



TALLINNA  
TEHNIKA KÕRGKOO

Tõnis Anijärv

# **LIBEDUSETÕRJEKS KASUTATAVATE KLORIIDIDE OPTIMEERIMISE VÕIMALUSED**

LÕPUTÖÖ

Tallinn 2024

**Tõnis Anijärv**

# **LIBEDUSETÕRJEKS KASUTATAVATE KLORIIDIDE OPTIMEERIMISE VÕIMALUSED**

LÕPUTÖÖ

Ehitusinstituut

Teedehituse õppekava  
Juhendaja: Sven Sillamäe, *MSc*

Tallinn 2024

## **Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks**

Mina, **Tõnis Anijärv**

annan Tallinna Tehnikakõrgkoolile (edaspidi kõrgkool) tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose

### **Libedusetõrjeks kasutatavate kloriidide optimeerimise võimalused**

- 1) reprodutseerimiseks eesmärgiga seda säilitada ja teha üldsusele kättesaadavaks Tallinna Tehnikakõrgkooli digiarhiivi DSpace kaudu;
- 2) reprodutseerimiseks pärast piirangu lõppu juhul, kui instituudi direktori korraldusega on kehtestatud lõputöö avaldamisele tähtajaline piirang.

Olen teadlik, et nimetatud õigused jäävad alles ka autorile ja kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest tulenevaid ega muid õigusi.

### **Autorideklaratsioon**

Mina, **Tõnis Anijärv**

tõendan/tõendame, et lõputöö on minu/meie kirjutatud. Töö koostamisel kasutatud teiste autorite, sh juhendaja ja iseenda varasematele teostele on viidatud õiguspäraselt.

Kõik isiklikud ja varalised autoriõigused käesoleva lõputöö osas kuuluvad autori/te/le ainuisikuliselt ning need on kaitstud autoriõiguse seadusega.

*(allkirjastatud digitaalselt)*

Juhendaja **Sven Sillamäe**

Töö vastab lõputööle esitatavatele nõuetele.

*(allkirjastatud digitaalselt)*

Lõputöö on kaitsmisele lubatud instituudi direktori korraldusega.

*(allkirjastatud digitaalselt)*

*(kuupäevad digiallkirjades)*

# SISUKORD

|                                                           |    |
|-----------------------------------------------------------|----|
| SISSEJUHATUS .....                                        | 5  |
| 1 KIRJANDUSE ÜLEVAADE .....                               | 6  |
| 1.1 Eesti kliima .....                                    | 6  |
| 1.2 Eesti teedevõrk ja talihooldus .....                  | 6  |
| 1.3 Libeduse teke, selle ennetamine ja tõrjumine .....    | 10 |
| 1.4 Soolalahuse kasutamine.....                           | 11 |
| 1.5 Teralise soola kasutamine.....                        | 12 |
| 1.6 Naatriumkloriidi niisutamine ja soolalahus .....      | 15 |
| 1.7 Verston OÜ poolt kasutatavad soolad .....             | 17 |
| 1.8 Millal kasutada kaltsium- ja magneesiumkloriide ..... | 19 |
| 2 PRAKTILINE TÖÖ .....                                    | 21 |
| 2.1 Katseplaan .....                                      | 21 |
| 2.2 Teedel info kogumine ja kasutamine töös .....         | 22 |
| 2.3 Andmete kasutamine libedusetõrjel .....               | 22 |
| 3 TULEMUSED .....                                         | 30 |
| 3.1 Soola kokkuhoid tänu niisutamisele .....              | 30 |
| 3.2 Keskkonna mõjude hindamine .....                      | 32 |
| 3.3 Libedusetõrje efektiivsuse tõstmine .....             | 33 |
| KOKKUVÕTE .....                                           | 35 |
| SUMMARY.....                                              | 37 |
| VIIDATUD ALLIKAD .....                                    | 39 |
| Lisa 1. Talihooldde hooldepäevikuvorm.....                | 41 |

## SISSEJUHATUS

Talvised tingimused, millega teedel kokku puudutakse, võivad tekitada liiklusohutlikke olukordi. Selleks, et tagada ohutud teeolud külmematel talvekuudel, kasutatakse laialdaselt libedusetõrje soolasid. Need keemilised ühendid aitavad ennetada libeduse teket kui ka sulatada juba tekkinud jääkihti, parandades seeläbi teeolusid ja haardetegurit. Lisaks libedusetõrjele hõlmab talvine teehooldus ka lumetõrjet. Lumetõrje on hooldeauto ja -traktoriga lume mehaaniline eemaldamine teekattelt. Õigeaegselt teostatud lumetõrje aitab samuti vähendada vajaminevate kloriidide hulka.

Talvel teedel esinev libedus on üks olulisemaid ohutusriike liikluses. Libedad teeolud võivad põhjustada liiklusõnnetusi ja häireid liikluseid ning seeläbi märkimisväärselt mõjutada ühiskonna toimimist ja majandust. Probleemi lahendamiseks on välja töötatud erinevaid libedusetõrje meetodeid, kusjuures libedusetõrje soolade kasutamine on üks levinumaid ja efektiivsemaid.

Lõputöö eesmärgiks on kirjeldada ja analüüsida libedusetõrjeks kasutatavate kloriidide optimeerimise võimalusi. Käesolevas töös käsitletakse libedusetõrje kloriidide omadusi, pakkudes ülevaadet nende efektiivsusest, keskkonnamõjust ja praktilisest kasutamisest, mille mõistmine võimaldaks vähendada kloriidide koguseid. Töös kasutatud praktilised andmed on kogutud Tartu talihoorde piirkonnas.

Lõputöö eesmärkide täitmiseks on kasutatud kõiki nii varem kehtivaid määruseid ja juhendeid, mis on seotud talvise teehooldusega riigiteedel. Uuriti informatsiooni naaberriikides kasutatavate puistenormide ja -praktika kohta. Koguti materjale libedusetõrje teostamise kohta Tartu piirkonnas. Veel kasutati Transpordiameti tegevusvaldkondades tehtud uuringuid ja nende tulemusi.

# 1 KIRJANDUSE ÜLEVAADE

## 1.1 Eesti kliima

Eesti paikneb Ida-Euroopa lauskmaa loodenurgas, st üleminekuvööndis mereliselt kliimalt mandrilisele. Siinset kliimat mõjutab Atlandi ookean, eelkõige aga Põhja-Atlandi hoovus. Selle põhjaosas toimuv aktiivne tsüklonaalne tegevus (nn Islandi miinimum) põhjustab tugevaid tuuli, sademeid ja temperatuuri järske kõikumisi, mis on maksimaalsed sügisel ja talvel. Valitsevate läänetuultega kaugele mandri siseosadesse kanduv niiske mereline õhumass toob külmal poolaastal endaga kaasa tunduvalt soojema, soojal poolaastal aga mõnevõrra jahedama ilma. Siinne aasta keskmine õhutemperatuur on märksa kõrgem kui ida poole jäävatel kontinentaalsema kliimaga aladel, mis asuvad samadel laiuskraadidel. Eesti-siseste temperatuurierinevuste peamiseks kujundajaks on Läänemeri. Talvisel ajal hoiab rannikualad soojemana kui sisemaad. Nii et läänepool on soojem ja ida pool külmem. Eesti paikneb niiske kliimaga vööndis, kus sademete hulk ületab summaarse auramise. Aasta keskmine suhteline õhuniiskus on 80–83%. Kõrgem on ta talvekuudel ja kõige madalam mais, keskmiselt 70%. Aasta keskmine sademete summa varieerub piirides 550-800 mm. Kõige madalam sademete hulk esineb reeglina rannikuvööndis. [1]

## 1.2 Eesti teedevõrk ja talihooldus

Eesti teedevõrgus jagunevad teed riigiteedeks, kohalikeks teedeks ning erateedeks ja metsateedeks. Riigiteede ehituse ning hoolduse eest vastutab Transpordiamet, kohalike teede eest kohalik omavalitsus ja erateede eest tee omanik. [2]

Riigiteed liigitatakse järgmiselt [3]:

- põhimaantee – ühendab pealinna teiste suurte linnadega, neid linnu omavahel ja teisi suuri linnu tähtsate sadamate, raudteesõlmede ja piiripunktidega;
- tugimaantee – ühendab linnu omavahel ning linnu põhimaanteedega;
- kõrvalmaantee – ühendab linnu alevite ja alevikega, alevaid ja alevikke omavahel või küladega ning neid kõiki põhi- ja tugimaanteedega;
- ühendustee – liikluse kogumiseks või liiklusvoolude kanaliseerimiseks, samuti teede ristumisala sujuvaks ja ohutuks toimimiseks rajatud kogujatee, juurdepääsutee, ramp või muu sarnane tee;
- riigi jäätee – üle jäätunud veekogu kulgev tee, mis olenevalt paksusest on ette nähtud inimeste või liiklusvahenditega liikumiseks;
- muu riigitee – on kantud riigiteede nimekirja ja mis ei ole tunnustelt ükski eelnimetatud teedest.

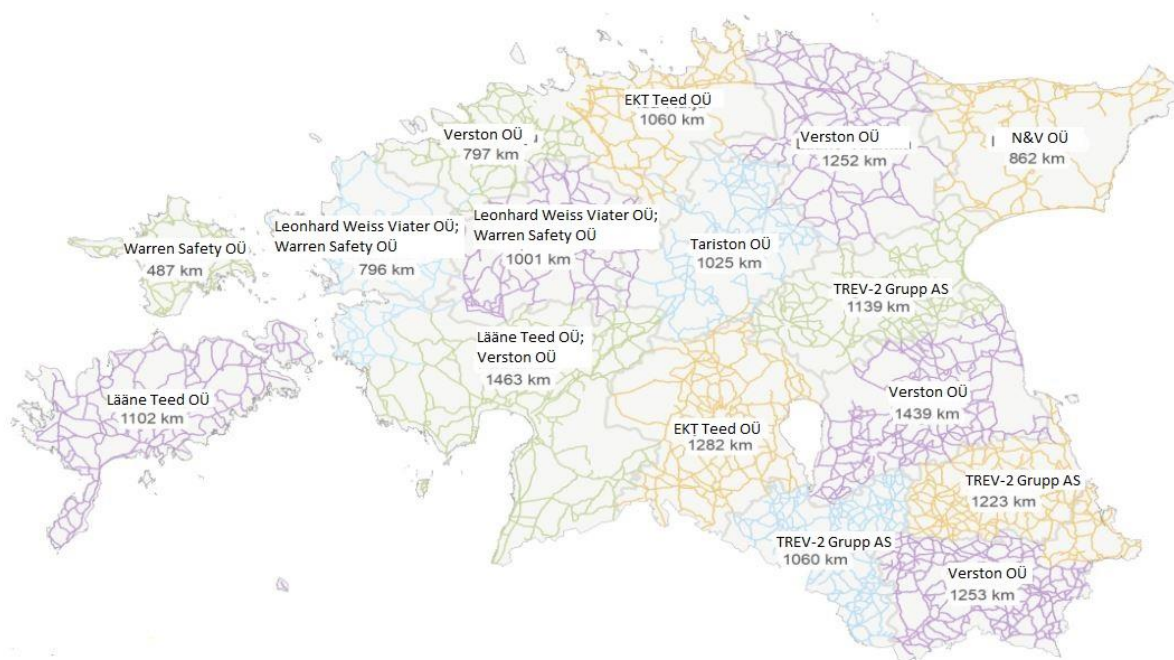
Erinevatel tee seisunditasemetel kehtivad erinevad nõuded, mis on täpsemalt kirjeldatud „Tee seisundinõudes“ ja selle lisades. Olulisemad tee talvised seisundinõuded, mis kehtivad riigiteedele on kirjeldatud (Tabel 1). Kehtivas „Tee seisundinõuded“ olevates lisades „Kattega tee seisundinõuded“ ja „Kruusatee seisundinõuded“ sätestatud nõuded on kehtivad aasta läbi. „Talvised teehoolde nõuded hakkavad kehtima, kui teedel esinevad järgmised talvised tingimused: lumi, jää, tuisk jms“. [4]

Tabel 1. Tee talvised seisundinõuded [5]

| Tee talvised seisundinõuded (seisuga 14.07.2015) |            |                                                                                                                                                                                        |                                                                         |                                                                                                           |                                                                                        |
|--------------------------------------------------|------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------|
| Seisunditase                                     | Prioriteet | Kirjeldus                                                                                                                                                                              | Lumetõrje                                                               | Libedusetõrje                                                                                             | Nõuded<br>lume<br>paksusele                                                            |
| 3+                                               | Kõrge      | Seisunditasemega 3+ teid on 1718 km. Need on riigi põhiteed ning suurema liiklusega tugi- ja kõrvalteed. Teepind või vähemalt sõidujäljed on lume- ja jäävabad.                        | Hiljemalt 2 tunni jooksul pärast lumesaju lõppu või libeduse tekkimist. | Hiljemalt 2 tunni jooksul pärast lumesaju lõppu või libeduse tekkimist. Tehakse ennetavat libedusetõrjet. | Kriitilise koheva lume paksus ei tohi ületada 4 cm, kriitilise märja lume paksus 2 cm. |
| 3                                                | Kõrge      | Seisunditasemega 3 teid on 2172 km. Need on riigi põhiteed ning suurema liiklusega tugi ja kõrvalteed. Teepind või vähemalt sõidujäljed lume- ja jäävabad.                             | Hiljemalt 4 tunni jooksul pärast lumesaju lõppu või libeduse tekkimist. | Hiljemalt 4 tunni jooksul pärast lumesaju lõppu või libeduse tekkimist. Tehakse ennetavat libedusetõrjet. | Kriitilise koheva lume paksus ei tohi ületada 4 cm, kriitilise märja lume paksus 2 cm. |
| 2                                                | Keskmine   | Seisunditasemega 2 on 4602 km teid. Selle seisunditasemega on enamuses tugiteid ja osa suure liiklusega kõrvalteid. Tehakse libedusetõrjet, kuid teed ei pruugi olla lume ja jäävabad. | Hiljemalt 8 tunni jooksul pärast lumesaju lõppu või libeduse tekkimist. | Hiljemalt 8 tunni jooksul pärast lumesaju lõppu või libeduse tekkimist.                                   | Kriitilise koheva lume paksus ei tohi ületada 8 cm, kriitilise märja lume paksus 4cm.  |

| Seisunditase | Prioriteet | Kirjeldus                                                                                                                | Lumetõrje                                                                | Libedusetõrje                                                            | Nõuded lume paksusele                                                                   |
|--------------|------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------|
| 1            | Madal      | Seisunditasemega 1 on 8189 km teid, ehk valdav enamik. Tehakse libedusetõrjet, kuid teed ei pruugi olla lumega jäävabad. | Hiljemalt 12 tunni jooksul pärast lumesaju lõppu või libeduse tekkimist. | Hiljemalt 12 tunni jooksul pärast lumesaju lõppu või libeduse tekkimist. | Kriitilise koheva lume paksus ei tohi ületada 10 cm, kriitilise märja lume paksus 5 cm. |

Eesti riigiteede hooldus on jagatud 16 piirkonnaks kus teostavad teede hooldust 8 ettevõtet (Joonis 1). [6]



Joonis 1. Riigiteede hooldepiirkonna kaart [6]

Kõigi talihoolet tegevate ettevõtete eesmärk on tagada teedel liiklusohutus kõigile liiklejatele ja tagada teedel vastavad seisunditasemed. Talvised hooldetööd on lume tõrjumine, libeduse tõrje, mehaaniline karestamine nendele ning töödele lisandub puuduste kõrvaldamine. Tehtud töid kontrollivad Transpordiameti järelevalve spetsialistid. Tee seisundi seiret viiakse läbi igapäevaselt ja see hõlmab teeilmajaamade ja -kaamerate andmete jälgimist, hooldetehnika jälgimist ja patrullisõite, seal hulgas haardeteguri mõõtmist. [6]

Haardeteguri mõõtmiseks kasutavad teehoolde ettevõtted ja järelevalve spetsialistid enamasti optilist haardetegurimõõturit (Foto 1) või pidurdamisel põhinevat haardeteguri mõõteseadmed. Optilised haardeteguri seadmed on kontaktivabad ja mida on seega mugavam kasutada. Seadme tööpõhimõte on teepinnalt tagasi peegeldunud signaali optiline spektraalanalüüs. Anduris olev tarkvara teeb mõõtmise ja tuvastab saadud andmete järgi teepinna seisukorra, tuvastab vee ja/või jää olemasolu ning koguse teepinnal ja nende andmete põhjal määratleb andurisse sisse ehitatud mudel teepinna haardeteguri väärtuse. Kuigi tegemist ei ole haardeteguri füüsilise mõõtmisega, on mudel välja töötatud kasutades referentsina pidurdamisel põhineva aeglustumise mõõtmist ja võrdlustestid näitavad erinevate meetodikate alusel saadud tulemuste piisavat seost, kuigi esineda võib ka mõningast varieerumist pidurdamisel saadud aeglustumise ja modelleeritud haardumise vahel. Seadet võib lugeda pidevmõõteseadmeks, kuna teepinda skaneeritakse mitu korda sekundis, tulemused keskmistatakse ja andmed kantakse serverisse. Liikudes kiirusel 90 km/h saadakse mõõtetulemus 25 m sammuga. [7]



Foto 1. Optiline haardetegurimõõtur suunatuna vasakusse rattajälge [7]

Eestis on valdavalt kasutusel pidurdamisel põhinevaid haardeteguri mõõteseadet Eltrip 65 (Foto 2), millega sisuliselt mõõdetakse auto aeglustuse kiirust pidurduse korral. Haardeteguri väärtus arvutatakse pidurdamisel saadud ratta pöörlemiskiiruse vähenemise ja pidurdamisaja pikkuse täpse mõõtmise teel. Antud seadme plussiks on võimalus mõõta pidurdamisel tekkivat reaalselt füüsilist aeglustumist, puuduseks aga selle manöövriga kaasnevad ohutuse aspektid. Eltrip 65 on lisaks haardetegurile võimalik mõõta distantssi ja täpset sõidukiirust. Eltrip seade võrreldes optilise seadmega on keeruline paigalda kuna eeldab eriteadmisi ning paigaldatakse esinduses. Eltrip seade vajab enne kasutamist kalibreerimist, millega viiakse konkreetse juhi, sõiduki ja rehvide kombinatsioonis saadav mõõtetulemus vastavusse soovitud tulemusega. [7]



Foto 2. Eltrip 65 teepikkuse mõõterežiimis [7]

### 1.3 Libeduse teke, selle ennetamine ja tõrjumine

Libedus on tagajärg põhiliselt kolmele tekkepõhjusele: sademete ja udu põhjustatud libedus, märja teepinna jäätumine ning härmatis. Alljärgnevalt tuuakse välja ja kirjeldatakse detailsemalt erinevad libeduse tekkepõhjused. [8]

Teekate on libe siis, kui sellel esineb järgmises olekus vett: jää, härmatis, lahtine lumi ja kinnisõidetud lumi. Nendest kõige vähem libe on lumine pind ja enim märg jää. Kui teepind on kuiv või peaaegu kuiv, ei ole see libe ka suure pakasega. Üks olulisemaid nähtusi libeduse tekke puhul on kastepunkt ja selle temperatuur. Kastepunkt on temperatuur, milleni õhk peab jahtuma, et temas sisalduv veeaur muutuks küllastunud auruks, see tähendab, et kastepunktist allpool õhus olev veeaur kondenseerub. Õhku mahub vaid teatud hulk veeauru, mis sõltub õhutemperatuurist – mida kõrgem see on, seda suurem saab olla veesisaldus. Õhutemperatuuri langedes mahutab õhk järjest vähem veeauru ning saavutades kriitilise taseme ehk kastepunkti temperatuuri, hakkab veeaur veelduma ehk kondenseeruma, mis avaldub udu, kaste või härmatisena. Kui teekatte temperatuur on kastepunkti temperatuurist kõrgem, teekate kuivab, kui võrdne, siis ei toimu kuivamist ega niiskuse lisandumist, kuid kui teekate on kastepunktist madalama temperatuuriga, toimub tee pinnale kondenseerumine ehk lisandub niiskust. Kui teekatte temperatuur on negatiivne, tekib härmatis. Tee pinna ja kastepunkti temperatuuride erinevus on üks olulisemaid näitajaid, mille abil planeerida ennetavat libedusetõrjet. Kui temperatuuride erinevus on negatiivne ehk tee pinna temperatuur on kastepunkti temperatuurist madalam, tekib tee pinnale kaste. Mida suurem see negatiivne temperatuur on, seda rohkem õhuniiskust kondenseerub. [9]

Libeduse ennetamiseks kasutatakse ilmaprognoose ja Transpordiameti teeilmajaamasid. Teeilmajaamadel on võimalik jälgida kolme erineva riigi ilmasteenistuse prognoosi ja vastavalt sellele saab otsustada milline jätkutegevus on õige. Ettevõttesiselt on talihoolde perioodi ajaks vahetustega töö planeeritud inimesele, kes jälgib teedeilmakeskust ja seal kuvatavaid prognoose. Kuna teedeilmakeskus kasutab teekaameraid, siis tervikpildi jaoks

on täiendavalt piirkondades hooldemeistrid, kes teevad patrullisõite ja omavad täpsemalt ülevaadet oma piirkonna kohta. Libeduse ennetamise jaoks on väga tähtis suhtlus teedeilmakeskust jälgiva inimese ja hooldemeistri vahel.

Ennetava libedusetõrje eelised [10]:

- parem haardetegur, teekate püsib puhas;
- jää ei jää teekattele kinni;
- kulub vähem kloriide haardeteguri tagamiseks;
- ennetavat puistet saab teha tööajal, seega ei teki ületunde;
- võib kasutada 100% soolalahust.

Libedusetõrje on teekatte haardeteguri suurendamine teekattele kloriidide, abrasiivmaterjalide või nende segude või kloriidide vesilahuste puistamisega, samuti teekatte haardeteguri suurendamine mehaanilise karestamisega, või sama tehnoloogiaga roobaste ja ebatasasuste likvideerimine. Kloriididena kasutatakse naatriumkloriidi ( $\text{NaCl}$ ), kaltsiumkloriidi ( $\text{CaCl}_2$ ) ja magneesiumkloriidi ( $\text{MgCl}_2$ ). Puistematerjalidena kasutatakse liiva, sõelmeid, sõelutud või purustatud kruusa ja killustikku. Puistematerjalidel on lubatud tera läbimõõt tänavatel, jalgteedel ja jalgrattateedel 2–6 mm ja maanteedel kuni 6 mm. Külbumise vältimiseks ja terade paremaks püsimiseks teel võib segada puistematerjali sisse 40–60 kg kloriide 1 m<sup>3</sup> puistematerjali kohta. [11]

## **1.4 Soolalahuse kasutamine**

Talvise hoolduse vedelikud on veelahused, mis koosnevad veest ja ühest või mitmest kemikaalist, nagu teesool (naatriumkloriid,  $\text{NaCl}$ ), kaltsiumkloriid ( $\text{CaCl}_2$ ) või magneesiumkloriid ( $\text{MgCl}_2$ ). Vedelike kemikaalide tellimine, käitlemine ja rakendamine nõuab eriteadmisi. Siiski, nende toime teekattel on sarnane tahkete libedusetõrjekemikaalide omaga, kuna tahked kemikaalid peavad enne sulamist lahustuma lahusesse. [10]

Soolalahus sobib kõige paremini õhukese jää ja lörtsi sulatamiseks ning ennetavaks libedusetõrjeks. Soolalahus ei sulata tugevat jääd ega lund, sest nendes muutub lahus ebaefektiivseks. Lumes soolalahuse kasutamisel tuleb jälgida samas ajal sõidutee sahkamist. [12]

Soolalahuse kasutamise eelised:

- sobib ennetavaks libedusetõrjeks;
- toimib ka väiksema liiklussageduse korral;
- toimib koheselt või väga väikese viitega;
- väga väikesed soolakogused;

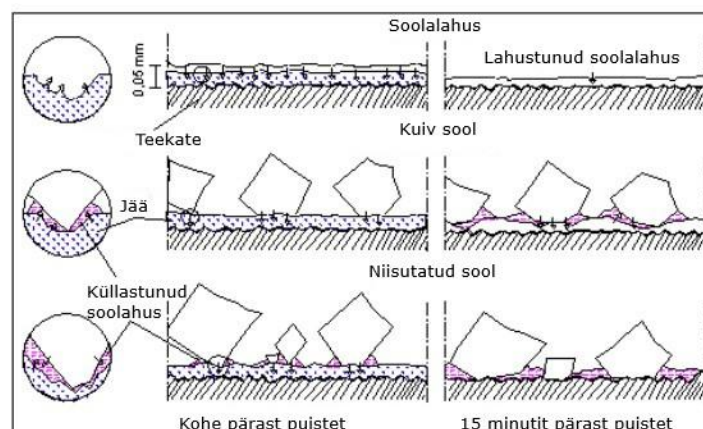
- suur toimeulatus ja puistamise kiirus;
- tulemuseks on niiske pind, mitte märg – tee kuivab kiiremini;
- liiklusohutus selle tulemusena suureneb.

Soolalahuse kasutamise puudused:

- alginvesteeringud segajatesse, ladustamismahutitesse ja kombipuisturitesse;
- vajadus uuendada tee soolamist, lahjendamise ja jahtumise tõttu;
- seadmete hooldusvajadus suureneb;
- nende libedusetõrjeks kasutamine on üldiselt piiratud teekatte temperatuuridega üle -7 °C;
- rõhutab professionaalsuse ja hoolsuse tähtsust „soolamine on kunst, aga lahustatud soolamine on teadus“.

Soolalahuse kogus peab olema selline, et sulav jää või härmatis teeks teekatte pinna maksimaalselt niiskeks mitte märjaks. [12]

Väike kogus soolalahust, ca 10 g/m<sup>2</sup>, mis muudab jää pinna pehmeks, aitab kui külma ei ole rohkem kui -10 °C. Liiga palju soolalahust tekitab liiga palju niiskust, mis tekitab probleeme, kuna see võib uuesti külmuda või suure liikluse korral sõidetakse teepealt ära. Soolalahust ei ole soovitatav puistata, kui teel on lund rohkem kui 1-2 cm. Küll aga võib lund olla rohkem kui temperatuur püsib 0 °C ümber. -3 °C või külmemaga on ka sentimeeter lund enamasti liiast. Soolalahus jääb teele oluliselt ühtlasemalt, kui võrrelda niisutatud soola või kuiva soola puistamisega (Joonis 2). [12]



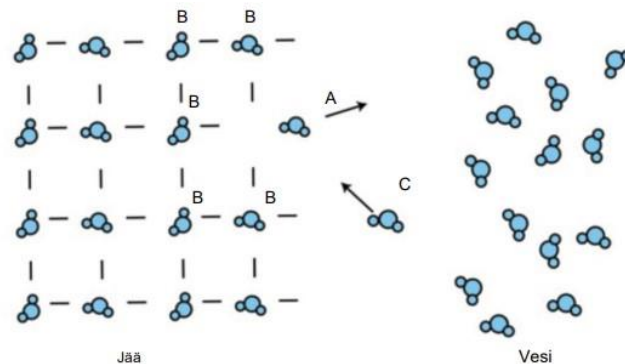
Joonis 2. Soolalahuse, kuiva soola ja niisutatud soola toimeprotsess teekattel [12]

## 1.5 Teralise soola kasutamine

Kuival ja granuleeritud kujul soola puistamine on traditsiooniline meetod, mis on nüüdseks vähenemas, kuna talihooldega tegelevad ettevõtted soovivad soola efektiivsemalt

kasutada. Kuiva soola asemel kasutatakse peamiselt niisutatud soola. Soola niisutusprotsent on üldiselt 30%. Niisutamine suurendab veidi soolatera massi, peenmaterjal seob niiske pinnaga ja haardumine teekattega paraneb oluliselt. Niisutamine kiirendab graanulite sulamise algust, eriti külmades ja kuivades tingimustes. [12]

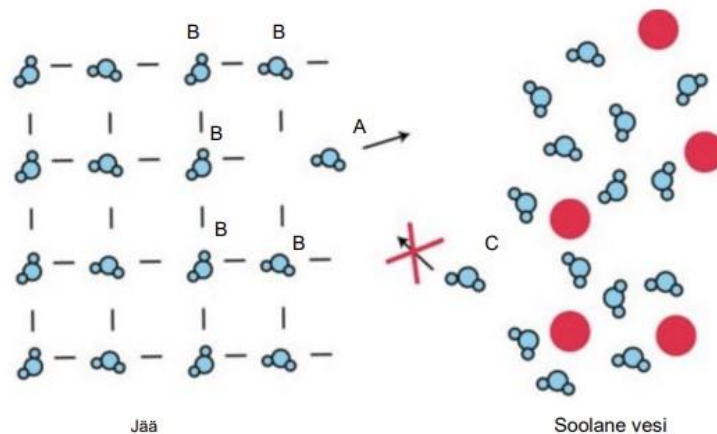
Et mõista, kuidas kemikaalid jääd sulatavad, peame esmalt arvestama jää ja vee faasidega ning üleminekuga nende vahel (Joonis 3). Jääl paiknevad molekulid oma naabritega võrreldes kindlas asendis ja iga molekul on seotud nelja teise molekuliga. Nad liiguvad ja pöörlevad veidi, kuid jäävad samasse kohta. Kuni temperatuur on alla 0 °C, on veemolekulide eelistatud olek tahke. Kui molekulid on vedelas faasis, on nad palju energilisemad ja liiguvad "vabalt" ringi ja pöörkuvad üksteise vastu. Nad ei asu enam naabermolekulide suhtes kindlas asendis. [13]



Joonis 3. Jää ja vee vaheline tasakaalu illustratsioon, vasakul jää molekulid ja paremal vee molekulid [13]

Esialgu "varastab" see energia oma naabermolekulidelt „B“. See aga tähendab, et molekulid „B“ liiguvad nüüd veidi aeglasemalt. Kuna temperatuur on sisuliselt molekulide liikumise kiiruse mõõt, võime märgata, et molekulid „B“ jahtuvad tegelikult faasisiirde tõttu, mille molekul „A“ läbis. Kuna jää on praegu külmumistemperatuurist 0 °C veidi külmem, külmub tõenäoliselt lähedal asuv veemolekul „C“. See vabastab energiat, mis tõstab temperatuuri uuesti. Seega on süsteem tõhusalt tasakaalus. See tähendab ka seda, et temperatuuril 0 °C „C“ ei ole eelistatud olekut (nii vedel kui ka tahke olek on veemolekulide jaoks võrdselt atraktiivsed). Süsteemi vedelasse olekusse viimiseks tuleb lisada soojust. Lisatud soojus takistab molekulide „B“ liigset maha jahtumist ja takistab molekuli „C“ külmumist. [13]

Kui lahustame kemikaali veefaasis, mida on kujutatud punaste täppidena (Joonis 4), vähendab see vee külmumistemperatuuri. Teisisõnu on veefaas muudetud atraktiivsemaks. Nii et isegi kui temperatuur on alla 0 °C, on eelistatud olek nüüd pigem vedel lahus, mitte jää, kuni (maha jahutatud) külmumispunkti. [13]



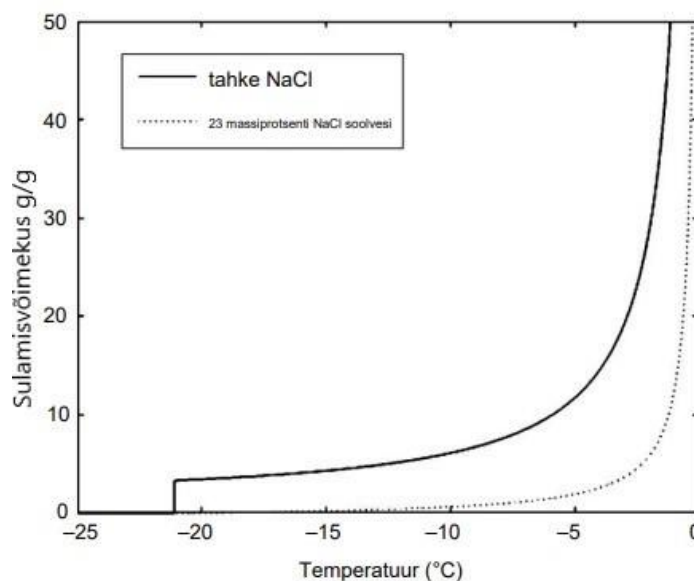
Joonis 4. Jää sulatamine soolaga. Sool alandab külmumistemperatuuri ja takistab molekulide külmumist, samal ajal kui sulamine jätkub [13]

Samal ajal ei ole molekuli „C” külmumist edasiviivat jõudu. Molekul „A” vajab vedelasse olekusse üleminekuks veel energiat, mis peab pärinema jääs ja lahuses olevatest naabermolekulidest. Tulemuseks on see, et kogu süsteem muutub külmemaks. Kuna jää ja lahus jahutatakse maha, muutuvad need keskkonnast (sillutis ja õhk) külmemaks. See võimaldab soojuse voolamist ümbritsevast sulamisfrondile, mis toetab edasist sulamist. [13]

Sulamise edenedes siseneb lahusesse üha rohkem jääst pärit molekule ja kemikaal lahjendatakse. Seetõttu vedela faasi külmumispunkt taas tõuseb. Süsteem saavutab uue tasakaalu, kui jää/lahuse temperatuur on jõudnud (lahjendatud) keemilise lahuse külmumispunkti. Sel hetkel on kemikaali potentsiaal jää sulatamiseks ammendatud ja selle sulamisvõime on saavutatud.[13]

Seega on vedelas faasis molekulid tahke faasiga võrreldes palju energilisemad. Kuni temperatuur on üle 0 °C (ja alla keemistemperatuuri 100 °C), on veemolekulide eelistatud olek vedel. Et jäämolekul „A” läheks tahkest olekust vedelasse, peab see kiirendama. Selleks vajab see energiat, mida nimetatakse varjatud sulamissoojuseks (334 kJ/kg). [13]

Tahke NaCl ja NaCl soolvee sulamisvõime sõltub temperatuurist (Joonis 5). Efektiivseks sulamiseks talvistes tingimustes peetakse, kui -6 °C juures suudab 1 g NaCl sulatada umbes 0,7 g jääd. Kui temperatuur langeb, väheneb soola võime sulatada jääd. Madalamal temperatuuril on jää kristallide sulamistemperatuur madalam ning soolal on raskem luua piisavalt soojusenergiat, et sulatada need kristallid. Kuid soola sulamisvõime sõltub temperatuurist ja teistest keskkonna teguritest. [13]



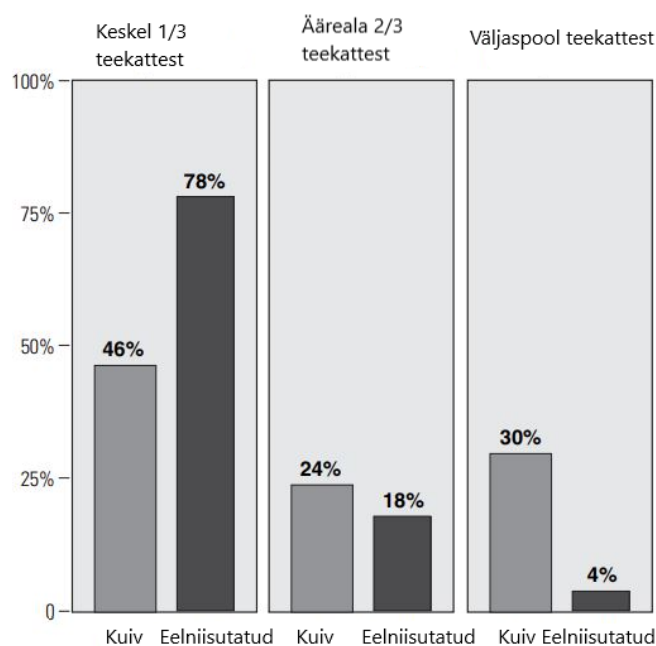
Joonis 5. Tahke NaCl ja NaCl soolvee arvutatud sulamisvõime [13]

Kui kemikaali kasutatakse lahustunud kujul (soolveena), lahjendatakse see kiiresti. Seetõttu on soolvee sulamisvõime piiratud. Parem lahendus on kasutada kemikaali graanulina. Tahke kemikaal võib lahuses lahustuda, kuna lahusesse siseneb üha rohkem sulavett ja seeläbi säilitada kõrge kontsentratsioon (mis tähendab madalat külmumistemperatuuri ja seega sulamisprotsessi suurt liikuma panevat jõudu). Talvise hoolduse teostajad niisutavad sageli kemikaali enne jäätõrjetoiminguid, et protsess kiiresti käivitada. Niikaua kui jää temperatuur on kõrgem kui lahuse madalam külmumispunkt, on molekuli „A” vedelasse olekusse üleminek liikuma panev jõud. Seega näitab kemikaali sulamisvõime, kui palju jääd saab sulatada 1 grammi kemikaali kohta. Kui teid hooldatakse eduka jäätumisvastase/puhta tee strateegiaga, ei ole vaja libedusetõrjet teha. Kuid jäätõrjeoperatsioonid võivad osutuda vajalikuks siis, kui jää on moodustunud hoolimata kõigist jäätumisvastastest/tihendamise meetmetest. Sellistel juhtudel on moodustunud jää tavaliselt õhuke (vähem kui paar millimeetrit) ja jää sulatamiseks ja pinnatingimuste taastamiseks saab kasutada jäätõrjet. [13]

## 1.6 Naatriumkloriidi niisutamine ja soolalahus

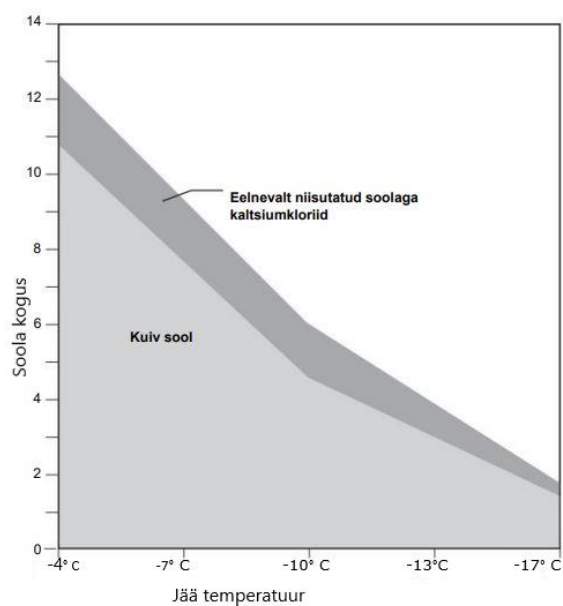
Eelniisutatud soola on kasutatud alates 1960. aastate lõpust. Sellel on mitmeid eelised [10]:

- vähendada soolakadu pörkamisest ja hajumist, sääst kuni 30% (Joonis 6);
- kiirem sulamine;
- parem soola tungimine jää ja lume sisse;
- märgumisel sulab madalamalt temperatuuril kui muud jää sulatus kemikaalid.



Joonis 6. Teekattel soola jääkkogus [10]

Eelniisutamiseks võib kasutada mis tahes jää sulatuskeemiat. Vedel sool, kaltsiumkloriid, magneesiumkloriid või tavalised libedusetõrje kloriidide segud. Madalama eutektilise temperatuuriga kemikaalid aitavad suurendada soola efektiivsust madalama temperatuuriga teel (Joonis 7). Erinevus kuiva naatriumkloriidi ja kaltsiumkloriidiga eelnevalt niisutatud soola vahel. Teetemperatuuri langedes väheneb nii kuiva soola kui eelnevalt niisutatud soola efektiivsus. Madalamal temperatuuril kui  $-12^{\circ}\text{C}$ , pole enam eelist niisutatud soolal. [10]



Joonis 7. Erinevus kuiva soola ja kaltsiumkloriidiga eelnevalt niisutatud soola vahel [10]

Erinevatel sooladel on erinev temperatuur, mille juures nad on libedustõrjel kasutamiseks kõige efektiivsemad.

Soolade temperatuuri piirid [14]:

- naatriumkloriid -10 °C;
- kaltsiumkloriid -32 °C;
- magneesiumkloriid -15 °C.

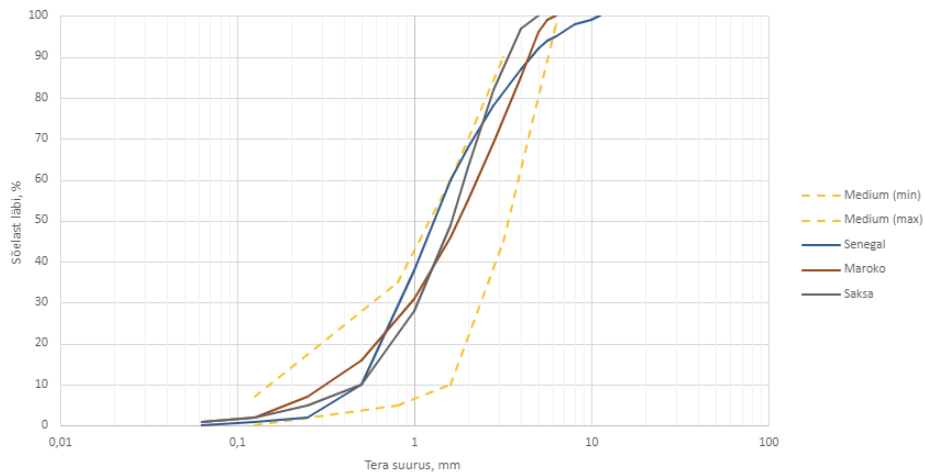
Kõige sobivam õhukese jää või härmatise korras ja ennetavaks libedusetõrjeks on 20-25% soolalahus (NaCl). Lahust ei või kasutada paksu koristamata lumekihi ja kinni sõidetud lume puhul, samuti jäite puhul, millest kate ei paista läbi. Soolalahuse kasutamise peamisteks eelisteks on operatiivsus ja soola vähene kulu ühekordsel soolatomisel. Paakauto lubatud liikumiskiirus soolatomisel ei tohi ületada 70 km/h. Kui kate temperatuur on alla -5 °C, kasutatakse lahuse asemel niisutatud soola. Soola lendumise vältimiseks õhukeeriste mõjul ei tohi puisturi liikumiskiirus ületada niisutatud soola puistamisel 40 km/h ja kuiva soola puistamisel 30 km/h. Soolalahuse kogus soola niisutamiseks peab olema vähemalt 80 l/m<sup>3</sup> soola kohta. NaCl efektiivsus väheneb oluliselt õhutemperatuuril alla -7 °C. [14]

## **1.7 Verston OÜ poolt kasutatavad soolad**

Libedusetõrjeks kasutab Verston OÜ erinevat päritolu soola. Kasutusel on Maroko ja Saksamaal toodetud soolad. Marokos on soolatootmine mereveest, merevesi juhitakse suurtele aladele, kus vesi välja aurutatakse ning sool kogutakse kokku. Seetõttu sool sisaldab rohkem peenosist ja tänu sellele hakkab kiiremini toimima. Saksamaal toodetakse sool kaevanustes ning seevastu on jämedama terakoostisega ja seetõttu toimeaeg on pikem. Kuna suuremad soolakristallid lihtsalt kulub rohkem aega sulamiseks.

Soola puistamise koha peal on Maroko sool parem, kuna puistamise kiirus saab olla suurem. Saksa soola puhul on oht, et suuremad soolakristallid võivad teepealt ära põrgata. Toimivad mõlemad soolad peaaegu võrdselt.

Verstoni kasutatavad soolad on lastud analüüsida Tallinna Tehnikaülikoolil. Erinevat päritolu soolade terakoostis ja lubatud piirmäärad (Joonis 8).



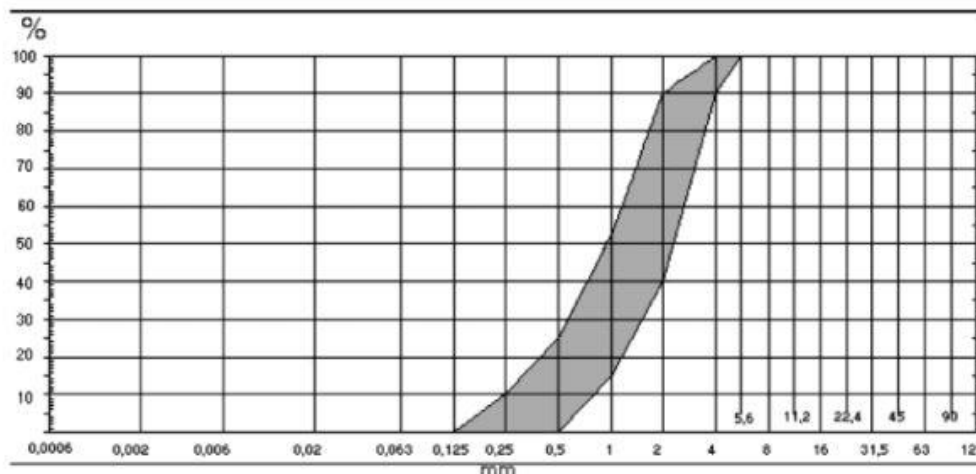
Joonis 8. Soolade terakoostis

Verston OÜ hooldada on Eestis kuus piirkonda, Lääne-Harju, Lääne-Virumaa, Tartu, Võru, Pärnu ja Kuresaare. Kasutatakse Tartus ja Võrus Maroko sool, teistes piirkondades Saksa soola. Saksa soola hind on 20% suurem kui Maroko soolal.

Libedusetõrje soolad peavad vastama järgmistele tehnilistele näitajatele [11]:

- terakoostis peab olema 0,25-4,0 mm ja mahtuma (Joonis 9) toodud sõelkõveraväljale. Peenemaid osiseid kui 0,25 mm ja jämedamaid kui 4,0 mm ei või olla üle 10% soolamassist;
- soola niiskuse sisaldus laos võib olla kuni 1,5%;
- lahustumatu jääk 20 °C vees võib olla kui 0,7%;
- kloriidide (põhiaine) sisaldus peab olema vähemalt 97%;
- paakumise vältimiseks peab olema lisatud paakumisvastast lisandit.

Libedusetõrje kloriididele ei ole eraldi nõudeid kehtestatud. Libedusetõrje tegemisel lähtutakse teele kehtestatud seisundinõuetest ning hinnatakse teehooldaja poolt seisundinõuete tagamisest. [14]



Joonis 9. Libedusetõrje soolade sõelkõvera väli [11]

## 1.8 Millal kasutada kaltsium- ja magneesiumkloriide

Kaltsiumkloriidi kasutatakse peamiselt kruusateedel tolmu sidumiseks ja nende pinna vastupidavuse parandamiseks. Kaltsiumkloriidi kasutamine talvisel soolamisel on aga Soomes suurenenud ja moodustab praegu umbes 13% kogu libisemisvastaste ainete kasutamisest. Mõnes piirkonnas on kasutusala kuni 40%, seega võib selle tähtsus olla regionaalselt suur [15]. Kaltsiumkloriid on osutunud eriti tõhusaks võitluses musta jääga.

Kaltsiumkloriid on hügrokoopne aine, st imab vett ja läheb väga kiiresti tahkest olekust lahusesse. Kaltsiumkloriidi lahus on teatud kontsentratsioonides ka hügrokoopne. Tänu oma hügrokoopsele omadusele suudab kaltsiumkloriid jääd sulatada kiiremini kui naatriumkloriid. Kaltsiumkloriid seob ka sulamisel eralduvat vett madalamal temperatuuril ja õhuniiskusel kui naatriumkloriid. Kaltsiumkloriidiga niisutatud naatriumkloriidi kasutamisel püsib sool paremini teepinnal ning ei kandu tuul ja liiklus teelt välja. Soomes kasutatakse libisemise vältimiseks kaltsiumkloriidi alati 32% lahuseana. [16] Selle töötemperatuuri vahemik on lai, kuna see säilitab oma efektiivsuse vahemikus  $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$  kuni  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ , kui lahuse kontsentratsioon on piisavalt kõrge. Praktikas on aga libisemise kontrollimisel olulised vaid temperatuurid üle  $-7\text{ }^{\circ}\text{C}$ , kuna madalamatel temperatuuridel libisemisvastaseid kemikaale tavaliselt ei kasutata [16].

Mägisool ehk maanteeool ehk naatriumkloriid on odavam võrreldes teiste libedusetõrje kloriididega nagu  $\text{CaCl}$  ja  $\text{MgCl}$  ning tõhus libisemisvastane aine mida kasutatakse laialdaselt kogu maailmas. Naatriumkloriid on vees lahustuv kemikaal, mis alandab vee külmumistemperatuuri. Selle eutektiline punkt ehk madalaim külmumistemperatuur, mis

teatud soola vesilahuse puhul saavutatakse, on  $-21,2\text{ }^{\circ}\text{C}$  lahuse kontsentratsioonil 23,3% [17]. Sama lahuse kontsentratsioon on suunatud ka libisemisvastasele, et naatriumkloriidi sulamistõhusus oleks võimalikult hea. Kuivalt pealekandmisel on naatriumkloriid kõige tõhusam temperatuuril üle  $-4\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Temperatuuride vahel  $-4\text{ }^{\circ}\text{C}$  kuni  $-7\text{ }^{\circ}\text{C}$  hakkab see toimima alles 30–45 minuti pärast. Seda seetõttu, et naatriumkloriid vajab teatud aja jooksul moodustamiseks piisavalt soolast vett, et jää ja lume sulamisprotsess saaks alata. Naatriumkloriid kaotab oma sulamistõhususe temperatuuril  $-9,4\text{ }^{\circ}\text{C}$  [18]

Naatriumkloriidi kasutatakse Soomes libedusetõrjeks soolalahusega niisutatud, graanulite või lihtlahusega. Kasutatava naatriumkloriidi soolasisaldus peab olema vähemalt 97% kuivsoolast analüüsituna. Paakumisvastase aine (kaalium- või naatriumferrotsüaniid) kogus ei tohi ületada 150 ppm (0,015%). [18]

Magneesiumkloriidi saab eraldada mereveest või toota nn Dow protsessiga, kus magneesiumhüdroksiidi ( $\text{Mg}(\text{OH})_2$ ) töödeldakse vesinikkloriidhappega ( $\text{HCl}$ ). Dow protsess on meetod magneesiumkloriidi tootmiseks, mis hõlmab merevee destilleerimist ja seejärel magneesiumkristallide sadestumist. Magneesiumkloriidi kasutatakse laialdaselt libisemisvastastes, eriti USAs ja selle kasutamine on viimastel aastatel suurenenud (Wikipedia 2006a). Kuigi magneesiumkloriid on saadaval tahkete helvestena, kasutatakse seda libisemisvastastes rakendustes tavaliselt lahuseks. Selle eutektiline temperatuur on umbes  $-33\text{ }^{\circ}\text{C}$  lahuse kontsentratsioonil 21,6% ja see säilitab oma sulamisvõime kuni  $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Nagu kaltsiumkloriid, on ka magneesiumkloriid hügrokoopne ühend, mis tähendab, et see seob õhust niiskust. Lisaks eraldab see vees lahustumisel soojust (eksotermiline). See on umbes 40% parem kui kaltsiumkloriid sulamistõhususelt. [18]

Soolade hinnad on erinevad, ühe tonni kaltsiumkloriidi raha eest saab osta ühe kolmandiku rohkem magneesiumkloriidi ja neli korda rohkem naatriumkloriidi.



## **2.2 Teedel info kogumine ja kasutamine töös**

Teedel infot on kogutud ilmajaamade järgi ja lisaks teedel patrullisõite teostades. Teede ilmajaamad on üks tähtsamaid allikaid kus tuleb info teeolude kohta. Ilmajaamad on paigutatud erinevatesse kohtadesse ja need mõõdavad olulisi parameetreid, sealhulgas õhu- ja teetemperatuuri, sademete hulka, tuule- ja puhangute kiirust, soola jääk kogust tee peal. Ilmajaamade teabe ja prognoosi järgi pannakse paika plaan, kas on vaja ennetavat libedusetõrjet ja millal tuleb minna patrullisõitu tegema. Lisaks ilmajaamadele on kasutusel patrullautodel optiline haardeteguri mõõtur ja puistautodel on lisana teetemperatuuri mõõtev seade. Kuna teede maht on suur, siis tuleb läbisõidetav tee planeerida vastavalt ilma prognoosile. Lisaks saab vaadata ka kõrval asuvate maakondade teekaameraid ja tänud sellele saab teada mis liiki sadu tulemas on ja kui suure intensiivsusega.

Verston OÜ-s on TIK valves üks inimene kes ööpäeva ringselt jälgib TIK kaameraid. Selle inimese ülesanne on jälgida prognoose ja teede hetke olukorda. Prognoosid uuenevad iga 10 minuti järel, vahel ka muutuvad päris palju, seetõttu ongi vaja et keegi hoiab neil silma peal. Koostöös hooldemeistriga tehakse plaan, kuidas on kõige efektiivsem ennetada libedust ja korraldada lumetõrjet. Otsus millises koguses soola on vaja puistata, märgitakse hooldepäevikusse ülesse, lisaks selle läheb kirja millised olid ilmastikutingimused, mille alusel tehti vastavad otsused.

Hooldemeister peab samuti ka ise hooldepäevikut, kuhu ta märgib ülesse millest ta otsuste tegemisel lähtus. Lisaks sellele on võimalus saada infot teeolude kohta hooldeauto juhtide käest. Mida rohkem andmeid kogutakse, seda täpsemalt saab teha muutuseid libedustõrjes.

Tänu kogutud infole on võimalik juba järgmine päev teha täpsemaid otsuseid. Täpse ja õigeaegse libedusetõrje tegemine on väga tugevalt seotud teede seisukorra pideva jälgimise ja andmete kogumisega.

## **2.3 Andmete kasutamine libedusetõrjel**

Libedustõrje üldiselt algab ennetava puistega, jälgitakse ilma prognoose ja vastavalt sellele pannakse plaan paika ning asutakse tegutsema. Kui on näha et prognoosi järgi tee temperatuur langeb alla kastepunkti siis võib teedele tekkida härmatist. Lumesaju korral võib tekkida vajadus samuti teha ennetavat libedusetõrjet, kui tee on puhas ja külm aga hakkab sadama lund siis autod võivad sõita lume kinni. Kui lumi on teele kinni sõidetud siis selle eemaldamine on oluliselt ressursi kulukam. Ennetava puiste puhul piisab üldjuhul 5 g/m<sup>2</sup>, millest 30% moodustab NaCl soolalahus, üldjuhul on see kogus on piisav, et teele

ei saaks tekkida kinnisõidetud lund, kuid iga olukord sõltub konkreetsetest ilmastikuoludest. Kui hilineda puisteautode välja saatmisega ja teedele sõidetakse lumi kinni siis selle eemaldamine on väga kulukas ülesanne. Teoreetilise arvutuse järgi kulub  $175 \text{ g/m}^2$  NaCl ühe sentimeetri kinnisõidetud lume sulatamiseks teetemperatuuril  $-2^\circ\text{C}$  (Joonis 11). See arvutus eeldab, et taoline lume kogus sulatatakse veeks. Tegelikkuses piisab väiksemaks kogusest, umbes üks kolmandik, mis muudab jää pehmemaks ja liiklusega sõidetakse tee puhtaks. Kui teetemperatuur on madalam või lumekiht paksem, siis on ka soola kogus oluliselt suurem. Üldjuhul puisturautod suuremat kogust kui  $40 \text{ g/m}^2$  ühekorraga puistata ei saa.

## Näide

1 cm kinnisõidetud lund = 5 mm vett =  $5000 \text{ g/m}^2$  mis nõuab sulatamiseks:

- $175 \text{ g/m}^2$  soola  $-2$  kraadi juures
- $442 \text{ g/m}^2$  soola  $-5$  kraadi juures
- $820 \text{ g/m}^2$  soola  $-10$  kraadi juures

|                              |  |                        |     |
|------------------------------|--|------------------------|-----|
| soola kogus (kulunorm)       |  | 820.0 g/m <sup>2</sup> |     |
| veekihi paksus               |  | 5 mm                   |     |
| soolalahuse kontsentratsioon |  | 164 g/l ehk            | 16% |
| jäätumistemperatuur          |  | -10.4 °C               |     |

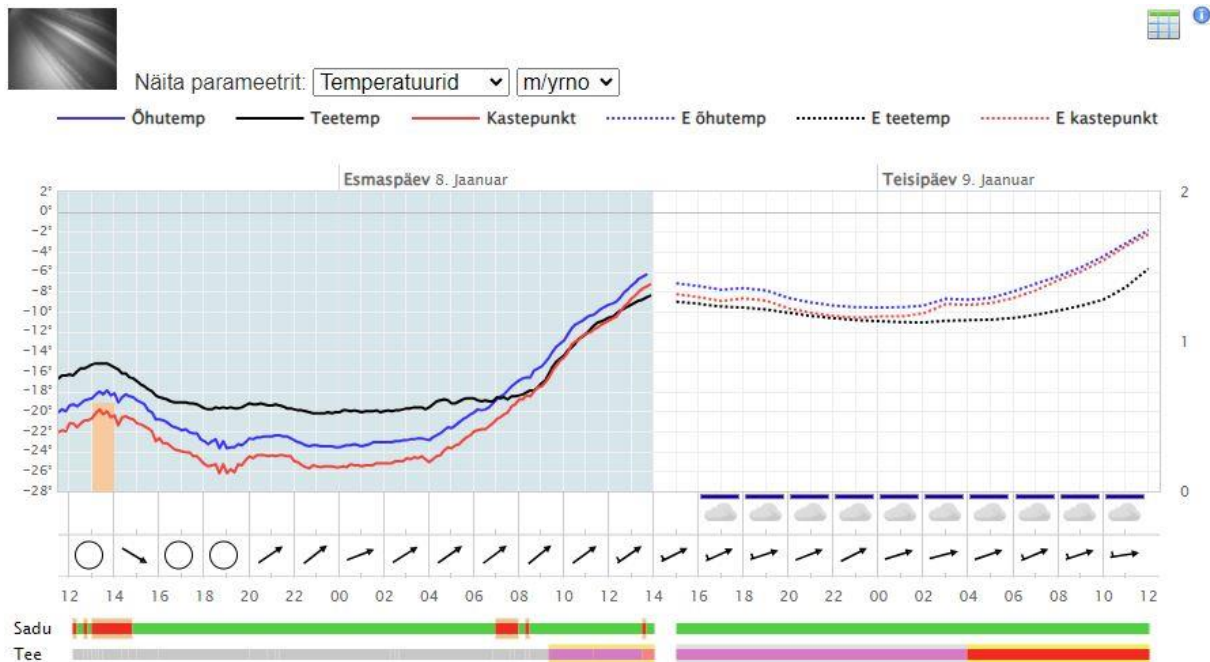
Joonis 11. Teoreetiline arvutus 1 cm kinnisõidetud lume sulatamine veeks

Andmete kogumine on seega väga tähtis, kuna sellega saab hoida soola kulunormi mõistlikkuse piires. Talve jooksul on olukordasid kus võib tekkida küsimus, kas sai soola õige kogus teele. Selle jaoks on hea kui saab hiljem vaadata, kuidas sarnastes olukordades varem puistatud soola kogus toimis.

Talvel võib olla ka olukordasid, kus prognoos ei näita lumesadu, kuid mingitel teede lõikudel sajab lund. Need hetked on kõige keerulisemad, kuna siis aitab ainult kiire reageerimine. Sellistes olukordades on hea, kui oleks olemas varajasemast perioodist taoliste olukordade kohta andmeid, siis saab kõige täpsemalt reageerida.

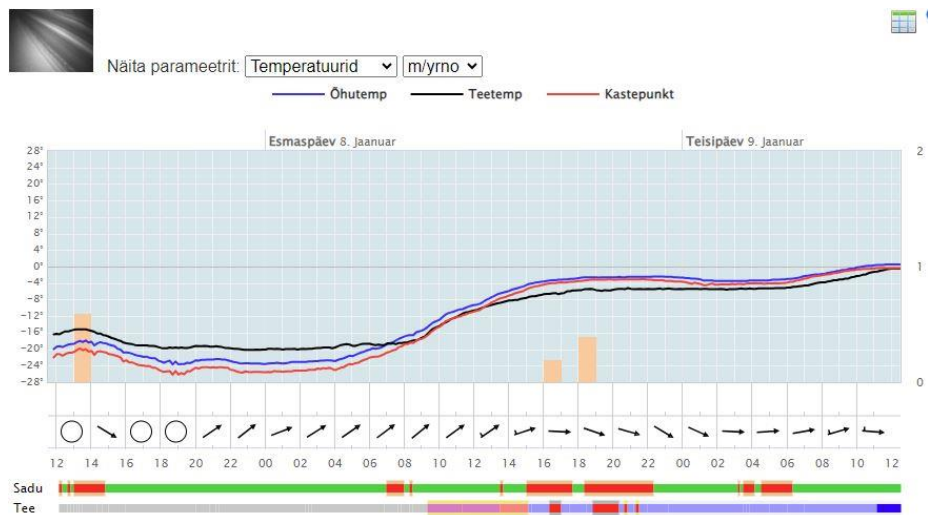
Valisin talve perioodist viis erinevat olukorda, mis ei olnud tava olukorrad ja kus oli vaja kiiresti reageerida muutustele.

8. jaanuari hommikul oli põhitee nr. 2 Tallinn – Tartu – Võru – Luhamaa. Tee- ja õhutemperatuur tugevalt miinuses, teeolud kuivad. Prognoos sadu ei näidanud, näitaks väikest temperatuuri tõusu lõuna ajal. Enne lõunat hakkas temperatuur tõusma. Kell 14:00 prognoos näitas, et teetemperatuur hakkab langema ja sademeid ei tule (Joonis 12).



Joonis 12. Teeilmajaama graafik, vasakul on mõõdetud temperatuurid ja paremal on prognoos [20]

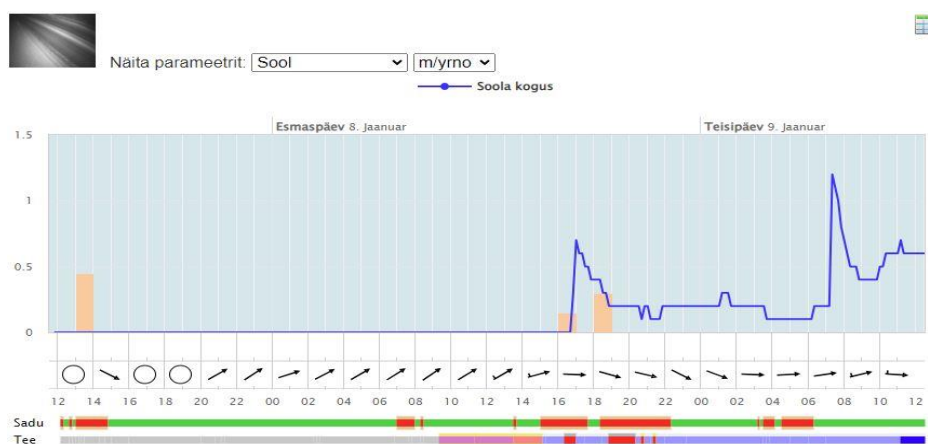
Patrullisõite tehes oli tee hommiku kella 9:00 kuiv, peale seda hakkas temperatuur tõusma ja tee oli kohati niiske, haardetegur oli tagatud. Teeilmakaamera näitas härmatise hoiatust, mis tõttu oli tee suurema jälgimise all. Otsustati hooldeautod välja saata, kuna teetemperatuur langes alla kastepunkti ja oli oht et tekib härmatist. Puisteringiga alustati kolme ajal ja soolakoguseks määrati 15 g/m<sup>2</sup> kuiva soola. Puistastati ilma eelniisutusega, kuna prognoosi järgi langeb teetemperatuur öösel üle -10 °C. Kella kuueks oli teetemperatuur tõusnud -5,5 °C peale ja hakkas sadama lund. Kuid prognoosi järgi oli oht, et temperatuur hakkab kohe langema, kuid selle asemel sadas kella 18:00 veel lund juurde, kokku sadas umbes 2 sentimeetrit lund. Tegelikult teetemperatuur püsis kogu öö -5 °C juures ja hommikul hakkas tõusma, tõusis kuni 0 °C. Järgmisel päeval vaadates teetemperatuuri ja sademete graafikut (Joonis 13), oleks täpsema prognoosi korral puistekogus olnud teistsugune. Sellise temperatuuri tõusu korral, oleks kella kolmese puisteringi puistekogus olnud 8 g/m<sup>2</sup> koos eelniisutusega.



Joonis 13. Teeilmajaama temperatuuride ja sademete graafik, alumine skaala sademed ja teeolukord [20]

Päevane ühe auto puisteringi kulu oli 4500 kg naatriumkloriidi, seda kogus oleks saanud vähenda täpsema prognoosi korral 50% võrra. See kogus on ühe hooldeauto kulu, Tartu piirkonnas on 15 hooldeautot. Kõige suurem kokkuhoid oleks tulnud puistekoguse pealt ja siis lisaks sellele oleks eelniisutatud soola kasutanud ehk kuivasoola kogus oleks veel 30% väiksem olnud. Talvel vastu ööd on prognoosid ja otsustamised keerulised, kuna öösel on liiklustihedus väike ja temperatuurid üldjuhul langevad. Kui vähegi võimalik siis üritatakse puistering ajastada nii, et enne tipptundi oleks ring lõpetatud.

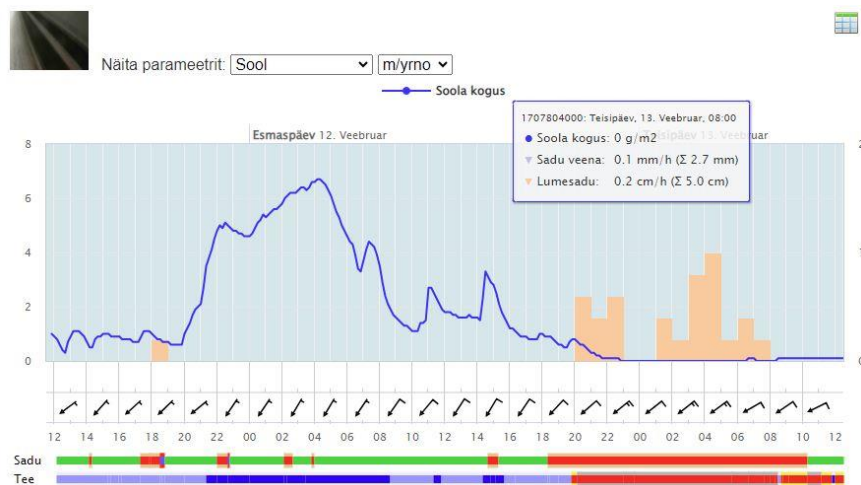
Teeolud sajuni olid kohati niisked ja oli tagatud nõuetele vastav haardetegur. Patrullisõite tehes kell 11:00 näitas optiline haardeteguri mõõtur haardeteguriks 0,47-0,49. Lumesaju alguseks sai teedale sool kantud ja see on ka näha teekaamera soola anduri järgi. Anduritel on väikene viide, kuna koheselt peale puistet ei näita need soola kogust (Joonis 14).



Joonis 14. Teeilmajaama soola koguse graafik, alumine skaala sademed ja teeolukord [20]

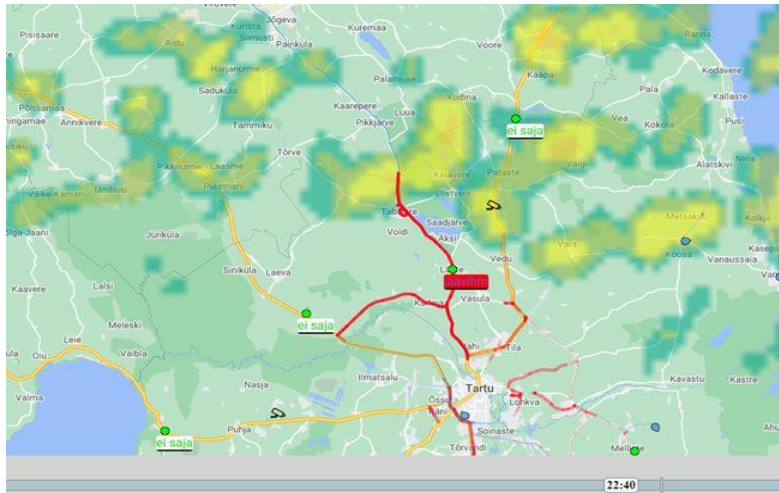
9. jaanuari hommikul sai saadetud väiksema kogusega puistama, kuna teetemperatuur oli läinud soojemaks ja eelmise puistamisest oli veel soola teepeal. Puisteringi otsus tuli, kuna nelja ajal sadas veel lund, kogus oli väikene ja teeilmajaam ei registreerinud seda lumesadu. Oli ka eelmise puistamise kogusest näha, et piisab väiksemast soola kogusest. Teise puisteringi kogus oli 7,5-10 g/m<sup>2</sup> eelniisutatud soola.

11. veebruari õhtul oli põhitee nr. 39 Tartu - Jõgeva - Aravete teel prognoosi järgi lumesaju võimalus, teetemperatuur oli – 6 °C, kell 18:30 alustatud puisteringiga, koguseks sai määratud 12 g/m<sup>2</sup> eelniisutatud soola (Joonis 15), see oli piisav kogus soola, et libedust ei saaks tekkida ja oleks hommikuni head tee olud.



Joonis 15. Teeilmajaama soola koguse graafik, alumine skaala sademed ja teeolukord [20]

Teetemperatuur oli püsiv, sellest piisas, et tagada haardetegur. Õhtul sadas jäähvima hoogsademetega (Joonis 16) ehk ebaühtlaselt juurde, kuna öösel oli liiklustihedus väikene, siis jäähvimagaga tekkis teele, soola peale õhukene jääkiht. Kaamera pildi järgi oli hommikul tee seisukord hea, kuid patrullisõitu tehes oli näha et kohati on teeolud jäised ja tuli teha uus puistering. Haardetegur oli hommikul 0,32 – 0,40, oli võimalus, et kui hommikune liiklus suureneb, siis sõidetakse jää puruks ja sool uuesti toimima. Samas oli ka võimalus, et ennem, kui jää puruks sõidetakse võib tee libedaks muutuda. Hommikune puisteauto saadeti välja kell 5:30, puistekoguseks sai määrati 10 g/m<sup>2</sup> eelniisutatud soola ja peale soola tee peale kandmist sõideti tee puhtaks.



Joonis 16. Teeilmajaama sademete radaripilt [20]

Lähte teeilmajaama kaamera on halva kvaliteediga (Foto 3), seal õige pildi saamiseks on vaja teha patrullisõit. Lähte teeilmajaama kaamera tuleb uuesti seadistada või siis välja vahetada. Kui hiljem vaadata 12. veebruari varahommikut, siis sellises olukorras oleks olnud võimalus lihtsalt oodata, kuid temperatuur hakkas tõusma alles pärast tipptundi.



Foto 3. Lähte teekaamera foto [20]

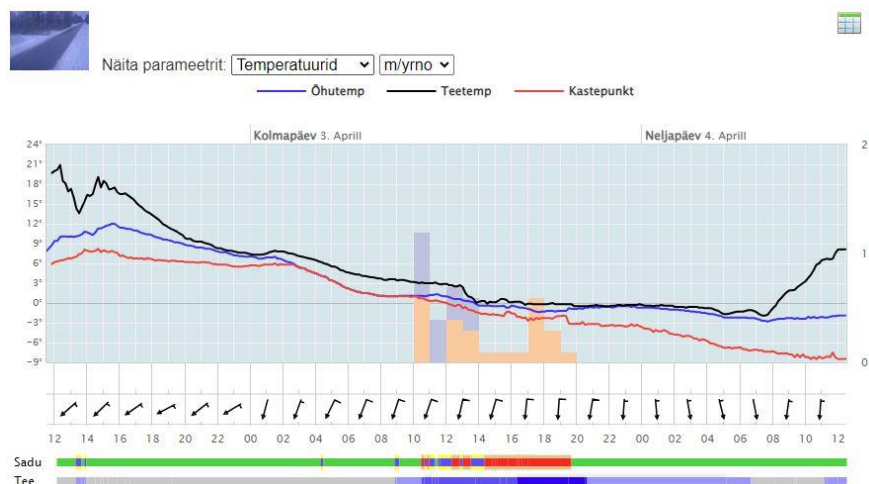
8. märtsi hommikul kell 5:00 alustati patrullisõiduga, teetemperatuur oli  $-3\text{ }^{\circ}\text{C}$  kuni  $-4\text{ }^{\circ}\text{C}$ , õhutemperatuur  $-4\text{ }^{\circ}\text{C}$  kuni  $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Oli kuiv ja prognoos näitas, et sadu ei ole tulemas. Kuid kui patrullisõiduga jõuti Tartusse, siis seal sadas lund ja tuiskas. Kaamerate omavaheline kaugus on 18 kilomeetrit (Foto 4). Lumekogus ei olnud suur, kuid tekitas vajaduse soola puiste järele, puistekogus oli  $10\text{ g/m}^2$  eelniisutatud soola. Tõenäoliselt oleks piisanud ka  $8\text{ g/m}^2$  eelniisutatud soolast. Antud juhul otsustati suurema kogusega kasuks, kuna

prognoos sadu ei ennustanud ja hooldeautode välja saatmine veidi hilines. Libedus sai eemaldatud kiiremini kui ette on nähtud.



Foto 4. Teekaamera paremal Kärevere ja vasakul Tartu valla Raadi Nõlvakaare kaamera [20]

3. aprill hakkas enne lõunat sadama, algas vihasajuga ning see läks üle lörtsiks. Peale kella kahte läks sadu üle lumeks ja kella kuuest läks sadu intensiivsemaks ning kestis õhtu kella 20:00 (Joonis 17). Põhiteedele saadeti hooldeautod välja kella kolmest, kuna selle aja peale oli hakanud teedele juba lund kogunema. Puistekogus määrati  $10 \text{ g/m}^2$  eelniisutatud soola, kogus on veidi suur kui vaadata teetemperatuuri, kuid prognoosi järgi pidi tee olema  $+4 \text{ }^{\circ}\text{C}$  aga oli hoopis  $0 \text{ }^{\circ}\text{C}$ . Seega oli võimalus et temperatuur langeb veelgi ja prognoos ei ole täpne.



Joonis 17. Teeilmajaama temperatuuride ja sademete graafik, alumine skaala sademed ja teeolukord [20]

Peale sadu alustati järelkoristusega väiksemate tasemetega teede peal. Kombipuisturiga hooldeautoga katsetati ristmikutel ja mõndadel lõikudel soolalahuse sisalduse tõstmist 30% pealt 50% ja 75% peale. Puistekogus oli  $10 \text{ g/m}^2$  ehk 75% niisutuse puhul oli reaalne

soola kulu 2,5 g kuiva soola ja 7,5 g soolalahust. Peale puistamist oli peaaegu koheselt näha mis lõikudele on suurema soolalahuse sisaldusega soola puistatud. Need lõigud ja ristmikud olid puhtad. Ka hommikul patrullisõitu tehes oli märgata erinevust, just väiksema liiklustihedusega teede peal, kui soolalahuse hulk on suurem siis toimima hakkamiseks piisab väiksemast liiklusest.

## 3 TULEMUSED

### 3.1 Soola kokkuvõid tänu niisutamisele

Võrreldes kuiva soola ja niisutatud soola puistamist, siis puistates 10 g/m<sup>2</sup>, kuiva soola kulu 7 g/m<sup>2</sup>, niisutatud soolal soola kulu 7,75 g/m<sup>2</sup>. Otsene soola kokkuvõid niisutamise puhul on 13%. Niisutamiseks kasutame NaCl soolalahust, kui teetemperatuur on madalam kui - 12 °C, siis kasutatakse kuiva soola. Lahenduseks oleks CaCl soolalahuse kasutamine, kuid kuna CaCl on viis korda kallim, siis ei pruugi tulla kokkuvõidu. Plaanis on katsetada järgmine talv niisutamist CaCl-ga kuna siis saame niisutatud soola ka suuremate külmade puhul kasutada. CaCl on hügrokoopne aine, puistates niiskele teekattele, kui on temperatuuri languse oht võiks omada suuremat efekti kui NaCl soolalahus.

Kui teid hooldatakse eduka jäätumisvastase / puhta tee strateegiaga, ei ole vaja libedusetõrjet teha. Kui saadakse prognoosid ja soola puistekogused täpseks, ning tehakse ennetav libedusetõrje õigel ajal, siis ei saa libedust tekkida. Ennetava puiste korral võib teedele ikka tekkida jääd, kuid kui teekattel on soola siis jää mis tekib ei ole tugev ja liiklus sõidab selle puruks. Tänu sellele on võimalik suur kokkuvõid tekitada. Ennetava libedusetõrje puhul on kõige tähtsam soola puistekogus ja õigeaegne reageerimine. Üldjuhul üritatakse puistates hoida miinimumkogust. Verston OÜ on välja arvutanud, et kaks puisteringi 5 g/m<sup>2</sup> on soodsam puistata, kui üks puistering 10 g/m<sup>2</sup>. See tuleneb sellest, et enamus juhtudel piisab 5 g/m<sup>2</sup> ja mõned üksikud korrad kui peab soola lisama, siis kokkuvõttes on ikkagi kokkuvõid kogus suurem.

Tartu piirkonna talihooldel kulub hooldusperioodil 3000 tonni NaCl, see kogus võib aastatega varieeruda +- 15%. Talved on erinevad ja sellest tulenevalt järjestikuseid talveperioode ei otseselt võrrelda. Kui edaspidi saadakse andmete kogumise täpsemaks, siis me ei pea enam võrdlema taliperioodi vaid saab näha päevade kaupa, kas on tehtud õiged otsused ning kas tehakse tööd võimalikult säästlikult, kuid samas kvaliteetselt. Andmete kogumise jaoks on vaja täita detailsemalt hooldepäevikut. Hooldepäevik võiks minimaalselt olla täidetud 3+ tasemetega teedega.

Täpsemate tulemuste jaoks tuleb jätkata andmete kogumist. Tuleks välja töötada päevikuvorm (Lisa 1), et saaks andmeid võrrelda ka teiste piirkondadega. Päevikuvorm peaks sisaldama võimalikult palju infot samas ei tohi selle täitmine olla ajakulukas. Kõiki teid ei jõuta päevikusse märkida, kuid tuleks ülesse märkida võimalikult palju erinevaid ilmastiku olukordi. Nii tekiks andmebaas mida saadakse kasutada järgnevatel aastatel. Vabakirjas päeviku pidamise puhul on puuduseks, et kõik päevikut pidavad hooldameistrid ei märgi ülesse kõiki andmeid. Kui andmed jäävad puudulikuks siis on nende põhjal

järeldusi raske teha. Korralik andmebaas aitaks uutel ja vähese kogemusega hooldemeistritel otsuseid teha.

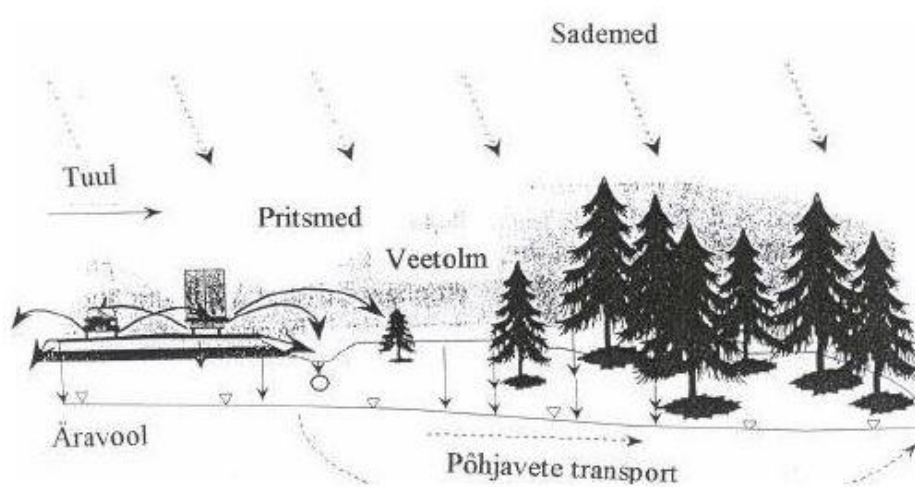
Kõige suurema efekti annab niisutatud soola puistamine kevadel ja sügisel. Siis on temperatuurid väiksemad ja tegeletakse enamasti libeduse ennetamisega. Aga ka talvel kui on sobivad temperatuurid, kuni  $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$  ja sademed puuduvad. Hommikuti härmatise sulatamisega. Kombipuisturi puhul on võimalus suurendada soolalahuse hulka kuni 100%. Sügisel ennetava libedusetõrje puistekogus on  $5\text{ g/m}^2$  eelniisutatud soola. Sellisel juhul on kuluv sool  $3,5\text{ g}$  kuiva soola ja soolalahuses  $0,375\text{ g}$  soola ning  $1,125\text{ g}$  vett. Kui ennetavat puistet tehakse 50% eelniisutusega siis oleks soola kogus  $2,5\text{ g}$  ja soolalahuses  $0,625\text{ g}$  ning  $1,875\text{ g}$  vett. Ehk kokkuhoid oleks  $1\text{ m}^2$  pealt 24%, põhiteel nr. 2 Tallinn – Tartu – Võru - Luhamaa kulub  $5\text{ g/m}^2$  korral  $1500\text{ kg}$  soola ja  $240\text{ l}$  soolalahust. Tõstes eelniisutuse 50% peale oleks soola kokkuhoid 24% korral  $360\text{ kg}$  kuiva soola ja see kogus on kokkuhoitav ühe puisteringiga, ühel teel mida hoolavad kaks hooldeautot.

Soolalahusega puistates on mõju kohene, mida suurem soolalahuse sisaldus on seda kiiremini hakkab toimima. Katsetuste korras sai ka proovitud tavapuisturiga puisteringi tehes 100% soolalahusega, kuid seal tuli välja see et puisturiketas ei suuda suurt veekogust ühtlaselt teepeale kanda. Kandsime puhta soolalahuse õhtul teepeale, väljas olid pluss kraadid, liiklus sõitis tee kuivaks, teekatte oli näha kuivanud sool. Hommikul kui väljas oli härmatise oht ja teised autod läksid puisteringile siis katselõikudel kuhu õhtul sai soolalahus kantud, puiste vajadust ei olnud. Tee oli soola niiske. Kuiva soola või 30% niisutatud soola ennetava puistamise korral on oht, et liiklus sõidab suure osa sellest soolast tee pealt minema ennem, kui sool suudab ülesse sulada ja teele kuivada. Suurema soolalahuse hulgaga niisutatud või puhta soolalahuse puhul on eksimisruumi rohkem, ennetava puiste korral, kui ei teki härmatist või ei tule sadu, siis sool jääb teekattele. Teekatted on ebatasased ja kuivanud sool jääb teekattele, saab niiskust siis lahustub ja hakkab toimima. Soolalahusega saab teha ainult ennetavat libedusetõrjet ja selle jaoks peavad olema õiged tingimused. Tee peab olema puhas ja sademed puuduvad. Soolalahuse puistamise kiirus saab olla suurem, kuni  $70\text{ km/h}$ . Seega on võimalik ennetava puistekorral hooldeautodel hoolderingid kiiremini ära teha.

Suurema soolahuse sisaldusega soola puistamist katsetasime veel kevadel, kui sai väiksema liiklusega teele kantud 50% ja 75% soolalahuse sisaldusega NaCl. Ehk  $10\text{ g/m}^2$  kohta puistati  $5\text{ g}$  ja  $2,5\text{ g}$  kuiva soola. Mõju oli peaegu kohene, suurem soolalahuse sisaldus tegi teed puhtaks ja sool hakkas mõjuma ka väikese liiklussageduse korral.

### 3.2 Keskkonna mõjude hindamine

Talvised ilmastikutingimused nõuvad efektiivseid kuid samas taskukohaseid meetmeid jää- ja lumetõrjeks. Põhiline aine, mida selleks otstarbeks kasutatakse on teesool naatriumkloriid, mis koosneb põhiliselt 40% Na<sup>+</sup> -ioonidest ja 60% Cl<sup>-</sup> -ioonidest. Teised komponendid nagu tsüaniid, mida kasutatakse paakumisvastase ainega ja lisandid nagu fosfor ja raud võivad moodustada kuni 5% kogumassist. Naatrium, kloriid, tsüaniid ja muud teesoola lisandid võivad sattuda keskkonda vihma, lume- ja jääsulamisvee imbumisel pinnasesse või sõidukite poolt pritsmetena või tuule poolt kantuna, leides oma tee sõiduteeäärsele taimestikku, pinnasesse ja sealt edasi pinna- ja põhjavette, põhjustades sellega tõsiseltvõetava mõju looduskeskkonnale (Joonis 18). Naatriumi sattumine looduskeskkonda võib põhjustada olulisi pinnase keemilise koostise muutusi, asendades ja vabastades toitaineid pinna- ja põhjavette, võib muuta pinnase struktuuri ja mõjutada veekeskkonda. Soolalaod võivad ohustada nii looduskeskkonda kui ka inimesi, kuna tsüaniidiioonid võivad vabaneda teatud bakterite mõjul või päikesevalguse käes. [21]



Joonis 18. Soolade põhimõtteline liikumine teedelt keskkonda [21]

20-60% teedel kasutatud jäätumisvastaseid sooli kantakse õhuga 2-40 m kaugusele teeäärsele maapinnale. Kuni teele puistatud soola täieliku lahustumiseni on liiklus oluline soolade ära kandja teepinnalt. Liiklus lõhub jäätumisvastaste soolade toimet kobestunud jääd ja lund, pritsib seda teelt eemale. Rootsi uurijad on leidnud suurimad soolade kogused 10 m kaugusel teest, kuid ohtu taimestikule arvestavad teest kuni 100 m kauguseni. Tallinna Tehnikaülikooli Teedeinstituudis tehtud uuringute kohaselt ulatub teesoola

keskkonnamõju 20-30 m kaugusele teest, raskemetallide levikuala pole aga selge. Mitteväljalasketoru emissioonid ja teekatte kulumisest ning hoolduspraktikast põhjustatud saaste võib olla olenevalt võrdluskohtadest tunduvalt suurem autode väljalaske emissioonidest. Suurem osa saastest, välja arvatud kloriidid, akumulereub huumushorisondis, osaliselt lahustub ja kandub sademeveega pinnase- ja edasi põhjavette. [22]

Kloriidid on täielikult vees lahustuvad ja väga mobiilsed. Kloriidid on mürgise mõjuga veeelustikule ja mõjutavad ka taimestikku ja metsloomi. Pole olemas ühtegi looduslikku protsessi, mille käigus kloriidid lõhustatakse või eemaldatakse keskkonnast. [22]

Teesoolade saasteained jõuavad veeressurssidesse põhjavette infiltreerudes, pinnavette voolates ja läbi sadeveekanalisatsiooni. Talvel ja kevadel lumesulamisveega ning ka suvise ja sügisese suurvee ajal võib kloriidide sisaldus vette jõudes ületada 800 mg/l, samas kui looduslik foon jääb 1-10 mg/l vahemikku. Kloriidide akumulereumine kujutab endast riski vee kvaliteedile ja kõigile, kes sellest sõltuvad, taimedele, loomadele ja inimestele. [22]

Liigselt naatriumi sisaldav joogivesi on murekohaks isikutele, kes kannatavad kõrgvererõhutõve all. Kloriidid pole väikestes kogustes inimestevisele mürgised, aga üle 250 mg/l korral on tuntavaks probleemiks vee maitse ja lõhn. [23]

### **3.3 Libedusetõrje efektiivsuse tõstmine**

Libedusetõrje efektiivsust saab tõsta ja puistatava soola kogust vähendada, kui on võimalikult täpsed andmed saabuva ilmastikunähtuste kohta. Väga tähtsal kohal on ka õigeaegne reageerimine ja täpse soolakoguse määramine.

Libedusetõrje efektiivsuse tõstmiseks on põhilised punktid:

- innovatiivne tehnoloogia;
- kvaliteetsete materjalide ja tehnika kasutamine;
- regulaarne hooldus ja jälgimine.

Innovatiivne tehnoloogia eeldab, et tehakse investeeringuid tehnikasse, kui ka tarkvarasse. Uus tehnika on üldiselt säästlikum, täpsem ja kiirem. Tehnika poole pealt on tähtis et kasutatakse võimalikult värsket tehnikat, see hõlmab hooldeautot, traktorit, kuid ka nende lisaseadmeid sahad ja puisturid. Uued soolapuisturid suudavad ise teetemperatuuri lugeda ning vastavalt sellele saab teekattele täpne kogus soola. Ühel teelõigul võib temperatuuri erinevus olla mitu kraadi. Vanemate soolapuisturite puhul puistatakse kogu tee ühe soolakogusega või siis autojuht peab puisturi puldist muutma soolakogust. Veel on võimalik

muretseda puisturile GPS andur, mille järgi puistur teab oma täpset asukohta teel ja suudab puistepilti ehk puistelaiust muuta vastavalt teeprofiilile.

Tarkvaraline pool eeldab, et teedelt saaks võimalikult palju täpseid andmeid, teetemperatuur, haardetegur, soola kogus ja kvaliteetne pilt tee olukorrast. Praegusel juhul on teekaameraid hõredalt ja täpse pildi saamiseks on ainuke võimalus patrullisõit, kuid piirkonnad on suured ja see võtab aega. Kogu piirkonna põhiteede läbi sõitmiseks kulub umbes 8 tundi. See on liiga pikk aeg, seega tuleb kasutada olemas olevaid kaameraid ja sõita nii palju kui on võimalik. Mingid otsused tuleb siiski teha kogemuste pealt. Hooldemeistrid kasutavad ka mobiilirakenduse Waze teateid, selle abil saavad liiklejad anda märku teeolukorrast. Kuid selle rakenduse suur puudujääk on see, et kõik kes teateid sinna ülesse laevad ei vastuta nende eest, seega ei ole need teated alati usaldusväärsed. Samuti on minimaalne haardetegur põhiteedel 0,3 ja tavaliiklejale on selline tee libe.

Tarkvara pool ei hõlma ainult teede jälgimist, tänapäeval on kogu tehnika väga tihedalt seotud tarkvaraga. Tarkvara annab võimaluse välja arendada autonoomseid hooldemasinaid, mis võib olla tõhus viis teede hooldamiseks ja libeduse tõrjumiseks, vähendades inimfaktori mõju ja suurendades töö kiirust.

Oluline on kasutada kvaliteetseid libedusetõrje materjale, erinevad kloriidid, lahused, liiv ja teised libedusetõrje materjalid. Vastavalt temperatuurile ja ilmastikuoludele on mingid materjalid tõhusamad. Madalamatel temperatuuridel kasutatakse NaCl niisutades NaCl lahusega, samas kui temperatuurid langevad siis külmemates tingimustes oleks tõhusam kasutada, kas kuiva NaCl või niisutada seda CaCl lahusega.

Libedusetõrje efektiivsuse tagamiseks on vaja regulaarset hooldust ja jälgimist. See hõlmab teede pidevat jälgimist ja libeduse ennetamist ennem selle tekkimist. Kõige efektiivsem meetod on ennetav, sellepärast et kui libedus tekib, see tähendab et teele on juba tekkinud jää või kinni sõidetud lumi. Sellises olukorras haardeteguri saavutamine on oluliselt kulukam.

Regulaarne hooldus hõlmab ka tehnika korrasolekut, selle pidevat jälgimist ja hooldamist. Tänapäevastel soolapuisturitel on palju andureid, mis aegajalt lõpetavad töötamise ja tuleb ka kuluosade olukorda jälgida. Libedusetõrje tehnika ja seadmed vajavad õigeaegselt hooldust ja remonti.

Lisaks tuleb teha regulaarseid kontrole libedusetõrje meetodite tõhususe hindamiseks ja vastavalt tulemustele muuta olemasolevaid meetodeid.

## KOKKUVÕTE

Lõputöö eesmärgiks oli kirjeldada libedusetõrjumise meetodeid ja välja selgitada libedusetõrje kloriidide optimeerimise võimalusi võttes arvesse nende omadusi, efektiivsust, keskkonna mõju ja praktilist rakendavust. Anda panus libedusetõrje valdkonna arengusse, pakkuda praktilisi lähenemisviise ja soovitusi kloriidide tõhusamaks ja säästlikumaks kasutamiseks talvistes teeoludes.

Töö käigus katsetati libedusekloriidide erinevaid niisutus astmeid, ning leiti et teatud tingimustes on võimalik suurendada niisutusastet ja kasutada libedusetõrjes soolalahust. Mistõttu on võimalik saavutada arvestatav kokkuhoid. Suurema niisutusastme ja soolalahuse korral ei ole toimimiseks vajalik suurem liiklussagedus. Soolalahuse teekattele kandmiseks on vaja eritehnikat mis omakorda eeldab ettevõttelt uusi investeeringuid. Madalamate temperatuuride puhul tuleks plaani võtta katsetada CaCl soolalahust. Keskkonna mõjusid arvesse võttes on tähtis, et kasutatakse võimalikult väikest kloriidi kogust, kuid ei tohi ära unustada kehtivaid nõudeid ja liiklusohutust.

Eesti riigiteedel kõik hoolde ettevõtted kasutavad NaCl-d libedusetõrjeks, kuna see on hinna ja omaduste poolest parim valik. Libedusetõrjes kasutatav NaCl on üpris sarnase koostisega ja toimimisega sõltumata päritolust. Hooldehanked toimuvad vähempakkumiste alusel, mistõttu ettevõtjad eelistavad odavamaid lahendusi.

Uurimistöös selgus, et kogu arengu ja innovatsiooni juures on oluline roll ka inimfaktoril. Alati ei pruugi olla otsused õiged ja vajavad parandamist,. Seega oluliseks osaks libedusetõrjes jääb patrullisõidud. Vajaliku puistekoguse määramise jaoks on vaja kogemust või siis korralikult salvestatud andmeid.

Libedusetõrje tõhustamise peamised suunad on tehnoloogia, kvaliteetsed materjalid ja tehnika ning regulaarne hooldamine ja jälgimine. Kõiki neid suundasid tuleb edasi arendada, kuna need suudavad tõhustada libedusetõrjet mis oma korda tähendab ohutumat ja mugavamat liiklemist riigiteedel.

Töö tulemused võimaldavad paremat arusaamist libedusetõrje meetoditest ning aitavad kaasa teeolude stabiilsusse ja ohutuse tagamisele.

Libedusetõrje kloriidide optimeerimise uurimine on oluline samm libedusetõrje meetodite edasiarendamisel ja keskkonna mõju vähendamisel. Jätkuvad uurinud ja arengud selles valdkonnas võivad aidata kaasa ohutumate ja säästlikumate talviste teeolude loomisele ning ühiskonna toimimise parandamisele talvistel kuudel. Uurimus annab väärtusliku

ülevaate kloriidide kasutamise võimalusest ja nende mõjust keskkonnale, mis omakord võib juhtida täiendavate uurimiste ja lahenduste leidmiseni libedusetõrje valdkonnas.

# SUMMARY

## The Optimization Possibilities of Chlorides Used for Anti-icing

The aim of this thesis is to describe and analyze the possibilities of optimising use of chlorides in cleaning roads from ice. In this thesis, the author discusses the analysis of the properties of chlorides used for removing ice from roads, providing an overview of their effectiveness, environmental impact and practical applicability. This will create possibilities to work more efficiently and cost-effectively.

On Estonian state roads, all road maintenance companies use sodium chloride against icy conditions, as it is the best option in terms of price and characteristics. Sodium chloride used in cleaning roads from snow and ice is quite similar in composition and function, regardless of its origin. Road maintenance procurements are awarded to the lowest bidder, which is why tenderers prefer cheaper solutions. Considering its environmental impact, it is important to use as little salt as possible, while not forgetting requirements in force and road safety. Chlorides need traffic flow to function. With the appropriate temperature and the appropriate equipment, it is possible to increase the amount of saline solution and save dry bulk salt. In case of lower temperatures, it would be feasible to test the use of saline solution calcium chloride.

The research conducted for this thesis showed that also the human factor plays an important role in all development and innovation. Decisions may not always be right and need to be more efficient if cameras and sensors do not cover all roads. This means that so-called patrol trips will remain an important part of snow and ice removal from roads. Experience or properly recorded data is required to determine the required bulk volume.

The main directions for improving the effectiveness in clearing snow and ice are technology, high-quality materials and methods, as well as regular maintenance and monitoring. All these activities need to be developed further, as they can enhance the effect of removal of snow and ice, which in turn means safer and more comfortable traffic on state roads. The introduction of new technologies may require greater investment.

In conclusion, the study makes an important contribution to the area of removal of ice and snow from roads by providing practical recommendations and approaches for optimising use of chlorides in winter road conditions. The results of the study provide a better understanding of methods in ensuring optimum driving conditions in wintertime and contribute to road safety. Studying the optimization of chlorides used in removing snow and ice from roads is an important step in the further development and in reducing its environmental impact. Continued research and development in this area can help to create

safer and more sustainable winter road conditions and improve the functioning of the country during winter months. The study provides a valuable overview of the possibilities of using chlorides and their impact on the environment, which in turn can lead to further studies and solutions in this field.

## VIIDATUD ALLIKAD

- [1] „Estonica.org - Kliima“. Vaadatud: 28. aprill 2024. [Online]. Available at: [https://web.archive.org/web/20171223164112/http://www.estonica.org/et/Loodus/A\\_send\\_ja\\_looduslikud\\_tingimused/Kliima/](https://web.archive.org/web/20171223164112/http://www.estonica.org/et/Loodus/A_send_ja_looduslikud_tingimused/Kliima/)
- [2] „Eesti teedevõrk | Transpordiamet“. Vaadatud: 28. aprill 2024. [Online]. Available at: <https://transpordiamet.ee/eesti-teedevork>
- [3] „Riigiteede liigid ja riigiteede nimekiri–Riigi Teataja“. Vaadatud: 28. aprill 2024. [Online]. Available at: <https://www.riigiteataja.ee/akt/128062015003>
- [4] „Tee seisundinõuded–Riigi Teataja“. Vaadatud: 28. aprill 2024. [Online]. Available at: <https://www.riigiteataja.ee/akt/115072015013>
- [5] „Talvine teehoole | Transpordiamet“. Vaadatud: 23. aprill 2024. [Online]. Available at: <https://transpordiamet.ee/talvine-teehoole>
- [6] „Teehoole | Transpordiamet“. Vaadatud: 23. aprill 2024. [Online]. Available at: <https://transpordiamet.ee/teehoole>
- [7] „Erinevate haardetegurit ja teekatte olekut mõõtvate seadmete võrdlus“. Maanteeamet, 2021.
- [8] M. Melts, „Ennetav libedusetõrje riigiteedel“, Tallinna Tehnikakõrgkool, Tallinn, 2023.
- [9] S. Sillamäe, „Ekspertarvamus riigitee nr /.../ nõutava haardeteguri tagamise võimalikkuse kohta“. 2023.
- [10] „Prewetting-and-Antiicing-from-WI-Transportation.pdf“. Vaadatud: 21. aprill 2024. [Online]. Available at: <https://saltsmart.org/wp-content/uploads/2019/01/Prewetting-and-Antiicing-from-WI-Transportation.pdf>
- [11] „Teehoiutööde tehnoloogianõuded–Riigi Teataja“. Vaadatud: 21. aprill 2024. [Online]. Available at: <https://www.riigiteataja.ee/akt/756881>
- [12] R. Kuusela, „Talvihoitoa 2018“. 2018.
- [13] A. Klein-Paste ja R. Dalen, „The Fundamentals of Plowing, Anti-icing, De-icing and Sanding“, 2018, lk 82–100. doi: 10.1002/9781119185161.ch6.
- [14] „Kloriidide katsetamine“. Transpordiamet, 2021.
- [15] „Tiehallinto 2006“. Soome Maanteeamet, 2006.
- [16] „Tiehallinto 2001“. Soome Maanteeamet, 2002.
- [17] T. Raukola, „Jään sulattamisesta liukkaudentorjuntaan Pitoa tekniikalla, taidolla ja yhteistyöllä“.
- [18] E. Vestola, P. Pohjanne, L. Carpén, T. Kaunisto, ja T. Ahlroos, „Kalsiumkloridini sivuvaikutukset“.
- [19] „Google Maps“, Google Maps. Vaadatud: 28. aprill 2024. [Online]. Available at: <https://www.google.ee/maps/@58.3771303,26.6545698,14z?entry=ttu>
- [20] „TIK“. Vaadatud: 30. aprill 2024. [Online]. Available at: <https://tik.teeilm.ee/>

- [21] M.-L. Hääl, „Transpordi saastekoormuse mõju hindamine ja mõju vähendamise meetmete analüüs.“ Tallinna Tehnikaülikooli Teedeinstituut, 2003.
- [22] Thiruvengkatachari Viraraghavan ja Devikarani M. Ramakrishna, „Environmental Impact of Chemical Deicers – A Review“, *Water, Air and Soil Pollution*, lk 49–63, 2005.
- [23] Antti-Armina Pärna, „Kloriidide kasutamine teehooldel - keskkonnamõju“, Eesti Maaülikool, Tartu, 2017.

**Lisa 1. Talihooldde hooldepäevikuvorm**

|                                            |        |      |       |      |         |     |
|--------------------------------------------|--------|------|-------|------|---------|-----|
| Kuupäev                                    | Tee nr |      |       |      |         |     |
| Proгноos                                   |        |      |       |      |         |     |
| Tee temp.                                  |        |      |       |      |         |     |
| Sademed                                    | Vihm   | Rahe | Lörts | Lumi | Jäävihm | Udu |
|                                            |        |      |       |      |         |     |
| Tegevus                                    |        |      |       |      |         |     |
| Puistekogus<br>Eelniisutatud/kuiv          |        |      |       |      |         |     |
| Thermologic<br>Jah/Ei                      |        |      |       |      |         |     |
| Teekatte seisund<br>Puhast/lumi/jää/niiske |        |      |       |      |         |     |