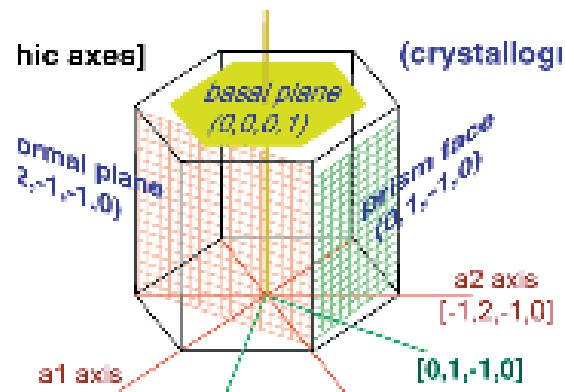


Lumen teknisiä ominaisuuksia

Lumi syntyy ilmakehässä kun vesihöyrystä tiivistyneessä lämpötila laskee alle 0 °C:n ja pilven sisällä on alijäähtynyttä vettä. Kun lämpötila on noin -5 °C, vesihöyrystä, jäähiukkasista ja vesipisaroista alkaa syntyä pieniä jääkiteitä. Nämä jääkiteet ovat muodoltaan kuusikulmaisia ja ne alkavat hitaasti painua alaspäin maan vetovoimasta. Jääkiteet vähitellen kasvavat yhtymällä toisiinsa ja kiteet ”vetävät” puoleensa lisää vettä. Lumi ja lumikiteet ovat itse asiassa jäätä. Lumikide on yksittäinen jääkide. Tunnetumpi ilmaisu lumihiuksia muodostuu joko yksittäisten lumikiteiden tai muutamien toisiinsa juuttuneiden lumikiteiden kasvaessa ”puhallus-pallon” muotoon puristetuksi lumikiteeksi. Tämä muodostunut lumihiuksia useimmassa tapauksessa painuu alas lämpimämpään ilmatilaan eli muodostaa lumisateen.

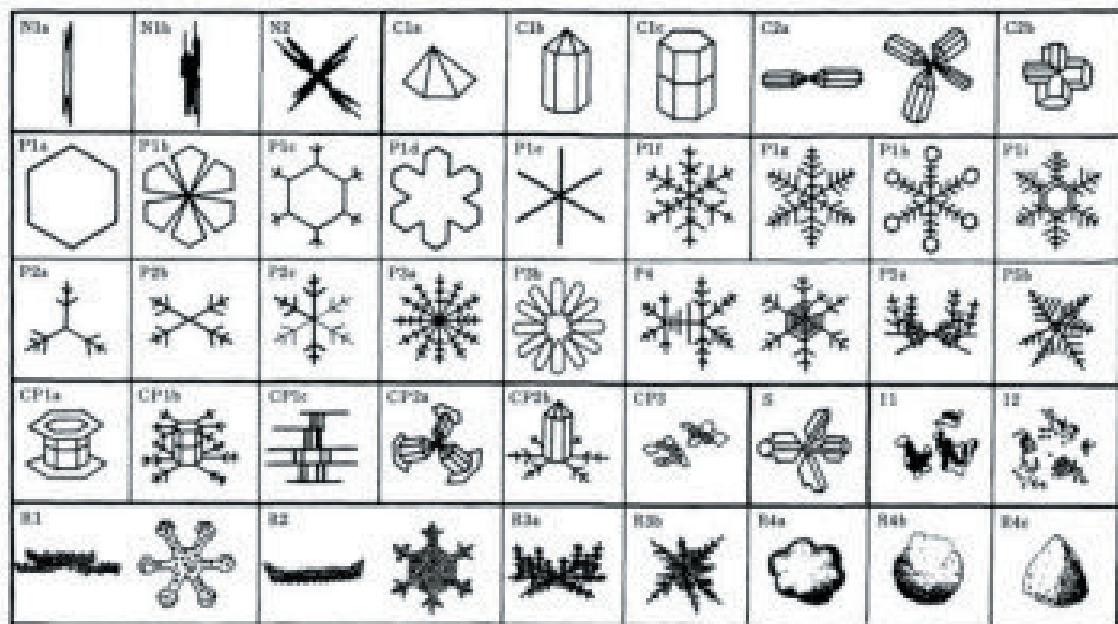
Lumihiuksien muoto on tavallisimmin kuusikulmainen prisma, jossa on kaksi kuusikulmaista pohjaa ja niitä yhdistävät seinämät. Molekyylien välisiin sidosten lujuuksiin vaikuttaa monia seikkoja, kuten lämpötila missä molekyyli on.



Kuva lumikiteestä.

Lähde: <http://www.its.caltech.edu/~atomic/snowcrystals/primer/primer.htm>

Lumihiuksien koko ja muoto vaihtelevat suuresti. Sanotaankin ettei ole olemassa kahta samanlaista lumihiuksia. Muoto ja koko riippuvat suuresti edellä esitetyistä seikoista.



Kuva. Erilaisia lumikiteitä ja -hiuksia.

Lähde: <http://www.its.caltech.edu/~atomic/snowcrystals/class/class.htm>

Metamorfoosi eli muodonmuutos ilmiö. Lumen sataessa, se painaa aluksi n. 50 – 80 kg/kuutiometri. Heti kun lumi kasaantuu se alkaa muuttaa muotoaan.

Alussa lumikiteeseen kohdistuu ns. *tuhoavaa metamorfoosia*, jossa lumen kiderakenne hajoaa lumen sidosten rikkoontuessa. Lumipartikkelit pienenevät, niiden sidospinta-ala kasvaa ja lumipartikkelit järjestäytyvät uudelleen. Lumikerroksessa olevat lumikiteet alkavat tiivistyä luonnollisesti omasta painosta ja tuulen vaikutuksesta.

Tämän 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 tiheys.

Ulkoilman lämpötilan ollessa 0 °C tai sen yli lumen sulamisesta syntyy lumikerroksen pintaan vettä. Veden jäätyessä ulkoilman lämpötilan laskiessa, pintakerroksen tiheys ja kantavuus kasvavat. Tätä ilmiötä kutsutaan *sulattavaksi metamorfoosiksi*.

Lumen tiheys eli tilavuuspaino riippuu kolmesta tekijästä: lumipartikkelit (koko, muoto, järjestäytyminen), lujuuden muuttuminen eli lujuuskehittyminen ajasta riippuvana sekä ympäristön lämpötila.

Rakenteessa olevan lumen lujuus muuttuu koko rakenteen käyttöajan. Lumessa tapahtuu koko ajan muutoksia ulkoilman lämpötilan ja ajan suhteen. Lumessa ja varsinkin lumikerroksessa tapahtuu aikakovettumista.

Lumen tiheys tulisikin ilmoittaa pysymättömyyden vuoksi muodossa:

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

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

Katso kuvat ajan vaikutuksesta lumikerroksen lujuuteen. (linkki seuraaviin kuviin)

Lähde: Korhonen Esa. Lumi- ja jäärakentaminen. Diplomityö. Oulun yliopisto. 1995.

Puristuslujuus on lumen tärkein materiaaliominaisuus, sillä lumirakenteet suunnitellaan lähinnä puristusta kestäviksi rakenteiksi. Lumen ominaispuristuslujuutta f_{ck} tiheyden funktiona voidaan arvioida oheisesta kuvasta.

Kuvasta nähdään että lumen puristuslujuus on lähes 0 MPa alle 300 kg/m³ lumella. Tiheyden noustessa yli 300 kg/m³ alkaa lumen puristuslujuus kasvaa nopeasti.

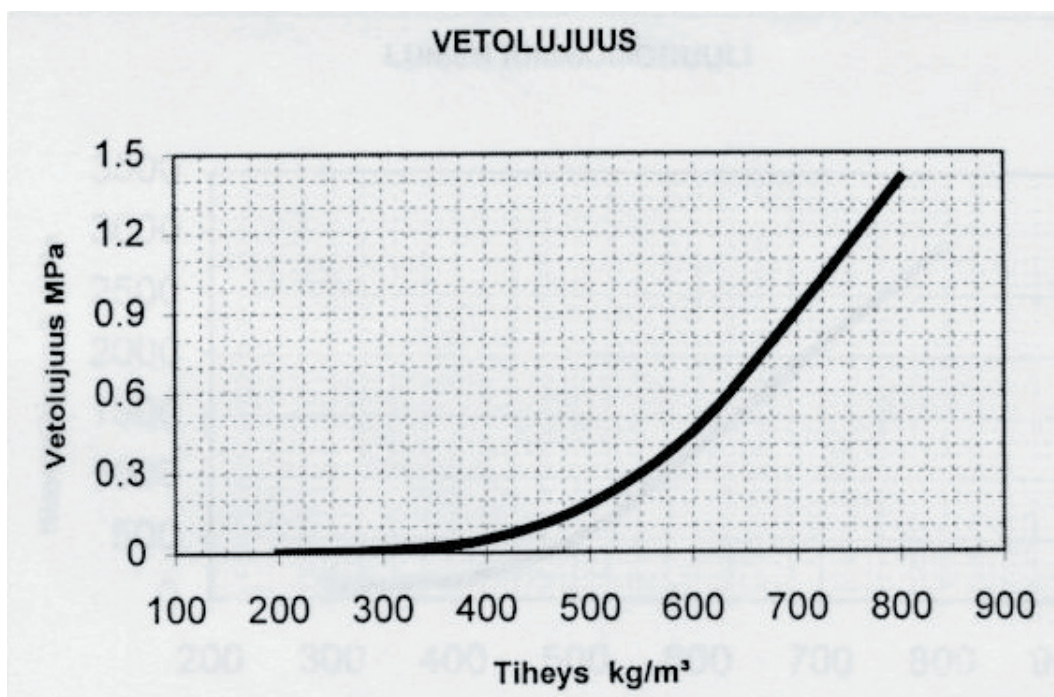
Lumirakenteiden suunnittelu- ja rakentamisoheissa, RIL218-2001, on lumen vähimmäispuristuslujuudeksi suositeltu 400 kg/m³ kantavissa rakenteissa. Lumirakenteet suunnitellaan rakenteissa yleisesti esiintyneiden tiheyksien 400 - 600 kg/m³ välillä. Jos lumen puristuslujuus nousee yli 800 kg/m³, aletaan puhua lumijäästä ja jäästä, joka alkaa käyttäytyä jään tavoin.

Lumen ominaispuristuslujuus f_{ck} tiheyden funktiona

Lähde: Lumirakenteiden suunnittelu- ja rakentamisoheet RIL218-2001.

Vetolujuus lumella on noin puolet puristuslujuudesta. Vetolujuus alkaa kasvaa yli 400 kg/m³ tiheyksillä. Lumirakenteita ei suunnitella vetoa kestäviksi rakenteiksi.

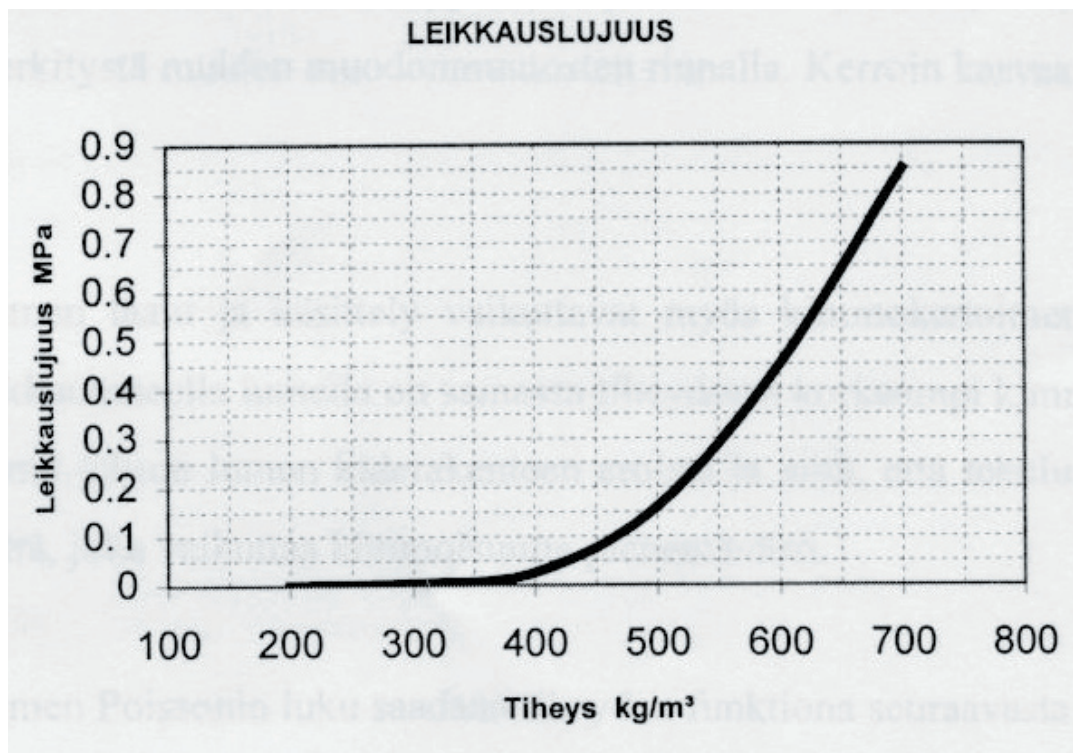
Vetolujuuden kehittymiseen ja pysyvyyteen on vaikutusta ulkolämpötilalla. Lumen ollessa kosteaa ja lämpötilan lähellä 0 °C, lumi menettää lujuutensa ja rakenne voi menettää tasapainon. Tämän vuoksi lumirakenteet pyritään suunnittelemaan sellaisiksi, ettei niihin synny vetojännityksiä. Lumen ominaisvetolujuutta f_{tk} tiheyden funktiona voi arvioida oheisella kuvalla.



Lumen ominaisvetolujuus f_{tk} tiheyden funktiona.

Lähde: Lumirakenteiden suunnittelu- ja rakentamisoheet RIL218-2001.

Leikkauslujuus. Leikkausjännityksiä esiintyy lumirakenteissa harvoin yksinään, sillä niihin liittyy yleensä yhtäaikainen normaalijännitys. Lumen ominaisleikkauslujuutta f_{vk} tiheyden funktiona voi arvioida oheisesta kuvasta.

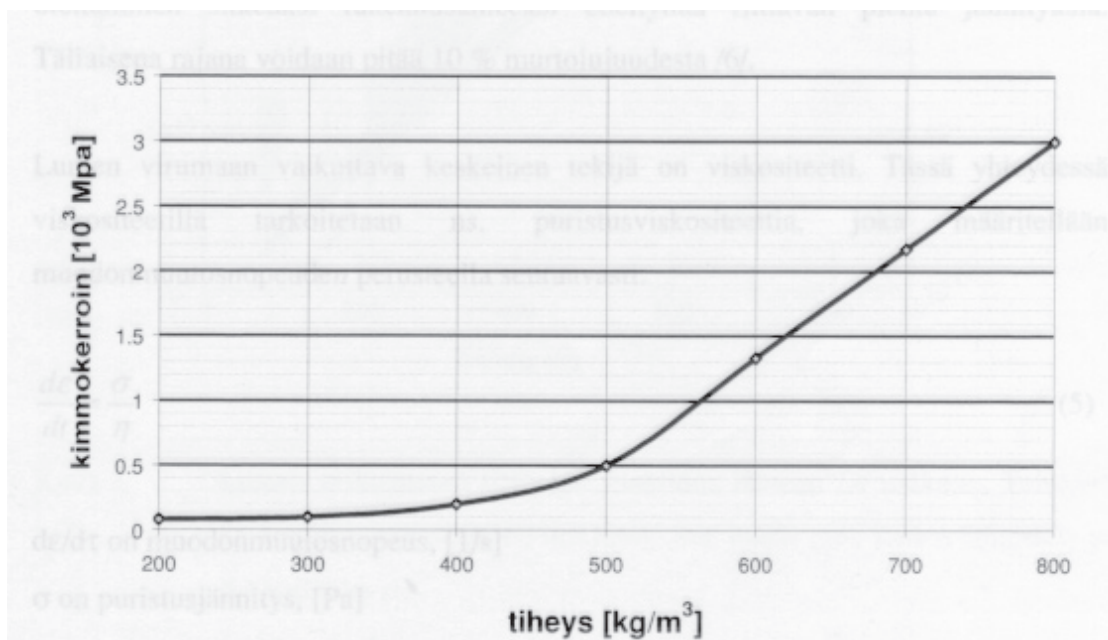


Lumen ominaisleikkauslujuus f_{vk} tiheyden funktiona.

Lähde: Lumirakenteiden suunnittelu- ja rakentamisohteet RIL218-2001.

Kimmoduuli. Lumi otaksutaan lineaarisesti kimmoisaksi materiaaliksi hetkellisessä kuormituksessa. Lumen kimmokerroin on riippuvainen ulkoilman lämpötilasta. Muutos on kuitenkin niin pieni, ettei sillä ole merkitystä muiden muodonmuutosten rinnalla. Kerroin kasvaa 2 % lämpötilan laskiessa 10 °C.

Lumen ominaiskimmomoduulia E_k tiheyden funktiona voidaan arvioida oheisella kuvalla



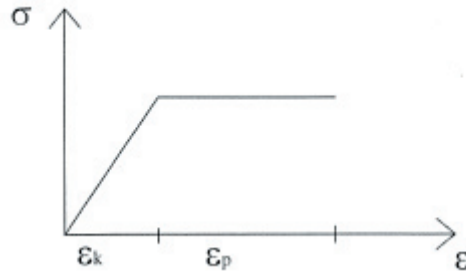
Lumen ominaiskimmomoduuli E_k tiheyden funktiona.

Lähde: Lumirakenteiden suunnittelu- ja rakentamisohteet RIL218-2001.

Lumen laadulla ja sen käsittelyllä voidaan vaikuttaa kimmokertoimen suuruuteen. Luonnonlumella on samassa tiheydessä korkeampi kimmomoduuli kuin tekolumella. Tämä johtuu luonnon ja tekolumen kiderakenteen

eroista ja siitä, että tekolumi sisältää runsaasti vapaata vettä, joka vaikuttaa kimmoisuutta pienentävästi.

Viruma on lumella erittäin suuri ja nopea ilmiö. Lumi on hetkellisessä kuormituksessa kimmoplastinen materiaali, jolloin alussa tapahtuu kimmainen palautuva ϵ_k muodonmuutos ja kuormituksen jatkuessa seurauksena on pysyvä plastinen ja ϵ_p palautumaton muodonmuutos.



Lumen kimmoplastinen materiaalimalli hetkellisessä kuormituksessa.

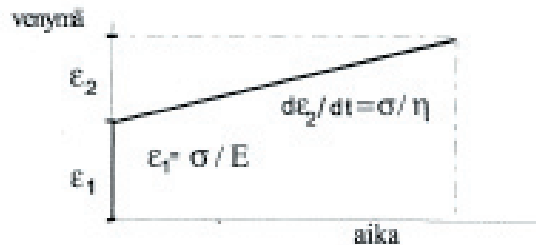
Lähde: Lumirakenteiden suunnittelu- ja rakentamisohjeet RIL218-2001.

Suunniteltaessa lumirakenteita otetaan viruman aiheuttamat muodonmuutokset erääksi lähtökohdaksi.

Lumen muodonmuutokset lyhyt- ja pitkäaikaisessa kuormituksessa saadaan jakamalla muodonmuutos kahteen osaan:

- palautuva kimmainen muodonmuutos
- palautumaton plastinen muodonmuutos

Näin tehden saadaan laskettua kokonaismuodonmuutos yhden kimmokertoimen ja viskositeetin avulla



ϵ_1 kimmainen muodonmuutos
 ϵ_2 plastinen muodonmuutos

Kuva. Lumen virumamalli ajan suhteen.

Lähde: Lumirakenteiden suunnittelu- ja rakentamisohjeet RIL218-2001.

Viskositeetti voidaan tässä tapauksessa olettaa ns. puristusviskositeetiksi, joka voidaan laskea muodonmuutosnopeuden avulla:

$$\frac{d\epsilon}{dt} = \frac{\sigma}{\eta}$$

$d\epsilon/dt$ on muodonmuutosnopeus [1/s]

σ on puristusjännitys [Pa]

η on viskositeetti [Pa·s]

Kimmainen muodonmuutos saadaan kimmokertoimen avulla:

$$\sigma = \varepsilon \cdot E$$

- lumirakenteessa kimmainen muodonmuutos on hyvin pieni verrattuna virumaan
 - o jätetään huomioimatta normaalisti
- virumasta aiheutuva muodonmuutos saadaan asettamalla kimmoisen muodonmuutoksen kaavaan kimmokertoimen paikalle viskositeetti ajan suhteen:

$$E = \eta / t$$

Nyt saadaan tietyllä aikavälillä tapahtuva muodonmuutos laskettua kimmoisena muodonmuutoksena.

Tiivistetyn lumen ominaisviskositeetti saadaan tiheyden funktiona:

$$\eta_k = 5 \cdot 10^{11} \cdot e^{(-1,4 \cdot (930 - \rho) / 930)}$$

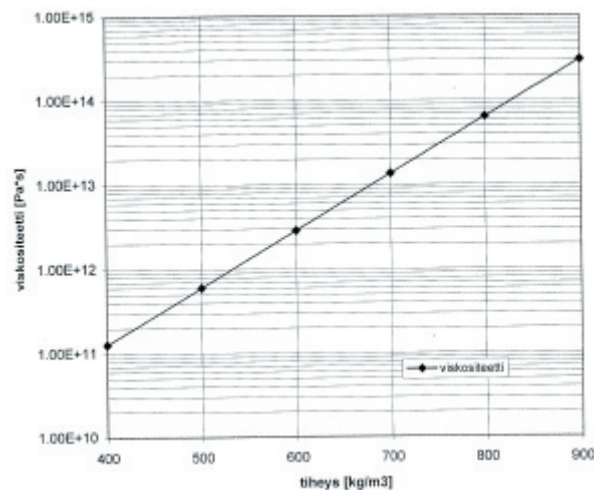
ρ on lumen tiheys [kg/m³]

η_k on lumen ominaisviskositeetti [Pa.s]

Em. yhtälö on voimassa kun:

- lumi on tiheydeltään 400 – 800 kg/m³
- tiivistettyä luonnonlunta ja tekolunta
- lumen lämpötila -5 C
- kun on kylmempää viskositeetti on suurempi
- kun on lämpimämpää viskositeetti pienempi

Lumen viskositeettia voidaan arvioida oheisen kuvan perusteella.



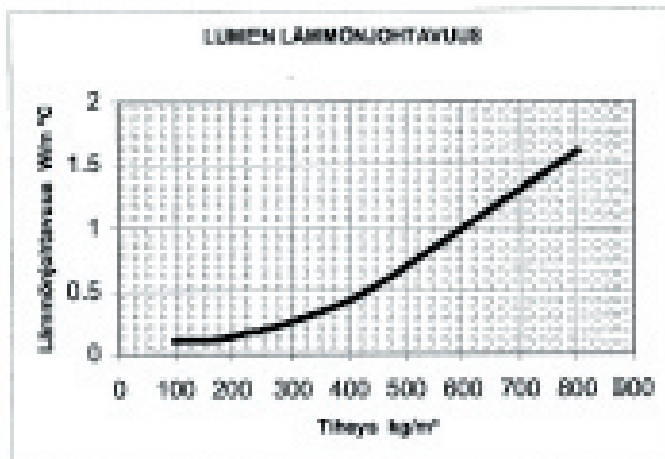
Kuva. Lumen ominaisviskositeetti η_k prosessoidulle lumelle tiheyden funktiona.

Lähde: Lumirakenteiden suunnittelu- ja rakentamisohteet RIL218-2001.

Lumen emissiokerroin kuvastaa lumen kykyä lähettää eli emittoida ja vastaanottaa pitkäaaltoista lämpösäteilyä. Lumelle voidaan käyttää emissiokerroina ε arvoa 0,8.

Lumen auringonsäteilyn *absorptiokerroin* vaihtelee lumen iän funktiona. Sen arvo vaihtelee lumen iästä riippuen 0,15 – 0,6 välillä. Lumen absorptiokertoimeen vaikuttaa lumen likaisuusaste.

Lumen lämmönjohtavuus λ riippuu lumen tiheydestä. Lumen lämmönjohtavuutta voidaan arvioida oheisella kuvalla.



Kuva. Lumen lämmönjohtavuus λ tiheyden funktiona.

Lähde: Lumirakenteiden suunnittelu- ja rakentamisohteet RIL218-2001.

Lumen ominaislämpökapasiteetti eli lämpöenergian varastoimiskyky on C_l 2,1 kJ/kg/C.

Lumen sulamis- ja jäätyislämpö S on 335 kJ/kg.

Veden haihtumis- ja tiivistyslämpö H_v on 2500 kJ/kg.

Lumen haihtumis- ja tiivistyslämpö eli sublimoitumislämpö H_l on 2835 kJ/kg. Lumi voi haihtua suoraan kiinteästä muodosta vesihöyryksi ja päinvastoin vesihöyry voi suoraan tiivistyä lumeksi ja jääksi.