn i grøft

Overflatevann som ledes inn via sideterreng forårsaker i noen tilfeller iskjøving i grøftene. Her kan vannet komme fra to av de sikre vannkildene, overflatevann fra øvre jordlag eller grunnvann. Det er to årsaker til at grunnvannet kan komme ut i grøfta, den ene er naturlig, eller at vannet presses opp av telen som ligger under veg eller jernbanekroppen. Iskjøvingen oppstår når vannet blir eksponert for kalde overflater og kald luft på vei ut i grøfta. Her er det de klimatiske forholdene som avgjør når og i hvilken grad iskjøvinga oppstår. Linjegrøfter lang veg og jernbane er menneskeligskapte inngrep, disse inngrepene kutter av de naturlige og eksisterende vannveiene i løsmasser, dette er noe som vil kunne gi særdeles store ismengder. Et typisk tegn er at grøfta fylles med is fra «oppstrøms» side av grøfta sett normalt på veg kroppen. Se Figur 15 nedenfor.



Figur 15. Iskjøving "oppstrøms" fra grøft normalt på veg/jernbanekroppen (Liereng, 2016)

### 6.2.3 Iskjøving fra grøftebunn som følge av tette stikkrenner eller rister

En annen kjent årsak til iskjøving er oppdemming av vann som følge av tette stikkrenner eller innløpsrister. En årsak til at disse er tett kan være som følge av iskjøving, sedimenter som bekken har ledet med seg eller vegetasjon. Når vannet blir hindret i å renne fritt gjennom stikkrenna eller ned i utløpskummer, så oppnår man at det blir stillestående i grøftene, dersom temperaturen i luften er så lav at overflatene er «kuldebærende» vil vannet fryse og gradvis medføre at grøftene blir fylt.

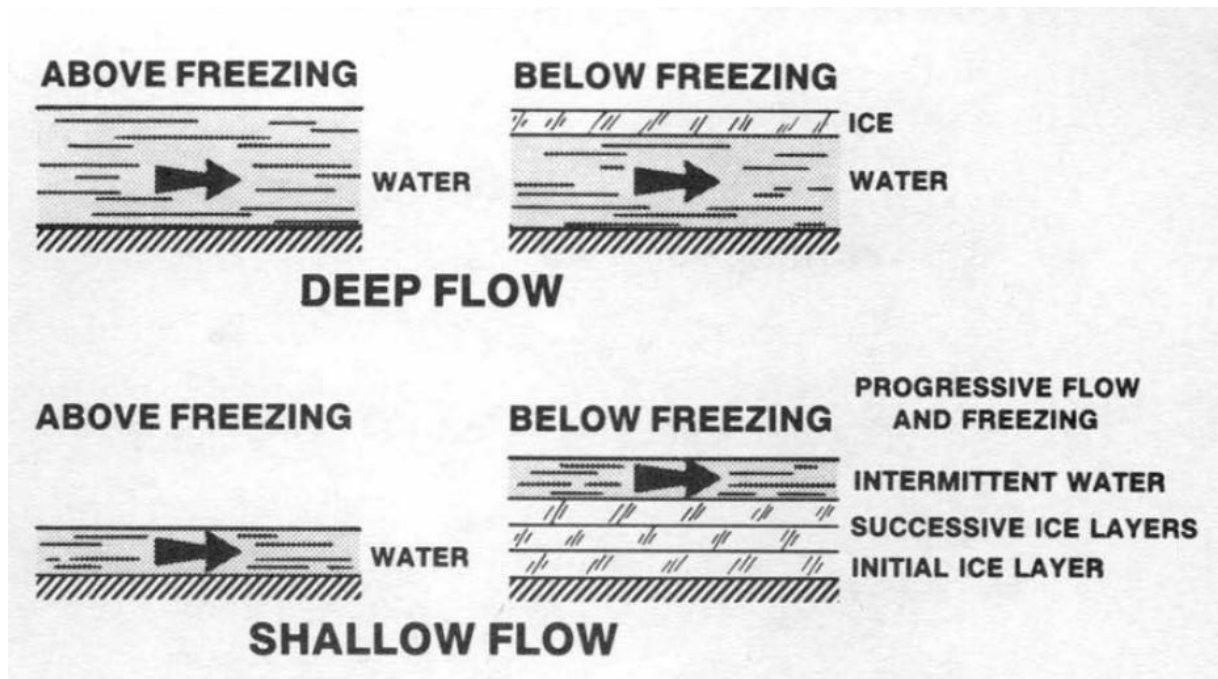
### 6.2.4 Iskjøving i grøftebunn som følge av lav vannføring

Dimensjoneringen av grøfter er som regel tilpasset for å transportere store vannmengder på sommerstid. På vinterstid er det sjeldent mer enn så vidt sildring i bunnen av grøfta. Om grøfta er utført som en stor og åpen grøft, så vil vannet bli eksponert for kald luft på vinterstid. Om man ikke har naturlig eller kunstig skjerming vil dette ført til at vannet fryser når de klimatiske forhold tilsier det. Som man kan se i Figur 16 (Carey, 1973). Vannet som renner over vil renne over isen, som da har en termisk kjølede effekt. Dette gjør da at vannet blir både underkjølt og kjølt av lufttemperaturen som de klimatiske forhold regulerer. Dette gjør da at grøfta fylles med is og man får dette i verste fall ut i jernbanen (Liereng, 2016).



*Figur 16. Lav vintervannsføring som har medført iskjøving (Carey, 1973)*

Det er viktig at man har fokus på vanndybden i elver, bekker og grøfter, siden dette er en faktor som påvirker iskjøvingen. Om man har lav vanndybde risikerer man at iskjøvingen på slike steder bygger seg raskere opp enn man ellers ville fått ved stor vanndybde. Ved stor vanndybde vil vannet holde seg flytende noe lengre selv om temperaturene er lave. Grunne bekker vil derimot kunne bunnfryse ganske raskt, og deretter bli utsatt for iskjøving. Figur 17 vil vise de vesentlige forskjellene på grunn og dyp vannføring i grøft eller bekk. Grunne grøfter er mye mer utsatt for iskjøving enn hva en dyp og smal grøft vil være, siden denne har større vanndybde. Figur 9 viser her forskjellene mellom det som er beskrevet ovenfor.



Figur 17. Forskjell mellom stor og liten vanndybde og isdannelse (Carey, 1973)

Det er steder hvor man får oppstuvning og stillestående vann at iskjøvingen vil starte, siden det er her vannet vil fryse først. Dette kan oppstå i forsenkninger eller i flate partier i grøfta, også på plasser hvor farta på vannet er redusert. Vegetasjon, sedimenter, kvister, stein og andre legemer som ligger i grøfta er med på å gi oppbremsing, samt at dette er partikler som har termiske egenskaper som isen kan bygge seg på i kuldeperioder. Så snart at iskjøvingen har oppstått, så vil dette være med på å gi en kjøleende effekt på resten av vannet og oppbremsing slik at vannet blir ytterligere oppdemmet og isen får bygd seg opp.

## 7 Utforming av stikkrenner, grøfter og bekkeløp

### 7.1 Dimensjonering av stikkrenner og sårbarhet

Bane NOR har i sitt tekniske regelverk fastsatt noen konkrete krav til dimensjonering av stikkrenner. Dette er for å sikre at stikkrennene har tilstrekkelig kapasitet for å ivareta den klimaendringen vi i dag står ovenfor med 200-års returperiode + klimapåslag (Bane NOR SF, 2022).

Fyllingene på de ulike jernbanestrekningene har varierende grad av kvalitet. På Ofotbanen er man kjent med at det meste av banen ligger på gode og robuste sprengtsteinfyllinger, mens Nordlandsbanen er anlagt på stedlige masser som morene.

Dette gir ulike egenskaper for de forskjellige banestrekningene. Som for Nordlandsbanen vil fyllingene i større grad kunne kollapse som følge av høyt vanninnhold, samtidig som det blir økt press på fyllingene når vannet presser imot. På slike tette fyllinger finnes det ikke alternative dreneringsveier.

I Figur 18 ser man resultat av at det ikke har vært tilstrekkelig kapasitet for å lede vannet vekk gjennom stikkrenne og det har blitt stort press på fyllinga, som igjen har medført til at den har blitt vasket ut.

Noen av disse eldre steinkistene som var håndmurt har ikke nødvendig kapasitet for 200-års flom, samtidig som at det ikke på den tiden var tenkt på nødløp, som har vært område man fokuserer på i dag.



Figur 18. Fyllingskollaps Lønnsdalen 2010 Foto: JBV/Bane NOR



## 7.2 Forebyggende og korrektive tiltak

Etter å ha gått gjennom bakgrunnen for hvorfor det oppstår is i stikkrenner, grøfter og bekkeløp, så ser man at tining nødvendigvis ikke er eneste løsning for å sikre helårsavrenning. Det er tiltak som kan gjøres i forbindelse med bygging, drift og vedlikehold som gjør at man sikrere frie vannveier og unngår isoppbygging i den grad man har sett tidligere i oppgaven. Det skal også nevnes at på bakgrunn gitt i innledende avsnitt til dette kapittel om fyllingenes robusthet og sannsynlighet for oppdemming oppstrøms er faktorer som er med på å definere kritiske punkter og kritiske stikkrenner som er viktig å ha god kontroll på og holde åpen. Dette blir det videre fokus i oppgaven for gjeldende kapittel.

Det er i hovedsak noen konkrete tiltak som kan gjøres for å få dette til fokuseres det på å dra frem noen ulike hovedstrategier, som er med på å løse store deler av utfordringene som vi ser på både Ofofbanen og Nordlandsbanen.

- 1) Tilstrekkelig drenering i sideterreng (overflatevann og grunnvann)
- 2) Isolering av skjæringer og tunneller
- 3) Etablere isnett

Dette er de hovedstrategiene som skal være de mest effektive tiltakene for å hindre at man får iskjøving inn i grøfter som man kan se i kapittel 5.3 med underkapitler. Det vil være mulig å ha øvrige driftstiltak, hvor man har provisoriske varmekabler på kritiske steder som man enten slår på manuelt, eller har fjernstyrt oppstart av anlegget. Slik som allerede er etablert noen steder på Ofofbanen, disse må startes manuelt. Det er også mulig å gjøre andre driftsmessige tiltak i form av rensk av is i skjæringer og grøfter, det vil ikke være en utdypende del av denne oppgaven. Kapittelet her vil beskrive de ulike strategiene som er tenkt effektive, med en beskrivelse av hensikt, utførelse, plassering og erfaringer med tiltakene. Det vil også være ei drøfting av de ulike tiltakene slik at man ser fordeler og ulemper med tiltakene.



Figur 19. Steinkiste som ikke er renoveret og steinkiste som har vært renoveret (Bane NOR SF, 27.04.2022)

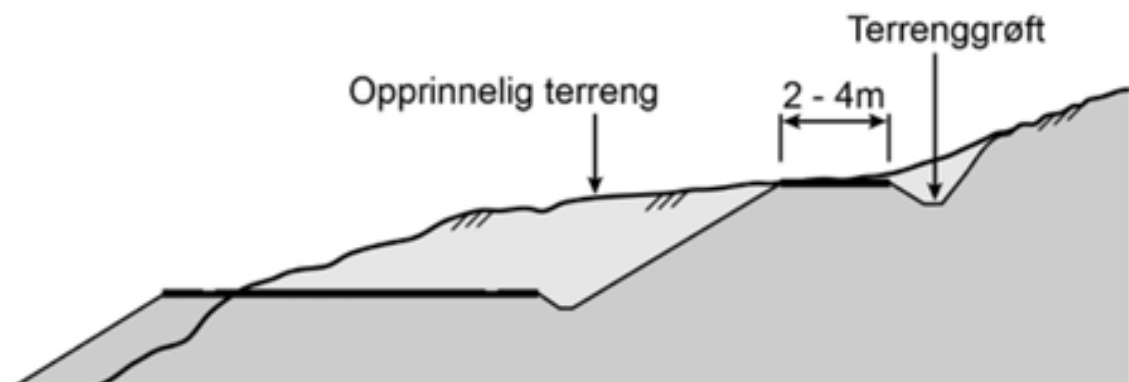
## 7.3 Tilstrekkelig drenering i sideterreng

For å sikre at man unngår iskjøving og gjenfrysning av grøfter og oppbygning av dette i skjæringer som fra før har trangt profil på jernbanen kan man begrense dette med å gjøre avskjærende dreneringstiltak i sideterreng. Her ønsker man da å avskjære både overflatevann og grunnvannet. Dette gjør man ved at man leder vannet til etablerte grøfter som kontrollerer hvor vannet føres, her vil man kunne benytte åpne eller lukkede grøfter et stykke oppe i terrenget ovenfor den aktuelle veg eller jernbanetraseen, hvor man videre kontrollert fører vannet frostfritt til stikkrenner eller annet lukket dreneringssystem. Her er det to ulike metoder som kan nyttes basert på Håndbok N200 (Statens Vegvesen, 2018).

### 7.3.1 Terrenggrøfter

Terrenggrøfter også omtalt som avskjærende grøfter etableres i løsmasser og tilpasses de lokale behov på plassen, slik at man kan kontrollere vann som i utgangspunktet ville krysset veg- og jernbanetraseen, både under sommer- og vinterforhold (Statens Vegvesen, 2018).

Her er det viktig at man gjør tilpasning av inngrepet i terrenget slik at disse terrenggrøftene utgjør minst mulig sår i landskapet, samtidig som at overflatevannet hindres i å ta andre veier som langs skjæringskråninger, som da igjen kan forårsake erosjonsskader eller iskjøving. Plassering av terrenggrøfter bør gjøres slik at man ikke får nedsatt stabilitet på skråninger og øvrig sideterreng. I henhold til vegnormalen er det anbefalt å plassere skjæring minst 2 meter fra skjæringstopp. Se figur 12 som er hentet fra N200 (Statens Vegvesen, 2018).



Figur 20. Plassering av terrenggrøft (Statens Vegvesen, 2020)

Terrenggrøfter tilknyttet veg defineres i N200 som åpne vannveger – kanaler, nedføringsrenner og grøfter (Statens Vegvesen, 2018). Det beskrives at vannet skal ledes ut langs allerede etablerte vannveger, og ikke ut i terrenget. For å bestemme dimensjonerende vanddybde, så må man kjenne til strømningsdybde, sikkerhetstillegg og oppskylling. Dette bestemmes da ut fra formelen:

$$y_{dim} \geq y + \Delta y_{oppskylling}$$

Årsaken til at det er nevnt oppskylling er på bakgrunn av at man må ta høyde for retningsendring i kanalene. Her vil da vannet skylle opp lang sidene i kanalene. Denne oppskyllingen må ivaretas.

### 7.3.2 Sidegrøfter og linjegrøfter

Bane NOR beskriver i sitt regelverk hvordan slike grøfter skal utføres. De har en litt annen tilnærming til hvordan, på bakgrunn av at man er redd for å føre frost inn i banelegemet (Bane NOR, 2022). Åpne linjegrøfter har seks utførelseskriterier.

- 1) Utførelse: Grøftebunn skal være minst 0,5 m under formasjonsplanet
- 2) Utførelse: Bunnbredde skal minst være 0,5 meter
- 3) Utførelse: Grøtefallet skal på ethvert punkt være min 5‰ (1:200)
- 4) Utførelse: Der hvor fallet på linjen går i motsatt retning av hensiktsmessig grøtefall, kan overflatevannet i linjegrøften føres ned i kummer og bortledes i lukkede ledninger.
- 5) Utførelse: Linjegrøftene bør ha tett bunn
- 6) Utførelse: Linjegrøftene skal tettes opp til 0,2 m under formasjonsplanet

Videre er det bemerket som tidligere nevnt at dype linjegrøfter vil gjøre banelegemet mer utsatt for inntrengning av frost fra siden. Mens tette grøfter vil hindre frostnedtrengning.



Figur 21. Linjegrøft som er oppfylt av vann som kan bli til is (Bane NOR SF, 27.04.2022)

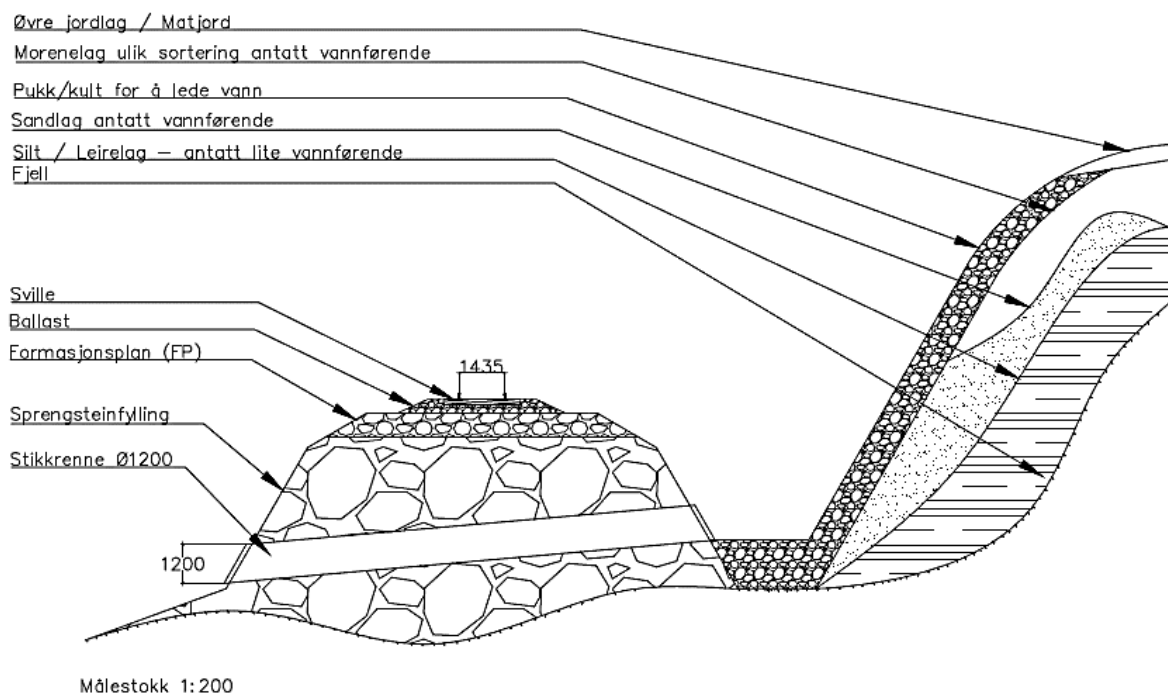
### 7.3.3 Drøfting av løsninger knyttet til valg av grøfter

#### ***Terrenggrøfter i sideterreng***

Slik man kan se det er begge typen grøfter hensiktsmessig å benytte, det må vurderes hvor og hva som er best, slik at man har en helhetstanke bak valget av drenering. Dette sier er ulike utfordringer som kan knyttes til de ulike inngrepene som er gjort for å etablere infrastrukturen. Noen plasser er det andre grunnforhold enn bare morene, og man må ta hensyn til fjell og etablering av skjæringer. Står man i en slik situasjon, kan det være hensiktsmessig å gjøre dreneringstiltak mens det enda er mulig å få tilkomst med maskinelt utstyr lengre opp i sideterrenget og sikre at man kan avskjære mest mulig vann på forhånd og unngå at dette kommer ned som overflatevann eller iskjøving, som igjen vil bli et problem på sikt for skjæringer og sidegrøfter / linjegrøfter. På en annen side kan dette være ei unødvendig fordyrende løsning som man velger bort i prosjekteringsfasen, slik at man kan kutte en unødvendig kostnad. Sett i ettertid tydeliggjøres behovet for å ha gjort gode kartlegginger av vann i sideterrenget og tiltak, da er det for seint og man må gå på fordyrende og kanskje minimumsløsninger.

#### ***Sidegrøfter og linjegrøfter***

Ut fra hva Bane NOR krever i sitt regelverk er kan man være noe betenkt med om dette er den rette veien å gå. Bakgrunnen for denne påstanden er det som tidligere har vært inne på i kapittel 5, med underkapittel. Hvor det her påpekes viktigheten av at man klarer å få grøfter om kan holde på strømmingen selv i kalde perioder. Her er det presisert at grunne og brede grøfter er mer utsatt for iskjøving enn hva dype og smale grøfter er. På bakgrunn av dette må man tilstrebe å finne et alternativ som gjør at man kan opprettholde god minstevannføring i sidegrøftene er det er tilsig av overflatevann, samtidig som man unngår iskjøving. Dette tenker kan man løse ved å lage drenerende lag før man kommer til grøftekanten, slik at man har gode drenerende masser i grøfteveggen som leder ut mot terrenget. Figuren nedenfor prøver å illustrere at det er lagt ut pukklag som gjør at det blir drenering og sikrer avskjærte vannveier mot å kunne renne fritt nedover til linjegrøfta. Her er det for å avskjære og unngå at man får iskjøving i grøfter og bekker som er nærliggende infrastruktur. Se skisse i Figur 22 nedenfor.



Figur 22. Avskjærende tiltak for å få vann ned i linjegrøft – skisse Jon-Inge Fæster

### **Konklusjon av drøfting 7.3.3**

På bakgrunn av det som tas frem i drøftingen i kapittel 7.3.3 kommer det tydelig frem at begge grøftetyperne har effekt og er viktige for å holde kontroll på vann som er uønsket inn til vei- og jernbanenettet. Det er jo av miljø og vernehensyn i dag generelt ønsket at man skal ha minst mulig inngrep i tilknytning til etablering av infrastruktur. Noe av de inngrepene som gjøres er nødvendige og ja, man skal ha respekt for disse bestemmelsene.

Ser man på Ofotbanen er det mange slike inngrep som er gjort i tilknytning til drenering av sideterreng. Og dette er tiltak som er antatt å være like gammel som fra da banen ble bygd. Disse tidligere tiltakene er viktig å kartlegge og ta lærdom av hvordan de var utført. Siden dette er enkle metoder som i dag er glemt og man kjører ut store maskiner.

Videre er det også viktig at sidegrøftene og linjegrøftene er utformet med hensyn på å kunne ta imot overflatevann og grunnvannsstrømmer som illustrert i Figur 13. Vannets kretsløp og de hydrologiske prosesser noe som Figur 22 prøver å illustrere prinsippene rundt, slik at det er et beskyttende pukklag som skal gjøre det mulig å lede vann gjennom selv på vinterstid.

Konklusjonen er ganske klar her, hvor det påpekes at det er viktig å ha kontroll på allerede eksisterende tiltak som har virket og vedlikeholde disse, samtidig som man må benytte løsninger som sikrer vanntransport i sidegrøfter og linjegrøfter, siden opprettholdelse av vanntransporten reduserer iskjøvinga.



## 7.4 Isolering av skjæringer og etablering av isnett

### 7.4.1 Isolering av skjæringer og tunneller med PE-skum

Dette tiltaket er et kjent tiltak for å sikre seg mot vann og frost i tunneller. Det samme tiltaket kan benyttes langs jernbane og er beskrevet i masteroppgaven; Iskjøving i grøfter og skjæringer langs veg og jernbane (Liereng, 2016). Dette utføres med at man benytter heldekkende PE-skum plater som settes med noe avstand fra skjæringen og fører vannet frostfritt ned til grøft, dreneringssystem eller stikkrenne. Dette har man sett på Ofofbanen vil være med å hindre iskjøving i noen grad. Utfordringen oppstår når dreneringen ikke klarer å transportere vekk vannet i tunellene, da oppstår det iskjøving på tunellveggene og i linjegrøftene. Dette kan man se på figurene nedenfor som er bilder tatt på befaring for å lokalisere problemområder på Ofofbanen. Dette i kombinasjon med jobben som byggeleder og denne masteroppgaven.



Figur 23. Ikke fungerende isolering av tunnellprofil på Ofofbanen. Foto: Bane NOR v/Jon-Inge Fæster

Det kan se ut til at dreneringen som ligger langs linja ikke klare å svelge unna tilført vann, eller at den ligger for grunt og det oppstår iskjøving. Dette fokuserer oppgaven videre på hvordan man kan løse det i en driftsfase, samtidig som det er ei permanent løsning som er driftssikker og kan nyttes på flere plasser enn kun den aktuelle banestrekningen. Siden det i kapittel 7.3 har vært fokusert på hvordan man kan lede vekk vannet, så må fokuset nå videre være hva som kan tine det vannet som ikke kan ledes vekk. Dette for å unngå iskjøving samtidig som man har metoder som kan forebygge denne problematikken langs vei- og jernbaner. Se Figur 24 nedenfor, her ser man tydelig at iskjøvingen har fått bygge seg opp i linjegrøfta og nærmer seg skinnestrengen, som følge av at vann har fått komme ut gjennom sår og overlappinger i PE-skum platene. På den aktuelle plassen er det etablert varmekabelanlegg i dreneringen, varmekabelanlegget ble undersøkt og man kunne kjenne at det var varme i kablene. I og med at det allerede er etablert forebyggende tiltak, kan det da vurderes om dette er korrekt tiltak og om kablene avgir tilstrekkelig varme i forhold til effekten så må være tilstede for å tine isen.



*Figur 24. Iskjøving som følge av at grøft og drenering ikke tar unna, og skader på PE-skum  
Foto: Bane NOR v/Jon-Inge Fæster*



## 7.4.2 Etablere isnett

Det å etablere isnett i skjæringer er også ei løsning som har vært nyttet noen steder. Dette gir da en slags «gardin» som gjør at vannet får renne bak isen som bygger seg opp og ledes videre ned bak skjæringene. Løsningen krever noe plass, slik at man kan kanskje ikke nytte seg av denne løsningen på de plassene det er trange profil i skjæringene. Figur 25 nedenfor viser prinsippet hvordan det blir seende ut med isnett. Dette vil samtidig gi en armerende effekt på isen, siden den fester seg til nettet.

Et annet aspekt ved å benytte isnett gjør at vannet strømmer fritt bak «isgardinen» og vil bli ledet ned til linjegrøftene og derfra transporteres videre. Dette er da problemene med iskjøving oppstår siden linjegrøftene og stikkrennen har en tendens til å fryse igjen. Noe som igjen gjør at å ha kontroll på vannføringene og at linjegrøfter og stikkrenner er åpne er viktig for at denne løsningen skal kunne fungere i den større sammenhengen som er hensikten med å etablere isnett.

Har man ikke kontroll på iskjøvinga som vil oppstå på slike steder, og særlig der det er trange profil vil man da kunne få redusert profil og det vil føre til konsekvenser for veg- og jernbane.



Figur 25. Steinsprangnett / isnett (Pretec AS, 2022)



### **7.4.3 Drøfting av løsning mellom isolering og etablering av isnett**

#### ***Isolering av skjæringer og tunneller med PE-skum***

Ut fra det som er har erfart og sett på Ofofbanen vil påstanden her være at dette er ei løsning som gir god effekt på kort sikt, siden man får kontroll på vannet og sikrer at man ikke får iskjøving i tunneller og skjæringsprofiler. Det som synliggjøres ved å ha vært på befaring på vinterstid er at man må være sikker på at man har god nok avrenning og eventuell oppvarming i grunnen som sikrer at vannet transporteres vekk og at man ikke får noen form for oppsamling av vann i sålen og øvrig overbygning på de aktuelle stedene. Så en ting man bør ha et fokus på når det gjelder problematikken her er to ting:

- 1) Gjeldende grunnforhold og dreneringskapasitet
- 2) Oppvarming av drenering

Det som er opplistet ovenfor må være etablerte grunnprinsipper som er på plass før det monteres PE-skum, som deretter sprøytes, siden vannet da kan ende opp med å ta andre vannveier og man får samme problem på en litt annen plass nærliggende der problemet allerede er. Eller at man ikke har kontroll på dreneringen sålen, som gjør at vannet oppstues i sålen og det kommer opp gjennom overbygningen og fryser. Løsningen er ei god løsning, men det forutsetter de kriteriene som er kommet frem i drøftinga er ivaretatt for å unngå at problemet skal slå ut et annet sted der det nylig er gjort tiltak.

#### ***Etablering av isnett***

Denne løsninga har man benyttet noen plasser på Ofofbanen og man ser at det gir en effekt. Nettet er med på å danne en skjerm som nevnt ovenfor. Denne løsninga er ei god løsning, men den krever noe mer vedlikehold enn skjæringer som er kledd med PE-skum og eventuelt sprøytet med betong. Her vil man også være nødt til å gjøre driftsmessige tiltak med å hugge ned is, det vil man slippe i større grad ved bruk av PE skum.

#### ***Konklusjon av drøfting 7.4.3***

Her kan det konkluderes med at begge løsningene er løsninger som er med på å redusere problemet med iskjøving, samtidig som man sikrer at vannet får bli ledet ned bak PE-skum eller «isgardin». Dette gjør at det er redusert behov for driftsmessige tiltak som nedhugging av is. Men man kommer ikke helt bort fra dette. Bruken av isnett må tilpasses sted og situasjon.

## **8 Mobile og permanente løsninger for tining av linjegrøfter, stikkrenner og bekkeløp**

I dette kapitlet er fokuset å finne en løsning som gjør at man kan eliminere problemene som har vært fokusert på tidligere i oppgaven, og sikre at avrenning er opprettholdt. Samt at det er fornuftige tiltak som sikrer at vannveier holdes åpen i et arktisk og sub-arktisk klima. Det er nå hensiktsmessig å svare ut de største delene gitt i selve oppgaveteksten fra veileder, de tidligere kapitlene i oppgaven har vært tatt med siden det er relevant for å forstå problemet man står ovenfor og har til hensikt å løse. Mye av gjennomgangen av andres verk og annen litteratur har tilført mye lærdom som videre er relevant i oppgaven. Samt det som Bane NOR har kunne stillet med av relevante rapporter, som har vært til intern bruk, disse finnes som vedlegg til oppgaven iht. vedleggsliste.

### **8.1 Kartlegge, vurdere og systematisere aktuelle klimatiske parametere**

Oftobanen og Nordlandsbanen ligger begge i sub-arktiske strøk og utfordringene knyttet til iskjøving i skjæringer og linjegrøfter er høyaktuelle. Dette er noe som har variert fra år til år i omfang, samt avhengig av nedbør både før, under og etter vinteren. Det som er en av faktorene i denne sammenhengen er når på året nedbøren kommer og hvilket utslag det vil gi for de aktuelle banestrekningene. Som man kan se fra tidligere i oppgaven, så er nedbør en utslagsgivende faktor for hvor man får mest vanntransport. Herunder om vannet opptrer som overflatevann eller grunnvann som kommer ut i linjegrøftene og danner iskjøving, som igjen blir et driftsmessig problem. De faktorene som tas frem her er en utdypning av teorien om klima som er beskrevet i kapittel 3.

De klimatiske faktorene som er utslagsgivende for å finne ei god løsning er da:

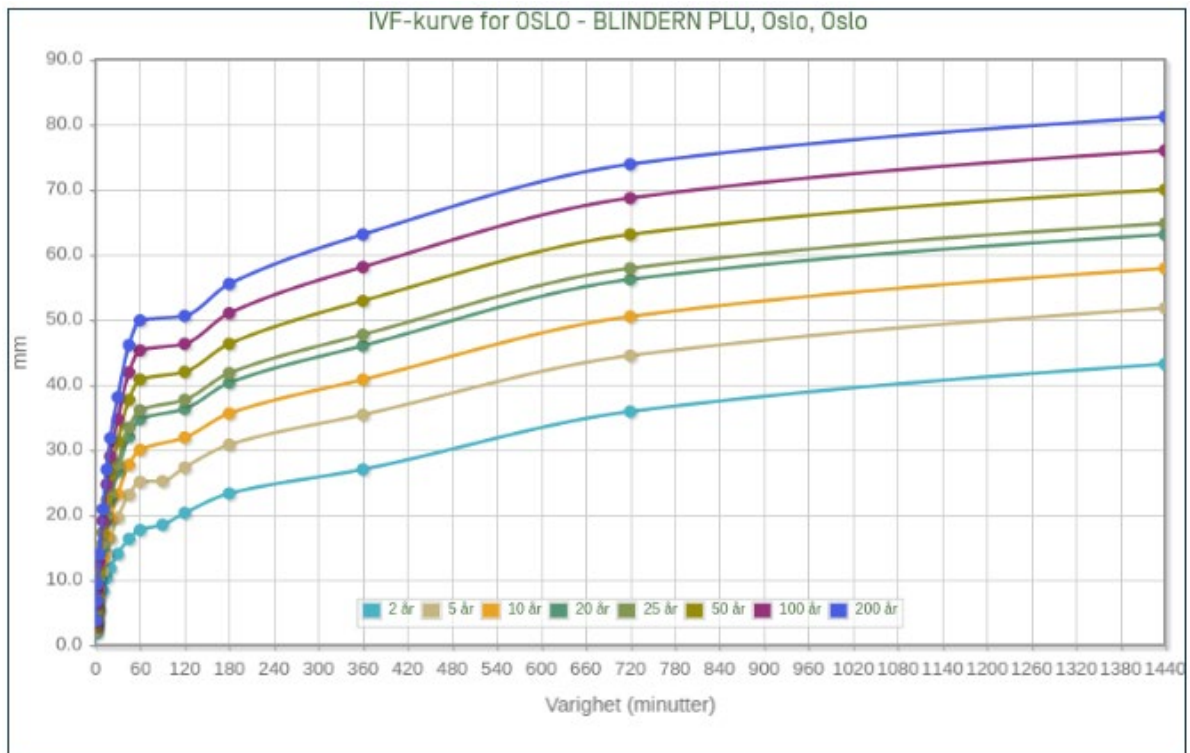
- 1) Dimensjonerende nedbørmengde - returperiode
- 2) Avrenningskoeffisient
- 3) Temperatur

### 8.1.1 Dimensjonerende nedbørsmengde

Dimensjonerende nedbørsmengde baserer seg på statistikk for nedbør, denne brukes i planlegging og dimensjonering av ulike typer infrastruktur som skal håndtere overvann. Her er man kjent med at dette baserer seg på Intensitet, Varighet og Frekvens (IVF). Ut fra dette lages det såkalte IVF-kurver. Disse er til hjelp for å beskrive nedbørintensitet, som da kan ha ulike varigheter og kan da forekomme med en viss hyppighet (Store Norske Leksikon, 2022).

Her kommer da det som man kjenner til som returperiode, som også omtales som gjentakelsesintervaller. De verdiene disse intervallene gir vil da være med på å gi estimater over forventet nedbørintensitet som kan forventes i løpet av en tiårsperiode.

Et eksempel på IVF-Kurve vises i Figur 26 nedenfor.



Figur 26. IVF-Kurve for Oslo-Blindern (Store Norske Leksikon, 2022)

### 8.1.2 Avrenningskoeffisient

Avrenningskoeffisienten er en angivelse av forholdet mellom avrenning fra et område og nedbøren over samme område (Norsk Vann, 2014). Dette er med på å beskrive volum- og spissavrenning fra både store avløpsfelt og urbane felt, samt små flater som parkeringsplasser og tak. Avrenningskoeffisienten er avhengig av overflatens permeabilitet og beskaffenhet, fallforhold, nedbørintensitet og nedbørsvarehet (Norsk Vann, 2014).

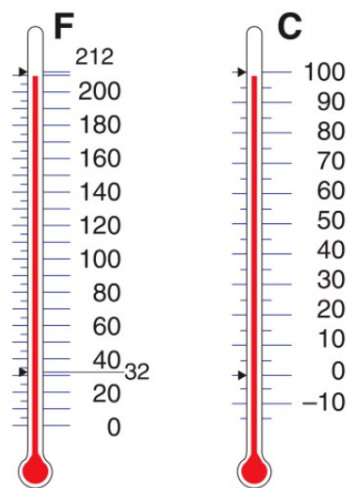
### 8.1.3 Temperatur og temperaturregistrering

#### Temperatur

Temperatur er brukt i fysikken og i dagliglivet, hvor dette er et mål for hvor varmt og kaldt det er. Mer presist er temperatur en egenskap ved en gjenstand som forteller hvilken vei energi vil overføres når gjenstanden er i kontakt med en annen gjenstand. Energi overføres fra den gjenstanden som har høyest temperatur (Store Norske Leksikon, 2022).

Dette er essensielt for å finne en løsning på å tine is, med tanke på dens termiske egenskaper som man skal komme med ei løsning på i dette kapitlet.

Vannets frysepunkt ligger ved 0°C og koker ved 100°C. I vitenskapelig arbeid brukes kelvin (K) som målenhet. På kelvin skalaen angis vannets trippelpunkt til 273,16 K (Store Norske Leksikon, 2022).



Figur 27. Illustrasjon av temperaturmål (Store Norske Leksikon, 2022)

### **Temperaturregistrering og klimadata**

Ved å kartlegge temperaturene over tid får man en tidlig varslings på hva som er på vei til å skje i forhold til værprognoser og at det er i ferd med å nå frysepunktet. Dette er vesentlig for å kunne sette inn effektive tiltak på steder man vet det er behov for å gjøre noe som hindrer at isen får grep om linjegrøfter og stikkrenner. Her kommer man da inn på bruk av instrumentering som kan nyttes i flere faser av prosessene. Dette er også noe som kan brukes i planlegging av nye tiltak og til justering av eksisterende tiltak. Sammen med temperaturregistrering er det hensiktsmessig å kombinere det mot øvrige klimadata som er utslagsgivende. Det benyttes noe registrering av temperatur og klima i nærhet stil sporveksler for å kjøre sporvekselvarmen til Bane NOR.



*Figur 28. Illustrasjon instrumentering (Siemens, 2022)*

## 8.2 Kartlegge, vurdere og systematisere aktuelle tekniske løsninger

### 8.2.1 Kartlegging av løsninger

Basert på den kjennskap som man besitter knyttet til drift av Ofotbanen og Nordlandsbanen er det ulike løsninger som benyttes, siden det er ulik tilgang på ulike ressurser. Ofotbanen er ei elektrifisert banestrekning og langs denne strekningen ligger det til rette for å hente ut strøm flere steder langs jernbanelinja. Muligheten for å hente ut strøm langs Nordlandsbanen er noe mer begrenset, siden det ikke er ei elektrifisert banestrekning, det er i all hovedsak strøm i nær tilknytning til stasjoner på Nordlandsbanen, og færre eller ingen strømtilgang langs strekningen (fri linje). På Nordlandsbanen nyttes det i dag steam for det meste til tining. Det er etablert nedføringsrør for å få ført inn steamslangen til stikkrenna. Se Figur 29 nedenfor som viser prinsippet rundt dette. Gjennom rapporten etter prosjektet som Statens vegvesen gjennomførte i Narvik i samarbeid med HiN/UiT har det blitt gitt kjennskap til at det finnes et væskebårent system som også er ei mulig løsning (Sveen, IGS-tining - utprøving av tre typer innløpsrør, 2015).



Figur 29. Svillelokk / tredekke over innløp til stikkrenne med føringsrør for steamslange Foto: Bane NOR

## 8.2.2 Vurdering av løsninger

Før det har vært forsøkt å gjennomføre beregninger av løsninger, har det vært tatt i betraktning de praktiske erfaringer og tilnærminger til faget. Dette gir da et annet fokus og ei annen tilnærming til de løsninger og prinsipper som finnes. Det kan se ut til at varmekabel som ei løsning som kun gir effekt i «nuet» og ikke har noen form for treghet i form av varmeavgivelse etter at systemet er avslått. Mens ser man på et væskebårent system, kan man vurdere hvilke typer væsker man nytter, slik at væskene har gode termiske egenskaper som samtidig gir en termisk treghet og ettergir varme uten at man trenger å tilføre unødvendig mye strøm eller varme fra annen kilde.

### **Systematisering av løsninger**

Her listes det opp hvilke løsninger som er ansett til å være de tekniske løsningene som vil være relevante for bruk til tining og isfjerning. Samtidig vil man se dypere inn i løsningene i etterfølgende kapitler:

- 1) Elektriske varmekabler
- 2) Vann/væske systemer
  - a. Elektrisk
  - b. Fossil
- 3) Steam
- 4) Manuell isrensk

### **Elektriske varmekabler**

Elektriske varmekabler kan ha ulike bruksområder som er ganske vid. Den kan benyttes til boligoppvarming, frostsikring og snøsmelting. Disse finnes i ulike typer og har ulike egenskaper. Noen er selvregulerende, mens andre krever styring. Dette gjør at man må vite hva man trenger i de ulike tilfellene og hvilke styringer som er hensiktsmessige for å få kabelens optimale kapasitet utnyttet. Det finnes også løsninger som mobile tinematter. Dette er ment til bruk knyttet til tining av frossen bakke (Nexans, 2015-2017).

Selvbegrensende varmekabel er mest brukt til frostsikring av rørinstallasjoner, for å hindre at vannet fryser, men denne vil slå seg av selv på bestemte temperaturer for å forhindre at det blir varmtvann i rørene (Nexans, 2015-2017). Dette er mest brukt innendørs og noe utendørs på åpne rørføringer som er isolerte.



Figur 30. Nexans varmekabelmatte (Nexans, 2015-2017)

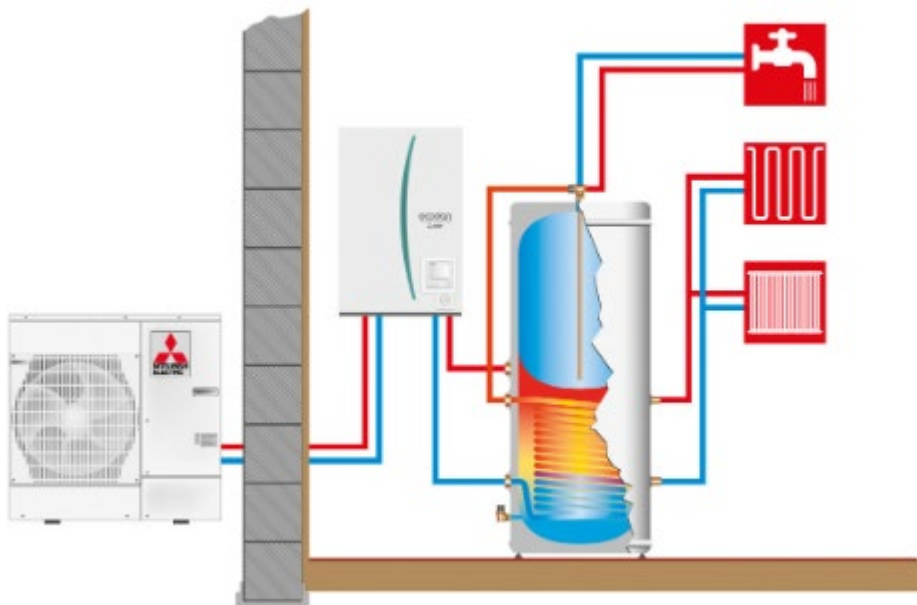
## Vann/væske systemer

Det har i mange år vært brukt vann/væske systemer til oppvarming av boliger og større bygninger. Her har det i starten vært benyttet oljekjeler eller andre tilsvarende løsninger. For å gi varmekilde til å varme opp vann som sirkulerer i anleggene. Anleggene har endret seg de siste årene og det har blitt mer vanlig med varmepumpeløsninger, som henter varme fra jord eller bergvarme og overfører den til varmeveksler som videre overfører den til varmesløyfene eller radiatorer som avgir varme inn i boligen. Anleggene har vært delt inn i høytemperatur og lavtemperatur anlegg.

Dette er anlegg som kan ha ulike energikilder, hvor det kan benyttes elektriske eller fossile kilder til oppvarming av kjel eller varmepumpe.

Se Figur 31 for eksempel på system med luft til væske system som er et elektrisk system. En væske til væske pumpe er bygget opp etter tilsvarende prinsipp, men utedelen er da gravd ned i energibrønn i bakken.

Det som er behovet for tining av linjegrøfter og stikkrenner langs veg- og jernbane er nødvendigvis ikke ei varmepumpe, men prinsippene rundt oppvarming av væskene som skal strømme i tinesystemene.



Figur 31. Eksempel på vann til luft varmepumpe (cmcvarme, 2022)



## **Steam**

Steam er kjent fra fysikken som vanndamp, dette er når vannet går over fra å være fast og til å bli damp. Vanndampen benyttes til å kontrollert varme opp is som ønskes tinet ved hjelp av fyrkjele som ikke har samme form for regulering og instrumentering som er på IGS-systemene (Sveen, IGS-tining - utprøving av tre typer innløpsrør, 2015). Dette gjør at man er nødt til å slippe ut vann, og ender opp med å bruke mye energi for å varme opp vann som direkte slippes ut når man steamer den aktuelle stikkrenna og linjegrøfta. Dette vil da kreve at man har tilgjengelig vann med seg for å fylle etter (Statens Vegvesen, 2017).



*Figur 32. Tineaggeregat for steam*

## **Manuell isrensk**

Dette er den gammeldagse manuelle metoden hvor man benytter maskiner eller mannskap for å foreta manuell isrensk der dette har vært behøvelig. Metoden er tidkrevende og kan være noe risikofylt som følge av at personell kan bli skadet av nedfallene isblokker. Et annet alternativ er å benytte seg av gravemaskin med pigghammer eller rippertann, denne metoden er også manuell og tidkrevende.



*Figur 33. Rippertann til gravemaskin (NASTA, 2022)*

## 8.3 Eksisterende teknologi som kan nyttes

### 8.3.1 Mobile løsninger

I dag finnes det systemer som er rigget som tilhengere som har alt-i-ett løsning. Disse tilhengeren brukes i stor grad til oppvarming av byggeplasser og tining av grunn der man ønsker å gjennomføre arbeider på vinterstid i arktiske og sub-arktiske strøk, tidligere i masteroppgaven omtalt som IGS-system (Sveen, IGS-tining - utprøving av tre typer innløpsrør, 2015).

Dette er ei løsning som er interessant å se nærmere og utvikle til noe eget som kan nyttes på veg og jernbane. Løsninga er allerede prøvd og har vist seg til å ha effekt, sett i sammenheng må behovet på de ulike lokasjonene vurderes for valg av løsning. Et lettere system enn tilhengermonterte systemer som er trukket frem i kapitlet må i dag kunne være mulig å lage og vil øke mobiliteten betydelig.

#### ***El-kassett til oppvarming og sirkulering av væskemedium (elektrisk)***

De mobile løsningene som er på markedet i dag, er basert på væske-til-væske prinsippet. Dette systemet er det kun et væskemedium som varmes opp rundt en el-kjel / el-kassett. Så dette må ikke sammenblandes med varmepumpeprinsippet som illustrert i Figur 31, som mange tenker på når man snakker om vannbårne systemer. Se Figur 34 nedenfor som viser eksempel på mobil el-kassett (Roth, 2022).



Figur 34. Mobil el-kassett fra Roth (Roth, 2022)

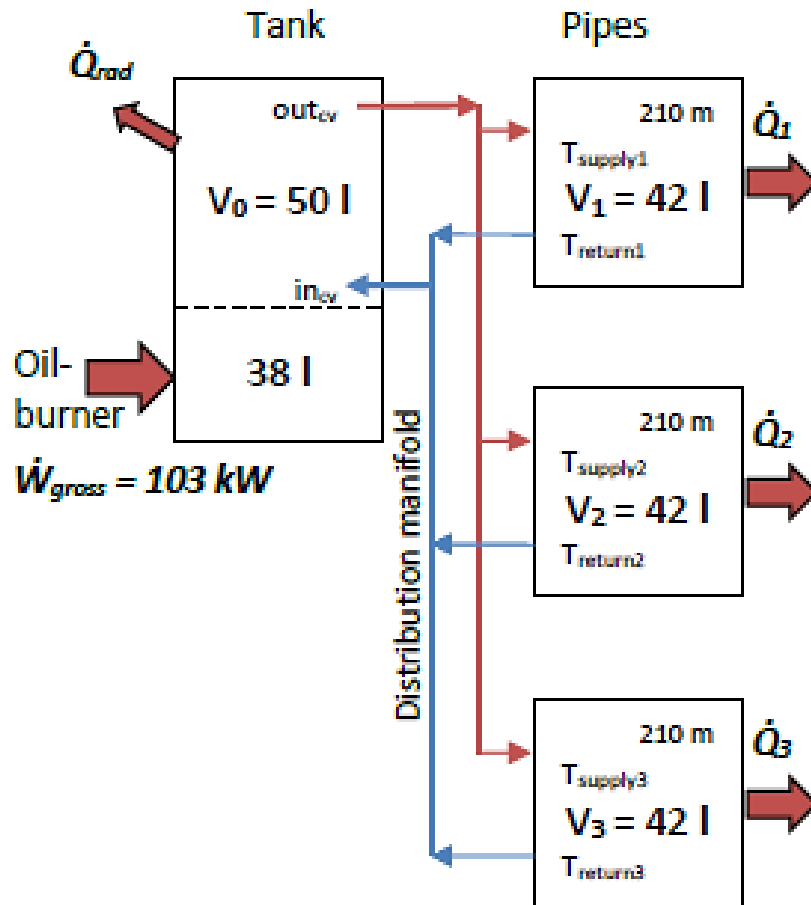
Systemet med el-kassett er et komplett og ferdigkoblet system som har både ekspansjonskar og pumper. Dette systemet er i utgangspunktet tenkt nytt til midlertidig oppvarming av bolighus i byggefase før varmepumpe eller annen varmekilde er installert inn i huset. Når byggefasen nærmer seg slutten blir el-kassetten tatt ut og flyttet til neste prosjekt, derfor kan det sees på som ei mobil løsning der man har strømkilde. For å gjøre anlegget mobilt kan varmsløyfer føres frem til teknisk hus, hvor da samlestock og fordelere installeres. Huset kan være i tilknytning til tunnel, signalkiosk eller pausebrakke. Her kan man da koble til el-kassetten ved bruk av hurtigkoblinger, slik at man ikke mister væske fra systemet ved til og fra kobling. El-kassetten kan reguleres slik at konstant utgående temperatur fra fordeler oppnås. Dette gjør at man kan være sikker på at væskemediet som skal sirkulere i varmsløyfer i linjegrøftene eller stikkrennene holder en fast temperatur så lenge det er strøm tilgjengelig. Dette kan sees på som ei løsning som vil kunne gi mer varmeeffekt ut i grøfta enn man får av dagens systemer hvor man benytter strøm til varmekabel, som har et relativt høyt forbruk. Samtidig kan det med noe kreativitet være med å gjøre løsningene mer mobil for bruk på de stedene der jernbanelinja har strømtilgang.



*Figur 35. Hurtigkobling ISO hunn og han for hydraulikk (Felleskjøpet, 2022)*

### Oljebrenner med mobil løsning og sirkulering av væskemedium (Fossil)

En oljebrenner er ikke avhengig av en strømkilde i like stor grad som en el-kassett er. Der kan man ved behov lage en innretning som gjør at man får med seg både brenner og aggregat til å drive de nødvendige pumper og systemer i en og samme pakke. Se Figur 36 for ei prinsippskisse av oppbygging av både oljebrenner og rørsløyfer.



Figur 36. Hovedkomponenter i en mobil løsning  
(Sveen, Heat transfer in hydronic based systems adapted for artificial thawing of frozen ground, 2013)

Løsninga som vises, synliggjør at det er en oljebrenner og en tank med et volum av væske. Dette varmes opp fra brenneren og man vil i dette eksempelet ha en sirkulasjon ut til tre varmeavgivere / varmesløyfer. I eksempelet har brenneren og tanken som er mobil en kapasitet på  $88 \text{ l}$  væske. Mens sløyfene som skal ha utskiftning av væske har hver en kapasitet på  $42 \text{ l}$  hver. Dette vil da bli distribuert fra brenner ved hjelp av pumpe som pumper dette gjennom en samlestock og sirkulere væske i systemet. Denne løsninga gjør at man kan forhåndsmontere varmesløyfene på plasser det er behov for å ha dette etablert før ei eventuell gjenfrysning, slik at man kan dra ut med varmeren og koble på med hurtigkoblinger. Dette gjør da at varmeren ikke trenger å være permanent installert der, men bare for de dagen som behovet er.

## Elektrisk varmekabel

Dette er i utgangspunktet ei permanent løsning hvor varmekablene er forhåndsmontert og stikker frem i dagen, men løsningen er i og for seg mobil. Grunnen til at dette sees på som ei mobil løsning er at det benyttes aggregat eller annen strømkilde til å levere energi. Dette gjør at man kan sikre åpne vannveier, ved at driftspersonell drar ut for å kjøre i gang aggregatet som da besørger strøm og holder vannveiene i stikkrennen kan holdes åpen. Siden det allerede er etablert varmekabel, kan man da sette ut et aggregat som strømkilde. Da gir aggregatet strøm til den aktuelle kabelen og man kan forlate stedet mens varmekabelen gjør jobben. Eneste er at dette ikke er tilrettelagt pr nå for å kunne smartstyres mot noen form for klimadata eller temperaturregulering (TESS, 2022).

Se Figur 37 nedenfor illustrasjon av TESS sitt tinesystem, også kjent som TFSI system under deres markedsføring.



Figur 37. Utsnitt av brosjyre fra TESS (Statens Vegvesen, 2017)

### **Steam (fossil) – Ad Hoc løsning**

Steam er den siste løsningen som nyttes. Dette har hittil vært den enerådende løsningen for tining av stikkrenner de siste tiårene. Metoden krever at man har tilgjengelig en dampgenerator som videre fører dampen gjennom en slange som er ført inn i stikkrenna. Her er det da dampen som tiner isen. Den største utfordringen knyttet til bruk av steam er at det kan være vanskelig å finne åpningen til stikkrenna, særlig om stikkrenna er dekket av vann og is. Det kan være utfordrende å føre slangen gjennom dersom stikkrenna er dårlig, siden det kan føre til at slangen stopper opp mot kanter og andre hindringer inne i renna. Her er man er nødt til å fysisk være til stede på plassen og jobbe med steamslangen, slik at den blir ført innover etter hvert som det tines. Dette er definert som en av de tradisjonelle metodene, og en metode som tar noe lengre tid ut fra hva Statens Vegvesen har oppgitt i sin rapport (Statens Vegvesen, 2017).

I Figur 38 ser man et eksempel på hvor det er pågående arbeid med å gjøre tining med steam.



*Figur 38. Tining med steam (Statens Vegvesen, 2017)*



### 8.3.2 Smartstyring av tinesystemer mot klimadata

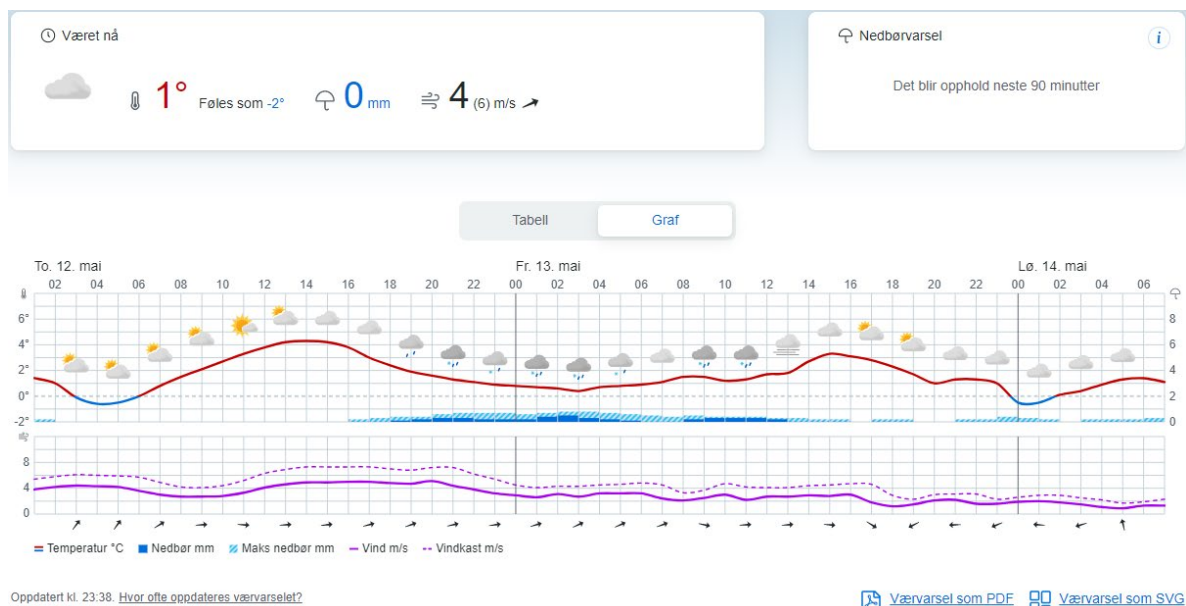
For å gjøre tinesystemene som er beskrevet i tidligere kapitler komplette, må man utvikle tinesystemene til å være smarte og innovative. Her kommer viktigheten av registrering av temperatur og klimadata og nærliggende værstasjoner som allerede finnes. Siden dette vil gi gode og korrekte parametere til en smartstyring av de ulike tineanlggene.

Ei smartstyring av anleggene vil kunne sikre at systemet er i drift når det er et reelt behov, og man kan da se på alternative energikilder, siden det vil være energibesparende å ha automatisk start og stopp på tinesystemene når temperaturene ligger over frysepunktet og det ikke er behov for tining, men supplerende oppvarming

Ved å installere smartstyring og instrumentering vil det kun være kjørt nødvendig oppvarming basert på at tineanlegget vil kunne kombinerer klimadata og data fra instrumentering i anlegget. Som da gjør at anlegget selv føler på væsketemperatur som er i rør og kjeler, er denne for lav etter gitte kriterier og gjeldende klimadata, vil man da starte opp anlegget for å forebygge iskjøving der det er satt opp.

Her kommer man da inn på at det er flere faktorer som påvirker klimaet på de ulike geografiske lokasjonene. Dette er data som man har samlet god statistikk over og kjenner til gjennom flere år, men i dag har meteorologisk institutt gode instrumenter for å lage gode væreprognoser, og det er disse man må kunne samkjøre mot instrumentering i apparatene ute.

Et eksempel på dette er langtidsvarselet som yr.no har, hvor det er mulig å ta høyde for det som skjer i løpet av de neste 12-24 timene (yr.no, 2022). Se Figur 39 nedenfor. Denne viser en graf med flere verdier, som gir oss de inngangsparametere som er viktig for drift av en slik smartstyring. Det er også viktig å benytte seg av hyllevarer i høyest mulig grad, slik at man unngår unødvendig dyre løsninger som ikke snakker med hverandre.



Figur 39. Illustrasjon av nødvendige klimadata for smartstyring (yr.no, 2022)



## 8.4 Driftsvennlighet, vedlikehold, økonomi og virkningsgrad

### 8.4.1 Driftsvennlighet

Tineanlegg som etableres som permanente og mobile løsninger må være enkle å drifte fra driftspersonell. Dette kan ikke være avanserte systemer som krever høy grad av kunnskap for å starte opp og overvåke. Om man får anlegg som er avanserte og komplekse, vil det enten bli kostbart å installere eller man velger det bort på grunn av at kravet til kompetanse blir for stort.

### 8.4.2 Vedlikehold

Anleggene må være enkle vedlikeholde, noe som man enklest får til ved å benytte hyllevarer i komponentene og ikke velge dyre spesialløsninger som må lages kun for formålet.

### 8.4.3 Økonomi

Økonomien i et slikt anlegg vil være varierende ut fra plassering og adkomst. Både om man skulle valgt å gjøre tining manuelt, eller om man velger å sette opp et automatisert anlegg. Siden begge deler har sin kostnad. Men i stor grad vil man uten konkrete tall kunne teoretisk sett tjene inn anlegget med tanke på hva det koster å sende ut driftslagene til jernbanen for å gjøre utbedringer. Samtidig som man sikrer at man ikke utsetter personell for fare som kan være overhengende, særlig på Nordlandsbanen der man har tette fyllinger som kan rase ut.

### 8.4.4 Virkningsgrad

#### *Elektrisk*

Det man kjenner til i dag er det nødvendige effektbehovet som må tilføres for at varmekablene skal kunne gi ønsket effekt, ut fra produsenten Nexans egen håndbok (Nexans, 2015-2017). Etter å ha sett i håndboka er det maks anbefalt varmekabelstyrke til ulike bruk og i dette tilfellet er det oppgitt til 40 W/m renne, maks 20 W/m varmekabel.

I Figur 40 ser man hvilke begrensninger dette gir. Og varmekabelen bruker oppgitt effekt strøm for å avgi oppgitt effekt ut. Så det vil da gi et 1-1 forbruk. Siden det er steinmaterialer i all hovedsak som er nærliggende isen så gir dette et stort oppvarmingsbehov for å kunne tine, samtidig som at smeltevannet som begynner å strømme over har en særdeles kjølede effekt. Ut fra oppgitte verdier i Figur 40 kan man vurdere om dette blir for lite effekt sett opp mot utfordringene som er tatt opp i tidligere kapitler angående iskjøving i tunneller på Ofotbanen.

Begrensninger	
Metallrenner	Maks. 50 W/m renne, maks. 25 W/m varmekabel
Trerrenner	Maks. 36 W/m renne, maks. 18 W/m varmekabel
Plastrenner	Maks. 40 W/m renne, maks. 20 W/m varmekabel
Brennbart underlag	Maks. 18 W/m varmekabel
Ingen effektbegrensninger for selvbegrensende varmekabler type DEFROST PIPE.	

Figur 40. Effektbegrensninger varmekabler

## Vannbårent

Et vannbårent anlegg oppfører seg noe annerledes enn et elektrisk anlegg, siden man har benytter oppvarmet væskemedium til å strøkke gjennom en tur og en retursløyfe for å avgi varme. Dette gjør at man har en jevn strøm og ei treghet i væskene. Her kan man også velge ulike energikilder som gir flere muligheter enn hva strøm gir. Siden som det er nevnt i kapittel 8.3.1 er det et væskemedium som er oppvarmet i en tank, ved hjelp av en varmekilde. Denne væska holder en gitt temperatur for at det skal være effektivt. Varmekilden trenger ikke å stå på konstant, siden tanken er et reservoar som ei sirkulasjonspumpe henter væske fra og pumper dette rundt i anlegget. Når man oppnår nedre temperatur, vil da varmekilden starte opp og gi varme til at ønsket temperatur er oppnådd, for så å stenge ned inntil det er behov for oppvarming igjen.

Dette anlegget vil ha en begrenset mengde vann som skal varmes opp i et lukket system, og anlegget kan instrumenteres slik at det er øvre og nedre temperaturer som er gitt inn i anlegget for å sikre at kjølingen ikke blir for stor på varmesløyfene som ligger i grøfta eller gjennom stikkrenna. Dette er ikke mulig i et steam anlegg, siden man bare pøser ut vannet fra steamslangen. Det er synliggjort i en av rapportene hvordan IGS-systemene oppfører seg under forsøkene. Her fremkommer det at turtemperatur ut til varmesløyfene ligger på 108°C, mens returtemperatur til fyrkjel ligger på 88°C (Sveen, Heat transfer in hydronic based systems adapted for artificial thawing of frozen ground, 2013). Ut fra denne teoretiske beregningen ser man at det er særdeles effektivt.



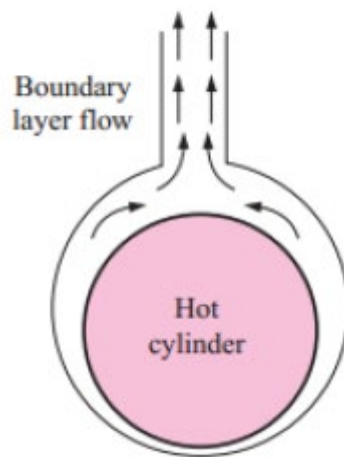
Figur 41. Eksempel på sløyfelegging fra gatevarme som prinsipp, permanent system (LK Systems AS, 2022)

I Figur 41 ovenfor ser man et eksempel på hvordan flere sløyfer ligger inntil hverandre og sirkulerer i grunnen. Dette er fra et permanent gatevarmesystem. Disse systemene har behovsstyrt drift for å være energieffektive (LK Systems AS, 2022).

Kombinasjoner mellom de ulike parametere og styringer gir en effekt, men strømnningene i anlegget må kontrolleres. Dette for at strømnings hastigheten i anlegget er også en del av de parametere som er med på å gi anlegget optimal virkningsgrad.

Ved bruk av rør, vil man få et større areal som avgir varme enn hva man får ved bruk av varmekabel. Samtidig får man en annen effekt ved bruk av rør som ligger inntil hverandre. Denne effekten er konveksjon mellom rørene, dette bidrar også til oppvarming av omkringliggende luft i tillegg til den direkte varmen som oppnås. Dette vil ikke en varmekabel gi i samme grad som to eller flere rør i sløyfe gir. Samtidig er det konstant sirkulasjon av vannet, med tilnærmet konstant temperatur. Disse parameterne får man ikke med en varmekabel. Teoretisk sett vil vannbårne systemer gi mer effekt pr meter rør siden det er to eller flere parallelle rør som ligger i tur/retur krets (Sveen, Heat transfer in hydronic based systems adapted for artificial thawing of frozen ground, 2013).

Det som beskrives ovenfor er forsøkt illustrert i Figur 42 nedenfor.



Figur 42. Prinsippet rundt oppvarming rundt et rør  
(Sveen, Heat transfer in hydronic based systems adapted for artificial thawing of frozen ground, 2013)

### **Anslag av kapasitet**

Statens Vegvesen gjennomførte et forsøk som er godt beskrevet i deres rapport etter forsøkene. Denne rapporten beskriver noe om effektivitetene til de ulike tiltakene (Statens Vegvesen, 2017).

Her har de gjort grove anslag på kapasitet for åpning av stikkerenner på 8-14 meters lengde.

Tabell 3. Anslag på kapasitet for åpning av stikkrenner med ulike systemer (Statens Vegvesen, 2017)

Metode	Kapasitet (Tid for åpning)	Åpningstid
Steam	20-40 min	Sent
IGS – Ice Guard System®	15-30 min	Raskt
TFSI-ST med VTV-Væske	15-30 min (usikker)	Raskt
TFSI-ST med Steam	15-30 min (svært usikker)	Sent
TFSI-EL	60-120 min (svært usikker)	Sent
Varmekabel, tradisjonell	-	
Høytrykksspyling	Ikke testet i fullskala	Svært sent

Tabell 3 ovenfor synliggjør det er ulike kapasiteter på de ulike tinesystemene. Som tabellen også viser, så gir et vannbårent system langt raskere optining av de plasser hvor Statens Vegvesen har gjort et fullskala forsøk av tining med ulike tinesystemer.

## 8.5 Fremtidsrettede energikilder

I dag ser man at energi er noe alle skal ha i en eller annen form. Den siste tida har prisene på fossilt drivstoff skutt i været og man må finne fremtidsrettede løsninger som kan være med på å dekke energibehovet til slike anlegg som er forsøkt beskrevet i denne masteroppgaven.

### 8.5.1 Strøm

Strøm er en fremtidsrettet og miljøvennlig energikilde. Men som man ser i dagens samfunn så er det et økende behov for strøm, siden all energikrevende industri er på vei til å gå over fra fossile energikilder og over på strøm. Det samme ser man er ønskelig for virksomheten på Norsk sokkel. Et annet aspekt i dette er også at store deler av bilparken er på vei til å gå over på strøm, og dette vil i det totale bilde gjøre at strømprisen øker i takt med markedets etterspørsel. Strømprisen i Norge er også påvirket av nedbør og fyllingsgrad i magasinene som følge av at Norge benytter seg av vannkraft som er en fornybar energikilde (Nettavisen v/ Magnus Baker, 2021).

Under ser man i Figur 43 en medvirkende årsak til de økende strømprisene i Norge og Europa for øvrig, det er økningen i CO<sub>2</sub>-prisingen, som følge av at man ønsker å bli kvitt gass som energikilde, siden denne er fossil. Dette påvirker hele det europeiske strømmarkedet, som følge av overføringen mellom landene.



Figur 43. Kvotepris på CO<sub>2</sub>-utslipp i Europa (Nettavisen v/ Magnus Baker, 2021)

## 8.5.2 Brenselcelle – fossilfritt

For å være innovativ og fremtidsrettet må man se på løsninger som kan være langvarige og fossilfrie, her kommer da inn den nye brenselcelleteknologien som har vært mye i vinden den siste tiden.

Dette vil være et kvantesprang for utvikling av små og mobile systemer som kan kombinere brenselceller med eventuelt solceller for å ha en stabil drift av tinesystemene, som da igjen gjør dem uavhengig av tilkobling til strømmnett, noe som øker sikkerheten for drift samtidig som man kan nyttiggjøre seg av tinekapasitet ved strømbuidd.

Dette kapitlet i masteroppgaven vil kort gå inn på de to ulike typene brenselcelle systemer og eller fossilfire drivstoff som kan være aktuelle å nyttiggjøre seg av i et mobilt tinesystem for fjernstyring.

### Hydrogen

Hydrogen som drivstoff har vært prøvd ut og har vært lenge på prøv og feil stadiet. Men de siste årene kan det se ut til at det har kommet et gjennombrudd for bruk av hydrogen i kjøretøyer og motorer. For tiden er hydrogendrivstoff lite utbredt, men det er mange meninger om at dette kommer til å bli framtidens drivstoff for transportsektoren. Hydrogen kan brukes på to måter, den ene som direkte drivstoff i en forbrenningsmotor, mens den andre som brenselcelle for bruk i en elektromotor. Hydrogen kan også erstatte stasjonær energiproduksjon der man i dag bruker naturgass som energikilde (Store Norske Leksikon, 2020).

Tabell 4. Nedre brennverdi for noen brenslar brukt i motorer (Store Norske Leksikon, 2020)

Brensel	Spesifikk energi [MJ/kg]	Energitetthet [MJ/liter]
Hydrogen	119,9	0,01
Hydrogen, 70 MPa	119,9	4,5
Hydrogen, flytende	119,9	8,5
Diesel	43,1	36,2
CNG, 25 MPa	45	9
LNG	45	21

Tabell 4 ovenfor gir et innblikk i på hvilken energi man kan hente ut fra de ulike brenslene som kan nyttas i kjøretøyer eller i annen energikrevende applikasjoner.

## 9 Videre arbeid

### 9.1 Hybrid løsning

I sammenheng med arbeidet med masteroppgaven og prosjekter med lignende problemstilling i som skal utføres på Ofofbanen i vedlikeholdssesongen 2022 kommet noen ideer til hvordan det kan være mulig å sette opp ei hybrid løsning med væske som varmes opp i et lukket system ved hjelp av elektrisk kilde.

Denne hybride løsninga er tiltenkt benyttet i en tunnel hvor det er utfordringer knyttet til iskjøving i overgangen mellom grøft og tunellprofil. Tunnellen har etter det som er kjent god drenering i sålen, og dette er sprengtsteinsfylling som har dreneringsrør i fyllingen.

Men sett opp mot at man ønsker å oppnå mest mulig effekt har det blitt tenkt på mulighetene for å benytte PE-slangor for eksempel 25 mm eller 32 mm som tettes i endene og har innføring for varmekabel, samtidig som det etableres ekspansjonskar.

Slangene fylles med glykol, slik at glykolen varmes opp og gir en treghet i varmeledningen. Dette vil da teoretisk sett gjøre det mulig å la varmekabelen jobbe mindre og man vil ha treghet i væsken som gir en etter virkende varmeeffekt fra væsken som ligger inne i røret.

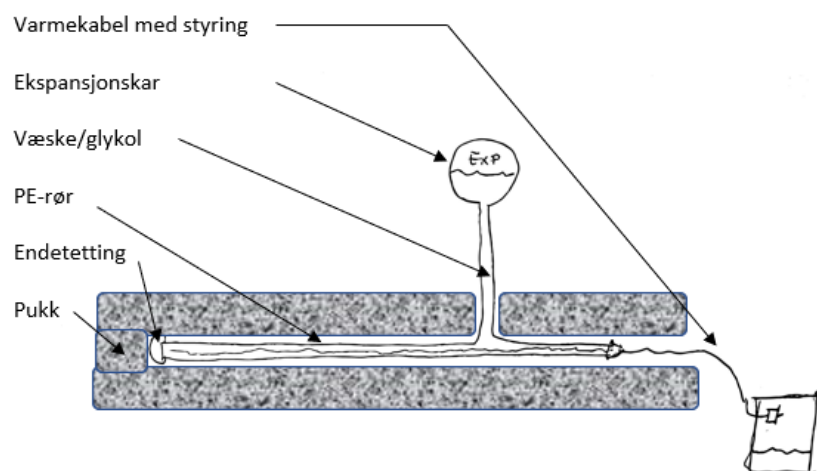
Dette systemet er tiltenkt montert i Kleivhammertunellen, siden det skal monteres varmekabelanlegg der for å opprettholde ei stabil drenering.

Det er tiltenkt at anlegget skal være styrbart og det skal være sensorer som kjenner på

1. Utetemperatur
2. Temperatur på røret utvendig
3. Styres mot klimadata

Dette er da en start på å finne ut om at det er mulig å bruke disse parameterne til å styre et slikt anlegg før man tar det ut i fullskala produksjon.

Se Figur 44 som illustrerer beskrevet hybridløsning som er tiltenkt utprøvd på en lokasjon på Ofofbanen. Her vil man da prøve ut teorien rundt emnet i praksis og gjøre konkrete målinger. Dett er noe som har vært vanskelig å la seg utføre tidligere, i 2022 som følge av at dette er tiltak som krever driftsstans på jernbanen for å komme inn med maskiner og personell for å sette dette i virke, det er ikke enkelt å få driftsstans og vedlikeholdsluker utenom sesongen.



Figur 44. Systemskisse av beskrevet hybridløsning Skisse: Jon-inge Fæster



## 10 Forslag til FoU Prosjekt

Basert på alt masteroppgaven her omfatter og viser viktigheten av, så foreslås det at det settes i gang et Forsknings og Utviklingsprosjekt hvor Ofotbanen og eventuelt Nordlandsbanen benyttes som laboratorium for utprøving av de ulike løsningene og hvordan de virker i forhold til drift av jernbane.

Forslag til tittel for prosjektet er «*Permanente og mobile tineløsninger for jernbaner med og uten strømtilgang*»

Hensikten med prosjektet skal være å finne de beste praktiske løsningene også kjent som «*state-of-the-art*» løsninger som vil være praktiske og effektive driftstiltak, som samtidig kan direkte kontrolleres og fjernstyres av banesjefens organisasjon. Det skal også være mulig å hente ut måledata fra disse fjernstyringsapplikasjonene.

Dette FoUprosjektet må være et prosjekt som samtidig tar med seg avdelingene innenfor VA og hydrologi internt i Bane NOR, siden dette er av relevans for dimensjoneringskriterier av stikkrenner og øvrige dreneringstiltak som er en påvirkende faktor.

I første omgang vil jeg anslå kostnader knyttet til dette prosjektet vil se ut som vist i Tabell 5

Tabell 5. Anslåtte timeverk og kostnader til utstyr i FoU prosjekt

Funksjon / tiltak	Timer / Stk	Timepris / Stk pris	
Prosjektleder	100	950	95 000,-
Prosjektingeniør / utvikler	600	950	570 000,-
Fagingeniører	300	950	285 000,-
Testanlegg permanent montert – varmekabel	1	300 000	300 000,-
Testanlegg, permanent montert – væske	1	300 000	300 000,-
Varmekilde – væske anlegg	1	500 000	500 000,-
<b>SUM FoU – prosjekt</b>			<b>2 050 000,-</b>

Oppstart av prosjektet er anbefalt så snart som mulig og gjerne medio august, slik at det er mulig å prosjektere tiltak og ha disse klar til vedlikeholdssesongen 2023 og fullskala testing av tiltakene kan skje i vinterperioden 2023/2024 og eventuelt i 2024/2025 for å få noen gode erfaringer og muligheter til justeringer underveis.

## 11 Konklusjon – oppsummering

Arbeidet med masteroppgaven har tilført mye ny og spennende kunnskap, både ved å benytte litteratur, samt de befaringer man har fått være med på i forbindelse med problemstillinga. Den innledende delen før det tas tak i problemene som oppgaveteksten gir har vært mye opplysende for å få en forståelse av problemene og hvordan man skal tilnærme seg dette på et praktisk nivå. Som igjen kan gjøre at det er enklere å forebygge de problemene i fremtida når man ser dem og enkelt kan utpeke tiltak til løsninger.

For å starte med de innledende kapitler ser jeg at det er hensiktsmessig å danne en grundig forståelse av de mekanismene som danner prinsippene i fysikken for utvikling av løsninger. Her har oppgaven skrevet noe om det som gjør at det kan benyttes vitenskapelige beregninger i utledning av en løsning. Disse beregningen har man behov for i dimensjonering av tiltak.

I oppgaven har jeg tatt inn en del om de klimatiske parametere, og dette er viktig siden man ser at det er endringer i vær og vind, som igjen påvirker nedbørsfeltene og øvrig hydrologi. Dette er noe som jeg ser er en del av hovedproblemet sammen med iskjøving. Siden hydrologi og overvann er en av de parametere som må være til stede sammen med frost, dette gi iskjøving og gjenfrysning av linjegrøfter, stikkrenner og bekkeløp. Stiller man tiden tilbake og ser på det «rallarene» som bygde Ofofbanen fikk til, kan man se et fantastisk arbeid i forbindelse med dreneringssystemene på jernbanestrekningen. Det er tydelig at ingeniørene og arbeiderne på den tida allerede besatte enorme kunnskaper om bruk av vannveier og hvordan man kunne sikre vannføring vekk fra jernbanen. Det er flere plasser på banen sprengt vanntuneller under banen, og det er terrenggrøfter oppe i terrenget langt ovenfor banen, som skal lede vann mot disse tuneller eller stikkrenner. Her mener jeg basert på min bakgrunn og gamle dokumenter som man har fått sett gjennom jobben som byggeleder at man må tilbake til den tankegangen som var på den tiden knyttet til utforming av vannveier og stikkrenner. Jeg mener her at man må rette fokuset på forståelse og opplæring av personell som skal drifte disse anleggene. Det kan se ut til at kontroll og dokumentasjon fra generasjon til generasjon har blitt glemt, og noen av de aktuelle terrenggrøftene har grodd igjen og er da med på å lede vannet rett mot jernbanen. Her er det viktig å få på plass gode rutiner for oppfølging av tiltakene. Videre må man se på at det i byggefasene ikke er aktuelt å innplassere slike tiltak som er med på å redusere tilsig av overflatevann og grunnvann inn på kuttlistene, for å spare penger i byggefasen. Siden dette kommer rett tilbake noen år etter, som vannproblem og iskjøving.

Det finnes tradisjonelle systemer i bruk hos både Bane NOR, Statens Vegvesen og private entreprenører til tining av stikkrenner. Statens Vegvesen gjennomførte fullskala testing med de ulike systemene, dette ble utprøvd på noen vegstrekninger i Narvik. Basert på deres forsøk og hva som er forsøkt synliggjort i rapporten her, så mener jeg at det er vannbårne systemer som er mest effektive til å utføre tining av stikkrenner. Siden det er restkapasitet på returvannet, vannet blir ikke nedkjølt så mye at kapasiteten må varmes opp fra 0°C og til ca 80-90°C, Men man kan også gjøre permanente vedlikeholdstiltak som gir en effekt på lang sikt. Det er hensiktsmessig å se på langsiktige tiltak, slik at det kan begrenses behovet for å sette opp tekniske anlegg som krever drift og vedlikehold. Siden et teknisk anlegg også er utsatt for drift og vedlikehold. Ser man på at de fysiske vannveier og tilak har fungert godt i nærmere 100 år og man har nå først fått behov for å gjøre korrektive tiltak. Men dette kan være på bakgrunn av manglende kunnskap og ikke tilstrekkelig fokus på å ha kontroll på vannet, samtidig som været og klimaet har blitt hardere de siste ti årene.

Ut fra at man har behov for å løse problemet på langsikt og trenger effektive verktøy for dette. Så mener jeg at man må tørre å prøve ut ulike løsninger som kan være effektive og gi mer kapasitet på tining. Dette er beskrevet i kapittel 9 hvor ideen om et anlegg som skal prøves ut på Ofofbanen er under planlegging. Om dette er et effektivt og hensiktsmessig tiltak, så vil man ha ei løsning som kan utvides og benyttes andre plasser langs banen. Men rent konseptuelt utvikles for bruk på andre banestrekninger.

Tabell 6. Ulike løsninger med fordeler og ulemper

System	Oppvarming	Fordel	Ulemper	Driftsvennlighet
<b>IGS – Ice Guard System®</b>	Fossil	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Hyllevare</li> <li>• Kan forhåndsmonteres og være forberedt på utsatte stikkrenner</li> <li>• Kan rulles ut i linjegrøfter ved behov uten forhåndsmontasje</li> <li>• Mobil</li> <li>• Høy tineeffekt</li> <li>• Væske-system</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Relativt tung løsning</li> <li>• Kan ikke smartstyres</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Anlegget ansees som driftsvennlig som følge av at det kan oppstilles og forlates.</li> <li>• Krever lite tilsyn</li> </ul>
<b>TFSI-ST med VTV-Væske</b>	Fossil	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Hyllevare</li> <li>• Kan forhåndsmonteres og være forberedt på utsatte stikkrenner</li> <li>• Moderat tineeffekt</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Permanent løsning</li> <li>• Ikke mobil</li> <li>• Krever IGS aggregat som varmbærer/energibærer</li> <li>• Kan ikke smartstyres</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Anlegget ansees som driftsvennlig som følge av at det kan forlates.</li> <li>• Krever lite tilsyn</li> </ul>
<b>TFSI-ST med Steam</b>	Fossil	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Hyllevare</li> <li>• Kan forhåndsmonteres og være forberedt på utsatte stikkrenner</li> <li>• Moderat tineeffekt</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Permanent løsning</li> <li>• Ikke mobil</li> <li>• Krever steamaggregat/kjel til å være energibærer</li> <li>• Kan ikke smartstyres</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Anlegget kan ikke forlates</li> <li>• Krever mye manuelt arbeid og tilsyn</li> </ul>
<b>TFSI-EL</b>	Elektrisk	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Hyllevare</li> <li>• Kan forhåndsmonteres og være forberedt på utsatte stikkrenner</li> <li>• Dårlig tineeffekt</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Permanent løsning</li> <li>• Ikke mobil</li> <li>• Krever strøm eller aggregat som energibærer</li> <li>• Virker ikke ved strømbrydd eller driftsstans på aggregat</li> <li>• Kan ikke smartstyres</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Anlegget kan igangsettes og forlates</li> <li>• Krever lite tilsyn</li> </ul>
<b>Varmekabel, tradisjonell løsning</b>	Elektrisk	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Hyllevare</li> <li>• Enkel å montere</li> <li>• Kan smartstyres med systemer</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Krever tilgang på strøm eller aggregat</li> <li>• Sårbar mot skader</li> <li>• Virker ikke ved strømbrydd eller driftsstans på aggregat</li> <li>• Middels til lav tineeffekt</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Anlegget kan igangsettes og forlates</li> <li>• Kan fjernstyres</li> <li>• Krever lite tilsyn</li> </ul>
<b>Steam</b>	Fossil	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Hyllevare</li> <li>• Trenger ikke forhåndsmontasje</li> <li>• Mobil</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Krever tilgang på nok vann</li> <li>• Kan ikke smartstyres</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kan ikke forlates</li> <li>• Krever mye tilsyn og arbeid</li> </ul>

I Tabell 6 er de ulike systemene som er ansett hensiktsmessige i bruk listet opp og det er foretatt enkle vurderinger ut fra de parametere og inngangsverdier som oppgaven har gitt. På Bakgrunn av dette er det vurdert hvilke systemer som er hensiktsmessig å prøve ut i en prøvedriftsfase. Her utskiller det seg to klare kandidater, den ene er et væskebårent system, mens den andre er en tradisjonell varmekabel. Som det fremkommer i Tabell 3 er kapasiteten til en tradisjonell varmekabel noe usikker, og det ser man også i 7.4 hvor det er iskjøving fra tunellprofilet og man er usikker på om en bakenforliggende årsak er varmekablenes oppvarmings effekt ikke er tilstrekkelig i forhold til det reelle behovet for varmekapasitet.

I det videre og gjenstående arbeid ser man på å gjennomføre en hybridløsning på Ofotbanen i vedlikeholdsesongen 2023, slik at man får teste ut noen av de teoriene som tas frem i denne masteroppgaven.

Det er også kommet frem et forslag om å gjennomføre et FoU-prosjekt på bruk av de to ulike tinemetodene som åpenbart utpeker seg i konklusjonen. Her er det foreslått å benytte Ofotbanen og eventuelt Nordlandsbanen som laboratorium i forbindelse med fullskala testing.

Jeg mener de to sistnevnte forslagene er særdeles viktig å få til for å sikre at man kan nytte andre løsninger enn bare de gode gamle. Dette for å øke oppetiden på jernbanen og hindre driftsforstyrrelser, samtidig som Bane NOR som eier av infrastrukturen kan holde en hvis oversikt med hvordan status er på banen uten å leie inn entreprenører som skal ut å holde kontroll på dette.

Hovedtrekkene med masteroppgaven bringer frem problematikken og forslag til løsning av de største problemene, slik at driftspersonell som allerede er innleide kan få lettere og sikrere hverdager. Samtidig som Bane NOR som infrastruktureier kan ha mer kontroll på hvor er de største problemene og hvilke tiltak må fattes på kort, mellomlang og lang sikt for å bedre situasjonen. Siden det kan få fatale konsekvenser dersom det oppstår fyllingsbrudd som omtalt i oppgaven. Dette handler i aller høyeste grad om å bidra til at jernbanen i Norge skal være trygg og sikker for reisende og arbeidende på jernbanen.

# Referanseliste

- Bane NOR. (2022, Mai 10). *Bane NOR Teknisk Regelverk*. Hentet fra Teknisk Regelverk Underbygning: [https://trv.banenor.no/wiki/Underbygning/Prosjektering\\_og\\_bygging/Drenering#Terreng\\_og\\_skr.C3.A5ningsgr.C3.B8fter](https://trv.banenor.no/wiki/Underbygning/Prosjektering_og_bygging/Drenering#Terreng_og_skr.C3.A5ningsgr.C3.B8fter)
- Bane NOR SF. (2022, Mai 12). *Banekart*. Hentet fra Banekart : <https://banekart.banenor.no/kart/>
- Bane NOR SF. (2022, Mai 13). *Teknisk regelverk drenering*. Hentet fra Teknisk regelverk drenering: [https://trv.banenor.no/wiki/Underbygning/Prosjektering\\_og\\_bygging/Drenering](https://trv.banenor.no/wiki/Underbygning/Prosjektering_og_bygging/Drenering)
- Bane NOR SF. (27.04.2022). *Drenering og vedlikehold - internforelesning*. Oslo: Bane NOR SF.
- Carey, K. L. (1973). *Icings developed from surface water and ground water*. Hanover, New Hampshire: Corps of Engineers U.S. ARMY.
- cmcvarme. (2022, Mai 15). *cmcvarme - varmpumper*. Hentet fra cmcvarme - varmpumper: <https://cmcvarme.no/luft-vann-varmpumpe/>
- Felleskjøpet. (2022, Mai 16). *Felleskjøpet*. Hentet fra Hydraulikk og ISO-koblinger: <https://www.felleskjopet.no/maskin-og-redskap/maskinrekvisita/hydraulikk/iso-kobling/plugg-12-innvjetrykkelimator-33207976/>
- Ghajar, Y. A. (2015). *Heat and Mass Transfer*. New-York: McGraw-Hill Education.
- Glasfakta. (2022, Mai 15). *Glasfakta*. Hentet fra Glasfakta: <https://www.glasfakta.dk/viden/vinduer/doere/funktioner-og-begreber/vakuum-termorude/>
- Kartverket. (2022, Mai 15). *Norgeskart*. Hentet fra Norgeskart: <https://norgeskart.no/#!?project=norgeskart&layers=1002&zoom=10&lat=7592781.58&lon=614632.82>
- Liereng, A. (2016). *Iskjøving i grøfter og skjæringer langs veg og bane*. Institutt for bygg, anlegg og transport, Fakultet for ingeniørvitenskap og teknologi. Trondheim: Norges Tekniske Naturvitenskapelige Universitet. Hentet 04 20, 2022
- LK Systems AS. (2022, Mai 15). *LK Systems*. Hentet fra LK Systems Gatevarme: <https://www.lksystems.se/no/produkter/lk-gatevarme/om-lk-gatevarme/>
- NASTA. (2022, Mai 15). *NASTA*. Hentet fra NASTA - kraftig solid rippertann: <https://www.nasta.no/utstyr-deler/rippertann/>
- Nettavisen v/ Magnus Baker. (2021, November 01). *Nettavisen*. Hentet fra Nettavisen - Lite regn og vind? Dette er de egentlige årsakene til de skyhøye strømprisene: <https://www.nettavisen.no/okonomi/lite-regn-og-vind-dette-er-de-egentlige-arsakene-til-skyhoye-strompriser-og-energikrise/f/5-95-331785>
- Nexans. (2015-2017). *Nexans Varmehåndboka*. Hentet fra Nexans Varmehåndboka: [https://www.elpo.no/wp-content/uploads/2017/06/2015\\_Varmehandboka.pdf](https://www.elpo.no/wp-content/uploads/2017/06/2015_Varmehandboka.pdf)
- NGU. (2021, Juni 25). *NGU*. Hentet fra Grunnvannsstrømning: <https://www.ngu.no/grunnvanninorge/alt-om-grunnvann/generelt-om-grunnvann/grunnvannsstromning>
- Norsk KlimaserviceSenter. (2022, Mai 13). *Klimafraskrivninger*. Hentet fra Klimafraskrivninger: [https://klimaservicesenter.no/climateprojections?index=precipitation\\_amount&period=Annual&scenario=RCP45&area=NO](https://klimaservicesenter.no/climateprojections?index=precipitation_amount&period=Annual&scenario=RCP45&area=NO)

- Norsk Vann. (2014). *Vann- og avløpsteknikk* (2. Utgave. utg., Vol. 2014). (H. Ødegaard, Red.) Oslo: Norsk Vann.
- Pretec AS. (2022, Mai 15). *Pretec*. Hentet fra Pretec Steinsprangnett: <https://pretec.no/produkt/steinsprangnett/>
- Roth. (2022, Mai 11). *Roth mobil elkassett 9kW*. Hentet fra Roth Norge: <https://www.roth-norge.no/no/roth-mobil-elkassett-3018.htm>
- Siemens. (2022, Mai 16). *Siemens*. Hentet fra Prosessinstrumentering: <https://new.siemens.com/no/no/produkter/industri/automasjon/prosessinstrumentering.html>
- Sintef. (2022, Mai 13). *blogg.Sintef*. Hentet fra blogg.Sintef: <https://blogg.sintef.no/sintefenergy-nb/numerisk-fluidmekanikk-cfd-enkelt-forklart/>
- Statens Vegvesen. (2013). *Rapport 338 Frostsikring av norske veger*. Oslo: Vegdirektoratet.
- Statens Vegvesen. (2017). *Tinemetoder for stikkrenner og grøfter Nr.538*. Oslo: Vegdirektoratet.
- Statens Vegvesen. (2018). *N200 Vegbygging*. Oslo: Vegdirektoratet.
- Statens Vegvesen. (2020). *Håndbok V225 - Bergskjæringer*. Oslo: Vegdirektoratet.
- Store Norske Leksikon. (2020, Juli 31). *Store Norske Leksikon*. Hentet fra hydrogendrivstoff: <https://snl.no/hydrogendrivstoff>
- Store Norske Leksikon. (2022, Mai 11). *dimensjonerende nedbør*. Hentet fra Store Norske Leksikon: [https://snl.no/dimensjonerende\\_nedb%C3%B8r](https://snl.no/dimensjonerende_nedb%C3%B8r)
- Store Norske Leksikon. (2022, April 28). *klima*. Hentet fra Store Norske Leksikon: <https://snl.no/klima>
- Store Norske Leksikon. (2022, Mai 13). *Store Norske Leksikon*. Hentet fra Golfstrømmen: <https://snl.no/Golfstr%C3%B8mmen>
- Store Norske Leksikon. (2022, Mai 13). *Store Norske Leksikon*. Hentet fra grad farenheighet: [https://snl.no/grad\\_fahrenheit](https://snl.no/grad_fahrenheit)
- Store Norske Leksikon. (2022, Mai 11). *temperatur*. Hentet fra Store Norske Leksikon: <https://snl.no/temperatur>
- Sveen, S.-E. (2013). *Heat transfer in hydronic based systems adapted for artificial thawing of frozen ground*. Narvik: Høgskolen i Narvik.
- Sveen, S.-E. (2015). *IGS-tining - utprøving av tre typer innløpsrør*. Narvik: Høgskolen i Narvik.
- TESS. (2022, Mai 12). *Tess Frost Safe Infrastruktur*. Hentet fra Tess: <https://tess.no/mediabank/store/17106/Back-TFSI.pdf>
- Thomas Øiseth, H. W. (2004, Mars 12). *Miljølære*. Hentet Mai 13, 2022 fra Vannmangel et globalt problem: <https://www.miljolare.no/innsendt/multimedia/konvertert/2120/4051e8a0c3dc4.htm>
- Wikipedia. (2022, Mai 15). *Termisk konduktivitet*. Hentet fra Termisk konduktivitet: [https://no.wikipedia.org/wiki/Termisk\\_konduktivitet](https://no.wikipedia.org/wiki/Termisk_konduktivitet)
- yr.no. (2022, Mai 12). *yr.no*. Hentet fra yr.no - Bjørnfjell: <https://tess.no/mediabank/store/17106/Back-TFSI.pdf>

# Vedlegg

*Vedlegg 1 - Oppgavetekst*

*Vedlegg 2 - Rapport etter utglidning av fylling i Lønsdal - JBV / Bane NOR*

*Vedlegg 3 - Internforelesning om Drenering og vedlikehold Bane NOR*

*Vedlegg 4 - Foto av arbeid med å fjerne iskjøving på Ofofbanen*

*Vedlegg 5 - Original foto til forsideillustrasjon*

*Vedlegg 6 - Forside illustrasjon*



## Vedlegg 1

## MASTEROPPGAVE

For

**Jon-Inge Fæster (530627)**

Vår 2022

# Permanente og mobile løsninger for tining av stikkrenner og bekkeløp

(Permanent and mobile solutions for thawing gutters and brooks)

This document is the formal assignment and task description for a master's thesis project at University of Tromsø (UiT). The master's thesis project may be given in collaborating with industry partner or external research institute.

Changes may be done with respect to the content and extent of the project. The given title of this master thesis project is to be regarded as a working title and may be slightly change during this project. However, such changes should be discussed with all parties and must be approved by the main supervisor at the UiT.

### Bakgrunn

Bane NORs samfunnsoppdrag er å planlegge, bygge, drifte og vedlikeholde det nasjonale jernbanenettet, styre togtrafikken og forvalte og utvikle jernbanens eiendom. Våre forpliktelser og rettigheter ovenfor staten ved utvikling av det nasjonale jernbanenettet fastsettes gjennom avtaler med jernbanedirektoratet.

I arbeid med nasjonal transportplan er det i hovedsak Jernbanedirektoratet som har gittsektorens svar på oppgavene gitt av Samferdselsdepartementet. Bane NOR har bistått med faglige innspill på bestilling fra Jernbanedirektoratet. Fra Januar 2020 ble Bane NOR en likeverdige partner med direktoratet i arbeid med NTP 2022-2033. Svarene som er gitt på oppdrag 9 om økonomiske prioriteringer var et felles svar fra Jernbanedirektoratet og Bane NOR. Svarene på oppdragene utgjør virksomhetens faglige innspill til stortingsmeldingen om Nasjonal transportplan 2022-2033.

For prioriteringer av midler til drift, vedlikehold, pågående og nye investeringsprosjekter har Jernbanedirektoratet og Bane NOR blitt bedt om å prioritere innenfor to ulike økonomiske rammer. I første seksårsperiode er vi bedt om å foreslå prioriteringer på prosjekt- og effektpakkenivå. Effektpakkene tar utgangspunkt i hva slags effekt eller forbedring som er mest etterspurt (for eksempel flere avganger eller lengre godstog), mens arbeidet med hva som er de rette tiltakene for å oppnå ønskede effekter (for eksempel nytt dobbeltspor eller et forlenget kryssningsspor) følger etter. For andre seksårsperiode er det bedt om forslag til prioriterte effekter i de ulike transportkorridorer.

Bane NOR har hatt utfordringer knyttet til å holde stikkrenner og bekkeløp åpen i vårsmeltinga. Den største utfordringen er at det er like mye behov på alle plassene samtidig for å få ting og sikre en fri passasje i vannveien. Per i dag har Bane NOR nyttet løsninger som elektriske varmekabler for å holde en fri passasje. Dette er ikke anvendbart på alle banestrekninger, siden man er avhengig av elektrisitet og gjerne 50 Hz strøm for å ha slike elektriske installasjoner i drift. Kjørestrommen på jernbane ligger på andre frekvenser herunder 16 2/3 Hz. Noe som gjør at vanlig hyllevare for elektromateriell på 50 Hz ikke like enkelt kan nyttes mot denne kilden.

Det har tidligere vært utført prosjekt på løsninger for tining av stikkrenner og bekkeløpprosjekt for Ofotbanen, men løsningene har vært komplisert og vanskelig å drifte. For disse løsningene var man avhengig av å benytte arbeidstog og containere for å forsyne anlegget med varmekilde og drivstoff.

Oppgaven skal i hovedsak dreie seg om bruk av eksisterende teknologi og anvendelse av denne på nye måter for å gjøre den formålstjenlig til bruk knyttet til infrastruktur, hvor det er problemer med isdannelse og man ønsker å lede vannet bort i smelteperioder på en trygg og sikker måte. Herunder se på løsninger som kan øke den vertikale smeltingen rundt innløp til stikkrenner og bekkeløp.

## Hovedproblemstilling

**Generell** beskrivelse og analyse av mobile løsninger for tining av stikkrenner og bekkeløp, spesielt tilrettelagt eller anvendbar for infrastruktur, herunder veg og jernbane.

Det skal legges vekt på en systematisk oppbygging av oppgaven i forhold til klimatiske parametere, aktuelle løsninger og eventuell fordelaktig utforming av stikkrenner og bekkeløp i forhold til avising/anti-ising.

Oppgaven skal inneholde vurdering/analyse av:

- Effekt av stikkrenners og bekkeløps utforming på frysing/tinging (kombinasjon av utforming og tiningstiltak). Eventuelt plassering av stikkrenner i forhold til sideterreng og bekkeløp.
- Forhold til smeltevann.
- Eventuelle case på Ofotbanen vinteren 2022.

## Prosjektbeskrivelse masteroppgave

❄ **Innledende arbeid & forstudie** relatert til den aktuelle oppgaven, en naturlig forberedelse og klargjøring av det videre arbeid i prosjektet:

- Generell analyse av oppgavens problemstillinger og problemområder.
- Undersøkelse/analyse av aktuelle lover, regler, kravspesifikasjoner, retningslinjer, praktiske erfaringer og anbefalinger. Miljø og vernebestemmelser må også inkluderes.
- State-of-the-art undersøkelse med hensyn til tekniske løsninger for tining av stikkrenner og bekkeløp.
- Klargjøring av behov og føringer fra oppdragsgiver. Klarere definisjon i forhold til begrensninger og omfang av oppgaven. Behov som drift vil ha klassifisert (systemer, målinger og sensordata)
- Klargjøring/beskrivelse av de arbeidsoppgaver som må gjennomføres for løsning av oppgaven.
- Revidert prosjektbeskrivelse og tidsplan for framdriften av prosjektet.

❄ **Vurdering, analyse og utprøving av tineløsninger**

- Kartlegge, vurdere og systematisere aktuelle klimatiske parametere og faktorer.
- Kartlegge, vurdere og systematisere aktuelle tekniske løsninger.
- Eksisterende alternativ teknologi som kan nyttes
  - Mobile løsninger (strømtilgang vs ikke strømtilgang)
  - Smartstyring mot klimadata (værstasjoner).
- Vedlikehold, økonomi og virkningsgrad, driftsvennlig (bruk må ikke kreve omfattende kompetanse)
- Fremtidsrettede energikilder
  - Strøm
  - Hydrogen / Brenselcelle – eventuelt ammoniakk

❄ Forslag til eventuelt fremtidig/gjenstående arbeid, eventuelt kort beskrivelse av videre FoU-prosjekt med Ofotbanen som laboratorium.

## Begrensning av oppgaven/prosjekt

En videre beskrivelse av begrensninger i oppgaven vil bli utarbeidet i det innledende arbeid & forstudie.

## Samarbeidspartner

Oppgaven gjennomføres i samarbeid med, og for Bane NOR - Prosjektenheten, Infrastruktur Område Nord.

Oppdragsgiver skal fremskaffe nødvendige opplysninger og grunnlag for å løse oppgaven (tegninger, spesifikasjoner etc.).

## Klassifisering av oppgaven

Oppgaven skal i utgangspunktet klassifiseres som *åpen* og i henhold til UiT's retningslinjer. Endringer med hensyn til klassifisering, publisering eller deling av rapporten kan eventuelt bli gitt for å beskytte oppdragsgivers rettigheter/eiendom.

## Innledende arbeid & forstudie

Innen 2 uker etter at oppgaveteksten er utlevert skal resultatene fra det innledende arbeid og litteraturstudium være ferdigstilt og diskuteres med veilederne. Arbeidsplan og planlagte arbeidsoppgaver skal godkjennes av veilederne før kandidaten fortsetter med resten av hovedoppgaven. **Resultater fra det innledende arbeid inkluderes naturlig inn i innledningen og andre kapitler i masteroppgaven og det trenger dermed ikke være utformet en egen forstudierapport.**

## Generelle krav til rapportering/besvarelse

Besvarelsen redigeres som en forskning/utviklingsrapport med et sammendrag både på norsk og engelsk, konklusjon, litteraturliste, referanser, innholdsfortegnelse etc. Påstander skal begrunnes ved bevis, referanser eller logisk argumentasjonsrekker. Måleresultatene vedlegges i både skriftlig og digitalt format.

Ved utarbeidelsen av teksten skal kandidaten legge vekt på å gjøre teksten oversiktlig, velskrevet og godt dokumentert. Oppgaveteksten skal være en del av besvarelsen (plasseres foran Forord).

Materiell som er utviklet i forbindelse med oppgaven, så som programvare/kildekoder eller fysisk utstyr, er å betrakte som en del av besvarelsen. Dokumentasjon for korrekt bruk av dette skal så langt som mulig også vedlegges besvarelsen.

## Generelle retningslinjer

Dersom oppgaven utføres i samarbeid med en ekstern aktør, skal kandidaten rette seg etter de retningslinjer som gjelder hos denne, samt etter eventuelle andre pålegg fra ledelsen i den aktuelle bedriften.

Kandidaten har ikke anledning til å foreta inngrep i den eksterne aktørs informasjonssystemer, produksjonsutstyr o.l. Dersom dette skulle være aktuelt i forbindelse med gjennomføring av oppgaven, skal spesiell tillatelse innhentes fra ledelsen.

Eventuelle reiseutgifter, kopierings- og telefonutgifter må bæres av studenten selv med mindre andre avtaler foreligger.

Hvis kandidaten, mens arbeidet med oppgaven pågår, støter på vanskeligheter som ikke var forutsatt ved oppgavens utforming, og som eventuelt vil kunne kreve endringer i eller utelatelse av enkelte spørsmål fra oppgaven, skal dette umiddelbart tas opp med veileder på UiT.

Besvarelsen leveres digitalt i WISEflow.

Utleveringsdato (starttidspunkt):	10.01.2022
Innleveringsdato (deadline):	16.05.2022, kl 1200

Kandidat	Jon-Inge Fæster (530627) Telefon: (+47) 957 94 645 e-mail: jfa022@post.uit.no
Med-veileder/kontaktperson bedrift	Knut Karlsen Prosjektleder teknisk avdeling Telefon: (+47) 916 75 790 e-mail: knut.karlsen@banenor.no
Faglig ansvarlig/veileder ved UiT	Professor Per-Arne Sundsbø, Dr. Ing. Telefon: (+47) 769 66257 / 92 46 34 30 e-mail: psu002@uit.no

Narvik, 07.01.2022



Per-Arne Sundsbø  
Faglig ansvarlig/veileder



## Vedlegg 2

- Hendelse Lønnsdalen Nordlandsbanen vår 2010.
- Kort om værberedskap i Jernbaneverket.  
STY-601614 «Instruks for tiltak ved ugunstige vær-situasjoner relatert til regn og snøsmelting».
- Hendelse Kvitur Ofotbanen vår 2010.
- Heatwork. Metode for åpning av igjenfrosne stikkrenner.

# Lønsdalen mai 2010





# Lønsdalen mai 2010



Jernbaneverket





# Lønnsdalen Innløp stikkrenne







# Lønsdalen mai 2010







# Lønsdalen mai 2010





# Lønsdalen mai 2010





# Lønsdalen mai 2010







# Lønsdalen mai 2010







Jernbaneverket

# Lønsdalen mai 2010





# Lønsdalen mai 2010



Jernbaneverket







# Lønsdalen mai 2010







# Lønsdalen mai 2010





# Lønsdalen mai 2010



Jernbaneverket







Jernbaneverket

# Lønsdalen mai 2010



# Lønsdalen mai 2010

Årsaks sammenheng skader Lønsdalen 2010.(16/5-16:30)

- Linjegrøfter og stikkrenner har sterkt redusert eller ingen kapasitet som følge av snø og is.
- Kraftig temperaturøkning fra 14.mai med påfølgende snøsmelting medfører flomvannføring i bekker og elveløp.
- Gamle fyllinger bygd opp av stedlige morenemasser med høyt fintstoff innhold – vann demmer opp på oppstrøms side. Vannmetting av fyllingsmasser påbegynnes og erosjon/kanaldannelse oppstår før fylling kollapser som følge av stort vanntrykk.(Fyllingshøyde 6 – 8 – 10)

# Lønsdalen mai 2010

- Banen stengt i 14 dager
- Fylling bygges opp av sprengsteinsmasser, helling 1:1,5.(ca. 12000 m<sup>3</sup>). Fiberduk legges mellom gammel og ny fylling.
- Etableres horisontal fyllingsfot med bredde 5 meter, nedstrøms side.
- Eksisterende stikkrenne(plasstøpt) skadet, byttet ut med ny, med økt kapasitet.
- Nytt overløp etablert gjennom fyllingen. Ligger ca. 1 meter over topp stikkrenne. Ekstra sikring.
- EKSEMPEL PÅ SLAGORDET «ROBUSTE BANER». Denne fyllingen er væruavhengig.

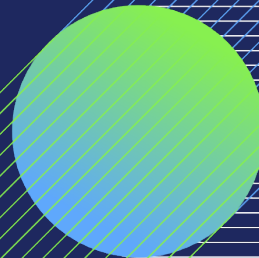
## Vedlegg 3

# Drenering og vedlikehold

Erfaringer fra ekstremværet Gyda - Trøndelag

Framtidige endringer i nedbør og flomstørrelser

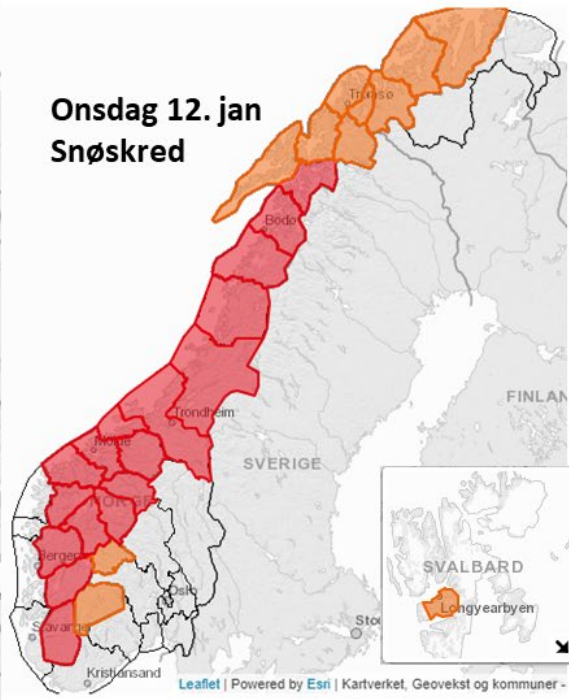
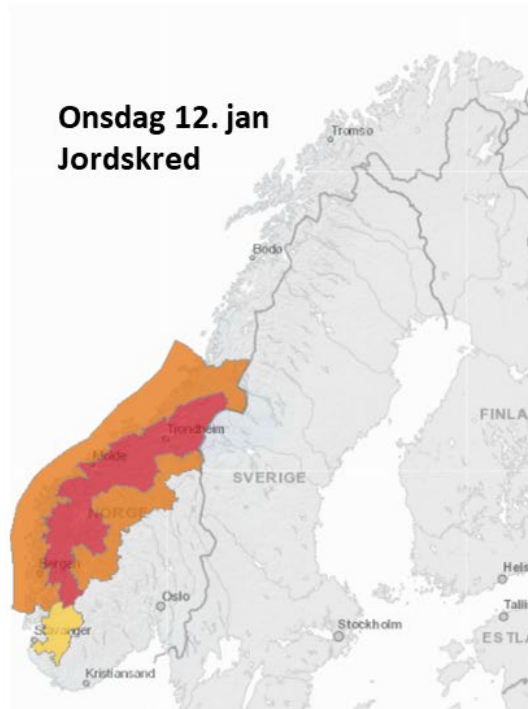
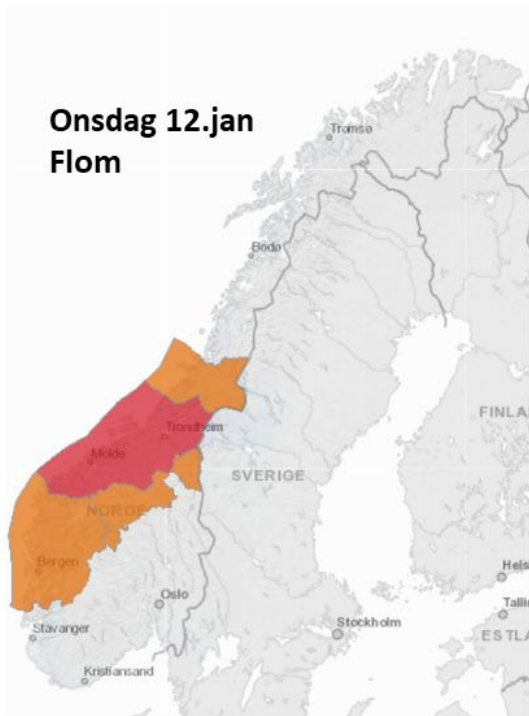
Fornyning, rehabilitering og vedlikehold av stikkrenner – anbefalinger



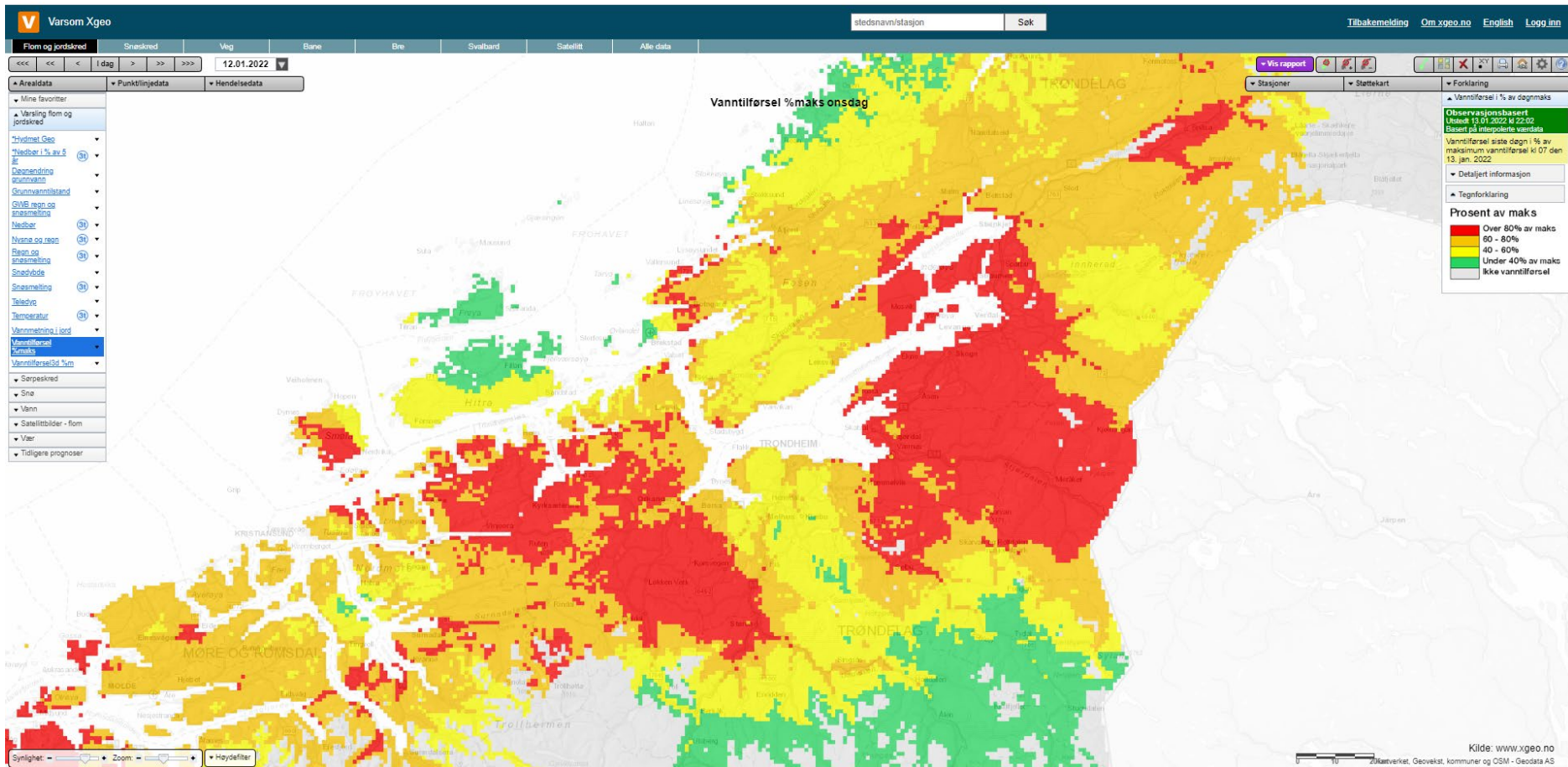


# Ekstremværet Gyda – klassifisert etter forventet nedbørsmengde

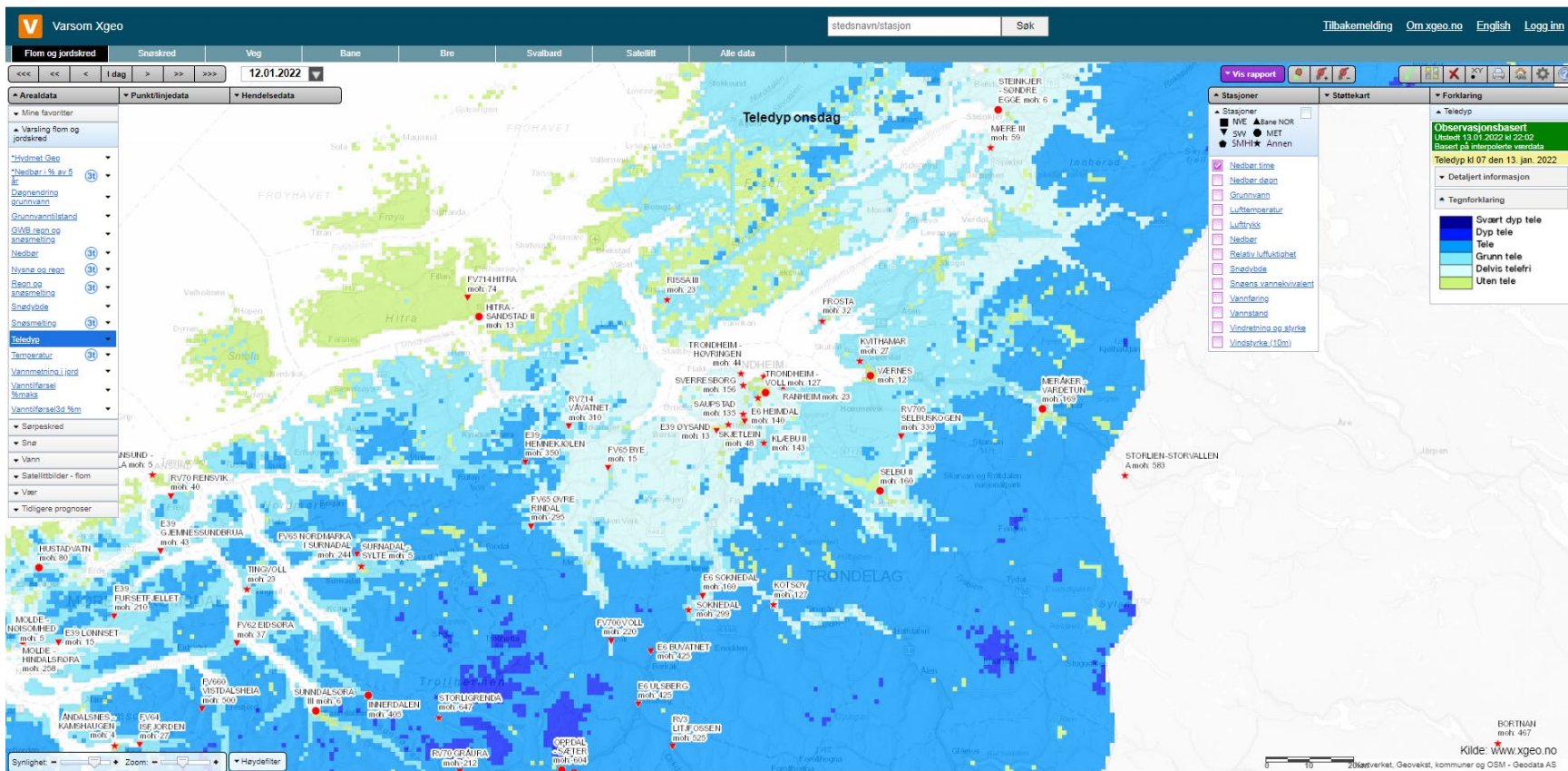
## Rødt aktsomhetsvarsel for flere naturfarer i Trøndelag



# Hvor godt traff varslene? Observerte verdier



# Teledyp – Frost i bakken gir økt overflateavrenning.







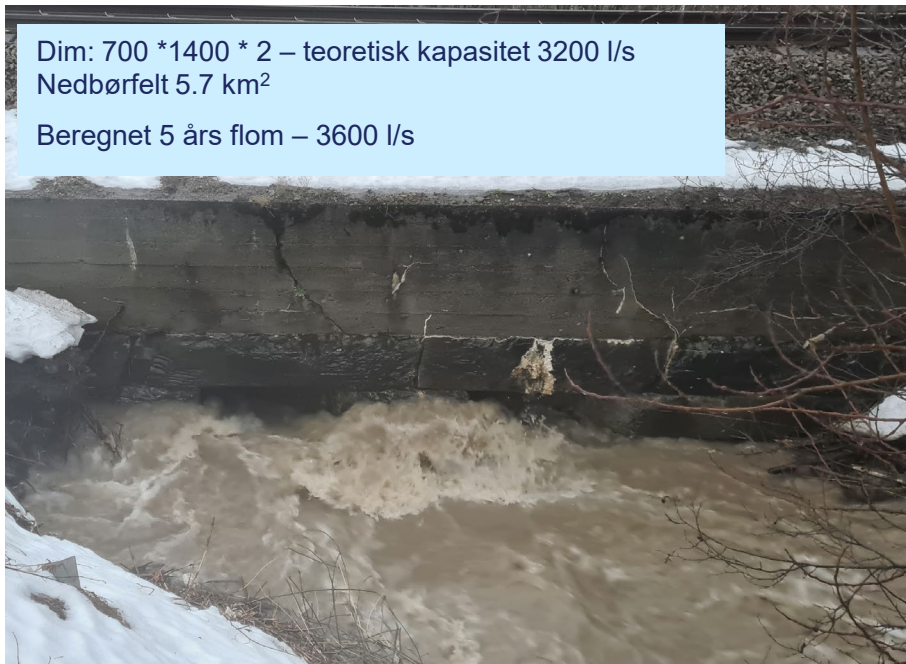
21.12.2021

# Nå nærmer det seg 50-årsflom i Stjørdalselva - har trolig ikke nådd toppen ennå



Stjørdalselva går over sine bredder og vi nærmer oss en 50-årsflom med stormskritt. FOTO: RICHARD BAKKEN

## Observasjoner ute under Gyda – størst utfordring ved større bekker. (ikke meldt om utfordringer på disse stedene tidligere)



Vanntilførsel beregnet til å være mindre enn 5 års gjentaksintervall for disse stikkrennene (< 20% årlig sannsynlighet) – høy avrenning grunnet vannmetning og tele i bakken.

Slike observasjoner bør registreres selv om det ikke får konsekvenser for togframføringen. **BANE NOR**



Kort tid fra ekstremværvarsel til hendelsen inntreffer.  
Varsom - Oransje varsel 2 dager før – oppgradert til rødt dagen før  
(fare for flom med årlig sannsynlighet på 2% (50 års flom))



Stikkrenne tett av is – ingen alternativ flomvei –  
proppen slapp rett etter at vi ankom.  
Vei inn til flere gårder og boliger sperret.



Lørdag 15 melding om fyllingsbrudd ved  
Km 75.582- Meråkerbanen (trolig skjedd  
under Gyda)

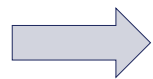
Ikke et sted hvor vi har registrert  
problemer tidligere.



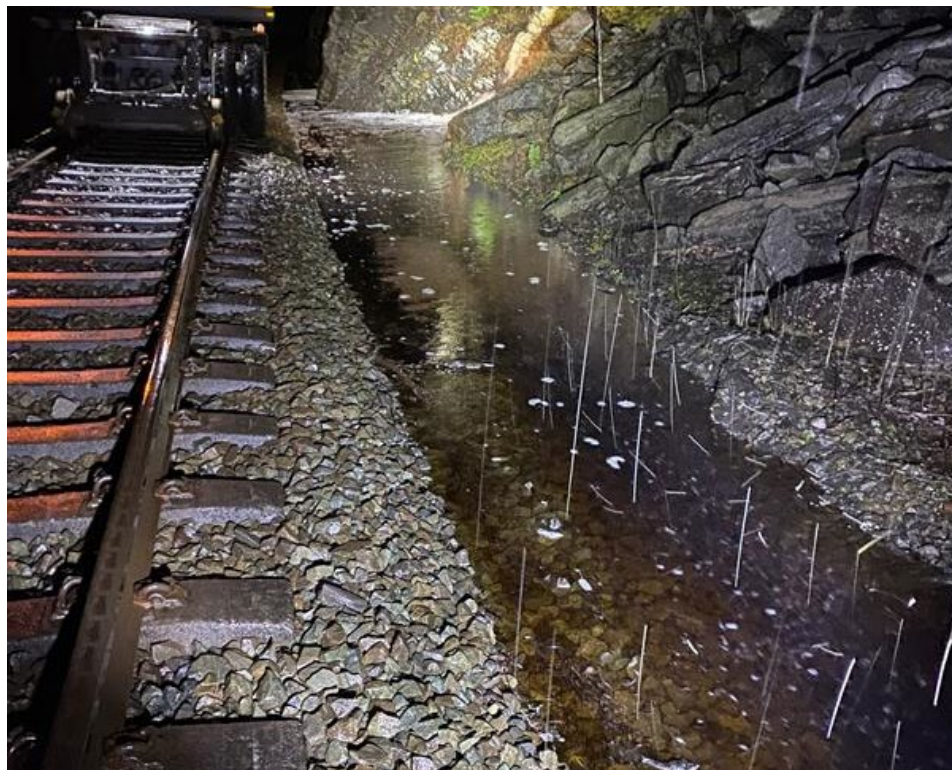
Steinkiste 2\*600\*900 - Kapasitet: 1400 l/s  
5 års flom – 1200 l/s  
Svært sårbar fylling – finkornet marine  
avsetninger  
(Var stikkrennen tett ?)



Store nedbørsmengder = stor vannføring = mye massetransport!



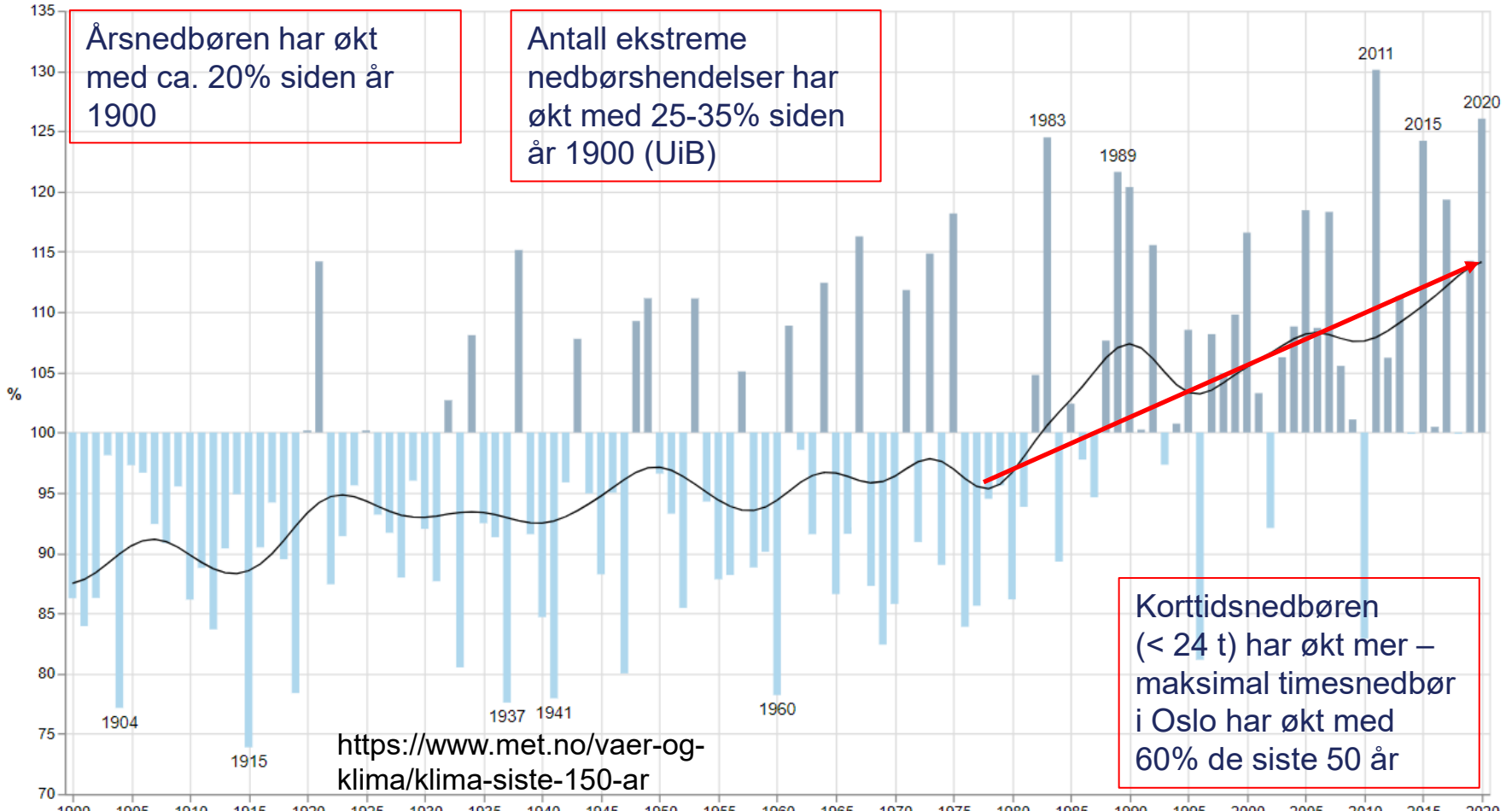
Behov for hendelsesbasert vedlikehold!





# Nedbør i % av 1961-1990-normalen

Norge – År



Tabell 3: Anbefalte klimapåslag (%) for endring i dimensjonerende korttidsnedbør fram til 2071-2100. M5 = 5-års returverdi, M50 = 50-års returverdi.

Varighet	< M50		≥ M50	
	Lav M5	Høy M5	Lav M5	Høy M5
≤ 1 time	40	40	50	50
2 – 3 timer	40	30	40	30
4 – 6 timer	30	30	40	30
7 – 24 timer	30	20	30	30

<https://klimaservicesenter.no/>

De fleste av våre stikkrenner har nedbørfelt < 1 km<sup>2</sup> dvs. flomtopper genereres av regn med varighet < 1 time

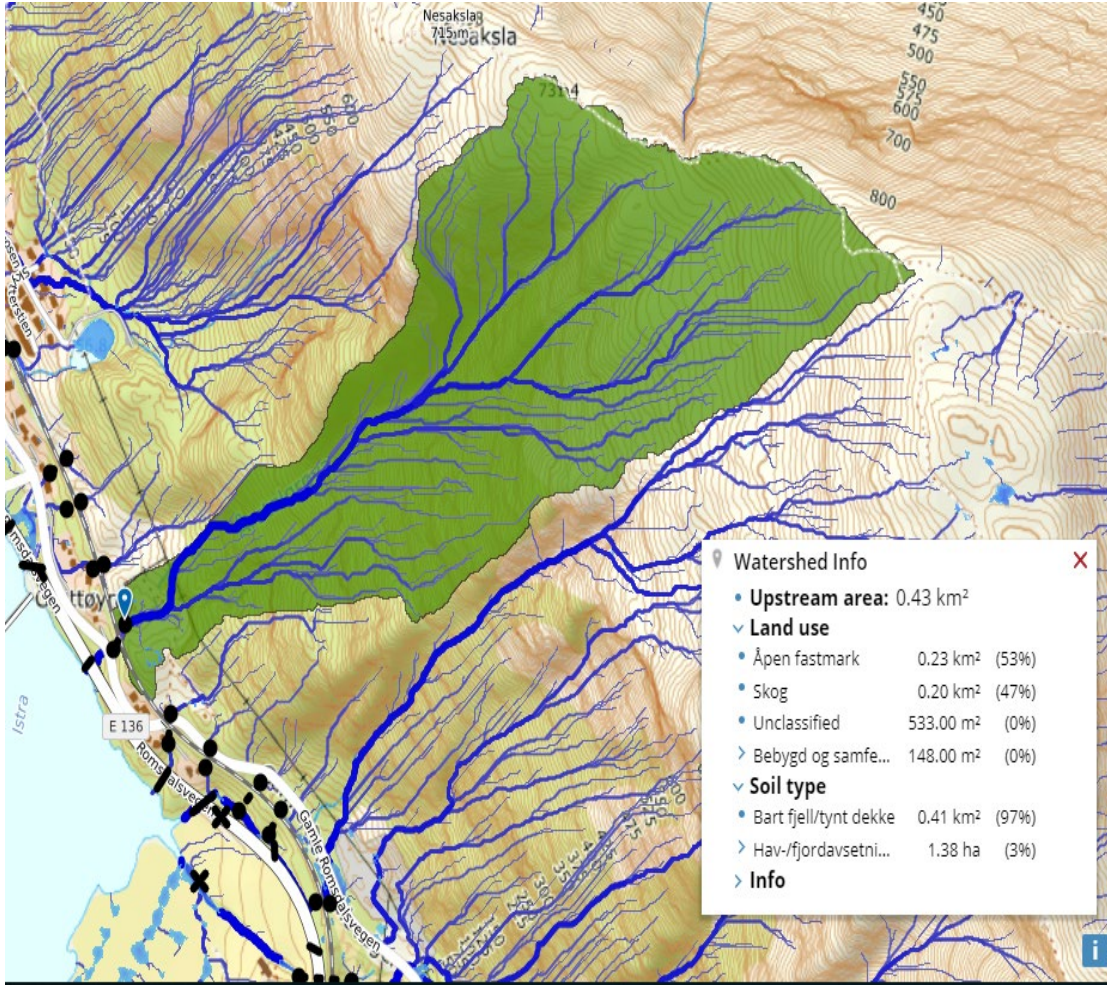


## V240 - Vannhåndtering

Tabell 5.2.1: Sannsynlighet for flom ut fra forventet levetid og returperiode.

Forventet levetid $T_L$	Returperiode T						
	1 år	2 år	5 år	10 år	50 år	100 år	200 år
1 år	1,00	0,50	0,20	0,10	0,02	0,01	0,01
2 år	1,00	0,75	0,36	0,19	0,04	0,02	0,01
5 år	1,00	0,97	0,67	0,41	0,10	0,05	0,02
10 år	1,00	1,00	0,89	0,65	0,18	0,10	0,05
50 år	1,00	1,00	1,00	0,99	0,64	0,39	0,22
100 år	1,00	1,00	1,00	1,00	0,87	0,63	0,39
200 år	1,00	1,00	1,00	1,00	0,98	0,87	0,63

[https://www.vegvesen.no/\\_attachment/2988797/binary/1371938?fast\\_title=H%C3%A5ndbok+V240+Vannh%C3%A5ndtering+-+Flomberegninger+og+hydraulisk+dimensjonering.pdf](https://www.vegvesen.no/_attachment/2988797/binary/1371938?fast_title=H%C3%A5ndbok+V240+Vannh%C3%A5ndtering+-+Flomberegninger+og+hydraulisk+dimensjonering.pdf)



Foregår flomfarekartlegging på alle baner:

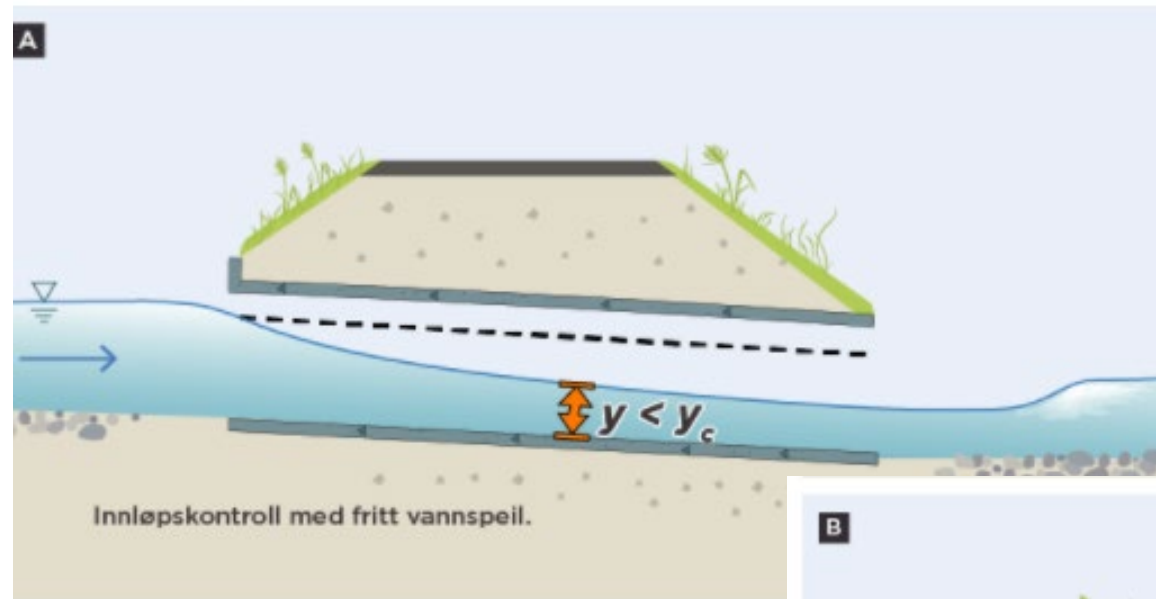
20 - 40% stikkrennene mangler kapasitet til å ta unna 5 års flommen uten å bli dykket (basert på informasjon i BaneData)

Gir ikke alltid direkte konsekvenser for togframføringen

## Stikkrenner med innløpskontroll

### Forutsetning

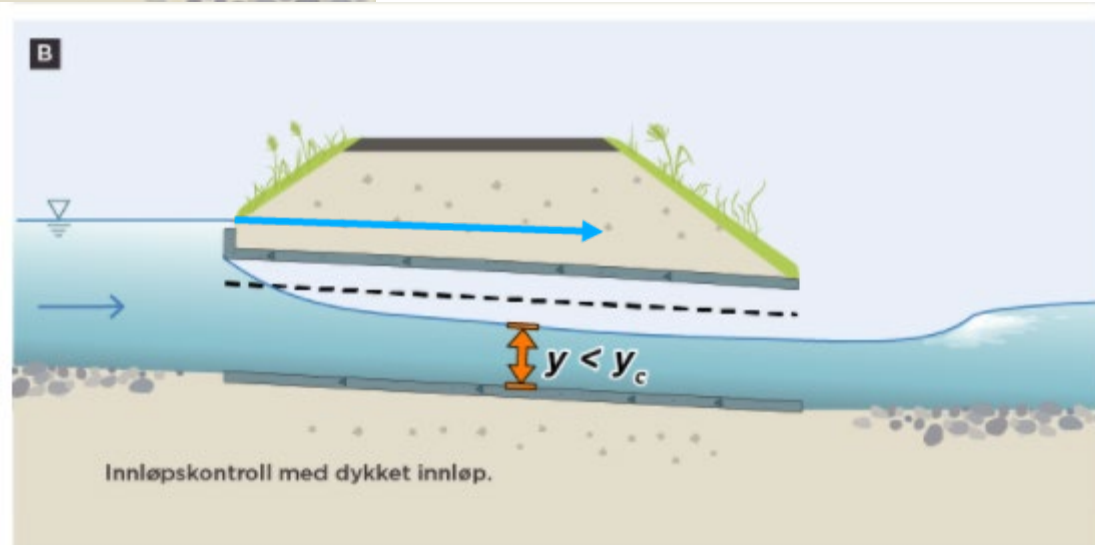
- Tilstrekkelig fall (5-6‰)
- Fritt utløp
- En del av våre steinkister har trolig ikke innløpskontroll – redusert kapasitet



Dykking av innløp gir økt kapasitet!

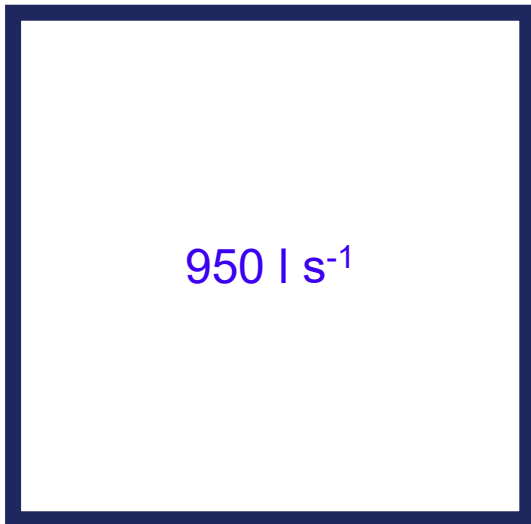
- Men - medfører fare for vanninntrenging i underbygning

- Viktig med tetting rundt innløp for å tåle korvarig dykking ved innløp



# Kapasitet på rensket og «urensket» stikkrenne ved innløpskontroll og 20% dykket innløp

- Rensket steinkiste 800 \* 800 mm



- Stikkrenne oppfylt til ca. **bør grensen** for rensk i TRV (20 %)



200 mm gjenfylt (25% av høyden)

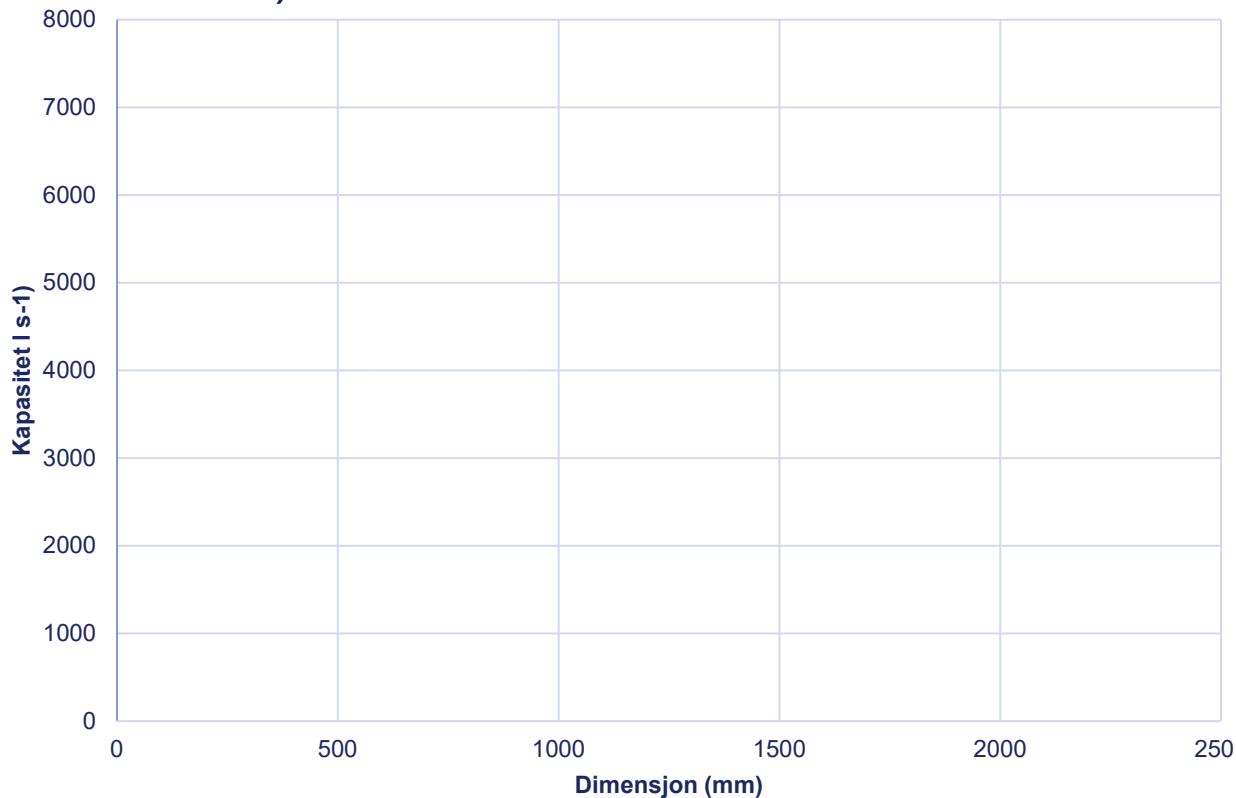
40% redusert kapasitet! – utfordringer  
nesten 10 ganger så ofte!



# Rensk ved utløp like viktig som innløp – vannet må komme ut



# Dimensjon og kapasitet ( $l\ s^{-1}$ ) ved innløpskontroll (sirkulær renne)



Kapasiteter med frontmur  
 $2 \cdot 800\text{ mm} = 1450\text{ l s}^{-1}$   
 $1 \cdot 1000\text{ mm} = 1240\text{ l s}^{-1}$

Tabell 10.3 Hydraulisk kapasitet ( $l/s$ ) for rørkulvert med innløpskontroll ved  $y/D = 1,0$ .

Innløps- type	Diameter innvendig (mm)								
	300	400	500	600	800	1000	1200	1400	1600
«A»	67	135	232	361	726	1240	1940	2820	3890
«B»	65	132	228	357	723	1250	1950	2850	3950
«C»	57	117	204	320	652	1130	1780	2600	3630
«D»	72	145	252	395	803	1390	2180	3190	4430
«E»	69	140	242	379	771	1330	2090	3060	4260
«F»	65	133	231	363	740	1280	2020	2960	4120
«G»	65	133	234	363	742	1290	2030	2970	4150

Innløpstyper, se figur 9.6:

- «A» Frontmur, va vinkelrett på rørets lengdeakse, rett rør.
- «B» Innløpet formet etter helning på grøfteskråningen.
- «C» Utstikkende rørende.
- «D» Rett avkortet kjegle med helning 1:1,5, se også tabell 9.4.
- «E» Tilsvarende «A», men med muffleenden innstøpt i frontmur.
- «F» Tilsvarende «C», men med utstikkende muffleende.
- «G» Tilsvarende «A», men med 45° vingemur.

# Generiske rutiner bør inkludere sjekk av dimensjoner på gamle steinkister





# Rehabilitering med innstikks rør

- Midlertidig løsning (?) som ofte blir permanent
  - Innløp
  - Utløp
  - Hele
- Dramatisk reduksjon av kapasitet
  - 400 mm sirkulært = 130 l/s (pluss noe rundt røret)
  - 600 steinkiste = 400 l/s
- Gir økt vedlikeholdsbehov
- Bør ikke brukes før det er sjekket det har tilstrekkelig kapasitet.





# Innløpsrist - fordeler og ulemper

## Fordeler

- Kan hindre store partikler og drivgods å tette gjennomløpet
- Hindre at mennesker og større dyr å komme inn i løpet

## - Ulemper

- Fare for gjentetting med påfølgende skader (ved feil dimensjonering)
- Behov for hyppig (maskinell) rensk. Viktig med god og sikker adkomst.
- Bør være hengslet slik at det kan løftes opp.
- Bør heller legges et stykke oppstrøms slik at vannet kan komme rundt/over.



# Oppgradering av stikkrenner

- Skifte eksisterende renne (graving)
  - Kostnad fra 250 000.- pr stk (avhengig av lengde og overdekning)
  - Kan gjennomføres på togfri helg om fyllingen ikke er for høy
  - Frostsikring
  - Viktig med fokus på utkiling av fylling i frostsensitive masser.
- Legge flomløp
  - Graving (kostnad tid som over)
  - Pressing
- Strømperenovering



# Rørpressing (stål) dimensjoner og lengder

## Fordeler:

- Kan ha trafikk på sporet
- God kost nytte ved høye fyllinger

## Ulemper

- Utfordring med frost ved liten overdekning i finkornede fyllinger. (røret leder varme ut av fyllingen)
- Stor kostnadsøkning ved dimensjoner over 1220 mm
- Må ha kontroll på massene men presser i.

**Dimensjoner fra:** Ø219mm, 273, 323, 355, 406, 457, 508, 609, 711  
813, 914, 1016, 1220, 1420, 1600, 1740, 2000, 2500.

**Egnede masser:** Leire, sand og silt.

**Ikke sprengstein eller knuste masser.  
Morene, steinholdige masser og fjell = HÅNDGRAVING  
Fra Ø1420 – 2500mm brukes tunnelleringsprinsipp.**

**Lengder:** Lengder avhenger av størrelse, masser og grunnforhold.  
Opp til og med Ø1220 mm maks 100 meter.  
Fra Ø1420mm og oppover, opp til 300 meter.

**Styrbarhet:** Stive stålrør, medfører begrenset styring.

**Avvik:** Ytre påkjenninger og tyngdekraft, kan gi avvik.  
(inntil 1% av borelengde)





# Renovering med strømpe – glassfiberarmert plast/epoxy

- Når?
  - Steinkister som ikke lenger holder fasong
  - Vanskelig/dyr tilkomst for skifte
  - Allerede tilstrekkelig kapasitet
  - Gir IKKE økt kapasitet ved innløpskontroll (man kan gi ved utløpskontroll).
- Fordeler
  - Stor styrke og lang levetid.
  - Kan brukes til å forlenge stikkrenner på en god måte.
  - Mindre vedlikehold pga. glatt indre
  - Stopper mulig vanninntrenging i fylling
  - Kan gjennomføres med trafikk på sporet.
- Ulemper:
  - Dyrt?





# Hva bør vi ha fokus på framover?

- Oppdatere BaneData
  - Riktige dimensjoner
  - Innstikks rør
  - Flere løp/flomløp
  - Inntaksrist mm.
- Registrere situasjoner med utfordringer men som ikke gir umiddelbare konsekvenser for togframføring.
- Rensk etter ekstremnedbør/flommer (hendelsesbasert/belastningsbasert)
- Utarbeide lister over punkter med gjentatte utfordringer (finnes sikkert mange steder allerede).

## Vedlegg 4



## **Vedlegg 5**





## Vedlegg 6



