

**SÄÄENNUSTEESEEN PERUSTUVA SULANAPITOLÄMMITYKSEN
OHJAUS**



Ammattikorkeakoulututkinnon opinnäytetyö

Valkeakoski, Sähkö- ja automaatiotekniikan koulutusohjelma

kevät, 2020

Ville Korhonen

Sähkö- ja automaatiotekniikka
Valkeakoski

Tekijä	Ville Korhonen	Vuosi 2020
Työn nimi	Säännusteeseen perustuva sulanapitolämmityksen ohjaus	
Työn ohjaaja/t	Timo Väisänen	

TIIVISTELMÄ

Opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää, voidaanko ulkoalueen sulanapitojärjestelmän ohjaus toteuttaa energiatehokkaasti ja toimintavarmasti sääennusteen perusteella. Työ rajattiin koskemaan lämmityskaapelilla toteutettua ulkoalueen sulanapitoa, jonka tarkoituksena on estää jalankulkijalle vaarallisen liukkauden muodostumista ja lisätä ulkoalueiden käyttömuu- vuutta.

Työssä selvitettiin säännusteohjauksen toteutukseen tarvittava tietopohja, johon kuuluivat sulanapitojärjestelmien rakenne, tyypilliset talviolosuhteet, Ilmatieteen laitoksen avoin data ja ohjauksessa tarvittava laskenta. Tietopohjan perusteella suunniteltiin säännusteohjauksen toimintaperiaate ja vaatimukset ohjauslaitteistolle.

Säännusteohjauksen toimintaa verrattiin tavanomaiseen sulanapitotermostaattiohjaukseen kenttäkokeessa, jossa säännusteohjattu järjestelmä kulutti 18 vuorokauden ajanjaksolla 55,5 % vähemmän energiaa kuin sulanapitotermostaattilla ohjattu järjestelmä. Suurin osa energiasäästöstä syntyi sateettomina pakkaspäivinä. Sateettomien päivien osuus tyypillisenä talvena on suurempi kuin kenttäkokeessa, joten säännusteohjauksen energiatehokkuuspotentialiaali on kenttäkokeessa mitattua suurempi.

Sulanapitolämmityksen ohjaus voidaan toteuttaa energiatehokkaasti sääennusteen perusteella. Ohjaustapa on riittävän toimintavarma useisiin käyttötarkoituksiin, mutta ei sovellu kaikkiin kohteisiin. Kenttäkokeen tulosten perusteella säännusteohjauksen toimintavarmuutta voidaan parantaa energiatehokkuuden heikentymättä.

Avainsanat Energiatehokkuus, lämmityksen ohjaus, sulanapitolämmitys, sääennuste

Sivut 89 sivua, joista liitteitä 32 sivua

Electrical and Automation Engineering
Valkeakoski

Author	Ville Korhonen	Year 2020
Subject	Weather forecast-based defrost heating control	
Supervisors	Timo Väisänen	

ABSTRACT

The aim of the project was to find out whether the control of the outdoor defrosting system could be implemented energy-efficiently and reliably on the basis of a weather forecast. The work was limited to the defrosting of the outdoor area with a heating cable, the purpose of which was to prevent the formation of dangerously slippery conditions for pedestrians and to increase the comfort in the outdoor areas.

The knowledge base required for the implementation of a weather forecast control system was examined including the structures of defrosting systems, typical winter conditions, the Finnish Meteorological Institute's open data and the calculations required for the control. The operating principles of a weather forecast control system and the requirements for the control equipment were designed based on the knowledge base.

The operation of the weather forecast control system was compared to conventional defrost thermostat control system in a field experiment in which the weather forecast controlled system consumed 55.5 % less energy than the defrost thermostat controlled system over a period of 18 days. Most of the energy savings were acquired during rainless frosty days. The proportion of rainless days in a typical winter is higher than in the field test, so the energy efficiency potential of the weather forecast control system was higher than that measured in the field test.

A defrost heating control system can be implemented energy efficiently based on the weather forecast. The control method is sufficiently reliable for many, but not all, applications. Based on the results of the field test, the operational reliability of the weather forecast control can be improved without compromising energy efficiency.

Keywords Defrost heating, energy efficiency, heating control, weather forecast

Pages 89 pages including appendices 32 pages

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	1
1.1	Tausta.....	1
1.2	Tavoitteet ja rajaukset	1
2	SULANAPITOJÄRJESTELMÄT	2
2.1	Ulkoalueiden sulanapidon käyttökohteet ja tavoitteet.....	2
2.2	Sulanapidon tekninen toteutus.....	2
2.3	Sulanapidon ohjaus	4
3	TALVISÄÄ JA ILMATIETEEN LAITOKSEN SÄÄENNUSTE.....	5
3.1	Talvisää.....	5
3.1.1	Vuodenajat	5
3.1.2	Sade ja jään muodostuminen.....	6
3.1.3	Veden olomuodot ja niiden muutokset	7
3.1.4	Liukkaus	9
3.2	Ilmatieteen laitoksen sääennuste	10
3.2.1	Ilmatieteen laitoksen avoimen datan lataaminen	11
3.2.2	HARMONIE-AROME-säämalli.....	12
3.2.3	Sääennusteen osuvuus ja rajoitteet.....	13
3.2.4	Sääennusteiden soveltuvuus sulanapitolämmityksen ohjaukseen.....	13
4	TARVITTAVA LASKENTA	14
4.1	Lumen sulattaminen	14
4.1.1	Lämpötilan muutos.....	14
4.1.2	Lumen sulattaminen vedeksi.....	15
4.1.3	Lumen massan määrittäminen.....	15
4.1.4	Vesifilmikerroksen haihduttaminen	16
4.2	Lämpöhäviöt ympäristöön	19
4.2.1	Lämpöhäviö alapuolisiin rakenteisiin	20
4.2.2	Lämpöhäviö ilmaan	20
4.3	Muu tarvittava laskenta	22
4.3.1	Kitkakerroin	22
4.3.2	Keskiarvon keskivirhe	22
4.3.3	Yksittäisen havainnon keskivirhe	22
4.3.4	Lasketun suureen virhetermien lisääminen neliöllisesti	23
4.3.5	B-parametriyhtälö	23
5	SÄÄENNUSTEESEEN PERUSTUVA OHJAUS	24
5.1	Sulana pidettävän alueen lämmitys sulatuslämpötilaan	24
5.2	Lumen sulattaminen	25
5.3	Vesifilmikerroksen haihduttaminen.....	26
5.4	Ohjausjärjestelmä	27
5.5	Ohjauslogiikka	28

6	KENTTÄMITTAUKSET	29
6.1	Kenttäkokeen järjestelyt ja toteutus.....	29
6.2	Ohjausjärjestelmä	33
6.3	Mittaustulokset	34
6.3.1	Case-tarkastelu 1	36
6.3.2	Case-tarkastelu 2	38
6.3.3	Case-tarkastelu 3	40
6.3.4	Case-tarkastelu 4	42
6.3.5	Case-tarkastelu 5	44
6.3.6	Case-tarkastelu 6	45
6.3.7	Case-tarkastelu 7	47
6.3.8	Kitkamittaukset.....	48
6.4	Epätarkkuuksien arviointi.....	51
6.4.1	Kitkamittaus.....	51
6.4.2	Lämpötilan mittaus.....	51
6.5	Mittaustulosten analysointi	52
7	JOHTOPÄÄTÖKSET	54
	LÄHTEET.....	55

Liitteet

- Liite 1 Kitkamittausten mittauspöytäkirja
- Liite 2 Lämpötilan mittauksen epätarkkuuden mittauspöytäkirja

1 JOHDANTO

1.1 Tausta

Ulkoalueiden sulanapitojärjestelmien tarkoituksena on estää lumen ja jään kertyminen sulana pidettävän alueen pinnalle. Ulkoalueiden sulanapitojärjestelmiä käytetään esimerkiksi lastauslaitureilla, ajorampeilla, kävelykaduilla ja jalankulkuväylillä, jolloin tavoitteena on turvallisuuden lisääminen sekä talvikunnossapidon tarpeen vähentäminen. Sulanapitojärjestelmien toimintaperiaatteena on lämmittää sulana pidettävä alue veden jäätympistettä lämpimämmäksi, jolloin lumi sulaa, vesi valuu alueen ulkopuolelle ja jäljelle jäävä vesifilmi haihtuu.

Sulanapitojärjestelmien toiminnan ja energiankulutuksen hallintaan käytetään erilaisia ohjaustapoja, kuten lämpötilaan perustuva termostaattiohjaus tai lumen, jään ja kosteuden havaitseminen antureilla. Sulanapitojärjestelmien käytön suurimpana rajoitteena on niiden suurehko energiankulutus.

Sulanapitojärjestelmien energiatehokkuuden parantuessa niiden käyttökohteiden määrä lisääntyy, joissa sulanapitolämmitys on taloudellisesti kannattava. Lisäksi energiatehokkuudella on ilmastonmuutoksen myötä aiempaa suurempi merkitys yrityksen tai yhteisön maineelle.

1.2 Tavoitteet ja rajaukset

Opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää, voidaanko ulkoalueen sulanapitojärjestelmän ohjaus toteuttaa energiatehokkaasti sääennustetietojen perusteella. Sääennusteiden saatavuus on nykyisin avoimen data aikakaudella hyvä ja niiden tarkkuus kehittyy jatkuvasti.

Työ rajattiin koskemaan lämmityskaapelilla toteutettua ulkoalueiden sulanapitoa, koska se on rakenteeltaan yksinkertaisempi kuin esimerkiksi vesikiertoinen sulanapitojärjestelmä, jolloin kenttäkokeen toteuttaminen oli huomattavasti yksinkertaisempaa. Työ rajattiin koskemaan sellaisia sulanapitojärjestelmiä, joiden tarkoituksena on estää jalankulkijalle vaarallisen liukkauden muodostumista ja lisätä ulkoalueiden käyttömukavuutta. Tutkimustulokset ovat sovellettavissa muihinkin lämmitysjärjestelmiin ja käyttötarkoituksiin, kun näiden erityispiirteet otetaan huomioon.

Tärkeimpänä tutkimusongelmana oli se, että voidaanko ulkoalueen sulanapitojärjestelmän ohjaus toteuttaa energiatehokkaasti, mutta samalla toimintavarmasti sääennusteen perusteella.

Tutkimushypoteesina oli, että sulanapitojärjestelmän lämmitysjaksoit voidaan ajoittaa sääennustetiedon perusteella niin, että sulatuslämpötila saavutetaan ja ylläpidetään vain silloin kun sille on tarve. Tällöin energiatehokkuus olisi merkittävästi pienempi kuin termostaattiohjauksessa ja sulatuslämpötilan saavuttamisen viiveet olisivat pienemmät kuin lumen, jään ja kosteuden havaitsemiseen perustuvassa ohjauksessa.

Opinnäytetyössä selvitettiin sääennusteeseen perustuvan ohjauksen toteuttamiseen tarvittava tietopohja, laskentamenetelmät ja menetelmä, jolla sääennustetieto saatiin tuotua ohjausjärjestelmään. Työssä suunniteltiin ohjausjärjestelmä ja -logiikka, jolla sulanapitojärjestelmän ohjaus voidaan toteuttaa sääennustetiedon perusteella. Lisäksi toteutettiin kenttäkoe, jossa rakennettiin edellä mainitulla ohjauslogiikalla toimiva ohjausjärjestelmä sekä verrattiin sen toimintaa sulanapitotermostaatilla toteutettuun ohjaukseen. Opinnäytetyön toimeksiantaja oli Hämeen ammattikorkeakoulu.

Kenttäkokeessa käytetyn ohjausjärjestelmän ohjelmointi ja testaaminen olivat työn määränä suuri osa tätä työtä. Ohjelmakoodin ja ohjelman toiminnan yksityiskohtainen tarkastelu rajattiin kuitenkin työn ulkopuolelle, koska se olisi vienyt huomion työn varsinaiselta aiheelta.

2 SULANAPITOJÄRJESTELMÄT

2.1 Ulkoalueiden sulanapidon käyttökohteet ja tavoitteet

Ulkoalueiden sulanapitoa käytetään nykyään useissa eri kohteissa. Käyttökohteet vaihtelevat lastauslaitureiden, ajoramppien ja portaiden kaltaisista pienistä kohteista suurempiin kohteisiin kuten kokonaisuun katuihin ja jalankulkuväyliin. Kohteena voi olla myös jokin vaikeasti aurattava alue. Näille kaikille kohteille on yhteistä se, että sulanapidon tavoitteena on turvallisuuden ja käyttömukavuuden lisääminen sekä hiekoituksen ja aurauksen tarpeen vähentäminen. Turvallisuus lisääntyy, kun jalankulkijoille ja liikenteellä vaarallisen liukkauden syntyminen voidaan estää. (Ventä, 2014, ss. 3-5)

Ulkoalueiden sulanapidon kohteiden lisäksi muita sulanapidon kohteita ovat esimerkiksi vesiputket, viemärit, räystäskourut, syöksytorvet ja kylmävarastojen edustat. Näitä ei kuitenkaan tarkastella tässä tutkimuksessa. (Salo, 2014, ss. 3-4)

2.2 Sulanapidon tekninen toteutus

Sulanapitojärjestelmien toimintaperiaatteena on lämmittää sulana pidettävä alue veden jäätympistettä lämpimämmäksi, jolloin lumi sulaa, vesi

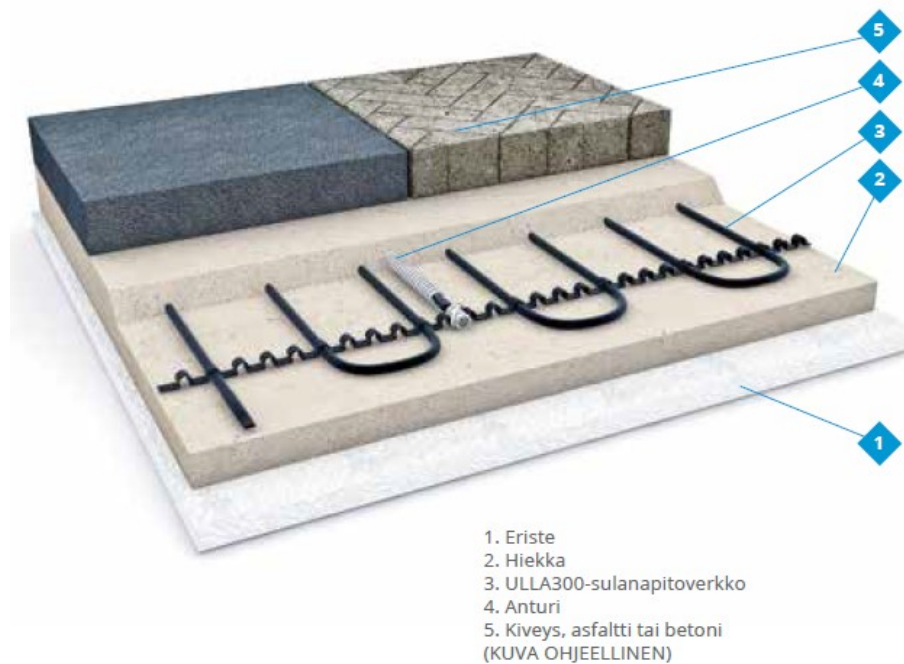
valuu alueen ulkopuolelle ja jäljelle jäävä vesifilmi haihtuu. Yleisimmät sulanapitojärjestelmän toteutustavat ovat sähköenergialla lämpenevät lämmityskaapelit tai nestekiertoiset lämmitysjärjestelmät. Nestekiertoisissa sulanapitojärjestelmissä lämmönlähteenä voidaan käyttää esimerkiksi kaukolämmön paluuvettä, lämpöpumppuja tai jonkin teollisuusprosessin jätelämpöä. Yleensä yli 300 m² järjestelmät tehdään vesikiertoisina. (Ventä, 2014, ss. 1-5)

Tässä työssä tarkastellaan erityisesti lämmityskaapelilla toteutettua sulanapitojärjestelmiä, koska niiden huomattavasti yksinkertaisempi rakenne mahdollistaa kahden ohjauksjärjestelmän rinnakkaisen testaamisen kenttäkokeessa.

Lämmityskaapeleina käytetään vakiovastuskaapeleita ja itserajoittuvia lämmityskaapeleita. Vakiovastuskaapeli lämmittää aina vakioteholla, joka riippuu kaapelin ominaisresistanssista, pituudesta ja käytettävästä jännitteestä. Lämmityskaapelin valmistaja ilmoittaa vakiovastuskaapeleille metrikohtaisen enimmäiskuormituksen joka pitää ottaa huomioon kaapelia mitoitettaessa. Enimmäiskuormitus vaihtelee sen mukaan, mihin materiaaliin kaapeli asennetaan. Yleisesti enimmäiskuormitus on noin 10–30 W/m. (Ensto Finland Oy, n.d., s. 7)

Itserajoittuvan lämmityskaapelin resistanssi ja teho muuttuvat ympäristön lämpötilan mukaan. Asennusympäristön lämpötilan laskiessa lämmitysteho nousee. Lämmitettävän alueen lämpötila asettuu sille tasolle, jossa kaapelin lämmitysteho ja häviötehot ympäristöön ovat tasapainossa. Itserajoittuvaa kaapelia käytettäessä ei välttämättä tarvita erillistä ohjauslaitetta. (Salo, 2014, ss. 6-7)

Lämmityskaapeli asennetaan yleensä sulanapidettävän alueen pintakerroksen alapuoliseen hiekkaan tai betoniin. Lämmityskaapelin asennus pintakerroksen alapuoliseen hiekkaan on esitetty kuvassa 1. Pintakerros voi olla esimerkiksi asfalttia, betonia tai laattoja. Lämmityskaapeli asennetaan yleensä noin 50–200 mm pinnan alapuolelle. Paras hyötyteho saavutetaan, kun alue lämpöeristetään alapuolelta. (Ensto Finland Oy, n.d., s. 7)



Kuva 1. Lämmityskaapelin asennus hiekkaan (Ensto Finland Oy, n.d., s. 34)

Sulanapitolämmitys mitoitetaan ja lämmityskaapeli valitaan niin, että säävutettu neliöteho on käyttötarkoituksiin ja rakenteisiin nähden sopiva. Enston valmistamille lämmityskaapeleille ilmoitetut asennustehot on esitetty taulukossa 1. Myös sulamisvesien reitit tulee huomioida suunnittelussa. (Ensto Finland Oy, n.d., s. 30)

Taulukko 1. Lämmityskaapelien asennustehot (Ensto Finland Oy, n.d., s. 30)

Asennuspaikka	Asennusteho (W/m ²)
Jalankulkuväylät (tuulelta suojatut)	150–200
Jalankulkuväylät (suojaamattomat)	200–250
Ulkoportaat ja ovien edustat	200–300
Pysäköintialueet ja ajotiet	250–300
Lastausalueet (suojatut)	250–300
Lastausalueet (suojaamattomat)	300–400

2.3 Sulanapidon ohjaus

Lämmityskaapelilla toteutettua sulanapitolämmitystä ohjataan yleensä sulanapitotermostaatilla. Ohjauksen tarkoituksena on pitää sulanapidettävä alue halutussa lämpötilassa. Lisäksi ohjauksen tarkoituksena on säästää

energiaa kytkemällä lämmitys pois päältä silloin kun sitä ei tarvita. Itserajoittuvaa kaapelia voidaan käyttää ilman erillistä ohjauslaitetta, mutta vakiovastuskaapelia käytettäessä ohjauslaite on välttämätön. (Salo, 2014, s. 16)

Yksinkertaisimmillaan sulanapitotermostaatissa on yksi lämpötilaa mittaava anturi, jolla mitataan maan lämpötilaa. Maa-anturin lisäksi käytössä voi olla myös ilman lämpötilaa mittaava anturi. Termostaatti kytkee lämmityksen päälle silloin kun anturien mittaamat lämpötilat ovat asetellulla alueella. Lämpötilaan perustuva ohjaus on toimintavarma, koska se pitää sulanapidettävän alueen lämpötilan veden jäätymispisteen yläpuolella. Tässä ohjaustavassa energiaa kuluu kuitenkin turhaan silloin kun lämpötila on asetetulla alueella, mutta olosuhteet ovat kuivat. (Salo, 2014, ss. 11-16)

Ohjaus voi perustua lämpötilan mittauksen lisäksi antureihin, jotka tunnistavat lumen, jään ja kosteuden. Tällöin saavutetaan energiansäästöä, koska lämmitys ei ole pakkasellakaan päällä kuivissa olosuhteissa. Lämpötilan lisäksi lumen, jään ja kosteuden tunnistamiseen perustuva ohjaus säästää energiaa pelkkään lämpötilan mittaukseen perustuvaan ohjaukseen verrattuna, koska lämmitys on päällä vain silloin kun jäätymisen vaara on olemassa. Tässä ohjaustavassa voi syntyä viiveitä lumen ja jään sulamiin. Lämmitettävä alue lämpenee hitaasti jolloin sulatuslämpötilan saavuttamiseen voi mennä lämpötilasta ja lämmitystehosta riippuen tunteja. Joissain ohjauslaitteissa lämmityksen aloitusta pyritään ennakoimaan käynnistämällä lämmitys ennalta määräytyksi ajaksi, jos ilman lämpötila laskee nopeasti. (Ensto Finland Oy, n.d., s. 11)

3 TALVISÄÄ JA ILMATIETEEN LAITOKSEN SÄÄENNUSTE

3.1 Talvisää

3.1.1 Vuodenajat

Vuodenajat voidaan määrittää usealla eri tavalla. Suomessa käytetään yleisesti kolmen kalenterikuukauden jaksoihin perustuvaa määrittelyä tai termisiä vuodenaikoja. Kalenterikuukausiin perustuvan määrittelyn etuna on eri vuosien säätilastojen vertailun yksinkertaisuus.

Kalenterikuukausittain määritellyt vuodenajat ovat

- kevät: maaliskuu-toukokuu
- kesä: kesäkuu-elokuu
- syksy: syyskuu-marraskuu
- talvi: joulukuu-helmikuu

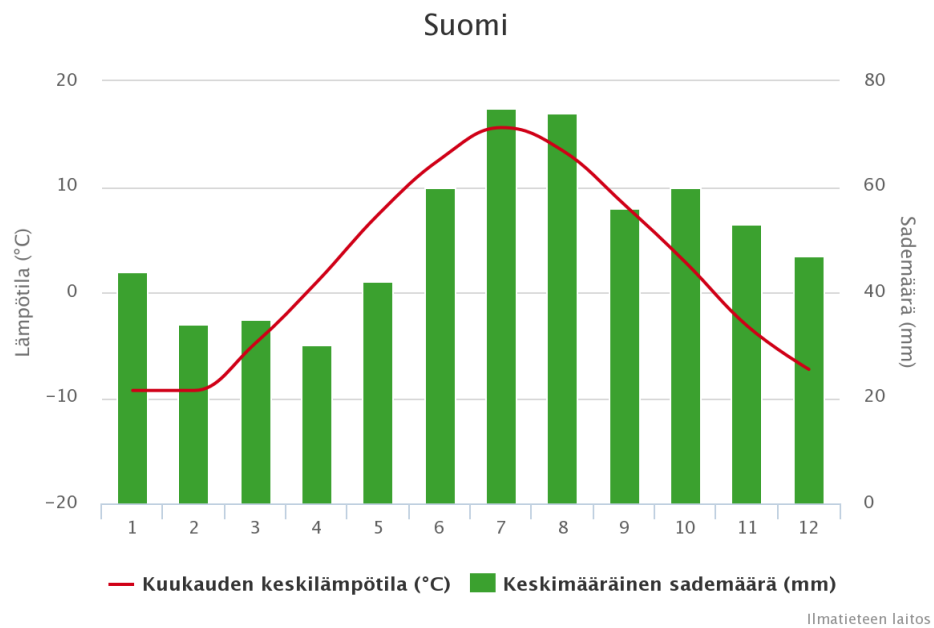
(Ilmatieteen laitos, n.d.i)

Perinteisesti termiset vuodenaajat määritetään keskilämpötilojen mukaan

- kevät: vuorokauden keskilämpötila on pysyvästi välillä 0...10 °C
- kesä: vuorokauden keskilämpötila on pysyvästi yli 10 °C
- syksy: vuorokauden lämpötila on pysyvästi alle 0...10 °C
- talvi: vuorokauden lämpötila on pysyvästi alle 0 °C

(Ilmatieteen laitos, n.d.h)

Termisten talven kesto vaihtelee eri osissa Suomea noin sadan ja kahden-sadan päivän välillä. Kuvassa 2 on esitetty Suomen keskilämpötilat ja sademäärät aikavälillä 1981–2010.



Kuva 2. Suomen kuukausittainen keskilämpötilan ja sademäärän keskiarvo 1981–2010 (Ilmatieteen laitos, n.d.c)

Suomen talvessa lämpötilan vaihteluväli on suurempi kuin muina vuodenaikoina. Lämpötila voi olla Etelä-Suomessa talvella yhtä hyvin +1 °C kuin -15 °C. Vastaavat lukemat Pohjois-Suomessa ovat -3 °C ja -25 °C. Talvella on yleensä pilvistä ja sataa noin kymmenenä päivänä kuukaudessa. Sademäärä kuitenkin vaihtelee paljon vuosittain. Sade voi olla vettä, räntää tai lunta. (Hartonen, 2008, ss. 15-27)

3.1.2 Sade ja jään muodostuminen

Jäätä muodostuu, kun satanut, vesihöyrystä tiivistynyt tai jäätä sulanut vesi jäätyy lämpötilan ollessa jäätympisteen alapuolella. Jäätä voi muodostua myös vesihöyryn härmistyessä suoraan jääkiteiksi, jolloin puhutaan kuurasta.

Sade syntyy tihkusadetta lukuun ottamatta pilvissä, joissa vesihöyry härmistyy jääkiteiksi ja edelleen lumikiteiksi, lumihutaleiksi tai rakeiksi. lumihutaleet tai rakeet pääsevät tippumaan maata kohti, jos ne kasvavat tarpeeksi suuriksi. Sateen olomuoto riippuu pilven alapuolisen ilman lämpötilasta ja kosteudesta. Sade tulee maahan vetenä silloin kun pilven alapuolisen ilman lämpötila ehtii sulattaa lumihutaleet kokonaan ennen kuin ne tulevat maahan. (Paasonen, 2001, ss. 115-116)

Sade tulee maahan lumena silloin kun ilman lämpötila on pakkasella tai vain vähän nollan asteen yläpuolella. Röntäsateessa osa sateesta tulee maahan vesipisaroina ja osa lumihutaleina. Jäätävää sadetta voi esiintyä pakkasen lauhtuessa. Lämpimän ilman pilvestä sataa vettä joka jäähtyy matkallaan kylmemmässä ilmassa alijäähtyneeksi vedeksi. Alijäähtynyt vesi jäätyy heti kohdatessaan kylmän pinnan. Alijäähtyneen veden lämpötila on nollan alapuolella, mutta sopivissa olosuhteissa se pysyy vetenä. (Paasonen, 2001, ss. 116-117)

Ilman kosteus ja kaste ovat yhteydessä toisiinsa. Ilmaan mahtuu vain tietty määrä vesihöyryä johon lämpötila vaikuttaa voimakkaasti. Suhteellinen kosteus tarkoittaa ilman sen hetkisen vesihöyryn ja kyseessä olevassa lämpötilassa suurimman vesihöyryn määrän suhdetta. Ilma saavuttaa kyllästyskosteuden, jos vesihöyryn määrä saavuttaa kyseisessä lämpötilassa vallitsevan suurimman vesihöyryn määrän. Kyllästyskosteus voidaan saavuttaa myös, jos ilma viilenee niin, että siinä oleva vesihöyryn määrä ja suurin vesihöyryn määrä ovat samansuuruiset. Kyllästyskosteuden saavuttamisen jälkeen ylimääräinen vesihöyry muuttuu kaste- tai sumupisaroina tai härmistyy sopivissa olosuhteissa jääkiteiksi. Kyllästymiskosteuden saavuttamisen lämpötilaa sanotaan kastepisteeksi. Vesihöyry tiivistyy erityisen hyvin kiinteille pinnoille ja veteen kun ilma on saavuttanut kastepisteen tai kun se jäähtyy kastepisteeseen lähellä kylmää pintaa. (Rinne, Koistinen, & Saltikoff, 2008, ss. 43-45)

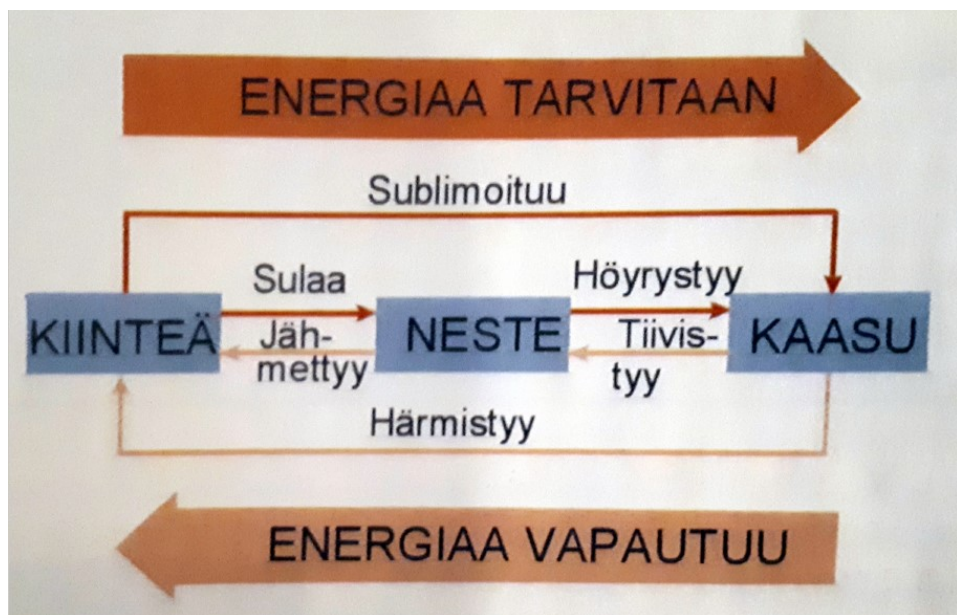
Kastetta esiintyy eniten syksyllä, kirkkaana ja heikkotuulisena yönä maanpinnan lämpötilan laskiessa niin alas, että se saavuttaa lähellä olevan ilman kastepisteen. Pakkasella vesihöyry ei tiivisty vesipisaroina vaan härmistyy kylmälle pinnalle suoraan jääkiteiksi. Tätä härmistymistä sanotaan kuuraksi. Kuurassa muodostuneet jääkiteet eivät välttämättä ole itsessään liukkaita, mutta voivat sulaa ja uudelleen jäähtyä esimerkiksi liikenteen vaikutuksesta, jolloin voi muodostua ns. mustaa jäätä. Huurre on kuuraa muistuttava ilmiö jossa ilmassa oleva alijäähtyneet sumupisarot jäätyvät kiinni kylmiin pintoihin. (Paasonen, 2001, ss. 130-132)

3.1.3 Veden olomuodot ja niiden muutokset

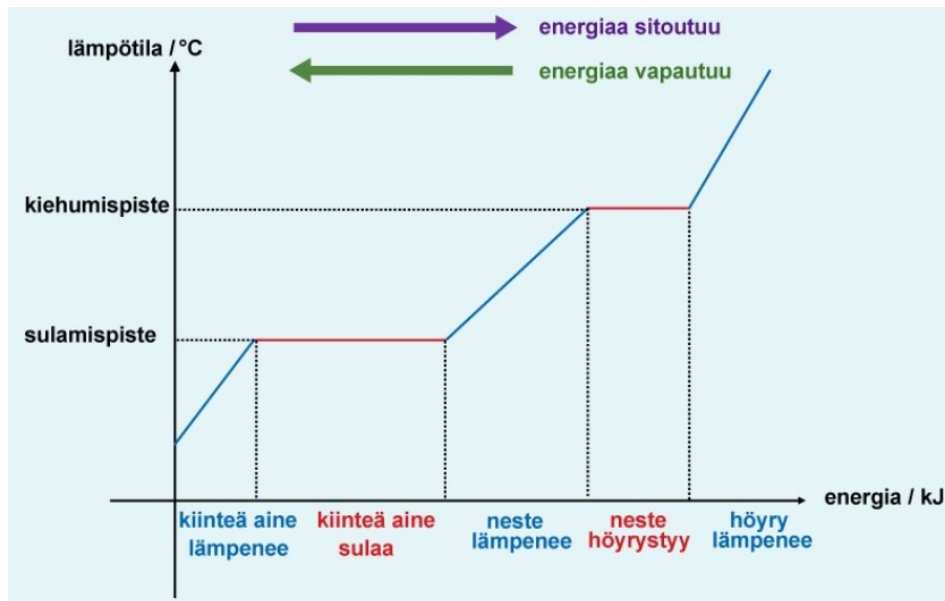
Veden olomuoto riippuu lämpötilasta ja paineesta. Tässä veden olomuotoja tarkastellaan tavanomaisessa, maanpinnan lähellä vallitsevassa ilmapaineessa. Vesi voi esiintyä normaaleissa sääolosuhteissa nesteinä, kiinteinä aineina tai kaasuna, eli höyrynä. Veden olomuotojen muutoksissa

joko sitoutuu tai vapautuu energiaa. Olomuotojen muutokset on esitetty kuvassa 3 ja niihin liittyvä energia kuvassa 4. (Hautala & Peltonen, 2005, ss. 162-163)

Jäätä lämmitettäessä sen lämpötila nousee, kunnes se saavuttaa sulamispisteen. Sulamispisteessä lämmitysenergiaa sitoutuu sulamislämmön verran olomuodon muutokseen, eikä jää lämpene ennen kuin se on sulanut vedeksi. Vastaavasti veden jäätyessä sitoutunut sulamislämpö vapautuu ympäristöön. Veden olomuotojen muutoksiin liittyvät energiat (sulamislämpö ja höyrystymislämpö) ovat huomattavan suuria verrattuna veden lämpötilan nostamiseen tarvittaviin energioihin. (Hautala & Peltonen, 2005, ss. 162-163)



Kuva 3. Veden olomuotojen muutokset (Hautala & Peltonen, 2005, s. 163)



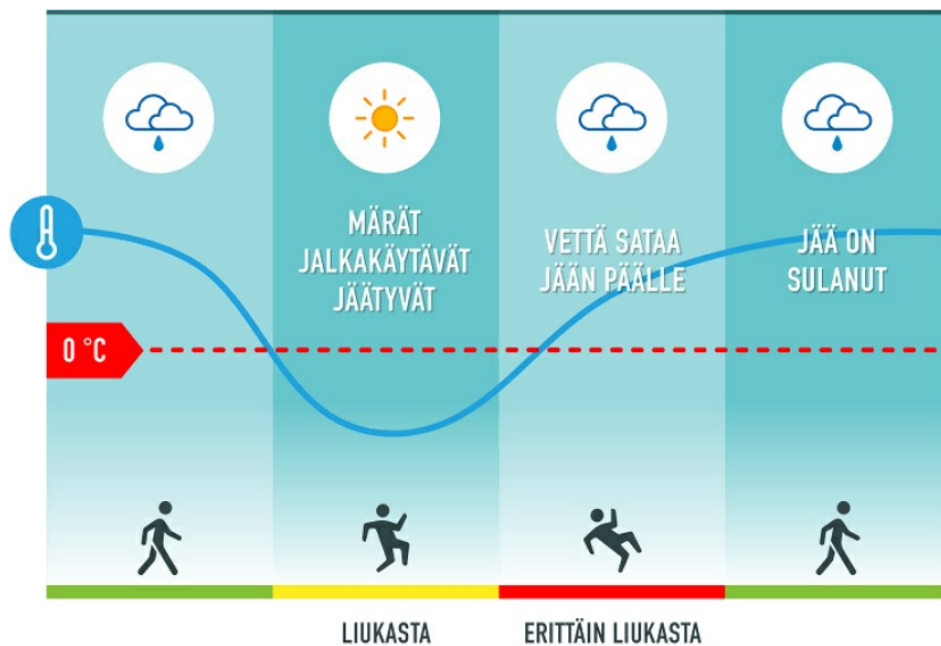
Kuva 4. Energia olomuotojen muutoksissa (Olmuodon muutoksissa sitoutuu tai vapautuu energiaa, n.d.)

3.1.4 Liukkaus

Talvella olosuhteet saattavat olla liikenteelle, jalankululle ja työskentelylle vaarallisen liukkaat pintojen jäätyessä. Tämän tutkimuksen näkökulmasta liukkautta kuvaa parhaiten jalankulkusäähän liittyvät liukkauden kriteerit. Sulana pidettävillä alueet ovat käyttötarkoitukseltaan sellaisia, että niillä liikutaan jalan tai ajoneuvoilla hyvin hitailla ajonopeuksilla.

Ilmatieteen laitos on kehittänyt jalankulkusäämallin, jonka avulla tehdään ennusteita olosuhteiden liukkaudesta jalankulkuväylillä. Jalankulkusäämallin perusteella määritetään jalankulkuindeksi joka voi saada arvot: normaali, liukas, tamppautunut pinta tai erittäin liukas (Ilmatieteen laitos, 2015). Liukkaan ja erittäin liukkaan kelin muodostuminen on havainnollistettu kuvassa 5. Liukas keli muodostuu silloin kun lämpötila laskee pakkasen puolelle vesisateen jälkeen. Erittäin liukas keli muodostuu silloin kun

- jään päälle sataa lunta
- jään päälle sataa vettä tai jään päälle sulaa vesikerros
- lumi on tamppautunut liukkaaksi runsaan lumisateen jälkeen (Ilmatieteen laitos, 2019)



Kuva 5. Liukkaan ja erittäin liukkaan kelin muodostuminen (Ilmatieteen laitos, 2019)

Liukastumistapaturmia tutkittaessa merkittävimmäksi ympäristökiteijäksi on noussut alustan ja kengän välinen kitka. Turvallisen kävelyn kitkakertoimen minimiarvoksi voidaan arvioida kitkakerrointa 0,2. Erityisryhmillä kuten vanhuksilla turvalliseksi kitkakertoimen vähimmäisarvoksi voidaan arvioida 0,4. Kuivan asfaltin ja auton renkaan välinen kitkakerroin on noin 0,8. Kovalla jäällä kitkakerroin on noin 0,1–0,2. Ilmatieteen laitoksen tutkimuksessa liukkaaksi koetulla kelillä jalkineiden kitkakerroin vaihteli välillä 0,14–0,28 ja erittäin liukkaaksi koetulla kelillä välillä 0,10–0,26. (Hippi, Hartonen & Hirvonen, 2017, s. 29; Hautala & Leviäkangas, Ilmatieteen laitoksen palveluiden vaikuttavuus - Hyötyjen arviointi ja arvottaminen eri hyödyntäjätoimialoilla, 2007, ss. 55-56; Ilmatieteen laitos, 2013)

3.2 Ilmatieteen laitoksen sääennuste

Ilmatieteen laitos on liikenne- ja viestintäministeriön alainen laitos, jonka tehtävänä on tuottaa erilaisia ilmatieteeseen liittyviä palveluita kuten säähavaintoja ja -ennusteita sekä tutkimustietoa. Ilmatieteen laitos valittiin tässä opinnäytetyössä käytettäväksi sääennustetiedon tuottajaksi, koska se on avannut tuottamaansa aineistoa laajasti saataville avoimena datana, aineistoa on saatavilla maksutta, ilman rekisteröitymistä ja se on saatavilla ensisijaisesti koneluettavassa muodossa. (Ilmatieteen laitos, 2019)

Ilmatieteen laitoksen avoimen datan aineisto jakautuu reaaliaikaisiin havaintoihin, havaintojen aikasarjoihin sekä ennustemalleihin. Sääennusteperusteisen ohjauksen kannalta kiinnostavimmat aineistot löytyvät ennustemalleista. Saatavilla on kahden eri sääennustemallin tuottamaa dataa.

Sääennustemallit ovat HARMONIE-AROME ja HIRLAM (Ilmatieteen laitos, 2020).

3.2.1 Ilmatieteen laitoksen avoimen datan lataaminen

Ilmatieteen laitoksen julkaisema avoin data noudattaa Euroopan Unionin INSPIRE-direktiivin vaatimuksia (Ilmatieteen laitos, 2019). INSPIRE-direktiivin tarkoitus on yhtenäistää julkaistun paikkatiedon rakenne. Tavoitteena on mahdollista eri tahojen julkaiseman paikkatiedon yhteiskäyttö eri tarkoituksiin, jolloin päällekkäinen työ eri organisaatioissa ja valtioissa vähenee. INSPIRE-direktiivi on velvoittava niille EU-maiden viranomaisille ja muille vastaaville toimijoille, jotka ylläpitävät direktiivin soveltamisalaan kuuluvia paikkatietoaineistoja. INSPIRE-direktiivissä määritetään vaatimuksia mm. avoimen paikkatietoaineiston julkaisuun liittyvistä verkkopalveluista. (Maanmittauslaitos, n.d.)

Ilmatieteen laitos on toteuttanut avoimen datan latauspalvelun (palvelurajapinnan) Open Geospatial Consortium paikkatietoa koskevien palvelurajapintojen standardien mukaisesti (Ilmatieteen laitos, 2018). Open Geospatial Consortium (OGC) on kansainvälinen paikkatietoa koskevia standardeja ylläpitävä, voittoa tavoittelematon järjestö, jonka standardit ovat vapaasti käytettävissä ja alalla laajasti käytössä (Open Geospatial Consortium, n.d.b).

INSPIRE-direktiivien velvoittavuudesta sekä avoimen datan julkaisusta alan standardeja noudattaen voidaan tehdä se johtopäätös, että Ilmatieteen laitoksen avoimen datan saatavuus ja julkaisutapa ovat vakaita ja mahdolliset muutokset ovat hyvin ennakoitavissa. Ilmatieteen laitoksen avoimen datan julkaisujen varaan on siis mahdollista rakentaa erilaisia järjestelmiä ilman merkittävää riskiä siitä, että datan saatavuus tai palvelurajapinta muuttuvat yllättäen.

Ilmatieteen laitoksen avoimen datan palvelut on jaettu kolmeen kategoriiaan INSPIRE-direktiivin mukaisesti. Kategoriat ovat haku-, katselu- sekä latauspalvelut. Palveluiden toteutus noudattaa vastaavia OGC:n standardeja jotka ovat Catalog Service for Web (CSW), Web Map Service (WMS) ja Web Feature Service (WFS). (Ilmatieteen laitos, 2018)

Tietoaineistoa ladataan latauspalvelusta lähettämällä Ilmatieteen laitoksen palvelimelle kysely (latauspyyntö) sopivilla, aineistoa rajaavilla parametreilla. Kyselyssä käytetään HTTP-protokollaa, eli samaa protokollaa jota nettiselaimet ja WWW-palvelimet käyttävät tiedonsiirtoon. Palvelin vastaa pyyntöön lähettämällä pyydetyn aineiston Geography Markup Language -muodossa (GML-muodossa). GML on Extensible Markup Language -standardiin (XML-standardiin) perustuva, standardoitu rakenteellinen merkintäkieli paikkatietoaineiston tiedonsiirtoon. (Ilmatieteen laitos, n.d.a)

Yksinkertaisimmillaan tietoaaineiston lataus tapahtuu kirjoittamalla nettiselaimen osoiteriville määrämuotoinen pyyntö, jossa on palvelimen osoite, käytettävä kysely sekä haluttua tietoaaineistoa rajaavat parametrit alla olevan esimerkin mukaisesti. Esimerkkinä olevaan pyyntöön saadaan vastauksena GML-muotoinen ennuste lämpötilasta ja kastepisteestä Valkeakoskella. Vastauksena saadun ennusteen tiedot ovat tunnin aikavälein ja kyselyä seuraavasta tasatunnista säämallin loppuun asti.

https://opendata.fmi.fi/wfs?service=WFS&version=2.0.0&request=getFeature&storedquery_id=fmi::forecast::harmonie::surface::point::simple&place=valkeakoski¶meters=temperature,dewpoint

Ladattava aineisto on tarkoitettu ensisijaisesti koneluettavaksi ja esimerkiksi kyselyyn saatu vastaus on melko hankala lukea sellaisenaan. Useille ohjelmointikielille on saatavilla valmiita ohjelmakirjastoja sekä palvelurajapinnan käyttöön, että XML-standardin mukaisten vastausten käsittelyyn. Tällaisia kirjastoja ovat esimerkiksi JavaScript-ohjelmointikielen MetOLib ja Python-ohjelmointikielen OWSLib ja ElementTree.

3.2.2 HARMONIE-AROME–säämalli

HARMONIE-AROME on Ilmatieteenlaitoksen ensisijainen säämalli, joka ajetaan neljästi vuorokaudessa. Kunkin ajon ennustepituus on 66 h ja ajot suoritetaan klo 00, 06, 12 ja 18 koordinoitua yleisaikaa (UTC-aikaa). Kaikki säämallissa käytettävät ajat ovat UTC-aikaa. Suomen aikavyöhyke on normaaliaikaan UTC+2 ja kesäaikaan UTC+3. (Ilmatieteen laitos, n.d.f)

Ilmatieteen laitoksen avoimen data palveluun on luotu tallennettuja kyselyitä, joita käyttämällä dataa ladataan. Sulanapitolämmityksen ohjaustietojen hakemiseen soveltuu esimerkiksi ”Harmonie Maanpinta piste-ennuste 'simple feature'-muodossa”, jonka tekninen nimi on fmi::forecast::harmonie::surface::point::simple. Kyselyllä voidaan hakea maanpintatason sääennuste halutusta pisteestä. Piste josta ennuste halutaan, voidaan ilmoittaa paikannimenä, koordinaattiparina tai geoid-arvona. Kyselyn rajaamiseen on käytössä seuraavat kyselyparametrit

- starttime: ennusteen alkuaika ISO 8601 formaatissa (UTC-aika)
- endtime: ennusteen päättymisaika ISO 8601 formaatissa (UTC-aika)
- timestep: ennusteen aikaväli minuutteina
- parameters: luettelo suureista jotka kyselystä ladataan
- place: paikannimi
- latlon: koordinaattipari leveys- ja pituusasteina
- geoid: geoid-arvo

(Ilmatieteen laitos, n.d.g)

Edellä mainitusta kyselystä on saatavilla mm. seuraavat tiedot

- pressure (Pa): ilmanpaine

- temperature (K): ilman lämpötila
 - dewpoint (K): kastepiste
 - humidity (%): suhteellinen ilmankosteus
 - winddirection (deg): tuulen suunta
 - windspeedms (m/s): tuulen nopeus
 - precipitationamount (kg/m²): kumulatiivinen sadekertymä
 - precipitation1h (kg/m²): sadekertymä tunnin aikana
 - weathersymbol3 (index): säätyyppiä edustavan symbolin numero
 - totalcloudcover (0-1): pilvisyys
 - radiationglobal (W/m²): auringon kokonaissäteilyn määrä
 - visibility (m): näkyvyys
 - radiationnetsurfaceswaccumulation (J/m²): lyhytaaltoisen säteilyn nettokertymä maan pinnalle
 - radiationnetsurfacelwaccumulation (J/m²): pitkäaaltoisen lämpösäteilyn nettokertymä maan pinnalta
- (Ilmatieteen laitos, n.d.b)

Edellä mainittujen, sadetta kuvaavien suureiden yksiköistä (kg/m²) on hyvä huomata, että ne kuvaavat samalla myös sademäärää millimetreinä. Kilogramma vettä neliömetrin alueella muodostaa millimetrin paksuisen kerroksen, kun veden tiheys on 1000 kg/m³.

3.2.3 Sääennusteen osuvuus ja rajoitteet

Sääennuste ei ole koskaan ehdottoman tarkka ja tarkkuus heikkenee sitä enemmän mitä pidemmän ajan päähän säähän liittyviä suureita ennustetaan. Sään ennustettavuus vaihtelee sen mukaan mitä ennustetaan. Lämpötila voidaan ennustaa 4–8 vuorokauden päähän, sadealueiden reitit 3–6 vuorokauden päähän ja tuulen suunta sekä nopeus 2–5 vuorokauden päähän. (Ilmatieteen laitos, 2019)

Sademäärät, sateen olomuoto ja sadealueiden tarkat reitit sekä sadekuurojen ja ukkosen alueet voidaan ennustaa vain 0,5–2 vuorokauden päähän. Syntyneiden sadekuurojen reittejä voidaan ennustaa, mutta yksittäisen sadekuuron syntymistä ei voida ennustaa tarkasti ollenkaan. (Ilmatieteen laitos, 2019)

3.2.4 Sääennusteiden soveltuvuus sulanapitolämmityksen ohjaukseen

Sulanapitolämmityksen ohjaukseen soveltuvia sääennustetietoja on hyvin saatavissa Ilmatieteen laitoksen avoimena datana saatavista ennusteista. Keskeisimpiä ohjauksessa tarvittavia suureita ovat ilman lämpötila, kastepiste, tuulen nopeus, sateen intensiteetti ja sateen olomuoto.

Ennusteiden tarkkuus heikkenee sen mukaan mitä pidemmän ajan päähän ne on tehty. Ilmatieteen laitoksen ensisijainen säämalli ajetaan kuitenkin neljä kertaa vuorokaudessa, joten melko tuore ennuste on aina saatavissa.

Sulanapitolämmityksen ohjauksessa sääennustetta tarvitaan todennäköisesti enimmillään puolen vuorokauden päähän, jolloin sade-ennusteetkin ovat vielä kohtuullisen tarkkoja.

Suurin ongelma sulanapitolämmityksen ohjaukselle aiheutuu siitä, ettei yksittäisten sadekuurojen syntyä voida ennustaa ollenkaan. Tähän ongelmaan voidaan vastata hyödyntämällä sääennusteen lisäksi säätutkan havaintoja, jolloin ohjaukseen voidaan saada tieto myös sellaisista yksittäisistä sadekuuroista, joiden synnystä ei saada tietoa sääennusteesta.

4 TARVITTAVA LASKENTA

4.1 Lumen sulattaminen

Sääennusteeseen perustuvassa sulanapitojärjestelmän ohjauksessa tarvitaan tieto kertyneen lumen sulatukseen kuluva ajasta. Lumen sulatukseen kuluva aika muodostuu

- sulana pidettävän alueen lämmittämisestä sulatuslämpötilaan
- lumen lämpötilan nostamisesta sulamispistelämpötilaan
- lumen olomuodon muuttamisesta kiinteästä nesteeksi (sulaminen)
- pinnalle jäävän vesifilmin haihduttamisesta

4.1.1 Lämpötilan muutos

Pinnalla olevan lumen sulamisen edellytyksenä on se, että lumi lämmitetään sulamispistelämpötilaan, jos lumen lämpötila on tätä kylmempi. Lumen lämmittäminen sulamispistelämpötilaan edellyttää sitä, että sulana pidettävän alueen lämpötila on vähintään lumen sulamispistelämpötilassa tai sitä suurempi. Lumen lämmittämiseen kuluva aika voidaan laskea kaavalla 1. (Hautala & Peltonen, 2005, ss. 48, 160)

$$t = cm\Delta T / P \quad (1)$$

missä

t = aika (s)

c = aineen ominaislämpökapasiteetti (J/kgK)

m = lumen massa (kg)

ΔT = haluttu lämpötilan muutos (K)

P = lämmittävä hyötyteho (W)

Lumen lämpenemisaikaa laskettaessa massana käytetään lumen massaa ja ominaislämpökapasiteettina jään ominaislämpökapasiteettia 2 200 J/kgK (Hautala & Peltonen, 2005, s. 318).

Sulana pidettävän alueen lämpenemisaikaa laskettaessa massana ja ominaislämpökapasiteettina käytetään kunkin materiaalikerroksen massaa ja

ominaislämpökapasiteettia, jolloin kaava 1 saa kaavassa 2 esitetyn muodon.

$$t = (c_1m_1 + c_2m_2 + \dots + c_nm_n) \Delta T / P \quad (2)$$

missä

t = aika (s)

c_1, c_2, \dots, c_n = materiaalikerroksen ominaislämpökapasiteetti (J/kgK)

m_1, m_2, \dots, m_n = materiaalikerroksen massa (kg)

ΔT = haluttu lämpötilan muutos (K)

P = lämmittävä hyötyteho (W)

Lämmittävänä tehona käytetään hyötytehoa, joka saadaan vähentämällä kokonaislämmitystehosta häviöteho. Häviötehoa käsitellään luvussa 4.2. Kokonaismassan sijaan voidaan käyttää neliömetrikohtaista massaa, jos samalla myös tehona käytetään neliömetrikohtaista tehoa, jolloin pinta-ala supistuu laskusta pois.

4.1.2 Lumen sulattaminen vedeksi

Sulamispestelämpötilassa olevan lumen sulattamiseen vedeksi vaatii sulamislämmön verran energiaa. Tarvittavaa energiamäärä kuvataan ominais-sulamislämmöllä. Lumen ominaissulamislämpönä käytetään arvoa 333 kJ/kg. Sulamiseen kuluva aika voidaan laskea kaavalla 3 (Hautala & Peltonen, 2005, ss. 48, 162).

$$t = ml_s / P \quad (3)$$

missä

t = aika (s)

m = lumen massa (kg)

l_s = ominaissulamislämpö (J/kg)

P = lämmittävä hyötyteho (W)

Lämmittävänä tehona käytetään hyötytehoa, joka saadaan vähentämällä kokonaislämmitystehosta häviöteho. Lumikerros voidaan ajatella eristeeksi, niin ettei lämpöhäviötä ilmaan tarvitse huomioida. Häviötehoa käsitellään luvussa 4.2. Kokonaismassan sijaan voidaan käyttää neliömetrikohtaista massaa, jos samalla myös tehona käytetään neliömetrikohtaista tehoa, jolloin pinta-ala supistuu laskusta pois.

4.1.3 Lumen massan määrittäminen

Lumen sulamisajan laskemiseksi kaavoilla 1 ja 2 tulee tuntea sulatettavan lumen massa. Sääennusteessa sataneen lumen määrä voidaan ilmoittaa suoraan kilogrammoina neliometriä kohden tai satanutta lumimäärää

massaltaan vastaavan, tasaisesti alueelle jakaantuneen vesimäärän korkeutena. Tämän vuoksi lumen massan laskemisessa käytetään veden tiheyttä lumen tiheyden sijaan. Lumen ja siitä sulavan veden massa säilyy samana olomuodon muutoksesta huolimatta. Lumen kokonaismassa voidaan laskea kaavalla 4 (Hautala & Peltonen, 2005, ss. 11, 319).

$$m = h_{\text{vesi}} * a * \rho_{\text{vesi}} \quad (4)$$

missä

m = sataneen lumen massa (kg)

h_{vesi} = sademäärä veden korkeutena (m)

a = tarkasteltavan alueen pinta-ala (m^2)

ρ_{vesi} = veden tiheys (kg/m^3), $1000 \text{ kg}/\text{m}^3$

Lumen kokonaismassan sijaan laskelmissa on käytännöllistä käyttää nelliömetrikohtaista massaa kuten luvuissa 4.1.1 ja 4.2.2 on mainittu. Sataaneen lumen massa pinta-alaa kohden lasketaan kaavalla 5.

$$m/a = h_{\text{vesi}} * \rho_{\text{vesi}} \quad (5)$$

missä

m/a = sataneen lumen massa pinta-alaa kohden (kg/m^2)

a = tarkasteltavan alueen pinta-ala (m^2)

m = sataneen lumen massa (kg)

h_{vesi} = sademäärä veden korkeutena (m)

ρ_{vesi} = veden tiheys (kg/m^3), $1000 \text{ kg}/\text{m}^3$

4.1.4 Vesifilmikerroksen haihduttaminen

Lumesta sulanut vesi johdetaan pois sulana pidettävältä alueelta pinnan kaltevuuksien avulla, jonka jälkeen pinnalle jää ohut vesifilmikerros. Sel-laista vesifilmikerroksen haihtumisnopeuden arviointiin soveltuvaa laskentamenetelmää oli vaikea löytää, johon lähtötiedoiksi riittävät sääennusteesta saatavat tiedot.

Aihetta on tutkittu erityisesti maanviljelyn näkökulmasta ja käyttökelpoiset menetelmät ovat suunniteltu kokonaishaihdunnan arvioimiseksi. Kokonaishaihdunta sisältää maaperän veden haihtumisen lisäksi kasveista tapahtuvan haihtumisen. Kokonaishaihdunnan laskentamenetelmien arviointiin kuitenkin soveltuvan vähintäänkin sen arviointiin miten eri sääennusteesta saatavat lähtöarvot vaikuttavat vesifilmin haihtumisnopeuteen.

Tässä käytettävä yhtälö perustuu Penman–Monteith yhtälöön, jota käytetään päiväkohtaisen kokonaishaihdunnan arviointiin lämpötilan, tuulen nopeuden, suhteellisen kosteuden ja auringon säteilymäärän avulla.

Vesifilmin haihtumiseen kuluva aikaa voidaan arvioida kaavalla 6.

$$t_{\text{haihtuminen}} = \frac{1}{ET_0} * 3600 \text{ s} \quad (6)$$

missä

$t_{\text{haihtuminen}}$ = vesifilmin haihtumisaika (s/mm)

ET_0 = referenssikokonaishaihdunta (mm/h)

3600 s = yhden tunnin sekuntien määrä yksikkömuunnokseen

Tunnin referenssikokonaishaihdunta voidaan laskea kaavalla 7 (Allen, Pereira, Raes, & Smith, Crop evapotranspiration. Guidelines for computing crop water requirements, 1998).

$$ET_0 = \frac{0,408\Delta(R_n + E - G) + \gamma \frac{37}{T_{hr} + 273} u_2 (e^0(T_{hr}) - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0,34u_2)} \quad (7)$$

missä

ET_0 = referenssikokonaishaihdunta (mm/h)

R_n = auringon nettosäteily maan pinnalle (MJ/m²/h)

E = sulanapitojärjestelmän lämpöenergian tuotto tunnissa (MJ/m²/h)

G = maaperän lämpövirran tiheys (MJ/m²/h)

T_{hr} = ilman keskilämpötila tunnin aikana (°C)

Δ = kylläisen höyrynpainekäyrän kulmakerroin lämpötilassa T_{hr} (kPa/°C)

γ = psykometrivakio (kPa/°C)

$e^0(T_{hr})$ = kylläisen vesihöyryn paine ilman lämpötilassa T_{hr} (kPa)

e_a = ilman keskimääräinen vesihöyryn osapaine tunnin aikana (kPa)

u_2 = tuulen nopeus (m/s)

Auringon nettosäteily maan pinnalle (R_n) saadaan Ilmatieteen laitoksen sääennusteiden suureista RadiationNetSurfaceSWAccumulation ja RadiationNetSurfaceLWAccumulation. Suureet ovat kumulatiivisia suureita, joten sääennusteesta saatu arvo vähennetään edellisen tunnin arvosta, jolloin saadaan tunnin kertymä. Tämän jälkeen arvot lasketaan yhteen, jolloin saadaan auringon nettosäteily maan pinnalle. RadiationNetSurfaceSWAccumulation kuvaa maan pinnalle saapuvaa auringon lyhytaaltoista säteilyä, jonka arvo on yleensä positiivinen. RadiationNetSurfaceLWAccumulation kuvaa maan pinnasta ilmakehään ja avaruuteen säteilevää pitkäaaltoista lämpösäteilyä, jonka arvo on yleensä negatiivinen. Auringon nettosäteily lasketaan kaavalla 8. (Ilmatieteen laitos, n.d.e; Allen, Pereira, Raes, & Smith, Crop evapotranspiration. Guidelines for computing crop water requirements, 1998)

$$R_n = [(R_{SW, n} - R_{SW, n-1}) + (R_{LW, n} - R_{LW, n-1})] / (1 * 10^6) \quad (8)$$

missä

R_n = auringon nettosäteily maan pinnalle (MJ/m²/h)

$R_{SW, n}$ = kuluvan tunnin auringon lyhytaaltoisen säteilyn kertymä (J/m²)

$R_{SW, n-1}$ = edellisen tunnin auringon lyhytaaltoisen säteilyn kertymä (J/m²)

$R_{LW, n}$ = kuluvan tunnin maanpinnan lyhytaaltoista säteilyä kertymä (J/m²)

$R_{LW, n-1}$ = edellisen tunnin maanpinnan lyhytaaltoista säteilyä kertymä (J/m^2)

$1 * 10^6$ = jakaja jolla yksikkö muunnetaan jouleista megajouleiksi

Sulanapitojärjestelmän lämpöenergian tuotto tunnissa voidaan laskea kaavalla 9 (Hautala & Peltonen, 2005, s. 48).

$$E = P / A / 3600 \text{ s} / 1 * 10^6 \quad (9)$$

missä

E = sulanapitojärjestelmän lämpöenergian tuotto tunnissa (J/h)

P = sulanapitojärjestelmän lämmitysteho (W)

A = sulanapitojärjestelmän pinta-ala (m^2)

3600 s = yhden tunnin sekuntien määrä

$1 * 10^6$ = jakaja jolla yksikkö muunnetaan jouleista megajouleiksi

Maaperän lämpövirran tiheys kuvaa sitä osaa auringon nettosäteilystä ja lämmitystehosta, joka kuluu maaperän lämmittämiseen. Lämpövirran tiheys voidaan arvioida kaavalla 15.

Kylläisen höyrynpainekäyrän kulmakerroin tietyssä lämpötilassa voidaan laskea kaavalla 10 (Allen, Pereira, Raes & Smith, Crop evapotranspiration. Guidelines for computing crop water requirements, 1998).

$$\Delta = \frac{4098(0,6108e^{\frac{17,27T}{T+273,3}})}{(T+273,3)^2} \quad (10)$$

missä

Δ = kyläisen höyrynpainekäyrän kulmakerroin lämpötilassa T_{hr} ($kPa/^\circ C$)

T = ilman lämpötila ($^\circ C$)

Psykometrivakio voidaan laskea kaavalla 11 (Allen, Pereira, Raes & Smith, Crop evapotranspiration. Guidelines for computing crop water requirements, 1998).

$$\gamma = \frac{c_p P}{\epsilon \lambda} = 0,665 * 10^{-3} P \quad (11)$$

missä

γ = psykometrivakio ($kPa/^\circ C$)

P = ilmanpaine (kPa)

λ = höyrystymislämpö, $2,45 \text{ MJ/kg}$

c_p = lämpökapasiteetti vakiopaineessa, $1,013 * 10^{-3} \text{ MJ/kg}^\circ C$

ϵ = veden ja kuivan ilman molekyylipainojen suhde, $0,622$

Kylläisen vesihöyryn paine lasketaan kaavalla 12 (Allen, Pereira, Raes, & Smith, Crop evapotranspiration. Guidelines for computing crop water requirements, 1998).

$$e^0(T) = 0,6108e^{\frac{17,27T}{T+273,3}} \quad (12)$$

missä

$e^0(T)$ = kylläisen vesihöyryn paine ilman lämpötilassa T (kPa)

T = ilman lämpötila (°C)

Ilman vesihöyryn osapaine lasketaan kaavalla 13. (Allen, Pereira, Raes, & Smith, Crop evapotranspiration. Guidelines for computing crop water requirements, 1998).

$$e_a = e^0(T_{\text{kaste}}) = 0,6108e^{\frac{17,27T_{\text{kaste}}}{T_{\text{kaste}}+273,3}} \quad (13)$$

e_a = ilman keskimääräinen vesihöyryn osapaine tunnin aikana (kPa)

$e^0(T)$ = kylläisen vesihöyryn paine ilman lämpötilassa T (kPa)

T_{kaste} = kastepiste (°C)

Vesifilmikerroksen paksuus voidaan kokeellisesti määrittää imeyttämällä vesifilmi sopivalta alalta kankaaseen ja määrittämällä imeytyskankaan massan muutos. Massanmuutoksen perusteella vesifilmin keskimääräinen paksuus voidaan laskea kaavalla 14.

$$h_{vf} = \Delta m / (\rho_{\text{vesi}} * A_{\text{imeytys}}) \quad (14)$$

missä

h_{vf} = vesifilmin keskimääräinen paksuus (m)

Δm = imeytysmateriaalin massan muutos (kg)

ρ_{vesi} = veden tiheys, 1000 kg/m³

A_{imeytys} = ala jolta vesifilmi imeytettiin (m²)

4.2 Lämpöhäviöt ympäristöön

Vain osa lämmitystehosta saadaan hyödynnettyä lumen sulattamiseen ja alueen sulana pitämiseen. Hyötyteho saadaan vähentämällä kokonaistehosta lämpöhäviöihin kuluva häviöteho. Lämpöhäviöitä tapahtuu sulana pidettävän alueen alapuoliseen ja viereisiin rakenteisiin johtumalla sekä ilmaan konvektiolla ja säteilemällä. (Ventä, 2014, s. 11)

Laskentakaavoissa käytetään lämmitysjärjestelmien suunnittelussa yleisesti käytettyä vakaan yksiulotteisen lämmönjohtumisen mallia, jossa lämmönjohtumista yksinkertaistetaan olettaen lämpötilat muuttumattomiksi ja lämpövirrat yksiulotteisiksi. (Ventä, 2014, s. 11)

4.2.1 Lämpöhäviö alapuolisiin rakenteisiin

Häviötehon suuruus alapuolisiin rakenteisiin vaihtelee 2 ... 50 % välillä, olen noin 2-5 % kokonaistehosta silloin kun alapuolinen rakenne on eristävä. Häviöteho riippuu rakenteiden lämpötilaerosta sekä lämmönjohtavuudesta. Häviöteho alapuolisiin rakenteisiin voidaan laskea kaavalla 15. (Ventä, 2014, s. 11)

$$q_{\text{maa}} = \frac{T_{\text{lämmityskerros}} - T_{\text{maa,kuukausi}}}{\sum_{i=1}^n \frac{s_r}{\lambda_r}} \quad (15)$$

missä

q_{maa} = häviöteho alapuolisiin rakenteisiin (W/m^2)

$T_{\text{lämmityskerros}}$ = lämmitysrakennekerroksen keskilämpötila ($^{\circ}\text{C}$)

$T_{\text{maa, kuukausi}}$ = maan kuukautinen keskilämpötila ($^{\circ}\text{C}$)

s_r = rakennekerroksen paksuus (m)

λ_r = rakennekerroksen lämmönjohtavuus ($\text{W}/^{\circ}\text{Cm}$)

Maan kuukautinen keskilämpötila saadaan Suomen rakentamismääräyskokoelman osan "Energiatehokkuus, Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskenta" kaavoista 3.5 ja 3.6 (Ventä, 2014, s. 13)

Häviöteho sulana pidettävän alueen alapuolisiin rakenteisiin voidaan käytännössä jättää huomiotta sääennusteeseen perustuvan sulanapitolämmityksen laskelmissa silloin kun alapuolinen rakenne on eristävä.

4.2.2 Lämpöhäviö ilmaan

Häviöteho ilmaan voidaan laskea, kun tunnetaan ilman ja pinnan lämpötila, alueen geometria, tuulen nopeus, pilvisuusaste sekä ilman suhteellinen kosteus. Häviöteho ilmaan voidaan laskea kaavalla 16. (Ventä, 2014, s. 14)

$$q_{\text{ymp}} = \alpha_k (T_{\text{vf}} - T_y) + \delta * \epsilon_p (T_{\text{vf}}^4 - T_{\text{ym}}^4) \quad (16)$$

missä

q_{ymp} = häviöteho pinnasta ilmaan (W/m^2)

α_k = konvektion lämmönsiirtokerroin ($\text{W}/\text{m}^2\text{K}$)

T_{vf} = lämpöä luovuttavan pinnan lämpötila (K)

T_y = ilman lämpötila (K)

δ = Stefan-Boltzmanin vakio ($\text{W}/\text{m}^2\text{K}^4$), $5,6705 \cdot 10^{-8} \text{ W}/\text{m}^2\text{K}$

ϵ_p = pinnan emissiokerroin

T_{ym} = ympäristön keskilämpötila (K)

Pinnan konvektion lämmönsiirtokerroin voidaan laskea kaavalla 17 (Ventä, 2014, s. 15).

$$\alpha_k = 0,037 \left(\frac{\lambda_i}{L}\right) * Re_L^{0,8} * Pr^{1/3} \quad (17)$$

missä

λ = ilman lämmönjohtavuus (W/mK), 0,0243 W/mK

L = pinnan karakteristinen mitta tuulen suunnassa (m)

Re_L = Reynoldsin luku pinnassa

Pr = Prantlin luku, 0,7

Reynoldsin luku pinnassa voidaan laskea kaavalla 18 (Ventä, 2014, s. 15).

$$Re_L = \frac{v_t * L}{\nu_{ilma}} \quad (18)$$

missä

Re_L = Reynoldsin luku pinnassa

v_t = tuulen nopeus lähellä pintaa (m/s), $0,133 * 10^{-4}$ Ns/m²

ν_{ilma} = ilman kinemaattinen viskositeetti (Ns/m²)

L = pinnan karakteristinen mitta tuulen suunnassa (m)

Ympäristön keskilämpötila voidaan laskea kaavalla 19 (Ventä, 2014, s. 15).

$$T_{ymp} = (T_p^4 * F_{pa} + T_k^4 (1 - F_{pa}))^{1/4} \quad (19)$$

missä

T_{ym} = ympäristön keskilämpötila (K)

T_p = pilvisen ilman lämpötila (K)

F_{pa} = pilvisuusaste desimaalilukuna 0 ... 1 (1 tarkoittaa täysin pilvistä)

T_k = kirkkaan ilman lämpötila (K)

Kirkkaan pilvettömän ilman lämpötila voidaan laskea kaavalla 20 (Ventä, 2014, s. 16).

$$T_k = T_y - (1,1058 * 10^3 - 7,562 * T_y + 1,333 * 10^{-2} * T_y^2 - 31,292 * RH + 14,58 * RH^2) \quad (20)$$

missä

T_{ym} = ympäristön keskilämpötila (K)

T_y = ilman lämpötila (K)

RH = ilman suhteellinen kosteus desimaalilukuna 0 ... 1

Pilvisen ilman lämpötila voidaan laskea kaavalla 21 (Ventä, 2014, s. 16).

$$T_p = T_y - 19,4 \quad (21)$$

missä

T_p = pilvisen ilman lämpötila (K)

T_y = ilman lämpötila (K)

4.3 Muu tarvittava laskenta

4.3.1 Kitkakerroin

Kitkakerroin on kappaleeseen kohdistuvan, pintaa vasten kohtisuoran normaalivoiman ja liikettä vastustavan kitkavoiman suhde. Lepokitka on levossa olevan kappaleen liikkeelleläähtöä vastustava kitkavoima. Liikekitka on liikkeessä olevan kappaleen liikettä vastustava kitkavoima. Kitkakerroin voidaan laskea kaavalla 22. (Hautala & Peltonen, 2005, s. 33)

$$\mu = F/N \quad (22)$$

missä

μ = kitkakerroin

F = voima joka tarvitaan kappaleen liikkeelle saamiseen (N)

N = normaalivoima, usein painovoiman suuruinen (N)

4.3.2 Keskiarvon keskivirhe

Toistokokeessa sama mittaus toistetaan useita kertoja ja tulos saadaan mittausten keskiarvona. Keskiarvona saadun tuloksen tarkkuus on sitä parempi mitä useampi mittaus suoritetaan. Keskiarvon epätarkkuutta voidaan arvioida laskemalla keskiarvon keskivirheen, joka kertoo alueen jolle toisen vastaavan toistokokeen keskiarvo 68 % todennäköisyydellä sijoittuu silloin kun toistokokeen tulokset noudattavat normaalijakaumaa. Keskiarvon keskivirhe voidaan laskea kaavalla 23. (Aalto-yliopisto, n.d., s. 5)

$$\Delta \bar{x} = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{N(N-1)}} \quad (23)$$

missä

$\Delta \bar{x}$ = keskiarvon keskivirhe

\bar{x} = otoskeskiarvo

x_i = yksittäinen mittaustulos

N = mittausten lukumäärä

4.3.3 Yksittäisen havainnon keskivirhe

Yksittäisten mittaustulosten keskivirheellä, eli otoskeskihajonnalla voidaan arvioida tuloksen epätarkkuutta silloin kun tuloksena käytetään yksittäisestä mittauksesta saatua tulosta. Yksittäisten mittausten mittauserävarmuuden voidaan arvioida tekemällä toistokoe, jonka tuloksista lasketaan otoskeskihajonta. Otoskeskihajontaa voidaan käyttää epätarkkuuden arviointiin silloin kun tulosten arvioidaan noudattavan normaalijakaumaa, jolloin otoskeskihajonta kuvaa sitä poikkeamaa tulosten keskiarvosta johon 68 % mittaustuloksista mahtuu. Otoskeskihajonta voidaan laskea kaavalla 24. (Aalto-yliopisto, n.d., s. 5)

$$s = \sqrt{\frac{\sum(x_i - \bar{x})^2}{N-1}} \quad (24)$$

missä
 s = otoskeskihajonta
 \bar{x} = otoskeskiarvo
 x_i = yksittäinen mittaustulos
 N = mittausten lukumäärä

4.3.4 Lasketun suureen virhetermien lisääminen neliöllisesti

Lasketun suureen epätarkkuuden arvioinnissa tulee tuntea kaikkien laskelmassa käytettyjen mitattujen parametrien virherajat Δx_i . Parametrien virherajojen ja suureen yhtälön kokonaisdifferentiaalin avulla voidaan muodostaa yhtälön virhetermit. Todennäköisin arvo laskennallisen suureen epätarkkuudelle saadaan summaamalla virhetermit neliöllisesti. Virhetermien neliöllinen summaaminen voidaan tehdä kaavalla 25. (Aalto-yliopisto, n.d., s. 12)

$$\Delta F = \sqrt{\left(\frac{\partial F}{\partial x_1} \Delta x_1\right)^2 + \left(\frac{\partial F}{\partial x_2} \Delta x_2\right)^2 + \dots} \quad (25)$$

missä
 ΔF = lasketun suureen virheraja
 F = lasketun suureen yhtälö
 x_i = mitattu parametri
 Δx_i = mitatun parametrin virheraja

4.3.5 B-parametriyhtälö

Termistorin resistanssin arvon voidaan muuttaa lämpötilan arvoksi kaavalla 26, eli B-parametriyhtälöllä (BetaTHERM Sensors, n.d., s. 9).

$$\frac{1}{T} = \frac{1}{T_0} + \frac{1}{B} \ln \frac{R}{R_0} \quad (26)$$

missä
 T = lämpötila (K)
 T_0 = NTC-termistorin referenssilämpötila (K)
 B = B-parametri
 R = mitattu resistanssi (Ω)
 R_0 = NTC-termistorin resistanssi referenssilämpötilassa (Ω)

5 SÄÄENNUSTEESEEN PERUSTUVA OHJAUS

Sääennusteeseen perustuvan ohjauksen tavoitteena on säästää sulana pidettävän alueen lämmittämiseen kuluva energiaa verrattuna muihin ohjaustapoihin. Edellytyksenä energian säästölle on se, että sulana pidettävää aluetta ei tarvitse pitää sulatuslämpötilassa silloin kun sääennusten perusteella lumen kertymisen tai liukkautta aiheuttavan jäätyksen vaaraa ei ole.

Energiasäästön saavuttamiseksi joudutaan hyväksymään se, että sulanapidettävän alueen kylmään pintaan voi syntyä ajoittain huurretta. Muuten huurteen syntymisen estäminen johtaisi todennäköisesti ajoittaiseen pumppaavaan lämmitykseen, jolloin energiansäästöä ei todennäköisesti syntyisi. Toisena vaihtoehtona on pitää sulanapidettävä alue kastepistelämpötilaa lämpimämpänä. Kastepistelämpötila on usein veden jäätymispistettä matalampi, jolloin energiaa ei kulu yhtä paljon kuin pidettäessä aluetta veden jäätymispistettä lämpimämpänä. Oletuksena on, että huurre ei vaikuta merkittävästi pinnan liukkauteen. Huurteen aiheuttamaan liukkauteen voidaan vaikuttaa pintamateriaalin valinnalla.

Samoin joudutaan hyväksymään se, että tuiskuava ja muualta kulkeutuva lumi ei näy sääennusteessa ja jää näin ollen sulattamatta. Energian säästön hintana on sulanapidon toimintavarmuuden laskeminen.

Sulana pidettävä alue on lämmitettävä ja pidettävä sulatuslämpötilassa silloin kun

- sataa lunta tai räntää
- lumisateista kertynyt lumi ei ole vielä sulanut
- sataa vettä ja ilman lämpötila on laskemassa jäätymispisteen alapuolelle
- sataa vettä ja pinnan lämpötila on jäätymispisteen alapuolella

5.1 Sulana pidettävän alueen lämmitys sulatuslämpötilaan

Lumen sulatuksen ja jäätyksen estämisen edellytyksenä on se, että sulana pidettävän alueen pintalämpötila on veden jäätymispisteen yläpuolella. Lämmitys voidaan aloittaa oikeaan aikaan silloin kun alueen lämpenemisaika sulatuslämpötilaan voidaan määrittää ohjausjärjestelmässä kullakin hetkellä.

Lämpenemisaika voidaan laskea kaavalla 2 kun tunnetaan

- sulana pidettävän alueen lämpötila
- lämmitysteho (W/m^2)
- auringon säteilyn lämmittävä nettoteho (W/m^2)
- lämpöhäviöt ympäristöön (W/m^2)

- sulana pidettävän alueen rakennekerrosten paksuus, ominaislämpökapasiteetti ja tiheys

Lämpöhäviöt ympäristöön voidaan laskea kaavoilla 15 ja 16 kun tunnetaan

- rakennekerrosten paksuus ja lämmönjohtavuus
- sulana pidettävän alueen alapuolisen maan kuukautinen (tilastollinen) keskilämpötila
- sulana pidettävän alueen pinnan lämpötila
- ilman lämpötila
- tuulen nopeus
- pilvisyysaste
- ilman suhteellinen kosteus

Sulana pidettävän alueen lämpötila mitataan lämpöanturilla. Ilman lämpötila, tuulen nopeus, pilvisyysaste, ilman suhteellinen kosteus ja auringon säteilyn lämmittävä nettoteho saadaan sääennusteesta. Muut tarvittavat tiedot asetetaan ohjausjärjestelmään asennuksen yhteydessä.

Tarvittaessa lämpenemisajan laskelmaa voidaan yksinkertaistaa ja lähtötietojen tarvetta vähentää

- käyttämällä ennalta määrättyä keskimääräistä vakioarvoa lämpöhäviönä ympäristöön
- jättämällä auringon säteilyn lämmittävä nettoteho huomioimatta

Lämpenemisajan laskemisen lisäksi ohjausjärjestelmä voi myös mitata todellista lämpenemisaikaa, verrata sitä laskettuihin arvoihin sekä sääennusteesta saatavaan tietoon ja määrittää laskelmiin tarvittavat korjauskertoimet. Tällöin järjestelmä oppii ympäristöstään, laskelmat tarkentuvat ja ennalta asetettavien lähtötietojen tarve vähenee.

5.2 Lumen sulattaminen

Sulana pidettävän alueen lämmityksen oikea-aikaisen poiskytkennän edellytyksenä on se, että sataneen lumen lämpenemisaika sulamislämpötilaan sekä sulamiseen kuuluva aika voidaan määrittää kullakin hetkellä. Edellä mainitut ajat voidaan laskea kaavoilla 1 ja 3 käyttämällä sääennusteesta saatavaa tietoa lumisateessa kertyvän lumen määrästä. Sademäärä ilmoitetaan Ilmatieteen laitoksen ennusteessa massana pinta-alaa kohden (kg/m^2). Edellä mainittua aikaa voidaan laskea kumulatiivisesti niin, että kertyneen lumen sulatusajasta vähennetään laskennallisesti jo sulaneen lumen sulatusaika ja siihen lisätään mahdollisesti uuden sataneen lumen sulatusaika, kunnes kertynyt lumi on laskelman perusteella sulanut ja lumisade on loppunut.

5.3 Vesifilmikerroksen haihduttaminen

Lumesta sulanut tai satanut vesi johdetaan pois sulana pidettävältä alueelta pinnan kaltevuuksien avulla, jonka jälkeen pinnalle jää ohut vesifilmikerros. Sulana pidettävän alueen lämmityksen oikea-aikaisen poiskytkennän edellytyksenä on se, että vesifilmikerroksen haihtumiseen kuluva aika voidaan määrittää kullakin hetkellä. Vesifilmikerroksen haihtumisen kuluvan ajan laskeminen aloitetaan siitä hetkestä, kun kertynyt lumi on laskennallisesti sulanut tai vesisade on loppunut.

Vesifilmikerroksen haihtumisaika voidaan arvioida kaavalla 6 kun tunnetaan

- vesifilmikerroksen paksuus
- lämmitysteho (W/m^2)
- lämpöhäviöt ympäristöön (W/m^2)
- auringon säteilyn lämmittävä nettoteho (W/m^2)
- tuulen nopeus
- ilman lämpötila
- suhteellinen ilmankosteus tai kastepiste
- ilmanpaine

Ilman lämpötila, tuulen nopeus, pilvisyysaste, ilman suhteellinen kosteus, ilmanpaine, suhteellinen ilmankosteus, kastepiste ja auringon säteilyn lämmittävä nettoteho saadaan sääennusteesta. Lämpöhäviöiden laskemiseen liittyvät huomautukset kohdassa 5.1 pätevät myös vesifilmin haihtumisaajan laskentaan. Muut tarvittavat tiedot asetetaan ohjausjärjestelmään asennuksen yhteydessä.

Hankalin arvioitava arvo on vesifilmikerroksen paksuus. Siihen vaikuttavat pinnan kallistukset ja pintamateriaali. Kertyneen vesifilmikerroksen paksuuden oletetaan pysyvän melko vakiona, joten se voidaan määrittää kokeellisesti imeyttämällä vesifilmi sopivalta alalta kankaaseen, määrittämällä imeytyskankaan massan muutos ja laskemalla vesifilmikerroksen paksuus kaavalla 14.

Tarvittaessa vesifilmin haihtumisaajan laskelmaa voidaan yksinkertaistaa ja lähtötietojen tarvetta vähentää

- määrittämällä etukäteen keskimääräiset vesifilmin paksuuden arvot eri pinta-materiaaleille ja jättämällä kallistusten vaikutus huomioidamatta
- käyttämällä vesifilmin haihtumisaajan laskennan sijaan keskimääräistä vakioarvoa

5.4 Ohjausjärjestelmä

Sääennusteeseen perustuvan sulanapitolämmityksen ohjausjärjestelmän tulee pystyä lataamaan sääennustetieto, laskemaan sen perusteella tarvittavat ohjausarvot, mittaamaan lämpötilaa lämpöanturilla sekä ohjaamaan lämmitystä.

Sääennuste ladataan Ilmatieteen laitoksen, tai muun vastaavan ennustepalvelun tuottajan palvelimelta internet-yhteydellä. Sääennuste voidaan ladata suoraan ohjauslaitteeseen, jolloin myös sääennusteeseen perustuvat ohjausarvot lasketaan ohjauslaitteessa sääennusteen, ajan ja mitattujen arvojen perusteella. Edellä kuvatussa, keskitetyssä mallissa ohjauslaitteessa tarvitaan riittävä muisti sääennusteen ja ohjausarvojen tallentamiseen, internet-yhteys, tuki sääennustepalvelun palvelurajapinnan ja GML-muotoisten vastausten käsittelyyn soveltuvalle ohjelmointikielelle, reaaliaikainen kello, kyky analogisten arvojen (lämpötilan) mittaukseen sekä lämmityksen releen ohjaukseen.

Vaihtoehtoisesti sääennuste voidaan ladata sääennustepalvelusta internet-yhteydellä ohjauspalvelimeen, joka on varsinaisesta ohjauslaitteesta erillinen laite. Ohjauspalvelin voi olla paikallinen ja yhteydessä ohjauslaitteeseen esimerkiksi sarjaliikenneväylän kautta. Ohjauspalvelin voi sijaita myös kauempana ja olla yhteydessä ohjauslaitteeseen internet-yhteydellä. Ohjauspalvelin voi laskea ohjausarvoja usealle eri ohjauslaitteelle. Ohjauspalvelin pyytää kultakin ohjauslaitteelta sen mittaamat arvot ja lämmityksen tilan. Mitattuna arvona tarvitaan vähintään sulana pidettävän alueen lämpötila. Ohjauspalvelin laskee ja lähettää ohjausarvot ohjauslaitteelle sen mittaamien arvojen, sääennusteen, ajan ja ohjauslaittekohtaisten asetusten perusteella.

Häiriötilanteessa ohjauspalvelimen ja ohjauslaitteen välisen yhteyden katketessa ohjauslaite voi siirtyä ennalta määrätyn ajan kuluttua ohjaamaan lämmitystä termostaatin tapaan mitatun lämpötilan perusteella. Yhteyden palattua ohjauslaite siirtyy takaisin sääennusteperusteiseen ohjaukseen.

Ilmatieteen laitoksen sääennustepalvelusta voidaan ladata ennuste koko säämallin ajalta neljä kertaa vuorokaudessa. Tällöin ohjauspalvelimen ja sääennustepalvelun välinen yhteyshätkös ei aiheuta heti ongelmia vaan ohjaus jatkuu aiemmin ladatun ennusteen perusteella.

Edellä kuvatussa hajautetussa mallissa varsinainen ohjauslaite voi olla mikro-ohjain jossa on analogiatuloja, digitaalilähtöjä sekä sarjaliikenne-, Ethernet- tai vastaava tiedonsiirtoyhteys. Yksinkertaisimmillaan ohjauslaitteen releellä ohjataan sähköisen sulanapitolämmityksen lämmityspiiriä päälle-pois periaatteella ohjausarvojen mukaisesti. Ohjauspalvelin voi olla kyseiseen käyttötarkoitukseen tehty sulautettu järjestelmä, yhden piirilevyn yleiskäyttöinen tietokone tai tavanomainen tietokone. Ohjauspalvelin

voi olla myös jonkin palveluntarjoajan ylläpitämä fyysinen tai virtualisoitu palvelin, jos ohjauslaitteessa on internet-yhteys.

5.5 Ohjauslogiikka

Sääennusteeseen perustuva ohjauslogiikka voidaan toteuttaa niin, että se kytkee lämmityksen päälle silloin kun maan lämpötila on asetuslämpötilan (sulatuslämpötilan) alapuolella ja sääennusteen perusteella jokin alla olevista ehdoista täyttyy.

- laskennallinen lämpenemisaika sulatuslämpötilaan on pienempi tai yhtä suuri kuin aika seuraavaan lumisateeseen
- laskennallinen lämpenemisaika sulatuslämpötilaan on pienempi tai yhtä suuri kuin aika seuraavaan vesisateeseen, jos on pakkasta ennen veden laskennallista haihtumista
- laskennallinen lämpenemisaika kastepistettä korkeampaan lämpötilaan on pienempi tai yhtä suuri kuin aika siihen, että maan lämpötila saavuttaa ilman kastepisteen ja on pakkasta ennen kasteen laskennallista haihtumista
- sataneen lumen sulatus on laskelman perusteella kesken
- vesifilmin haihdutus on laskelman perusteella kesken ja on pakkasta ennen vesifilmin haihtumista

Sääennusteen ajalle lasketaan mitattujen lämpötilojen sekä sääennusteen perusteella lumen sulatusajan kumulatiivinen kertymä kullekin ennusteen ajanhetkelle. Sulatusajan kertymään lisätään kullakin hetkellä sataneen lumen laskennallinen sulatusaika. Samalla kertymästä vähennetään aika, jonka sulanapidettävä alue on ollut sulatuslämpötilassa, eli se aika jolloin lunta on sulanut. Lumi on laskelman perusteella sulanut, kun lunta ei enää sada ja lumen sulatusajan kertymä on nolla. Tällöin alkaa vesifilmin haihdutus. Vesifilmin haihtumisaika lasketaan samalla periaatteella kuin lumen sulatusaika.

Käyttäjä voi säätää ohjauksen toimintaa asettamalla haluttu sulatuslämpötila ja korjauskerroin. Sulatuslämpötilan asettamisella määritetään se maan alueen lämpötila-arvo, jolla lumen sulatus katsotaan alkavan. Tällä asetuksella voidaan kompensoida maalämpötila-anturin asennussyvyydestä aiheutuvaa eroa mitatun lämpötilan ja todellisen pintalämpötilan välillä. Korjauskertoimen avulla voidaan laskettuja lämmitys- ja sulatusaikoja pidentää tai lyhentää. Laskelmista saadut arvot kerrotaan korjauskertomella. Tällä asetuksella voidaan korjata laskettujen ja todellisten lämpötilojen eroja. Kummallakin asetuksella voidaan parantaa sulanapidon toimintavarmuutta energiankulutuksen lisääntymisen kustannuksella.

6 KENTTÄMITTAUKSET

Sääennusteeseen perustuvan ohjausjärjestelmän toimintavarmuus ja energiatehokkuus testattiin kenttäkokeessa. Kenttäkoetta varten rakennettiin luvussa 5 kuvattu ohjausjärjestelmä. Kenttäkoe toteutettiin vuoden 2020 helmi- ja maaliskuussa. Kenttäkokeen suurimmaksi haasteeksi muodostui talven 2019–2020 lumettomuus Etelä-Suomessa. Lopulta lumisaiteita tuli helmikuun loppupuolella, niin että kenttäkoe voitiin toteuttaa. Koe jäi kuitenkin suunniteltua lyhemmäksi.

6.1 Kenttäkokeen järjestelyt ja toteutus

Kenttäkoe toteutettiin Hämeenlinnassa omakotitalon tontilla. Koetta varten rakennettiin kaksi rinnakkaista sulanapitojärjestelmää. Sulanapitojärjestelmät olivat toiminnassa ja mittaukset toteutettiin 16.2.–6.3.2020.

Sulanapitojärjestelmien lämmityskaapelit eristettiin alapuolisesta, tiiviistä murskekerroksesta, toisistaan ja osittain ympäröivästä sepelikerroksesta Finnfoam FI-300/30 XPS lämpöeristelevyllä. Lämmityskaapelit asennettiin noin 40 mm hiekkakerrokseen routaeristelevyn päälle. Pintakerrokseksi hiekan päälle asennettiin 55 mm paksuja 300 x 300 mm betonilaattoja. Sulanapidettävän alueen lämmityskaapelien asennuskerroksen rakenne on esitetty kuvassa 6. Valmiit järjestelmät toiminnassa on esitetty kuvassa 7. Kummankin sulanapidettävän laatoitetun alueen pinta-ala oli 1,54 m².

Lämmityskaapelina käytettiin Enston valmistamaa Tash-vakiovastuskaapelia, jonka ominaisresistanssi on 10 Ω/m. Lämmityskaapelien teho mitoitettiin valmistajan ohjeiden mukaisesti. Kumpaankin sulanapitojärjestelmään asennettiin noin 15 metriä lämmityskaapelia. Kummankin järjestelmän tehoksi tuli vaihejännitteellä noin 360 W ja kaapelin metrikohtaiseksi kuormitukseksi tuli noin 24 W/m. Teho pinta-alaa kohden oli noin 230 W/m².



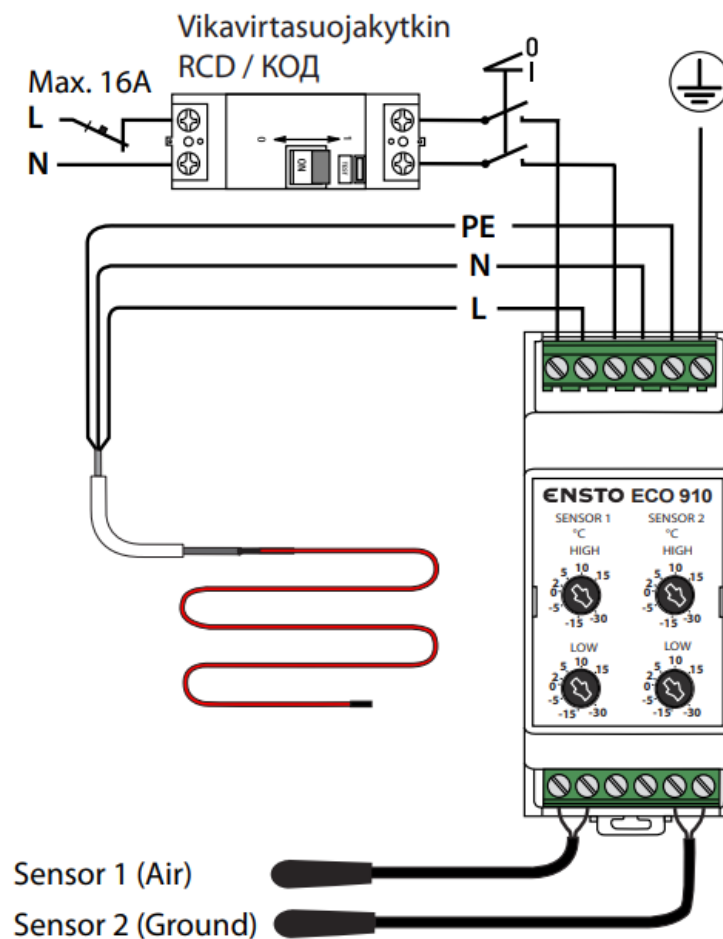
Kuva 6. Lämmityskaapeliin asennuskerroksen rakenne



Kuva 7. Sulanapitojärjestelmät toiminnassa

Ensimmäistä sulanapitojärjestelmää ohjattiin tarkoitusta varten rakennetulla, säännusteohjatulla ohjauslaitteella. Ohjauslaitteen rakenne ja toiminta on kuvattu luvussa 6.2. Toista sulanapitojärjestelmää ohjattiin Enston ECO910 sulanapitotermostaatilla, johon kuului kaksi NTC, 47 k Ω /25 °C -tyyppistä lämpöanturia. Lämpöantureilla mitattiin maan ja ilman lämpötiloja. ECO910 sulanapitotermostaatilla toteutetun sulanapitojärjestelmän periaatekuva on esitetty kuvassa 9. Lämpötilojen asetusarvot aseteltiin valmistajan suosituksen mukaisesti

- Sensor 1 (ilma-anturi) yläraja: +5 °C
- Sensor 1 (ilma-anturi) alaraja: -30 °C
- Sensor 2 (maa-anturi) yläraja: +2 °C
- Sensor 2 (maa-anturi) alaraja: -15 °C



Kuva 8. ECO910 sulanapitotermostaatilla toteutetun sulanapitojärjestelmän periaatekuva (Ensto Finland Oy, 2017, s. 2)

ECO910 sulanapitotermostaatin tarvitsemien kahden lämpöanturin lisäksi asennettiin kolme samanlaista NTC, 47 k Ω /25 °C -tyyppistä lämpöanturia, joiden mitaama lämpötila tallennettiin kymmenen minuutin välein. Lämpöanturien asennuspaikat on kuvattu taulukossa 2.

Taulukko 2. Lämpöanturien asennuspaikat ja käyttötarkoitukset

Anturin numero	Asennuspaikka	Käyttötarkoitus	Lämpötilan tallennus
1	sääennusteohjatun sulanapitojärjestelmän lämpökaapelin asennuskerrokseen kaapelilenkin väliin	maan lämpötilan mitaus, sääennusteohjatun sulanapitojärjestelmän ohjaus, lämpötilan tallennus	10 minuutin välein
2	metrin korkeuteen, suojaan suoralta auringon valolta, tuulettuvaan rasiaan, irti pinnoista	ilman lämpötilan mitaus, sääennusteohjatun sulanapitojärjestelmän ohjaus, lämpötilan tallennus	10 minuutin välein
3	ECO910 sulanapitotermostaatin ohjaaman sulanapitojärjestelmän lämpökaapelin asennuskerrokseen kaapelilenkin väliin	maan lämpötilan mitaus, lämpötilan tallennus	10 minuutin välein
4	metrin korkeuteen, suojaan suoralta auringon valolta, tuulettuvaan rasiaan, irti pinnoista	ilman lämpötilan mitaus, ECO910 ohjatun sulanapitojärjestelmän ohjaus	ei tallennusta
5	ECO910 sulanapitotermostaatin ohjaaman sulanapitojärjestelmän lämpökaapelin asennuskerrokseen kaapelilenkin väliin	maan lämpötilan mitaus, lämpötilan tallennus	ei tallennusta

Lämpöanturien osalta on hyvä huomata, että ECO910 sulanapitotermostaatin lämpöanturien arvoja ei voitu tallentaa tai lukea samanaikaisesti muilla laitteilla. Tämän vuoksi anturit 2 ja 4 olivat samassa asennusrasiassa ja anturit 3 ja 5 olivat molemmat samassa lämmityskaapelin asennuskerroksessa. Antureiden 2 ja 4 sijoituspaikkaa siirrettiin 24.2. klo 10.00 paremmin suojaan suoralta auringonvalolta.

Kummankin sulanapitojärjestelmän energiankulutus mitattiin erikseen ABB:n C11 110–301 IEC energiamittarilla. Energiankulutus luettiin energiamittareiden pulssilähtöjen avulla ja kumulatiivinen energiankulutus tallennettiin kymmenen minuutin välein. Energiamittarin pulssilähtö antaa pulsin aina yhden wattitunnin energiankulutuksen jälkeen. Valmistaja ilmoittaa energiamittarin tarkkuudeksi $\pm 1\%$.

Sulanapitojärjestelmien toimintaa kuvattiin kiinteästi asennetulla IP-kameralla, joka otettiin käyttöön 20.2. klo 1.00. Kameran kuva tallennettiin 10 minuutin välein. Kuhunkin kuvaan tuotiin näkyviin sen hetkiset mittaus- ja ohjausarvot ja kuvista tehtiin video, josta järjestelmien toimintaa voi verrata vallitsevaan säätilaan.

6.2 Ohjausjärjestelmä

Sääennusteeseen perustuva ohjausjärjestelmä toteutettiin luvuissa 5.4 ja 5.5 kuvatulla tavalla. Ohjausjärjestelmän toteutukseen käytettiin Arduino kehitysalustaa (Arduino Uno) ja Raspberry Pi yhden piirilevyn tietokonetta (Raspberry Pi 3 model B). Arduino toimi varsinaisena ohjauslaitteena ja Raspberry Pi toimi paikallisena ohjauspalvelimena. Samoja laitteita käytettiin myös mittaamaan ja tallentamaan kenttäkokeessa mitatut arvot.

Arduino soveltui ohjauslaitteeksi koska siinä on analogia-digitaalimuunnin, riittävä määrä analogiatuloja sekä mahdollisuus ulkoisiin keskeytyksiin (external interrupts) digitaalitulojen kautta. Analogiatuloja käytettiin lämpötilamittauksiin kolmella NTC, 47 k Ω /25 °C -tyyppisellä anturilta. Digitaalitulojen ulkoisia keskeytyksiä käytettiin energiamittauksen arvojen lukemiseen energiamittarien pulssilähdöiltä. Digitaalisella lähdöllä ohjattiin relekorttia, joka puolestaan ohjasi sulanapitojärjestelmän lämmityskaapelia. Arduinossa ajettava ohjelma tehtiin C-ohjelmointikieleen perustuvalla Arduino-ohjelmointikielellä.

Arduinon ja Raspberry Pi:n välinen yhteys toteutettiin sarjaliikenteenä USB-kaapelilla. Raspberry Pi:ssä oli internet-yhteys, jolla sääennuste ladattiin Ilmatieteen laitoksen palvelimelta neljä kertaa vuorokaudessa. Sääennuste oli tunnin aikaportain. Raspberry Pi pyysi Arduinolta mittausarvot kymmenen minuutin välein, tallensi ne tietokantaan ja lähetti niiden sekä sääennusteen perusteella lasketun ohjausarvon Arduinolle. Lisäksi Raspberry Pi latasi ja tallensi IP-kameralta kuvan sulanapidettävistä alueista kymmenen minuutin välein. Raspberry Pi:ssä ajettavat ohjelmat tehtiin Python-ohjelmointikielellä.

Ohjausjärjestelmään toteutettiin lisäksi MQTT-protokollan (MQ Telemetry Transport) avulla etäyhteys älypuhelimeen. MQTT-protokollalla toteutettiin mittausarvojen ja ohjauksen etäseuranta, asetusten säätö sekä manuaalinen ohjaus älypuhelimien kautta. Raspberry Pi lähetti mittausarvot ja ohjauksen tilan ulkopuoliselle MQTT-palvelimelle (MQTT-broker) ja vastaanotti palvelimelta mahdolliset muuttuneet asetukset ja manuaalisen ohjauksen arvot. Älypuhelimeen ladattiin MQTT-asiakasohjelma, joka näytti MQTT-palvelimelle lähetetyt arvot sekä mahdollisesti kommentojen lähettämisen. Myös IP-kameran kuvaa pystyttiin katselemaan älypuhelimelta. Järjestelmän toimintaa pystyttiin seuraamaan ja tarvittaessa ohjaamaan älypuhelimella sijainnista riippumatta. Manuaalista ohjausta ei käytetty eikä asetteluarvoja muutettu kenttäkokeen aikana.

Ohjausjärjestelmän laskentaa yksinkertaistettiin luvussa 5 kuvatulla tavalla. Lämmitysenergian häviönä ympäristöön käytettiin vakioarvoa 120 W/m². Vesifilmin sulatusajan vakioarvona käytettiin kahta tuntia. Ohjausarvojen laskennassa käytetyt ajat pyöristettiin tasatunteihin. Tunnin aika-portain ollutta sääennustetta käytettäessä todellinen kellonaika pyöristettiin lähimpään tasatuntiin. Edellä mainituilla yksinkertaistuksilla haluttiin vähentää ohjausjärjestelmän ohjelmakoodin monimutkaisuutta ja virheiden mahdollisuuksia. Talven 2019–2020 vähälumisuus ei olisi mahdollistanut ohjausjärjestelmän riittävää testaamista ohjelmointivirheiden löytämiseksi, jos yksinkertaistuksia ei olisi tehty. Kenttäkokeen onnistuminen olisi voinut vaarantua ohjelmointivirheen vuoksi. Yksinkertaistuksista huolimatta ohjausjärjestelmä toimi odotetulla tavalla.

Arduinossa ja Raspberry Pi:ssä ajettavien ohjelmien ohjelmointi ja testaaminen olivat työn määränä huomattavan suuri osa tätä työtä. Monimutkaisuutta ohjelmiin aiheutui ohjauslaitteiden toimimisesta tutkimuksessa mitattavien arvojen tallennuslaitteina, laitteiden välisestä sarjaliikenteestä sekä järjestelmän toiminnan varmistamisesta erilaisissa virhetilanteissa. Ohjausjärjestelmän lisäksi IP-kameran kuvien tallentaminen, mittausarvojen lisääminen kuvaan sekä videon koostaminen kuvista toteutettiin tarkoitusta varten tehdyillä ohjelmilla. Ohjelmien toiminnan ja ohjelmakoodien yksityiskohtainen tarkastelu rajattiin kuitenkin tämän työn ulkopuolelle, koska se olisi vienyt huomiota pois työn varsinaisesta aiheesta.

6.3 Mittaustulokset

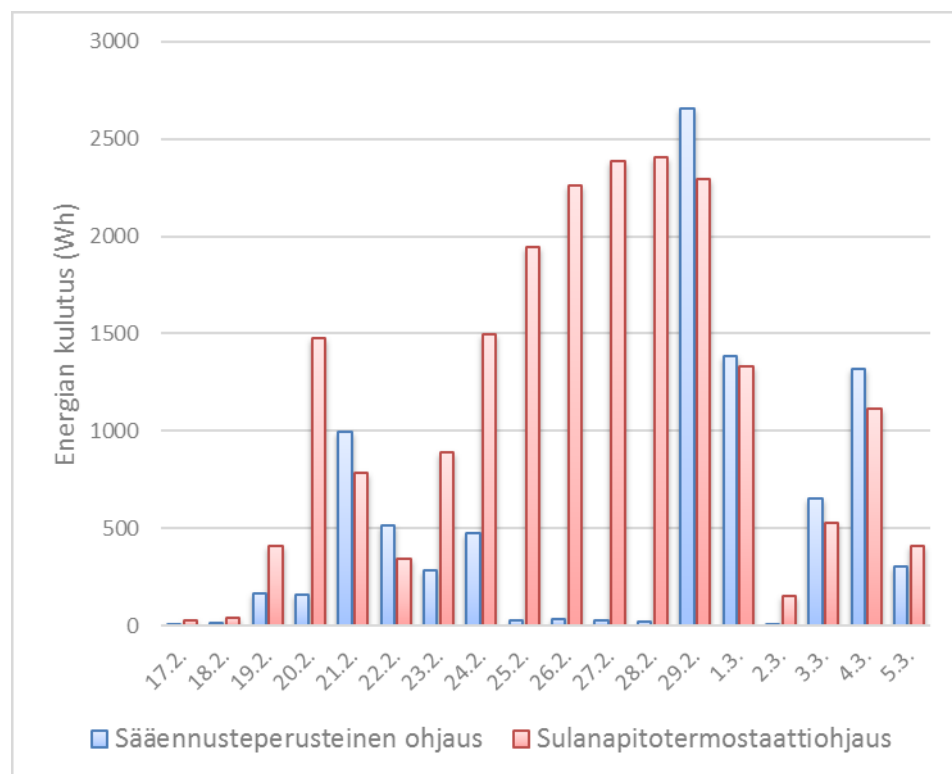
Mittaustuloksia tarkasteltiin kenttäkokeen täysiltä mittausvuorokausilta, jotka olivat 17.2.–5.3.2020. Ajanjaksolta tarkasteltiin sääennusteohjauksen tallennettuja ohjausarvoja, sääennusteita, kitkamittauksien tuloksia sekä kuvia vallinneista sääolosuhteista. Ohjausarvot ja kuvat olosuhteista oli käytössä kymmenen minuutin aika-portain. Sääennusteet olivat käytössä tunnin aika-portain. Kenttäkokeessa tallennetut mittaus- ja ohjausarvot sekä sääennusteet ovat tutkimuksen tekijän hallussa sähköisessä muodossa.

Lumi- tai räntäsadetta havaittiin 209:stä kameran ottamasta kuvasta, joista 25 kuvan ajalta lumi- tai räntäsade puuttui sääennusteesta. 10 minuutin jaksoissa tarkastellen 88 % havaituista lumi- tai räntäsateista oli samanaikaisesti myös sääennusteessa. Edellä mainituista 25 ennusteesta puuttuneesta lumi- tai räntäsadejaksosta 13 oli sellaisia, jotka erosivat ennusteesta olleesta lumi- tai räntäsateesta enintään tunnin. Tunnin jaksoissa tarkastellen 94 % havaituista lumi- tai räntäsateista oli myös sääennusteessa.

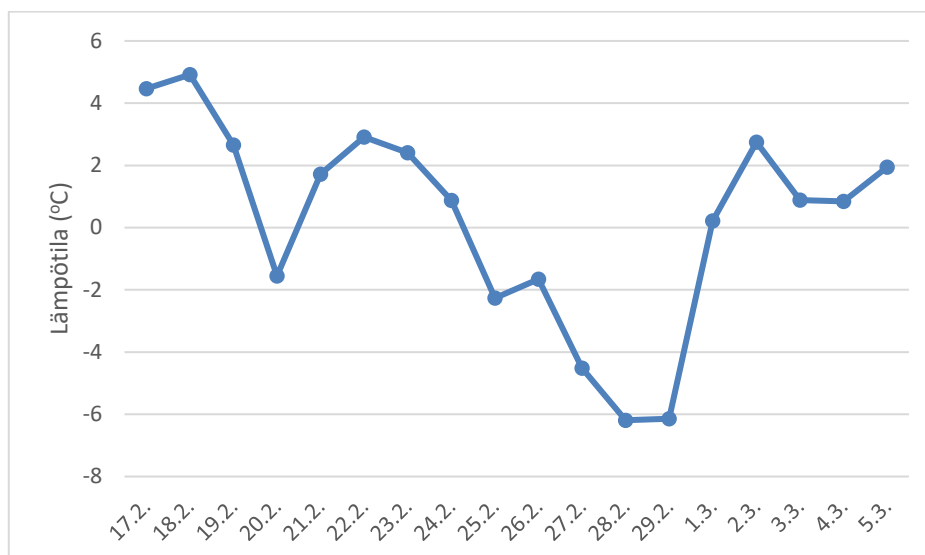
Sääennusteohjatun sulanapitojärjestelmän mitattu maalämpötila oli vain neljän kymmenen minuutin mittausjakson aikana samanaikaisesti sekä kastepisteen että veden jäätymispisteen alapuolella, joten kuuran tai

huurteen muodostumisella ei ollut merkittävää vaikutusta verrattuna lumi- ja räntäsateisiin tarkasteltuna ajanjaksona.

Täysien mittausvuorokausien aikana sääennusteperusteisesti ohjatun järjestelmän mitattu energiankulutus oli $9,03 \pm 0,09$ kWh. Sulanapitotermostaatilla ohjatun järjestelmän energiankulutus oli $20,3 \pm 0,2$ kWh, joten sääennusteperusteinen ohjaus kulutti 55,5 % vähemmän energiaa mittausvuorokausien aikana. Kuvassa 9 on kummankin järjestelmän vuorokausikohtainen energiankulutus. Kuvassa 10 on vuorokausien keskilämpötilat. Kuvista nähdään, että suurin ero energiankulutuksessa tapahtui 25.–28.2. ajoittuneena pakkasjaksona jolloin ei ollut lumisateita.



Kuva 9. Päivittäinen energiankulutus 17.2.–5.3.



Kuva 10. Päivittäinen ilman keskilämpötila 17.2.–5.3.

Seuraavien alalukujen case-tarkasteluissa tarkasteltiin tarkemmin 24 tunnin jaksoissa sääennusteohjatun sulanapitojärjestelmän toimintaa ja energian kulutusta. Case-tarkasteluihin valittiin sellaiset jaksot, jotka kuvasivat parhaiten järjestelmän toimintaa sulatustapahtumissa. Jokaisessa tarkastelussa esitetään lämpötilakuvaaja, järjestelmän ja sään tilakaavio sekä kumulatiivinen energiankulutus tarkastellun jakson ajalta. Case-tarkastelujen tilakaavioissa seurataan taulukossa 3 esitettyjen muuttujien tiloja ajan suhteen.

Taulukko 3. Case-tarkastelujen tilakaavioiden muuttujat ja niiden tilat.

Muuttuja	Ylempi tila	Alempi tila
Lumisade	Havainto lumi- tai räntäsateesta kameran kuvassa	Ei havaintoa lumi- tai räntäsateesta kameran kuvassa
Lumisade ennusteessa	Sääennusteessa on lumi- tai räntäsade	Sääennusteessa ei ole lumi- tai räntäsadetta
Sääennusteperusteisen ohjauksen tila	Sulanapitolämmityksen ohjausarvona: päällä	Sulanapitolämmitys ohjausarvona: pois päältä
Releen tila	Lämmityskaapelin virtapiiri on suljettu (lämmittää)	Lämmityskaapelin virtapiiri on auki (ei lämmitä)

6.3.1 Case-tarkastelu 1

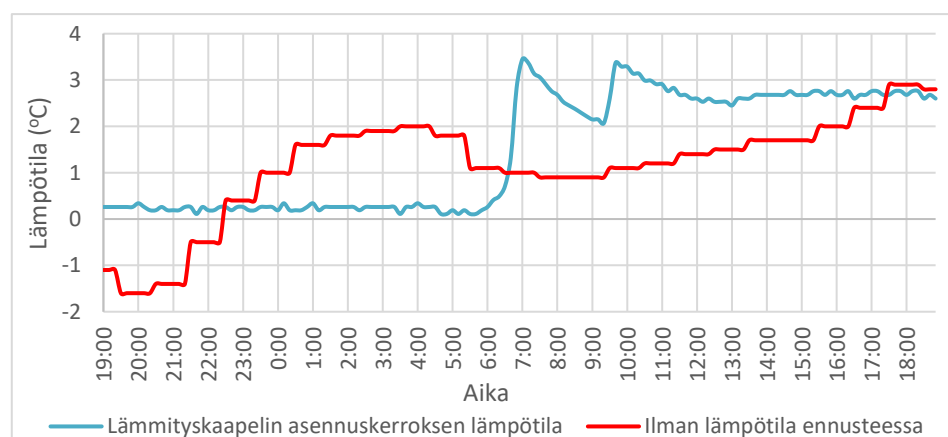
Ensimmäisessä case-tarkastelussa tarkasteltu ajanjakso oli 20.2. klo 19.00 – 21.2. klo 19.00. Sääennusteessa ilta ja yö olivat pilvisiä, aamuyöstä oli heikkoa vesisadetta ja aamulla sekä seuraavana päivänä heikkoa räntä- ja vesisadetta. Kuvassa 12 esitetyistä tilakaaviosta nähdään, että 21.40–23.30

oli lumikuuroja joita ei ollut sääennusteessa. Sulanapitotermostaattiohjatun sulanapitoalueen pinnalta lumi sulii heti pois. Sääennusteohjattu sulanapitoalue pysyi ohuen lumikerroksen peittämänä noin 3.40 asti, jolloin vesisade alkoi sulattaa sitä. Sääennusteohjatun järjestelmän lämmityksen käynnistyi 4.40, jolloin lumikerros sulii kokonaan. Lämmityksen käynnistyminen liittyi 5.50 alkaneeseen räntäsateeseen.

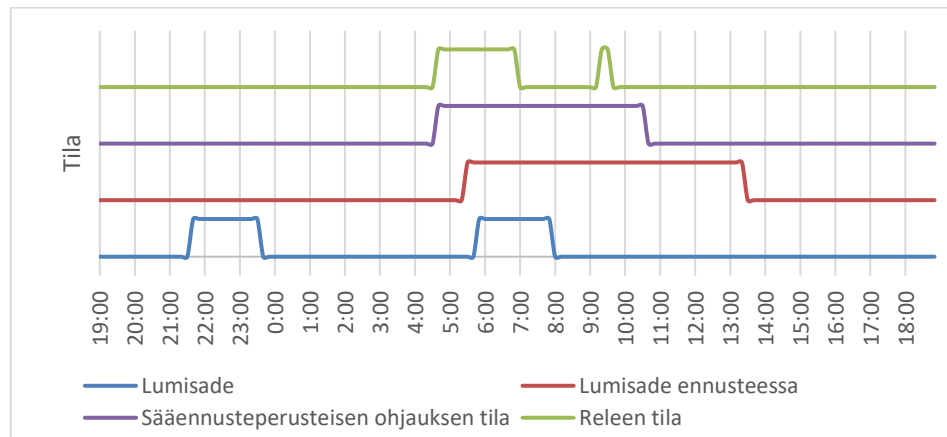
5.50–7.50 oli räntäsadetta, joka sulii heti kummankin sulanapitoalueen pinnalta muodostamatta lumikerrosta. Räntäsateen alku oli sääennusteessa oikeaan aikaan, mutta se jatkui ennusteessa yli viisi tuntia todellista sadetta pidempään. Kuvan 12 tilakaaviosta nähdään sääennusteperusteisen ohjauksen ohjanneen lämmityksen päälle 4.40–10.30. Edellä mainitun ajan jälkeen säätila ennusteessa oli heikkoa räntäsadetta, joka ei käynnistä sääennusteohjattua lämmitystä. Kuvan 12 tilakaaviossa ylimpänä näkyy se aika, jolloin sääennusteohjatun lämmityksen rele ohjasi lämmityksen päälle. Kuvan 11 lämpötiloista näkyy sääennusteohjatun sulanapitoalueen lämpötilan nousu vastaavina aikoina. Lämmitys kytketty pois päältä aina kun sulanapitoalueen mitattu lämpötila saavutti ohjausjärjestelmään asetetun ylärajan.

Kuvasta 13 nähdään kummankin sulanapitojärjestelmän kumulatiivinen energiankulutus tarkastelujaksolla. Sääennusteohjatun järjestelmän energiankulutus kasvoi jyrkästi lämmityksen käynnistyessä. Termostaattiohjatun järjestelmän energiankulutus oli tasaista koko jakson aikana. Tarkastellun jakson aikana sääennusteohjattu järjestelmä kulutti noin 7 % enemmän energiaa kuin termostaattiohjattu järjestelmä. Sääennusteohjatun järjestelmän kulutukseksi mitattiin $1,00 \pm 0,01$ kWh. Termostaattiohjatun järjestelmän kulutukseksi mitattiin $0,931 \pm 0,009$ kWh.

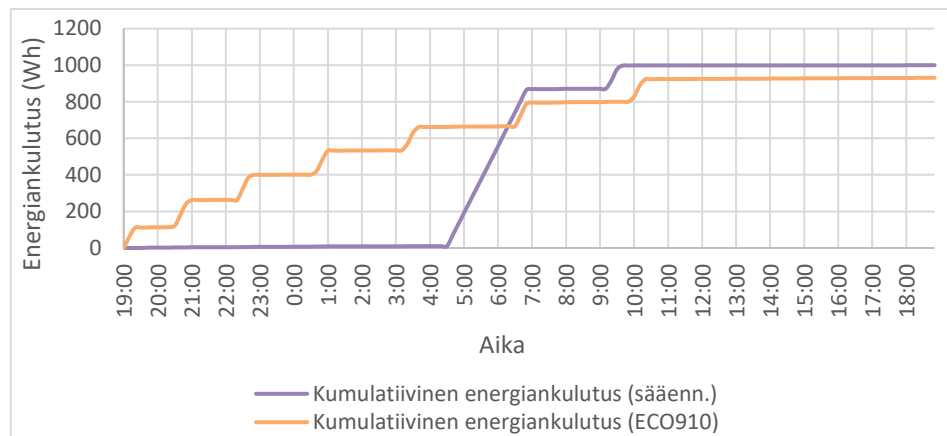
Case-tarkastelun video on nähtävillä osoitteessa https://youtu.be/ytHJ9_mI7pc.



Kuva 11. Sääennusteohjatun järjestelmän sekä ilman lämpötila 20.2. klo 19.00 – 21.2. klo 19.00.



Kuva 12. Tilakaavio lumisateista ja sääennusteohjatun järjestelmän ohjausarvoista 20.2. klo 19.00 – 21.2. klo 19.00.



Kuva 13. Sulanapitojärjestelmien kumulatiivinen energiankulutus 20.2. klo 19.00 – 21.2. klo 19.00.

6.3.2 Case-tarkastelu 2

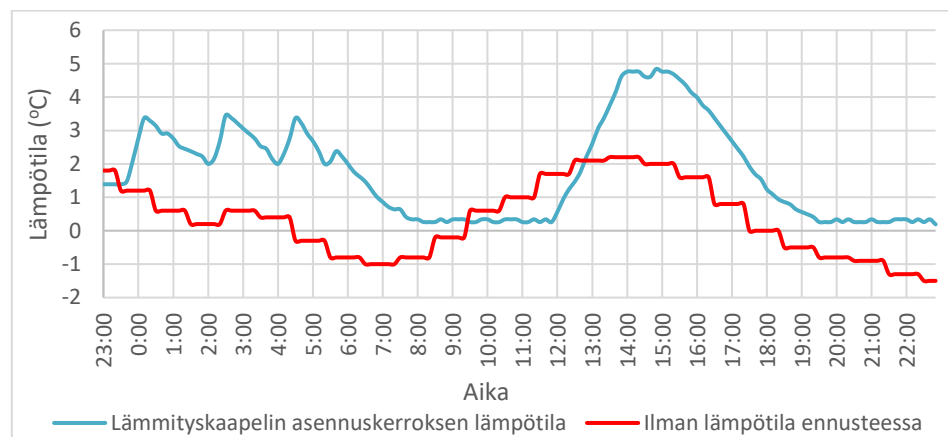
Toisessa case-tarkastelussa tarkasteltu ajanjakso oli 23.2. klo 23.00 – 24.2. klo 23.00. Sää oli pääosin pilvistä tai selkeää. Sääennusteessä oli heikkoa räntä- ja lumisadetta 23.30 – 3.20 välisenä aikana. Lunta satoi kevyesti 2.40 – 3.00. Lumi sulii heti kummankin sulanapitoalueen pinnalta.

Sääennusteohjattu lämmitys oli toteutuneeseen lumisateeseen nähden melko pitkän ajan päällä kuten kuvista 14 ja 15 nähdään. Kuvasta 16 nähdään, että molempien järjestelmien ollessa lämmitystilassa niiden energiankulutus oli lähes yhtä suurta klo 5.30 asti, jonka jälkeen sääennusteohjattu lämmitys ohjautui pois päältä. Auringon lämmittäessä sulanapitoaluetta klo 10.00–18.00 välillä myös termostaattiohjatun järjestelmän energiankulutus oli vähäistä.

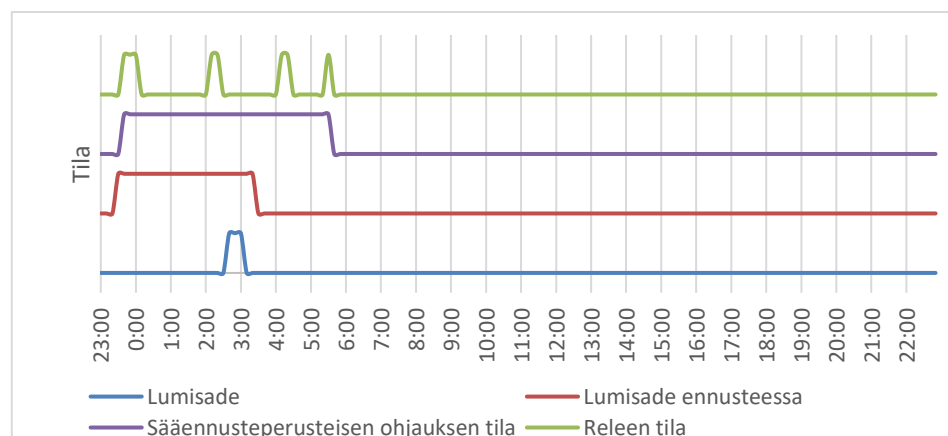
Tarkastellun jakson aikana termostaattiohjattu järjestelmä kulutti noin 133 % enemmän energiaa kuin sääennusteohjattu järjestelmä. Sääennusteohjatusjärjestelmän kulutukseksi mitattiin $0,596 \pm 0,006$ kWh. Termostaattiohjatusjärjestelmän kulutukseksi mitattiin $1,39 \pm 0,01$ kWh.

Sääennusteohjatusjärjestelmän energiankulutus oli verrattain vähäistä, koska sulanapitoalueen lämpötila oli jo lämmityksen alkaessa sulatuslämpötilan alarajalla, jolloin sulatuslämpötilan saavuttamiseen ei kulunut energiaa.

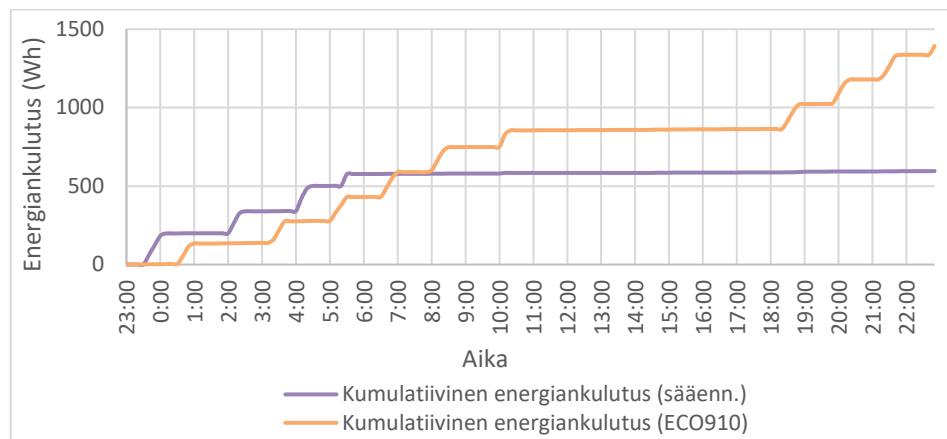
Case-tarkastelun video on nähtävillä osoitteessa <https://youtu.be/wPWLjK7sWRQ>.



Kuva 14. Sääennusteohjatusjärjestelmän sekä ilman lämpötila 23.2. klo 23.00 – 24.2. klo 23.00.



Kuva 15. Tilakaavio lumisateista ja sääennusteohjatusjärjestelmän ohjausarvoista 23.2. klo 23.00 – 24.2. klo 23.00.



Kuva 16. Sulanapitojärjestelmien kumulatiivinen energiankulutus 23.2. klo 23.00 – 24.2. klo 23.00.

6.3.3 Case-tarkastelu 3

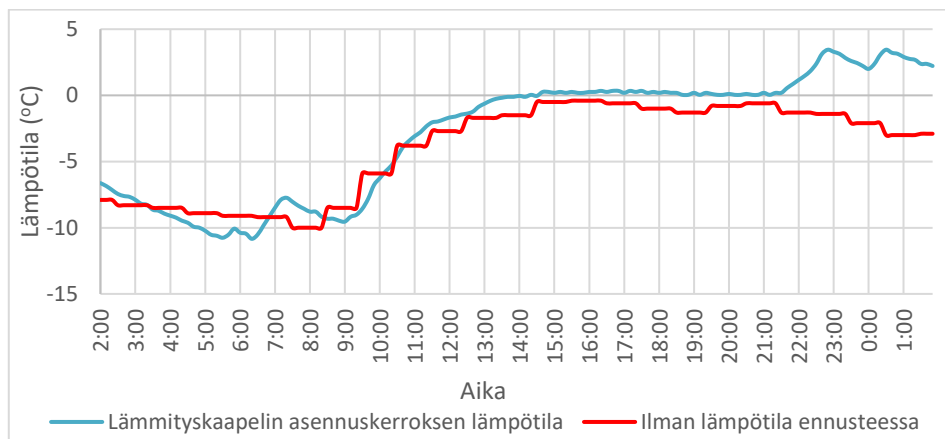
Kolmannessa case-tarkastelussa tarkasteltu ajanjakso oli 29.2. klo 2.00 – 1.3. klo 2.00. Sää oli pääosin pilvistä tai selkeää. Sääennusteessa oli kuvasta 18 nähtävät heikon lumi- ja räntäsateen jaksot jotka eivät kuitenkaan toteutuneet.

Kuvassa 18 nähdään sääennusteohjauksessa olleet lyhyet lämmitysjaksoit klo 5.00–10.00 välillä. Sääennusteohjauksessa laskettiin aikaa seuraavaan ennusteessa olevaan sulatusta vaativaan tapahtumaan. Aikaa verrattiin sulatuslämpötilan saavuttamisen laskennalliseen aikaan. Nämä ajat pyöristettiin ohjelman yksinkertaistamiseksi tasatunneiksi, koska myös käytetty sääennuste oli tasatunnein. Ohjausarvot laskettiin kuitenkin kymmenen minuutin välein, jolloin sulanapitoalueen mitatun lämpötilan muutokset ja lasketun ajan pyöristys saattoivat yhdessä aiheuttaa tilanteen, jossa sulatuslämpötilan saavuttamisen aika kasvoi hetkellisesti tunnilla ja tämän seurauksena lämmitys käynnistyi hetkeksi. Sulanapitoalueen mitatun lämpötilan noustessa lämmitysaika pyöristyi taas tunnilla alaspäin, jolloin lämmitys ohjautui pois päältä.

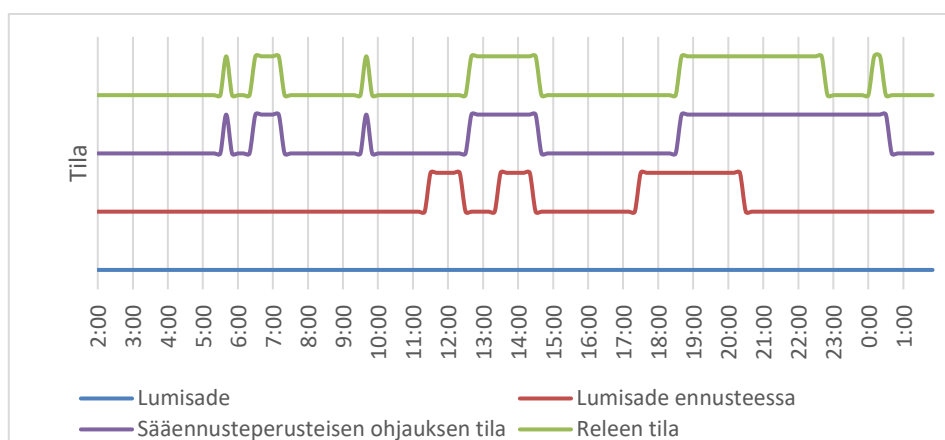
Kuvassa 19 nähdään kummankin järjestelmän energian kulutus. Tarkastellun jakson aikana sääennusteohjattu järjestelmä kulutti noin 36 % enemmän energiaa kuin termostaattiohjattu järjestelmä. Sääennusteohjatun järjestelmän kulutukseksi mitattiin $2,81 \pm 0,03$ kWh. Termostaattiohjatun järjestelmän kulutukseksi mitattiin $2,07 \pm 0,02$ kWh.

Kuvissa 17 ja 18 tarkastelujakson loppupuolella nähtävä lämmitys liittyi tarkastelujakson päättymisen jälkeen alkaneeseen lumisateeseen. Tämä lisäsi sääennusteohjatun järjestelmän energiankulutusta tarkastelujaksolla.

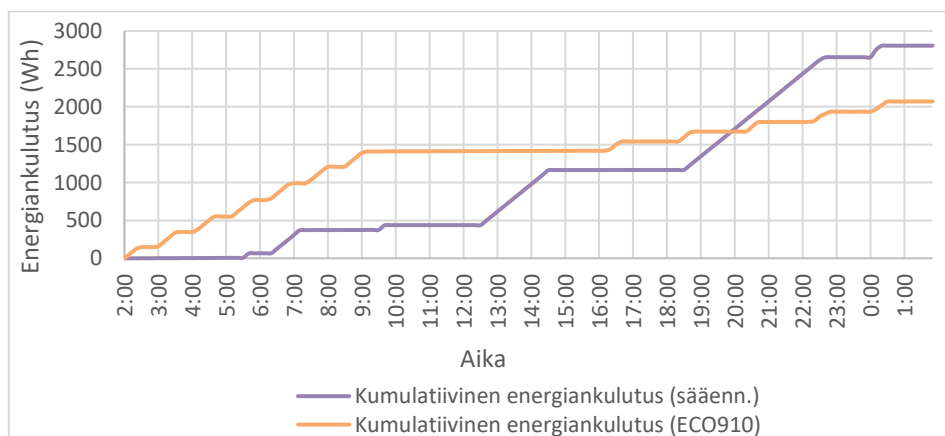
Case-tarkastelun video on nähtävillä osoitteessa <https://youtu.be/l4bCjVWnYBQ>.



Kuva 17. Säännusteohjatun järjestelmän sekä ilman lämpötilä 29.2. klo 2.00 – 1.3. klo 2.00.



Kuva 18. Tilakaavio lumisateista ja säännusteohjatun järjestelmän ohjausarvoista 29.2. klo 2.00 – 1.3. klo 2.00.



Kuva 19. Sulanapitojärjestelmien kumulatiivinen energiankulutus 29.2. klo 2.00 – 1.3. klo 2.00.

6.3.4 Case-tarkastelu 4

Neljännessä case-tarkastelussa tarkasteltu ajanjakso oli 1.3. klo 2.00 – 2.3. klo 2.00. Tarkastellulla jaksolla satoi useamman kerran lunta. Sääennuste ja toteutuneet lumisateet vastasivat kohtuullisesti toisiaan, kuten kuvasta 21 nähdään.

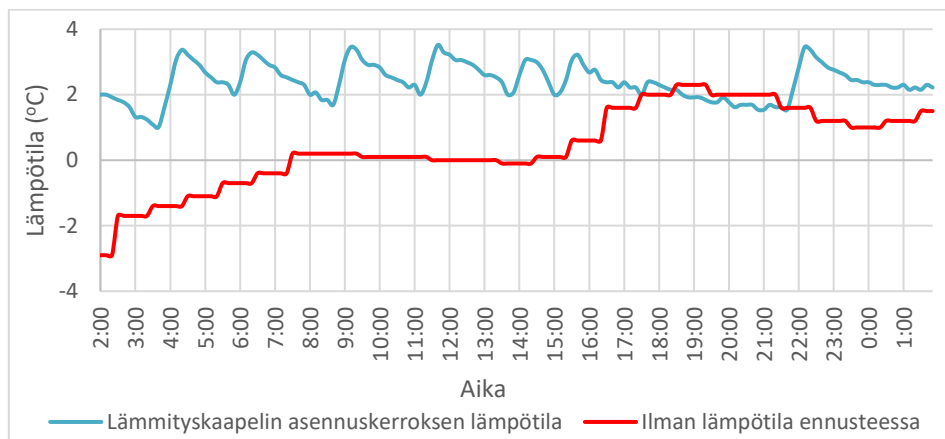
Ensimmäinen lumisade alkoi noin tuntia ennen kuin se oli sääennusteohjatusjärjestelmän ennusteessa. Sääennusteohjatusjärjestelmän lämpötila oli edellisen, tarkasteltavaa ajanjaksoa edeltävän sulatuksen takia sulatuslämpötilassa, joten lunta kertyi vain osaan aluetta. Lumi alkoi sulaa lämmityksen käynnistyttyä tunti lumisateen alusta. Termostaattiohjattu järjestelmä pysyi pääosin vapaana lumesta koko sateen ajan.

Toinen lumisade alkoi lähes samaan aikaan kuin se oli ennusteessa. Lumisade alkoi heikkona eikä lunta päässyt kertymään kummankaan sulanapidettävän alueen pinnalle. Lumisade muuttui voimakkaammaksi ja oli voimakkaimmillaan 14.30–15.20, jolloin osaan molempien sulanapidettävien alueiden pinnasta muodostui ohut lumikerros. Lumi sulii pois heti lumisateen heikennyttyä.

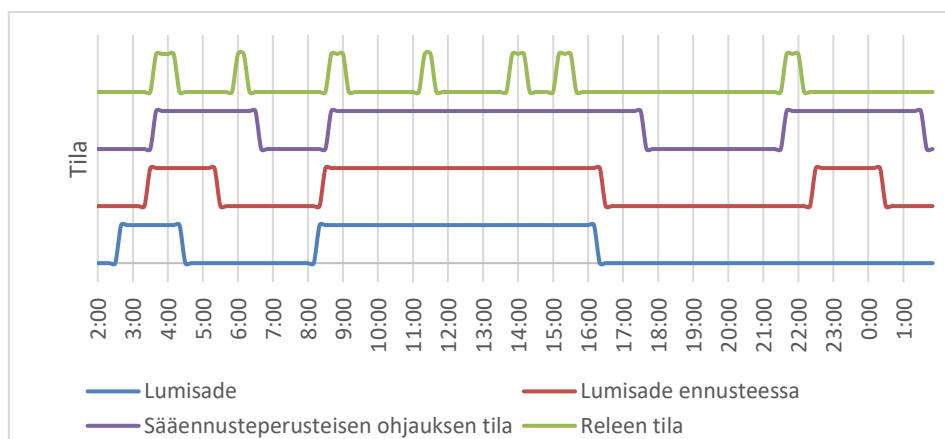
Ennusteessa oli heikkoa räntä- ja vesisadetta 22.30–0.20 ennustetun lämpötilan ollessa yhdessä asteessa, jolloin sääennusteohjattu sulanapitolämmitys käynnistyi veden jäätyksen estämiseksi.

Kuvassa 20 nähdään, että sääennusteohjatusjärjestelmän lämpötila oli lähes koko tarkastelujakson sulatuslämpötilassa. Kuvassa 21 nähdään kummankin järjestelmän energian kulutus. Tarkastellun jakson aikana sääennusteohjattu järjestelmä kulutti noin 3 % enemmän energiaa kuin termostaattiohjattu järjestelmä. Sääennusteohjatusjärjestelmän kulutukseksi mitattiin $1,23 \pm 0,01$ kWh. Termostaattiohjatusjärjestelmän kulutukseksi mitattiin $1,20 \pm 0,01$ kWh.

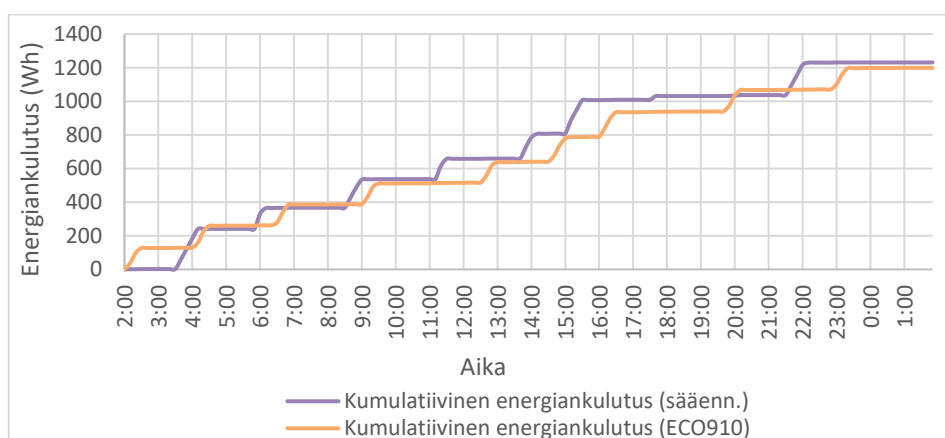
Case-tarkastelun video on nähtävillä osoitteessa https://youtu.be/tgz_Ey-FSR5A.



Kuva 20. Säännusteohjatun järjestelmän sekä ilman lämpötilä 1.3. klo 2.00 – 2.3. klo 2.00.



Kuva 21. Tilakaavio lumisateista ja säännusteohjatun järjestelmän ohjausarvoista 1.3. klo 2.00 – 2.3. klo 2.00.



Kuva 22. Sulanapitojärjestelmien kumulatiivinen energiankulutus 1.3. klo 2.00 – 2.3. klo 2.00.

6.3.5 Case-tarkastelu 5

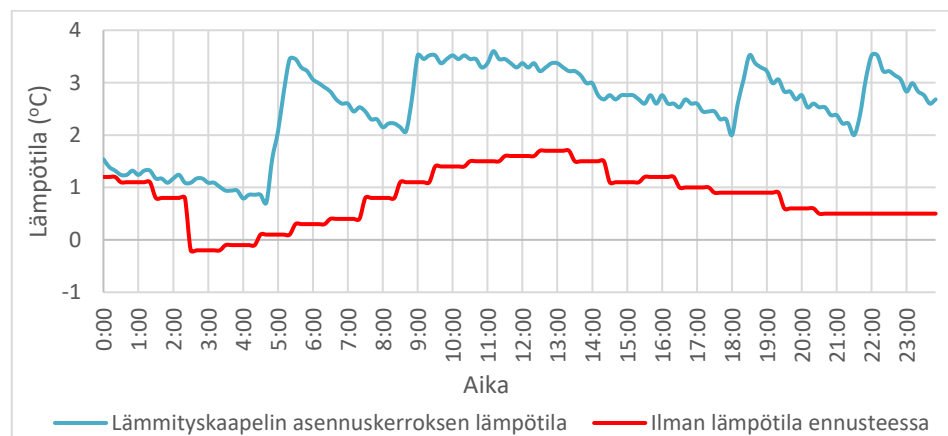
Viidennessä case-tarkastelussa tarkasteltu ajanjakso oli 3.3. klo 0.00 – 4.3. klo 0.00. Tarkastelujakson alkupuolella satoi vettä lämpötilan ollessa lähellä jäätympistettä, jolloin sääennusteohjaus käynnisti lämmityksen ja piti sulanapidettävän alueen sulatuslämpötilassa kuten kuvista 23 ja 24 nähdään.

10.40–14.30 oli heikkoa räntä- ja vesisadetta. Sääennusteohjaus ei käynnistänyt lämmitystä ilman lämpötilan ollessa yhden asteen yläpuolella. Sulanapidettävän alueen lämpötila pysyi kolmen asteen tuntumassa sateen ajan, jolloin vaaraa veden jäätymisestä ei ollut.

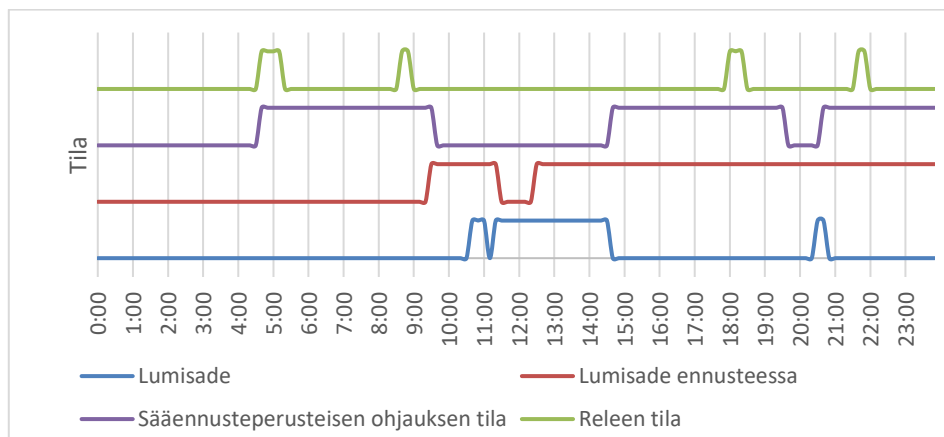
14.40 sääennusteohjaus käynnisti lämmityksen ilman lämpötilan laskiessa ja vesi- ja räntäsateiden jatkuessa. Lämmityksen ohjausarvo oli päällä lähes yhtäjaksoisesti tarkasteltavan jakson loppuun asti ilman lämpötilan ollessa lähellä veden jäätympistettä.

Kuvassa 25 nähdään kummankin järjestelmän energian kulutus. Tarkastelun jakson aikana sääennusteohjattu järjestelmä kulutti noin 24 % enemmän energiaa kuin termostaattiohjattu järjestelmä. Sääennusteohjatun järjestelmän kulutukseksi mitattiin $0,653 \pm 0,007$ kWh. Termostaattiohjatun järjestelmän kulutukseksi mitattiin $0,527 \pm 0,005$ kWh.

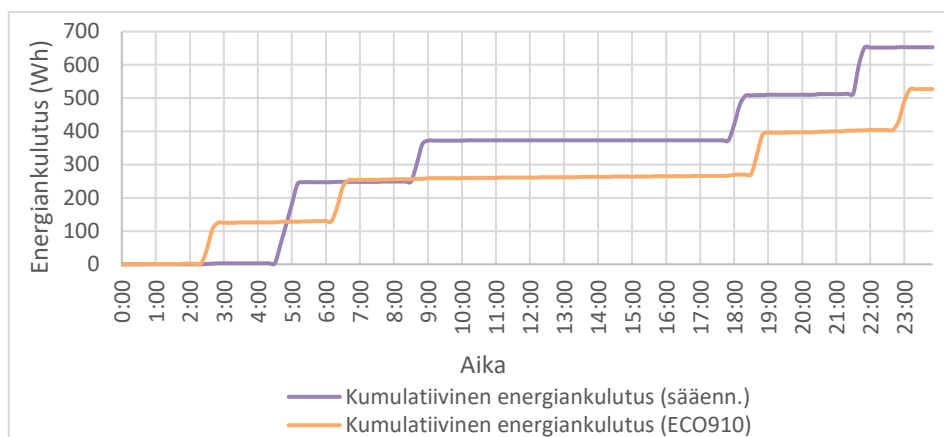
Case-tarkastelun video on nähtävillä osoitteessa <https://youtu.be/j8NZ9KjxA3M>.



Kuva 23. Sääennusteohjatun järjestelmän sekä ilman lämpötila 3.3. klo 0.00 – 4.3. klo 0.00.



Kuva 24. Tilakaavio lumisateista ja sääennusteohjatun järjestelmän ohjausarvoista 3.3. klo 0.00 – 4.3. klo 0.00.



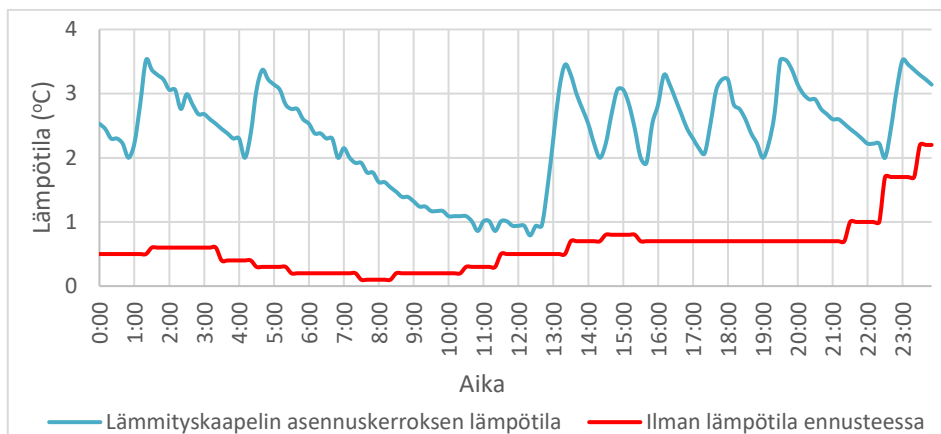
Kuva 25. Sulanapitojärjestelmien kumulatiivinen energiankulutus 3.3. klo 0.00 – 4.3. klo 0.00.

6.3.6 Case-tarkastelu 6

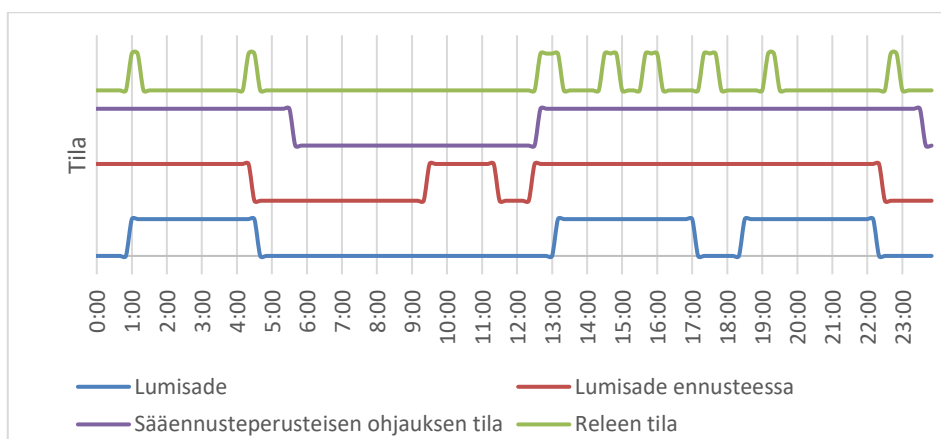
Kuudennessa case-tarkastelussa tarkasteltu ajanjakso oli 4.3. klo 0.00 – 5.3. klo 0.00. Tarkastelujakson aikana suuren osan ajasta oli heikkoa lumitai räntäsadetta, joka täsmäsi melko hyvin ennusteeseen, kuten kuvasta 27 nähdään. 14.20–14.40 oli voimakasta lumisadetta, jonka aikana molemmat sulanapidettävät alueet peittyivät hetkeksi ohueen lumikerrokseen, joka kuitenkin sulii nopeasti lumisateen heikennyttyä. Kuvasta 26 nähdään, että ennustettu ilman lämpötila oli lähes koko tarkastelujakson ajan nollan ja yhden asteen välillä.

Kuvassa 28 nähdään kummankin järjestelmän energian kulutus. Tarkastelun jakson aikana sääennusteohjattu järjestelmä kulutti noin 19 % enemmän energiaa kuin termostaattiohjattu järjestelmä. Sääennusteohjatun järjestelmän kulutukseksi mitattiin $1,32 \pm 0,01$ kWh. Termostaattiohjatun järjestelmän kulutukseksi mitattiin $1,11 \pm 0,01$ kWh.

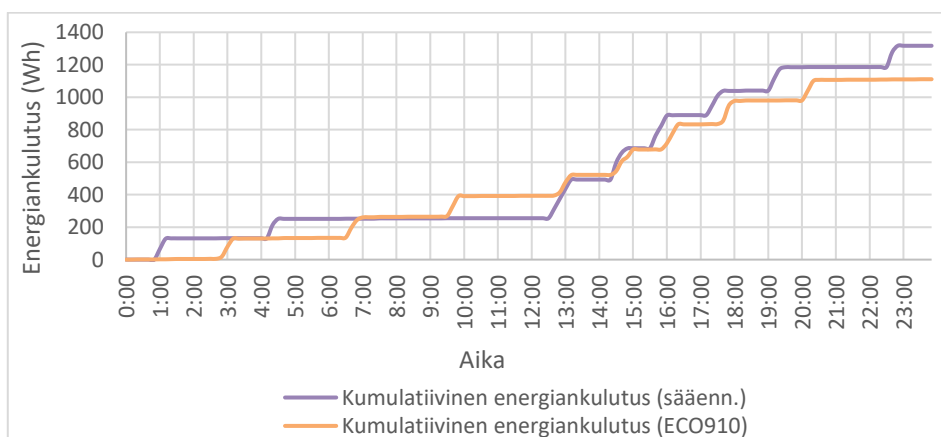
Case-tarkastelun video on nähtävissä osoitteessa <https://youtu.be/REyC2Pe8gY>.



Kuva 26. Säännusteohjatun järjestelmän sekä ilman lämpötilä 4.3. klo 0.00 – 5.3. klo 0.00.



Kuva 27. Tilakaavio lumisateista ja säännusteohjatun järjestelmän ohjausarvoista 4.3. klo 0.00 – 5.3. klo 0.00.



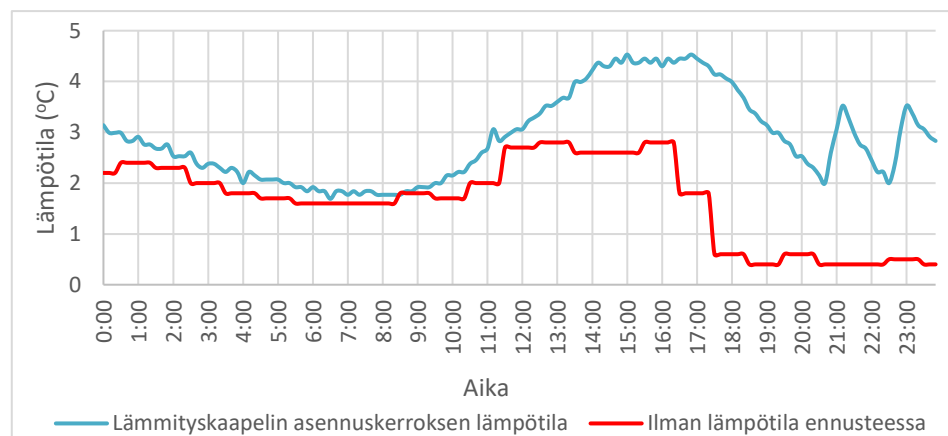
Kuva 28. Sulanapitojärjestelmien kumulatiivinen energiankulutus 4.3. klo 0.00 – 5.3. klo 0.00.

6.3.7 Case-tarkastelu 7

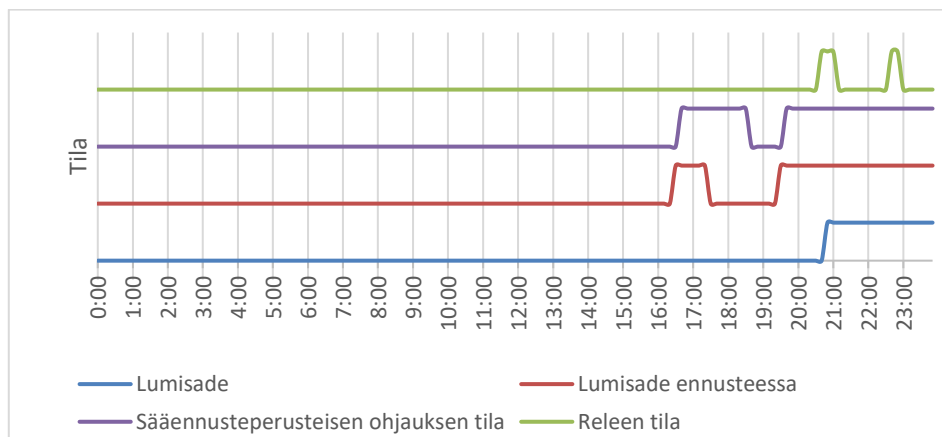
Seitsemännessä case-tarkastelussa tarkasteltu ajanjakso oli 5.3. klo 0.00 – 6.3. klo 0.00. Tarkastelujakson alkupuolella oli sateista, mutta lämpötila pysyi yhden asteen yläpuolella, jolloin sääennusteohjaus ei käynnistänyt lämmitystä. 20.50 alkoi heikko lumisade, joka jatkui tarkastelujakson loppuun asti. Kumpikin sulanapitoalue pysyi sulana. Kuvasta 29 ja 30 nähdään, että sääennusteohjatun järjestelmän lämpötila pysyi sulatuslämpötilassa koko tarkastelujakson, vaikka lämmitys ohjautui päälle vasta jakson loppupuolella.

Kuvassa 31 nähdään kummankin järjestelmän energian kulutus. Tarkastelun jakson aikana termostaattiohjattu järjestelmä kulutti noin 33 % enemmän energiaa kuin sääennusteohjattu järjestelmä. Sääennusteohjatun järjestelmän kulutukseksi mitattiin $0,306 \pm 0,003$ kWh. Termostaattiohjatun järjestelmän kulutukseksi mitattiin $0,408 \pm 0,004$ kWh.

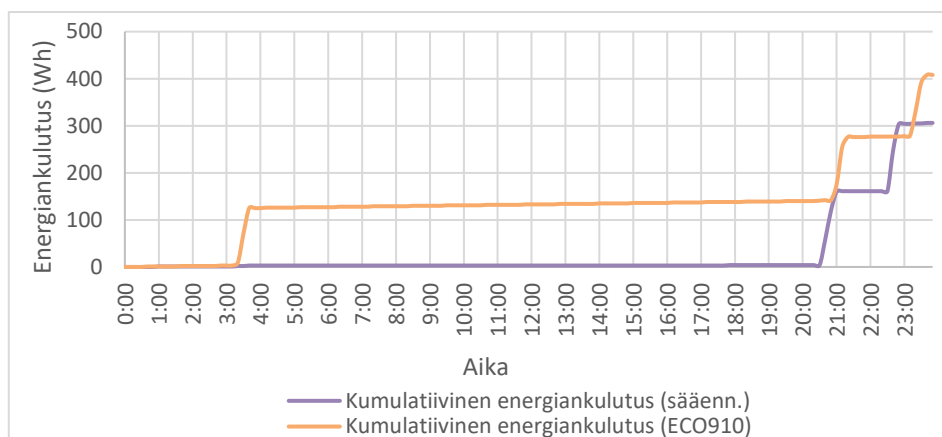
Case-tarkastelun video on nähtävissä osoitteessa https://youtu.be/cVJa-FoG_zY.



Kuva 29. Sääennusteohjatun järjestelmän sekä ilman lämpötila 5.3. klo 0.00 – 6.3. klo 0.00.



Kuva 30. Tilakaavio lumisateista ja sääennusteohjatun järjestelmän ohjausarvoista 5.3. klo 0.00 – 6.3. klo 0.00.



Kuva 31. Sulanapitojärjestelmien kumulatiivinen energiankulutus 5.3. klo 0.00 – 6.3. klo 0.00.

6.3.8 Kitkamittaukset

Kenttäkokeessa tehtiin kitkamittauksia, joissa verrattiin kummin sulanapidettävän alueen pinnan kitkaa eri olosuhteissa. Mittauksissa tutkittiin erityisesti tilanteita, joissa oli pakkasta, mutta sääennusteohjaus oli ohjannut sulanapitolämmityksen pois päältä. Kitkamittauksilla oli tarkoitus selvittää, onko sääennusteohjatun sulanapitojärjestelmän pinta edellä mainituissa tilanteissa liukkaampi kuin termostaattiohjatun sulanapitojärjestelmän pinta.

Kitkamittauksissa mitattiin mittalaitteen ja sulanapidettävän betonilaatan välinen lähtökotka, eli suurin lepokitka. Mittalaitteena käytettiin digitaalista vetovaakaa sekä lyijypainoilla painotettua talvikenkää, jolloin kitkapinnat vastaisivat todellista jalankulkijan kokemaa tilannetta. Kenkä oli mittauksessa paikallaan ja kosketti koko pohjalla betonilaattaa. Mittaus-tapa poikkeaa todellisesta jalankululiukkaudesta siinä, että kävellessä kengän kanta osuu ensimmäisenä alustaan ja vain osa kengän pohjasta

koskettaa alustaa silloin kun liukastumisen riski on suurin. Tämän mittaus-tavan arvioitiin kuitenkin kuvaavan riittävän tarkasti pinnan liukkautta.

Kitkamittaukset tehtiin käsivaraisesti vetämällä mittalaitetta vetovaa'alla mitattavalla pinnalla, kunnes se lähti liikkeelle. Mittaus kuvattiin videolle, josta voitiin jälkikäteen lukea vaa'an näyttämä liikkeellelähtöhetkellä. Ku-kin erillinen mittaus tehtiin toistokokeena, jossa mittaus toistettiin sa-moissa olosuhteissa 20 kertaa. Toistojen keskiarvoa käytettiin mittaustu-loksena. Mittalaitteena toiminut painotettu talvikenkä punnittiin samalla vetovaa'alla. Myös punnitseminen tehtiin toistokokeena, koska käytettä-vän vetovaa'an epätarkkuudesta ei ollut käytössä luotettavaa tietoa.

Pinnan ja mittalaitteen välinen lepokitkakerroin laskettiin punnitsemalla mittalaitte sekä mittaamalla liikkeelle saamiseen tarvittavaa voima vetä-mällä kappaletta vetovaa'alla. Kappaleen punnitsemisessä mitataan kap-paleen paino (painovoima). Vetovaa'alla vetämällä mitataan paino (paino-voima) joka vastaa kappaleen liikkeelle saamiseen tarvittavaa voimaa. Näin ollen vaa'alla todellisuudessa mitataan voimaa, vaikka sen asteikko näyttää tuloksen massan yksikkönä, eli kilogrammoina. Tuloksena saatu massa on suoraan verrannollinen voimaan jonka vaaka mittaa. Saadut tu-lokset voitiin näin ollen sijoittaa kaavaan 22, jolloin saatiin mittalaitteen ja pinnan välinen lähtökitkakerroin.

Mittaustulokset ovat taulukossa 3 ja mittauspöytäkirja on liitteessä 1. Mit-taukset 1-6 toteutettiin sulanapitojärjestelmien ollessa päällä. Niiden tu-loksista nähdään, ettei kummankaan sulanapidettävän alueen pinta ollut mittaushetkellä liukas, eikä myöskään järjestelmien välillä ollut merkittäviä eroja.

Mittauksissa 7-8 sulanapitojärjestelmät olivat pois päältä. Mittaus 7 toteu-tettiin olosuhteessa, jossa betonilaatan pinnalle oli muodostunut kuuraa. Tuloksesta nähdään, että kuurasta ei aiheutunut suurta muutosta kitkaker-toimeen. Mittauksessa 8 betonilaatan pintaan jäädytettiin ohut jääkerros kastelemalla laattaa. Jään pinta oli aistinvaraisesti tarkastellen kuiva. Kit-kakerroin oli pienempi kuin aikaisemmissa mittauksissa, mutta laatta ei kuitenkaan ollut erittäin liukas. Liukkauden määrittämistä kitkakertoimen avulla on käsitelty luvussa 3.1.5.

Taulukko 4. Kitkamittausten tulokset.

Mittaus	Järjestelmä, mittausajankohta	Olosuhde	Kitkakerroin
1	Sääennusteohjaus 26.2.2020 klo 8.36	Ilman lämpötila -5,9 °C. Lämmityskerroksen lämpötila -5,2 °C. Pinta oli vapaa lumesta ja jäästä ja aistinvaraisesti kuiva.	0,81 ± 0,02
2	Termostaattiohjaus 26.2.2020 klo 8.45	Ilman lämpötila -5,2 °C. Lämmityskerroksen lämpötila 3,0 °C. Pinta oli vapaa lumesta ja jäästä sekä aistinvaraisesti osittain kostea.	0,80 ± 0,02
3	Sääennusteohjaus 26.2.3030 klo 11.00	Ilman lämpötila -2,0 °C. Lämmityskerroksen lämpötila -3,6 °C. Pinta oli vapaa lumesta ja jäästä sekä aistinvaraisesti kuiva.	0,79 ± 0,02
4	Termostaattiohjaus 26.2.3030 klo 11.05	Ilman lämpötila -2,0 °C. Lämmityskerroksen lämpötila 1,9 °C. Pinta oli vapaa lumesta ja jäästä sekä aistinvaraisesti osittain kostea.	0,75 ± 0,01
5	Sääennusteohjaus 27.2.2020 klo 9.35	Ilman lämpötila -4,5 °C. Lämmityskerroksen lämpötila -10,3 °C. Pinta oli vapaa lumesta ja jäästä sekä aistinvaraisesti kuiva.	0,78 ± 0,02
6	Termostaattiohjaus 27.2.2020 klo 9.40	Ilman lämpötila -3,8 °C. Lämmityskerroksen lämpötila 3,8 °C. Pinta oli vapaa lumesta ja jäästä sekä aistinvaraisesti kuiva.	0,75 ± 0,01
7	Sääennusteohjaus 8.3.2020 klo 7.20 Sulanapitojärjestelmä ei ollut päällä	Mitattiin tarkoituksella olosuhteessa, jossa pintaan oli muodostunut kuura. Pinta oli vapaa lumesta. Pinnalla oli aistinvaraisesti ohut kuura.	0,70 ± 0,01
8	Sääennusteohjaus	Betonilaatan pinnalle jäädytettiin kastelemalla	0,59 ± 0,01

	8.3.2020 klo 7.20 Sulanapitojärjestelmä ei ollut päällä	ohut jääkerros. Jään pinta oli kuiva.	
--	--	---------------------------------------	--

6.4 Epätarkkuuksien arviointi

6.4.1 Kitkamittaus

Kitkamittaukset tehtiin käsivaraisesti vetämällä mittalaitetta vetovaa'alla mitattavalla pinnalla, kunnes se lähti liikkeelle. Kitkamittauksien merkitsevimmiksi virheiksi tulivat vetokulmasta, vedon tasaisuudesta, pinnan kulmasta ja mittausarvon lukuhetkestä aiheutuvat satunnaisvirheet. Kitkamittauksen tarkkuutta parannettiin toistamalla sama mittaus 20 kertaa ja laskemalla mittaustuloksista keskiarvo. Mittalaitteen epätarkkuus oli huomattavasti mittausten menetelmästä aiheutuneita satunnaisvirheitä pienempi ja sisältyy toistokokeiden perusteella tehtyyn epätarkkuuden arvioon.

Vetovaa'alla tehtyjen mittausten epätarkkuutta arvioitiin laskemalla toistokokeen yksittäisten mittausten tuloksista keskiarvon keskivirhe kaavalla 23. Keskiarvon keskivirheellä saatiin epätarkkuuden rajat, joiden sisään toisen samoissa olosuhteissa suoritettua toistokokeen keskiarvo osuu 68 % todennäköisyydellä. Toistokokeiden virherajat ja mittauspöytäkirja ovat liitteessä 1.

Kitkakerroin laskettiin toistokokeella mitatuista suureista kaavalla 22. Kaavalla saadun lasketun suureen epätarkkuus arvioitiin summaamalla virhetermit neliöllisesti kaavalla 25. Virherajojen yhtälöksi saatiin kaava 27.

$$\Delta\mu = \sqrt{\left(\frac{1}{N}\Delta F\right)^2 + \left(-\frac{F}{N^2}\Delta N\right)^2} \quad (27)$$

missä

$\Delta\mu$ = kitkakertoimen virheraja

F = voima joka tarvitaan kappaleen liikkeelle saamiseen

ΔF = yllä mainitun voiman arvon virheraja

N = normaalivoima

ΔN = normaalivoiman arvon virheraja

Kaavalla 27 lasketut kitkakertoimien virherajat ovat liitteessä 1.

6.4.2 Lämpötilan mittaus

Lämpötiloja mitattiin NTC, 47 k Ω /25 °C -tyyppisillä antureilla. Anturin resistanssi mitattiin muuntamalla se Arduinon 10-bittisellä analogia-digitaalimuuntimella digitaaliseksi arvoksi. Resistanssin mitattu arvo muutettiin lämpötilaksi kaavalla 26, eli B-parametriyhtälöllä.

B-parametrin arvona käytettiin lukua 3906,078. B-parametrin arvo ratkaistiin etsimällä Microsoft Excelin ratkaisin-toiminnolla sellainen arvo, jolla kaavalla 26 saatujen arvojen itseisarvojen summa erosi mahdollisimman vähän lämpötila-anturina käytetyn NTC-termistorin valmistajan taulukkoarvoista lämpötilavälillä 25...-25 °C. Mitattujen lämpötilojen vaihteluväli kenttäkokeessa oli 11,13...-11,53 °C. Kaavalla 26 laskettu arvo poikkesi valmistajan taulukkoarvoista edellä mainitulla lämpötilan vaihteluvälillä enimmillään 0,309 °C.

B-parametriyhtälön epätarkkuuden lisäksi lämpötilan mittauksen merkittävimmiksi virheiksi tulivat sähköverkon ja Arduinon virtalähteen aiheuttamat satunnaisvirheet analogiamittauksessa. Mittausten tarkkuutta parannettiin mittaamalla kussakin mittaustapahtumassa anturin resistanssi 15 kertaa noin yhden millisekunnin välein. Mittaustulokseksi valittiin joukon mediaani. Mediaani soveltui keskiarvoa paremmin, koska mittaustulosten joukossa oli yksittäisiä merkittävästi muista mittaustuloksista poikkeavia arvoja, jotka vaikuttivat keskiarvoon enemmän kuin mediaaniin.

Edellä mainitulla menetelmällä saatujen tulosten tarkkuutta arvioitiin mittaamalla lämpötilan arvo samassa lämpötilassa 1000 kertaa 20 sekunnissa. Näin saatiin siis tuhannen tuloksen joukko, joista jokainen oli laskettu edellisessä kappaleessa mainitulla menetelmällä. Tuloksien arvioitiin noudattavan normaalijakaumaa ja niistä laskettiin yksittäisen havainnon keskiarvo eli otoskeskihajonta kaavalla 24. Epätarkkuuden arvioimiseksi tehtyjen mittausten mittauspöytäkirja ja arvio lämpötilamittauksen epätarkkuudesta on liitteessä 2.

Arvioksi satunnaisvirheen aiheuttamasta epätarkkuudesta saatiin $\pm 0,049$ °C ja B-parametriyhtälön epätarkkuudeksi $\pm 0,309$ °C, jolloin lämpötilamittauksen kokonaisepätarkkuudeksi arvioitiin $\pm 0,4$ °C. Anturin ja analogia-digitaalimuuntimen epätarkkuudet olivat edellä mainittua epätarkkuutta pienempiä ja sisältyvät epätarkkuuden arvioon.

6.5 Mittaustulosten analysointi

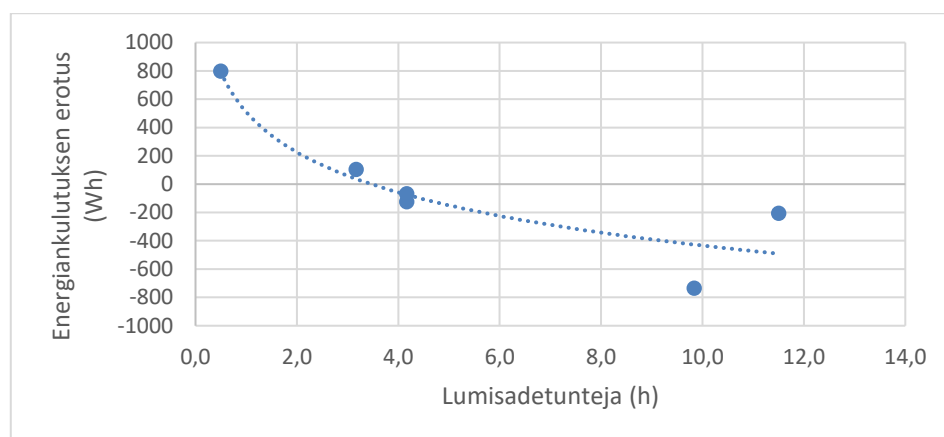
Sääennusteohjattu järjestelmä kulutti tarkastellulla ajanjaksolla 55,5 %, eli $11,3 \pm 0,1$ kWh vähemmän energiaa kuin sulanapitotermostaatilla ohjattu järjestelmä. 78,9 % edellä mainitusta energiansäästöstä tuli 25.–28.2. jolloin säätilana oli sateeton pakkasjakso. Sääennusteohjatun järjestelmän mitattu energiankulutus edellä mainitulla jaksolla oli $0,104 \pm 0,001$ kWh. Sulanapitotermostaatilla ohjatun järjestelmän mitattu energiankulutus edellä mainitulla jaksolla oli $8,99 \pm 0,09$ kWh.

Tutkittavan ajanjakson 18 vuorokaudesta 12, eli noin 67 % oli sellaisia jolloin satoi vettä tai lunta. Tyypillisesti talvella sataa noin kymmenenä päivänä kuukaudessa, eli poutajaksojen osuus on huomattavasti suurempi

kuin mittausjaksolla. Tämän perusteella voidaan arvioida, että sääennusteohjatun järjestelmän energiatehokkuuspotentiaali on suurempi kuin tämän tutkimuksessa toteutunut energian säästö.

Sääennusteohjaus kulutti sulanapitotermostaattiohjausta enemmän energiaa silloin kun lämmitys oli vuorokauden aikana pumppaavaa sekä silloin kun maan lämpötila oli lämmityksen alkaessa paljon sulatuslämpötilaa matalampi.

Case-tarkasteluihin valituista 24 tunnin ajanjaksoista voidaan verrata järjestelmien energiankulutuksen erotusta lumisateiden keston. Kuvaan 32 on sovitettu logaritminen trendikäyrä kunkin case-tarkastelun tulokseen. Case-tarkastelu 3 on jätetty pois, koska se eroaa muista jaksoista selvästi johtuen sääennusteen ja todellisten lumisateiden merkittävästä poikkeamasta. Positiivinen energiankulutuksen erotus tarkoittaa sitä, että sääennusteohjaus on kuluttanut vähemmän kuin sulanapitotermostaattiohjaus. Otos on pieni, eikä kaaviossa oteta huomioon ilman lämpötilaa. Suuntaa antavasti voidaan kuitenkin todeta, että sääennusteohjaus on energiatehokkaampi silloin kun vuorokauden lumisateiden kesto on vähemmän kuin kolme ja puoli tuntia.



Kuva 32. Case-tarkastelujen energiankulutuksen ero suhteessa jakson lumisateen kokonaiskeston.

Sääennuste oli tarkastelussa kohtuullisen osuvaa lumisateiden ja lämpötilan osalta. Ennustetun ja toteutuneen lumisateen ajoituksessa ja kestossa oli kuitenkin useassa tapauksessa tuntien ero. Mittaustulosten perusteella yksinkertainen tapa parantaa sääennusteohjatun järjestelmän sulanapidon laatua olisi ohjata järjestelmä toimimaan sulanapitotermostaattiohjauksen tapaan sellaisina 24 tunnin jaksoina joilla lumisadetta on enemmän kuin kolme ja puoli tuntia. Mittaustulosten perusteella järjestelmän energiankulutus ei silloin nouse, mutta välttyttäisiin pumppaavalta lämmitykseltä eikä sääennusteen epätarkkuus vaikuttaisi sulanapidon laatuun.

7 JOHTOPÄÄTÖKSET

Tämän tutkimuksen tulosten perusteella sulanapitojärjestelmän ohjaus voidaan toteuttaa sääennusteen perusteella kohtuullisen luotettavasti ja energiatehokkaasti. Se ei kuitenkaan ole niin toimintavarma kuin lämpötilan mittaamiseen perustuva sulanapitotermostaattiohjaus. Sääennusteohjauksen toimintavarmuutta voidaan parantaa energiatehokkuuden heikkenemättä käyttämällä sitä sulanapitotermostaattiohjauksen tapaan sellaisissa olosuhteissa, joissa lumisateita tai jäätymisen vaara on olemassa suuren osan ajasta.

Sääennusteohjaus voidaan toteuttaa merkittävästi energiatehokkaammin kuin lämpötilan mittaukseen perustuva sulanapitotermostaattiohjaus. Energiansäästö edellyttää kuitenkin vuorokausia, jolloin lämmitys voidaan pitää sääennusteen perusteella kokonaan pois päältä. Kenttäkokeen mittauksissa sääennusteohjattu järjestelmä kulutti 55,5 % vähemmän energiaa kuin sulanapitotermostaattiohjattu järjestelmä. Tyypillisenä talvena energiansäästöpotentiaali on tässä tutkimuksessa mitattua suurempi, koska poutajaksojen osuus on tyypillisesti merkittävästi suurempi kuin tämän tutkimuksen mittausjaksolla.

Sääennusteohjatun järjestelmän asennusvaihe on monimutkaisempi kuin muiden yleisesti käytössä olevien ohjausjärjestelmien, koska sääennusteohjattuun järjestelmään pitää asettaa tietoja mm. sulanapidettävän alueen rakennekerroksista. Asetettavien tietojen määrää voidaan vähentää, jos ohjausjärjestelmään on ohjelmoitu toiminto, joka mittaa järjestelmän lämpenemisaikaa, vertaa sitä laskettuun arvoon sekä sääennusteesta saatavaan tietoon ja määrittää laskelmiin automaattisesti tarvittavat korjauskertoimet.

Kuuran ja huurteen aiheuttaman jäätymisen ehkäisemisessä suurimpana etuna sääennusteohjauksessa on se, että sulanapidettävän alueen lämpötila voidaan pitää kastepistelämpötilan yläpuolelle. Kastepistelämpötila voi olla säätilasta riippuen paljonkin veden jäätymispistelämpötilaa matalampi, jolloin syntyy energiansäästöä. Toinen sääennusteohjauksen etu on se, että sulanapidettävä alue voidaan lämmittää sulatuslämpötilaan ennakoivasti ennen jäätymistä aiheuttavan olosuhteen syntymistä.

Sääennusteohjaus voidaan toteuttaa teknisesti kohtuullisen yksinkertaisesti, mutta sen toimintaan tarvitaan internet-yhteys. Tämän tutkimuksen tulosten valossa energiatehokkain ja toimintavarmoin sulanapitojärjestelmän ohjaus voitaisiin todennäköisesti toteuttaa niin, että järjestelmä hyödyntäisi sekä sääennustetta, että kosteuden, lumen ja jään havaitsemista antureilla. Tällöin sääennusteen perusteella voidaan ennakoida jäätymisen aiheuttavat olosuhteet ja kosteuden, lumen ja jään havaitsemisella lämmitys voidaan lopettaa oikea-aikaisesti. Kahden ohjaustavan yhdistäminen tosin lisää ohjauslaitteen monimutkaisuutta.

LÄHTEET

Aalto-yliopisto. (n.d.). *Opetusmateriaali. Mittaustulosten käsittely*. Haettu 28.3.2020 osoitteesta

https://mycourses.aalto.fi/pluginfile.php/884085/mod_folder/content/0/AloituseMatsku.pdf?forcedownload=1

Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D. & Smith, M. (1998). *Crop evapotranspiration. Guidelines for computing crop water requirements*. Chapter 3 - Meteorological data. Haettu 28.2.2020 osoitteesta:

<http://www.fao.org/3/X0490E/x0490e07.htm#chapter%203%20%20%20meteorological%20data>

Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D. & Smith, M. (1998). *Crop evapotranspiration. Guidelines for computing crop water requirements*. Haettu 28.2.2020 osoitteesta

<http://www.fao.org/3/X0490E/x0490e08.htm#eto%20calculated%20with%20different%20time%20steps>

BetaTHERM Sensors. (n.d.). *NTC Thermistor theory*. Haettu 2.4.2020 osoitteesta

<http://static6.arrow.com/aropdfconversion/af5a4066eb3ff3339c585daa5dbc817912b34459/50k6a.pdf>

Ensto Finland Oy. (2017). *ECO910 käyttöohje*. Haettu 8.3.2020 osoitteesta

<https://static.ensto.com/files/installation-instructions/10908.pdf>

Ensto Finland Oy. (n.d.). *Ensto - Sulanapitojärjestelmät*. Haettu 7.3.2020 osoitteesta

<https://www.ensto.com/globalassets/brochures/heating/finnish/Sulanapitojarjestelmat.pdf>

Hartonen, S. (2008). *Sää ympäri vuoden*. Helsinki: Kirjapaja.

Hautala, M. & Peltonen, H. (2005). *Insinöörin (AMK) FYSIIKKA OSA I* (7. painos). Lahti: Lahden Teho-Opetus Oy.

Hautala, R. & Leviäkangas, P. (2007). *Ilmatieteen laitoksen palveluiden vaikuttavuus - Hyötyjen arviointi ja arvottaminen eri hyödyntäjätoimialoilla*. Haettu 4.3.2020 osoitteesta

<https://www.vtt.fi/inf/pdf/publications/2007/P665.pdf>

Hippi, M., Hartonen, S. & Hirvonen, M. (2017). *Työmatkatapaturmien vähentäminen kelivaroitussmallia kehittämällä*. Haettu 4.3.2020 osoitteesta

<https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/224484/jalankulku.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Ilmatieteen laitos. (2013). *Talvisen tienpinnan kitkakertoimelle kehitettiin tilastollinen malli*. Haettu 4.3.2020 osoitteesta <https://www.ilmatieteenlaitos.fi/tiedote/1233313>

Ilmatieteen laitos. (2015). *Jalankulkusäämalli*. Haettu 4.3.2020 osoitteesta <https://www.ilmatieteenlaitos.fi/jalankulkusaamalli>

Ilmatieteen laitos. (2018). *Open data manual*. Haettu 29.2.2020 osoitteesta <https://en.ilmatieteenlaitos.fi/open-data-manual>

Ilmatieteen laitos. (2019). *Ilmatieteen laitoksen avoin data ja lähdekoodi*. Haettu 28.2.2020 osoitteesta <https://www.ilmatieteenlaitos.fi/avoin-data>

Ilmatieteen laitos. (2019). *Kuinka pitkälle säätä voi ennustaa*. Haettu 28.2.2020 osoitteesta <https://www.ilmatieteenlaitos.fi/kuinka-pitkalle-saata-voi-ennustaa>

Ilmatieteen laitos. (2019). *Liukkaus ja jalankulkusää*. Haettu 4.3.2020 osoitteesta <https://www.ilmatieteenlaitos.fi/liukkaus-ja-jalankulkusaa>

Ilmatieteen laitos. (2020). *Avatut ja avattavat tietoaineistot*. Haettu 28.2.2020 osoitteesta <https://www.ilmatieteenlaitos.fi/avoin-data-avattavat-aineistot>

Ilmatieteen laitos. (n.d.a). *Accessing data using the Download Service*. Haettu 29.2.2020 osoitteesta <https://en.ilmatieteenlaitos.fi/open-data-manual-accessing-data>

Ilmatieteen laitos. (n.d.b). *CompositeObservableProperty*. Haettu 28.2.2020 osoitteesta <https://opendata.fmi.fi/meta?observableProperty=forecast¶m=Pressure,GeopHeight,Temperature,DewPoint,Humidity,WindDirection,WindSpeedMS,WindUMS,WindVMS,PrecipitationAmount,TotalCloudCover,LowCloudCover,MediumCloudCover,HighCloudCover,RadiationGlobal,Vi>

Ilmatieteen laitos. (n.d.c). *Kuukausitilastot*. Haettu 5.3.2020 osoitteesta <https://www.ilmatieteenlaitos.fi/kuukausitilastot>

Ilmatieteen laitos. (n.d.e). *Ladattavan sääennusteen metatiedot*. Haettu 28.3.2020 osoitteesta <https://opendata.fmi.fi/meta?observableProperty=forecast¶m=Pressure,GeopHeight,Temperature,DewPoint,Humidity,WindDirection,WindSpeedMS,WindUMS,WindVMS,PrecipitationAmount,TotalCloudCover,LowCloudCover,MediumCloudCover,HighCloudCover,RadiationGlobal,Vi>

Ilmatieteen laitos. (n.d.f). *Sääennustedata*. Haettu 28. 2 2020 osoitteesta <https://www.ilmatieteenlaitos.fi/avoin-data-saennustedata-hirlam>

- Ilmatieteen laitos. (n.d.g). *Tallennetut kyselyt*. Haettu 28.2.2020 osoitteesta <https://www.ilmatieteenlaitos.fi/tallennetut-kyselyt>
- Ilmatieteen laitos. (n.d.h). *Termiset vuodenajat*. Haettu 5.3.2020 osoitteesta <https://www.ilmatieteenlaitos.fi/termiset-vuodenajat>
- Ilmatieteen laitos. (n.d.i). *Vuodenajat tilastoissa kalenterikuukausittain*. Haettu 5.3.2020 osoitteesta <https://www.ilmatieteenlaitos.fi/vuodenaikojen-tilastot>
- Maanmittauslaitos. (n.d.). *INSPIRE-direktiivi*. Haettu 29.2.2020 osoitteesta <https://www.maanmittauslaitos.fi/kartat-ja-paikkatieto/paikkatietojen-yhteiskaytto/inspire>
- Olomuodon muutoksissa sitoutuu tai vapautuu energiaa*. (n.d.). Haettu 29.2.2020 osoitteesta <https://peda.net/valkeakoski/opetuspalvelut/pk/naakan-koulu/oppiaineet/fysiikka/fy-tervaniemi/efysiikka-82/1omstve>
- Open Geospatial Consortium. (n.d.a). *Geography Markup Language*. Haettu 29.2.2020 osoitteesta <http://www.ogc.org/standards/gml>
- Open Geospatial Consortium. (n.d.b). *Welcome to The Open Geospatial Consortium*. Haettu 29.2.2020 osoitteesta <https://www.ogc.org/>
- Paasonen, S. (2001). *Sää*. Helsinki: WSOY.
- Rinne, J., Koistinen, J. & Saltikoff, E. (2008). *Suomalainen sääopas*. Helsinki: Kustannusosakeyhtiö Otava.
- Salo, O. (2014). *Sähköllä toteutettu sulanapito*. Insinööriyö, Metropolia Ammattikorkeakoulu. Haettu 7.3.2020 osoitteesta https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/81392/Insinoorityo_Salo_Olli_verse_3.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Ventä, S. (2014). *Sulanapidon tehonmitoitus*. Insinööriyö. Talotekniikan koulutusohjelma, Metropolia Ammattikorkeakoulu. Haettu 25.2.2020 osoitteesta https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/72202/Insinoorityo%20Sami%20Venta%2008_04_2014.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- VTT. (2007). *Ilmatieteen laitoksen palveluiden vaikuttavuus - Hyötyjen arviointi ja arvottaminen eri hyödyntäjätoimialoilla*. Haettu 4.3.2020 osoitteesta <https://www.vtt.fi/inf/pdf/publications/2007/P665.pdf>

KITKAMITTAUSTEN MITTAUSPÖYTÄKIRJA

Mittalaitteen punnitseminen		
26.8.2020		
Mittaus	Tulos	$(x_i - \bar{x})^2$
1	4,305	0,0000076
2	4,315	0,0000526
3	4,305	0,0000076
4	4,315	0,0000526
5	4,285	0,0005176
6	4,305	0,0000076
7	4,325	0,0002976
8	4,310	0,0000051
9	4,305	0,0000076
10	4,305	0,0000076
11	4,305	0,0000076
12	4,300	0,0000601
13	4,330	0,0004951
14	4,310	0,0000051
15	4,310	0,0000051
16	4,315	0,0000526
17	4,285	0,0005176
18	4,295	0,0001626
19	4,330	0,0004951
20	4,300	0,0000601
KESKIVARVO	4,308	
SUMMA $(x_i - \bar{x})^2$		0,0028
N(N-1)		380
KESKIVARVON KESKIVIRHE		0,003
TULOS	4,308 ± 0,003	

Säätöohjattu sulanapito				
26.2.2020 klo 8:36				
Ilman lämpötila -5,9 °C				
Lämmityskerroksen lämpötila -5,2 °C				
Pinta vapaa lumesta ja jäädästä				
Pinta aistinvaraisesti kuiva				
Mittaus	Tulos	$(x_i - \bar{x})^2$		
1	3,830	0,1134		
2	3,545	0,0027		
3	3,650	0,0246		
4	3,455	0,0015		
5	3,520	0,0007		
6	3,755	0,0685		
7	3,980	0,2369		
8	3,440	0,0028		
9	3,290	0,0413		
10	3,685	0,0368		
11	3,020	0,2240		
12	3,740	0,0609		
13	3,635	0,0201		
14	3,775	0,0794		
15	3,015	0,2287		
16	2,410	1,1734		
17	3,590	0,0094		
18	3,430	0,0040		
19	3,575	0,0067	N	4,308
20	3,525	0,0010	ΔN	0,0027
KESKIARVO	3,493		F	3,493
SUMMA $(x_i - \bar{x})^2$		2,3367	ΔF	0,078
N(N-1)		380	μ	0,81
KESKIARVON KESKIVIRHE		0,08	$\Delta\mu$	0,02
TULOS		3,49 ± 0,08	KITKAKERROIN	0,81 ± 0,02

Termostaattiohjattu sulanapito				
26.2.2020 klo 8:45				
Ilman lämpötila -5,2 °C				
Lämmityskerroksen lämpötila 3,0 °C				
Pinta vapaa lumesta ja jäätä				
Pinta aistinvaraisesti osittain kostea				
Mittaus	Tulos	$(x_i - \bar{x})^2$		
1	3,550	0,0125		
2	3,745	0,0942		
3	3,170	0,0718		
4	3,475	0,0014		
5	2,925	0,2632		
6	3,380	0,0034		
7	3,325	0,0128		
8	3,280	0,0250		
9	3,465	0,0007		
10	3,015	0,1789		
11	2,735	0,4942		
12	3,600	0,0262		
13	3,970	0,2830		
14	3,860	0,1781		
15	3,480	0,0018		
16	3,225	0,0454		
17	3,725	0,0824		
18	3,295	0,0204		
19	3,635	0,0388	N	4,308
20	3,905	0,2181	ΔN	0,0027
KESKIVIRHE	3,438		F	3,438
SUMMA $(x_i - \bar{x})^2$		2,0523	ΔF	0,073
N(N-1)		380	μ	0,80
KESKIVIRHE		0,07	$\Delta\mu$	0,02
TULOS		3,44 ± 0,07	KITKAKERROIN	0,80 ± 0,02

Säätötehojattu sulanapito				
26.2.2020 klo 11:00				
Ilman lämpötila -2,0 °C				
Lämmityskerroksen lämpötila -3,6 °C				
Pinta vapaa lumesta ja jäädä				
Pinta aistinvaraisesti kuiva				
Mittaus	Tulos	$(x_i - \bar{x})^2$		
1	3,980	0,3416		
2	3,610	0,0460		
3	3,290	0,0111		
4	3,755	0,1292		
5	3,810	0,1718		
6	2,695	0,4907		
7	2,895	0,2505		
8	3,705	0,0958		
9	3,440	0,0020		
10	3,000	0,1564		
11	3,390	0,0000		
12	3,295	0,0101		
13	3,795	0,1596		
14	3,390	0,0000		
15	3,880	0,2347		
16	3,190	0,0422		
17	3,120	0,0759		
18	3,340	0,0031		
19	3,140	0,0653	N	4,308
20	3,190	0,0422	ΔN	0,0027
KESKIARVO	3,396		F	3,396
SUMMA $(x_i - \bar{x})^2$		2,3284	ΔF	0,078
N(N-1)		380	μ	0,79
KESKIARVON KESKIVIRHE	0,08		$\Delta \mu$	0,02
TULOS	3,4 ± 0,08		KITKAKERROIN	0,79 ± 0,02

Termostaattiohjattu sulanapito				
26.2.2020 klo 11:05				
Ilman lämpötila -2,0 °C				
Lämmityskerroksen lämpötila 1,9 °C				
Pinta vapaa lumesta ja jäästä				
Pinta aistinvaraisesti osittain kostea				
Mittaus	Tulos	$(x_i - \bar{x})^2$		
1	3,290	0,0025		
2	3,625	0,1484		
3	3,215	0,0006		
4	3,230	0,0001		
5	3,055	0,0341		
6	3,490	0,0626		
7	3,700	0,2118		
8	3,015	0,0505		
9	3,005	0,0551		
10	3,580	0,1158		
11	2,715	0,2754		
12	3,245	0,0000		
13	3,115	0,0156		
14	3,820	0,3367		
15	3,215	0,0006		
16	2,880	0,1294		
17	3,325	0,0073		
18	3,180	0,0036		
19	3,190	0,0025	N	4,308
20	2,905	0,1121	ΔN	0,0027
KESKIARVO	3,240		F	3,240
SUMMA $(x_i - \bar{x})^2$		1,5647	ΔF	0,064
N(N-1)		380	μ	0,75
KESKIARVON KESKIVIRHE		0,06	$\Delta\mu$	0,01
TULOS		3,24 ± 0,06	KITKAKERROIN	0,75 ± 0,01

Säätimesteohjattu sulanapito				
27.2.2020 klo 9:35				
Ilman lämpötila -4,5 °C				
Lämmityskerroksen lämpötila -10,3 °C				
Pinta vapaa lumesta ja jäädästä				
Pinta aistinvaraisesti kuiva				
Mittaus	Tulos	$(x_i - \bar{x})^2$		
1	2,765	0,3531		
2	3,165	0,0377		
3	3,275	0,0071		
4	3,115	0,0597		
5	3,625	0,0706		
6	3,140	0,0481		
7	3,440	0,0065		
8	3,000	0,1291		
9	3,885	0,2764		
10	3,915	0,3089		
11	3,385	0,0007		
12	3,305	0,0029		
13	3,245	0,0131		
14	3,365	0,0000		
15	3,410	0,0026		
16	3,865	0,2558		
17	3,580	0,0487		
18	3,205	0,0238		
19	3,485	0,0158	N	4,308
20	3,015	0,1185	ΔN	0,0027
KESKIARVO	3,359		F	3,359
SUMMA $(x_i - \bar{x})^2$		1,7791	ΔF	0,068
N(N-1)		380	μ	0,78
KESKIARVON KESKIVIRHE	0,07		$\Delta \mu$	0,02
TULOS		3,36 ± 0,07	KITKAKERROIN	0,78 ± 0,02

Termostaattiohjattu sulanapito				
27.2.2020 klo 9:40				
Ilman lämpötila -3,8 °C				
Lämmityskerroksen lämpötila 3,8 °C				
Pinta vapaa lumesta ja jäädä				
Pinta aistinvaraisesti kuiva				
Mittaus	Tulos	$(x_i - \bar{x})^2$		
1	2,770	0,2207		
2	3,120	0,0143		
3	3,195	0,0020		
4	3,100	0,0195		
5	3,550	0,0963		
6	3,215	0,0006		
7	3,040	0,0399		
8	3,475	0,0553		
9	3,300	0,0036		
10	3,060	0,0323		
11	3,010	0,0528		
12	3,035	0,0419		
13	3,120	0,0143		
14	3,035	0,0419		
15	3,770	0,2812		
16	3,330	0,0081		
17	3,320	0,0064		
18	3,690	0,2027		
19	3,425	0,0343	N	4,308
20	3,235	0,0000	ΔN	0,0027
KESKIVIRHE	3,240		F	3,240
SUMMA $(x_i - \bar{x})^2$		1,1684	ΔF	0,055
N(N-1)		380	μ	0,75
KESKIVIRHE KESKIVIRHE		0,06	$\Delta\mu$	0,01
TULOS		$3,24 \pm 0,06$	KITKAKERROIN	$0,75 \pm 0,01$

Säännusteohjattu sulanapito				
8.3.2020 klo 7:20				
Pinta vapaa lumesta				
Pinnalla aistinvaraisesti ohut kuura				
Mittaus	Tulos	$(x_i - \bar{x})^2$		
1	2,740	0,0860		
2	3,255	0,0492		
3	3,100	0,0045		
4	2,970	0,0040		
5	3,240	0,0427		
6	2,655	0,1431		
7	2,360	0,4533		
8	3,105	0,0051		
9	3,500	0,2179		
10	3,385	0,1237		
11	3,405	0,1382		
12	3,010	0,0005		
13	2,970	0,0040		
14	2,830	0,0413		
15	2,680	0,1248		
16	3,135	0,0104		
17	2,890	0,0205		
18	3,115	0,0067		
19	3,295	0,0685	N	4,308
20	3,025	0,0001	ΔN	0,0027
KESKIARVO	3,033		F	3,033
SUMMA $(x_i - \bar{x})^2$		1,5444	ΔF	0,064
N(N-1)		380	μ	0,70
KESKIARVON KESKIVIRHE	0,06		$\Delta\mu$	0,01
TULOS		3,03 ± 0,06	KITKAKERROIN	0,70 ± 0,01

Sääennusteohjattu sulanapito			
8.3.2020 klo 7:20			
Pinnalle jäädytetty kastelemalla ohut jääkerros			
Mittaus	Tulos	$(x_i - \bar{x})^2$	
1	2,105	0,1772	
2	2,355	0,0292	
3	2,500	0,0007	
4	2,515	0,0001	
5	2,655	0,0166	
6	2,605	0,0062	
7	2,370	0,0243	
8	2,605	0,0062	
9	2,500	0,0007	
10	2,435	0,0083	
11	2,850	0,1050	
12	2,305	0,0488	
13	2,725	0,0396	
14	2,425	0,0102	
15	2,740	0,0458	
16	3,010	0,2343	
17	2,380	0,0213	
18	2,300	0,0511	
19	2,390	0,0185	N 4,308
20	2,750	0,0502	ΔN 0,0027
KESKIARVO	2,526		F 2,526
SUMMA $(x_i - \bar{x})^2$		0,8944	ΔF 0,049
N(N-1)		380	μ 0,59
KESKIARVON KESKIVIRHE		0,05	$\Delta\mu$ 0,01
TULOS		2,53 ± 0,05	KITKAKERROIN 0,59 ± 0,01

LÄMPÖTILAN MITTAUKSEN EPÄTARKKUUDEN MITTAUSPÖYTÄKIRJA

	Mediaani (15 mittaus)	Yksittäinen havainto
Otoskeskiarvo	-4,938	-4,977
Otoskeskihajonta	0,049	2,000

Aika	Mittaus	Mediaani (15 mit- tausta)	$(x_i-x)^2$	Yksittäi- nen ha- vainto	$(x_i-x)^2$
22:44:19	1	-4,93	0,0000696	-5,07	0,0086769
22:44:19	2	-4,85	0,0078040	-5,00	0,0005359
22:44:19	3	-4,93	0,0000696	-5,07	0,0086769
22:44:19	4	-4,93	0,0000696	-5,00	0,0005359
22:44:19	5	-4,85	0,0078040	-5,00	0,0005359
22:44:19	6	-4,93	0,0000696	-5,00	0,0005359
22:44:19	7	-4,93	0,0000696	-5,00	0,0005359
22:44:19	8	-4,93	0,0000696	-4,93	0,0021949
22:44:19	9	-4,85	0,0078040	-4,93	0,0021949
22:44:19	10	-4,93	0,0000696	-4,93	0,0021949
22:44:19	11	-4,93	0,0000696	-5,00	0,0005359
22:44:19	12	-4,93	0,0000696	-4,93	0,0021949
22:44:19	13	-4,93	0,0000696	-5,00	0,0005359
22:44:19	14	-4,85	0,0078040	-4,93	0,0021949
22:44:19	15	-4,93	0,0000696	-5,00	0,0005359
22:44:19	16	-4,93	0,0000696	-5,00	0,0005359
22:44:19	17	-4,93	0,0000696	-5,00	0,0005359
22:44:19	18	-4,93	0,0000696	-4,85	0,0160909
22:44:19	19	-4,93	0,0000696	-4,93	0,0021949
22:44:19	20	-4,93	0,0000696	-4,93	0,0021949
22:44:19	21	-4,93	0,0000696	-4,93	0,0021949
22:44:20	22	-4,93	0,0000696	-4,93	0,0021949
22:44:20	23	-4,93	0,0000696	-4,33	0,4184149
22:44:20	24	-4,93	0,0000696	-4,93	0,0021949
22:44:20	25	-5,00	0,0038020	-4,93	0,0021949
22:44:20	26	-5,00	0,0038020	-5,07	0,0086769
22:44:20	27	-4,93	0,0000696	-5,00	0,0005359
22:44:20	28	-4,93	0,0000696	-5,00	0,0005359
22:44:20	29	-5,00	0,0038020	-4,63	0,1203049
22:44:20	30	-5,00	0,0038020	-4,93	0,0021949
22:44:20	31	-4,93	0,0000696	-4,93	0,0021949
22:44:20	32	-5,00	0,0038020	-5,00	0,0005359
22:44:20	33	-4,93	0,0000696	-1,08	15,1854399

22:44:20	34	-5,00	0,0038020	-1,15	14,6447809
22:44:20	35	-4,93	0,0000696	-1,23	14,0388849
22:44:20	36	-4,93	0,0000696	-1,38	12,9373299
22:44:20	37	-4,93	0,0000696	-1,08	15,1854399
22:44:20	38	-5,00	0,0038020	-1,38	12,9373299
22:44:20	39	-4,93	0,0000696	-1,82	9,9657019
22:44:20	40	-4,93	0,0000696	-1,60	11,4031159
22:44:20	41	-4,93	0,0000696	-1,67	10,9352569
22:44:20	42	-5,00	0,0038020	-1,60	11,4031159
22:44:20	43	-4,93	0,0000696	-2,49	6,1844229
22:44:20	44	-4,93	0,0000696	-2,71	5,1386089
22:44:20	45	-5,00	0,0038020	-3,15	3,3373809
22:44:20	46	-4,93	0,0000696	-3,74	1,5297979
22:44:20	47	-4,93	0,0000696	-3,60	1,8957159
22:44:20	48	-5,00	0,0038020	-3,97	1,0137469
22:44:20	49	-5,00	0,0038020	-4,19	0,6191329
22:44:20	50	-5,00	0,0038020	-4,41	0,3213189
22:44:20	51	-4,93	0,0000696	-4,63	0,1203049
22:44:20	52	-4,93	0,0000696	-4,85	0,0160909
22:44:20	53	-4,93	0,0000696	-4,93	0,0021949
22:44:20	54	-4,93	0,0000696	-5,15	0,0299809
22:44:20	55	-4,93	0,0000696	-6,48	2,2594599
22:44:20	56	-4,93	0,0000696	-6,41	2,0539189
22:44:20	57	-4,93	0,0000696	-7,00	4,0931359
22:44:20	58	-4,93	0,0000696	-7,30	5,3970259
22:44:20	59	-4,93	0,0000696	-7,30	5,3970259
22:44:20	60	-4,93	0,0000696	-7,37	5,7271669
22:44:20	61	-4,85	0,0078040	-7,67	7,2530569
22:44:20	62	-4,93	0,0000696	-7,45	6,1164709
22:44:20	63	-4,93	0,0000696	-8,12	9,8793919
22:44:20	64	-4,93	0,0000696	-8,19	10,3243329
22:44:20	65	-4,93	0,0000696	-8,42	11,8552819
22:44:20	66	-4,93	0,0000696	-8,42	11,8552819
22:44:20	67	-4,93	0,0000696	-8,42	11,8552819
22:44:20	68	-4,93	0,0000696	-8,42	11,8552819
22:44:20	69	-4,93	0,0000696	-8,42	11,8552819
22:44:20	70	-4,93	0,0000696	-8,42	11,8552819
22:44:21	71	-4,93	0,0000696	-8,34	11,3107779
22:44:21	72	-4,93	0,0000696	-5,59	0,3759529
22:44:21	73	-4,93	0,0000696	-4,48	0,2468599
22:44:21	74	-4,93	0,0000696	-5,07	0,0086769
22:44:21	75	-4,93	0,0000696	-4,93	0,0021949
22:44:21	76	-4,93	0,0000696	-5,00	0,0005359
22:44:21	77	-4,93	0,0000696	-5,00	0,0005359
22:44:21	78	-4,93	0,0000696	-5,00	0,0005359

22:44:21	79	-4,93	0,0000696	-5,00	0,0005359
22:44:21	80	-4,93	0,0000696	-5,00	0,0005359
22:44:21	81	-4,93	0,0000696	-5,00	0,0005359
22:44:21	82	-4,93	0,0000696	-4,93	0,0021949
22:44:21	83	-4,93	0,0000696	-5,00	0,0005359
22:44:21	84	-4,93	0,0000696	-5,00	0,0005359
22:44:21	85	-4,85	0,0078040	-4,93	0,0021949
22:44:21	86	-4,93	0,0000696	-5,00	0,0005359
22:44:21	87	-4,93	0,0000696	-5,00	0,0005359
22:44:21	88	-4,93	0,0000696	-4,93	0,0021949
22:44:21	89	-4,93	0,0000696	-5,00	0,0005359
22:44:21	90	-4,93	0,0000696	-4,85	0,0160909
22:44:21	91	-4,93	0,0000696	-4,93	0,0021949
22:44:21	92	-4,70	0,0568060	-4,93	0,0021949
22:44:21	93	-5,00	0,0038020	-4,93	0,0021949
22:44:21	94	-4,93	0,0000696	-4,93	0,0021949
22:44:21	95	-4,93	0,0000696	-4,78	0,0387499
22:44:21	96	-4,93	0,0000696	-4,93	0,0021949
22:44:21	97	-4,93	0,0000696	-4,93	0,0021949
22:44:21	98	-4,93	0,0000696	-4,48	0,2468599
22:44:21	99	-4,85	0,0078040	-4,93	0,0021949
22:44:21	100	-4,93	0,0000696	-4,93	0,0021949
22:44:21	101	-5,00	0,0038020	-5,00	0,0005359
22:44:21	102	-4,93	0,0000696	-5,00	0,0005359
22:44:21	103	-4,93	0,0000696	-4,93	0,0021949
22:44:21	104	-5,00	0,0038020	-1,08	15,1854399
22:44:21	105	-4,93	0,0000696	-1,23	14,0388849
22:44:21	106	-4,93	0,0000696	-1,23	14,0388849
22:44:21	107	-4,93	0,0000696	-1,15	14,6447809
22:44:21	108	-4,93	0,0000696	-1,38	12,9373299
22:44:21	109	-4,93	0,0000696	-1,82	9,9657019
22:44:21	110	-5,00	0,0038020	-1,67	10,9352569
22:44:21	111	-5,00	0,0038020	-1,97	9,0411469
22:44:21	112	-5,00	0,0038020	-1,60	11,4031159
22:44:21	113	-5,00	0,0038020	-2,41	6,5887189
22:44:21	114	-5,00	0,0038020	-3,01	3,8684989
22:44:21	115	-5,00	0,0038020	-3,52	2,1224119
22:44:21	116	-4,93	0,0000696	-3,82	1,3383019
22:44:21	117	-4,93	0,0000696	-4,04	0,8776879
22:44:21	118	-4,93	0,0000696	-4,41	0,3213189
22:44:21	119	-4,93	0,0000696	-4,56	0,1737639
22:44:21	120	-4,93	0,0000696	-4,85	0,0160909
22:44:22	121	-4,93	0,0000696	-4,85	0,0160909
22:44:22	122	-4,93	0,0000696	-5,89	0,8338429
22:44:22	123	-5,00	0,0038020	-6,78	3,2513499

22:44:22	124	-4,93	0,0000696	-7,07	4,3812769
22:44:22	125	-4,93	0,0000696	-7,52	6,4676119
22:44:22	126	-5,00	0,0038020	-7,22	5,0317219
22:44:22	127	-4,93	0,0000696	-7,45	6,1164709
22:44:22	128	-4,93	0,0000696	-7,60	6,8809159
22:44:22	129	-4,93	0,0000696	-7,60	6,8809159
22:44:22	130	-4,93	0,0000696	-8,19	10,3243329
22:44:22	131	-4,93	0,0000696	-8,49	12,3422229
22:44:22	132	-4,93	0,0000696	-8,42	11,8552819
22:44:22	133	-4,93	0,0000696	-8,42	11,8552819
22:44:22	134	-4,93	0,0000696	-8,42	11,8552819
22:44:22	135	-4,85	0,0078040	-8,42	11,8552819
22:44:22	136	-4,93	0,0000696	-8,42	11,8552819
22:44:22	137	-4,93	0,0000696	-5,15	0,0299809
22:44:22	138	-4,93	0,0000696	-5,07	0,0086769
22:44:22	139	-4,93	0,0000696	-5,00	0,0005359
22:44:22	140	-4,93	0,0000696	-5,15	0,0299809
22:44:22	141	-4,93	0,0000696	-5,07	0,0086769
22:44:22	142	-4,85	0,0078040	-5,00	0,0005359
22:44:22	143	-4,93	0,0000696	-5,00	0,0005359
22:44:22	144	-4,93	0,0000696	-4,93	0,0021949
22:44:22	145	-4,93	0,0000696	-5,00	0,0005359
22:44:22	146	-4,93	0,0000696	-4,93	0,0021949
22:44:22	147	-4,93	0,0000696	-5,00	0,0005359
22:44:22	148	-4,93	0,0000696	-5,00	0,0005359
22:44:22	149	-4,93	0,0000696	-5,00	0,0005359
22:44:22	150	-4,93	0,0000696	-4,93	0,0021949
22:44:22	151	-5,00	0,0038020	-5,00	0,0005359
22:44:22	152	-4,93	0,0000696	-4,93	0,0021949
22:44:22	153	-4,93	0,0000696	-4,93	0,0021949
22:44:22	154	-4,93	0,0000696	-4,93	0,0021949
22:44:22	155	-4,93	0,0000696	-4,93	0,0021949
22:44:22	156	-4,93	0,0000696	-5,00	0,0005359
22:44:22	157	-5,00	0,0038020	-5,15	0,0299809
22:44:22	158	-4,93	0,0000696	-4,93	0,0021949
22:44:22	159	-5,00	0,0038020	-4,93	0,0021949
22:44:22	160	-4,93	0,0000696	-5,00	0,0005359
22:44:22	161	-4,93	0,0000696	-4,93	0,0021949
22:44:22	162	-5,00	0,0038020	-5,00	0,0005359
22:44:22	163	-4,93	0,0000696	-5,30	0,1044259
22:44:22	164	-4,93	0,0000696	-4,93	0,0021949
22:44:22	165	-4,93	0,0000696	-1,15	14,6447809
22:44:22	166	-4,93	0,0000696	-1,30	13,5192259
22:44:22	167	-4,93	0,0000696	-1,15	14,6447809
22:44:22	168	-5,00	0,0038020	-1,15	14,6447809

22:44:23	169	-5,00	0,0038020	-1,30	13,5192259
22:44:23	170	-4,93	0,0000696	-1,67	10,9352569
22:44:23	171	-4,93	0,0000696	-1,67	10,9352569
22:44:23	172	-5,00	0,0038020	-1,75	10,4125609
22:44:23	173	-4,93	0,0000696	-2,12	8,1615919
22:44:23	174	-5,00	0,0038020	-2,56	5,8411639
22:44:23	175	-5,00	0,0038020	-2,49	6,1844229
22:44:23	176	-5,00	0,0038020	-3,82	1,3383019
22:44:23	177	-4,93	0,0000696	-3,74	1,5297979
22:44:23	178	-5,00	0,0038020	-4,04	0,8776879
22:44:23	179	-4,93	0,0000696	-4,41	0,3213189
22:44:23	180	-5,00	0,0038020	-4,63	0,1203049
22:44:23	181	-5,00	0,0038020	-4,70	0,0766459
22:44:23	182	-4,93	0,0000696	-4,93	0,0021949
22:44:23	183	-4,93	0,0000696	-5,89	0,8338429
22:44:23	184	-4,93	0,0000696	-6,70	2,9692459
22:44:23	185	-4,93	0,0000696	-6,85	3,5086909
22:44:23	186	-5,00	0,0038020	-7,30	5,3970259
22:44:23	187	-4,93	0,0000696	-6,85	3,5086909
22:44:23	188	-4,93	0,0000696	-7,45	6,1164709
22:44:23	189	-4,93	0,0000696	-7,52	6,4676119
22:44:23	190	-4,93	0,0000696	-7,97	8,9589469
22:44:23	191	-4,93	0,0000696	-8,19	10,3243329
22:44:23	192	-4,93	0,0000696	-8,42	11,8552819
22:44:23	193	-4,93	0,0000696	-8,34	11,3107779
22:44:23	194	-4,93	0,0000696	-8,34	11,3107779
22:44:23	195	-4,85	0,0078040	-8,34	11,3107779
22:44:23	196	-4,93	0,0000696	-8,34	11,3107779
22:44:23	197	-4,93	0,0000696	-8,34	11,3107779
22:44:23	198	-4,93	0,0000696	-5,15	0,0299809
22:44:23	199	-4,93	0,0000696	-5,07	0,0086769
22:44:23	200	-4,93	0,0000696	-5,00	0,0005359
22:44:23	201	-4,93	0,0000696	-5,00	0,0005359
22:44:23	202	-4,93	0,0000696	-5,00	0,0005359
22:44:23	203	-4,93	0,0000696	-5,00	0,0005359
22:44:23	204	-4,93	0,0000696	-5,07	0,0086769
22:44:23	205	-4,93	0,0000696	-5,30	0,1044259
22:44:23	206	-4,93	0,0000696	-5,00	0,0005359
22:44:23	207	-4,93	0,0000696	-4,93	0,0021949
22:44:23	208	-4,93	0,0000696	-5,00	0,0005359
22:44:23	209	-4,93	0,0000696	-5,00	0,0005359
22:44:23	210	-5,00	0,0038020	-4,93	0,0021949
22:44:23	211	-4,93	0,0000696	-5,00	0,0005359
22:44:23	212	-4,93	0,0000696	-5,00	0,0005359
22:44:23	213	-4,85	0,0078040	-4,93	0,0021949

22:44:23	214	-4,93	0,0000696	-4,93	0,0021949
22:44:23	215	-4,93	0,0000696	-4,93	0,0021949
22:44:23	216	-4,93	0,0000696	-4,93	0,0021949
22:44:23	217	-4,93	0,0000696	-5,00	0,0005359
22:44:23	218	-4,93	0,0000696	-4,93	0,0021949
22:44:24	219	-4,93	0,0000696	-4,93	0,0021949
22:44:24	220	-4,93	0,0000696	-5,00	0,0005359
22:44:24	221	-4,93	0,0000696	-4,93	0,0021949
22:44:24	222	-4,93	0,0000696	-4,93	0,0021949
22:44:24	223	-5,00	0,0038020	-4,93	0,0021949
22:44:24	224	-4,93	0,0000696	-4,93	0,0021949
22:44:24	225	-5,00	0,0038020	-4,93	0,0021949
22:44:24	226	-4,93	0,0000696	-1,00	15,8153359
22:44:24	227	-4,93	0,0000696	-1,00	15,8153359
22:44:24	228	-4,93	0,0000696	-1,23	14,0388849
22:44:24	229	-5,00	0,0038020	-1,00	15,8153359
22:44:24	230	-5,00	0,0038020	-1,23	14,0388849
22:44:24	231	-4,93	0,0000696	-1,38	12,9373299
22:44:24	232	-5,00	0,0038020	-1,52	11,9498119
22:44:24	233	-5,00	0,0038020	-1,67	10,9352569
22:44:24	234	-5,00	0,0038020	-1,67	10,9352569
22:44:24	235	-5,00	0,0038020	-2,41	6,5887189
22:44:24	236	-5,00	0,0038020	-2,78	4,8261499
22:44:24	237	-5,00	0,0038020	-3,23	3,0514849
22:44:24	238	-4,93	0,0000696	-3,82	1,3383019
22:44:24	239	-4,93	0,0000696	-3,89	1,1812429
22:44:24	240	-5,00	0,0038020	-4,11	0,7514289
22:44:24	241	-5,00	0,0038020	-4,56	0,1737639
22:44:24	242	-4,93	0,0000696	-4,78	0,0387499
22:44:24	243	-4,93	0,0000696	-4,85	0,0160909
22:44:24	244	-4,93	0,0000696	-5,07	0,0086769
22:44:24	245	-4,93	0,0000696	-6,26	1,6464739
22:44:24	246	-4,93	0,0000696	-6,48	2,2594599
22:44:24	247	-4,93	0,0000696	-7,22	5,0317219
22:44:24	248	-4,93	0,0000696	-7,37	5,7271669
22:44:24	249	-4,85	0,0078040	-7,52	6,4676119
22:44:24	250	-4,93	0,0000696	-7,45	6,1164709
22:44:24	251	-4,93	0,0000696	-7,89	8,4864429
22:44:24	252	-4,93	0,0000696	-8,12	9,8793919
22:44:24	253	-4,93	0,0000696	-8,42	11,8552819
22:44:24	254	-4,93	0,0000696	-8,34	11,3107779
22:44:24	255	-4,93	0,0000696	-8,34	11,3107779
22:44:24	256	-4,93	0,0000696	-8,42	11,8552819
22:44:24	257	-4,41	0,2791432	-8,34	11,3107779
22:44:24	258	-4,93	0,0000696	-8,34	11,3107779

22:44:24	259	-4,93	0,0000696	-5,52	0,2950119
22:44:24	260	-4,93	0,0000696	-5,07	0,0086769
22:44:24	261	-4,93	0,0000696	-5,07	0,0086769
22:44:24	262	-4,93	0,0000696	-5,00	0,0005359
22:44:24	263	-4,93	0,0000696	-5,00	0,0005359
22:44:24	264	-4,93	0,0000696	-5,00	0,0005359
22:44:24	265	-4,93	0,0000696	-5,07	0,0086769
22:44:24	266	-4,93	0,0000696	-4,93	0,0021949
22:44:24	267	-4,93	0,0000696	-5,00	0,0005359
22:44:25	268	-4,93	0,0000696	-5,00	0,0005359
22:44:25	269	-4,93	0,0000696	-5,00	0,0005359
22:44:25	270	-4,93	0,0000696	-5,00	0,0005359
22:44:25	271	-4,93	0,0000696	-4,93	0,0021949
22:44:25	272	-4,93	0,0000696	-5,00	0,0005359
22:44:25	273	-4,93	0,0000696	-5,15	0,0299809
22:44:25	274	-4,93	0,0000696	-4,93	0,0021949
22:44:25	275	-4,85	0,0078040	-4,93	0,0021949
22:44:25	276	-4,93	0,0000696	-4,93	0,0021949
22:44:25	277	-4,93	0,0000696	-4,93	0,0021949
22:44:25	278	-4,93	0,0000696	-4,93	0,0021949
22:44:25	279	-4,93	0,0000696	-4,93	0,0021949
22:44:25	280	-4,93	0,0000696	-4,93	0,0021949
22:44:25	281	-5,00	0,0038020	-4,93	0,0021949
22:44:25	282	-4,93	0,0000696	-4,93	0,0021949
22:44:25	283	-4,93	0,0000696	-4,93	0,0021949
22:44:25	284	-4,93	0,0000696	-4,93	0,0021949
22:44:25	285	-4,93	0,0000696	-4,93	0,0021949
22:44:25	286	-4,93	0,0000696	-4,93	0,0021949
22:44:25	287	-4,93	0,0000696	-1,23	14,0388849
22:44:25	288	-4,93	0,0000696	-1,08	15,1854399
22:44:25	289	-5,00	0,0038020	-1,30	13,5192259
22:44:25	290	-5,00	0,0038020	-1,23	14,0388849
22:44:25	291	-5,00	0,0038020	-1,30	13,5192259
22:44:25	292	-5,00	0,0038020	-1,75	10,4125609
22:44:25	293	-5,00	0,0038020	-2,04	8,6250879
22:44:25	294	-5,00	0,0038020	-1,60	11,4031159
22:44:25	295	-4,93	0,0000696	-2,41	6,5887189
22:44:25	296	-5,00	0,0038020	-2,64	5,4608679
22:44:25	297	-5,00	0,0038020	-3,15	3,3373809
22:44:25	298	-5,00	0,0038020	-3,82	1,3383019
22:44:25	299	-5,00	0,0038020	-3,82	1,3383019
22:44:25	300	-5,00	0,0038020	-4,04	0,8776879
22:44:25	301	-5,00	0,0038020	-4,41	0,3213189
22:44:25	302	-5,00	0,0038020	-4,04	0,8776879
22:44:25	303	-5,00	0,0038020	-4,78	0,0387499

22:44:25	304	-4,93	0,0000696	-4,85	0,0160909
22:44:25	305	-4,93	0,0000696	-5,67	0,4804569
22:44:25	306	-5,00	0,0038020	-6,70	2,9692459
22:44:25	307	-4,93	0,0000696	-7,15	4,7225809
22:44:25	308	-5,00	0,0038020	-7,30	5,3970259
22:44:25	309	-4,93	0,0000696	-7,37	5,7271669
22:44:25	310	-4,93	0,0000696	-7,52	6,4676119
22:44:25	311	-4,93	0,0000696	-7,52	6,4676119
22:44:25	312	-4,93	0,0000696	-7,97	8,9589469
22:44:25	313	-4,93	0,0000696	-8,27	10,8448369
22:44:25	314	-4,93	0,0000696	-8,49	12,3422229
22:44:25	315	-4,93	0,0000696	-8,42	11,8552819
22:44:25	316	-4,93	0,0000696	-8,42	11,8552819
22:44:26	317	-4,93	0,0000696	-8,42	11,8552819
22:44:26	318	-4,93	0,0000696	-8,42	11,8552819
22:44:26	319	-4,93	0,0000696	-8,34	11,3107779
22:44:26	320	-4,85	0,0078040	-4,85	0,0160909
22:44:26	321	-4,85	0,0078040	-4,48	0,2468599
22:44:26	322	-4,93	0,0000696	-5,00	0,0005359
22:44:26	323	-4,93	0,0000696	-5,00	0,0005359
22:44:26	324	-4,85	0,0078040	-5,00	0,0005359
22:44:26	325	-4,93	0,0000696	-5,00	0,0005359
22:44:26	326	-4,93	0,0000696	-5,07	0,0086769
22:44:26	327	-4,93	0,0000696	-5,00	0,0005359
22:44:26	328	-4,93	0,0000696	-5,00	0,0005359
22:44:26	329	-4,93	0,0000696	-5,00	0,0005359
22:44:26	330	-4,93	0,0000696	-5,00	0,0005359
22:44:26	331	-4,63	0,0950736	-4,93	0,0021949
22:44:26	332	-4,93	0,0000696	-4,93	0,0021949
22:44:26	333	-4,93	0,0000696	-5,00	0,0005359
22:44:26	334	-4,93	0,0000696	-5,00	0,0005359
22:44:26	335	-4,93	0,0000696	-4,93	0,0021949
22:44:26	336	-4,93	0,0000696	-4,93	0,0021949
22:44:26	337	-4,93	0,0000696	-4,93	0,0021949
22:44:26	338	-4,93	0,0000696	-5,00	0,0005359
22:44:26	339	-5,00	0,0038020	-4,93	0,0021949
22:44:26	340	-4,93	0,0000696	-4,93	0,0021949
22:44:26	341	-5,00	0,0038020	-5,07	0,0086769
22:44:26	342	-4,93	0,0000696	-4,93	0,0021949
22:44:26	343	-4,93	0,0000696	-5,00	0,0005359
22:44:26	344	-4,93	0,0000696	-5,00	0,0005359
22:44:26	345	-4,93	0,0000696	-5,00	0,0005359
22:44:26	346	-4,93	0,0000696	-4,93	0,0021949
22:44:26	347	-5,00	0,0038020	-4,85	0,0160909
22:44:26	348	-4,93	0,0000696	-1,08	15,1854399

22:44:26	349	-5,00	0,0038020	-0,93	16,3769949
22:44:26	350	-4,93	0,0000696	-1,15	14,6447809
22:44:26	351	-4,93	0,0000696	-1,08	15,1854399
22:44:26	352	-4,93	0,0000696	-1,38	12,9373299
22:44:26	353	-4,93	0,0000696	-1,52	11,9498119
22:44:26	354	-5,00	0,0038020	-1,52	11,9498119
22:44:26	355	-4,93	0,0000696	-1,90	9,4670059
22:44:26	356	-5,00	0,0038020	-2,04	8,6250879
22:44:26	357	-5,00	0,0038020	-2,41	6,5887189
22:44:26	358	-4,93	0,0000696	-3,01	3,8684989
22:44:26	359	-4,93	0,0000696	-3,37	2,5819669
22:44:26	360	-4,93	0,0000696	-3,74	1,5297979
22:44:26	361	-5,00	0,0038020	-4,04	0,8776879
22:44:26	362	-4,93	0,0000696	-4,33	0,4184149
22:44:26	363	-4,93	0,0000696	-4,63	0,1203049
22:44:26	364	-5,00	0,0038020	-4,78	0,0387499
22:44:26	365	-4,93	0,0000696	-4,85	0,0160909
22:44:27	366	-4,93	0,0000696	-5,59	0,3759529
22:44:27	367	-5,00	0,0038020	-6,48	2,2594599
22:44:27	368	-4,93	0,0000696	-6,11	1,2840289
22:44:27	369	-4,93	0,0000696	-7,22	5,0317219
22:44:27	370	-4,93	0,0000696	-7,30	5,3970259
22:44:27	371	-4,93	0,0000696	-7,52	6,4676119
22:44:27	372	-4,93	0,0000696	-7,52	6,4676119
22:44:27	373	-4,93	0,0000696	-7,97	8,9589469
22:44:27	374	-4,85	0,0078040	-8,19	10,3243329
22:44:27	375	-4,85	0,0078040	-8,42	11,8552819
22:44:27	376	-4,93	0,0000696	-8,42	11,8552819
22:44:27	377	-4,93	0,0000696	-8,42	11,8552819
22:44:27	378	-4,93	0,0000696	-8,42	11,8552819
22:44:27	379	-4,93	0,0000696	-8,42	11,8552819
22:44:27	380	-4,93	0,0000696	-8,42	11,8552819
22:44:27	381	-4,93	0,0000696	-5,15	0,0299809
22:44:27	382	-4,93	0,0000696	-5,07	0,0086769
22:44:27	383	-4,93	0,0000696	-5,00	0,0005359
22:44:27	384	-4,93	0,0000696	-5,00	0,0005359
22:44:27	385	-4,93	0,0000696	-5,00	0,0005359
22:44:27	386	-4,93	0,0000696	-5,00	0,0005359
22:44:27	387	-4,93	0,0000696	-5,00	0,0005359
22:44:27	388	-4,93	0,0000696	-5,00	0,0005359
22:44:27	389	-4,93	0,0000696	-4,93	0,0021949
22:44:27	390	-4,56	0,1431412	-4,93	0,0021949
22:44:27	391	-4,93	0,0000696	-5,00	0,0005359
22:44:27	392	-4,93	0,0000696	-4,93	0,0021949
22:44:27	393	-4,93	0,0000696	-5,00	0,0005359

22:44:27	394	-4,93	0,0000696	-4,93	0,0021949
22:44:27	395	-4,93	0,0000696	-5,00	0,0005359
22:44:27	396	-4,93	0,0000696	-4,93	0,0021949
22:44:27	397	-4,93	0,0000696	-4,93	0,0021949
22:44:27	398	-4,93	0,0000696	-4,93	0,0021949
22:44:27	399	-4,93	0,0000696	-4,93	0,0021949
22:44:27	400	-4,93	0,0000696	-4,93	0,0021949
22:44:27	401	-4,93	0,0000696	-5,22	0,0591219
22:44:27	402	-5,00	0,0038020	-4,93	0,0021949
22:44:27	403	-5,00	0,0038020	-5,30	0,1044259
22:44:27	404	-5,00	0,0038020	-5,00	0,0005359
22:44:27	405	-4,93	0,0000696	-4,93	0,0021949
22:44:27	406	-5,00	0,0038020	-4,93	0,0021949
22:44:27	407	-5,00	0,0038020	-4,93	0,0021949
22:44:27	408	-4,93	0,0000696	-4,93	0,0021949
22:44:27	409	-5,00	0,0038020	-1,08	15,1854399
22:44:27	410	-4,93	0,0000696	-1,15	14,6447809
22:44:27	411	-5,00	0,0038020	-1,23	14,0388849
22:44:27	412	-5,00	0,0038020	-1,23	14,0388849
22:44:27	413	-5,00	0,0038020	-1,23	14,0388849
22:44:27	414	-5,00	0,0038020	-1,67	10,9352569
22:44:27	415	-4,93	0,0000696	-2,04	8,6250879
22:44:28	416	-5,00	0,0038020	-1,60	11,4031159
22:44:28	417	-5,00	0,0038020	-2,34	6,9529779
22:44:28	418	-4,93	0,0000696	-2,71	5,1386089
22:44:28	419	-5,00	0,0038020	-3,01	3,8684989
22:44:28	420	-5,00	0,0038020	-3,82	1,3383019
22:44:28	421	-5,00	0,0038020	-3,74	1,5297979
22:44:28	422	-4,93	0,0000696	-4,11	0,7514289
22:44:28	423	-4,93	0,0000696	-4,41	0,3213189
22:44:28	424	-4,93	0,0000696	-4,78	0,0387499
22:44:28	425	-4,93	0,0000696	-4,85	0,0160909
22:44:28	426	-5,00	0,0038020	-4,48	0,2468599
22:44:28	427	-5,00	0,0038020	-6,11	1,2840289
22:44:28	428	-4,93	0,0000696	-6,41	2,0539189
22:44:28	429	-4,93	0,0000696	-7,37	5,7271669
22:44:28	430	-4,93	0,0000696	-7,45	6,1164709
22:44:28	431	-4,93	0,0000696	-7,30	5,3970259
22:44:28	432	-4,85	0,0078040	-7,60	6,8809159
22:44:28	433	-4,93	0,0000696	-7,74	7,6349979
22:44:28	434	-4,78	0,0250716	-8,19	10,3243329
22:44:28	435	-4,93	0,0000696	-8,19	10,3243329
22:44:28	436	-4,41	0,2791432	-8,42	11,8552819
22:44:28	437	-4,93	0,0000696	-8,49	12,3422229
22:44:28	438	-4,85	0,0078040	-8,42	11,8552819

22:44:28	439	-4,93	0,0000696	-8,49	12,3422229
22:44:28	440	-4,78	0,0250716	-8,42	11,8552819
22:44:28	441	-4,93	0,0000696	-8,34	11,3107779
22:44:28	442	-4,93	0,0000696	-5,07	0,0086769
22:44:28	443	-4,93	0,0000696	-5,07	0,0086769
22:44:28	444	-4,93	0,0000696	-5,07	0,0086769
22:44:28	445	-4,93	0,0000696	-5,00	0,0005359
22:44:28	446	-4,93	0,0000696	-5,00	0,0005359
22:44:28	447	-4,93	0,0000696	-5,00	0,0005359
22:44:28	448	-4,93	0,0000696	-4,85	0,0160909
22:44:28	449	-4,85	0,0078040	-4,93	0,0021949
22:44:28	450	-4,93	0,0000696	-5,00	0,0005359
22:44:28	451	-4,93	0,0000696	-4,93	0,0021949
22:44:28	452	-4,93	0,0000696	-5,00	0,0005359
22:44:28	453	-4,93	0,0000696	-4,93	0,0021949
22:44:28	454	-4,93	0,0000696	-5,00	0,0005359
22:44:28	455	-4,85	0,0078040	-4,93	0,0021949
22:44:28	456	-4,93	0,0000696	-5,00	0,0005359
22:44:28	457	-4,93	0,0000696	-4,93	0,0021949
22:44:28	458	-4,93	0,0000696	-5,00	0,0005359
22:44:28	459	-4,93	0,0000696	-5,00	0,0005359
22:44:28	460	-4,93	0,0000696	-5,00	0,0005359
22:44:28	461	-4,93	0,0000696	-4,93	0,0021949
22:44:28	462	-5,00	0,0038020	-4,93	0,0021949
22:44:28	463	-4,93	0,0000696	-4,93	0,0021949
22:44:28	464	-5,00	0,0038020	-4,93	0,0021949
22:44:29	465	-5,00	0,0038020	-4,93	0,0021949
22:44:29	466	-5,00	0,0038020	-4,93	0,0021949
22:44:29	467	-5,00	0,0038020	-4,85	0,0160909
22:44:29	468	-5,00	0,0038020	-5,00	0,0005359
22:44:29	469	-4,93	0,0000696	-1,60	11,4031159
22:44:29	470	-4,93	0,0000696	-0,86	16,9484539
22:44:29	471	-4,93	0,0000696	-1,23	14,0388849
22:44:29	472	-5,00	0,0038020	-0,93	16,3769949
22:44:29	473	-5,00	0,0038020	-1,15	14,6447809
22:44:29	474	-4,93	0,0000696	-1,38	12,9373299
22:44:29	475	-5,00	0,0038020	-1,60	11,4031159
22:44:29	476	-5,00	0,0038020	-1,67	10,9352569
22:44:29	477	-4,93	0,0000696	-1,75	10,4125609
22:44:29	478	-4,93	0,0000696	-2,56	5,8411639
22:44:29	479	-5,00	0,0038020	-2,78	4,8261499
22:44:29	480	-5,07	0,0173344	-3,15	3,3373809
22:44:29	481	-4,93	0,0000696	-3,89	1,1812429
22:44:29	482	-4,93	0,0000696	-3,97	1,0137469
22:44:29	483	-5,00	0,0038020	-4,19	0,6191329

22:44:29	484	-5,00	0,0038020	-4,56	0,1737639
22:44:29	485	-4,93	0,0000696	-4,78	0,0387499
22:44:29	486	-4,93	0,0000696	-4,93	0,0021949
22:44:29	487	-4,93	0,0000696	-5,30	0,1044259
22:44:29	488	-4,93	0,0000696	-6,26	1,6464739
22:44:29	489	-4,93	0,0000696	-6,48	2,2594599
22:44:29	490	-4,85	0,0078040	-7,45	6,1164709
22:44:29	491	-4,93	0,0000696	-7,37	5,7271669
22:44:29	492	-4,85	0,0078040	-7,52	6,4676119
22:44:29	493	-4,93	0,0000696	-7,45	6,1164709
22:44:29	494	-4,93	0,0000696	-7,89	8,4864429
22:44:29	495	-4,93	0,0000696	-8,19	10,3243329
22:44:29	496	-4,93	0,0000696	-8,34	11,3107779
22:44:29	497	-4,93	0,0000696	-8,34	11,3107779
22:44:29	498	-4,93	0,0000696	-8,34	11,3107779
22:44:29	499	-5,00	0,0038020	-8,42	11,8552819
22:44:29	500	-4,93	0,0000696	-8,34	11,3107779
22:44:29	501	-4,93	0,0000696	-8,34	11,3107779
22:44:29	502	-4,93	0,0000696	-5,22	0,0591219
22:44:29	503	-4,93	0,0000696	-5,07	0,0086769
22:44:29	504	-4,93	0,0000696	-5,00	0,0005359
22:44:29	505	-4,93	0,0000696	-5,07	0,0086769
22:44:29	506	-4,93	0,0000696	-4,93	0,0021949
22:44:29	507	-4,93	0,0000696	-5,00	0,0005359
22:44:29	508	-4,93	0,0000696	-5,07	0,0086769
22:44:29	509	-4,93	0,0000696	-5,00	0,0005359
22:44:29	510	-4,93	0,0000696	-5,00	0,0005359
22:44:29	511	-4,93	0,0000696	-5,00	0,0005359
22:44:29	512	-4,93	0,0000696	-5,00	0,0005359
22:44:29	513	-4,93	0,0000696	-5,00	0,0005359
22:44:30	514	-4,93	0,0000696	-4,93	0,0021949
22:44:30	515	-4,93	0,0000696	-4,93	0,0021949
22:44:30	516	-4,93	0,0000696	-5,00	0,0005359
22:44:30	517	-4,93	0,0000696	-4,93	0,0021949
22:44:30	518	-4,93	0,0000696	-4,93	0,0021949
22:44:30	519	-4,93	0,0000696	-4,93	0,0021949
22:44:30	520	-4,93	0,0000696	-4,93	0,0021949
22:44:30	521	-4,93	0,0000696	-4,93	0,0021949
22:44:30	522	-4,93	0,0000696	-4,93	0,0021949
22:44:30	523	-5,00	0,0038020	-4,93	0,0021949
22:44:30	524	-5,00	0,0038020	-5,00	0,0005359
22:44:30	525	-4,85	0,0078040	-4,93	0,0021949
22:44:30	526	-5,00	0,0038020	-4,93	0,0021949
22:44:30	527	-5,00	0,0038020	-5,00	0,0005359
22:44:30	528	-5,00	0,0038020	-4,93	0,0021949

22:44:30	529	-4,93	0,0000696	-4,85	0,0160909
22:44:30	530	-5,00	0,0038020	-1,15	14,6447809
22:44:30	531	-4,93	0,0000696	-1,08	15,1854399
22:44:30	532	-5,00	0,0038020	-1,15	14,6447809
22:44:30	533	-4,93	0,0000696	-1,30	13,5192259
22:44:30	534	-5,00	0,0038020	-1,45	12,4386709
22:44:30	535	-4,93	0,0000696	-1,82	9,9657019
22:44:30	536	-5,00	0,0038020	-1,97	9,0411469
22:44:30	537	-5,00	0,0038020	-1,90	9,4670059
22:44:30	538	-5,00	0,0038020	-2,41	6,5887189
22:44:30	539	-5,00	0,0038020	-2,56	5,8411639
22:44:30	540	-5,00	0,0038020	-3,08	3,5980399
22:44:30	541	-5,00	0,0038020	-3,82	1,3383019
22:44:30	542	-4,93	0,0000696	-3,74	1,5297979
22:44:30	543	-5,00	0,0038020	-3,97	1,0137469
22:44:30	544	-5,00	0,0038020	-4,41	0,3213189
22:44:30	545	-4,93	0,0000696	-4,56	0,1737639
22:44:30	546	-5,00	0,0038020	-4,85	0,0160909
22:44:30	547	-4,93	0,0000696	-4,93	0,0021949
22:44:30	548	-4,93	0,0000696	-5,89	0,8338429
22:44:30	549	-4,93	0,0000696	-6,70	2,9692459
22:44:30	550	-4,93	0,0000696	-7,00	4,0931359
22:44:30	551	-5,00	0,0038020	-7,37	5,7271669
22:44:30	552	-4,93	0,0000696	-7,30	5,3970259
22:44:30	553	-4,93	0,0000696	-7,45	6,1164709
22:44:30	554	-4,93	0,0000696	-7,60	6,8809159
22:44:30	555	-4,85	0,0078040	-8,12	9,8793919
22:44:30	556	-4,93	0,0000696	-8,27	10,8448369
22:44:30	557	-4,93	0,0000696	-8,42	11,8552819
22:44:30	558	-4,93	0,0000696	-8,42	11,8552819
22:44:30	559	-4,93	0,0000696	-8,42	11,8552819
22:44:30	560	-4,93	0,0000696	-8,42	11,8552819
22:44:30	561	-4,93	0,0000696	-8,42	11,8552819
22:44:30	562	-4,93	0,0000696	-8,34	11,3107779
22:44:31	563	-4,93	0,0000696	-5,15	0,0299809
22:44:31	564	-4,93	0,0000696	-5,07	0,0086769
22:44:31	565	-4,93	0,0000696	-5,00	0,0005359
22:44:31	566	-4,93	0,0000696	-5,00	0,0005359
22:44:31	567	-4,93	0,0000696	-5,00	0,0005359
22:44:31	568	-4,93	0,0000696	-5,00	0,0005359
22:44:31	569	-4,93	0,0000696	-5,00	0,0005359
22:44:31	570	-4,93	0,0000696	-5,00	0,0005359
22:44:31	571	-4,93	0,0000696	-5,00	0,0005359
22:44:31	572	-5,00	0,0038020	-4,93	0,0021949
22:44:31	573	-4,93	0,0000696	-5,00	0,0005359

22:44:31	574	-4,93	0,0000696	-4,93	0,0021949
22:44:31	575	-4,93	0,0000696	-5,00	0,0005359
22:44:31	576	-4,93	0,0000696	-4,93	0,0021949
22:44:31	577	-5,00	0,0038020	-5,00	0,0005359
22:44:31	578	-4,93	0,0000696	-4,85	0,0160909
22:44:31	579	-4,93	0,0000696	-5,00	0,0005359
22:44:31	580	-4,93	0,0000696	-4,85	0,0160909
22:44:31	581	-4,93	0,0000696	-4,93	0,0021949
22:44:31	582	-4,93	0,0000696	-4,93	0,0021949
22:44:31	583	-5,00	0,0038020	-4,93	0,0021949
22:44:31	584	-4,93	0,0000696	-5,00	0,0005359
22:44:31	585	-4,93	0,0000696	-5,00	0,0005359
22:44:31	586	-5,00	0,0038020	-4,93	0,0021949
22:44:31	587	-4,93	0,0000696	-5,30	0,1044259
22:44:31	588	-5,00	0,0038020	-4,85	0,0160909
22:44:31	589	-4,93	0,0000696	-4,93	0,0021949
22:44:31	590	-4,93	0,0000696	-4,93	0,0021949
22:44:31	591	-4,93	0,0000696	-1,23	14,0388849
22:44:31	592	-4,93	0,0000696	-1,08	15,1854399
22:44:31	593	-4,93	0,0000696	-1,38	12,9373299
22:44:31	594	-4,93	0,0000696	-1,23	14,0388849
22:44:31	595	-5,00	0,0038020	-1,30	13,5192259
22:44:31	596	-4,93	0,0000696	-1,90	9,4670059
22:44:31	597	-4,93	0,0000696	-1,97	9,0411469
22:44:31	598	-4,93	0,0000696	-0,78	17,6135499
22:44:31	599	-4,93	0,0000696	-2,71	5,1386089
22:44:31	600	-5,00	0,0038020	-2,64	5,4608679
22:44:31	601	-4,93	0,0000696	-3,08	3,5980399
22:44:31	602	-4,93	0,0000696	-3,82	1,3383019
22:44:31	603	-5,00	0,0038020	-3,97	1,0137469
22:44:31	604	-5,00	0,0038020	-4,04	0,8776879
22:44:31	605	-4,93	0,0000696	-4,56	0,1737639
22:44:31	606	-4,93	0,0000696	-4,63	0,1203049
22:44:31	607	-5,00	0,0038020	-4,85	0,0160909
22:44:31	608	-4,93	0,0000696	-5,00	0,0005359
22:44:31	609	-5,00	0,0038020	-6,11	1,2840289
22:44:31	610	-4,93	0,0000696	-5,89	0,8338429
22:44:31	611	-4,93	0,0000696	-7,22	5,0317219
22:44:31	612	-4,93	0,0000696	-7,30	5,3970259
22:44:32	613	-4,93	0,0000696	-7,00	4,0931359
22:44:32	614	-4,93	0,0000696	-7,52	6,4676119
22:44:32	615	-4,93	0,0000696	-7,74	7,6349979
22:44:32	616	-4,93	0,0000696	-8,12	9,8793919
22:44:32	617	-4,93	0,0000696	-8,19	10,3243329
22:44:32	618	-4,93	0,0000696	-8,42	11,8552819

22:44:32	619	-4,93	0,0000696	-8,42	11,8552819
22:44:32	620	-4,93	0,0000696	-8,42	11,8552819
22:44:32	621	-4,93	0,0000696	-8,42	11,8552819
22:44:32	622	-4,93	0,0000696	-8,34	11,3107779
22:44:32	623	-4,93	0,0000696	-8,34	11,3107779
22:44:32	624	-4,93	0,0000696	-5,07	0,0086769
22:44:32	625	-4,93	0,0000696	-5,07	0,0086769
22:44:32	626	-4,93	0,0000696	-5,37	0,1545669
22:44:32	627	-4,93	0,0000696	-5,00	0,0005359
22:44:32	628	-4,93	0,0000696	-5,00	0,0005359
22:44:32	629	-4,93	0,0000696	-5,00	0,0005359
22:44:32	630	-4,85	0,0078040	-5,00	0,0005359
22:44:32	631	-4,93	0,0000696	-5,00	0,0005359
22:44:32	632	-4,93	0,0000696	-5,00	0,0005359
22:44:32	633	-4,93	0,0000696	-5,00	0,0005359
22:44:32	634	-4,93	0,0000696	-5,00	0,0005359
22:44:32	635	-4,93	0,0000696	-5,00	0,0005359
22:44:32	636	-4,93	0,0000696	-5,00	0,0005359
22:44:32	637	-4,93	0,0000696	-4,93	0,0021949
22:44:32	638	-4,93	0,0000696	-5,00	0,0005359
22:44:32	639	-4,93	0,0000696	-4,93	0,0021949
22:44:32	640	-4,93	0,0000696	-5,07	0,0086769
22:44:32	641	-4,93	0,0000696	-5,00	0,0005359
22:44:32	642	-4,93	0,0000696	-5,00	0,0005359
22:44:32	643	-4,93	0,0000696	-4,93	0,0021949
22:44:32	644	-4,93	0,0000696	-4,93	0,0021949
22:44:32	645	-5,00	0,0038020	-4,93	0,0021949
22:44:32	646	-5,00	0,0038020	-5,00	0,0005359
22:44:32	647	-4,93	0,0000696	-4,93	0,0021949
22:44:32	648	-5,00	0,0038020	-5,00	0,0005359
22:44:32	649	-5,00	0,0038020	-4,93	0,0021949
22:44:32	650	-5,00	0,0038020	-4,93	0,0021949
22:44:32	651	-4,93	0,0000696	-4,93	0,0021949
22:44:32	652	-5,00	0,0038020	-1,15	14,6447809
22:44:32	653	-4,93	0,0000696	-1,08	15,1854399
22:44:32	654	-4,93	0,0000696	-1,23	14,0388849
22:44:32	655	-5,00	0,0038020	-1,15	14,6447809
22:44:32	656	-5,00	0,0038020	-1,38	12,9373299
22:44:32	657	-5,00	0,0038020	-2,19	7,7665329
22:44:32	658	-4,93	0,0000696	-1,97	9,0411469
22:44:32	659	-5,00	0,0038020	-1,45	12,4386709
22:44:32	660	-4,93	0,0000696	-2,49	6,1844229
22:44:33	661	-4,93	0,0000696	-2,78	4,8261499
22:44:33	662	-5,00	0,0038020	-3,23	3,0514849
22:44:33	663	-4,93	0,0000696	-3,82	1,3383019

22:44:33	664	-5,00	0,0038020	-3,89	1,1812429
22:44:33	665	-4,93	0,0000696	-4,11	0,7514289
22:44:33	666	-5,00	0,0038020	-4,48	0,2468599
22:44:33	667	-4,93	0,0000696	-4,70	0,0766459
22:44:33	668	-4,93	0,0000696	-4,85	0,0160909
22:44:33	669	-4,93	0,0000696	-5,07	0,0086769
22:44:33	670	-4,93	0,0000696	-6,18	1,4475699
22:44:33	671	-5,00	0,0038020	-6,41	2,0539189
22:44:33	672	-5,00	0,0038020	-7,22	5,0317219
22:44:33	673	-4,93	0,0000696	-7,37	5,7271669
22:44:33	674	-4,93	0,0000696	-7,37	5,7271669
22:44:33	675	-4,93	0,0000696	-7,52	6,4676119
22:44:33	676	-4,85	0,0078040	-7,82	8,0835019
22:44:33	677	-4,93	0,0000696	-8,12	9,8793919
22:44:33	678	-4,93	0,0000696	-8,27	10,8448369
22:44:33	679	-4,93	0,0000696	-8,34	11,3107779
22:44:33	680	-4,93	0,0000696	-8,42	11,8552819
22:44:33	681	-4,93	0,0000696	-8,34	11,3107779
22:44:33	682	-4,93	0,0000696	-8,42	11,8552819
22:44:33	683	-4,93	0,0000696	-8,34	11,3107779
22:44:33	684	-4,93	0,0000696	-7,00	4,0931359
22:44:33	685	-4,93	0,0000696	-5,07	0,0086769
22:44:33	686	-4,93	0,0000696	-5,07	0,0086769
22:44:33	687	-4,93	0,0000696	-5,00	0,0005359
22:44:33	688	-4,93	0,0000696	-5,07	0,0086769
22:44:33	689	-4,93	0,0000696	-5,00	0,0005359
22:44:33	690	-4,85	0,0078040	-5,07	0,0086769
22:44:33	691	-4,93	0,0000696	-4,93	0,0021949
22:44:33	692	-4,93	0,0000696	-4,93	0,0021949
22:44:33	693	-4,93	0,0000696	-5,00	0,0005359
22:44:33	694	-4,93	0,0000696	-5,00	0,0005359
22:44:33	695	-4,93	0,0000696	-4,93	0,0021949
22:44:33	696	-4,93	0,0000696	-4,93	0,0021949
22:44:33	697	-4,85	0,0078040	-5,00	0,0005359
22:44:33	698	-4,93	0,0000696	-5,00	0,0005359
22:44:33	699	-4,93	0,0000696	-4,93	0,0021949
22:44:33	700	-4,93	0,0000696	-5,00	0,0005359
22:44:33	701	-5,00	0,0038020	-4,93	0,0021949
22:44:33	702	-4,85	0,0078040	-5,00	0,0005359
22:44:33	703	-5,00	0,0038020	-4,93	0,0021949
22:44:33	704	-4,93	0,0000696	-4,93	0,0021949
22:44:33	705	-4,93	0,0000696	-4,93	0,0021949
22:44:33	706	-4,93	0,0000696	-4,93	0,0021949
22:44:33	707	-4,93	0,0000696	-5,00	0,0005359
22:44:33	708	-4,93	0,0000696	-4,93	0,0021949

22:44:33	709	-4,85	0,0078040	-4,93	0,0021949
22:44:34	710	-4,93	0,0000696	-4,93	0,0021949
22:44:34	711	-5,00	0,0038020	-5,00	0,0005359
22:44:34	712	-4,93	0,0000696	-1,23	14,0388849
22:44:34	713	-4,93	0,0000696	-1,15	14,6447809
22:44:34	714	-4,93	0,0000696	-1,15	14,6447809
22:44:34	715	-4,93	0,0000696	-1,38	12,9373299
22:44:34	716	-5,00	0,0038020	-1,38	12,9373299
22:44:34	717	-4,93	0,0000696	-1,67	10,9352569
22:44:34	718	-5,00	0,0038020	-1,67	10,9352569
22:44:34	719	-5,00	0,0038020	-1,75	10,4125609
22:44:34	720	-4,93	0,0000696	-2,41	6,5887189
22:44:34	721	-5,00	0,0038020	-2,56	5,8411639
22:44:34	722	-4,93	0,0000696	-3,08	3,5980399
22:44:34	723	-5,00	0,0038020	-3,52	2,1224119
22:44:34	724	-4,93	0,0000696	-3,74	1,5297979
22:44:34	725	-4,93	0,0000696	-4,04	0,8776879
22:44:34	726	-5,00	0,0038020	-4,41	0,3213189
22:44:34	727	-5,00	0,0038020	-4,19	0,6191329
22:44:34	728	-4,93	0,0000696	-4,85	0,0160909
22:44:34	729	-5,00	0,0038020	-4,85	0,0160909
22:44:34	730	-4,93	0,0000696	-5,89	0,8338429
22:44:34	731	-4,93	0,0000696	-6,55	2,4748009
22:44:34	732	-4,93	0,0000696	-7,22	5,0317219
22:44:34	733	-4,93	0,0000696	-7,37	5,7271669
22:44:34	734	-5,00	0,0038020	-7,30	5,3970259
22:44:34	735	-4,85	0,0078040	-7,52	6,4676119
22:44:34	736	-4,85	0,0078040	-7,52	6,4676119
22:44:34	737	-4,93	0,0000696	-8,04	9,3828879
22:44:34	738	-4,93	0,0000696	-8,27	10,8448369
22:44:34	739	-4,85	0,0078040	-8,42	11,8552819
22:44:34	740	-4,85	0,0078040	-8,34	11,3107779
22:44:34	741	-4,93	0,0000696	-8,34	11,3107779
22:44:34	742	-4,85	0,0078040	-8,34	11,3107779
22:44:34	743	-4,93	0,0000696	-8,34	11,3107779
22:44:34	744	-4,93	0,0000696	-8,34	11,3107779
22:44:34	745	-4,93	0,0000696	-5,15	0,0299809
22:44:34	746	-4,85	0,0078040	-5,15	0,0299809
22:44:34	747	-4,85	0,0078040	-5,00	0,0005359
22:44:34	748	-4,93	0,0000696	-5,00	0,0005359
22:44:34	749	-4,93	0,0000696	-5,00	0,0005359
22:44:34	750	-4,93	0,0000696	-4,85	0,0160909
22:44:34	751	-4,93	0,0000696	-5,07	0,0086769
22:44:34	752	-4,93	0,0000696	-4,93	0,0021949
22:44:34	753	-5,00	0,0038020	-4,93	0,0021949

22:44:34	754	-4,85	0,0078040	-4,93	0,0021949
22:44:34	755	-4,93	0,0000696	-4,93	0,0021949
22:44:34	756	-4,93	0,0000696	-5,00	0,0005359
22:44:34	757	-4,93	0,0000696	-5,00	0,0005359
22:44:34	758	-5,00	0,0038020	-5,00	0,0005359
22:44:34	759	-4,93	0,0000696	-5,00	0,0005359
22:44:35	760	-4,93	0,0000696	-4,85	0,0160909
22:44:35	761	-4,93	0,0000696	-4,93	0,0021949
22:44:35	762	-4,93	0,0000696	-4,85	0,0160909
22:44:35	763	-4,93	0,0000696	-4,93	0,0021949
22:44:35	764	-4,93	0,0000696	-4,93	0,0021949
22:44:35	765	-5,00	0,0038020	-4,93	0,0021949
22:44:35	766	-4,93	0,0000696	-4,85	0,0160909
22:44:35	767	-4,93	0,0000696	-5,00	0,0005359
22:44:35	768	-5,00	0,0038020	-4,93	0,0021949
22:44:35	769	-4,93	0,0000696	-5,00	0,0005359
22:44:35	770	-5,00	0,0038020	-4,85	0,0160909
22:44:35	771	-4,93	0,0000696	-5,00	0,0005359
22:44:35	772	-4,93	0,0000696	-4,93	0,0021949
22:44:35	773	-4,93	0,0000696	-1,15	14,6447809
22:44:35	774	-4,93	0,0000696	-1,15	14,6447809
22:44:35	775	-4,93	0,0000696	-1,45	12,4386709
22:44:35	776	-4,93	0,0000696	-1,30	13,5192259
22:44:35	777	-4,93	0,0000696	-1,23	14,0388849
22:44:35	778	-5,00	0,0038020	-1,60	11,4031159
22:44:35	779	-4,93	0,0000696	-1,82	9,9657019
22:44:35	780	-4,93	0,0000696	-1,52	11,9498119
22:44:35	781	-4,93	0,0000696	-2,56	5,8411639
22:44:35	782	-5,00	0,0038020	-2,86	4,4810539
22:44:35	783	-4,93	0,0000696	-3,23	3,0514849
22:44:35	784	-5,00	0,0038020	-3,82	1,3383019
22:44:35	785	-5,00	0,0038020	-4,04	0,8776879
22:44:35	786	-4,93	0,0000696	-4,11	0,7514289
22:44:35	787	-5,00	0,0038020	-4,56	0,1737639
22:44:35	788	-4,93	0,0000696	-4,70	0,0766459
22:44:35	789	-4,93	0,0000696	-4,93	0,0021949
22:44:35	790	-5,00	0,0038020	-4,93	0,0021949
22:44:35	791	-4,93	0,0000696	-6,18	1,4475699
22:44:35	792	-5,00	0,0038020	-6,48	2,2594599
22:44:35	793	-4,93	0,0000696	-7,45	6,1164709
22:44:35	794	-4,93	0,0000696	-7,30	5,3970259
22:44:35	795	-4,93	0,0000696	-7,37	5,7271669
22:44:35	796	-4,93	0,0000696	-7,52	6,4676119
22:44:35	797	-4,78	0,0250716	-7,67	7,2530569
22:44:35	798	-4,93	0,0000696	-8,12	9,8793919

22:44:35	799	-4,93	0,0000696	-8,27	10,8448369
22:44:35	800	-4,93	0,0000696	-8,34	11,3107779
22:44:35	801	-4,93	0,0000696	-8,34	11,3107779
22:44:35	802	-4,85	0,0078040	-8,42	11,8552819
22:44:35	803	-4,93	0,0000696	-8,34	11,3107779
22:44:35	804	-4,85	0,0078040	-8,34	11,3107779
22:44:35	805	-4,93	0,0000696	-8,34	11,3107779
22:44:35	806	-4,93	0,0000696	-5,07	0,0086769
22:44:35	807	-4,93	0,0000696	-5,07	0,0086769
22:44:36	808	-4,93	0,0000696	-5,00	0,0005359
22:44:36	809	-4,93	0,0000696	-5,00	0,0005359
22:44:36	810	-4,93	0,0000696	-5,07	0,0086769
22:44:36	811	-4,93	0,0000696	-5,00	0,0005359
22:44:36	812	-4,93	0,0000696	-4,93	0,0021949
22:44:36	813	-4,85	0,0078040	-4,93	0,0021949
22:44:36	814	-4,93	0,0000696	-4,93	0,0021949
22:44:36	815	-4,93	0,0000696	-5,00	0,0005359
22:44:36	816	-4,93	0,0000696	-4,93	0,0021949
22:44:36	817	-4,93	0,0000696	-5,00	0,0005359
22:44:36	818	-4,93	0,0000696	-4,93	0,0021949
22:44:36	819	-4,93	0,0000696	-5,00	0,0005359
22:44:36	820	-4,93	0,0000696	-5,00	0,0005359
22:44:36	821	-4,93	0,0000696	-4,93	0,0021949
22:44:36	822	-4,93	0,0000696	-5,00	0,0005359
22:44:36	823	-4,93	0,0000696	-5,00	0,0005359
22:44:36	824	-4,93	0,0000696	-4,93	0,0021949
22:44:36	825	-4,93	0,0000696	-4,85	0,0160909
22:44:36	826	-5,00	0,0038020	-4,93	0,0021949
22:44:36	827	-4,93	0,0000696	-4,93	0,0021949
22:44:36	828	-5,00	0,0038020	-4,93	0,0021949
22:44:36	829	-5,00	0,0038020	-4,93	0,0021949
22:44:36	830	-4,93	0,0000696	-5,00	0,0005359
22:44:36	831	-5,00	0,0038020	-4,78	0,0387499
22:44:36	832	-4,93	0,0000696	-4,93	0,0021949
22:44:36	833	-5,00	0,0038020	-1,30	13,5192259
22:44:36	834	-5,00	0,0038020	-0,33	21,5932149
22:44:36	835	-4,93	0,0000696	-1,60	11,4031159
22:44:36	836	-5,00	0,0038020	-1,00	15,8153359
22:44:36	837	-4,93	0,0000696	-1,38	12,9373299
22:44:36	838	-4,93	0,0000696	-1,30	13,5192259
22:44:36	839	-5,00	0,0038020	-1,75	10,4125609
22:44:36	840	-5,00	0,0038020	-1,82	9,9657019
22:44:36	841	-5,00	0,0038020	-1,45	12,4386709
22:44:36	842	-4,93	0,0000696	-2,93	4,1895949
22:44:36	843	-4,93	0,0000696	-3,01	3,8684989

22:44:36	844	-4,93	0,0000696	-3,15	3,3373809
22:44:36	845	-4,93	0,0000696	-3,82	1,3383019
22:44:36	846	-5,00	0,0038020	-3,89	1,1812429
22:44:36	847	-4,93	0,0000696	-4,33	0,4184149
22:44:36	848	-5,00	0,0038020	-4,56	0,1737639
22:44:36	849	-4,93	0,0000696	-4,78	0,0387499
22:44:36	850	-5,00	0,0038020	-4,93	0,0021949
22:44:36	851	-4,93	0,0000696	-5,30	0,1044259
22:44:36	852	-4,93	0,0000696	-6,26	1,6464739
22:44:36	853	-4,93	0,0000696	-6,55	2,4748009
22:44:36	854	-5,00	0,0038020	-7,15	4,7225809
22:44:36	855	-4,93	0,0000696	-7,30	5,3970259
22:44:36	856	-4,93	0,0000696	-7,45	6,1164709
22:44:36	857	-4,93	0,0000696	-7,45	6,1164709
22:44:37	858	-4,70	0,0568060	-7,89	8,4864429
22:44:37	859	-4,93	0,0000696	-8,27	10,8448369
22:44:37	860	-4,93	0,0000696	-8,42	11,8552819
22:44:37	861	-4,93	0,0000696	-8,42	11,8552819
22:44:37	862	-4,93	0,0000696	-8,42	11,8552819
22:44:37	863	-4,93	0,0000696	-8,42	11,8552819
22:44:37	864	-4,93	0,0000696	-8,34	11,3107779
22:44:37	865	-4,93	0,0000696	-8,34	11,3107779
22:44:37	866	-4,93	0,0000696	-5,22	0,0591219
22:44:37	867	-4,85	0,0078040	-5,07	0,0086769
22:44:37	868	-4,93	0,0000696	-5,15	0,0299809
22:44:37	869	-4,93	0,0000696	-4,85	0,0160909
22:44:37	870	-4,93	0,0000696	-4,63	0,1203049
22:44:37	871	-4,93	0,0000696	-5,00	0,0005359
22:44:37	872	-4,93	0,0000696	-5,00	0,0005359
22:44:37	873	-4,93	0,0000696	-4,93	0,0021949
22:44:37	874	-4,93	0,0000696	-5,00	0,0005359
22:44:37	875	-4,93	0,0000696	-4,93	0,0021949
22:44:37	876	-4,93	0,0000696	-4,93	0,0021949
22:44:37	877	-4,93	0,0000696	-5,00	0,0005359
22:44:37	878	-4,93	0,0000696	-4,93	0,0021949
22:44:37	879	-4,93	0,0000696	-4,93	0,0021949
22:44:37	880	-4,93	0,0000696	-5,30	0,1044259
22:44:37	881	-4,93	0,0000696	-4,85	0,0160909
22:44:37	882	-4,93	0,0000696	-4,93	0,0021949
22:44:37	883	-4,93	0,0000696	-4,85	0,0160909
22:44:37	884	-4,93	0,0000696	-4,93	0,0021949
22:44:37	885	-4,93	0,0000696	-4,85	0,0160909
22:44:37	886	-5,00	0,0038020	-4,93	0,0021949
22:44:37	887	-5,00	0,0038020	-5,00	0,0005359
22:44:37	888	-5,00	0,0038020	-4,93	0,0021949

22:44:37	889	-5,00	0,0038020	-4,93	0,0021949
22:44:37	890	-5,00	0,0038020	-4,93	0,0021949
22:44:37	891	-4,93	0,0000696	-5,00	0,0005359
22:44:37	892	-4,93	0,0000696	-4,85	0,0160909
22:44:37	893	-5,00	0,0038020	-4,93	0,0021949
22:44:37	894	-4,93	0,0000696	-1,23	14,0388849
22:44:37	895	-4,93	0,0000696	-1,00	15,8153359
22:44:37	896	-4,93	0,0000696	-1,23	14,0388849
22:44:37	897	-5,07	0,0173344	-1,15	14,6447809
22:44:37	898	-5,00	0,0038020	-1,38	12,9373299
22:44:37	899	-5,00	0,0038020	-1,82	9,9657019
22:44:37	900	-5,00	0,0038020	-2,04	8,6250879
22:44:37	901	-4,93	0,0000696	-1,23	14,0388849
22:44:37	902	-4,93	0,0000696	-2,41	6,5887189
22:44:37	903	-4,93	0,0000696	-2,71	5,1386089
22:44:37	904	-4,93	0,0000696	-3,01	3,8684989
22:44:37	905	-5,00	0,0038020	-3,82	1,3383019
22:44:37	906	-5,00	0,0038020	-3,74	1,5297979
22:44:38	907	-4,93	0,0000696	-4,04	0,8776879
22:44:38	908	-4,93	0,0000696	-4,48	0,2468599
22:44:38	909	-4,93	0,0000696	-4,63	0,1203049
22:44:38	910	-5,00	0,0038020	-4,85	0,0160909
22:44:38	911	-4,93	0,0000696	-4,93	0,0021949
22:44:38	912	-4,93	0,0000696	-5,96	0,9665839
22:44:38	913	-4,93	0,0000696	-6,78	3,2513499
22:44:38	914	-4,93	0,0000696	-7,30	5,3970259
22:44:38	915	-4,93	0,0000696	-7,37	5,7271669
22:44:38	916	-4,93	0,0000696	-7,37	5,7271669
22:44:38	917	-4,93	0,0000696	-7,60	6,8809159
22:44:38	918	-4,93	0,0000696	-7,60	6,8809159
22:44:38	919	-4,93	0,0000696	-8,04	9,3828879
22:44:38	920	-4,93	0,0000696	-8,27	10,8448369
22:44:38	921	-4,93	0,0000696	-8,34	11,3107779
22:44:38	922	-4,93	0,0000696	-8,42	11,8552819
22:44:38	923	-4,93	0,0000696	-8,34	11,3107779
22:44:38	924	-4,93	0,0000696	-8,42	11,8552819
22:44:38	925	-4,93	0,0000696	-8,34	11,3107779
22:44:38	926	-4,93	0,0000696	-8,34	11,3107779
22:44:38	927	-4,93	0,0000696	-5,07	0,0086769
22:44:38	928	-4,93	0,0000696	-5,07	0,0086769
22:44:38	929	-4,93	0,0000696	-5,00	0,0005359
22:44:38	930	-4,93	0,0000696	-5,00	0,0005359
22:44:38	931	-4,93	0,0000696	-5,00	0,0005359
22:44:38	932	-4,85	0,0078040	-5,00	0,0005359
22:44:38	933	-4,93	0,0000696	-4,93	0,0021949

22:44:38	934	-4,93	0,0000696	-5,00	0,0005359
22:44:38	935	-4,93	0,0000696	-5,00	0,0005359
22:44:38	936	-4,93	0,0000696	-4,93	0,0021949
22:44:38	937	-4,93	0,0000696	-5,00	0,0005359
22:44:38	938	-4,93	0,0000696	-5,00	0,0005359
22:44:38	939	-4,85	0,0078040	-5,07	0,0086769
22:44:38	940	-4,93	0,0000696	-5,00	0,0005359
22:44:38	941	-4,93	0,0000696	-5,00	0,0005359
22:44:38	942	-4,93	0,0000696	-4,93	0,0021949
22:44:38	943	-4,93	0,0000696	-5,00	0,0005359
22:44:38	944	-4,93	0,0000696	-4,93	0,0021949
22:44:38	945	-4,93	0,0000696	-4,93	0,0021949
22:44:38	946	-4,93	0,0000696	-4,33	0,4184149
22:44:38	947	-5,00	0,0038020	-4,93	0,0021949
22:44:38	948	-4,93	0,0000696	-4,93	0,0021949
22:44:38	949	-5,00	0,0038020	-5,00	0,0005359
22:44:38	950	-4,93	0,0000696	-4,93	0,0021949
22:44:38	951	-4,93	0,0000696	-4,93	0,0021949
22:44:38	952	-4,85	0,0078040	-4,85	0,0160909
22:44:38	953	-4,93	0,0000696	-4,93	0,0021949
22:44:38	954	-4,93	0,0000696	-4,63	0,1203049
22:44:38	955	-5,00	0,0038020	-1,15	14,6447809
22:44:38	956	-4,93	0,0000696	-1,00	15,8153359
22:44:39	957	-4,93	0,0000696	-1,45	12,4386709
22:44:39	958	-5,00	0,0038020	-1,08	15,1854399
22:44:39	959	-5,00	0,0038020	-1,45	12,4386709
22:44:39	960	-4,93	0,0000696	-1,82	9,9657019
22:44:39	961	-4,93	0,0000696	-1,97	9,0411469
22:44:39	962	-5,00	0,0038020	-1,30	13,5192259
22:44:39	963	-5,00	0,0038020	-2,41	6,5887189
22:44:39	964	-5,00	0,0038020	-2,71	5,1386089
22:44:39	965	-4,93	0,0000696	-3,08	3,5980399
22:44:39	966	-5,00	0,0038020	-3,82	1,3383019
22:44:39	967	-5,00	0,0038020	-3,89	1,1812429
22:44:39	968	-5,00	0,0038020	-4,04	0,8776879
22:44:39	969	-5,00	0,0038020	-4,48	0,2468599
22:44:39	970	-4,93	0,0000696	-4,63	0,1203049
22:44:39	971	-5,00	0,0038020	-4,85	0,0160909
22:44:39	972	-4,93	0,0000696	-4,93	0,0021949
22:44:39	973	-4,93	0,0000696	-5,89	0,8338429
22:44:39	974	-4,93	0,0000696	-6,55	2,4748009
22:44:39	975	-4,93	0,0000696	-7,22	5,0317219
22:44:39	976	-4,93	0,0000696	-7,45	6,1164709
22:44:39	977	-4,93	0,0000696	-7,37	5,7271669
22:44:39	978	-4,93	0,0000696	-7,60	6,8809159

22:44:39	979	-4,93	0,0000696	-7,52	6,4676119
22:44:39	980	-4,93	0,0000696	-7,97	8,9589469
22:44:39	981	-4,93	0,0000696	-8,34	11,3107779
22:44:39	982	-4,63	0,0950736	-8,42	11,8552819
22:44:39	983	-4,93	0,0000696	-8,34	11,3107779
22:44:39	984	-4,93	0,0000696	-8,34	11,3107779
22:44:39	985	-4,93	0,0000696	-8,42	11,8552819
22:44:39	986	-4,93	0,0000696	-8,34	11,3107779
22:44:39	987	-4,93	0,0000696	-8,34	11,3107779
22:44:39	988	-4,93	0,0000696	-5,07	0,0086769
22:44:39	989	-4,85	0,0078040	-5,07	0,0086769
22:44:39	990	-4,93	0,0000696	-5,00	0,0005359
22:44:39	991	-4,78	0,0250716	-5,00	0,0005359
22:44:39	992	-4,93	0,0000696	-5,00	0,0005359
22:44:39	993	-4,93	0,0000696	-4,41	0,3213189
22:44:39	994	-4,93	0,0000696	-5,07	0,0086769
22:44:39	995	-4,85	0,0078040	-4,93	0,0021949
22:44:39	996	-4,93	0,0000696	-5,00	0,0005359
22:44:39	997	-4,93	0,0000696	-5,00	0,0005359
22:44:39	998	-4,93	0,0000696	-4,93	0,0021949
22:44:39	999	-4,93	0,0000696	-4,93	0,0021949
22:44:39	1000	-4,93	0,0000696	-4,93	0,0021949