



Kai Ryynänen

# **LUMI- JA JÄÄRAKENTAMISEN OHJEKIRJA**

## **Vinkkejä viranomaisille – ohjeita rakentajille**



Rovaniemen  
ammattikorkeakoulu  
University of Applied Sciences

---

**Rovaniemen ammattikorkeakoulu**

**julkaisusarja C 27**



---

# Lumi- ja jäärakentamisen ohjekirja

Vinkkejä viranomaisille –  
ohjeita rakentajille

Kai Ryynänen

---

2011



---

**ROVANIEMEN AMMATTIKORKEAKOULU**

Julkaisutoiminta

Jokiväylä 11 C

96300 Rovaniemi

puh. 020 798 5454

[www.ramk.fi/julkaisutoiminta](http://www.ramk.fi/julkaisutoiminta)

[julkaisut@ramk.fi](mailto:julkaisut@ramk.fi)

ISSN 1239-7741

ISBN 978-952-5923-13-1 (nid.)

ISBN 978-952-5923-14-8 (pdf)

Rovaniemen ammattikorkeakoulun julkaisusarja C nro 27

© RAMK University of Applied Sciences

Julkaisu on tuotettu Euroopan aluekehitysrahaston SNOW&ICE METHODS -hankkeessa, jota hallinnoi Rovaniemen ammattikorkeakoulu

Rovaniemi 2011

Kannen kuva Kai Ryytänen

Paino Kopijyvä Oy

Taitto Erja Hirvonen, Kopijyvä Oy

---

# TIIVISTELMÄ

|                       |                                    |
|-----------------------|------------------------------------|
| <b>Tekijä</b>         | Kai Ryynänen                       |
| <b>Vuosi</b>          | 2011                               |
| <b>Toimeksiantaja</b> | Rovaniemen ammattikorkeakoulu      |
| <b>Työn nimi</b>      | Lumi- ja jäärakentamisen ohjekirja |
| <b>Sivumäärä</b>      | 135                                |
| <b>Liitteet</b>       | 7                                  |

Ohjekirjassa käsitellään lunta, sohjoa ja jäätä rakennusmateriaalina. Ohjekirjan lähtöaineistoksi tehtiin lumi- ja jäärakenteiden tutkimusta kenttä- ja laboratoriokokeissa kahden talven ajan. Tutkimuksessa seurattiin käytetyimpiä rakennemuotoja ja materiaaliyhdistelmiä.

Kirjassa annetaan lumelle, jäälle ja sohjolle suunnitteluun ja rakentamiseen liittyviä teknisiä arvoja sekä yleisiä suunnittelun perusteita. Jää- ja sohjomateriaalien lujuus- ja muodonmuutosarvot vaihtelevat paljon, minkä vuoksi niiden suunnittelu ja rakentaminen pitää varmistaa riittävän hyvin.

Kirjassa esitetään lumi- ja jäärakentamiseen soveltuvia tyyppirakenteita, joita käyttäen voidaan varmistua turvallisista rakenteista. Lisäksi annetaan alaan liittyviä pelisääntöjä ja ohjeita eri osapuolille, kuten rakentajille, rakenteiden käyttäjille sekä viranomaisille. Ohjeiden lähtökohtana on varmistaa lumi- ja jäärakenteiden käyttäjien turvallisuus.

Lumi- ja jäärakenteiden käytön aikana tulee seurata rakenteiden muodonmuutoksia ja mm. materiaalien kovuutta sekä tiheyttä. Käytönajan seurannalla varmistetaan, milloin saavutetaan rakenteelle suunnitteluvaiheessa määrätty raja-arvot käytön lopettamiseksi ja purkamiseksi.

Kirjan loppuosassa annetaan käytännön rakentamisohjeita toimiviksi havaittujen lumi-, jää- ja sohjorakenteiden rakentamiseksi. Näitä rakenteita ovat ns. puristus-rakenteet, joissa rakennetta kuormittavat voimat pyrkivät painamaan rakennetta alaspäin. Yhdistelemällä jäätä, sohjoa ja lunta voidaan tehdä ohuempia rakenteita ja kehittää myös uusia rakennemuotoja.

---

# ABSTRACT

|                        |                                          |
|------------------------|------------------------------------------|
| <b>Author</b>          | Kai Ryyänänen                            |
| <b>Year</b>            | 2011                                     |
| <b>Commissioned by</b> | Rovaniemi University of Applied Sciences |
| <b>Name</b>            | Handbook of Snow and Ice Construction    |
| <b>Pages</b>           | 135                                      |
| <b>Appendix</b>        | 7                                        |

This handbook contains snow, slush and ice as construction material. To collect basic data for this handbook there were in situ studies in two winters in different snow and ice construction objects. In those objects it studied out common shapes of structures and composition materials.

In this handbook it will give some technical values and general rules for designing and building snow, ice and slush structures. Because material strength and time-dependent metamorphosis of ice and slush varied a lot, there should use sufficient safety factories.

Standard safety structures for snow and ice construction will introduce this handbook. General rules for different parties, as constructor, end users and authorities, are given in this book. Mainly focus in general rules is to ensure safety in snow and ice construction.

While using snow and ice construction there should monitor and measure metamorphosis, density and strength of materials. Whit those follow-up studies it will ensure when allowed limit values are catch up and when should close and defuse snow and ice construction.

In the end of handbook include instruction for snow and ice construction. Best shapes for snow and ice are compression stress structures where forces press structures downward. Mixing ice, slush and snow can construct thinner structures and develop new shapes for snow and ice constructions.

---

# SISÄLLYS

|                                                                                 |    |
|---------------------------------------------------------------------------------|----|
| OSA I - LUMI- JA JÄÄRAKENTAMISEN SUUNNITTELU JA<br>RAKENTAMISEN OHJEISTUS ..... | 11 |
| 1 JOHDANTO .....                                                                | 13 |
| 2 LUMI- JÄÄ RAKENTAMISEN TUTKIMUS .....                                         | 14 |
| 2.1 Lumirakenteiden tutkimus .....                                              | 15 |
| 2.2. Jäärakenteiden tutkimus .....                                              | 16 |
| 2.3. Yhdistelmärakenteiden tutkimus.....                                        | 18 |
| 3 LUMI RAKENNUSMATERIAALINA .....                                               | 20 |
| 4 JÄÄ RAKENNUSMATERIAALINA .....                                                | 24 |
| 5 SOHJO RAKENNUSMATERIAALINA .....                                              | 27 |
| 6 LUMI-, JÄÄ- JA SOHJORAKENTEIDEN SUUNNITTELU .....                             | 28 |
| 6.1 Yleiset suunnitteluperusteet .....                                          | 28 |
| 6.2 Lumirakenteiden suunnittelu .....                                           | 32 |
| 6.3 Jäärakenteiden suunnittelu .....                                            | 33 |
| 7 TYYPPIRAKENTEET .....                                                         | 43 |
| 8 RAKENNUSPROSESSI LUMI- JA JÄÄRAKENTAMISESSA .....                             | 48 |
| 8.1 Lumi- ja jäärakentamisen viranomaisohjeistus ja -valvonta .....             | 48 |
| 8.2 Lumi- ja jäärakentamisen luvat .....                                        | 52 |
| 8.3 Lumi- ja jäärakenteista laadittavat piirustukset.....                       | 53 |
| 8.4 Työselostus .....                                                           | 54 |
| 9 RAKENTEIDEN KÄYTÖN AIKAINEN SEURANTA .....                                    | 56 |
| 9.1 Rakenteiden muodonmuutokset .....                                           | 56 |
| 9.2 Rakenteen lämpötila .....                                                   | 61 |
| 9.3 Rakenteen kovuus ja tiheys .....                                            | 64 |
| 10 LUMI- JA JÄÄRAKENTEEN PURKAMINEN .....                                       | 67 |

---

|                                                                    |    |
|--------------------------------------------------------------------|----|
| OSA II – KÄYTÄNNÖN OHJEITA LUMI- JA JÄÄRAKENTAJILLE.....           | 69 |
| 11 YLEISIÄ OHJEITA LUMI- JA JÄÄRAKENTAMISESSA .....                | 71 |
| 11.1 Rakennuspaikka.....                                           | 71 |
| 11.2 Lumi- ja sohjorakenteiden rakennevahvuudet .....              | 72 |
| 11.3 Muita rakentamisohjeita.....                                  | 74 |
| 12 KÄYTÄNNÖN RAKENNUSOHJEITA.....                                  | 76 |
| 12.1 Tekolumi suorapuhalluksena rakenteeseen.....                  | 76 |
| 12.2 Ilmamuoitin lumetus.....                                      | 78 |
| 12.3 Kiinteällä kaarimuotilla rakentaminen (ketjukäyrä) .....      | 78 |
| 12.4 Lumimuotti pyöreille rakenteille (Liukuvalu).....             | 79 |
| 12.5 Puolipallon muotoinen kupoli .....                            | 80 |
| 12.6 Sohjorakenne isoihin rakenteisiin .....                       | 81 |
| 12.7 Kotarakenne .....                                             | 82 |
| 12.8 Tunnelirakenne .....                                          | 85 |
| 12.9 Valmiit ovimuotit .....                                       | 86 |
| 12.10 Suorakaiteen muotoinen ns. galleria muovikalvomuotilla ..... | 88 |
| 12.11 Muovikalvomuotilla käytävän teko .....                       | 89 |
| 12.12 Jäälaavu (kotamalli).....                                    | 90 |
| 12.13 Esiintymislava lumesta .....                                 | 90 |
| 12.14 Lumimuuri .....                                              | 91 |
| 12.15 Jäähuoneet muovimuotilla .....                               | 92 |
| 12.16 Ovaalinmuotoinen kolmikerrosrakenne .....                    | 92 |
| 13 YHTEENVETO .....                                                | 94 |
| LÄHTEET .....                                                      | 96 |
| LIITTEET.....                                                      | 99 |

---

## KUVALUETTELO

|          |                                                             |    |
|----------|-------------------------------------------------------------|----|
| Kuva 1.  | Tutkittuja lumirakenteita .....                             | 15 |
| Kuva 2.  | Tutkittuja jäärakenteita .....                              | 16 |
| Kuva 3.  | Tutkittuja jäärakenteita laboratorio-olosuhteissa .....     | 17 |
| Kuva 4.  | Tutkittuja yhdistelmärakenteita .....                       | 18 |
| Kuva 5.  | Tutkittu kolmikerrosrakenne.....                            | 19 |
| Kuva 6.  | Jään eri kerrokset.....                                     | 25 |
| Kuva 7.  | Ketjukäyrän muotoinen teräksinen holvikaarimuotti.....      | 41 |
| Kuva 8.  | Ketjukäyrän muotoinen ilmanpainemuotti .....                | 42 |
| Kuva 9.  | Vapaasti seisova tasapaksu lumimuuri .....                  | 44 |
| Kuva 10. | Kaarenmuotoinen lumikäytävä .....                           | 45 |
| Kuva 11. | Kupolirakenne .....                                         | 47 |
| Kuva 12. | Ellipsin muotoinen rakenne Kemin lumilinna 2009.....        | 47 |
| Kuva 13. | Takymetri lumirakennemittauksissa .....                     | 60 |
| Kuva 14. | Laserkeilain lumirakennemittauksessa .....                  | 60 |
| Kuva 15. | Laserkeilaimen tähtäinprismat lumirakennemittauksessa ..... | 61 |
| Kuva 16. | Digitaalinen sisä-/ulkolämpömittari lumirakenteessa .....   | 63 |
| Kuva 17. | Sähköputkessa olevat anturit .....                          | 64 |
| Kuva 18. | Luminäytteen tiheyden määrittäminen upotuskokeella .....    | 65 |
| Kuva 19. | Lumentiheyden mittaaminen putken ja vaa'an avulla.....      | 66 |
| Kuva 20. | Jääharkkorakenteinen seinä .....                            | 74 |
| Kuva 21. | Veden sumutus lumetusvaiheessa .....                        | 75 |
| Kuva 22. | Suoralumetukseen soveltuva hybriditykki .....               | 77 |
| Kuva 23. | Puolipallon muotoinen rakenne .....                         | 81 |
| Kuva 24. | Kartion muotoinen jääkartio .....                           | 84 |
| Kuva 25. | Ovimuotti .....                                             | 87 |
| Kuva 26. | Muovimuotilla tehty lumigalleria .....                      | 88 |
| Kuva 27. | Lumesta tehty esiintymislava Kemin lumilinnassa .....       | 90 |

## TAULUKKOLUETTELO

|             |                                    |    |
|-------------|------------------------------------|----|
| Taulukko 1. | Lumen tiheysarvoja .....           | 22 |
| Taulukko 2. | Lumen materiaaliominaisuuksia..... | 23 |
| Taulukko 3. | Jään materiaaliominaisuuksia.....  | 26 |

## KUVIOLUETTELO

|          |                                           |    |
|----------|-------------------------------------------|----|
| Kuvio 1. | Erilaisia lumikiteitä ja -hiutaleita..... | 21 |
| Kuvio 2. | Jääkiteiden muotoja.....                  | 24 |



|           |                                                                                      |     |
|-----------|--------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Kuvio 3.  | Rakenteen kallistuman raja-arvot lumi-, jää- ja sohjorakenteissa.....                | 30  |
| Kuvio 4.  | Painuman raja-arvot vapaasti seisovat rakenteet.....                                 | 30  |
| Kuvio 5.  | Painuman raja-arvot kaarevat rakenteet.....                                          | 31  |
| Kuvio 6.  | Rakenteen alkuperäisen muodon säilyminen lumi-, jää- ja sohjorakenteissa.....        | 31  |
| Kuvio 7.  | Jään kuormituksen muutos ajasta riippuvana .....                                     | 34  |
| Kuvio 8.  | Jääkappaleiden suositellut limityspituudet jäärakenteissa.....                       | 35  |
| Kuvio 9.  | Jäädyttämällä tehtyjä puristusrakenteita .....                                       | 36  |
| Kuvio 10. | Jääkerroksen minimivahvuus jäältä tehtävässä rakenteessa .....                       | 37  |
| Kuvio 11. | Sohjon minimivahvuus lyhytaikaisessa rakenteessa .....                               | 38  |
| Kuvio 12. | Seinämämuotin muottipaineen määräytyminen .....                                      | 39  |
| Kuvio 13. | Kaari- ja kupolimuoittien muottipaine.....                                           | 40  |
| Kuvio 14. | Ketjukäyrän kuvaaja .....                                                            | 41  |
| Kuvio 15. | Kaarirakenteen mittasuhteet ja osat .....                                            | 45  |
| Kuvio 16. | Lumirakenteen painuma laserkeilauspiirroksena .....                                  | 58  |
| Kuvio 17. | Laserkeilainmittaustulos painumakarttana.....                                        | 58  |
| Kuvio 18. | Esimerkki lumirakenteen sisäinen lämpötilan muutoksesta rakenteen käytön aikana..... | 62  |
| Kuvio 19. | Esimerkki rakentamisalueen koon määrittämisestä.....                                 | 72  |
| Kuvio 20. | Suositteltu rakennevahvuus lumirakenteisessa yöpymisiglussa .....                    | 73  |
| Kuvio 21. | Rakennevahvuus tarkistettava kuvioon merkitystä kohdasta...73                        |     |
| Kuvio 22. | Periaatepiirros suoralumetuksesta.....                                               | 77  |
| Kuvio 23. | Lumetus kiinteään kaarimuottiin.....                                                 | 79  |
| Kuvio 24. | Liukumuoitin osia .....                                                              | 80  |
| Kuvio 25. | Esimerkki suuren sohjorakenteen rakennevahvuuksista .....                            | 82  |
| Kuvio 26. | Kotamuotin leikkaamisen periaatepiirros .....                                        | 83  |
| Kuvio 27. | Käytävämuotin periaatepiirros.....                                                   | 89  |
| Kuvio 28. | Lumimuurin rakentamisen periaatepiirros .....                                        | 91  |
| Kuvio 29. | Kolmikerrosrakenteen kerrosvahvuudet .....                                           | 92  |
| Kuvio 30. | Ketjukäyrän määrittäminen rakennuksen seinällä .....                                 | 102 |
| Kuvio 31. | Asemapiirros.....                                                                    | 110 |
| Kuvio 32. | Näyttelytilapiirros .....                                                            | 111 |
| Kuvio 33. | Lumiveistosaihiopiirros .....                                                        | 112 |
| Kuvio 34. | Lumirakenteen muodonmuutosmittauspiirros .....                                       | 131 |
| Kuvio 35. | Lumi- ja jäärakenteen muodonmuutospiirros .....                                      | 131 |
| Kuvio 36. | Lumirakenteen muodonmuutospiirros .....                                              | 132 |
| Kuvio 37. | Kolmikerrosrakenteen muodonmuutospiirros.....                                        | 132 |

---

## ALKUSANAT

Tämä ohjekirja on tehty lumi- ja jäärakennusosalle. Ohjekirjan kohderyhmänä ovat viranomaiset, suunnittelijat sekä alan rakentajat unohtamatta rakenteiden käyttäjiä. Ohjekirjan toivotaan tulevan yhteiseksi työkaluksi kaikille lumi- ja jäärakennusosal- la toimiville tahoille.

Kirjassa käsitellään lunta, jättä sekä sohjoa rakennusmateriaalina. Kirja on jaettu kahteen osaan. Ensimmäisessä osassa annetaan lumi- ja jäärakenteiden suunnitte- luun, rakentamiseen sekä käyttämiseen liittyviä ohjeita ja suosituksia. Toinen osa sisältää käytännön rakentamisen ohjeita.

Tämä Lumi- ja jäärakentamisen ohjekirja on tehty osana Rovaniemen ammattikor- keakoulun vuosina 2008–2011 käynnissä ollutta SNOWICE Lumi- ja jäärakentamisen tutkimus- ja ohjeistushanketta. Hankkeessa tutkittiin ja testattiin kahden talvikauden ajan uusimpia alan rakennemuotoja ja materiaaliyhdistelmiä, kuten jääkartioita ja soh- josta valmistettuja kupoleita. Kenttätutkimuksissa tutkittuja asioita on käytetty tämän ohjekirjan aineistona. Hankkeen osapuolina olivat lumi- ja jääalan yrittäjät, elinkeino- ja ympäristöviranomaiset, rakennusvalvontaviranomaiset sekä Lapin liitto.

Ohjekirja on käynyt alan lausuntokierroksella. Kiitän alan toimijoita hyvistä ja asiantuntevista kommentteista.

Kiitän hankkeessa toimineita työntekijöitämme sekä opiskelijoita. Ilman teidän työ- panostanne näistä ohjeista olisi jäänyt puuttumaan paljon. Erityiskiitoksen ansaitsee Mailari Ky:n Lauri Riikonen, joka on vastannut kirjassa olevien käytännön ohjeiden asiantuntijuudesta vuosien ammattitaidollaan.

Rovaniemellä marraskuussa 2011

*Kai Ryytänen*



# **OSA I - LUMI- JA JÄÄRAKENTAMISEN SUUNNITTELU JA RAKENTAMISEN OHJEISTUS**



# 1 JOHDANTO

Pohjoissuomalaisen matkailurakentamisen erityisosaamisaluetta on lumi- ja jäärakentaminen. Lumi- ja jäärakentamista on ammattimaisessa mielessä toteutettu liki kahdenkymmenen vuoden ajan eri kohteissa ympäri Lappia. Kyseinen liiketoiminta-alue on kehittynyt nykyiseen muotoonsa ja laajuuteen muutaman yrityksen erityisosaamisena.

Ammattimainen matkailukäyttöön tehty lumi- ja jäärakentaminen kuuluu viranomaisohjauksen piiriin. Lumi- ja jäärakentamisen viranomaisohjaus vaatii erilaista soveltamista normaaliin rakentamiseen verrattuna. Viranomaisilla tai rakennushankkeeseen ryhtyvällä ei aina ole riittävästi tietoa lumi- ja jäämateriaalista. Alalta puuttuu osaavia rakennusalan suunnittelijoita, joilla on riittävä ammattitaito lumi-, jää- tai sohjomateriaalista rakennettavien rakenteiden suunnitteluun.

Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry on julkaissut vuonna 2001 Lumirakentamisen suunnittelu- ja rakentamisohjeet (Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry:n julkaisu 218-2001), mutta nämä ohjeet eivät ole alalla yleisesti käytössä. Lisäksi alalle on kehitetty lumirakennusohjeen jälkeen uusia rakennusmenetelmiä ja materiaaliyhdistelmiä.

Jää- ja yhdistelmäateriaalirakenteille vastaavia ohjeita ei ole tehty. Jäätä itsessään on tutkittu paljon, mutta jäädä tehtävien matkailurakenteiden tutkimusta ei ole aiemmin tehty. Jää on lumeen verrattuna erilainen materiaali, vaikka kansankielessä molemmat ovat jäätynyttä vettä. Jään materiaaliominaisuudet ja jään käyttäytymisen rakenteessa poikkeaa lumen vastaavista. Jää on myös materiaalina epähomogeeninen, epätasa-aineinen, mistä johtuen mm. tekniset lujuusarvot eivät usein ole helposti todennettavissa tai tulosten hajonta on niin suurta, ettei luotettavia arvoja voida antaa.

## 2 LUMI- JÄÄ RAKENTAMISEN TUTKIMUS

Rovaniemen ammattikorkeakoulussa on tehty vuosia kestävää alan tutkimus- ja kehittämistyötä useissa eri hankkeissa yhdessä alan toimijoiden kanssa. Tämän ohjekirjan laatimiseen liittyvässä tutkimustyössä on tutkittu nykyisiä lumi- ja jäärakennemuotoja käytännön kenttäkohteissa. Jäälle ja sohjolle on tehty materiaalitutkimusta lisäksi koerakenteissa ja laboratorio-olosuhteissa.

SNOW & ICE METHODS. Lumi- ja jäärakentamisen tutkimus- ja ohjeistushankkeessa tutkittiin neljässä eri rakennuspaikassa sijainneiden lumi- ja jäärakenteiden käyttäytymistä kahden talven ajan. Yhteensä tutkittavia rakenteita oli kaksikymmentä. Tutkituista rakenteista seurattiin muodonmuutoksia, materiaalin tiheyden kehittymistä, rakenteen sisäisen lämpötilan muuttumista ja sen vaikutusta mm. sulamiseen ja kantavuuteen. Rakenteiden muutoksiin vaikuttavien ilmiöiden yksityiskohtien varmentamiseksi jokaisen rakennuspaikan paikallissäätä mitattiin sääasemalla.

Käyttäjien vaikutusta lumi- ja jäärakenteisiin tutkittiin asentamalla sisälämpötilan ja ilman suhteellisen kosteuden muutoksia mittaavat anturit rakenteiden sisätilojen yläosiin. Näillä mittauksilla tutkittiin, vaikuttavatko käyttäjät mm. lumen sulamiseen.

Mittaustuloksia verrattiin lumen osalta aiempiin julkaistuihin tutkimustuloksiin ja selvitettiin, käyttäytyvätkö nykyiset lumirakenteet mm. RIL:n julkaiseman lumirakennusohjeen mukaisesti.

Jää- ja sohjorakenteiden osalta mittaustuloksia käytettiin tässä ohjeessa annettavien mitoitus- ja rakentamisohjeiden laatimisen perusteena. Lisäksi tutkittiin hankkeen ulkopuolisessa ns. sivukohteessa täysin uutta kolmikerrosrakenteena toteutettua rakennetta kahden talven ajan.

Tässä ohjekirjassa ei erikseen käsitellä yksittäisen tutkimuskohteen mittaustuloksia. Eri kohteiden mittaustuloksia on käytetty lähdeaineistona materiaali kohtaisten ohjeiden laatimisessa.

## 2.1 Lumirakenteiden tutkimus

SNOW & ICE METHODS -hankkeessa lumirakennetutkimuksen kohteita olivat

- 12 m halkaisijaltaan olevat lumikupoli yhdistettynä ympäröiviin lumihuoneisiin (kaksi talvea)
- 3 m levyinen n. 3,5 m korkuinen lumikäytävä
- 12 m halkaisijaltaan oleva lumikupoli
- 10 m halkaisijaltaan oleva lumikupoli
- 3 m halkaisijaltaan n. 4,5 m korkuinen ns. sipuliholvikaari
- 3 m levyinen suoraseinäinen lumikäytävä vinolla katolla (kuva 1).



**Kuva 1. Tutkittuja lumirakenteita<sup>1</sup>**

Keskeisimpiä tutkimustuloksia lumirakenteille ovat:

- Ketjukäyrän ja ympyrän kaaren muotoiset lumirakenteet toimivat puristusrakenteena hyvin.
- Painumat ovat tasaisia ja hallittuja.
- Painumien suuruus riippuu käytetystä lumesta ja rakentamismenetelmästä sekä rakennusaikaisesta tiivistämisestä.

---

<sup>1</sup> SNOW ICE METHODS -hankkeen arkisto, 2011.



- Rakenteet eivät menettäneet kantavuuttaan tai sulaneet käyttökeltvotomiksi käytön aikana.
- Lumen tiheys kehittyi kauden aikana.
- Lumen sisäinen lämpötila seuraa ulkolämpötilaa tietyllä viiveellä.

Mittaustuloksiin viitataan osittain myöhemmin tässä ohjekirjassa.

## 2.2 Jäärakenteiden tutkimus

SNOW & ICE METHODS -hankkeessa jäärakennetutkimuksen kohteita olivat

- 3 x 6 m n. 2,2 m korkea jäähirsirakennelma
- 3 x 4 m n. 2,2 m korkea jäähirsirakennelma
- 4 m halkaisija n. 4,5 m korkea jääkartio (kaksi talvea)
- 5 m halkaisija n. 4,6 m korkea jääkupoli (kuva 2).



Kuva 2. Tutkittuja jäärakenteita<sup>2</sup>

<sup>2</sup> SNOW ICE METHODS -hankkeen arkisto, 2011.

Lisäksi tehtiin laboratorio-olosuhteissa tutkimusta jäämateriaalille

- 2 kpl 2 m halkaisija n. 2 m korkea jääkartio
- 2 kpl 1,8 m halkaisija n. 1,8 m korkea jääkartio
- jääkappaleiden puristuskokeet
- jääkappaleiden jäädytyskokeet (kuva 3).



**Kuva 3. Tutkittuja jäärakenteita laboratorio-olosuhteissa<sup>3</sup>**

Keskeisimpiä mittaustuloksia jäärakenteista ovat

- Jääkappaleista tehdyt jäärakenteet eivät juuri painu kauden aikana.
- Kartion muotoinen jääkartio toimii puristusrakenteena hyvin.
- Jäätä voidaan käyttää kantavana kerroksena muille rakenteille.
- Jäärakenne sulaa nopeasti kevään edetessä.
- Jää on herkkä tuulen aiheuttamille kulumiselle – eroosiolle.
- Jäärakenteen iskun kestävyys on heikko alhaisilla lämpötiloilla.
- Jäärakenteet ovat akustiikaltaan ja lämmöneristävyydeltään ”huonompia” kuin lumirakenteet.
- Jään tiheys ei juuri muutu käytön aikana.
- Jään puristuslujuuden tulos vaihtelee suuresti riippuen jäädä, lämpötilasta sekä puristusmenetelmästä.

Mittaustuloksiin viitataan osittain myöhemmin tässä ohjekirjassa.

<sup>3</sup> SNOW ICE METHODS -hankkeen arkisto, 2011.

## 2.3 Yhdistelmärakenteiden tutkimus

SNOW & ICE METHODS -hankkeessa yhdistelmärakenteina käytettiin sohjorakenteita, lumirakenteita, joihin oli lisätty vettä enemmän kuin 5 % sekä eri materiaali-kerroksia sisältäviä rakenteita. Tutkittuja yhdistelmärakenteita olivat

- 16 m halkaisijaltaan n. 9,5 m korkea kupoli, jonka alaosa on n. 3 m korkea lumiseinäärakenne sekä yläosa on jäädytetty jääkupoli
- 5 m halkaisija n. 4,5 m korkea sohjokupoli
- 5 m halkaisija n. 4,5 m korkea lumi-sohjokupoli
- 3,2 m halkaisija n. 2,5 m korkea lumi-sohjokupoli
- 5 m halkaisija n. 4,5 m korkea lumi-sohjokupoli, ohuella seinämällä
- 10 x 15 m kokoinen n. 4,9 m korkea ovaalin muotoinen kolmikerros-rakenne jää-sohjo-lumi (kaksi talvea), (kuvat 4 ja 5).



Kuva 4. Tutkittuja yhdistelmärakenteita<sup>4</sup>

<sup>4</sup> SNOW & ICE METHODS -hankkeen arkisto, 2011.



**Kuva 5. Tutkittu kolmikerrosrakenne<sup>5</sup>**

Keskeisimpiä tutkimustuloksia yhdistelmärakenteille ovat

- Ohut seinämäinen sohjorakenne toimii puristusrakenteena hyvin.
- Läpi jäänyt sohjorakenne ei juuri painu käytön aikana.
- Hyvin, paljon vettä sisältävän, tiivistetyn lumirakenteen painauma on vähäistä.
- Yhdistelmä rakenne oikein tehtynä on toimiva rakenne.
- Kolmikerrosrakenne mahdollistaa uusien rakennemuotojen käyttämisen.

Mittaustuloksiin viitataan osittain myöhemmin tässä ohjekirjassa.

---

<sup>5</sup> SNOW & ICE METHODS -hankkeen arkisto, 2011.

### 3 LUMI RAKENNUSMATERIAALINA

Lumi ja lumikide ovat ilman vesihöyrystä tiivistyneet jääkiteiden muodostama yhdistelmä. Yleensä lumikide esiintyy kuusikulmaisena prismanmuotoisena lumihiutaleena. Lumikiteen ja -hiutaleen muodostaman molekyylin eri osien sidosten lujuuksiin vaikuttaa esimerkiksi ympäristön lämpötila.

Lumihiutaleen ja -kiteen koko ja muoto vaihtelee paljon, kuten kuviossa 1 esitetään. Lumihiutaleen ja -kiteen muoto muuttuu koko lumen elinkaaren ajan.

Lumeen vaikuttaa fysikaalinen ilmiö nimeltään metamorfoosi eli muodonmuutos. Luonnossa lumi on sataessaan kevyttä. Heti kun lumi kasautuu maahan tai rakenteen pinnalle, se alkaa muuttaa muotoaan. Alussa lumikiteeseen kohdistuu ns. tuhoavaa metamorfoosia, jossa lumen kiderakenne hajoaa kiteen sisäisten sidosten rikkoutuessa. Lumipartikkelit pienenevät ja ne järjestäytyvät uudelleen. Lumikerroksessa olevat lumikiteet alkavat tiivistyä omasta painostaan ja mm. tuulen vaikutuksesta.<sup>6</sup>

Tuhoavan metamorfoosin seurauksena lumikerroksen kantavuus lisääntyy, jolloin tapahtuu ns. rakentavaa metamorfoosia tai aikakovettumista. Aikakovettumisessa lumihiutaleet muodostavat suurempia lumipartikkeleita ja lumikiteiden sidokset lujittuvat. Tähän kantavuuden lisääntymiseen vaikuttavat aika, ulkoilmanlämpötila ja lumikerroksen tilavuuspaino eli tiheys.<sup>7</sup>

Ulkoilman lämpötilan ollessa 0 °C tai sen yli alkaa lumikerroksen ulkopinta sulaa ja lumikerroksen pintaan muodostuu vettä. Kun ulkoilman lämpötila laskee, lumikerroksen pinnassa oleva vesi jäätyy, jolloin pintakerroksen tiheys ja kantavuus kasvavat. Tätä ilmiötä kutsutaan sulattavaksi metamorfoosiksi.<sup>8</sup>

---

<sup>6</sup> Korhonen E. 1995 mukaan.

<sup>7</sup> Korhonen E. 1995 mukaan.

<sup>8</sup> Korhonen E. 1995 mukaan.



Kuvio 1. Erilaisia lumikiteitä ja -hiutaleita<sup>9</sup>

*Lumen tiheys* eli tilavuuspaino on tärkein materiaaliominaisuus, joka tulee huomioida lumirakentamisessa. Lumen tiheys ei ole vakio. Tiheyden vaihteluun vaikuttaa kolme tekijää: lumipartikkelit (koko, muoto, järjestäytyminen materiaalissa), lujuuden muuttuminen eli lujuuskehittyminen ajasta riippuvana ilmiönä sekä ympäristön lämpötila. Lumen tiheydelle on mitattu ja taulukoitu erilaisia tiheyden arvoja, taulukko 1.

<sup>9</sup> Lähteen 21 mukaan, 2011.



**Taulukko 1. Lumen tiheysarvoja<sup>10</sup>**

| Lumen tiheys [kg/m <sup>3</sup> ] |                                                                                     |
|-----------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| 50 – 80                           | Vasta satanut luonnonlumi                                                           |
| 100 – 200                         | Pakkautunut luonnonlumi                                                             |
| 400                               | Juuri kasaan tehty tekolumi<br>Minimitiheys lumirakenteessa RIL 218-2001 mukaisesti |
| 400 - 600                         | Lumen suunnittelulujuus lumirakenteessa, RIL 218-2001 mukaan                        |
| > 800                             | Lumijää ja jää                                                                      |

Rakenteessa olevan lumen tiheys muuttuu koko rakenteen käyttöajan. Tiheyden muuttumisen ja lämpötilan vaikutuksen vuoksi tiheys ilmoitetaan muodossa:

$$\gamma = 600 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}, T = -10^\circ\text{C}$$

, jolloin ko. lumi painaa 600 kg/kuutiometri lämpötilassa -10 °C.

Taulukkoon 2 on koottu keskeisimpiä lumeen liittyviä materiaaliominaisuuksia. Näitä materiaaliominaisuusarvoja tarvitaan mm. lumirakenteiden suunnittelussa ja laadunvalvonnassa. Tarkempaa tietoa lumen materiaaliominaisuuksista sekä niiden käyttämisestä löytyy eri lähdeaineistoista, kuten esimerkiksi RIL 218-2001 Lumirakenteiden suunnittelu- ja rakentamisohjeesta.

Lumirakenteiden suunnittelutehtävissä käytettävät materiaaliominaisuuden arvot valitaan tapauskohtaisesti rakenteiden suunnittelijan toimesta. Materiaaliarvoihin vaikuttavat lämpötila, lumen laatu sekä lumen ja rakenteen kuormitus.

**VIHJE:**

**Lumirakenteiden suunnittelussa valitaan käytettävät lumen materiaaliominaisuusarvot tapauskohtaisesti. Käytännön suunnittelussa harvoin tarvitaan kaikkia materiaaliarvoja.**

<sup>10</sup> Suomen Rakennusinsinöörin Liitto RIL 218-2001, 2001, s. 52.

**Taulukko 2. Lumen materiaaliominaisuuksia<sup>11</sup>**

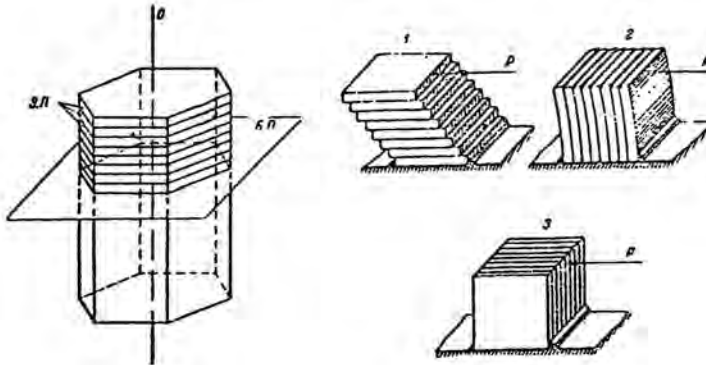
| Ominaisuus                                | Arvo       | Yksikkö  | Lisätiedot                                                                                                                                                                                                                                 |
|-------------------------------------------|------------|----------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Puristuslujuus, $f_{ck}$                  | 0 – 5      | MPa      | Arvo tekolumelle lämpötilassa -5 °C.<br>On tärkein lumen <b>materiaaliominaisuus mitoitus-</b><br>sessä ja rakentamisessa.<br>RIL218-2001 ohjeessa on kaavio puristuslujuudelle<br>tiheyden funktiona.                                     |
| Vetolujuus, $f_{tk}$                      | 0 – 1,4    | MPa      | Arvo tekolumelle lämpötilassa -5 °C.<br>RIL218-2001 ohjeessa on kaavio vetolujuudelle tihe-<br>yden funktiona.                                                                                                                             |
| Leikkauslujuus, $f_{vk}$                  | 0 – 0,8    | MPa      | Arvo tekolumelle lämpötilassa -5 °C.<br>RIL218-2001 ohjeessa on kaavio leikkauslujuudelle<br>tiheyden funktiona.<br>Normaalijännitys on yleensä samaan aikaan leik-<br>kauslujuuden kanssa.                                                |
| Kimmomoduuli, $E_k$                       | 100 - 2900 | MPa      | Arvo tekolumelle lämpötilassa -5 °C.<br>RIL218-2001 ohjeessa on kaavio kimmomoduulille<br>tiheyden funktiona.<br>Lumi on lineaarisesti kimmoinen materiaali.<br>Arvo riippuu ulkoilman lämpötilasta.                                       |
| Viruma, $\epsilon$                        |            |          | Viruma on lumella nopea ilmiö.<br>Suunnittelun lähtökohtana on viruman aiheuttama<br>muodonmuutos, ks. RIL218-2001.<br>Jaetaan kahteen osaan, joita ovat palautuva $\epsilon_e$ (kim-<br>moinen) ja palautumaton $\epsilon_p$ (plastinen). |
| Emissiivisyys, $\epsilon$                 | 0,8        |          |                                                                                                                                                                                                                                            |
| Absorptiokerroin                          | 0,1 – 0,6  |          | Lumen ikä ja likaisuus vaikuttaa                                                                                                                                                                                                           |
| Lämmönjohtavuus,<br>$\lambda$             | 0,2 – 1,1  | W/m·K    | Riippuu lumen tiheydestä                                                                                                                                                                                                                   |
| Ominaislämpö-<br>kapasiteetti, $C_l$      | 2,1        | kJ/kg °C |                                                                                                                                                                                                                                            |
| Sulamis- ja jääty-<br>mislämpö, $S$       | 335        | kJ/kg    |                                                                                                                                                                                                                                            |
| Haihtumis- ja tii-<br>vistymislämpö $H_v$ | 2835       | kJ/kg    | Lumi voi haihtua suoraan kiinteästä muodosta<br>vesihöyryksi ja päinvastoin vesihöyry voi suoraan<br>tiivistyä lumeksi ja jääksi.                                                                                                          |

<sup>11</sup> RIL218-2001, 2001, sekä Valtanen E. 2009 mukaan.



## 4 JÄÄ RAKENNUSMATERIAALINA

Jää muodostuu jääkiteistä. Yksittäisen jääkiteen muodostaa happi- ja vetymolekyylien sidos. Molekyylien keskinäinen sijainti saa aikaan jääkiteen kuusikulmaisen muodon. Jääkiteiden koko vaihtelee suuresti. Jääkiteen kokoon vaikuttavat mm. jäätymisreaktio ja kuinka paljon jäähän on jäänyt happimolekyyliä. Jääkide muodostaa jäätymissuuntaan kerroksia, jotka ovat päällekkäin, kuvio 2.<sup>12</sup> Jään rakenteesta johtuen levyjen suuntaisia tasoja kutsutaan perustasoiksi ja levyjä vastaan kohtisuorassa olevaa suoraa kideakseliksi.



Kuvio 2. Jääkiteiden muotoja<sup>13</sup>

Jääkiteiden muoto vaihtelee. Kiteet voivat olla lohkaremaisista, pitkänomaisista eli neulamaisista tai levymäisistä. Jääkiteiden kideakselit voivat olla lähes samansuuntaisia tai ne voivat olla satunnaisesti suuntautuneita.

Jääkiteiden erilaisesta koosta, muodosta ja kerrostuneisuudesta johtuen jää on hyvin epähomogeeninen eli epätasa-aineinen materiaali. Tästä seuraa mm. se, että jään materiaaliominaisuudet vaihtelevat suuresti.

<sup>12</sup> Kilpeläinen M., Mäkinen S. 2003. s. 5.

<sup>13</sup> Kilpeläinen M., Mäkinen S., 2003.

Jään muodostuessa luonnonvesissä veden epäpuhtauksista ja jään rakenteesta johtuen jäähän syntyy ilmataskuja, jotka heikentävät jään lujuusominaisuuksia. Ilmataskujen koko voi vaihdella jäässä runsaasti, minkä vuoksi jään lujuudessa on suurta hajontaa.

Luonnonvesissä jää muodostuu kerroksina, kuva 6. Aluksi veden pinnalle muodostuu jääkuori-teräsjää. Teräsjään päälle muodostuvia jääkerroksia kutsutaan kohvajääksi. Kohvajäätä muodostuu, kun jään pinnalle kertynyt lumi sekoittuu ja jäätyy teräsjään halkeamien kautta imeytyneeseen veteen.

Jään kiderakenne ei pysy vakiona mm. kuormituksen ja sulamisen vaikutuksesta.

Jään ominaisuudet muuttuvat jään lämpötilan mukaan. Jään rakenneominaisuudet ovat heikoimmillaan 0 °C:n lämpötilassa. Jään lämpötilan noustessa sen lujuus heikkenee, kimmokerroin ja liukukerroin sekä viruma kasvavat.



**Kuva 6. Jään eri kerrokset<sup>14</sup>**

Taulukkoon 3 on koottu jäähän liittyviä materiaaliominaisuuksia, joita tarvitaan suunnittelussa ja rakentamisessa. Materiaaliarvoihin vaikuttavat lämpötila, jään laatu sekä rakenteen kuormitus.

---

<sup>14</sup> SNOW & ICE METHOS -hankkeen arkisto.

**Taulukko 3. Jään materiaaliominaisuuksia<sup>15</sup>**

| Ominaisuus                   | Arvo                    | Yksikkö           | Lisätiedot                                                                                                                                                                                    |
|------------------------------|-------------------------|-------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Tiheys                       | 917 - 920               | kg/m <sup>3</sup> | Tiheyden vaihtelu johtuu mm. jään lämpötilasta.                                                                                                                                               |
| Puristuslujuus, $f_{ck}$     | 0 – 7                   | MPa               | Arvo on annettu -5 °C jälle.<br>Arvo ei ole vakio, riippuu mm. puristusnopeudesta.<br>Puristuslujuuden määrittämiseen voidaan käyttää laskennallisia kaavoja.                                 |
| Vetolujuus, $f_{tk}$         | <0,8 - >2,4<br><br>0,95 | MPa               | Vetolujuuden arvo vaihtelee jään kidekoosta, muodonmuutosnopeudesta ja lämpötilasta.<br>Taivutusvetolujuuden arvo kun on kyseessä luonnonjää. Lukema on keskiarvo Kovacin tutkimusten mukaan. |
| Leikkauslujuus, $f_{vk}$     | <0,4 - >1,2             | MPa               | Leikkauslujuus on noin puolet vetolujuudesta.<br>Arvoon vaikuttaa jään lämpötila ja jään rakenne.                                                                                             |
| Kimmokerroin, E              | 10                      | GPa               | Arvo on lämpötilassa 0 °C.                                                                                                                                                                    |
| Viruma, $\epsilon$           |                         |                   | Muodonmuutos voidaan jakaa kolmeen osaan palautuvaan $\epsilon_e$ (kimmainen), viskoosiin $\epsilon_v$ sekä viivästyneeseen $\epsilon_d$ (kimmainen).                                         |
| Emissiivisyys, $\epsilon$    | 0,97                    |                   |                                                                                                                                                                                               |
| Lämmönjohtavuus, $\lambda$   | 2,25                    | W/m·K             | Arvo on annettu lämpötilassa 0 °C.<br>Arvo vaihtelee eri lähteiden mukaan.                                                                                                                    |
| Ominaislämpökapasiteetti, C  | 2,13                    | kJ/kg K           | Kun jään lämpötila on 0 °C.                                                                                                                                                                   |
| Sulamis- ja jäätymislämpö, S | 335                     | kJ/kg             | Vedelle                                                                                                                                                                                       |
| Haihtumislämpö H             | 2500                    | kJ/kg             | Eri lähteiden mukaan 0 °C lämpötilassa olevalle jälle.                                                                                                                                        |

**VIHJE:**

**Jäärakenteiden suunnittelussa valitaan käytettävät jään materiaaliominaisuusarvot tapauskohtaisesti. Käytännön suunnittelussa harvoin tarvitaan kaikkia lueteltuja materiaaliarvoja.**

<sup>15</sup> Valtanen E. 2009. Sekä Kilpeläinen M. ja Mäkinen S. mukaan.

## 5 SOHJO RAKENNUSMATERIAALINA

Sohjoksi kutsutaan lumen, jään sekä veden yhdistelmänä muodostunutta seosta. Sohjorakenteiksi voidaan kutsutaan lumi- ja jäärakenteita, joissa lisättävän veden määrä ylittää rakennusvaiheessa RIL218-2001 ohjeen suosituksen 5% käytetyn lumen määrästä. Valmistusvaiheessa sohjossa lumen ja jään alkuperäinen rakenne muuntuu täysin märeksi. Yhdistelmässä eri aineosien suhde ei ole tasaisesti jakaantunut. Tämän vuoksi sohjolle ei voida määrittää tarkkoja materiaaliarvoja.

Sohjon materiaaliominaisuuksiin vaikuttavat mm. käytetyn lumen ja veden ominaisuudet, sohjokerroksen paksuus sekä muodostuneen sohjon ja ympäristön lämpötila.

Rovaniemen ammattikorkeakoulun SNOW & ICE METHODS -hankkeessa, vuosina 2008 - 2011, tehtyjen tutkimusten mukaan sohjomateriaalin ominaisuudet ovat lähes jään kaltaisia. Pitkäaikaisen vuosia kestävästä materiaalitutkimuksesta puuttuessa ei tässä vaiheessa voida esittää tarkempia lukuarvoja sohjomateriaalin teknisille ominaisuuksille.

### VIHJE:

**SNOW & ICE METHODS; Lumi- ja jäärakentamisen tutkimus- ja ohjeistushankkeessa tehtiin kahden talven ajan kenttätutkimusta sohjorakenteille.**

## 6 LUMI-, JÄÄ- JA SOHJORAKENTEIDEN SUUNNITTELU

### 6.1 Yleiset suunnitteluperusteet

Lumi-, jää- ja sohjorakenteiden suunnittelun lähtökohtana on rakennetta käyttävien ihmisten turvallisuus. Tässä ohjekirjassa annettavat ohjeet koskevat rakenteita, jotka ovat suuruudeltaan tai käyttötarkoitukseltaan sellaisia, joiden rakentamiseen tarvitaan viranomaisten myöntämä lupa.

Rakenteiden suunnittelussa noudatetaan Suomen rakentamismääräyskokoelmassa annettuja määräyksiä ja ohjeita. Rakenteisiin kohdistuvat kuormitukset lasketaan rakentamismääräyskokoelman osaa B1 Rakenteiden varmuus ja kuormitukset ja osaa B2 Kantavat rakenteet soveltaen. Lisäksi sovelletaan Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry:n julkaisemia ohjeita Rakenteiden kuormitusohjeet RIL144-2002 sekä RIL201-1-2008 Suunnitteluperusteet ja rakenteiden kuormat. Eurokoodi.

Lumi-, sohjo- ja jäärakenteiden suunnittelussa voidaan soveltaen noudattaa RIL 218-2001 Lumirakenteiden suunnittelu- ja rakentamisohjeet -kirjassa annettuja ohjeita. Lumi- ja jäämateriaalien erityiset ominaisuudet huomioidaan. Kantavien rakenteiden suunnittelussa tehtävät mitoituslaskelmat ovat seuraavat:

- Murtorajatilalaskelmat; osoitetaan rakenteiden varmuus murtumista ja kaatumista vastaan.
- Käyttöraajatilalaskelmat; osoitetaan rakenteiden varmuus muodonmuutoksia vastaan.

Laskelmissa käytetään osavarmuuserroinmenettelyä. Osavarmuuskertoimilla laskettaessa saadaan rakenteiden kuormituksille luotettavat raja-arvot, jotta voidaan ennustaa rakenteiden muodonmuutokset ja kuormien muuttuminen käytön aikana.

Murtorajatilalaskelmissa rakenteiden laskentakuorma  $F_d$  lasketaan seuraavasti:<sup>16</sup>

$$F_d = \left. \begin{matrix} 1,2 \\ 0,9 \end{matrix} \right\} g_k + 1,6 \cdot q_k + 1,6 \cdot q_{\text{lumi(tuuli)}} + \sum 0,8 \cdot q_k$$

Käyttörajatilatarkasteluissa laskentakuorma  $q_d$  saadaan:<sup>17</sup>

$$q_d = g + q_k + q_{\text{lumi(tuuli)}} + \sum 0,5 q_k$$

, jossa

|                          |                                          |
|--------------------------|------------------------------------------|
| $g$ ja $g_k$             | pysyvä kuorma (ei lumi- tai tuulikuorma) |
| $q_{\text{lumi(tuuli)}}$ | lumi- tai tuulikuorma                    |
| $q_k$                    | muut muuttuvat kuormat                   |

Sääolojen vaikutus lumi-, jää- ja sohjorakenteisiin tulee arvioida. Sääolojen arviointiin voidaan käyttää RIL218-2001 -ohjetta. Mikäli rakennuspaikka ja rakenteet ovat vuosittain samat, voidaan käyttää aiempina vuosina riittävän luotettavasti tehtyjen mittaus-ten perusteella mitattuja sääolotietoja rakenteiden käyttäytymisen arviointiin.

*Käyttörajatilatarkastelussa* rakenteelle asetetaan raja-arvot, joiden täytyessä tai ylitty-essä jää- ja lumirakenteen käyttö tulee keskeyttää tai lopettaa.

Raja-arvoja käyttörajatilassa ovat

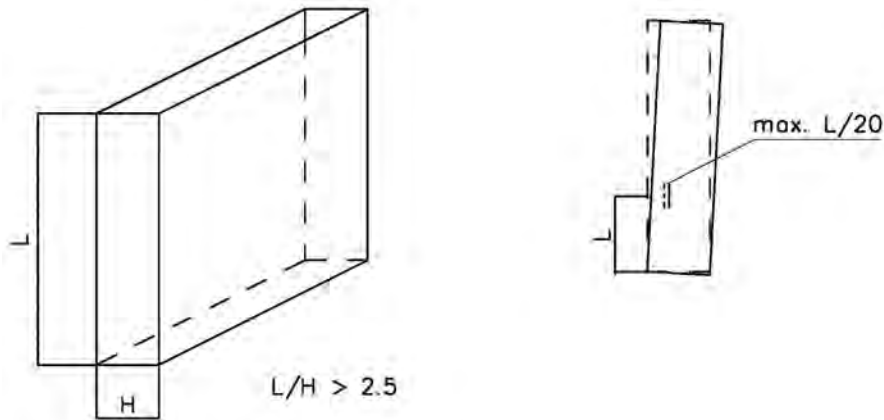
- **Kallistuma**, vapaasti seisoville rakenteille, kun rakenteen korkeuden  $L$  ja kallistuman suuntaisen ja rakenteen kannan poikkileikkausmitan  $H$  suhde on suurempi kuin 2,5 (kuvio 3).<sup>18</sup>
  - Raja-arvona on  $L/20$ , kun  $L$  on tarkastelupisteen vaakasuora etäisyys rakenteen alareunasta (kuvio 3).<sup>19</sup>

<sup>16</sup> Suomen Rakentamismääräyskokoelma osa B1. 1997. s. 3.

<sup>17</sup> Suomen Rakentamismääräyskokoelma osa B1. 1997 s. 4.

<sup>18</sup> RIL218-2001. 2001. s. 39.

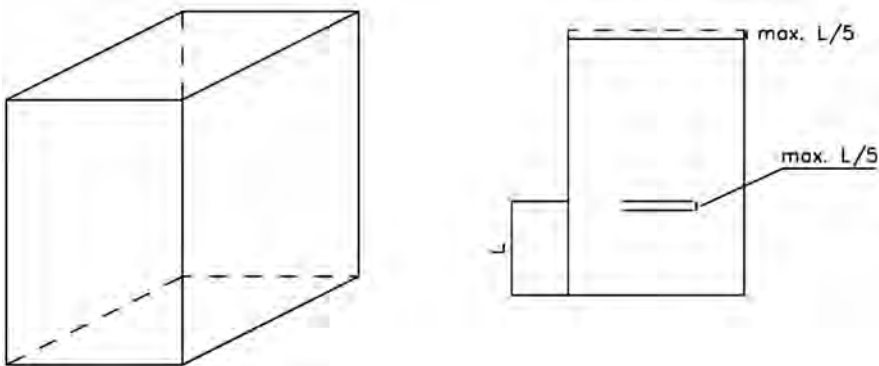
<sup>19</sup> RIL218-2001. 2001. s. 40.



Kuvio 3. Rakenteen kallistuman raja-arvot lumi-, jää- ja sohjorakenteissa<sup>20</sup>

- Painuma

- Vapaasti seisovalle rakenteelle raja-arvo on  $L/5^{21}$ , kun  $L$  on tarkastelupisteen pystysuora etäisyys rakenteen alareunasta (kuvio 4).
- Holvi-, kaari- ja kupolirakenteilla raja-arvo on  $L/8^{22}$ , kun  $L$  on lakipisteen pystysuora etäisyys rakenteen alareunasta (kuvio 5).
- Alareunan tarkastelupisteen luotettavuus ja pysyvyys on varmistettava.



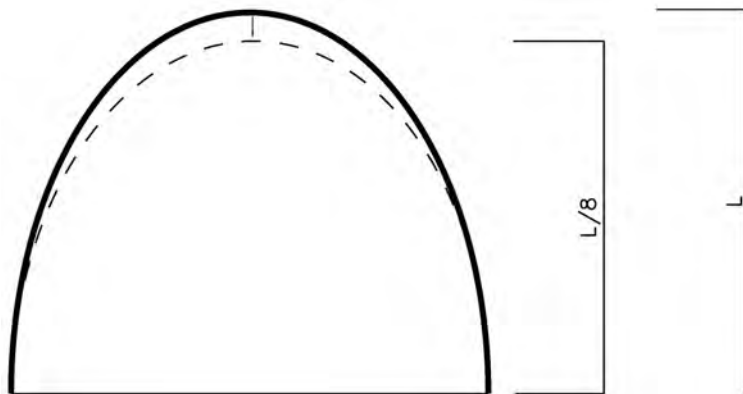
Kuvio 4. Painuman raja-arvot vapaasti seisovat rakenteet<sup>23</sup>

<sup>20</sup> RIL218-2001. 2001. s. 36.

<sup>21</sup> RIL218-2001. 2001. s. 40.

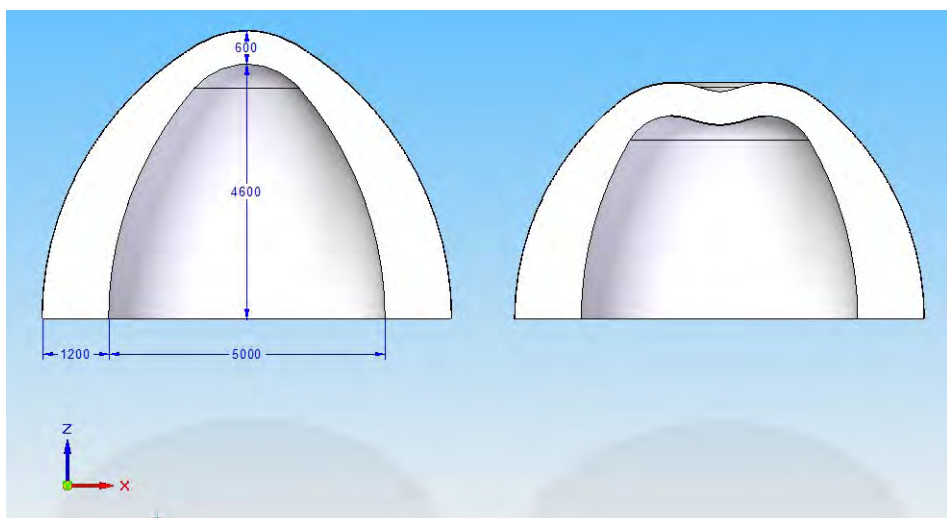
<sup>22</sup> RIL218-2001. 2001. s. 40.

<sup>23</sup> RIL218-2001. 2001 mukaan.



Kuvio 5. Painuman raja-arvot kaarevat rakenteet<sup>24</sup>

- Ikkuna ja oviaukkojen toimivuus
- **Rakenteen alkuperäisen muodon säilyminen** on varmistettava erityisesti holvi-, kaari- ja kupolirakenteiden kohdalla (kuvio 6).
  - Mikäli rakenne menettää alkuperäisen muodon, on sen käyttö keskeytettävä, kunnes varmistetaan rakenteen käytön jatkamisen edellytykset.
  - Esimerkiksi holvikaaren painuminen suoraksi aiheuttaa aina rakenteen käytön keskeyttämisen.



Kuvio 6. Rakenteen alkuperäisen muodon säilyminen lumi-, jää- ja sohjo-rakenteissa<sup>25</sup>

<sup>24</sup> RIL218-2001. 2001 mukaan.

<sup>25</sup> SNOW & ICE METHODS -hanke.



**VIHJE:**

**Lumi- ja jäärakenteille voidaan sallia raja-arvoja suuremmat kallistumat ja painumat, mutta tällöin on käytönajan seurannan oltava riittävän luotettavaa. Alkuperäinen rakennemuoto tulee jokaisessa tapauksessa säilyä.**

## 6.2 Lumirakenteiden suunnittelu

Tehtäessä kantavia rakenteita lumesta rakenteiden suunnitteluun käytetään Suomen Rakennusinsinöörien Liitto ry:n vuonna 2001 julkaisemaa ohjetta: **Lumirakenteiden suunnittelu- ja rakentamisohjeet, RIL218-2001.**

Lumirakenteiden suunnittelu- ja rakentamisohjetta käytetään, kun

- rakennetaan lumesta kantavia rakenteita
- lumen tiheys kantavassa rakenteessa on  $400 - 800 \text{ kg/m}^3$
- lumen vähimmäistiheys on  $400 \text{ kg/m}^3$
- kyse on luvanvaraisesta rakentamisesta
- lyhytaikaiset, kausittaiset rakenteet (käyttöaika alle 6 kk).<sup>26</sup>

Lumirakenteiden suunnitteluun liittyvissä tarkasteluissa tulee erityisesti huomioida tasapaino eli stabiilitetti

- kaatuminen, kun rakenne on hoikka tai rakenne on yli 4 m korkea
- läpilyönti, yleensä kupolirakenteessa esiintyvä yläosan leikkaantuminen.

Jännitykset ja muodonmuutokset lasketaan rakennemallin avulla. Rakennemalli tehdään rakenteen nimellismitoilla. Laskenta tehdään RIL 218-2001 -ohjeen mukaisesti huomioiden geometrian muutokset painumisesta ja säävaikutuksesta. Laskelmassa rakenteen käyttöaika jaetaan kuormitusjaksoihin.

**VIHJE:**

**Lumirakenteiden suunnittelussa noudatetaan aina RIL 218-2001 -ohjetta. Mikäli tehdään lumirakenteita joita ei RIL 218-2001 -ohjeessa tunneta, on niiden kohdalla aina noudatettava erityismenettelyä suunnittelussa.**

<sup>26</sup> RIL218-2001, 2001, s. 7.

### 6.3 Jäärakenteiden suunnittelu

Jäästä tehtävien rakenteiden suunnitteluun sovelletaan tässä teoksessa annettuja ohjeita. Tietyin osin voidaan soveltaa myös RIL 218-2001 Lumirakenteiden suunnittelu- ja rakentamisohjeita.

Jäärakenteiden kuormat lasketaan, kuten edellä on mainittu. Jään tiheytenä voidaan laskelmissa käyttää  $920 \text{ kg/m}^3$  riippumatta siitä, käytetäänkö luonnon jäätä tai tekojää. Auringon sulattava ja tuulen kuluttava vaikutus huomioidaan rakennevahvuuksia määritettäessä.

Jään erityisominaisuus on sen heikko iskunkestävyys alhaisissa lämpötiloissa. Jään lämpötilan noustessa sen iskun kestävyys, ns. sitkeys, kasvaa. Tämä otetaan huomioon suunnittelussa, rakentamisessa sekä käytön aikana. Jäärakenteet suunnitellaan  $0^\circ\text{C}$ :n lämpötilassa, jolloin jään materiaaliominaisuudet ovat eri tutkimusten mukaan luotettavimmat ja tällöin saavutetaan riittävä käytönajan turvallisuus.

Jään kiteiden koolla, muodolla ja kideakseleiden keskinäisellä suuntautuneisuudella on erittäin suuri vaikutus lujuus- ja muodonmuutosominaisuuksiin. Tämän vuoksi jäärakenteet suunnitellaan niin, että kiderakenne vaihtelee mahdollisimman vähän rakenteen eri osissa. Suunnittelussa huomioidaan se, että käytettäessä jääkappaleita, ne tulee asentaa jäätymislujuutta puristusvoimaa vastaan.

Jäähän kohdistuva kuormitus suunnitellaan pidettäväksi rakenteen käytön aikana mahdollisimman alhaisena sekä vakiona. Pidettäessä kuormitusta vakiona jäällä voidaan havaita kolme eri vaihetta ajasta riippuvassa muodonmuutoksessa (kuvio 7).<sup>27</sup>

Ajasta riippuvia muodonmuutoksia jälle ovat

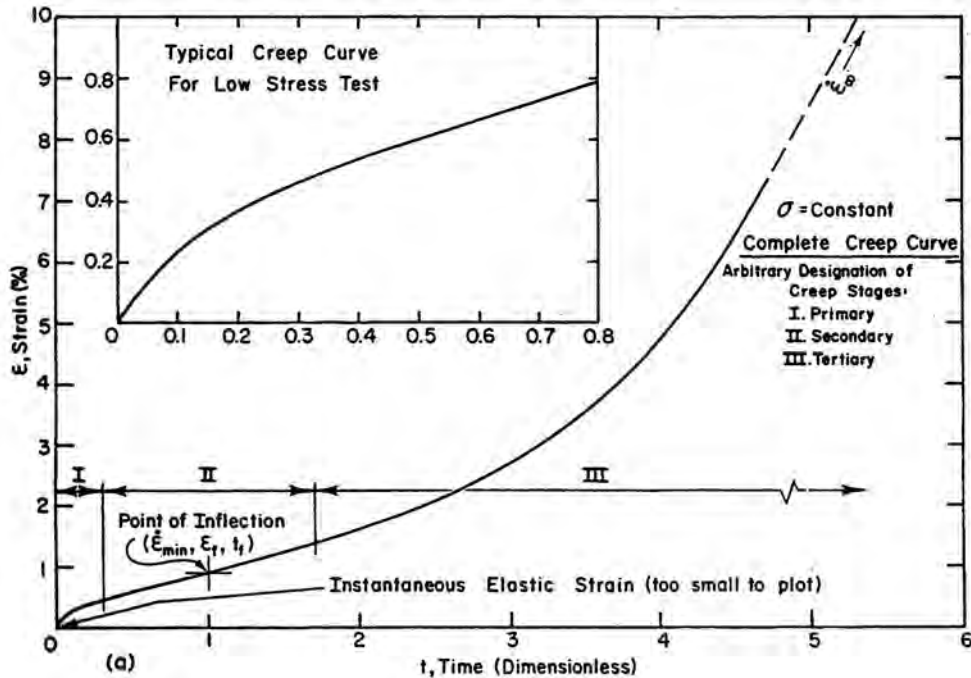
- Primäärimuodonmuutos, joka on kuvaajan alkuosa.
- Sekundäärimuodonmuutos, jolloin muodonmuutos kasvaa likimain vakionopeudella.
- Tertiäärimuodonmuutos, jos kuormitus on riittävän suuri. Tällöin saavutetaan murtotila.

---

<sup>27</sup> Kilpeläinen M., Mäkinen S. 2003. s. 52.

### VIHJE:

SNOW & ICE METHODS -hankkeen tutkimuksissa ei jääkappaleista tehdyillä rakenteilla havaittu käytön kannalta haitallisia painumia rakenteiden käytön aikana.



Kuvio 7. Jään kuormituksen muutos ajasta riippuvana<sup>28</sup>

Jään muodonmuutosnopeus on pieni. SNOW & ICE METHODS -hankkeen mittaus-  
ten ja laskelmien mukaan esimerkiksi 2 m korkean jääseinän painuminen kauden  
aikana jää muutamaan millimetriin.

Jäarakenteen suunnittelussa tulee varmistaa ehto: Puristuslujuus  $\sigma$  käyttötilassa  
suhteessa jään lämpötilaan  $T$  tulee täyttää<sup>29</sup>

$$\sigma \leq -0,1 \cdot T + 0,2 \text{ MPa.}$$

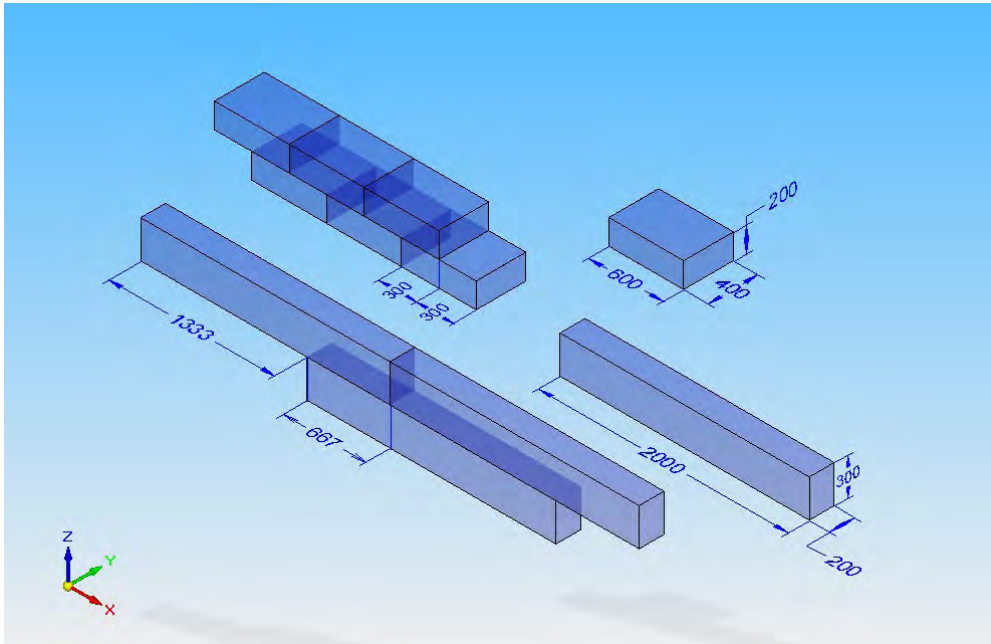
Esimerkiksi jään lämpötilan ollessa  $-10^\circ\text{C}$  tulee puristuslujuuden olla  $\sigma \leq 1,2 \text{ MPa}$ .

<sup>28</sup> Kilpeläinen M., Mäkinen S. 2003.

<sup>29</sup> Kilpeläinen M., Mäkinen S. 2003 mukaan. s. 62.

*Jääkappaleista* tehtävien rakenteiden suunnittelussa yleisten suunnitteluperiaatteiden lisäksi suositellaan seuraavaa:

- Rakenteiden tulee olla lähinnä puristusrakenteita.
- Rakenteiden hoikkuus ja korkeus saa olla
  - enintään 200 mm:n paksut ja leveät ( $b \times L$ ) jääkappaleet maksimi korkeus tukemattomana on 2 m.
  - tuettuna muuhun rakenteeseen korkeus saa olla tukevan rakenteen korkeus.
- Kappaleiden päällekkäiset saumat on limitettävä vähintään
  - jääharkot yms. muutokappaleet minimissään ns. puolen harkon limitys
  - pitkillä jääkappaleilla vähintään 1/3 osan limitys (kuvio 8).
- Mikäli käytetään vetorakenteita, kuten oviaukkojen suorat palkit
  - maksimi aukon leveys saa olla 1500 mm
  - vetorakenne on sallittu vain pitkillä jääkappaleilla
  - vetorakenteen tuenta on varmistettava.
- Jään liittyminen muihin rakenteisiin on varmistettava.

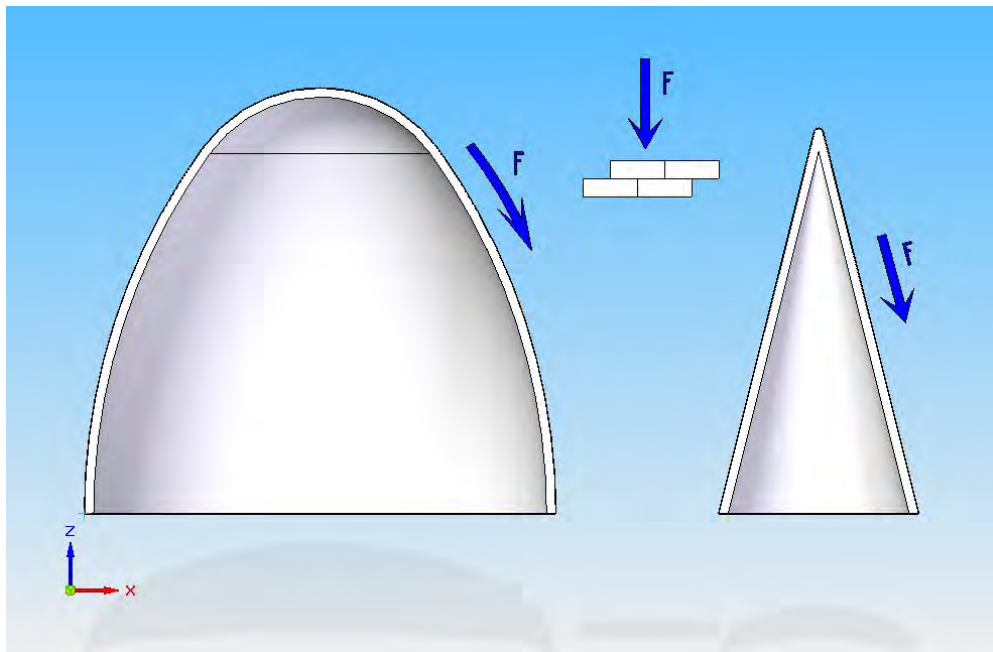


**Kuvio 8. Jääkappaleiden suositellut limityspituudet jäärakenteissa<sup>30</sup>**

<sup>30</sup> SNOW & ICE METHODS -hanke.

*Jäädymällä* tehtävien rakenteiden suunnittelussa yleisten suunnitteluperiaatteiden lisäksi suositellaan

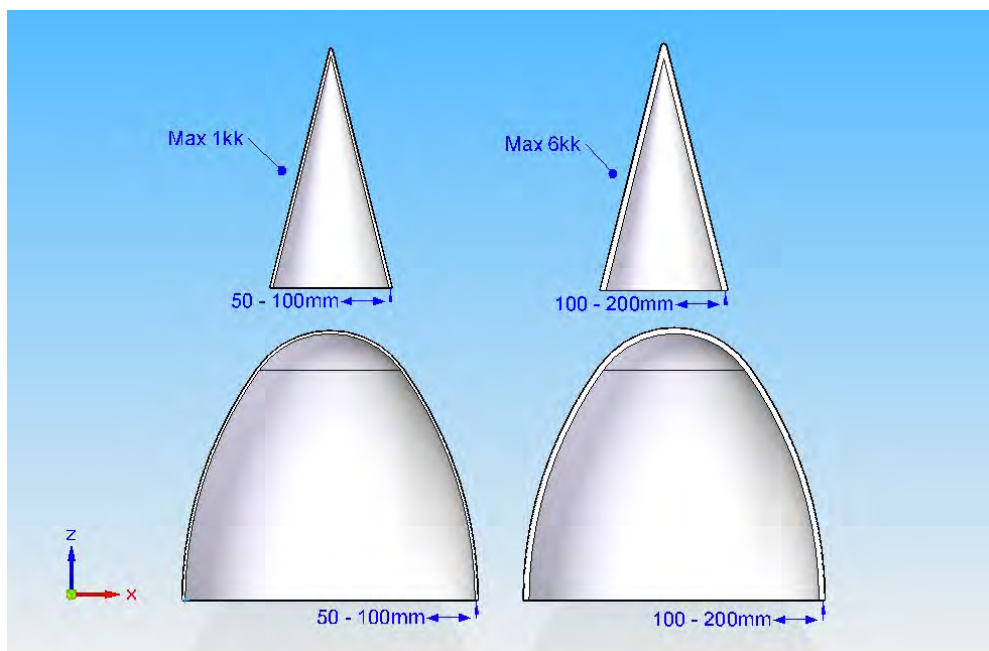
- Rakenteen muotona käytetään puristusrakennetta (kuvio 9).
- Rakennekerroksen vahvuus tulee olla vähintään (kuvio 10)
  - 50 - 100 mm lyhytaikaisissa rakenteissa (maksimi 1 kk:n käyttöaika) riippuen korkeudesta ja muodosta
  - pitkäaikaisissa, maksimissaan 6 kk:n rakenteissa kerrosvahvuus 100 - 200 mm riippuen korkeudesta ja muodosta
    - vahvuus varmistetaan laskennalla esim. RIL218-2001 ohjetta soveltaen ottaen huomioon sulamisen vaikutus.
- Liittyminen muihin rakenteisiin on varmistettava.
- Käytettäessä ilmanpainemuotteja muottipaine määrätään suunnittelu- vaiheessa. Muottipaineen on todettu olevan riittävä, kun paine kantaa muotin oman paino eikä tuulikuorma liikuta muottia alkuvaiheessa.<sup>31</sup>



**Kuvio 9. Jäädymällä tehtyjä puristusrakenteita<sup>32</sup>**

<sup>31</sup> Kurtakko R. 2011.

<sup>32</sup> SNOW & ICE METHODS -hanke.



Kuvio 10. Jäakerroksen minimivahvuus jästä tehtävässä rakenteessa<sup>33</sup>

#### VIHJE:

Jäarakenteiden suunnittelussa on lähtökohtana puristus rakenne. Jään materiaaliominaisuudet vaihtelevat suuresti, joten suunnittelussa käytetään riittävää varmuuskerrointa lujuuksia määritettäessä.

## 6.4 Sohjorakenteiden suunnittelu

Sohjosta tehtäviin rakenteisiin sovelletaan tässä teoksessa annettuja ohjeita. Tietyin osin voidaan soveltaa myös RIL 218-2001 Lumirakenteiden suunnittelu- ja rakentamisohjeita.

Sohjorakenteiden kuormat lasketaan, kuten edellä on mainittu. Kauden aikana tapahtuvat jännitysten ja muodonmuutosten lasketaan RIL 218-2001 -ohjeen mukaan. Sohjorakenteet suunnitellaan toteutettavaksi siten, että sohjon annetaan jäätyä ko-

<sup>33</sup> SNOW & ICE METHODS -hanke.

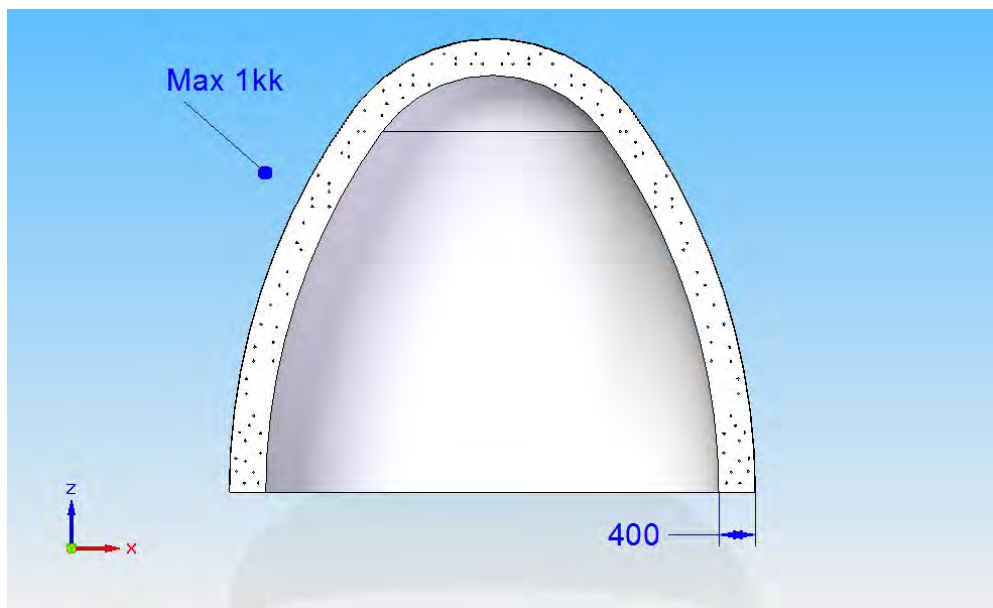
konaan työn etenemisen mukaan. Mikäli sohjo saadaan jäätymään läpi materiaalin paksuuden, muuntuu se lähes jään kaltaiseksi käytön aikana. Tällöin sohjolle voidaan noudattaa ohjeita, jotka on annettu jäälle.

Mikäli sohjorakenne jäätyy läpi rakenteen, ovat rakenteen käytön aikaiset muodonmuutokset ja painumat tehtyjen tutkimusten mukaan erittäin pieniä.

Auringon sulattava ja tuulen kuluttava vaikutus huomioidaan rakennevahvuuksia määritettäessä.

Sohjosta tehtävien rakenteiden suunnittelussa yleisten suunnitteluperiaatteiden lisäksi suositellaan seuraavaa:

- Rakenteista tehdään puristusrakenteita.
- Rakennevahvuus tulee olla
  - lyhytaikaisissa rakenteissa vähintään 400 mm, käyttöaika maksimissaan 1 kk (kuvio 11)
  - pitkäaikaisissa enintään 6 kk, käyttöajan rakenteiden vahvuus määritetään laskelmin käyttötarkoituksen mukaan.
- Rakenteiden liittyminen muihin rakenteisiin on varmistettava.
- Käytettäessä ilmanpainemuotteja muottipaine määrätään suunnitteluvaiheessa.



**Kuvio 11. Sohjon minimivahvuus lyhytaikaisessa rakenteessa<sup>34</sup>**

<sup>34</sup> SNOW & ICE METHODS -hanke.

**VIHJE:**

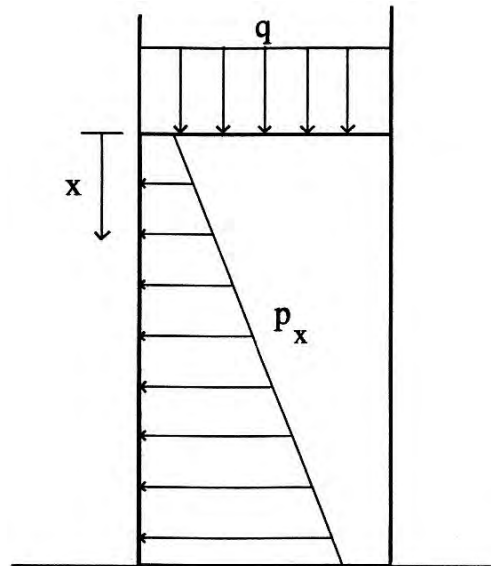
Tutkimusten mukaan sohjorakenteiden muodonmuutokset ovat käytön aikana kuten jäärakenteilla. Sohjorakenteille ei ole olemassa pitkäaikaistutkimusta. Tässä esitetyt asiat perustuvat käytännössä tehtyihin mittauksiin ja havaintoihin rakenteiden toimivuudesta.

## 6.5 Rakennusmuottien suunnittelu

Rakennusmuotit antavat lumi-, jää- ja sohjorakenteille oikean muodon rakentamisvaiheessa. Muottimateriaalina voidaan käyttää lähes mitä vain käytettävissä olevaa muottiaainesta, kuten rakennuslevyjä, peltiä, muovia sekä puuta.

Käytettävä muotti mitoitetaan kestäämään rakentamisen aiheuttamaa muottipainetta siten, että muotti pysyy liikkumatta ja sortumatta materiaalin kuormituksesta. Mitoitusmenetelmä riippuu rakennemuodosta ja muottimateriaalista. RIL 218-2001 -ohjeessa on ohjeita laskennasta seinä-, sekä kaari- ja kupolimuoteille.

Seinämuottia käytettäessä muottipaine määritetään kuvion 12 mukaan.<sup>35</sup>



**Kuvio 12. Seinämämuotin muottipaineen määräytyminen<sup>36</sup>**

<sup>35</sup> RIL218-2001. 2001. s. 55.

<sup>36</sup> RIL218-2001. 2001.

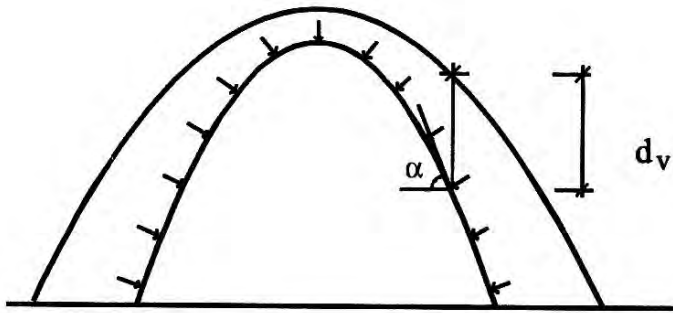


$$p_x = (Q \cdot g \cdot x + q) \cdot K_a$$

, jossa

|       |                                                                  |                      |
|-------|------------------------------------------------------------------|----------------------|
| $p_x$ | seinämuotin muottipaine                                          | [kN/m <sup>2</sup> ] |
| $Q$   | lumen/sohjo/jään tiheys                                          | [kg/m <sup>3</sup> ] |
| $q$   | työnaikainen pintakuorma, $q \geq 1$ kN/m <sup>2</sup>           |                      |
| $K_a$ | kitkakulma, lumelle ja sohjolle 0,5; jäälle määritetään erikseen |                      |

Kaari- ja kupolimuottien muottipaine määritetään kuvion 13 mukaan.<sup>37</sup>



Kuvio 13. Kaari- ja kupolimuottien muottipaine<sup>38</sup>

$$p_\alpha = Q \cdot g \cdot d_v \cdot \cos^2 \alpha$$

, jossa

|            |                                         |                      |
|------------|-----------------------------------------|----------------------|
| $p_\alpha$ | muottipaine                             | [kN/m <sup>2</sup> ] |
| $Q$        | lumen tiheys                            | [kg/m <sup>3</sup> ] |
| $d_v$      | tarkastelukohdan pystysuora paksuus [m] |                      |

Kaaren muotoisista muoteista lumella ja sohjolla rakennettaessa toimii parhaiten ns. ketjukäyrän muotoinen kaari. Ketjukäyrän, hyperbolisen kosinin kuvaaja, muodostaa kahden tukipisteen varaan ripustettu taipuisa ketju tai köysi (kuvio 14), (kuva 7). Liitteessä 1 on ohje ketjukäyrän määrittämisestä.

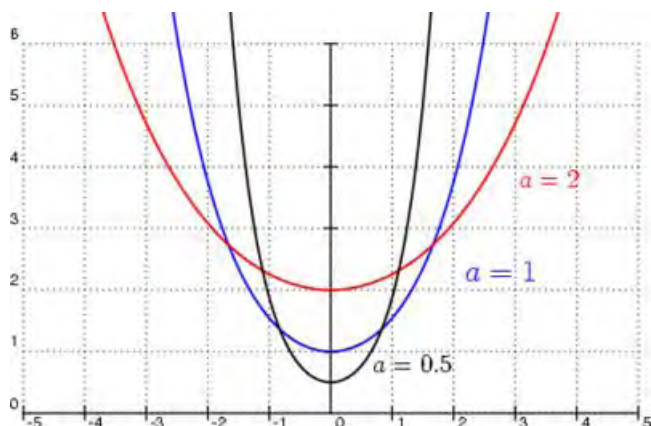
Ketjukäyrän matemaattinen kaava on<sup>39</sup>

$$y = a \cosh\left(\frac{x}{a}\right) = \frac{a}{2} (e^{x/a} + e^{-x/a}), \quad a > 0$$

<sup>37</sup> RIL218-2001. 2001. s. 56.

<sup>38</sup> RIL218-2001. 2001.

<sup>39</sup> Valtanen E. 2009. s. 61.



Kuvio 14. Ketjukäyrän kuvaaja<sup>40</sup>

Tutkimuksissa on todettu, että ketjukäyrä toimii lumella ja sohjolla rakennettaessa myös kupolimuodoilla, joissa kupolin jokaisessa leikkaussuunnassa toteutuu ketjukäyrän muoto (kuva 8).



Kuva 7. Ketjukäyrän muotoinen teräksinen holvikaarimuotti<sup>41</sup>

<sup>40</sup> Wikipedia.org, 2011.

<sup>41</sup> Rynnänen K, 2011.



**Kuva 8. Ketjukäyrän muotoinen ilmanpainemuotti<sup>42</sup>**

---

<sup>42</sup> Ryynänen K. 2011.

## 7 TYYPPIRAKENTEET

Tyyppirakenteet ovat rakennemuotoja, joiden on todettu toimivan hyvin rakennettaessa lumi- ja jäärakenteita. Mikäli noudatetaan tämän ohjekirjan sekä RIL 218-2001 -ohjeita, ei yleensä tarvita tarkempaa rakennesuunnittelua ko. rakenteille.

Tyyppirakenteiden käyttämiseen liittyvät ehdot ovat seuraavat:

- Rakennemuodot ovat em. ohjeissa esitetyt.
- Rakennevahvuudet ovat em. ohjeissa esitetyt.
- Lumen tiheys on vähintään 400 kg/m<sup>3</sup> rakentamismuodossa.
- Rakenteet ovat lähinnä puristusrakenteita. Vetorakenteita käytetään vain kapeissa kulku- tai oviaukoissa.
- Lumen ja sohjon tiivistäminen rakennusvaiheessa tulee tehdä huolellisesti.
- Suurissa rakenteissa voidaan käyttää ns. kolmikerrosrakennetta, jossa ovat jää-sohjo-lumikerrokset.

Tyyppirakenteina voidaan käyttää:

### 1. Seinät, muurit ja tornit (kuva 9)

- Kun rakennetaan lumesta ja sohjosta tai rakenteet muurataan jääkappaleista.
- Rakenteet ovat pystysuoria yleensä vapaasti seisovia rakenteita.
- Muotona voi olla tasapaksu, tasaisesti tai portaittain ylöspäin oheneva.
- Mitoituksessa huomioidaan rakenteen kaatuminen, kallistuminen ja painuminen.



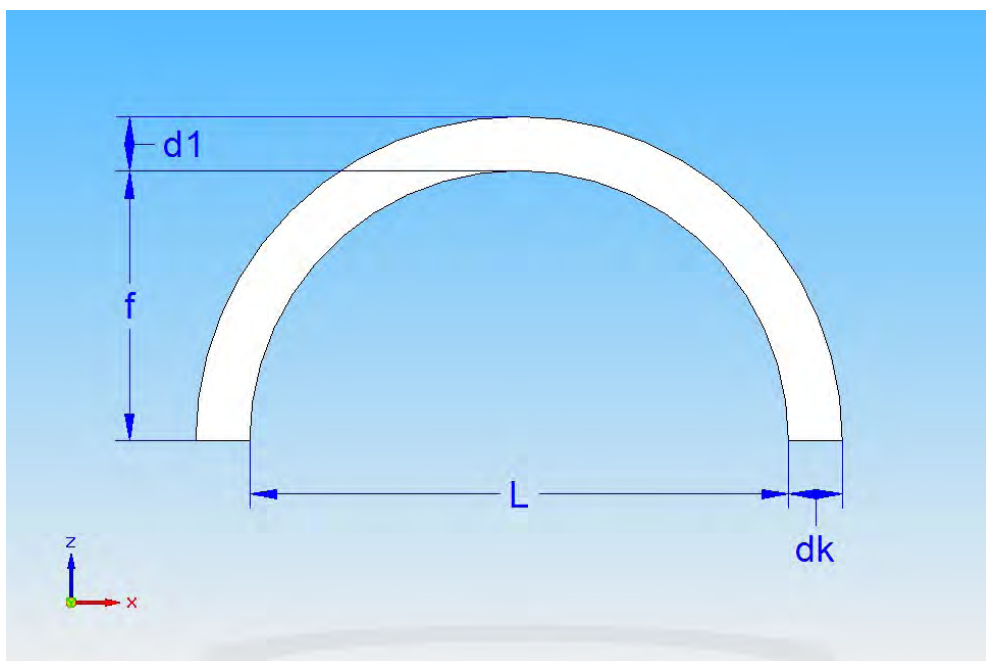
Kuva 9. Vapaasti seisova tasapaksu lumimuuuri<sup>43</sup>

## 2. Kaari- ja holvirakenteet

- Rakennetaan lumesta ja sohjosta tai jäädyttämällä (kuvio 15) ja (kuva 10).
- Rakenteen pääjännitykset ovat puristusjännityksiä, rakenteen paras muoto on ns. ketjukäyrä.
- Kaaren ja holvin nuolikorkeuden  $f$  suhde sisäpuoliseen jännemittaan  $L$  rakennelman käyttöönottoaiheessa tulee olla vähintään  $f/L > 0,5$ .<sup>44</sup>
- Rakenteen kannan paksuuden  $d_k$  ja jännemitan  $L$  suhteen on oltava vähintään  $d_k/L > 0,2$ .<sup>21</sup>
- Rakenteen laen paksuuden  $d_l$  ja jännemitan  $L$  suhde on oltava vähintään  $d_l/L > 0,1$ .<sup>21</sup>

<sup>43</sup> Ryynänen K., 2011.

<sup>44</sup> RIL218-2001. 2001. 44.



Kuvio 15. Kaarirakenteen mittasuhteet ja osat<sup>45</sup>



Kuva 10. Kaarenmuotoinen lumikäytävä<sup>46</sup>

<sup>45</sup> RIL218-2001. 2001.

<sup>46</sup> SNOW & ICE METHODS -hanke.



**Esimerkki 1.** On tarkistettava, täyttyvätkö mitoitus ehdot rakenteen käyttöönotto vaiheessa, kun tehdään lumella rakennettava kaarikäytävä, jonka mitat ovat:

- käytävän sisätilan leveys 3 m
- sisätilan korkeus alussa 2,5 m
- lumen paksuus kannassa 0,8 m
- lumen paksuus laella 0,4 m.

Ratkaisu

Kaaren ja holvin nuolikorkeuden  $f$  suhde sisäpuoliseen jännemittaan  $L$

$$\frac{f}{L} = \frac{2,5 \text{ m}}{3 \text{ m}} = 0,833 > 0,5 \text{ (ok)}$$

Kannan paksuuden  $d_k$  ja jännemittaan  $L$  suhde

$$\frac{d_k}{L} = \frac{0,8 \text{ m}}{3 \text{ m}} = 0,266 > 0,2 \text{ (ok)}$$

Laen paksuuden  $d_l$  ja jännemittaan  $L$  suhde

$$\frac{d_l}{L} = \frac{0,4 \text{ m}}{3 \text{ m}} = 0,133 > 0,1 \text{ (ok)}$$

**3. Kupolirakenteet (kuva 11) ja (kuva 12)**

- Kun rakennetaan lumesta ja sohjosta tai jäädyttämällä.
- Nuolikorkeuden  $f$  suhde sisäpuoliseen halkaisijaan  $L$  on oltava käyttöönotto vaiheessa vähintään  $f/L > 0,5$  (kuvio 15).<sup>47</sup>
- Ellipsin muotoisilla rakenteilla nuolikorkeuden suhde  $f/L$  ei ole joka suuntaan vakio. Ellipsin muotoiset rakenteet vaativat aina jääkerroksen kantavaksi kerrokseksi.

---

<sup>47</sup> RIL218-2001. S. 44.



Kuva 11. Kupolirakenne<sup>48</sup>



Kuva 12. Ellipsin muotoinen rakenne Kemin lumilinna 2009<sup>49</sup>

---

<sup>48</sup> SNOW & ICE METHODS -hanke.

<sup>49</sup> SNOW & ICE METHODS -hanke.



## 8 RAKENNUSPROSESSI LUMI- JA JÄÄRAKENTAMISESSA

### 8.1 Lumi- ja jäärakentamisen viranomaisohjeistus ja -valvonta

Suomessa rakentamista ohjaa Maa- ja rakennuslaki, Maa- ja rakennusasetus sekä Suomen Rakentamismääräyskokoelmassa annetut määräykset ja ohjeet. Lisäksi kunnat voivat antaa rakennusjärjestyksissään erityisiä määräyksiä ja ohjeita.

Lumesta, jäädästä tai sohjosta rakennettavien ammattimaisessa, kuten matkailurakenteet, käytössä olevien rakennuksien tai rakennelmien rakentamiseen tulee olla toimenpide- tai rakennuslupa. Erityisesti niissä tapauksissa ollaan lumi- ja jäärakenteen alla tai sen sisällä. Luvan tarpeellisuuden ja lupamuodon määrittää rakennusvalvontaviranomainen. **Tavoitteena on aina varmistaa rakenteiden käyttäjien turvallisuus.**

Rakennuslupa voi olla määräaikaisen tai tilapäisen rakennuksen lupa. Määräaikaiseen rakennukseen ei sovelleta tilapäistä rakennusta koskevia poikkeamismahdollisuuksia, vaan määräaikaiseen rakennukseen sovelletaan lähtökohtaisesti samoja säännöksiä ja määräyksiä kuin pysyvään rakennukseen. Rakennuslupa voidaan myöntää joko kertaluonteisesti tai esimerkiksi viiden vuoden määräajaksi. Usealle vuodelle myönnettyyn rakennuslupaan tulee sisältyä vuosittainen suunnitelmien tarkistaminen, jos rakennetaan samoja rakennemuotoja käyttäen lumi- ja jäärakentekokonaisuus, jossa osien paikat vaihtelevat vuosittain.

Lumi- ja jäärakentamisessa sovelletaan mm. seuraavia Maa- ja rakennuslain (MRL)<sup>50</sup> sekä Maa- ja rakennusasetuksen (MRA)<sup>51</sup> kohtia:

---

<sup>50</sup> Maankäyttö – ja Rakennuslaki 132/1999.

<sup>51</sup> Maankäyttö- ja Rakennusasetus 895/1999.

*"MRL 113 §: Rakennus on asumiseen, työntekoon, varastointiin tai muuhun käyttöön tarkoitettu kiinteä tai paikallaan pidettäväksi tarkoitettu rakennelma, rakenne tai laitos, joka ominaisuuksiensa vuoksi edellyttää viranomaisvalvontaa turvallisuuteen, terveellisuuteen, maisemaan, viihtyisyyteen, ympäristönäkökohtiin taikka muihin tämän lain tavoitteisiin liittyvistä syistä."*

*"MRL 117 §: Rakennuksen tulee soveltua rakennettuun ympäristöön ja maisemaan sekä täyttää kauneuden ja sopusuhtaisuuden vaatimukset. Rakennuksen tulee sen käyttötarkoituksen edellyttämällä tavalla täyttää rakenteiden lujuuden ja vakauden, paloturvallisuuden, hygienian, terveyden ja ympäristön, käyttöturvallisuuden, meluntorjunnan sekä energiatalouden ja lämmöneristyksen perusvaatimukset (olennaiset tekniset vaatimukset). Rakennuksen tulee olla tarkoitustaan vastaava, korjattavissa, huollettavissa ja muunneltavissa sekä, sen mukaan kuin rakennuksen käyttö edellyttää, soveltua myös sellaisten henkilöiden käyttöön, joiden kyky liikkua tai toimia on rajoittunut."*

*"MRL 119§: Rakennushankkeeseen ryhtyvän on huolehdittava siitä, että rakennus suunnitellaan ja rakennetaan rakentamista koskevien säännösten ja määräysten sekä myönnetyn luvan mukaisesti. Hänellä tulee olla hankkeen vaativuus huomioon ottaen riittävät edellytykset sen toteuttamiseen sekä käytettävissään pätevä henkilöstö."*

*"MRL 120 §: Rakennuksen suunnittelussa tulee olla suunnittelun kokonaisuudesta ja sen laadusta vastaava pätevä henkilö, joka huolehtii siitä, että rakennussuunnitelma ja erityissuunnitelmat muodostavat kokonaisuuden, joka täyttää sille asetetut vaatimukset (pääsuunnittelija)."*

*"MRL 122 §: Lupaa tai muuta viranomaishyväksyntää edellyttävässä rakennustyössä tulee olla työn suorituksesta ja sen laadusta vastaava, joka johtaa rakennustyötä sekä huolehtii rakentamista koskevien säännösten ja määräysten sekä myönnetyn luvan ja hyvän rakennustavan mukaisesta työn suorittamisesta (vastaava työnjohtaja). --- Tarpeen mukaan rakennustyössä tulee olla erityisalan työnjohtajia sen mukaan kuin asetuksella säädetään."*

*"MRL 123 §: Rakennus- ja erityissuunnitelman laatijalla sekä rakennustyön vastaavalla työnjohtajalla ja erityisalan työnjohtajalla tulee olla rakennushankkeen laadun ja tehtävän vaativuuden edellyttämä koulutus ja kokemus. Suunnittelussa tarvittavaa kelpoisuutta arvioidaan rakennuksen ja tilojen käyttötarkoituksen, kuormitusten ja palokuormien, suunnittelu-, laskenta- ja mitoitusmenetelmien, ympäristövaatimusten sekä suunnitteluratkaisun tavanomaisesta poikkeamisen perusteella. ---"*

*Rakennustyön johtamisessa tarvittavaa kelpoisuutta arvioidaan edellä säädetyin lisäksi myös rakentamisolosuhteiden ja työnsuorituksessa käytettävien erityismenetelmien perusteella.”*

*”MRL 125 § : Rakennuksen rakentamiseen on oltava rakennuslupa. --- Määräajan paikallaan pysytettävää rakennusta varten rakennuslupa- voidaan asettaa määräaika.”*

*”MRL 126 § : Rakennusluvan sijasta rakentamiseen voidaan hakea toimenpidelupa sellaisten rakennelmien ja laitosten, kuten maston, säiliön ja piipun pystyttämiseen, joiden osalta lupa-asian ratkaiseminen ei kaikilta osin edellytä rakentamisessa muutoin tarvittavaa ohjausta. --- Toimenpidelupa tarvitaan lisäksi sellaisen rakennelman tai laitoksen pystyttämiseen ja sijoittamiseen, jota ei pidetä rakennuksena, jos toimenpiteellä on vaikutusta luonnonoloihin, ympäröivän alueen maankäyttöön taikka kaupunki- tai maisemakuvaan.”*

*”MRL 176 §: --- tutkittaessa tilapäisen rakennuksen rakentamista koskevaa lupahakemusta on otettava huomioon rakennuksen tarkoitus sekä lujuuden, terveellisyyden, liikenteen, paloturvallisuuden ja ympäristöön sopeutuvuuden vaatimukset.”*

Lisäksi rakennusluvan päätöksessä on aina MRA:n 74 §:n vaatimus aloituskokouksesta. Lupapäätöksessä voidaan asettaa tarpeellisia määräyksiä MRL:n 141 §:n mukaan.

Suomen Rakentamismääräyskokoelmassa olevia määräyksiä, joita tulee noudattaa lumi- ja jäärakentamisessa, ovat mm. seuraavat:

## **A1 Rakentamisen valvonta ja tekninen tarkastus<sup>52</sup>**

### **Rakennushankkeessa noudatettava erityismenettely**

*”Rakennushankkeessa on noudatettava erityismenettelyä, jos rakennuksen suunnittelussa, rakentamisessa tai käytössä tapahtuvasta virheestä voi seurata suuronnettomuuden vaara.”*

*”Rakennusvalvontaviranomainen päättää rakennusluvassa, aloituskokouksessa tai erityisestä syystä rakennustyön aikana tarvittavasta erityismenettelystä ja sen laajuudesta hankkeessa tai osassa sitä.”*

---

<sup>52</sup> Suomen Rakentamismääräyskokoelma A1. 2006. sekä Ympäristöministeriö.2007 mukaan.

## Työnjohtajan tarve, kelpoisuus ja hyväksyminen

*”Erittäin vaativassa rakennushankkeessa tai sen erittäin vaativassa osassa on vastaavalla työnjohtajalla oltava vähintään tehtävään soveltuva teknillisen oppilaitoksen tai ammattikorkeakoulun rakennusosastolla tai rakennustekniikan koulutusohjelmassa suoritettu insinöörin tai rakennusmestari AMK taikka insinööri AMK tutkinto, kokemusta rakennustyön johtamisessa vähintään 5 vuotta sekä hyvä perehtyneisyys kyseisen alan työnjohtotehtävissä. Teknillisen oppilaitoksen rakennusosaston opintolinjalla suoritettu teknikon tutkinto tai aikaisempi sitä vastaava tutkinto tulevat kysymykseen, jos henkilö työtodistuksin ja muin selvityksin osoittaa toimineensa menestyksellisesti vaativuudeltaan vastaavissa tehtävissä.”*

*”Jos rakennustyöhön on erityismenettelyn piiriin kuuluville osa-alueille asetettu erityisalan työnjohtaja tai rakentamismääräyskokoelman kantavia rakenteita koskevista osista tarkoitettu vaativuusluokan AA tai 1-rakenneluokan työnjohtaja, sovelletaan maankäyttö- ja rakennusasetuksen yleisiä säännöksiä vastaavan työnjohtajan pätevyydestä.”*

## A2 Rakennuksen suunnittelijat ja suunnitelmat<sup>53</sup>

*”Rakennushankkeeseen ryhtyvän on huolehdittava siitä, että rakennus suunnitellaan ja rakennetaan rakentamista koskevien säännösten ja määräysten sekä myönnetyn luvan mukaisesti. Hänellä tulee olla hankkeen vaativuus huomioon ottaen riittävät edellytykset sen toteuttamiseen sekä käytettävissään pätevä henkilöstö.”*

## E1 Rakennusten paloturvallisuus<sup>54</sup>

*Rakennuksesta tulee voida turvallisesti poistua tulipalossa tai muussa hätätilanteessa.*

*Rakennuksessa tulee olla riittävästi sopivasti sijoitettuja, tarpeeksi väljiä ja helppokulkuisia uloskäytäviä. Poistumisteiden toimivuus ja käytettävyyys tulee varmistaa käytönaikana ottaen huomioon mm. rakenteiden painuminen.*

*Rakennuksen jokaiselta poistumisalueelta, jossa muutoin kuin tilapäisesti oleskelee tai työskentelee henkilöitä, tulee yleensä olla vähintään kaksi erillistä, taroituksen mukaisesti sijoitettua uloskäytävää.*

<sup>53</sup> Suomen Rakentamismääräyskokoelma A2. 2002. s. 5.

<sup>54</sup> Suomen Rakentamismääräyskokoelma E1. 2005.

*Rakennukseen tulee suunnitella ja rakentaa sen eri tiloihin soveltuva ja riittävä mahdollisuus savunpoistoon.*

*Majoitus- ja kokoontumistiloina käytettävät rakennelmat on varustettava akku-varmennetuin poistumisopastein, Pienet majoitustilattomat rakennelmat voidaan varustaa jälkivalaisevin poistumisopastein. Majoitustilat tulee varustaa kylmiin olosuhteisiin soveltuvin palovaroittimin.*

*Rakennus tulee tarvittaessa varustaa riittävällä ja tarkoituksenmukaisilla alkusammutusvälineillä.*

*Tiloissa on sijoitettuna näkyvälle paikalle (mm. majoitushuoneet ja kokoontumistilat) poistumisopastekartat.*

*Hälytysajoneuvoja varten on oltava riittävät kulkureitit, jotka tulee olla aina ajokelpoisia, esteettömiä ja asianmukaisesti merkittyjä.<sup>55</sup>*

## **F1 Liikuntaesteetön rakentaminen:**

*Lumirakennukset ovat yleensä tiloja, joihin kaikilla on oltava mahdollisuus päästä. Tilat on suunniteltava siten, että myös liikuntaesteiset henkilöt voivat käyttää niitä.*

*Tällöin on syytä kiinnittää huomiota mm. kulkuteihin, luiskiin ja WC-tiloihin.*

## **F2 Rakennusten käyttöturvallisuus:<sup>56</sup>**

*Lumirakentamisen yhteydessä on kiinnitettävä huomiota ainakin seuraaviin asioihin: portaat, käsijohteet, kaiteet, riittävä valaistus sekä liukkaudenesto.*

## **8.2 Lumi- ja jäärakentamisen luvat**

Kunnan rakennusvalvontaviranomainen määrittää tapauksittain, tarvitaanko lumi-, jää- ja sohjorakenteelle rakennus- tai toimenpidelupa vai voidaanko rakennelma tehdä ilman erityistä lupaa ilmoitusmenettelyä käyttäen. Rakennushankkeeseen ryhtyvän on selvitettävä luvan tarve yhdessä rakennusvalvontaviranomaisen kanssa.

---

<sup>55</sup> Leiviskä S. 2011 sekä Pitkänen M. 2003 mukaan.

<sup>56</sup> Suomen Rakentamismääräyskokoelma F2. 2001. Sekä Pitkänen M. 2003 mukaan.

Tässä ohjeessa suositellaan, että rakentamiseen liittyvä lupamenettelyä tarvitaan ainakin seuraavissa tapauksissa:

- Lumi-, jää- tai sohjorakenteessa harjoitetaan ammattimaista majointus- tai ravintolatoimintaa (*aina rakennuslupa*)
  - huoneet yöpymistarkoitukseen
  - tilat ravintolakäyttöön ruokailu, juomatarjoilu yms.
  - kappeli yms. kokoontumistilat.
- Rakenteen muoto ja koko ovat sellaisia, että käyttäjät menevät rakenteen sisään tai kantavien rakenteiden alle.
- Rakenne on rakennettu julkiselle paikalle, kuten tori ym. alue ja on vapaasti yleisön käytössä.

Lumi- ja jäärakenteen käyttötarkoituksesta riippuen voidaan määrätä lisäksi muita viranomaislupia ja -ohjeita, joita rakentamisessa ja käytössä tulee noudattaa.

Näitä ovat mm:

- Valvira (mm. anniskelulupa)
- Tukes, Turvallisuus- ja kemikaalivirasto (Lumi- ja jäärakennelmien turvallisuusohje vuodelta 2008). Ohje on tämän ohjekirjan liitteenä 2.
- Pelastustoimi (pelastautumissuunnitelma, palosuojaus sekä käyttö-turvallisuus).

### 8.3 Lumi- ja jäärakenteista laadittavat piirustukset

Lumi-, jää- ja sohjorakenteista laaditaan arkkitehti- ja rakennepiirustukset rakennuslupamenettelyä ja rakentamista varten. Piirustusmerkinnöissä noudatetaan standardissa 4733 Rakennuspiirustukset, viivat (1982) olevia ohjeita. Piirustukset laatii henkilö, jolla katsotaan olevan riittävä ammattitaito piirustusten laadintaan.

Liitteessä 3 ovat mallipiirustukset lumi- ja jäärakenteesta.

Lumi-, jää- ja sohjorakenteiden piirustuksissa tulee esittää vähintään:

- rakenteiden päämitat ja sallitut mittapoikkeamat
- mitat nimellismittoina rakenteen valmistumishetkellä
- vaadittava lumen ja sohjon vähimmäistiheys eri osissa kantavia rakenteita
- muut mahdolliset materiaalit rakenteissa, kuten teräs ja puukannakkeet
- ovet, ikkunat, muut syvennykset ja heikennykset
- rakenteiden arvioidut painumisnopeudet
- rakenteiden sallitut kallistuskulmat

- muut rakenteiden lujuuteen ja turvallisuuteen vaikuttavat tiedot ja seikat
- rakenteiden käytön lopettamiseen ja sulkemiseen johtavat muuttuneet rajamitat
- muodonmuutosten mittauspisteet kantavissa rakenteissa
- muodonmuutoksien mittaukseen liittyvien kiintopisteiden sijainti.

Rakennustyössä käytettävistä muoteista laaditaan erilliset muottipiirustukset. Muotit mitoitetaan rakennusmateriaalista ja muottien siirrosta aiheutuville kuormille. Muottipiirustukset laaditaan käytettävän muottimateriaalin mukaan. Tarvittaessa muoteista tehdään käyttösuunnitelma.

#### **VIHJE:**

**Piirustukset laaditaan rakentamisvaiheen ns. nimellismittojen mukaan. Tehtaessa vuosittain samat rakenteet eri järjestykseen, piirustukset päivitetään ja tarkistetaan muuttuneiden sijaintien mukaan.**

## **8.4 Työselostus**

Lumi-, jää- ja sohjorakenteista laadittavia arkkitehti- ja rakennepiirustuksia voidaan täydentää työselostuksella. Työselostuksessa käydään läpi yksityiskohtaisesti rakentamisen työvaiheet. Liitteessä 4 on malli lumi- ja jäärakentamisen työselostuksesta.

Työselostukseen tulee sisältyä ohjeita ja suosituksia seuraavista asioista:

- Käytettävät rakennusmateriaalit
  - lumi (luonnonlumi/tekolumi)
  - jää (jääkappaleet/jäädymällä tehtävät rakenteet)
  - sohjo (ml. veden määrä)
  - muut materiaalit (teräs/puukannakkeet yms.)
- materiaalin käsittely rakentamisvaiheessa
  - lumen tiivistys
  - veden lisääminen lumeen sohjorakentamisessa
  - jäiden esikäsittely
- rakentamismenetelmät
  - muottirakentaminen
  - jääkappaleiden kiinnittäminen toisiinsa (sohjo/vesi)
- rakentamisen vaiheet
  - työjärjestys eri rakenteilla

- käytettävät muotit
  - muottikierto
  - muottien asennusohjeet
- käytettävät työkoneet ja -laitteet
  - lumen siirto (alueella/rakenteisiin)
  - jäiden siirto
- muodonmuutosmittapisteet
  - sijainti
  - kiintopisteen materiaali ja rakentaminen.

**VIHJE:**

**Työselostus laaditaan tarvittaessa ja on pakollinen erityismenettelyn piirissä olevissa kohteissa.**



## 9 RAKENTEIDEN KÄYTÖN AIKAINEN SEURANTA

Lumi-, jää- ja sohjorakenteita tulee seurata rakenteiden käytön aikana. Seuranta sisältää päivittäisiä ylläpitotarkastuksia sekä pitempiaikaista seurantaa, kuten muodonmuutosten mittausta. Rakenteiden käytönajan seurantaan määritetään vastuuhenkilöt, jotka seuraavat rakenteen käyttöturvallisuutta ja vastaavat rakenteen käytöstä sen elinkaaren ajan.

Jokaisesta lumi- ja jäärakennuskohteesta laaditaan erillinen käyttö- ja turvallisuussuunnitelma osana rakentamisprosessia. Käyttö- ja turvallisuussuunnitelma hyväksytään viimeistään rakennushankkeen aloituskokouksessa. Käyttö- ja turvallisuussuunnitelman laatii rakennushankkeeseen ryhtyvä tai hänen edustajansa. Liitteessä 5 on malli lumi- ja jäärakenteen käyttö- ja turvallisuussuunnitelmasta.

Käyttö- ja turvallisuussuunnitelmassa tulee olla määritettynä vähintään:

- kantavien rakenteiden sallitut muodonmuutokset
- kantavien rakenteiden muodonmuutosmittaukset
- kantavien rakenteiden sallitut lämpötilat
- rakenteiden kovuus ja tiheys riippuen materiaalista
- rakenteen purkamiseen johtavat seikat.

### 9.1 Rakenteiden muodonmuutokset

Lumi- ja jäärakenteiden muodonmuutoksia seurataan koko rakennelmien käytön ajan. Rakennuspiirustuksissa ja mahdollisessa työselostuksessa määritetään kustakin kantavasta rakenteesta muodonmuutosten mittauskohdat ja mittausväli. Mittausten toteuttamistavat määritetään osana käyttö- ja turvallisuussuunnitelmaa.

Mittaus suunnitelman laatii rakenteen suunnittelija tai rakentaja. Mittaus suunnitelman varmentavat allekirjoituksellaan rakennushankkeeseen ryhtyvä tai hänen edustajansa, rakenteen käyttäjä, mikäli hän on eri kuin rakennushankkeeseen ryhtyvä, muodonmuutosten suorittaja sekä rakennusviranomainen.

Muodonmuutosten seurannassa tulee käyttää riittävän luotettavia mittausmenetelmiä riippuen rakenteen koosta ja muodosta. Näitä ovat manuaaliset tai sähköiset mittausmenetelmät. Muodonmuutosmittaustulokset talletetaan mittauspöytäkirjaan ja liitetään osaksi rakenteen käyttö- ja turvallisuussuunnitelmaa.

Mittapisteet valitaan lumi- ja jäärakenteiden toiminnan kannalta kriittisiin pisteisiin. Mittapisteet merkitään piirustuksiin. Kriittisiä pisteitä ovat mm.

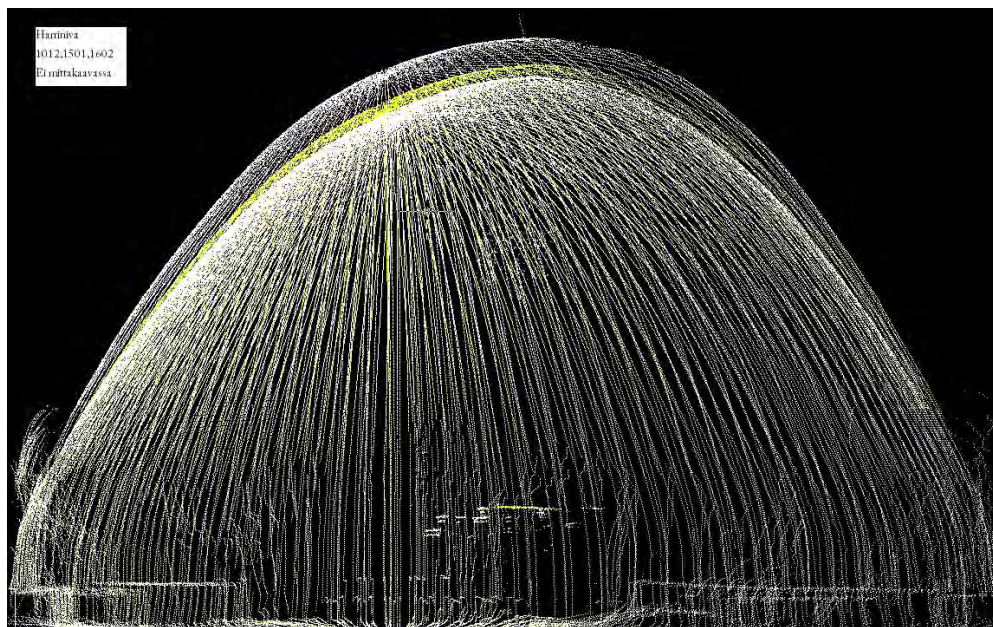
- korkein kohta rakenteissa
- eri materiaalien rajakohdat
- ovi tai ikkuna-aukot sekä muut heikennykset kantavissa rakenteissa
- kaarevissa rakenneosissa laki, kaaren puolipisteet sekä kanta
- vapaasti seisovat rakenteet ylin piste sekä rakenteen puoliväli.

Rakenteisiin kiinnitettävien mittapisteiden pysyminen kiinni materiaalissa tulee varmistaa. Mittapisteiden materiaalina tulee käyttää lumeen ja jäähän kiinnittyviä, kuten puisia ja muovisia sauvoja.

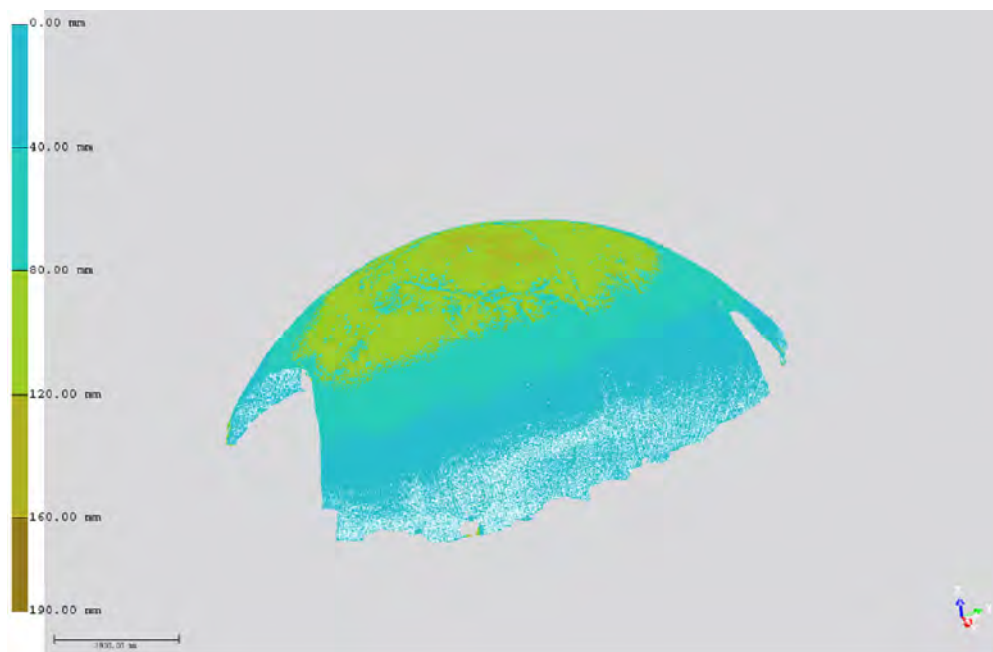
Rakenteiden painumien ja muodonmuutoksien raja-arvoina käytetään lähtökohtaisesti ohjekirjan kappaleessa 6.1 Yleiset suunnitteluperusteet annettuja arvoja tai ne voidaan määrittää tapauskohtaisesti erikseen.

Käytettäessä sähköisiä mittausmenetelmiä voidaan painumien seurannasta laatia piirroksia, joilla voidaan luotettavasti havainnoida rakenteiden muodonmuutoksia ajan suhteessa (kuviot 16 ja 17) .

Liitteessä 6 on esimerkki SNOW & ICE METHODS -hankkeessa tehdyn lumi- ja jäärakenteen sähköisen muodonmuutosmittauksen mittaustuloksesta.



Kuvio 16. Lumirakenteen painuma laserkeilauspiirroksena<sup>57</sup>



Kuvio 17. Laserkeilainmittaustulos painumakarttana<sup>58</sup>

<sup>57</sup> SNOW & ICE METHODS -hanke.

<sup>58</sup> SNOW & ICE METHODS -hanke.

Lumi-, jää- ja sohjorakenteiden muodonmuutosten seurantaan voidaan käyttää erilaisia mittaamenetelmiä, näitä ovat mm.

- silmin tehtävät havainnot ja seurannat
  - halkeamien seuranta
  - materiaalien puristuminen
  - ovien käynti
- mittakeppi/mittalatta
  - painumat ja sivuttaisliikkeet
  - mittatarkkuus riippuu mittaajasta
  - helppo ja halpa menetelmä
- takymetrimittaus (kuva 13)
  - rakenteen pinnasta mittaava takymetri - ei tarvita erillisiä prismoja
  - kiintopisteet, jotka eivät liiku kauden aikana
  - mittatarkkuus hyvä
  - soveltuvuus pieniin rakenteisiin
  - kallis menetelmä
- elektroninen etäisyysmittari
  - painumat ja sivuttaisliikkeet
  - laitteen toiminta pakkasessa
  - mittatarkkuus
  - nopea menetelmä
- laserkeilain (kuvat 14 ja 15)
  - rakenteen pinnasta mittaava menetelmä
  - oltava kiintopisteet ja tähtäinprismat
  - tähtäinprismojen mittaus vaatii lisäksi takymetrin
  - erittäin tarkka mittaustulos
  - soveltuvuus pieniin rakenteisiin
  - kallis menetelmä.



Kuva 13. Takymetri lumirakennemittauksissa<sup>59</sup>



Kuva 14. Laserkeilain lumirakennemittauksessa<sup>60</sup>

<sup>59</sup> SNOW & ICE METHODS -hanke.

<sup>60</sup> SNOW & ICE METHODS -hanke.



Kuva 15. Laserkeilaimen tähtäinprismat lumirakennemittauksessa<sup>61</sup>

## 9.2 Rakenteen lämpötila

Lumi-, sohjo- ja jäärakenteen sisäinen lämpötila tulee käytön aikana olla riittävän alhainen, jotta voidaan varmistua materiaalin toimivuudesta. RIL 218-2001 Lumirakenteiden suunnittelu- ja rakentamisohjeessa annetaan suosituksia lumirakenteen lämpötilan mittaukselle. Mikäli muuta arviota ei tehdä, voidaan noudattaa em. ohjeessa annettua suositusta lämpötilan seuraamiselle.

RIL 218-2001 -ohjeen mukaan:<sup>62</sup>

*”Lumirakenteiden lämpötila pitää mitata silloin kun sisä- tai ulkoilman lämpötila on ollut yhtäjaksoisesti nollan yläpuolella yli kaksi vuorokautta. Mittaus tehdään rakenteesta vähintään 20 cm syvyydeltä rakenteen pinnasta. Mittaukset tehdään rakenteista, joissa lumi on kattorakenteena.”*

<sup>61</sup> SNOW & ICE METHODS -hanke.

<sup>62</sup> RIL218-2001. 2001. s. 67.



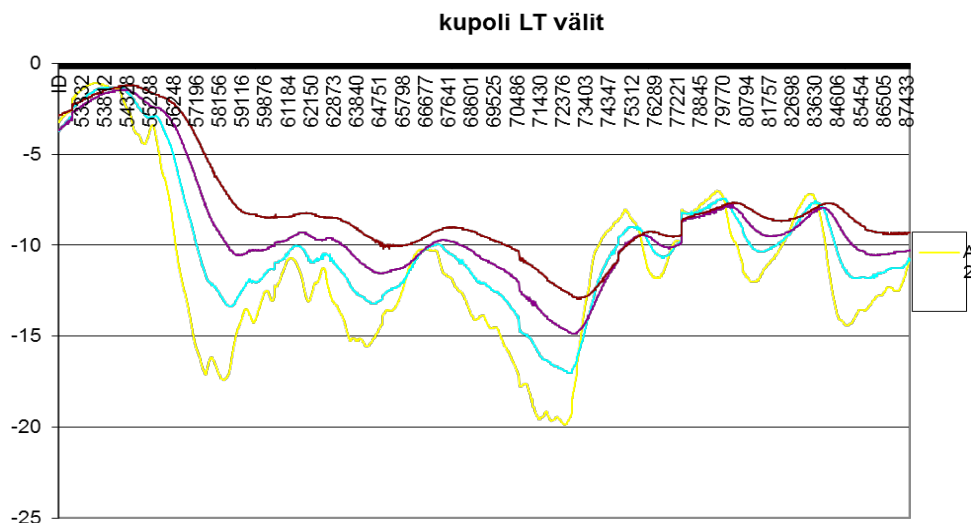
*Lisäksi mainitaan: "Mittauksista pidetään päiväkirjaa, jotta voidaan todeta rakenteiden lämpeneminen ja laskea mahdollinen sulaminen ja pehmeneminen. Sitten kun rakenteen sisäinen lämpötila nousee korkeammaksi kuin  $-1,0\text{ }^{\circ}\text{C}$  on aloitettava rakenteen kovuuden tarkkaileminen".*

SNOW & ICE METHODS -hankkeessa seurattiin kahden talvikauden ajan lumi-, sohjo- ja jäärakenteiden rakenteiden lämpötiloja eri rakennuskohteissa. Tehdyn tutkimuksen mukaan lumi- ja sohjorakenteen sisäinen lämpötila seuraa ulkoilman lämpötilaa tietyllä viiveellä. Rakenteen sisäinen lämpötila ei ole koskaan vakio huolimatta rakenteen vahvuudesta (kuvio 18).

Jäärakenteiden rakennevahvuus on yleensä niin ohut, ettei rakenteen sisäisen lämpötilan seurannalla ole merkitystä rakenteen käytössä. Tämä sen vuoksi, että jään sisäisen lämpötilan noustessa jää lähes aina on menettänyt jo kantavuutensa ja kiinteän olomuotonsa.

#### VIHJE:

**Lämpötilan seurantatulokset liitetään osaksi käyttö- ja turvallisuussuunnitelmaa.**



**Kuvio 18. Esimerkki lumirakenteen sisäinen lämpötilan muutoksesta rakenteen käytön aikana<sup>63</sup>**

<sup>63</sup> SNOW & ICE METHODS -hanke..

Lumi-, jää- ja sohjorakenteen materiaalin sisäisen lämpötilan seurannassa voidaan käyttää erilaisia mittausmenetelmiä, kuten

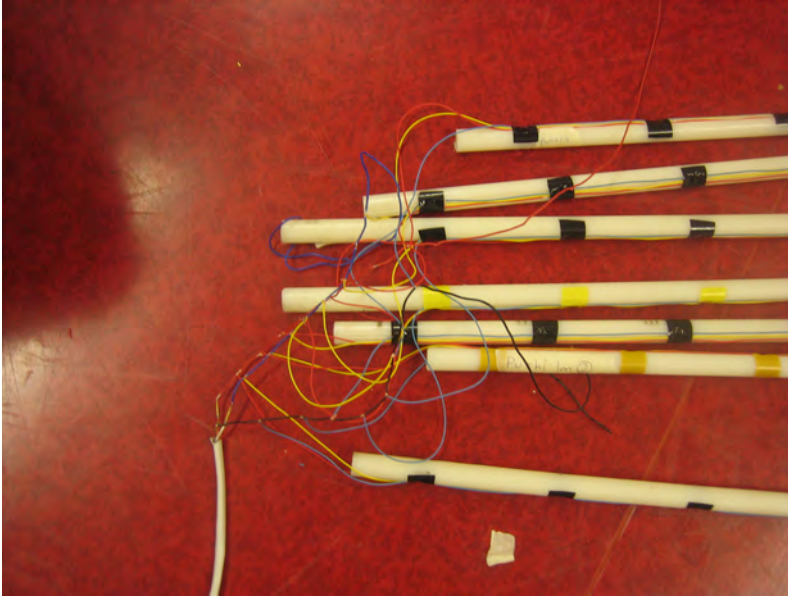
- digitaalinen lämpötilamittari (kuva 16)
  - johdon päässä oleva ulkolämpötila-anturi sähköputkessa
  - halpa
  - luotettavuus ja mittatarkkuus
  - virtalähteen kesto mittausjakson aikana
- Lämpötila-anturit sähköputkessa + tiedonkeruu (kuva 17)
  - anturien määrä ja putkenpituus rakennevahvuuden mukaan esim. 2 m
  - tiedonkeruuyksikkö
  - tietokone/Modeemi tiedon tallennukseen
  - tarkka ja luotettava lämpötilaprofiili
  - vaatii erityisosaamista, kallis
- Yleismittari + upotettava lämpötila-anturi
  - hetkelliseen tarkastamiseen
  - luotettava tulos
  - kallis



**Kuva 16. Digitaalinen sisä-/ulkolämpömittari lumirakenteessa<sup>64</sup>**

<sup>64</sup> Ryynänen K. 2006.





Kuva 17. Sähköputkessa olevat anturit<sup>65</sup>

### 9.3 Rakenteen kovuus ja tiheys

Rakenteen kovuutta seurataan käytön aikana säännöllisin väliajoin tapahtuvien mittausten avulla. Kovuuden seuranta tehdään mittausten lisäksi silmin havainnoiden avulla. RIL 218-2001 -ohjeessa on suositus lumirakenteiden kovuuden seurantaan:<sup>66</sup>

*"Lumisten kattorakenteiden kovuuden toteaminen tulee aloittaa, kun lumirakenteella on mahdollisuus pehmetä sulamisen vaikutuksesta --- ilman lämpötila nousee yli +0 °C. Niin kauan kuin rakenne on kova, sitä voidaan pitää käyttökelpoisena."*

SNOW & ICE METHODS -hankkeessa tehtyjen tiheysmittausten perusteella voidaan todeta, että lumen ja sohjon tiheys kasvaa rakenteen käytön aikana eli tapahtuu ns. lujuskehittymistä.

Tässä ohjeessa suositellaan: **Lumen ja sohjon tiheys varmistetaan rakentamisvaiheessa. Luotettavalla muodonmuutosten ja kovuuden seurannalla voidaan varmistaa rakenteen lujouden kehittyminen käytön aikana.** Tiheyttä mitataan, mikäli siihen havaitaan jokin erityinen syy. Erityinen syy voi olla esimerkiksi äkillinen lämmin ajanjakso rakenteen käytön aikana.

<sup>65</sup> SNOW & ICE METHODS -hanke.

<sup>66</sup> RIL218-2001. 2001. s. 68.

Tutkimusten mukaan jäärakenteiden tiheys ei muutu rakenteen käyttövaiheen aikana.

Sulamisvaiheen alkaessa lumi-, jää- ja sohjomateriaalin kiderakenne muuttuu niin sisäisesti kuin ulkoisestikin. Auringon ja tuulen vaikutuksesta rakenne alkaa pehmentyä pinnalta ja materiaali muuttuu kiinteästä vedeksi ja vesihöyryksi. Sulamisprosessin aikana tapahtuu päivisin sulamista ja ilman jäähtyessä öisin rakenne jäätyy. Tämä sulamis-jäätymisvaihe osittain parantaa lumi- ja jäärakenteen kestävyyttä.

Lumen ja sohjon kovuuden ja tiheyden mittaamiseen voidaan käyttää

- terästanko A kovuudelle
  - RIL218-2001 -ohjeessa ohje lumelle kovuuden mittaamiseen terästangolla
  - menetelmä halpa
  - luotettavuus?
- upotusmenetelmää tiheydelle (kuva 18)
  - noin 3 litran kokoinen koekappale, jonka avulla määritetään tiheys
  - ohje upotusmenetelmällä tehtävästä tiheyden määrittämisestä on liitteessä 7
- sylinteriputki+vaaka tiheydelle (kuva 19)
  - teräksinen/kuparinen putki jolla porataan näyte
  - vaaka
  - nopea
  - vain pinnasta tapahtuvaan seurantaan
  - mittatarkkuus
  - herkkä mittavirheille.



**Kuva 18. Luminäytteen tiheyden määrittäminen upotuskokeella<sup>67</sup>**

<sup>67</sup> Ryynänen K. 2011.



Kuva 19. Lumentiheyden mittaaminen putken ja vaa'an avulla<sup>68</sup>

**VIHJE:**

Kovuuden ja tiheyden mittaamisessa huomioidaan lumi- ja sohjomateriaalin epähomogeenisuus ja vaihtelu rakenteessa.

<sup>68</sup> SNOW & ICE METHODS -hanke.

## 10 LUMI- JA JÄÄRAKENTEEN PURKAMINEN

Mikäli lumi-, jää- ja sohjorakenteen käyttöaikana saavutetaan jokin seuraavista raja-arvoista, tulee rakenteen käyttö keskeyttää. Mikäli keskeytys on pitkäaikainen tai syytä ei voida poistaa, tulee harkita rakenteen purkua.

Raja-arvoina purkamiselle käytetään seuraavia

1. Lumen osalta sovelletaan RIL218-2001 Lumirakenteiden suunnittelu- ja rakentamishojkeen kohdassa 8.3 olevaa ohjetta.
2. Kantava rakenne on painunut tai kallistunut yli sallitun raja-arvon.
3. Kantava rakenne on murtunut/sortunut.
4. Käytetyn materiaalin sisälämpötila nousee yli annetun raja-arvon.
5. Materiaalin aineominaisuudet ovat muuttuneet niin, etteivät ne enää täytä esim. sohjon ominaisuuksia.

Lumi- ja jäärakenteen käyttäjä ja ylläpidosta vastaava taho määrittää rakenteen purkuajankohdan. Viranomainen voi määrätä rakenteelle myös ulkopuolisen tahon, joka määrittää rakenteen purkamisen edellytykset, kuten erityismenettelyn piirissä olevat kohteet.

Purkamisessa lumi- ja jäärakenne on rikottava niin riittävästi, ettei sitä voida käyttää alkuperäiseen tarkoitukseensa. Kantavat rakenteet on purettava kokonaan.

Purkaminen dokumentoidaan valokuvin ja viranomaisille toimitetaan kirjallinen ilmoitus rakenteen käytön lopettamisesta ja purkamisesta.

### VIHJE:

**Rakennushankkeen osapuolet voivat käyttö- ja turvallisuusohjeessa sopia purkamiseen liittyvät seikat.**



## **OSA II – KÄYTÄNNÖN OHJEITA LUMI- JA JÄÄRAKENTAJILLE**



## 11 YLEISIÄ OHJEITA LUMI- JA JÄÄRAKENTAMISESSA

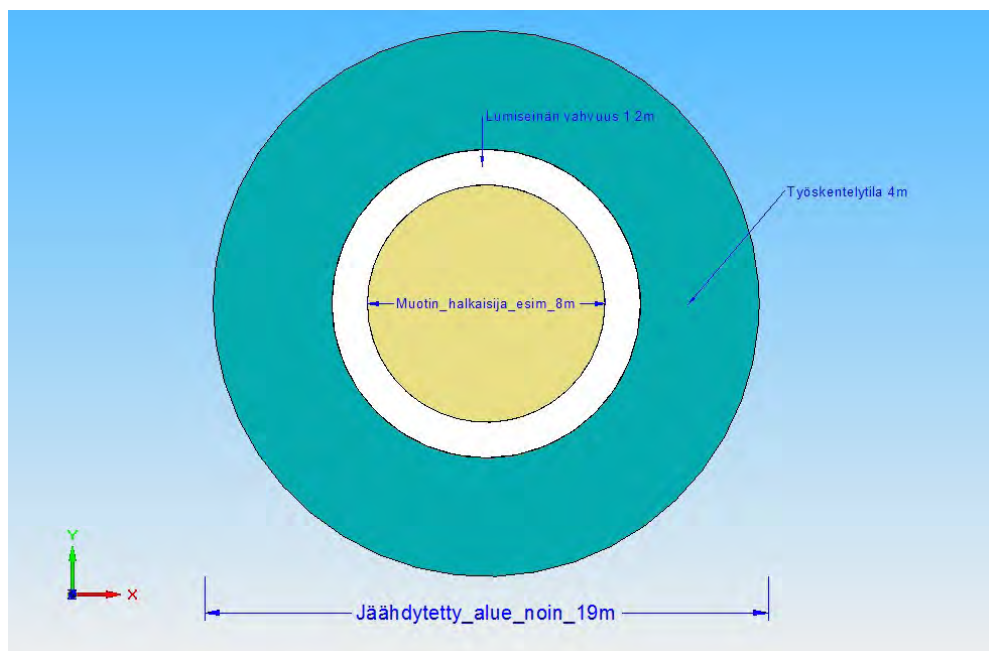
Tämän luvun yleisiä ohjeita lumi- ja jäärakentamisessa, asiantuntijuuden ja ohjeiden teknisen sisällön on tuottanut Lauri Riikonen.

### 11.1 Rakennuspaikka

Rakennuspaikka määräytyy käyttäjän tarpeen mukaan. Suosituksia rakennuspaikan valintaan vaikuttavista asioista ovat:

- alue, jossa riittävästi tilaa rakentamiselle ja rakenteille (kuvio 19)
- alueella oltava käytössä vesiliittymä ja sähkö
- mikäli alueella tehdään tekolumi, se lisää tarvittavan rakennusalueen kokoa
- auringolta suojainen alue, jotta hidastetaan rakenteiden sulamista keväällä
- maaperä oltava mahdollisimman tasainen
- alusta, joka voidaan jäädyttää vedellä ja lumella
- jäädytetty alue tulee olla laajempi kuin rakenteet vaativat
- riittävä työskentelytila rakennuskoneille niiden koosta riippuen
- rakennuskoneilla tulee voida kiertää rakennuskohde, etenkin lumettavat rakenteet
- rakenteiden sulamisesta johtuvat sulamisvedet ja niiden johtaminen hallitusti pois alueelta.





Kuvio 19. Esimerkki rakentamisalueen koon määrittämisestä<sup>69</sup>

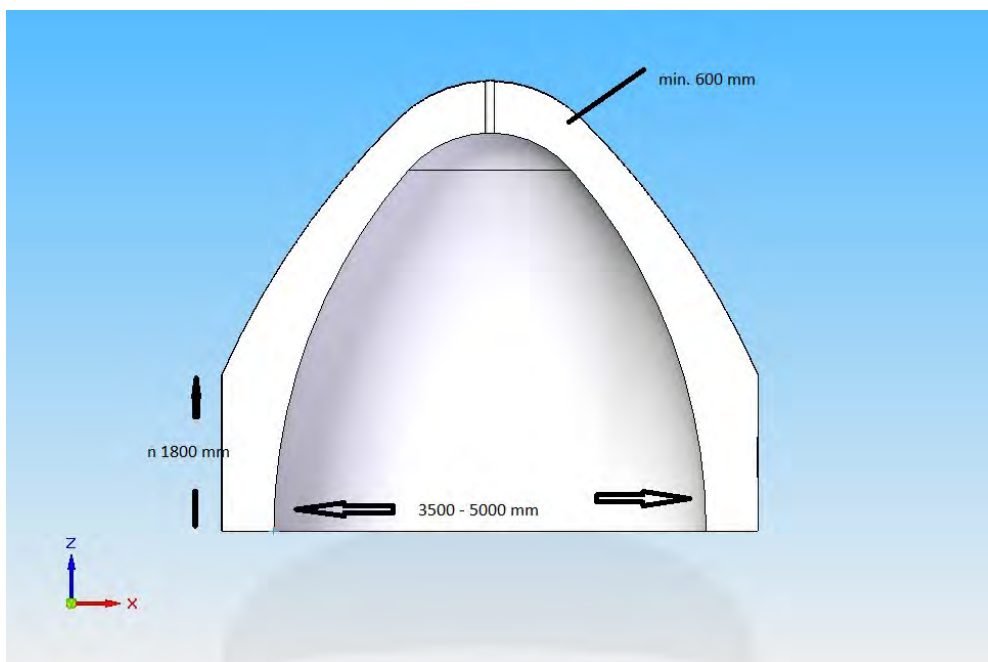
## 11.2 Lumi- ja sohjorakenteiden rakennevahvuudet

Tässä annettavat rakennevahvuussuositukset perustuvat käytännössä toimiviksi havaittuihin rakenteisiin.

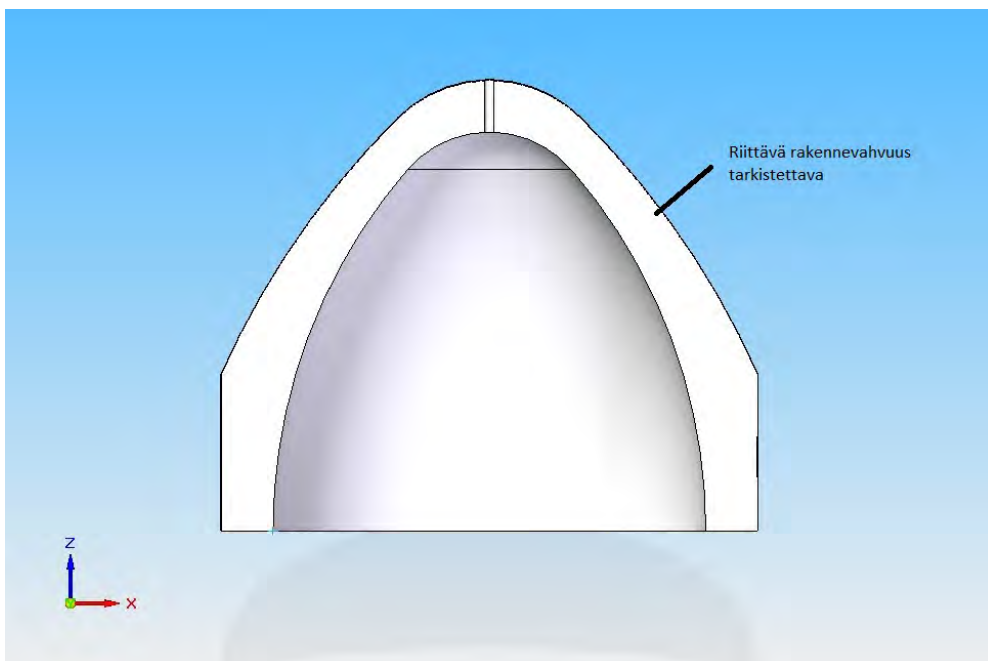
### Yöpymisiglut lumesta

Yöpymisiglun seinämän vahvuuden tulee olla rakenteen sisätilan lämmön sekä valon läpäisevyyden vuoksi riittävän vahva (kuviot 20 ja 21).

<sup>69</sup> Riikonen L. mukaan.



Kuvio 20. Suositeltu rakennevahvuus lumirakenteisessa yöpymisiglussa<sup>70</sup>



Kuvio 21. Rakennevahvuus tarkistettava kuvioon merkitystä kohdasta<sup>71</sup>

<sup>70</sup> Riikonen L. mukaan.

<sup>71</sup> Riikonen L. mukaan.

## 11.3 Muita rakentamisohjeita

### 1. Jäädymällä tehtävien rakenteiden rakentamisessa huomioidaan

- Vettä sumutetaan siten, että vesi ehtii jäätyä edellisen kerroksen päälle rakentamisen edetessä.
- Ulkolämpötilan on oltava riittävän alhainen jotta jään muodostumista tapahtuu käytettävällä vedellä.
- Jäädymisessä käytettävä vesi on oltava puhdasta. Likapartikkelit heikentävät materiaalin pitkäaikaista kestoa. Toisaalta lumen ja esimerkiksi sahanpurun lisääminen veden sekaan saa aikaan sitkeämpää jätä.

### 2. Jääkappaleista tehtävien rakenteiden rakentamisessa huomioidaan

- Jääkappaleina voidaan käyttää luonnonvesistä nostettuja jääkappaleita, jääharkkoja (kuva 20).
- Harkkojen paksuus ja koko vaihtelee jään ja rakenteen mukaan. Nostettaessa jätä sen jäätymissuunta tulee merkitä.
- Jäät asennetaan rakenteisiin jäätymissuuntaisesti, jotta varmistutaan materiaalin kestävydestä puristussuunnassa.



Kuva 20. Jääharkkorakenteinen seinä<sup>72</sup>

<sup>72</sup> Ryynänen K. 2003.

### 3. Sohjolla rakentamisessa huomioidaan

- Vesi sumutetaan hajottavalla suuttimella lumetusvaiheessa lumen sekaan (kuva 21).
- Veden määrä riippuu ulkoilman lämpötilasta, lumen ominaisuuksista, lunta linkoavan laitteen tehosta ja linkoamistavasta.
- Veden määrälle ei voida antaa yksiselitteistä määrää lumen suhteessa.
- Varmistutaan rakenteen riittävästä tiivistämisestä.
- Veden jäätyminen tulee varmistaa. Jos vettä sumutetaan liikaa, vaaluu se rakenteen alle tai jää jäätymättömänä rakenteeseen. Tästä voi seurata painumia rakenteeseen.
- Rakenteen sisäilman jäähdyttäminen tulee varmistaa heti muotin poiston jälkeen, jotta sohjomateriaali saadaan jäätymään heti rakennusvaiheessa. Jäätyminen vähentää painumien syntymistä.



Kuva 21. Veden sumutus lumetusvaiheessa<sup>73</sup>

<sup>73</sup> Ryynänen K. 2009.

## 12 KÄYTÄNNÖN RAKENNUSOHJEITA

SNOW & ICE METHODS -hankkeessa tehtiin selvitys lumi- ja jäärakentamiseen soveltuvista käytännön rakennemuodoista ja rakentamismenetelmistä. Tässä luvussa kirjoitettujen käytännön rakennusohjeiden asiantuntijuuden ja ohjeiden teknisen sisällön on tuottanut Lauri Riikonen.

Seuraavissa käytännön ohjeissa on hyvinkin yksityiskohtaisia ohjeita ja suosituksia rakenteiden tekemiseen. Ohjeita tulee soveltaa tapauksittain.

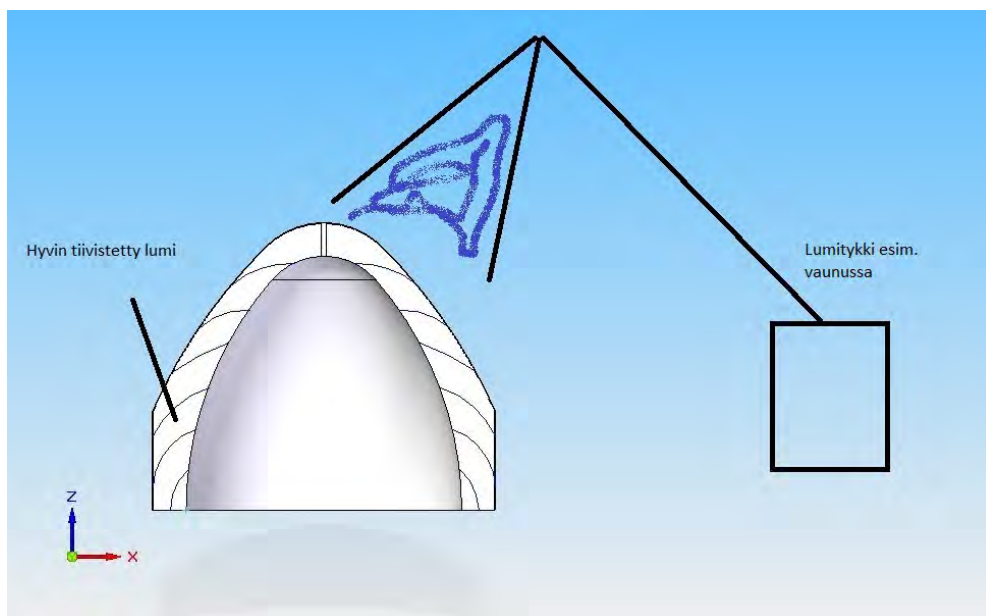
### 12.1 Tekolumi suorapuhalluksena rakenteeseen

Rakennuspaikalla tehtävä tekolumi voidaan lumettaa tekovaiheessa lumitykillä suoraan muotin päälle (kuvio 22). Suorapuhallusmenetelmässä huomioidaan

- Lumi puhalletaan aloittaen muotin alaosasta.
- Lumitykkiä siirretään kohteen ympäri. Lumetus tehdään tasaisesti muotin ympärille.
- Lumi tiivistetään lumetuksen aikana sitä mukaa kun työ edistyy.
- Muotin yläosaan kertyvä lumi poistetaan alussa.
- Lumetuskerrosten tulee olla riittävän ohuita. Kerrosten annetaan jäätyä lumetuksen välissä.
- Korkeissa rakenteissa voidaan käyttää ns. hybriditykkiä (kuva 22), jonka suutin voidaan nostaa rakennettavan kohteen yläpuolelle.

Suoralumetuksen etuja ovat

- Rakenteeseen saadaan puhdas ja tasainen sisäpinta.
- Voidaan jättää rakentamisen työvaiheita pois.
- Saadaan aikaan kestävä rakenne.
- Voidaan pienentää tarvittavia työkonekuluja.
- Käytettävän tekolumen tarve saadaan pienemmäksi.



Kuvio 22. Periaatepiirros suoralumetuksesta<sup>74</sup>



Kuva 22. Suoralumetukseen soveltuva hybriditykki<sup>75</sup>

<sup>74</sup> Riikonen L. mukaan.

<sup>75</sup> Ryynänen K. 2009.



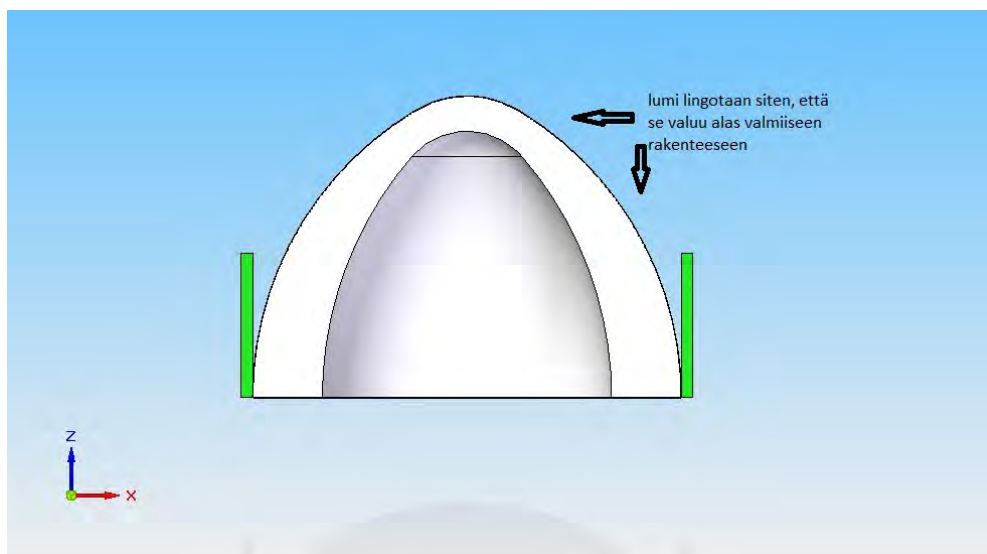
## 12.2 Ilmamuotin lumetus

Ilmamuotilla rakentamiseen liittyviä vaiheita ovat:

- 1) Aluksi lingotaan lunta ilmamuotin alareunaan kierros. Lumi valuu muotin juureen. Tiivistetään tallaamalla lumi muottivanerin ja ilmamuotin väliin. Kulkuaukkojen ja tunnelin seinustat ovat tärkeitä. Lunta ei saa tiivistää liian läheltä ilmamuottia, jotta ei paineta muottia sisään.
- 2) Paine säädetään lumetukseen sopivaksi, riippuen mm. käytettävän muotin koosta.
- 3) Puhaltimeen ei saa päästä lumipölyä, joka voi tukkia puhaltimen putken.
- 4) Sähkövirran saanti tulee turvata koko rakentamisvaiheen ajan.
- 5) Lumi lingotaan lumi suoraan muottia kohti, jolloin lumi valuu alas muotin pintaa pitkin. Näin tehden lumessa olevat kokkareet lentävät pois muotin pinnasta ja sisäpinnasta tulee siisti.
- 6) Lingotaan lunta pitkällä torvella suoraan ylhäältä alaspäin. Näin tehden lumi tiivistyy hyvin rakenteeseen. Lumi tulee tiivistää sitä mukaa, kun työ edistyy.
- 7) Nostetaan vanerimuottia sen jälkeen, kun se on täyttynyt.
- 8) Mikäli lumen sekaan sumutetaan vettä, sitä tulee tehdä koko lumetamisen ajan.
- 9) Lumetuksen keskeytyessä ei saa jättää vinoja pintoja, joista lumi jatkossa voi lähteä liukumään. Tiivistäminen tallaamalla auttaa, koska tällöin lumen pinnasta tulee epätasainen.
- 10) Sisääntulotunnelien seinustat tulee kastella lähes sohjoksi ja tiivistää hyvin. Näin tehden oviaukkojen muoto säilyy rakenteen käytön aikana.

## 12.3 Kiinteällä kaarimuotilla rakentaminen (ketjukäyrä)

Luonnonlumesta rakennettaessa lumi tulee lingota vähintään kahteen kertaan ja lisätä vettä lumen sekaan linkousvaiheessa. Lumisuihku suunnataan aiemmin lumetettuun kerrokseen (kuvio 23).



**Kuvio 23. Lumetus kiinteään kaarimuottiin<sup>76</sup>**

Kiinteällä muotilla rakentamiseen liittyviä vaiheita ovat:

- Jos rakentamisen aikana lumi laskeutuu ja muodostaa halkeaman, tulee tiivistää syntynyt rako umpeen, ennen kuin muotti lasketaan alas.
- Lumen kiderakenne tulee rikkoa linkoamalla lumi kahteen kertaan ennen muotin päälle linkoamista.
- Lingotaan siten, että lumisuihku suuntautuu suoraan aiemmin lingottuun lumeen.
- Tiivistetään lumi riittävän tiheästi lumetuksen aikana.
- Muottia siirrettäessä tehdyn kaaren sisään ei mennä heti sortumisvaaran takia.
- Lumikerroksen tulee olla molemmin puolin muottia samanvahvuinen.

## 12.4 Lumimuotti pyöreille rakenteille (liukuvalu)

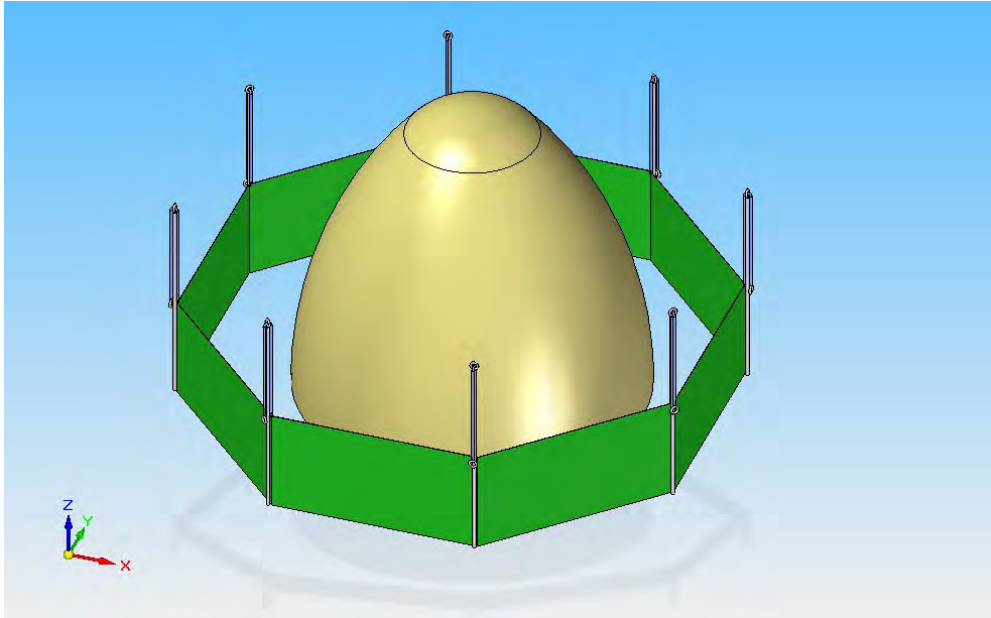
Ilmamuoitin ulkokehän, ns. liukuvalumuotin rakentamisessa tarvitaan (kuvio 24)

- Muottivanerina käytetään 6 mm:n vesivaneria, koko 1,5 m x 3 m. Vaneria tarvitaan ympyrän kehän pituuden määrä. Määrään lisätään 250 mm jokaista liitosta kohden.
- Vajjeritaljoja tarvitaan 1 kpl jokaista vanerien liitosta kohden.
- Sokkanauvoja tarvitaan 3 kpl jokaista vaneria kohden.

<sup>76</sup> Riikonen L. mukaan.



- Muotin nostoputkina käytetään esimerkiksi 1½ tuuman vesijohtoputkea 3 m pituisina tankoina jatkomahdollisuuksin.
- Lisäksi tarvitaan muoviköyttä vanerin nostoa varten vanerin ja vaijeritaljan väliin.



Kuvio 24. Liukumuotin osia<sup>77</sup>

## 12.5 Puolipallon muotoinen kupoli

Käytettäessä ilnamuottia, joka on ketjukäyrästä poiketen puolipallon muotoinen, ei se sovellu pelkällä lumella rakennettaviin rakenteisiin.

Puolipallon muotoinen rakenne voidaan toteuttaa seuraavasti: (kuva 23)

- Muotin alareunan ympärille tuleva lumi kastellaan ja tiivistetään tallaamalla.
- Tämän jälkeen kastellaan vesisuihkulla muottia ja jäädytetään noin 30 – 50 mm:n kerros jäätä.
- Jään jälkeen jatketaan jäädyttämistä siten, että lingotaan pölylunta jäädytysveden sekaan.
- Kerrosten annetaan jäätyä ja jatketaan, kunnes rakennevahvuus on yhteensä 150-300 mm.

---

<sup>77</sup> Riikonen L. mukaan.



Kuva 23. Puolipallon muotoinen rakenne<sup>78</sup>

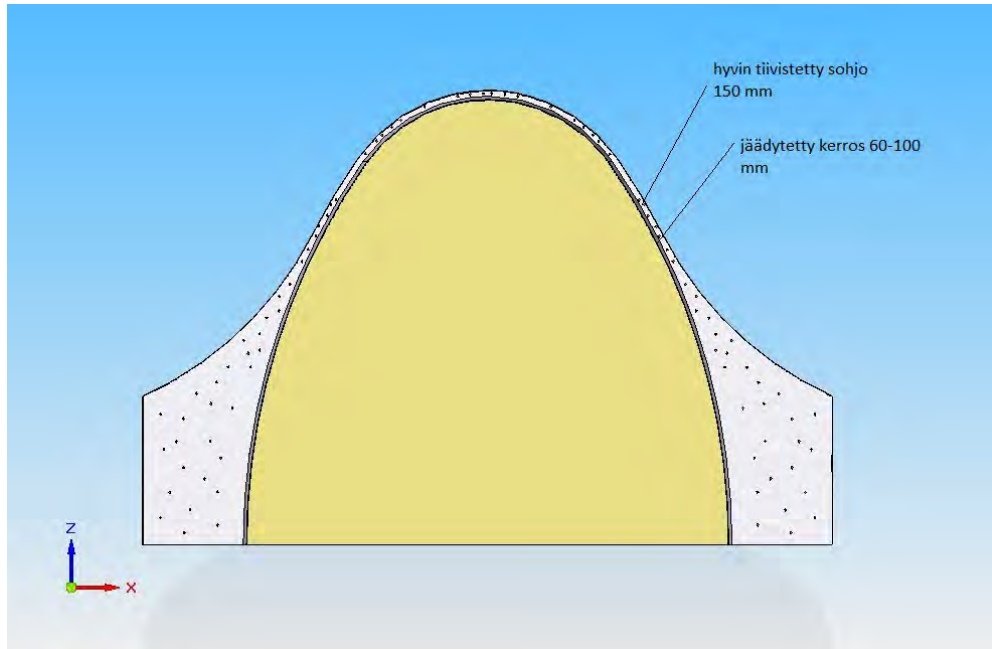
## 12.6 Sohjorakenne isoihin rakenteisiin

Suuret ilmamuoitit voidaan toteuttaa myös ns. sohjorakenteena (kuvio 25). Tällöin rakentamisessa tulee ottaa huomioon:

- Paineistetaan muotti ja pidetään sama paine muotissa koko rakentamisen ajan, esim. 2 kPa.
- Lingotaan lunta muottia vasten kierros ympäriinsä.
- Tiivistetään lumi tallaamalla, samalla lumi kastellaan hyvin.
- Jäädytetään muodostunut sohjokerros.
- Seuraavassa vaiheessa sumutetaan vettä muotin päälle, kunnes jäätä kertyy noin 60 – 100 mm:n kerros eli kantava kerros.
- Kantavan kerroksen ollessa riittävän vahva lingotaan veden sekaan lunta vähintään 150 mm:n kerros.
- Ulkokehälle asennetaan vanerimuotti ympärille.
- Vanerimuottia nostetaan ylöspäin tarpeen mukaan.

---

<sup>78</sup> Riikonen L. 2011.



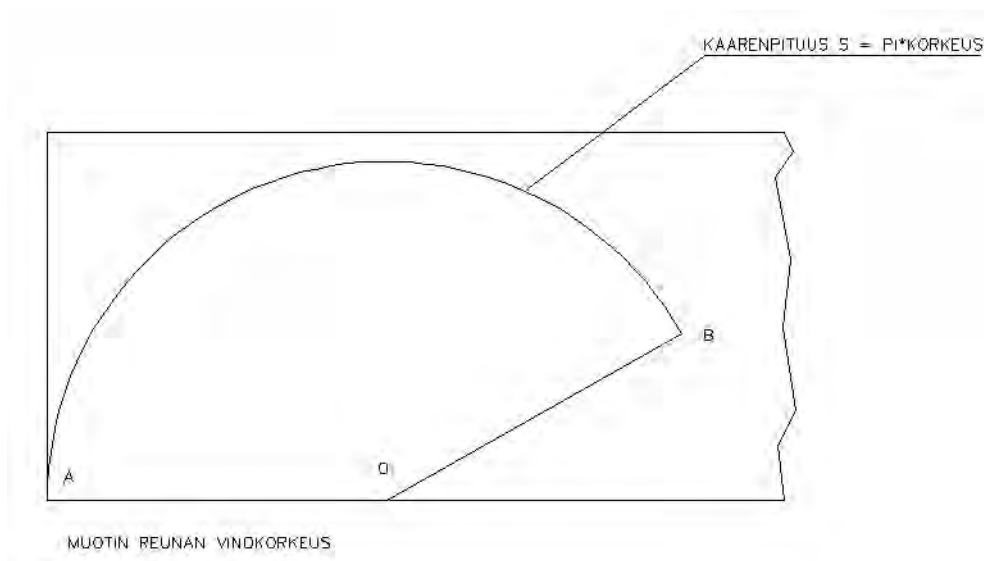
Kuvio 25. Esimerkki suuren sohjorakenteen rakennevahvuuksista<sup>79</sup>

## 12.7 Kotarakenne

Kotamallisen muotin valmistamisen vaiheet ovat:

- Leikataan muotti esimerkiksi aumamuovista. Muotin muoto on kuvion 26 mukainen.
- Teipataan käytettävälle muoville soveltuvalla teipillä muotin suorat sivut puskusaumalla yhteen. A- ja B- piste teipataan vastakkain O-pisteeseen asti. Teippi laitetaan molemmiin puolin muovia.
- Leikataan muotin huipusta pala pois, jotta saadaan noin 100 mm:n reikä ilmankiertoa varten.
- Teipataan alareunaan noin 6 mm paksuinen muovinaru siten, että käännetään muovin reunaa sisäänpäin noin 20 mm. Narun avulla varmistetaan muotin pysyminen paikoillaan rakentamisen aikana.

<sup>79</sup> Riikonen L. mukaan.



**Kuvio 26. Kotamuotin leikkaamisen periaatepiirros<sup>80</sup>**

Kotamuotoisen rakenteen rakentamisen vaiheet ovat:

- Rakentamispaikkaan tiivistetään noin 150 mm:n kerros lunta. Kerros voidaan kastella vedellä sekä antaa jäätyä. Jäädymisellä varmistetaan muotin pysyminen paikalla rakentamisen ajan.
- Kotamuotti asennetaan alustalle. Alustaan piirretään muotin alareunan suuruinen ympyrän kehä.
- Muotti asennetaan uraan, jonka syvyys noin 50 mm. Muotti kiinnitetään sohjolla, joka jäädytetään.
- Muottiin tehdään reikä puhaltimen putkea varten. Reikä tehdään noin 300 mm:n korkeudelle.
- Puhaltimen putki teipataan kiinni muottiin. Apuna voidaan käyttää 110 mm:n viemäriputkea.
- Puhalletaan muotin sisälle ilmaa. Puhallusvaiheessa tulee varmistetaan, ettei muotti irtoa alustastaan.
- Muotin ilmanpaineena voidaan käyttää noin 0,6 – 1,2 kPa riippuen kotarakenteen koosta ja puhaltimesta.
- Muotin päälle sumutetaan kylmää vettä. Veden sumuttamiseen voidaan käyttää verkostopaineista vettä tai riittävän tehokasta painepesuria.
- Veden sumutuksessa tulee varmistua, ettei ilmanpaine puhalla vettä pois muotin pinnalta tai ettei sumutettava vesi sulata jo jäätynyttä kerrosta.

<sup>80</sup> Riikonen L. mukaan.

- Jäärakenteen pinnan tulee olla jäätynyt ennen seuraavan kerroksen sumutusta.
- Jääkerroksen vahvuus tulee olla muotin koosta riippuen vähintään 20 – 30 mm.
- Veden sekaan voidaan seuraavassa vaiheessa lingota lunta.
- Veden ja lumen muodostamaa sohjokerrosta tehdään rakenteen päälle noin 250 – 300 mm:n kerros. Rakenteen yläosassa kerrosvahvuus voi olla puolet alareunan vahvuudesta noin 100 – 150 mm.
- Rakentamisen lopuksi rakennetta voidaan vahventaa lumella, erityisesti jos rakennetta käytetään pitkään.



**Kuva 24. Kartion muotoinen jääkartio**<sup>81</sup>

Muita kota/kartion muotoisista rakenteita ovat:

1. Valotornit, jotka tehdään normaalilla vesijohdon verkostopaineella.

- Jäältä tulee kirkas ja valo pääsee hyvin läpäisemään rakenteet.
- Tällainen rakenne ei kestä auringon valoa.
- Rakenteeseen voidaan sekoittaa luonnonlunta tekovaiheessa. Tällöin rakenteesta tulee huonommin valoa läpäisevää mutta luja (seinä on hiukan elastinen eikä halkeile helposti).

---

<sup>81</sup> SNOW & ICE METHODS -hanke.

2. Kartiorakenteeseen tulee aina tehdä jää- ja sohjokerrokset rakenteen sisäpintaan kantavuuden varmistamiseksi.

#### **VIHJE:**

- Yhdellä puhaltimella voidaan paineistaa monta muottia yhtä aikaa yhdistämällä muotit esimerkiksi 110 mm:n viemäriputkilla
- Vesijohtovettä käytettäessä letkun suuttimena voidaan käyttää Pesukarhu-nimistä suutinta
- Rakenteen oviaukko sijoitetaan varjon puolelle

## **12.8 Tunnelirakenne**

Tunnelin muovimuotti voidaan valmistaa esimerkiksi seuraavasti:

- Määritellään tunnelin halkaisija, esim. 1,2 m ja pituus 8 m.
- Muovirullasta leikataan kappale, jonka leveys on 3,8 m ja pituus noin 10 m.
- Muovityypille sopivalla teipillä teipataan muovin pitkät sivut pus-kusaumalla yhteen. Teippi laitetaan muovin molemmille puolin.
- Laskostetaan muotin päät tasaisesti. Sidotaan muotin toinen pää kiinni, kuten säkki sidotaan.
- Muotin toiseen päähän asennetaan esimerkiksi 110 mm:n viemäri-putkea noin 400 mm.
- Kiinnitetään esimerkiksi isolla putkiliittimellä muotti kiinni putkeen.

Tunnelin rakentamisen vaiheet ovat:

- Muotoillaan sohjolla tunnelin muotin muotoinen kouru.
- Upotetaan kourun pohjalle 2500 mm välein muovinarut sohjoon jää-tymään. Narujen pituus kourun ulkopuolelle tulee olla noin 2500 mm.
- Jäädättämisen jälkeen asennetaan tunnelin muotti kouruun.
- Muotti paineistetaan riittävän kovaksi. Tässä esitetyssä muotissa voi-daan käyttää esimerkiksi 1 kPa:n painetta. Puhaltimen puhallinno-peuden tulee olla säädettävissä.
- Suihkutetaan muotin päälle kylmää vettä. Vesisuihkun on oltava mahdollisimman hieno. Vettä lisätään kerroksittain siten, että jo-kaisen suihkutuskerran välissä odotetaan, että vesi on jäätynyt. Jäädätetään noin 10 - 20 mm paksuinen jääkerros.

- Jäädymisen loppuvaiheessa vesisuihkuun lingotaan lunta.
- Lumen ja veden suihkuttamista jatketaan, kunnes muodostuva sohjokerros on vähintään 150 mm paksu. Sohjokerros tiivistetään varovasti käyttäen esimerkiksi puulastaa. Sohjoa ei saa lyödä, jotta jääkerros ei muru.
- Lumen ja veden muodostama sohjokerros toimii rakenteen kantavana kerroksena.
- Muotin päällä ei saa rakentamisvaiheessa kävellä.
- Sohjokerroksen päälle voidaan lingota lunta vähintään 300 mm:n kerros.

#### **VIHJE:**

**Parhaaksi muovikalvoksi lumi- ja jäärakentamiseen on todettu olevan maataloudessa käytettävä ns. AIV-muovi, joka on molemmin puolin valkoinen.**

## **12.9 Valmiit ovimuotit**

Rakentamisessa voidaan käyttää valmiita oviaukkomuotteja (kuva 25).

Ovimuottien käytössä huomioidaan

- Ovimuotissa ja -aukossa paras muoto on ketjukäyrä. Tällöin rakenne painuu oven kohdalta tasaisesti.
- Muotti muotoillaan siten, että varsinaisen rakenteen muottia vasten tuleva pääty on hieman kapeampi.
- Muotin irrottamiseksi muottia tulee voida laskea noin 50 – 100 mm.
- Vettä käytettäessä asennetaan muovikelmu ovimuotin päälle jääty-  
misen estämiseksi.
- Lunta käytettäessä muottien reunat tulee tiivistää huolellisesti.





Kuva 25. Ovimuotti<sup>82</sup>

#### VIHJE:

- Mikäli käytetään rakenteessa ns. ovimuottia, voidaan puhallin asentaa muotin sisälle.
- Sähköjohto tulee sijoittaa siten, että ajoneuvoilla pystyy ajamaan sähköjohdon alitse.
- On varmistettava, ettei tule virtakatkosta rakennusvaiheessa. Virta tulee ottaa vikavirtasuojaamattomasta virtalähteestä.
- Puhallinyksikkö suojataan siten, että vesi tai lumi ei pääse puhaltimen imuaukkoon. Jos näin käy, muotti laskeutuu alas.

<sup>82</sup> SNOW & ICE METHODS -arkisto.



## 12.10 Suorakaiteen muotoinen ns. galleria muovikalvomuotilla

Gallerian rakentamisen vaiheet, esimerkiksi 5 x 15 m rakenne, ovat (kuva 26)

- Rakentamislustan tulee olla hyvin jäädytetty.
- Jäädytetään esim. 100 mm:n levyinen lauta suorakaiteen muotoisesti maahan sohjolla kiinni.
- Puhdistetaan lauta jäädästä ja sohjosta.
- Käytetään muovikelmua, jonka koko on 8 x 20 m.
- Naulataan rimalla muovikelman reunat pitkiltä sivuilta kiinni niin, että muovi kiertää riman ympäri kerran. Rima kiinnitetään hyvin, jottei paineilma pääse riman ja laudan välistä.
- Asetetaan molempiin pätyyn muovin päälle lautoja painoksi.
- Paineistetaan muotti. Kun katto nousee ylös, rypistetään päädyn muovit ja naulataan rimalla kiinni. Varmistetaan, ettei ilma pääse muovin reunan alta pois.
- Asetetaan mahdollinen sisäänmenomuotti paikoilleen.
- Muotti paineistetaan riittävän kovaksi, esimerkiksi 1,1 kPa:n paine. Paine on oltava muuttumaton rakentamisen ajan.
- Vesisuihkulla jäädytetään noin 50 mm:n jääkerros.
- Veden suihkutuksen yhteydessä lingotaan ”pöly”lunta työnnettävällä lumilingolla tai varoen traktorilingolla.
- Kerrosvahvuudet rakenteessa ovat: jäätä 50 mm, sohjoa 100 mm.
- Lopullinen rakennevahvuus seinien alaosassa on yhteensä noin 800 mm.
- Ilmanpaine muotoilee muodon puolipallon muotoiseksi.



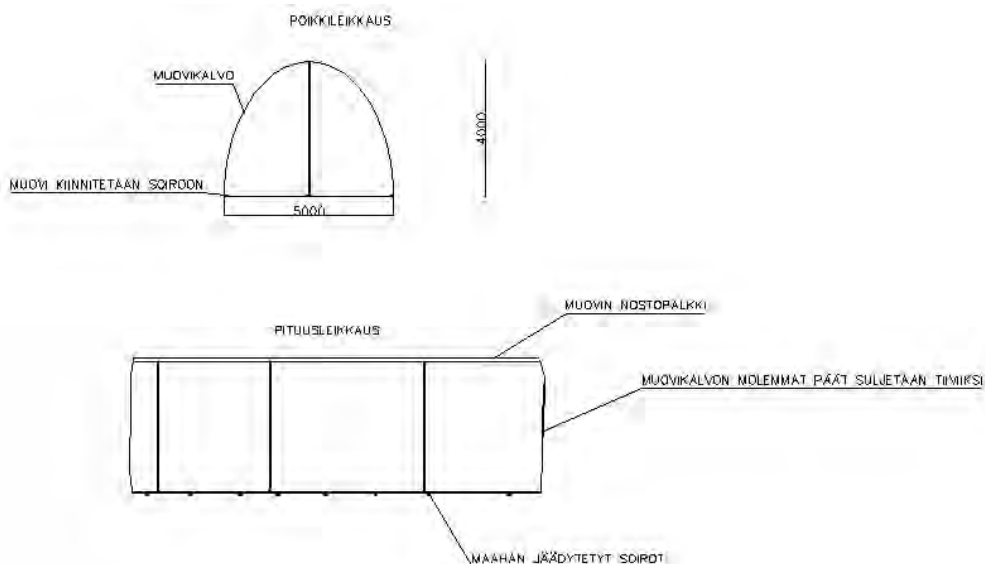
Kuva 26. Muovimuotilla tehty lumigalleria<sup>83</sup>

<sup>83</sup> Riikonen L. 2011.

## 12.11 Muovikalvomuotilla käytävän teko

Ns. korotetun käytävän rakentamisen vaiheita ovat (kuvio 27)

- Jäädetyttyyn alustaan jäädytetään noin 1 m välein lyhyet soirot syrjälle.
- Levitetään 15 m leveä muovikalvo siten, että muovin toinen reuna tulee noin 30 mm yli kiinnityslaudan.
- Asennetaan molemmille puolille muovin päälle kiinnityslaudat.
- Asennetaan muovin korotuslauta paikoilleen muovin päälle.
- Kierretään muovi nostopalkin yli ja teipataan aumateipillä muovin reunat yhteen toisen kiinnityslaudan päällä.
- Paineistetaan muotti riittävän kovalla paineella.
- Jäädytetään jääkerros noin 50 mm.
- Jääkerroksen päälle tehdään sohjokerros lumella ja vedellä. Rakennevahvuus sohjolla on yläosassa noin 100 mm, seinämillä noin 600 mm.



Kuvio 27. Käytävämuotin periaatepiirros<sup>84</sup>

<sup>84</sup> Riikonen L. mukaan.

## 12.12 Jäälaavu (kotamalli)

Jäälaavun rakentaminen sohjosta muovimuotin avulla voidaan toteuttaa seuraavasti:

- Leikataan halutun kokoinen kotamuotti muovikelmusta.
- Jäädytetään muotti paikoilleen alustaan.
- Paineistetaan muotti esim. 1 kPa:n ilmanpaineella.
- Muotin päälle lingotaan varovasti "pölylunta" ja samalla suihkuteetaan vettä lumen sekaan eli tehdään sohjorakenne.
- Jätetään muotti paikoilleen, kunnes rakenne on jäänyt.
- Muottia jätetään näkyville eli kasvatetaan rakennetta niin paljon kuin on tarpeen laavumuodon aikaan saamiseksi.

## 12.13 Esiintymislava lumesta

Esiintymislavan rakentaminen lumesta tai sohjosta ilmamuotin avulla voidaan toteuttaa seuraavasti (kuva 27):

- Pystytetään ilmamuotti, esimerkiksi 5 m halkaisijan muotti.
- Asetetaan ovimuotti tulevan lavan takapuolelle lavan nousua varten.
- Asetetaan ulkokehän vanerimuotti paikoilleen.
- Lumetetaan muottien väli. Lumen sekaan suihkutetaan vettä paljon, erityisesti esiintymislavan yläosaan, ei kuitenkaan leikattavalle osalle.
- Nostetaan vanerimuottia työn edetessä.
- Annetaan sohjon jäätyä ennen muotin poistamista.
- Muotoillaan esiintymislava leikkaamalla ylimääräinen lumi pois.



Kuva 27. Lumesta tehty esiintymislava Kemin lumilinnassa<sup>85</sup>

<sup>85</sup> Riikonen L. 2011.

**VIHJE:**

**Käytännössä on todettu, että lumirakenteesta voi leikata puolet pois tai ns. pallo halki.**

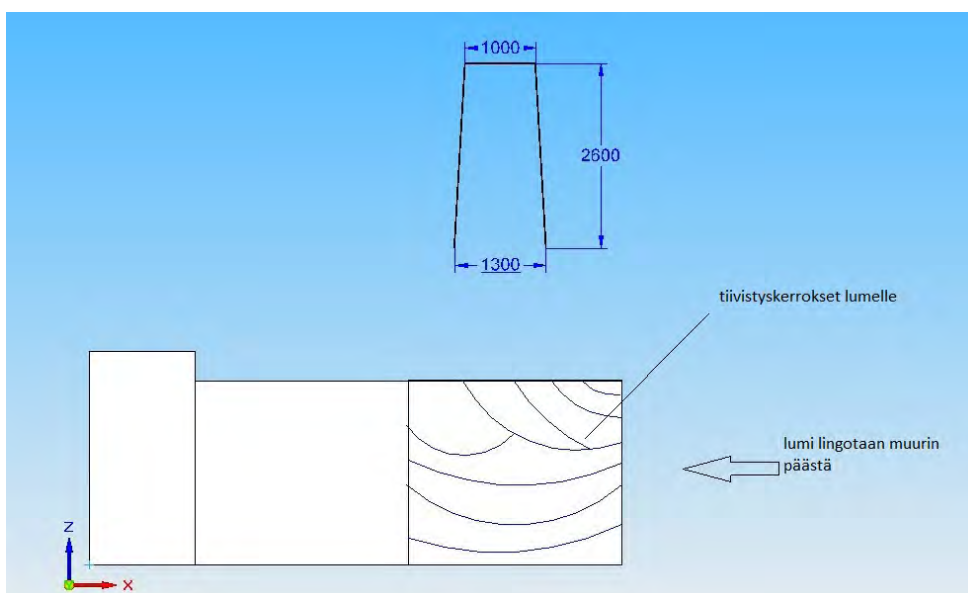
**12.14 Lumimuuri**

Lumimuurit ovat yksi vaikeimmista lumirakentamisen muodoista. Käytännössä on todettu, että lumimuuri tulee rakentaa alareunasta leveämmäksi.

Lumimuurin rakentamisessa huomioitavia asioita ovat:

- Linkous suoritetaan alhaalta ylöspäin koko muotin matkalta, ei takaa etuosaan.
- Lumi lingotaan ensin muotin seinämiä vasten siten keskelle.
- Muotin siirto on helpompaa, jos muotti on avattavissa ennen siirtoa.
- Luonnonlumesta tehtäessä lumi on kasteltava ja tiivistettävä tallaamalla koko lumettamisen ajan.
- Muottivanerin kastelua vältetään jäätymisvaaran takia.
- Pienempiä muureja voi tehdä myös irtonaisilla vanerilevyillä, jotka asennetaan sopivalle etäisyydelle toisistaan ja lumetetaan.

Kuviossa 28 on periaatepiirros noin 2,6 metriä korkean lumimuurin tekemisestä.



**Kuvio 28. Lumimuurin rakentamisen periaatepiirros<sup>86</sup>**

<sup>86</sup> Riikonen L. mukaan.

## 12.15 Jäähuoneet muovimuotilla

Usean toisiinsa yhdistetyn jäähuoneen rakentamisen vaiheet ovat

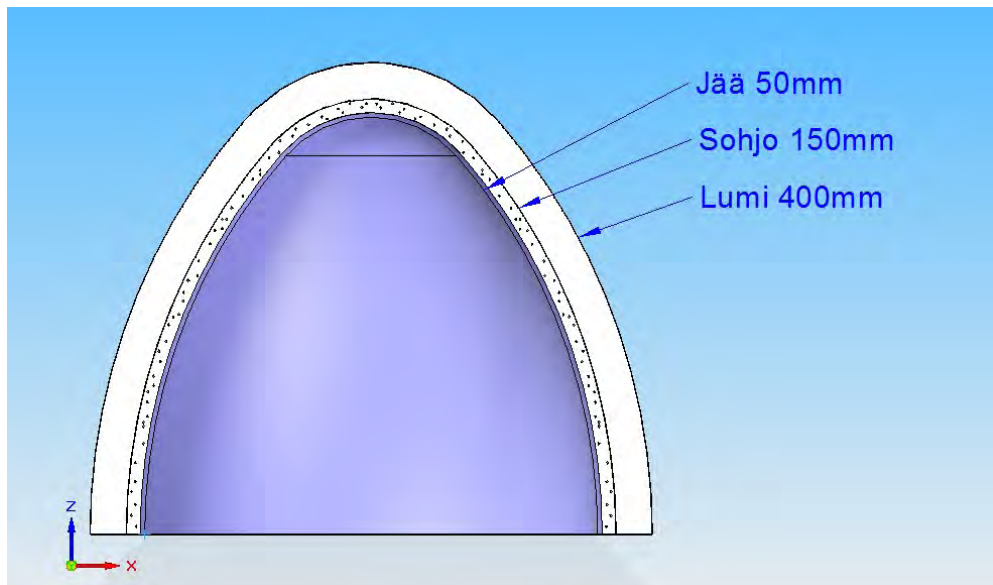
- Jäädytetään muovimuotit tasaiselle alustalle.
- Tehdään noin 80 mm:n reikä muoviin.
- Asetetaan 100 mm:n muoviputki muottien väliin.
- Paineistetaan muotit yhdellä puhaltimella noin 1 kPa:n paineella.
- Muotit voivat olla kiinni toisissaan keskimuottiin verrattuna.

## 12.16 Ovaalinmuotoinen kolmikerrosrakenne

Kun tehdään suuria rakenteita, teknisesti toimivin rakennetyyppi on ns. kolmikerrosrakenne. Kolmikerrosrakenne on sisältäpäin lueteltuna: jääkerros – sohjokerros – lumikerros.

Käytetyimmät kolmikerrosrakenteen kerrosvahvuudet ovat olleet seuraavat (kuvio 29):

- jääkerros n. 50 mm
- sohjokerros n. 150 mm
- lumikerros n. 400 mm.



Kuvio 29. Kolmikerrosrakenteen kerrosvahvuudet<sup>87</sup>

<sup>87</sup> SNOW & ICE METHODS -hanke.

Esimerkiksi käytettäessä tehdasvalmisteista 10 x 15 x 4,9 m suuruista ovaalin ns. puoliellipsoidin muotoista muottia ovat sen rakentamisen vaiheet seuraavat:

- Tehdasvalmisteinen ovaalin muotoinen pohjaton muotti kiinnitetään jähän jäädyttämällä tasaiselle alustalle, jota on korotettu märällä lumella.
- Korotus tehdään, jotta pintavedet eivät keväällä tule rakenteen sisälle.
- Muotti kiinnitetään jäädyttämällä noin 10 mm leveään ja 80 mm syvään uraan.
- Muotin kiinni jäätymisen jälkeen muotti paineistetaan heikolla paineella.
- Mennään vetoketjuovesta sisälle. Laitetaan sohjoa muotin reunoihin
- Paineistetaan muotti noin 1,3 – 2,0 kPa:n paineeseen.
- Jäädytetään vesisuihkulla noin 50 – 60 mm:n jääkerros.
- Jääkerroksen loppuvaiheessa lisätään veden sekaan lunta ja tehdään noin 150 mm:n sohjokerros.
- Jää- ja sohjokerroksen vahvuuden ollessa yhteensä noin 200 mm voidaan lisätä pelkkää lunta.
- Kerrokset tiivistetään hyvin toisiinsa kiinni.
- Lumikerroksen paksuus ei saa olla yli 500 mm.

#### **VIHJE:**

**Edellä luetellut mallirakenteet tulee tapauksittain suunnitella ja mitoittaa erikseen.**

## 13 YHTEENVETO

Kirjassa on pyritty antamaan ohjeita jää- ja sohjorakenteiden rakentamiseen ja suunnitteluun. Jää on rakennusmateriaalina niin epähomogeeninen, ettei sille voida antaa yksiselitteisiä raja-arvoja ja ohjeita, kuten esimerkiksi lumelle voidaan. Jäälle tulee kin suunnittelussa asettaa riittävän suuret materiaali- ja kuormitusosavarmuuskertoimet, jotta voidaan varmistua rakenteiden turvallisesta käytöstä.

Lumi- ja jäärakenteille on ohjeessa esitetty tyyppirakenteita materiaalivahvuuksineen. Nämä tyyppirakenteet perustuvat lähes kahdenkymmenen vuoden aikana tehtyihin muotoihin ja niissä tehtyihin havaintoihin eri rakennusvuosina. Voidaan väittää, että tehtäessä ko. rakennetyyppejä ohjeessa mainituin ehdoin rakenteet ovat luotettavia käytön ajan. Tyyppirakenteille ei esitetä ohjeen mukaan erillistä rakennesuunnittelua.

Yhteen koottuna keskeisiä lumi- ja jäärakentamiseen liittyviä asioita ovat:

1. Kantavan rakenteen muoto tulee olla puristusrakenne.
2. Lumi käsitellään lumen laadun ja ympäristön lämpötilan mukaan.
  - a. Luonnonlumi on pakkasella lingottava moneen kertaan ennen rakenteeseen linkoamista.
  - b. Luonnon lumen sekaan lisätään vettä, jos ulkoilman lämpötila on  $-15 - -20\text{ }^{\circ}\text{C}$ .
  - c. Aiemmin kasaan tehtyä tekolunta voidaan käyttää sellaisenaan.
  - d. Tekolumen sekaan lisätään vettä tarvittaessa, mutta harkiten.
  - e. Ns. pakkaslumi käy rakenteeseen sellaisenaan.
3. Lumi ja sohjo tiivistetään aina hyvin mekaanisesti.
4. Jääkappalerakenteet
  - a. Jään iskun kestävyys on heikko.
  - b. Jään käsittely rakennusvaiheessa tulee tehdä huolellisesti.
  - c. On käytettävä riittävää limityspituutta jääkappalekerrosten välillä.
  - d. On varmistettava jääkappaleiden kiinnittyminen toisiinsa.
5. Jäädäyttämällä tehdyt rakenteet
  - a. Rakenteeseen tulee tehdä riittävä jääkerros.

- b. Jäädymisnopeus ulkoilman lämpötilan ja veden jäätymisen mukaan.
- 6. Käytön ajan seuranta
  - a. Rakenteiden painumien ja muodonmuutosten seuranta tulee tehdä huolellisesti.
  - b. On nimettävä vastuuhenkilö/-t rakenteiden käyttämiselle.
  - c. Asetetaan selkeät raja-arvot rakenteen käytön lopettamiseen ja purkamiseen liittyen.
- 7. Rakenteiden purkaminen
  - a. Kantavat rakenteet puretaan riittävästi.
  - b. Dokumentoidaan purkuvaihe.

Lumi- ja jäärakenteiden suunnitteluun ja rakentamisen valvontaan tulee alalle saada riittävän ammattitaitoisia toimijoita. Alan toimijoille tulisikin tehdä oma ns. sertifiointikoulutus, jonka käytyään alalle tuleva toimija voi osoittaa olevan ammattitaitoinen lumi- ja jäärakentaja. Ilman tätä esitettyä sertifiointiakin nykyiset alan toimijat ovat kaikki huippuammattilaisia.

Kirjassa annetut rakentamisohjeet perustuvat käytännön kohteissa moneen kertaan toteutettuihin rakennemuotoihin. Ohjeet eivät ole täydelliset – eivätkä ne siihen pyrikään. Alan toimijoille toivotaan jäävän luovaa ajattelutapaa, jotta alalle saadaan kauan kaivattua uusia rakennemuotoja ja uudistumista.

Tämänkin kirjan ilmestyessä voidaan sanoa, että vasta on raapaistu jään pintaa. Varsinkin jää ja jään käyttö vaatii vielä vuosikausia kestävästä tutkimuksesta niin laboratorioissa kuin käytännössä.



## LÄHTEET

- Kilpeläinen Mikko, Mäkinen Seppo. 2003. Jään rakennustekniset ominaisuudet. NorTech Oulun julkaisuja 2/2003. Oulun yliopisto. Oulu.
- Konttila Arto. 2001. Työ- ja tiivistysmenetelmien vaikutus lumirakenteiden tiheyteen. Opinnäytetyö. Rovaniemen ammattikorkeakoulu.
- Korhonen Esa, Diplomityö. Lumi- ja jäärakentaminen. 1995. Oulun yliopisto.
- Kuluttajavirasto. 2008. Lumi- ja jäärakennelmien turvallisuus. Kuluttajavirasto.
- Mäkinen Seppo, Kilpeläinen Mikko. 2000. Lumen muodonmuutosominaisuudet lumirakenteissa. Oulun yliopisto. Rakennetekniikan laboratorio, julkaisu 58. Oulu.
- Pitkänen Martti. 2003. Rakennusvalvonnan näkökulma lumirakentamiseen, turvallisuustekijät. Kemin kaupungin rakennusvalvonta. Kemi.
- Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL r.y. 2001. Lumirakenteiden suunnittelu- ja rakentamisohteet. RIL 218-2001. Yleisjäljennös – Painopörssi.
- Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL r.y. 2002. Rakenteiden kuormitusohjeet. RIL 144-2002.
- Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL r.y. 2008. Suunnitteluperusteet ja rakenteiden kuormat. Eurokoodi. RIL 201-1-2008.
- Suomen Rakentamismääräyskokoelma. 1989. B2 Kantavat rakenteet. Määräykset 1990. Ympäristöministeriö. Helsinki.
- Suomen Rakentamismääräyskokoelma. 1997. B1 Rakenteiden varmuus ja kuormitukset. Määräykset 1998. Ympäristöministeriö, Asunto- ja rakennusosasto. Helsinki.
- Suomen Rakentamismääräyskokoelma. 2006. A1 Rakentamisen valvonta ja tekninen tarkastus. Määräykset ja ohjeet 2006. Ympäristöministeriö. Helsinki.
- Suomen Standardisoimisliitto SFS. 8.3.1982. SFS 4733, Rakennuspiirustukset, viivat.
- Valtanen Esko. 2009. Tekniikan taulukkokirja. Genesis-kirjat Oy.
- Ympäristöministeriö. 2001. Suomen Rakentamismääräyskokoelma. F2 Rakennuksen käyttöturvallisuus. Määräykset ja ohjeet 2001. Helsinki.
- Ympäristöministeriö. 2002. Suomen Rakentamismääräyskokoelma. A2 Rakennuksen suunnittelijat ja suunnitelmat. Määräykset ja ohjeet 2002. Helsinki.
- Ympäristöministeriö. 2004. Suomen Rakentamismääräyskokoelma. F1 Esteetön rakennus. Määräykset ja ohjeet 2005. Helsinki.
- Ympäristöministeriö. 2005. Suomen Rakentamismääräyskokoelma. E1 Rakennusten paloturvallisuus. Määräykset ja ohjeet 2005. Helsinki.

- Ympäristöministeriö. 2007. Erytymenettely rakentamisen riskinhallintaan. Ympäristöministeriön julkaisu Fakta rakentamisessa. Helsinki.
- Snowcrystals. 2011. [Http://www.its.caltech.edu/~atomic/snowcrystals/class/class.htm](http://www.its.caltech.edu/~atomic/snowcrystals/class/class.htm), 28.9.2011.
- Catenery. 2011. [Http://fi.wikipedia.org/wiki/Tiedosto:Catenary-pm.png](http://fi.wikipedia.org/wiki/Tiedosto:Catenary-pm.png) 28.9.2011.

### **Muut lähteet ja kirjallisuus**

- Gray D.M., Male D. H. Handbook of Snow. 1981. Principles, processes, management & use. University of Saskatchewan, Division of Hydrology. Saskatoon, Canada.
- Petrenko Victor F., Whitworth Robert W. Physics of Ice. 1999, Oxford University Press. New York.
- Maankäyttö- ja rakennusasetus 895/1999.
- Maankäyttö- ja rakennuslaki. 132/1999
- Makkonen L. 2008. Ice and Construction. Rilem report 13. Taylor & Francis Group. New York.

### **SNOW & ICE METHODS hankkeessa tuotettu lähdekirjallisuus ja tutkimusaineisto**

- Autioniemi, Juha. 2009. Automaattinen tiedonkeruu sääasemalta, opinnäytetyö. Rovaniemen ammattikorkeakoulu. Rovaniemi.
- Mäkelä, Lauri. 2010. Laserkeilausaineiston käsittely Zoller+Fröhlich LaserControl ja Trimble RealWorks Survey Advanced –ohjelmistoilla, opinnäytetyö. Rovaniemen ammattikorkeakoulu. Rovaniemi.
- Määttä, Lasse. 2009. Sääasemien instrumentointi, opinnäytetyö. Rovaniemen ammattikorkeakoulu. Rovaniemi.
- Peltokoski, Otto-Ville. 2010. Jään puristuslujuuden mittaaminen, opinnäytetyö. Rovaniemen ammattikorkeakoulu. Rovaniemi.
- Riikonen Lauri. 2009. Lumirakentamisen konsultaation loppuraportti. Rovaniemen ammattikorkeakoulu. SNOW & ICE METHODS. Lumi- ja jäärakentamisen tutkimus ja ohjeistushanke. Rovaniemen ammattikorkeakoulu. Rovaniemi.
- Ryynänen, Kai. 2008. Väliraportti 1 ajalta 1.8. 31.12.2008. SNOW & ICE METHODS. Lumi- ja jäärakentamisen tutkimus- ja ohjeistushanke. Rovaniemen ammattikorkeakoulu. Rovaniemi.
- Ryynänen, Kai. 2009. Väliraportti 2 ajalta 1.1. – 31.5.2009. SNOW & ICE METHODS. Lumi- ja jäärakentamisen tutkimus- ja ohjeistushanke. Rovaniemen ammattikorkeakoulu. Rovaniemi.
- Ryynänen, Kai. 2009. Väliraportti 3 ajalta 1.6. – 31.12.2009. SNOW & ICE METHODS. Lumi- ja jäärakentamisen tutkimus- ja ohjeistushanke. Rovaniemen ammattikorkeakoulu. Rovaniemi.
- Ryynänen, Kai. 2010. Väliraportti 4 ajalta 1.1. – 30.6.2010. SNOW & ICE METHODS. Lumi- ja jäärakentamisen tutkimus ja ohjeistushanke. Rovaniemen ammattikorkeakoulu. Rovaniemi.

- Ryynänen, Kai. 2010. Väliraportti 5 ajalta 1.7. – 31.12.2010. SNOW & ICE METHODS. Lumi- ja jäärakentamisen tutkimus- ja ohjeistushanke. Rovaniemen ammattikorkeakoulu. Rovaniemi.
- Syväjärvä, Jussi. 2010. Lumi-, jää- ja yhdistelmäarakenteiden Deformaatiomittaus laserkeilaimella, opinnäytetyö. Rovaniemen ammattikorkeakoulu. Rovaniemi.

## LIITTEET

### Liite 1.

Ohje ketjukäyrän määrittämisestä lumirakenteeseen.

### Liite 2.

Kuluttajaviraston tuoteturvallisuusvalvonnan lumi- ja jäärakennelmien turvallisuusohje.

### Liite 3.

Lumi- ja jäärakentamisen mallipiirustukset.

### Liite 4.

Malli lumi- ja jäärakentamisen työselostuksesta.

### Liite 5.

Malli lumi- ja jäärakenteen käyttö- ja turvallisuussuunnitelmasta.

### Liite 6.

Esimerkki SNOW & ICE METHODS -hankkeessa tehdyn lumi- ja jäärakenteen sähköisen muodonmuutosmittauksen mittaustuloksesta.

### Liite 7.

Ohjeita lumen tiheyden määrittämiseksi.



# **LIITE 1.**

## **OHJE KETJUKÄYRÄN MÄÄRITTÄMISESTÄ LUMIRAKENTEESEEN**

Ketjukäyrä on luonnossakin esiintyvä muoto. Muodon erityispiirteenä on se, että jokaisessa suunnassa rakenne toimii puristusrakenteena. Puristusrakenteessa kapaleen jännitykset pyrkivät painamaan rakennetta alaspäin rakenteen oman painon, kuormituksen sekä maanvetovoiman voimasta. Ketjukäyrä on jo Galileon aikana tunnetuksi tullut muoto. Tunnetuimpia ketjukäyrän muotoisia rakenteita ovat vanhat kivisillat ja kirkkojen kattojen holvikaaret.

Matemaattisesti ketjukäyrä, englanniksi catenary, on hyperbolisen kosinin kuvaaja. Nimensä käyrä saa siitä, että kahden tukipisteen varaan ripustettu taipuisa ketju tai köysi asettuu aina ketjukäyrän muotoon.

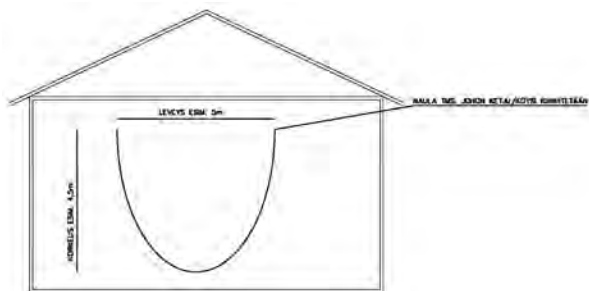
Matemaattisesti määritettäessä ketjukäyrän yhtälö on

$$y = a \cosh\left(\frac{x}{a}\right) = \frac{a}{2} (e^{x/a} + e^{-x/a}), \text{ on}$$

missä  $\cosh$  merkitsee hyperbolista kosinia. Kun käyrä esittää ketjun tai köyden muotoa, parametri  $a$  merkitsee ketjun jännityksen vaakasuoran komponentin suhdetta ketjun painoon pituusyksikköä kohti.

Käytännön lumi- ja jäärakentamisessa ketjukäyrä voidaan määrittää mm. seuraavasti<sup>1</sup>:

- Rakennuksen seinään lyödään kaksi naulaa samalle korkeudelle sille etäisyydelle toisistaan, mikä halutaan muotin leveydeksi.
- Yläreunan naulojen välin keskipisteestä mitataan muotin haluttu korkeus. Lyödään naula ko. pisteeseen.
- Asetetaan esim. koiran ketju yläreunan nauloihin ja säädetään ketjua, kunnes se osuu korkeutta ilmaisevaan naulaan.
- Seinää vasten olevan ketjun alle asetetaan jokin levy ja piirretään näin syntynyt ketjukaari.



**Kuvio 30. Ketjukäyrän määrittäminen rakennuksen seinällä<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Riikonen 2009.

<sup>2</sup> Riikonen L. mukaan.

## **LIITE 2.**

### **KULUTTAJAVIRASTON**

### **TUOTETURVALLISUUSVALVONNAN LUMI- JA**

### **JÄÄRAKENNELMIEN TURVALLISUUSOHJE**





Kuluttajavirasto / Tuoteturvallisuusvalvonta

20.3.2008

## LUMI- JA JÄÄRAKENNELMIEN TURVALLISUUS

### 1. Yleistä lumi- ja jäärakentamisesta

Talviaikaan etenkin Pohjois-Suomessa tarjotaan kuluttajille erilaisia lumesta ja jäädä tehtyihin rakennelmiin liittyviä palveluita. Tarjolla on niin majoitustiloja, kuten lumihoteleja ja igluja kuin lumesta rakennettuja ravintoloita ja lasten leikkeihin tarkoitettuja lumilinnojakin. Näitä kaikkia on pidettävä kulutustavaroiden ja kuluttajapalvelusten turvallisuudesta annetussa laissa (75/2004) tarkoitettuina kuluttajapalveluksina riippumatta siitä, peritäänkö niiden käyttämisestä maksua. Lain 3 §:n nojalla kuluttajapalvelun turvallisuudesta vastaa aina palvelun tarjoaja. Lumi- ja jäärakentamisen kyseessä ollessa lain mukainen vastuutaho voi olla esimerkiksi rakennelman rakentaja, haltija tai ylläpitäjä.

Rakennuslainsäädäntö tai rakentamista koskevat viranomaisten antamat yleisohjeet eivät sisällä lumi- tai jäärakentamista nimenomaisesti koskevia normeja. Lumi ja jää ovat kuitenkin erityisen haastavia rakennusmateriaaleja, sillä niistä tehtyjen rakenteiden ominaisuudet muuttuvat olennaisesti ympäristötekijöiden ja ajan vaikutuksesta. Lumen ja jään sulamisen ohella huomioon on otettava muun muassa materiaalin tiivistymisestä johtuva rakenteiden muodon muuttuminen.

Seuraavassa esitettyjä lumi- ja jäärakentamisen turvallisuuteen liittyviä huomioita voidaan hyödyntää niin rakennelmien suunnittelussa, rakentamisessa ja ylläpitämisessä kuin viranomaisten suorittamassa valvonnassakin.

### 2. Kaikessa lumi- ja jäärakentamisessa huomioon otettavaa

Alalla toimii yrittäjiä, jotka ovat erikoistuneet lumi- ja jäärakentamiseen, mutta osa rakennelmista tehdään täysin amatöörivoimin. Ollakseen turvallisia on etenkin suuret ja lumella tai jäällä katetut oleskelutiloja sisältävät rakennelmat suunniteltava ja toteutettava huolellisesti. Käytännössä ainakin suurimpien rakennelmien osalta on tehtävä kirjallista rakennesuunnittelua lujuuslaskelmineen.

Lumen ja jään ominaisuuksiin vaikuttaa merkittävästi se, millaisissa ilmastollisissa olosuhteissa niiden kiderakenteet ovat syntyneet. Rakentamisvaiheessa vallinneet olosuhteet vaikuttavat lumi- ja jäärakenteiden ominaisuuksiin koko niiden elinkaarien ajan. Näin ollen rakennelmissa käytettävän lumi- tai jäämateriaalin ominaisuu-

det voivat vaihdella vuosittain. Käytännössä lumen tai jään teko- tai keräämispaikka vaikuttaa myös merkittävästi materiaalin ominaisuuksiin. Lumi- tai jäärakenteiden ominaisuuksista hankittua tietoa ei siten voida välttämättä hyödyntää sellaisenaan keskenään erilaisilla alueilla, kuten meren rannikolla tai sisämaassa toteutettavan rakentamisen suunnittelussa.

Kaikkien lumi- ja jäärakenteiden kuntoa on valvottava päivittäin. Lumi- ja jäärakenteiden muodon jatkuvasta muuttumisesta johtuen on hyvin tärkeitä, että tällaisten rakenteiden turvallisuus ja käyttökelpoisuus tarkastetaan säännönmukaisesti myös silloin, kun sääolosuhteet ovat pysyneet pitkään tämän kaltaiselle rakentamiselle suotuisina. Palvelun tarjoajan on määritettävä sekä se, kenen vastuulle rakenteiden kunnon tarkkailu kuuluu että se, mihin seikkoihin tarkkailussa on erityisesti kiinnitettävä huomiota. Palvelun tarjoajan on määritettävä myös se, miten rakenteiden kunnon tarkkailussa tehdyt havainnot kirjataan käyttöpäiväkirjaan tai vastaavaan asiakirjaan. Rakenteiden kunnon tarkkailussa hyväksi käytännöksi on osoittautunut rakenteiden säännönmukainen valokuvaaminen. Kuvia vertailemalla rakenteiden muodonmuutokset rakennelman elinkaaren aikana ovat helposti havaittavissa.

Lumesta ja jäästä tehtyjä rakennelmia suunniteltaessa ja huollettaessa on kiinnitettävä huomiota käyttöturvallisuusnäkökohtiin. Huomioon on otettava niin portaiden turvallisuus kuin käsijohteiden ja kaiteiden tarve samoin kuin liukkauden torjunta. Sähkölaitteiden ja -johtojen osalta on muistettava, että kaikkien lumi- ja jäärakennelmissä käytettävien sähkölaitteiden ja kytkentöjen on oltava ulkotiloihin soveltuvia. Käytettävien sähkölaitteiden on aina oltava suojaeristettyjä, suojamaadoitettuja tai suojajännitteellä toimivia. Pitkäaikaiseen ulkokäyttöön tarkoitetun sähkölaitteen koteloinnin on oltava niin tiivis, ettei sen sisään pääse vettä. Vikavirtasuojakytkin tuo lisäturvaa ulkopistorasioissa.

Palvelun tarjoajan tulee riskinarviointiin perustuen arvioida, tuleeko palvelua samanaikaisesti käyttäville henkilöille asettaa enimmäismäärä. Jos enimmäiskäyttäjämäärän määrittely katsotaan tarpeelliseksi, on määritettävä myös se, miten käyttäjämäärää seurataan ja tarvittaessa rajoitetaan.

Palvelun tarjoajan on määritettävä myös se, millaisissa olosuhteissa rakennelma poistetaan käytöstä tai sen käyttöä rajoitetaan. Samoin on määritettävä se, miten rakennelman käytöstä poistaminen tapahtuu, jotta heikentyvästä tai sulavasta rakennelmasta ei aiheutuisi vaaraa. Tältä osin on otettava huomioon se, että tällaiset rakennelmat saattavat houkutella ihmisiä myös siinä tapauksessa, että palvelun käyttäminen olisi nimenomaisesti kielletty. Turvallisuuden varmistamiseksi hyvä käytäntö on esimerkiksi rakennelman kertakaikkinen hajottaminen käytöstä poistamisen yhteydessä.

Tarkempaa tietoa lumesta tehtävien kantavien rakenteiden suunnittelusta, rakentamisesta ja käytöstä saa muun muassa Suomen Rakennusinsinöörien Liiton julkaisusta *Lumirakenteiden suunnittelu- ja rakentamisohjeet* (RIL 218-2001).

### 3. Majoitustiloina käytettävät rakennelmat

Majoittumiseen tarkoitettua lumesta tai jäädästä tehtyjen rakennelmat ovat myös pelastuslainsäädännön soveltamisalalla. Majoitustilat ovat erityiskohteita, joissa pelastusviranomaisen tulee palotarkastuksen. Palovaroitinten ja palontorjuntakaluston asianmukaisuuden ohella poistumisturvallisuus on keskeinen majoitustilojen turvallisuuteen vaikuttava tekijä. Erityistä huomiota tulee kiinnittää siihen, että rakennelmissa ovat esteettömät poistumistiet, jotka on osoitettu selvästi myös pimeässä ja mahdollisen sähkökatkon aikana erottuvien merkinnöin.

Majoitustiloina käytettäviin lumesta tai jäädästä tehtyihin rakennelmiin saattaa liittyä myös muista rakennusmateriaaleista tehtyjä tiloja, kuten wc- ja peseytymistiloja. Näiden tilojen paloturvallisuus on otettava huomioon lumi- tai jäärakennelmien kokonaispaloturvallisuutta arvioitaessa, sillä esimerkiksi puurakenteiden palamisesta syntyvät kaasut voivat vaikuttaa merkittävästi myös lumi- tai jäärakenteisissa tiloissa oleskelevien henkilöiden turvallisuuteen.

Majoittuville asiakkaille tulee antaa tupakointia koskevat ohjeet. Ohjeistuksessa tulee ottaa huomioon myös käytettävien vuodevaatteiden ja patjojen sekä makuupussien paloturvallisuus. Makuupussit eivät aina vastaa paloturvallisuusominaisuuksiltaan kaupallisiin majoitustiloihin tarkoitettuja vuodevaatteita.

Koska lumi- ja jäärakenteet tiivistyvät eli käytännössä painuvat ajan kuluessa huomattavasti kasaan, täytyy poistumistiet käytännössä mitoittaa rakennusvaiheessa huomattavasti vähimmäisvaatimuksia suuremmiksi, jotta ne täyttäisivät kooltaan niille asetetut vaatimukset myös elinkaarensa loppupäässä.

Lumesta tai jäädästä tehtyjä majoitustiloja suunniteltaessa ja rakennettaessa täytyy ottaa huomioon kohteen luoksepäästävyys ennen kaikkea pelastustoimen näkökulmasta. Hälytysajoneuvoille tarkoitettujen ajoteiden ja muiden kulkuyhteyksien (pelastustiet) on oltava aina ajokelpoisia, esteettömiä ja asianmukaisesti merkittyjä.

Palvelun tarjoajan tulee järjestää tarpeellinen päivystys siten, että majoittuvilla asiakkailla on mahdollisuus saada yhteys palvelun tarjoajan henkilökuntaan kaikkina vuorokaudenaikoina. Palvelun tarjoajan tulee varautua myös tilanteisiin, joissa majoittuva asiakas haluaa jostakin syystä siirtyä majoittumaan pois lumi- tai jäärakenteisista tiloista. Myös asiakkaiden turvallisuuden valvontaan tulee kiinnittää huomiota. Lumi- tai jäärakenteisissa majoitustiloissa ei yleensä ole lukittavia ovia, mistä johtuen ulko-puolisten henkilöiden liikkuminen tulee ehkäistä riittävällä valvonnalla.

Mahdollisen evakuointi- tai onnettomuustilanteen varalta palvelun tarjoajalla tulee olla onnettomuustilanteessa nopeasti saatavilla oleva ajantasainen luettelo siitä, kuinka monta majoittunutta henkilöä rakennelmassa on, ja missä huoneissa tai muissa tiloissa he ovat. Pelastus- ja evakuointitoiminnan tehokkuuden takaamiseksi nämä tiedot tulisi pystyä esittämään kohdetta havainnollisesti kuvaavan pohjapiirroksen avulla.

Jos majoitustilat sijaitsevat etäällä vakinaisesta asutuksesta tai muista lämmitetyistä luoksepäästävistä sisätiloista, on palvelun tarjoajan suunniteltava etukäteen myös se, mihin ja miten majoittuvat asiakkaat mahdollisessa evakuointitilanteessa siirretään.

#### **4. Erityisesti lasten leikkeihin tarkoitetut lumirakennelmat**

Suunniteltaessa ja rakennettaessa erityisesti lasten käyttöön tarkoitettuja lumesta tai jäädä tehtyjä rakennelmia voidaan soveltuvin osin soveltaa leikkikenttävälineitä koskevia standardeja (SFS-EN 1176 ja SFS-EN 1177) ja Kuluttajaviraston internetsivuilla olevia leikkikenttien turvallisuutta koskevia lähtökohtia. Turvallisuuden kannalta keskeisiä tekijöitä näissä saattavat olla esimerkiksi putoamisvaaran sisältävät paikat. Huomioon tulee siten ottaa muun muassa mahdollinen putoamiskorkeus, tarve kaide-rakenteille sekä liukumäkien turvallisuus.

Erityisesti lasten käyttöön tarkoitetuissa rakennelmissa tulee ottaa huomioon myös rakennelman käytön valvonta. Huolimatta siitä, että lapsen huoltajalla on aina vastuu lapsesta, on palvelun tarjoajalla kulutustavaroiden ja kuluttajapalvelusten turvallisuudesta annetun lain mukainen vastuu rakennelman ja sen käytön turvallisuudesta.

#### **5. Palvelun tarjoajan turvallisuussuunnittelu ja henkilökunnan hätätilannevalmius**

Edellä tarkoitetut palvelun tarjoajan turvallisuussuunnitteluvollisuuden piiriin kuuluvat seikat on otettava huomioon palvelun tarjoajan turvallisuusasiakirjassa tai muussa turvallisuussuunnitteluasiakirjassa (esimerkiksi pelastuslainsäädännön mukaisessa pelastussuunnitelmassa).

Erityisesti Pohjois-Suomessa pelastustoimen ja sairaanhoidon resurssit ovat varsin rajalliset alueella vilkkaimman matkailukauden aikana oleskelevien henkilöiden määrään nähden. Tämä korostaa palvelun tarjoajan velvollisuutta varautua erilaisen poikkeustilanteiden hoitamiseen itsenäisesti. Lisäksi erityisesti majoitustiloina käytettävät lumi- ja jäärakennelmat sijaitsevat usein etäällä asutuskeskuksista, mistä johtuen pelastushenkilökunnan saapuminen onnettomuuspaikalle saattaa kestää huomattavan pitkään. Palvelun tarjoajan henkilökunnan onkin kyettävä aloittamaan tarvittavat pelastustoimet itsenäisesti ja opastamaan pelastustoimen edustajia tilanteen hoitamisessa.

Palvelun tarjoajan on varmistettava henkilökuntansa hätätilanneosaaminen. Henkilökunnalle on annettava tarvittavaa koulutusta ainakin tavanomaisimpien hätätilanteiden varalle. Kyseeseen saattavat tulla esimerkiksi alkusammutus- ja ensiapukoulutus sekä rakenteiden sortumistilanteissa noudatettavien toimintamallien opettaminen.

Lumi- ja jäärakennelmiin liittyvien palveluiden turvallisuuden kehittämisessä ja arvioimisessa voidaan soveltuvien osin käyttää hyväksi myös Kuluttajaviraston ohjetta ohjelmanpalveluiden turvallisuuden edistämiseksi (Kuluttajaviraston julkaisusarja 9/2003).

## **6. Lumi- ja jäärakentamista valvovat viranomaiset**

Kuntien tuoteturvallisuusvalvontaviranomaisten ohella lumirakentamista valvovat myös pelastusviranomaiset ja rakennusvalvontaviranomaiset.

Kuluttajapalveluksi katsottavan lumi- tai jäärakennelman rakentamista suunnittelevan on syytä olla yhteydessä paikalliseen rakennusvalvontaviranomaiseen sen selvittämiseksi, miten kyseisen kunnan rakennusvalvonnassa suhtaudutaan tämän kaltaiseen rakentamiseen.

Joissakin kunnissa etenkin suurimpien lumirakennelmien on katsottu olevan maankäyttö- ja rakennuslain (132/1999) 18 luvussa tarkoitettuja rakennus- tai toimenpide- lupaa edellyttäviä tilapäisiä rakennuksia tai rakennelmia.

Harkittaessa luvan myöntämisen edellytyksiä, tulee maankäyttö- ja rakennuslain 176.2 §:n nojalla ottaa huomioon rakennelman tarkoitus sekä lujuuden, terveellisyyden, liikenteen, paloturvallisuuden ja ympäristöön sopeutuvuuden vaatimukset. Rakennus-valvontaviranomainen voi asettaa luvan myöntämisen ehdoksi rakennelman ominaisuuksiin ja käyttämiseen liittyviä ehtoja.

Ennen lumi- tai jäärakennelman rakentamista ja käyttöön ottamista on syytä olla yhteydessä myös pelastusviranomaiseen etenkin, jos kyse on myös majoitustilana käytettävästä rakennelmasta. Muun muassa pelastuslaissa (468/2003) ja pelastustoimesta annetussa valtioneuvoston asetuksessa (787/2003) on lumi- ja jäärakentamiseen soveltuvia rakennuksen tai rakennelman omistajaa ja haltijaa velvoittavia säännöksiä.

Valvontaviranomaiset valvovat lumi- ja jäärakennelmien turvallisuutta sekä rakennelmien suunnitteluvaiheessa että käyttöönottotarkastuksin ja pistokokeenomaisia tarkastuksia tekemällä.

## **LIITE 3.**

### **LUMI- JA JÄÄRAKENTAMISEN MALLIPIIRUSTUKSET**





<sup>4</sup> Ryynänen K. 2011.





## **LIITE 4.**

### **MALLI LUMI- JA JÄÄRAKENTAMISEN TYÖSELOSTUKSESTA**

Rovaniemen ammattikorkeakoulu  
Rantavitikan kampus  
Jokiväylä 11

## **TYÖSELOSTUS**

Vanhan torin lumirakenne

## SISÄLTÖ

1. Kohde
2. Käytettävät rakennusmateriaalit
  - 2.1 Lumi
  - 2.2 Jää
3. Materiaalien käsittely rakentamisvaiheessa
  - 3.1 Lumen tiivistys ja hienonnus
  - 3.2 Veden lisääminen lumeen sohjorakentamisessa
  - 3.3 Jäiden esikäsittely
4. Rakentamismenetelmät
  - 4.1 Muottirakentaminen
  - 4.2 Jääkappaleiden kiinnittäminen toisiinsa
5. Rakentamisvaiheet
6. Käytettävät työkoneet ja -laitteet
7. Muodonmuutosmittapisteet

## 1. Kohde

### Kyseessä on kuvitteellinen kohde.

Kohde on Rovaniemen vanhalle torille rakennettava kahden lumikupolin ja niihin liittyvän lumikäytävän kokonaisuus. Kohde sisältää lisäksi lumiveistosaihioita 2 kappaletta sekä lumikupolien sisälle tehtävät jääveistokset.

Alueelle rakennetaan oheisten piirustusten mukaan kaksi lumiseinämäistä lumikupolia. Kupolien sisäosan nimellismitta on rakennuksen valmistumisen jälkeen leveys 5 m, korkeus 4,6 m. Lumiseinän paksuus on alareunasta 1,5 m. Lumiseinää tehdään 1,5 m paksuisena 2 m:n korkeudelle. Lumen paksuus kupolin yläosassa on 0,6 m.

Yläosan lumikerroksen paksuus mitataan rakentamisvaiheessa rakenteen huipulta ennen muottien poistamista. Rakennevahvuudet saavat poiketa enintään  $\pm 10$  % (RIL218-2001 mukaan).

Lumikäytäviä tehdään kaksi kappaletta. Yksittäisen lumikäytävän koko on korkeus 2 m, leveys 1,2 m sekä pituus 10 m.

Lumiveistosaihiot ovat kukin kooltaan korkeus 3 m, leveys ja pituus 2 m.

## 2. Käytettävät rakennusmateriaalit

### 2.1 Lumi

Rakentamisessa käytetään tekolunta, vähimmäistiheys rakentamisvaiheessa 400 kg/m<sup>3</sup>. Lumi tehdään varastokasaan vähintään 1 viikko ennen lumirakentamista.

Lumen tiheys varmennetaan esim. upotus-punnitusmenetelmää käyttämällä. Lumen tiheys mitataan rakentamispäikalle kuljetetusta lumesta satunnaisesti. Tiheyskokeita tehdään vähintään 5 kpl kupolia kohden. Tiheyskokeista laaditaan mittauspöytäkirjat, jotka liitetään osaksi rakentamisasiakirjoja.

### 2.2 Jää

Veistosaihioiden jäät ovat luonnonvedestä nostettuja jääkappaleita. Käytettävän jään minimipaksuus on 200 mm.

Vaihtoehtoisesti voidaan käyttää edellisenä vuonna nostettua ja varastoitua jäätä.

### 3. Materiaalien käsittely rakentamisvaiheessa

#### 3.1 Lumen tiivistys ja hienonnus

Lumi tiivistetään mekaanisesti polkemalla. Lumi tiivistetään enintään 400 mm:n kerroksina. Tiivistys suoritetaan erityisen huolellisesti muotin reuna-alueilla. Tiivistysvaiheessa varotaan polkemasta ilmanpainemuottia.

Lumeen ei saa jäädä rakennetta heikentäviä jäisiä lumikappaleita ns. kameja. Mikäli ne eivät hajoa mekaanisesti, ne poistetaan rakenteesta. Lumi muokataan vähintään kaksi kertaa ennen rakenteeseen asentamista. Lumi hienonnetaan pyöräkoneella ennen linkoamista.

#### 3.2 Veden lisääminen lumeen sohjorakentamisessa

Rakentamisajankohdan ulkolämpötilasta riippuen lumi voidaan käsitellä lisäämällä siihen vettä paremman lujuuden saavuttamiseksi. Lisättävän veden määrä riippuu ympäristön lämpötilasta sekä lumen tiheydestä. Vettä ei lisätä, jos ulkolämpötila on 0 - -5 °C tai ulkolämpötila on alle -20 °C.

#### 3.3 Jäiden esikäsittely

Jääkappaleet muotoillaan rakentamisvaiheessa. Rakentamispaikalle tuodut jääkappaleet suojataan sekä varastoidaan siten, että niitä ei liikutella tarpeettomasti rakentamisvaiheessa.

### 4. Rakentamismenetelmät

#### 4.1 Muottirakentaminen

Lumikupolit tehdään käyttäen ilmanpaine- ja vanerimuotteja. Ilmanpainemuottina käytetään muottia, jonka koko on 5 m halkaisija ja korkeus 4,6 m. Lumirakenteen ulkokehä tehdään 6 mm vesivanerista.

Muotti paineistetaan täyteen paineeseen, 2-3 kPa riippuen käytettävästä puhaltimesta. Muottipaine pidetään samana koko rakentamisvaiheen.

#### 4.2 Jääkappaleiden kiinnittäminen toisiinsa

Jääkappaleet kiinnitetään toisiinsa vedellä tai sohjolla riippuen ulkolämpötilasta. Ulkolämpötilan ollessa alle -20 °C jääkappaleet kiinnitetään vedellä.

## 5. Rakentamisvaiheet

Lumirakenteet rakennetaan seuraavassa järjestyksessä:

1. Ensimmäisen tehdään edestä katsoen oikeanpuoleinen lumikupoli.
2. Seuraavaksi tehdään vasemman puoleinen lumikupoli.
3. Lumikäytävät tehdään alkaen oikealta vasemmalle.
4. Lumiveistosaihiot tehdään alkaen oikealta vasemmalle.

Jäät asennetaan lumikupolien sisälle ennen lumikäytävien rakentamista.

Lumikupolit tehdään seuraavasti:

- Asennetaan kupolimuotti tukirautojen varaan.
- Asennetaan ulkopuolinen vanerimuotti sekä muotin nostorausdat.
- Tarkistetaan ulkokehän halkaisija. Lumen seinämävahvuus tulee olla 1,5 m.
- Lumetetaan muottien väli kiertäen muotin ympäri. Lumetuksessa käytetään traktorilinkoa. Tiivistetään lumi enintään 400 mm:n kerroksina.
- Vanerimuotin täytyttyä nostetaan muottia siten, että vaneri jää vähintään 500 mm valmiin lumikerroksen päälle.
- Jatketaan lumetusta, kunnes lumikerroksen korkeus on 2 m.
- Lumetetaan kupolin yläosa, kunnes lumikerroksen vahvuus on 600 m kupolin huipulla.

## 6. Käytettävät työkonet ja -laitteet

Työkoneiden kohdalla varmistutaan ajoneuvojen puhtaudesta. Ajoneuvoissa ei saa olla vuotavia letkuja tai liitoksia.

Jäät ja lumi siirretään rakennusalueella käyttäen pyöräkonetta (KUP) tai traktoria.

Lumi lingotaan rakenteisiin riittävän tehokkaalla traktori-lumilingolla.

## 7. Muodonmuutosmittapisteet

Muodonmuutokset mitataan käyttäen takymetria ja laserkeilainta. Mittauksia varten rakennetaan alueella riittävät kiintopisteet mittaushavaintojen tekemiseksi.

Rakenteiden muodonmuutosten mittauspisteet sijoitetaan piirustusten määrittämiin paikkoihin. Mittauspisteitä ovat:

- kupolien huipun ilmareiän reunat, painuman mittaus
- kupolien sisäänmeno aukon yläosan keskipiste, painuman mittaus
- lumimuurien pään huipun keskiosa sekä puoliväli, painuman ja kallistuman mittaus.

Kiintopisteinä käytetään maahan lyötäviä rautatankoja, pituus 600 mm Ø25 mm. Rautatangon päähän lyödään tampilla mittapiste. Vaihtoehtoisesti voidaan käyttää muuta kiinteää talven ajan säilyvää kiintopistettä, esimerkiksi nitojalla kiinnitettyä mittatarraa puussa. Kiintopisteiden sijainnissa huomioidaan pysyvyys ja näkyvyys talven ajan. Lisäksi otetaan huomioon alueen kunnossapito.





## **LIITE 5.**

### **MALLI LUMI- JA JÄÄRAKENTEEN KÄYTTÖ- JA TURVALLISUUSUUNNITELMASTA**

Rovaniemen ammattikorkeakoulu  
Rantavitikan kampus  
Jokiväylä 11

## **KÄYTTÖ- JA TURVALLISUUSSUUNNITELMA**

Vanhan torin lumirakenne

## SISÄLTÖ

1. Kohde
2. Rakenteiden käytönaikainen seuranta
3. Sallitut muodonmuutokset
  - 3.1 Muodonmuutosmittaukset
4. Rakenteiden lämpötila
5. Rakenteiden tiheys ja kovuus
6. Rakenteiden purkaminen
7. Rakenteiden korjaukset
8. Rakenteiden tarkastaminen

## 1. Kohde

### Kyseessä on kuvitteellinen kohde.

Kohde on Rovaniemen vanhalle torilla sijaitseva kahden lumikupolin ja niihin liittyvän lumikäytävän muodostama kokonaisuus. Alueella on lumiveistoksia, ja lumikupolien sisällä sijaitsevat jääveistokset.

Lumikupolit ja -käytävät on valmistettu tekolumesta. Tiheys rakentamisvaiheessa on ollut vähintään  $400 \text{ kg/m}^3$ . Lumikupolien sisäosan nimellismitat ovat rakennelman valmistumisen jälkeen: leveys 5 m ja korkeus 4,6 m. Lumiseinän paksuus on alareunasta 1,5 m n. 2 m korkeudelle saakka. Lumen paksuus ohenee seinän yläreunasta alkaen, siten että kupolin yläosassa paksuus on 0,6 m.

Lumikäytävän sisäosan nimellismitat ovat valmistumisen jälkeen: leveys alareunasta 2 m ja korkeus 2 m. Lumiseinän paksuus on alareunassa 0,6 m ja huipulla 0,25 m.

Lumiveistosaihiot ovat olleet kooltaan: korkeus 3 m, leveys ja pituus 2 m.

## 2. Rakenteiden käytönaikainen seuranta

Lumirakenteita seurataan sekä päivittäin että viikoittain tapahtuvien seurantamittauksin. Seuranta raportoidaan kirjallisesti käyttäen esimerkiksi suunnitelman lopussa olevaa seurantalomaketta. Seurantalomakkeeseen merkitään tehdyt havainnot ja mittaukset. Havainnot kuitataan päiväyksin ja allekirjoituksin.

## 3. Sallitut muodonmuutokset

Muodonmuutosten seuraamisessa ja raja-arvoissa noudatetaan RIL 218-2001 Lumirakenteiden suunnittelu- ja rakentamisohjeet -opasta.

Ko. kohteessa sallitut muodonmuutosten raja-arvot ovat:

### Painumat

Lumikupolin painuma saa olla kupolin sisätilan keskeltä mitaten enintään 600 mm. Painumaan sallitaan 10 %:n ylitys, mikäli rakenne ei menetä alkuperäistä muotoaan käytön aikana.

Lumikäytävän painuma saa olla rakenteen keskeltä mitaten 250 mm. Painumaan sallitaan 10 %:n ylitys, mikäli rakenne ei menetä alkuperäistä muotoaan käytön aikana.

Lumiveistosten painuma saa olla enintään 600 mm. Painuma saa olla suurempi, jos veistoksen muoto sallii sen, eikä painumasta katsota olevan vaaraa käyttäjille.

Painumat mitataan rakenteen korkeimmasta kohdasta piirustuksiin merkityistä paikoista. Painumamittauksiin käytetään takymetrimittausta sekä laserkeilausta. Painumamittaukset merkitään suunnitelman liitteenä seurantalomakkeeseen tai talletetaan muuten luotettavasti.

### **Kallistumat**

Lumiveistosaihoiden sallittu kallistuma on  $L/20$ , kun  $L$  on mielivaltainen korkeus veistoksen alareunasta. Kallistuma saa olla suurempi, jos veistoksen kallistumasta ei ole haittaa tai vaaraa käyttäjille.

### **3.1 Muodonmuutosmittaukset**

Muodonmuutokset mitataan käyttäen takymetria ja laserkeilainta. Mittauksia varten rakennetaan alueelle kiintopisteet mittaushavaintojen suorittamiseksi. Kiintopisteet tehdään rakentamisvaiheessa.

Kiintopisteinä käytetään maahan lyötäviä rautatankoja, pituus 600 mm ja Ø25 mm. Rautatangon päähän lyödään tampilla mittapiste. Vaihtoehtoisesti voidaan käyttää muuta kiinteään talvikauden ajan säilyvää kiintopistettä, esimerkiksi nitojalla kiinnitettyä mittatarraa puussa. Kiintopisteiden sijainnissa huomioidaan pysyvyys ja näkyvyys talven ajan. Lisäksi otetaan huomioon alueen kunnossapito.

Rakenteiden muodonmuutosten mittauspisteet sijoitetaan piirustusten määrittämiin paikkoihin. Näitä ovat

- kupolien huipun ilmareiän reunat, painuman mittaus
- kupolien sisäänmeno aukon yläosan keskipiste, painuman mittaus
- lumikäytävien päästä n. 1500 mm sisäänpäin huipun keskiosa sekä puoliväli, painuman ja kallistuman mittaus
- lumiveistokset kallistuman ja painuman mittaus korkeimmasta kohdasta (määritetään erikseen veistoksen mukaan).

## **4. Rakenteiden lämpötila**

Lämpötilan seurannassa noudatetaan RIL 218-2001 -ohjetta. Kantavien lumirakenteiden lämpötilan mittaus aloitetaan, kun ulkolämpötila on ollut vähintään kaksi vuorokautta  $-1,0\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Lämpötila mitataan rakenteen sisältä vähintään 200 mm:n syvyydeltä. Tulokset merkitään seurantalomakkeeseen.

Lämpötilan mittapisteen ovat:

- lumikupolit lumikäytävän ja kupolin liittymäkohta sekä Koskikadun puoleinen sivu (etelän puoli), mittapisteen korkeus 1500 mm alareunasta
- lumikäytävät lämpötilan mittapisteen lumikäytävän keskiosa 1500 mm korkeudelta.

Sisätilojen lämpötilaa seurataan rakenteiden käytön loppuvaiheessa. Sisälämpötilan noustessa 0 °C ja yli aloitetaan jatkuva rakenteiden käytönaikainen valvonta.

Mikäli ulkolämpötila on yli 0 °C enemmän kuin kaksi vuorokautta, lumirakenteet suljetaan käytöltä. Ulkolämpötilan laskiessa rakenteet voidaan ottaa käyttöön, mikäli lämmin jakso ei ole aiheuttanut rakenteille liian suuria muodonmuutoksia. Rakenteen käyttöönotosta uudelleen päätetään erillisessä tarkastuksessa.

## 5. Rakenteiden tiheys ja kovuus

Lumirakenteiden tiheyttä ja kovuutta seurataan käytön ajan viikoittain. Tiheys määritetään rakenteen ulkopinnoilta eri puolilta rakennetta tehtävin koepalamittauksin. Tiheys mitataan punnitus-upotusmenetelmällä. Tulokset kirjataan seurantalomakkeeseen.

Kovuusmittauksessa noudatetaan RIL 218-2001 -ohjetta. Kovuus mitataan käyttäen 16 mm:n rautatankoa. Tankoa työnnetään käsivoimin lumirakenteeseen satunnaisista kohdista. Jos rautatanko uppoaa lyömättä rakenteeseen yli 100 mm, on rakenteen käyttö lopetettava. Jos rakenteessa on kova jääkerros, tanko lyödään sen läpi.

## 6. Rakenteiden purkaminen

Kaikki kantavat lumirakenteet, lumikäytävät ja lumikupolit sekä lumiveistokset puretaan, jos

- rakenteet painuvat yli sallittujen raja-arvojen
- rakenteet pehmenevät nopeasti
- rakenteet menettävät alkuperäisen muotonsa
- lumirakenteen lämpötila nousee yli 0 °C
- rakenteen käyttö lopetetaan muusta kuin muodonmuutosten aiheuttamasta syystä.

Purettaessa kantavat rakenteet on hajotettava niin, ettei niistä aiheudu vaaraa ohikulkijoille. Kaikki sisätiloja sisältävät rakenteet rikotaan kattorakenteet alas painaen.

## 7. Rakenteiden korjaukset

Mikäli käytön aikana havaitaan vähäistä korjausta vaativia kohtia, ne voidaan tehdä, jos varmistutaan riittävästä rakennevahvuudesta ja -muotojen säilymisestä. Annettuja vähimmäisrakennevahvuuksia ei saa alittaa.

Korjauksia saa tehdä mm. oviaukoissa ja lumiveistoksissa. Oviaukon minimi leveys tulee olla 1200 mm mitattuna 1500 mm:n korkeudelta. Kulkuaukon korkeus on oltava vähintään 1800 mm.

## 8. Rakenteiden tarkastaminen

Rakenteet tarkastetaan riittävän tiheästi ja luotettavia menetelmiä käyttäen.

Päivittäin tarkastettavat kohteet ovat:

- kulkualueiden liukkaus
- kulkukäytävien karhentaminen tai jään poisto mekaanisesti
- hiekoitus valkoista soraa käyttäen tarvittaessa
- lumirakenteiden kunto
- mahdolliset halkeamat ja murtumat silmin tehtävät havainnot
- kallistumat ja painumat
- lumiveistosten siisteys ja rakenteet
- ovien käynti
- oviaukkojen kulkuaukon mitat
- valaistuksen kunto ja toiminta
- rakenteiden ja sisätilan lämpötila (loppuvaiheessa)
- veden kertyminen rakenteen sisälle (loppuvaiheessa).

Kerran viikossa tarkastettavat kohteet ovat:

- lumen tiheys punnitus-upotusmenetelmällä
- kantavien rakenteiden muodonmuutosmittaukset
- lumirakenteen lämpötila (loppuvaiheessa päivittäin)
- ulkoalueiden siisteys (osittain tehdään päivittäin).



[illegible]

## **LIITE 6.**

**ESIMERKKI SNOW & ICE**

**METHDOS -HANKKEESSA TEHDYN**

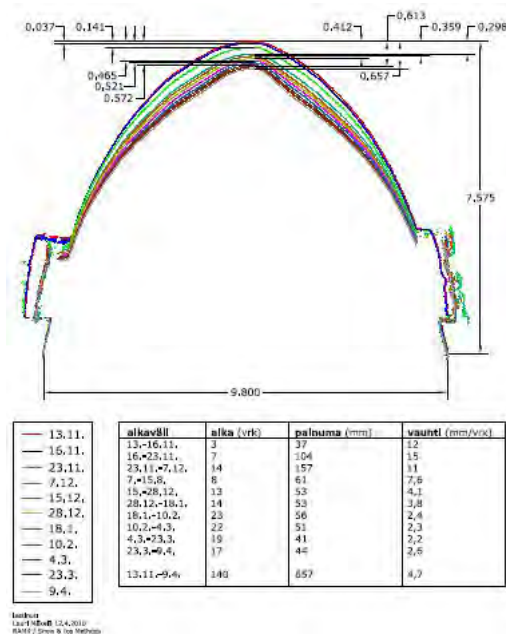
**LUMI- JA JÄÄRAKENTEEN**

**MUODONMUUTOSMITTAUKSEN**

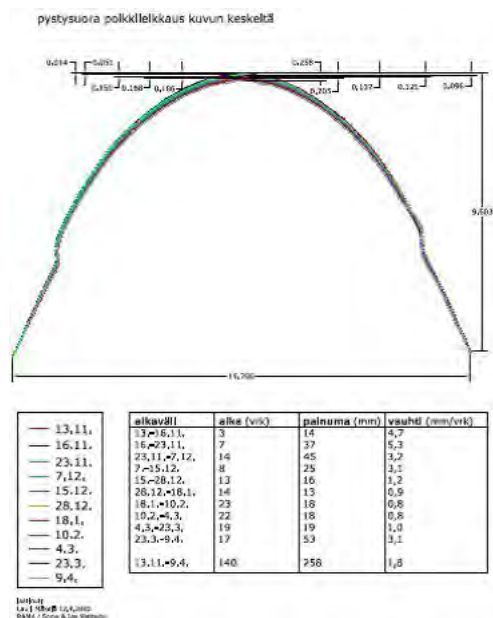
**MITTAUSTULOKSESTA.**

SNOW & ICE METHODS. Lumi- ja jäärakentamisen tutkimus- ja ohjeistushankkeessa mitattiin eri kohteissa kahden talven ajan lumi- ja jäärakenteiden muodonmuutoksia. Mittaukset on tehty käyttäen laserkeilausmittausta. Mittauksia varten rakennelmiin tehtiin kiintopisteverkosto, jonka avulla eri mittauskertojen tulokset sidottiin toisiinsa.

Oheisissa kuvissa on yhdistettynä eri kohteiden talvikauden mittaustulokset yhdessä mittalinjassa, yleensä rakenteen keskikohdasta piirrettynä. Kuvista näkee rakenteiden painuman sekä painumanopeuden.

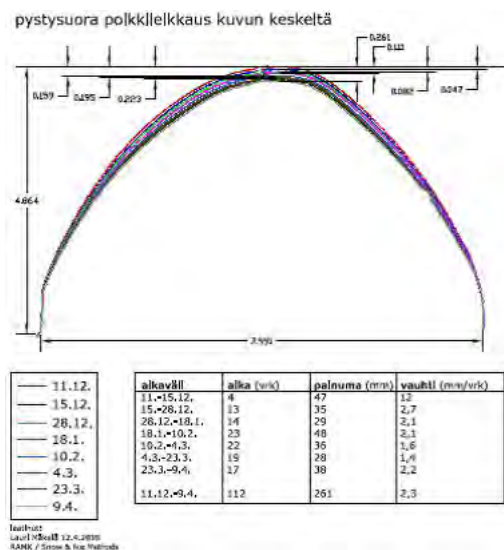
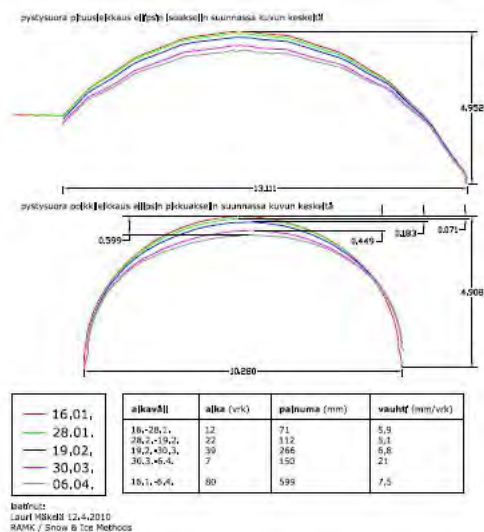


Kuvio 34. Lumirakenteen muodonmuutosmittauspiirros6



Kuvio 35. Lumi- ja jäärakenteen muodonmuutospiirros7

<sup>6</sup> Mäkelä L. 2010.<sup>7</sup> Mäkelä L. 2010.

Kuvio 36. Lumirakenteen muodonmuutospiirros<sup>8</sup>Kuvio 37. Kolmikerrosrakenteen muodonmuutospiirros<sup>9</sup><sup>8</sup> Mäkelä L. 2010.<sup>9</sup> Mäkelä L. 2010.

## **LIITE 7.**

### **OHJEITA LUMEN TIHEYDEN MÄÄRITTÄMISEKSI**

Lumen tiheys ns. kenttäolosuhteissa voidaan määrittää erilaisilla menetelmillä. Tiheyden määrittämisessä lumesta otetaan mahdollisimman luonnollinen näyte. Näytteen tiheys saadaan jakamalla sen massa tilavuudella ( $\text{kg}/\text{m}^3$ ).

Tapoja on useita erilaisia. Tässä yhteydessä esitellään kaksi käytetyintä vaihtoehtoa.

## 1. Lumen tiheys punnitus-upotusmenetelmällä.

Punnitus-upotusmenetelmä on Arkhimedeeseen lakiin perustuva. Arkhimedeeseen kehittämässä menetelmässä kappaleen tilavuus voidaan määrittää punnitsemalla sen syrjäyttämän veden tilavuus.

Tiheyden määrittämisen vaiheet ovat:

- Lumesta leikataan n. 4-7 litran kokoinen kappale.
- Koekappale muotoillaan mahdollisimman pyöreäreunaiseksi.
- Kappale laitetaan tiiviiseen muovipussiin.
- Koekappale punnitaan riittävän tarkalla vaa'alla, mitattu massa  $m_{\text{lumi}}$  [kg] merkitään muistiin.
- Kappaleen tilavuus määritetään upottamalla koekappale pusseineen vesiastiaan, jossa on kylmää vettä ja yhde/putki ylivalutusta varten.
- Vaulutusputken alle laitetaan astia ja vaaka.
- Koekappale upotetaan kokonaan veden alle.
- Vesiastiasta syrjäytyvän veden määrä punnitaan.
- Upotuksen jälkeen koekappale punnitaan uudelleen, jotta varmistutaan, ettei koekappaleeseen ole imeytynyt vettä.

Kappaleen syrjäyttämä veden paino kg on suoraan kappaleen tilavuus  $\text{m}^3$ :ssa, koska veden tiheys on  $1000 \text{ kg}/\text{m}^3$  (eli 1 kg vettä tilavuus on  $0,001 \text{ m}^3$ ).

**Esimerkki.** Lumen tiheyden määrittäminen punnitus-upotusmenetelmällä.

Lumesta leikattu näyte painaa tiiviissä pussissa 3 kg. Kappaleen syrjäyttämän veden massa on 6 kg. Kappaleen tilavuus saadaan, kun tiedetään, että veden tilavuuspaino on  $1000 \text{ kg}/\text{m}^3 \Rightarrow$  kyseisen näytteen tilavuus on  $0,00600 \text{ m}^3$ .

Tiheys  $\rho$  saadaan laskettua:

$$\rho = \frac{3 \text{ kg}}{0,006 \text{ m}^3} = 500 \text{ kg}/\text{m}^3$$

Punnitus-upotusmenetelmän tarkkuuteen vaikuttaa näytteen käsittely ja veden mitauksen tarkkuus. Menetelmässä on tärkeää, että näytepussi on riittävän tiivis, jotta

ei tapahdu lumen ja veden sekoittumista. Tehtyjen mittausten mukaan menetelmällä päästään  $\pm 5 \text{ kg/m}^3$  tarkkuuteen. Menetelmä soveltuu rakentamisvaiheessa tehtäviin tiheysmittauksiin. Menetelmässä tulee olla käytettävissä soveltuvia vesiastioita sekä luotettava vaaka.

## 2. Tiheyden määrittäminen näyteporan avulla

Näyteporana voidaan käyttää esimerkiksi halkaisijaltaan 72 mm:n metalliputkea, jonka toisessa päässä on sahalaita ja toisessa päässä vääntökahva. Näyte otetaan poraamalla putki 150–230 mm:n syvyyteen lumiseinään, minkä jälkeen putki sekä sisällä oleva näyte punnitaan. Putken paino vähennetään tuloksesta. Seinästä otetun näytteen jättämän reiän syvyys (h) mitataan ja voidaan laskea näytteen tilavuus (V) käyttämällä putken sisähalkaisijan kokoa. Lumen tiheys ( $\text{kg/m}^3$ ) saadaan jakamalla paino tilavuudella.

**Esimerkki.** Kyseisellä näyteporalla porataan 170 mm:n syvyinen reikä (h) lumiseinään. Poraan jääneen lumen massa oli 1,442 kg.

Näyteporan sisäosan halkaisija on

$$A = \pi r^2 = \pi * (0,072\text{m})^2 = 0,0163 \text{ m}^2$$

Otetun näytteen tilavuus on

$$V = h\pi r^2 = h * A = 0,170 \text{ m} * 0,0163 \text{ m}^2 = 0,0028 \text{ m}^3$$

Tiheys saadaan jakamalla näytteen tilavuus sen massalla

$$\rho = \frac{1,442 \text{ kg}}{0,0028 \text{ m}^3} = 515 \text{ kg/m}^3$$

SNOW ICE METHODS -hankkeessa tehtyjen mittausten mukaan kyseisellä näyteporalla mitaten mittaustarkkuuteen vaikuttavia asioita ovat otetun näytteen tilavuuden arviointi sekä punnituksen virhe. Tilavuuden arviointi eli näytesyvytyden mittaustarkkuus vaikuttaa tiheyteen +/- 5 kg jokaista 10 ml kohden. Lumen massan mittaauksessa 10 gramman virhe aiheuttaa n. +/- 5 kg vaihtelun tiheyteen. Tarkkuutta voidaan parantaa ottamalla tilavuudeltaan suurempia näytteitä.



Lumi- ja jäärakentamisen ohjekirja on pohjoisiin oloihin laadittu työkalu kaikille kylmä- ja talviteknologian alalla toimiville tahoille. Kirjassa käsitellään lunta, jäätä ja sohjoa rakennusmateriaalina. Teos sisältää ohjeita ja suosituksia lumi- ja jäärakentamisen suunnitteluun laskelmien ja graafien kera. Työ kattaa myös käytännössä testatut ja hyvin havainnollistetut käytännön rakentamisen ohjeet alan rakentajille.

Lumi ja jäärakentamisen ohjekirja on tarkoitettu alan viranomaisille, suunnittelijoille ja ennen kaikkea rakentajille. Teos soveltuu myös oppimateriaaliksi alan koulutukseen.

ISSN: 1239-7741

ISBN: 978-952-5923-13-1 (nid.)

ISBN: 978-952-5923-14-8 (PDF)