

ROUDAN PAKSUUS LUMETTOMILLA ALUEILLA ILMASTON LÄMMETESSÄ

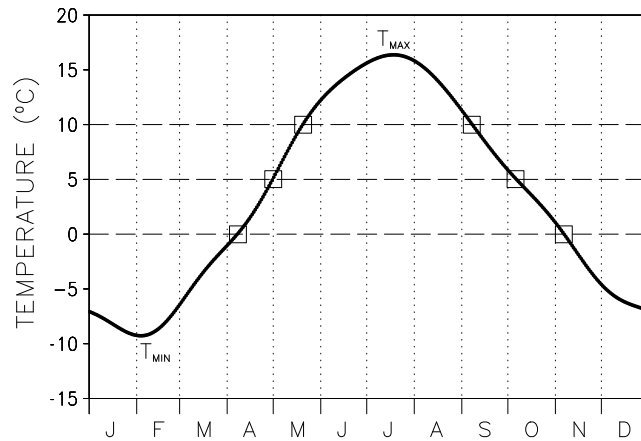
ACCLIM-hankkeen 2. osahankkeessa (T2) on arvioitu maaperän routakerroksen paksuuden muuttumista maailmanlaajuisten ilmastomallien lämpötilatietojen perusteella. Laskelmat on tehty v. 2008 marraskuun ja v. 2009 tammikuun välisenä aikana. Vastuuhenkilö: Kimmo Ruosteenoja, Ilmatieteen laitos.

TALVEN PAKKASSUMMAN LASKEMINEN JA ROUDAN PAKSUUDEN ARVIOIMINEN

Kuten ACCLIM I -hankkeen loppuraportissa (Jylhä ym., 2009) todetaan, ilmastomalleista suoraan saatavat tiedot maaperän roudan muutoksista ovat varsin puutteellisia ja heikkolaatuisia. Niitä ei sellaisenaan voida käyttää maaperän olosuhteita kuvaavien skenaarioitten pohjana. Routakerroksen talvikauden aikaista suurinta paksuutta lumettomilla alueilla voidaan kuitenkin arvioida tyydyttävästi talven pakkassumman perusteella. Laskelma toteutettiin kolmessa vaiheessa:

1. Laskettiin ensin kunkin kuukauden klimatologinen keskilämpötila eri puolilla Suomea. Perusjakson (1971-2000) aikaiset kuukausikeskilämpötilat on jo aiemmin laskettu havaintotietojen perusteella (Venäläinen ym., 2005). Tulevat keskilämpötilat saatiin lisäämällä näihin havaittuihin lämpötiloihin 19 maailmanlaajuisen ilmastomallin tulosten perusteella laskettu lämpötilan muutos (ns. delta-menetelmä). Lämpötilanmuutosta laskettaessa otettiin huomioon sekä kasvihuonekaasujen pitoisuuksien tulevasta kehitymisestä että ilmastomallien tulosten erilaisuudesta johtuva epävarmuus — tätä varten toisaalta oletettiin tarkastellut kolme kasvihuonekaasuskenaariota (B1 - pienet päästöt, A2 - suuret päästöt, A1B - näitten välimuoto) yhtä todennäköisiksi ja toisaalta annettiin kaikkien 19 ilmastomallin tuloksille yhtä suuri paino. Tällä tavoin saatiin muodostettua kuukausikeskilämpötilan normaaliarvojen todennäköisyysjakaumat kolmelle 30-vuotisjaksolle (2010-2039, 2040-2069 ja 2070-2099). Menetelmästä, kasvihuonekaasuskenaarioista ja käytetyistä ilmastomuutosmalleista on kerrottu tarkemmin Jylhän ym. (2009) raportissa.
2. Keskilämpötiloista laskettiin päivittäiset klimatologiset lämpötilat Fourier-sarjakehittelmän avulla (Ruosteenoja ym., 2009). Näistä lämpötiloista voidaan edelleen määrittää talvikauden pakkassumma (kuva 1).
3. Pakkassummista saadaan arvioitua roudan paksuus tunnetun Stefanin (1890) kaavan avulla:

$$D = c\sqrt{FS}$$

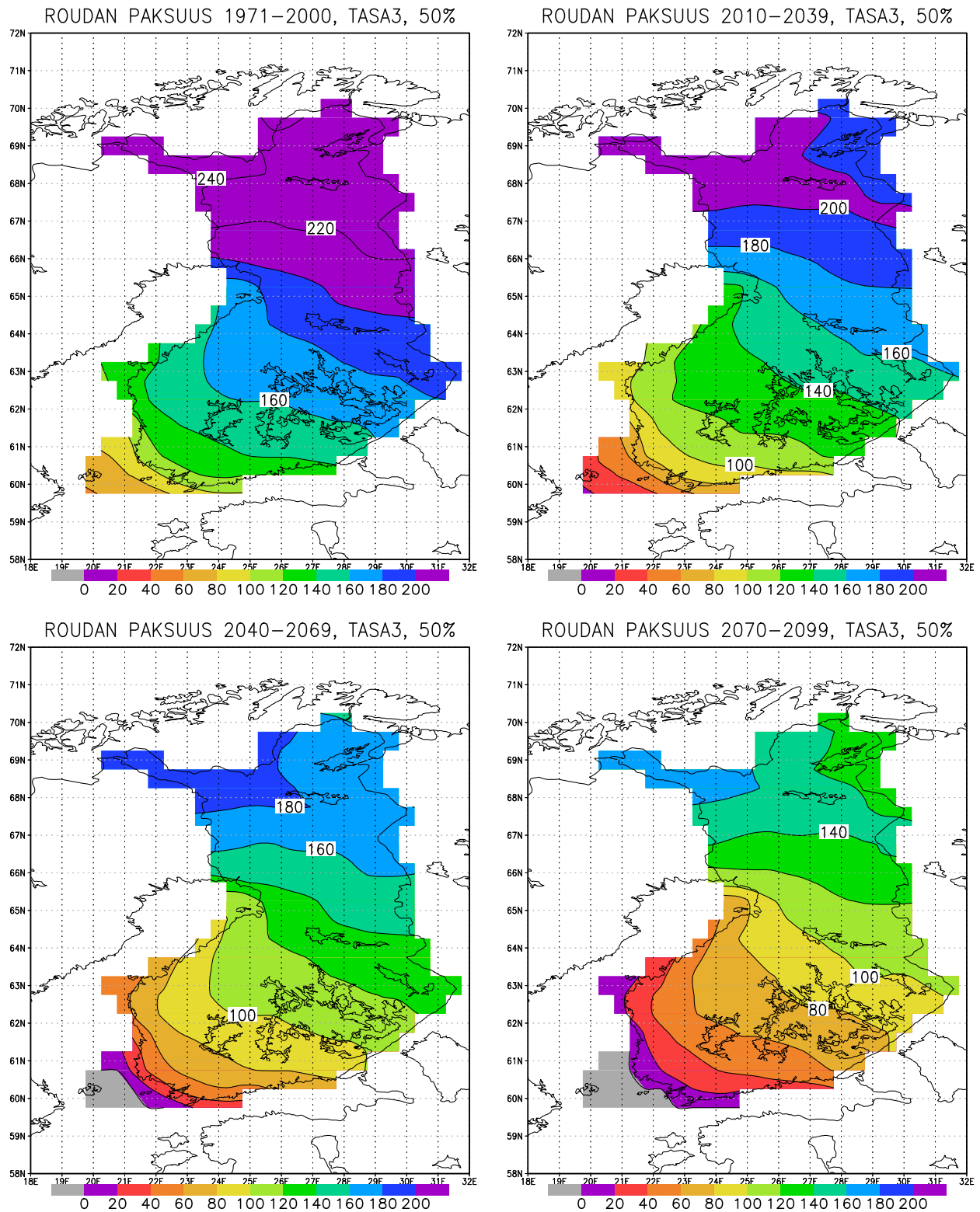


Kuva 1. Vuorokauden keskilämpötilan vuotuinen kulku hilapisteessä 62.25°N, 25.75°E (Jyväskylän lähellä) jakson 1971-2000 aikana laskettuna kuukausikeskilämpötiloista Fourier-kehitemän avulla. J=tammikuu, F= helmikuu, jne. Talven pakkassummaa kuvaa se pinta-ala, joka jää lämpötilakäyrän ja 0°C:een tason väliin sinä aikana vuodesta, jolloin keskilämpötila on pakkasen puolella (tässä hilapisteessä marraskuun alusta huhtikuun alkuun).

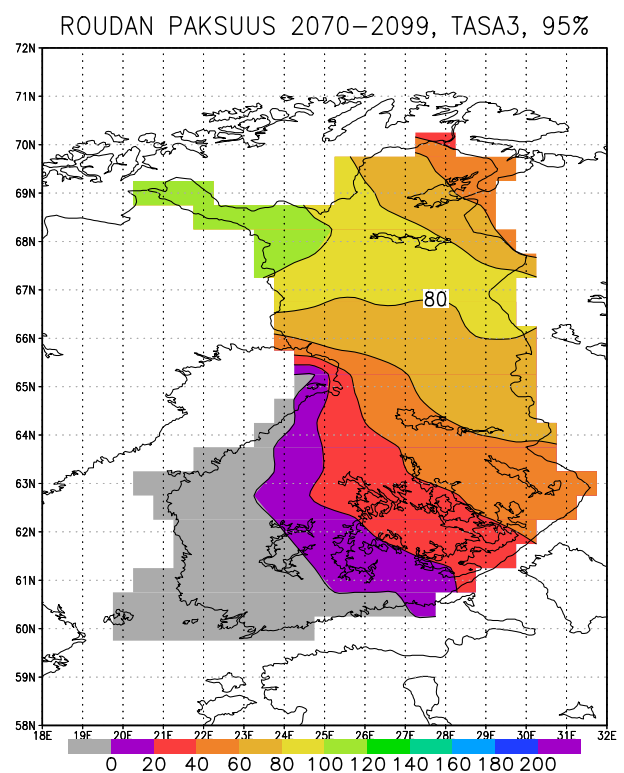
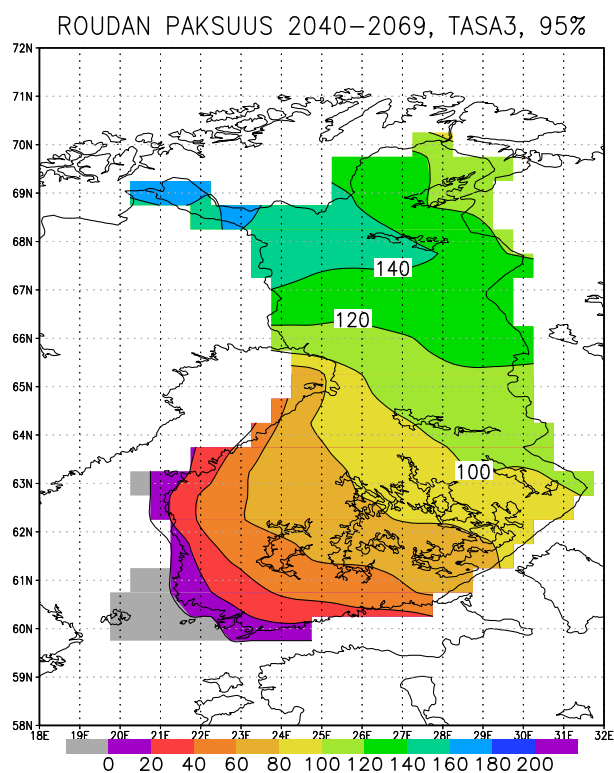
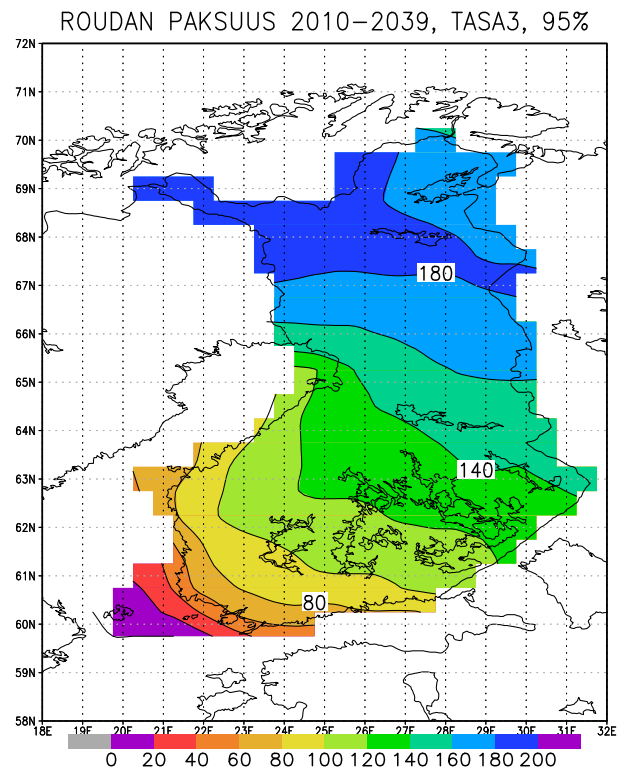
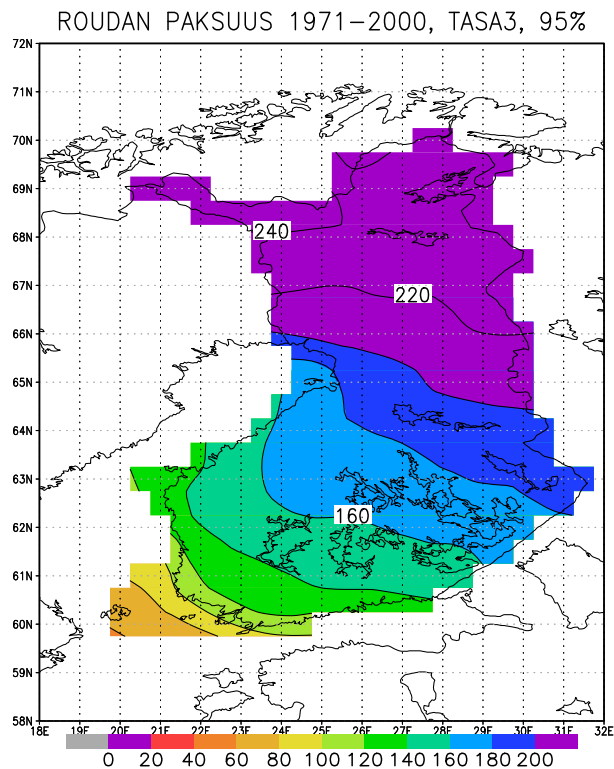
Kertoimelle käytetään arvoa $c = 5.49 \text{ cm } (^\circ\text{C vrk})^{-1}$, mikä kuvaa hiekkamaan termodynaamisia ominaisuuksia (Hentilä ym., 1994). Esimerkiksi savimaalla kerroin ja siten myös kaavan antama roudan paksuus on n. 10-15% pienempi. Pakkassumman FS yksikkö on $^\circ\text{C vrk}$.

Kuvattua menetelmää käyttäen voidaan arvioida talvikauden **suurinta roudan paksuutta**, joka mitataan alkukeväästä ennen sulamiskauden alkua. Kaavan avulla on mahdollista arvioida myös roudan paksuutta eri aikoina syksyllä ja talvella, niin kauan kuin routakerros vahvistuu. Sen sijaan roudan sulamisvaihetta nyt käytetty laskentatapa ei osaa kuvata.

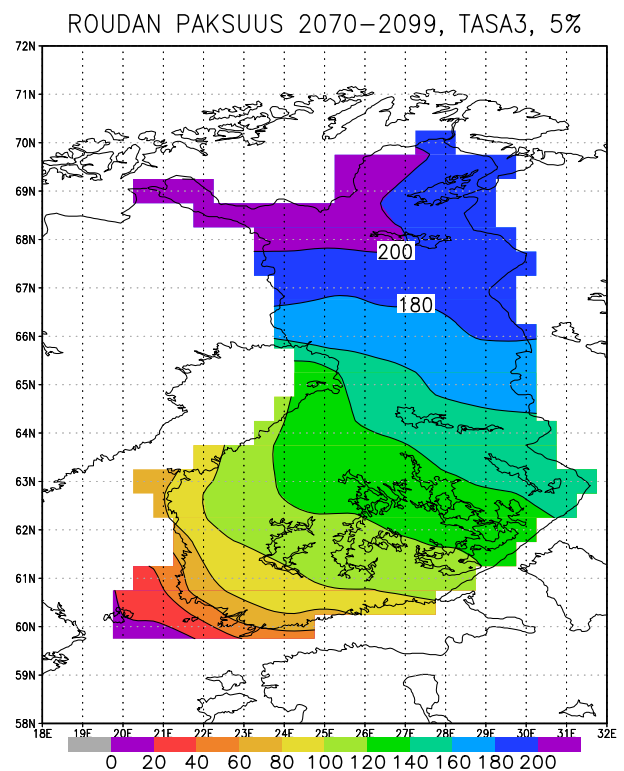
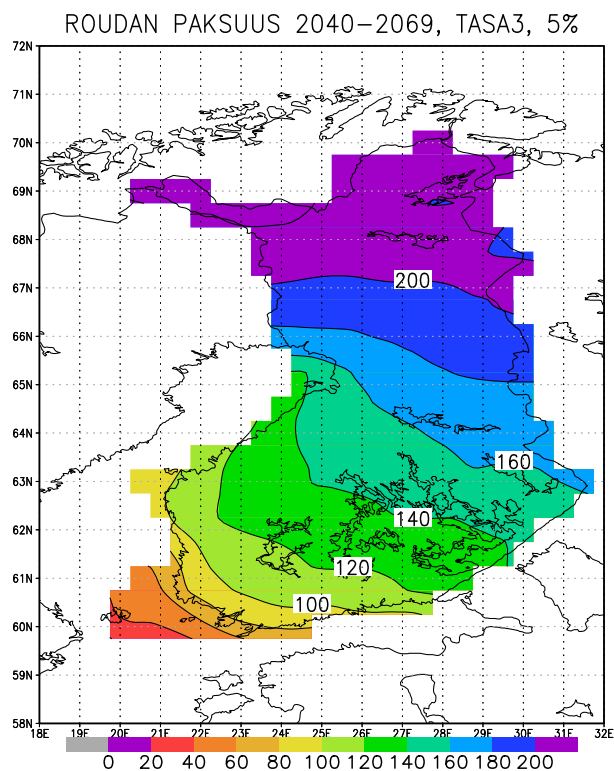
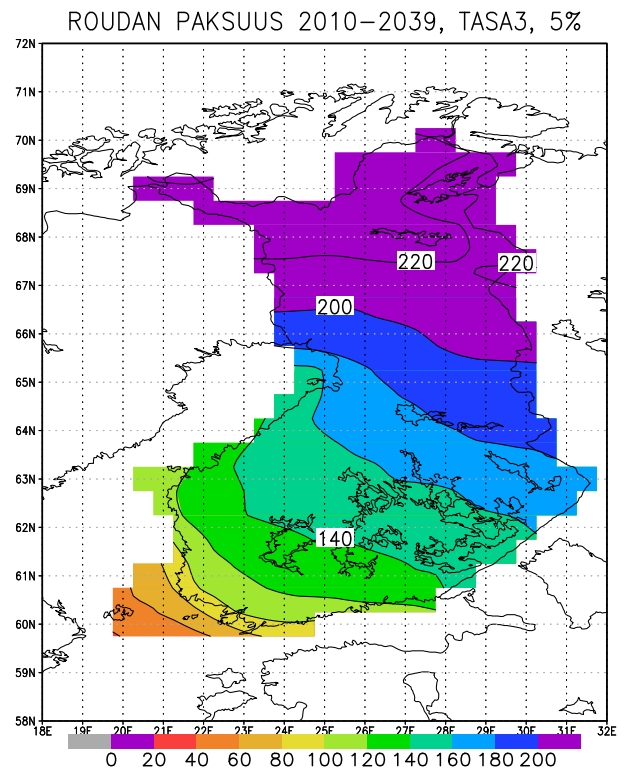
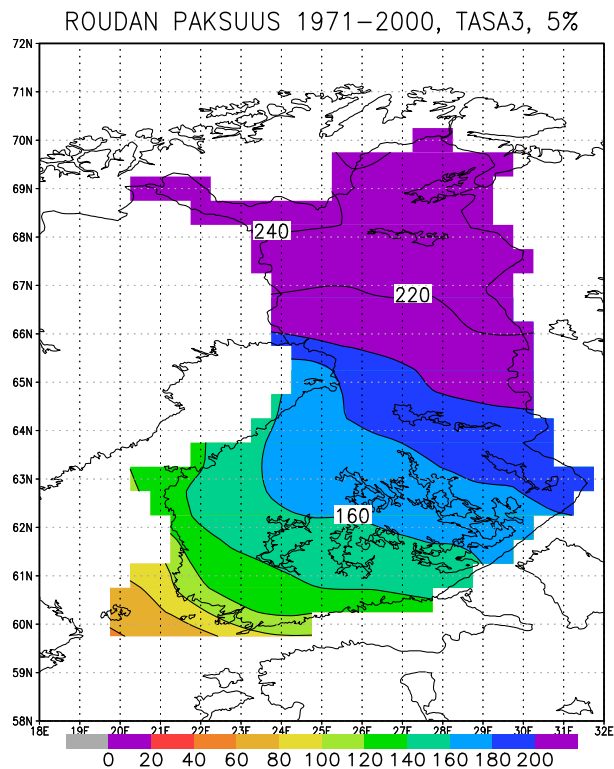
TULOKSIA: ROUDAN PAKSUUDEN MUUTTUMINEN



Kuva 2. Maaperän routakerroksen talvikauden aikainen keskimääräinen suurin paksuus lumettomilla alueilla neljän 30-vuotisjakson aikana (1971–2000, 2010–2039, 2040–2069 ja 2070–2099). Tässä laskelmassa on käytetty lämpötilan nousulle “parasta arviota” eli todennäköisyysjakauman mediaania. Yksikkö cm.



Kuva 3. Maaperän routakerroksen talvikauden aikainen keskimääräinen suurin paksuus (cm) lu-mettomilla alueilla neljän 30-vuotisjakson aikana. Tässä laskelmassa on oletettu lämpötilan nouse-van hyvin voimakkaasti, niin että tätä **suuremman** lämpötilan nousun todennäköisyys on mallitulos-ten perusteella 5% (todennäköisyysjakauman 95. prosenttipiste).



Kuva 4. Maaperän routakerroksen talvikauden aikainen keskimääräinen suurin paksuus (cm) lu-mettomilla alueilla neljän 30-vuotisjakson aikana. Tässä laskelmassa on oletettu lämpötilan nouse-van hyvin niukasti, niin että tätä **vähäisemmän** lämpötilan nousun todennäköisyys on 5% (todennä-köisyysjakauman 5. prosenttipiste).

JOHTOPÄÄTOKSIÄ

- VAROITUS: laskelmat pätevät **ainoastaan sellaisilla alueilla, joilta lumi aurataan tai lapioidaan pois**: tiet, pihamaat, lentokentät, ym. Laskutapa ei sovellu esimerkiksi metsä- ja viljelymaille, jotka ovat ainakin suuren osan pakkasvuodenajasta lumen peitossa. Lumi eristää tehokkaasti lämpöä, ja näin routakerros jää paljon ohuemmaksi. Roudan paksuuden arvioiminen kokonaan tai osittain lumipeitteisillä alueilla edellyttäisi paljon monimutkaisempia laskentamenetelmiä kuin mitä tässä on käytetty.
- Ilmaston lämmitessä routa hupenee. Mikäli lämpötila nousee mallien keskimäärin ennustamalla nopeudella, lounaiset saaristoalueet olisivat tämän vuosisadan loppuvuosikymmeninä tavanomaisena talvena valtaosin roudattomia (kuva 2, oikean alareunan kartta). Toki maan pintakerros voi pakkasjakson sattuessa jäätyä vähäksi aikaa, mutta pian suojasäät taas sulattavat roudan. Keski-Suomessa routaa olisi tuolloin 60 – 80 cm, saman verran kuin nykyisin Ahvenanmaalla. Lapissa routakerros olisi puolitoistametrinen, mikä vastaa nykyilmastossa Etelä-Suomen sisämaata.
- Jos lämpötila nousu osuu lähelle epävarmuushaarukan yläreunaa, maa pysyisi vuosisadan lopulla sulana kaikkialla Länsi-Suomessa ja etelärannikon läheisyydessä (kuva 3, oikean alareunan kartta). Lapissakin routaa olisi enintään metrin verran, siis kuten nykyään lounaisrannikolla.
- Vaikka lämpötilan nousu jäisi lähelle epävarmuusvälin alarajaa (kuva 4), routakerros ohenee silti. Tässä tapauksessa routaa kuitenkin esiintyisi vielä vuosisadan lopullakin kaikkialla maassa, Lapissa parin metrin verran.
- Tutkimuksessa käytetty lämpötilan nousun epävarmuushaarukka ottaa huomioon sekä kasvihuonekaasuskenaarioitten erilaisuuden että eri mallien tulosten erot.
- Tässä tutkimuksessa on laskettu ainoastaan roudan paksuuksia lämpöoloiltaan tyypillisenä talvena, nykyisen tai tulevan ilmaston vallitessa. Leutoina talvina routaa on luonnollisesti vähemmän, ankarina enemmän. Roudan määrän vuosienvälistä vaihtelua on arvioitu (tuonaikaisen suppeamman ja vanhemman malliaineiston perusteella tokiinsa) Venäläisen ym. (2000) tutkimuksessa.
- Laskentakaavassa esiintyvän kertoimen c arvo riippuu maalajista. Routakarttoja piirrettäessä kertoimelle on käytetty tyypillistä hiekkamaata kuvaavaa vakioarvoa. Jos halutaan saada arvio roudan paksuudesta jonkin muun tyyppisessä maaperässä, se onnistuu helposti skaalaamalla esitetyt tulokset näitä maalajeja vastaavien kertoimien suhdeluvulla. Kertoimien arvoja erityyppisillä maalajeilla on annettu Hentilän ym. (1994) raportin taulukossa 9 (huomaa, että yksikkö on eri kuin tässä tutkimuksessa käytetty).

KIRJALLISUUSVIITTEITÄ

- Hentilä, V., E. Slunga ja A. Palolahti, 1994: Roudan vaikutusten mallintaminen. Tielaitoksen selvityksiä **8/1994**.
- Jylhä, K., ym., 2009: Arvioita Suomen muuttuvasta ilmastosta sopeutumistutkimuksia varten — ACCLIM I -hankkeen tuloksia. Valmisteilla oleva raportti.
- Ruosteenoja, K., J. Räisänen ja P. Pirinen, 2009: Projected changes of thermal seasons and the growing season in Finland. (Valmisteluvaiheessa oleva artikkelikäsikirjoitus)
- Stefan, J., 1890: Über die Theorie der Eisbildung, insonderes über die Eisbildung im Polarmeere. *Ann. Phys. U. Chem., Neue Folge*, **42:2**, 269-286.
- Venäläinen, A., H. Tuomenvirta, P. Pirinen and A. Drebs, 2005: A basic Finnish climate data set 1961-2000 - Description and illustrations. Reports **2005:5**. Finnish Meteorological Institute, Helsinki, Finland.
- Venäläinen, A., H. Tuomenvirta, R. Lahtinen ja M. Heikinheimo, 2000: Ilmaston lämpenemisen vaikutus routaan lumettomilla paikoilla Suomessa. Meteorologisia julkaisuja **43**, Ilmatieteen laitos.