

# Sään ja hydrologisten tekijöiden vaikutus kevätkeliriksoon



Tielaitoksen  
selvityksiä  
20/1995

Kuopio 1995

Savo-Karjalan  
tiepiiri

Tielaitoksen selvityksiä  
20/1995

Petri Launonen, Pekka Turunen

**Sään ja hydrologisten tekijöiden  
vaikutus kevätkelirikoon**

**Tielaitos**  
Savo-Karjalan tiepiiri

Kuopio 1995

ISSN 0788-3722  
ISBN 951-726-053-9  
TIEL 3200298  
Painatuskeskus Oy  
Helsinki 1995

Julkaisun kustannus ja myynti:  
Tielaitos, hallinnon palvelukeskus,  
painotuotepalvelut  
Telefax (90) 1487 2652

Joutsenmerkin arvoinen paperi

**Tielaitos**  
Opastinsilta 12 A  
PL 33  
00521 HELSINKI  
Puh. vaihde (90) 148 721

Asiasanat : Kevätkelirikko, kelirikkoennuste

## Tiivistelmä

Meteorologisten ja hydrologisten tekijöiden vaikutusta sorateiden kelirikon syntyyn ja vaikeusasteeseen ei ole tutkittu juuri ollenkaan, vaikka sorateiden ajokelpoisuuden on todettu olevan lähes täysin "säiden armoilla".

Entisessä Kuopion tiepiirissä, jonka maaperä on pääosaltaan pohjamooreenia ja jossain määrin siltti- ja savikerrostumia, on 20 vuoden ajalta koottu tietoa sään ja hydrologisten tekijöiden vaikutuksesta kelirikoon. Tässä tutkimuksessa on pyritty selvittämään näiden tekijöiden vaikutusta:

- mikä on kunkin tekijän vaikutus kelirikon kehittymiseen
- mihin suuntaan kukin tekijä vaikuttaa
- milloin vaikutus on suurimmillaan
- voidaanko kelirikon vaikeutta ennustaa tai
- millaisen arvion kelirikon kehittymisestä voidaan em. tekijöiden perusteella antaa.

Sää- ja hydrologisia tietoja on kutakin verrattu kahteen eri kelirikon tunnusluokkaan: kelirikkokilometreihin ja kelirikon kestoon. Osa ilmiöistä vaikuttaa selvästi kelirikon kestoon, osa kelirikkokilometreihin. Tutkimus toi selvästi ilmi, että kyseessä on erittäin monimutkainen ja vaikeasti hallittava luonnon ilmiöiden vyyhti.

Kuitenkin esiin nousi ns. dominoivia tekijöitä, joiden vaikutus oli selvä ja aina samansuuntainen huolimatta vastakkaiseen suuntaan vaikuttavista ilmiöistä.

Todettiin, että painorajoitusten määrään vaikuttavat mm. seuraavassa taulukossa luetellut yksittäiset tekijät:

Taulukko A

Vaikuttava tekijä	Vaikutusaika	Korrelaatiokerroin +, -	Huom.
Leuto alkutalvi	X...XII	0,476	hidas routaantuminen
Sateinen syksy	IX...XI	0,585	hidas routaantuminen
Sadepäivät (> 1 mm)	XII	0,544	(kpl)
Sadepäivät (> 0,1 mm)	I	0,522	(kpl)
Keskipilvisyys	I	0,437	(%)
Tuulisuus keväällä	IV...VI	0,560	(tuulisuus=nopeus m/s)
Tuulisuus kesäkuussa	VI	0,598	(tuulisuus=nopeus m/s)
Nopea routaantuminen	X...XII	-0,425	> 0,5 cm/vrk (vkk)
Suuri roudansyvyys	II...IV	-0,451...-0,347	
Pakkasmäärä/ pakkaspäivät	IX...IV	-0,355	F/koko talvi
Pakkasmäärä/ pakkaspäivät	IX...XI	-0,443	ennen routaantumista

Taulukko B Kelirikon keston vaikuttavat tekijät

Vaikuttava tekijä	Vaikutus- aika	Korrelaatio- kerroin +, -	Huom.
Leudot talvikuukaudet	I...III	0,534	
Leuto helmikuu	II	0,614	
Kylmä alkutalvi	X...XII	0,343	
$F_{X-XII} \cdot F_{I...III}$	X...XII/I...III	0,573	Pakkasmäärien suhde
Routaantumisnopeuksien suhde (cm/vrk)	X...XII/ I...III	0,690	
Sademäärä mm	X...IV	0,560	
Pohjaveden korkeus	III...IV	0,496...0,579	
Pakkaspäivät kpl	II...III	-0,567...-0,440	
Talven ankaruus	I...III	-0,509	F/I...III
Yöpakkaset	IV...VI	-0,320	
Tuulisuus	IV...VI	-0,503	
Roudan syvyys	15.IV	-0,397	
Routaantumisaika (vrk)	yleensä <31.12	-0,425	yhteen metriin
Selkeät päivät (vrk)	II ja V	-0,491 ja -0,460	

Lyhyesti sanoen mitä nopeampi routaantuminen ja mitä ankarampi talvi sitä helpompi kelirikko niin kilometreiltään kuin kestoltaan ja päinvastoin, mitä leudompi ja sateisempi talvi sitä vaikeampi kelirikko.

Tapahtuneiden sääilmiöiden perusteella voidaan siis antaa jonkun alueen kelirikkoennuste suhteellisella jaolla: vaikea, keskimääräinen tai helppo. Kokemuksen pohjalta tieto on suhteutettavissa kilometreiksi ja rahaksi.

Tutkimusaineiston puutteellisuus ja suhteellisen lyhyt tarkastelujakso 20 v. aiheuttavat tuloksiin epäjohtonmukaisuuksia. Paikalliset mikroilmastot, tuulen suunnat, sateitten määrät ovat myös suuressa määrin riippuvaisia alueen topografiasta.

Lisäselvityksillä pitäisi tutkia useamman muuttujan ennustemallin toimivuutta. Malleja rakennettaessa täytyy pitää mielessä, että roudan sulamisaikana etelä- ja länsituulet tuovat yleensä kosteaa meri-ilmaa ja itä- ja kaakkoistuulet kuivaa mannerilmaa, mikä vaikuttaa säähän ja kelirikkoon oleellisesti.

Tutkimuksessa ei tarkasteltu tuulen suunnan merkitystä sateiden tai selkeiden päivien lukumäärään roudan sulamiskaudella.

Savo-Karjalan tiepiirin alueella on tielaitoksen ylläpitämiä sorateitä v. 1993, 5339 km eli 49 % alueen yleisten teiden pituudesta. Tiestön kunnon kohene- misesta huolimatta kelirikkorajoituksia asetetaan vielä nykyään 7,8 % Kuopi- on läänin alueella ja 5,5 % Pohjois-Karjalan läänin alueella yleistysten teiden pituudesta. Sorateiden kesäkunnossapitoon käytetään 7500 mk vuodessa kilometrille eli yhteensä 40 Mmk Savo-Karjalan tiepiirissä.

## **Alkusanat**

Toiminnan suunnittelun ja rahoitusjärjestelyjen kannalta tienpitäjälle on suuri hyöty, jos kelirikon alkamisajankohta, laajuus ja kesto voitaisiin paremmin ennustaa sään ja hydrologisten tietojen pohjalta.

Kuopion tiepiirissä kelirikkokilometrien määrä on vaihdellut kevään 1980, 43 km:stä aina kevään 1975, 2048 km:iin, keskiarvon ollessa 609 km. Vastavasti kelirikon kesto on vaihdellut kevään 1980 36 vrk:sta, kevään 1990 95 vrk:een, keskiarvona 68 vrk.

Tämä julkaisu on lyhennelmä Petri Launosen diplomityöstä: Sorateiden kevätkelirikon syntyyn ja keston vaikuttavista tekijöistä.

Savo-Karjalan tiepiirin georyhmän esityksestä alkaneessa tutkimuksessa oli tarkoituksena selvittää 20 vuoden ajanjakson perusteella ilmastollisten ja hydrologisten tekijöiden vaikutusta sorateiden kevätkelirikkoon entisen Kuopion tiepiirin alueella.

Tutkimustyötä ja raportin laadintaa on ohjannut geoinsinööri Pekka Turunen Savo-Karjalan tiepiirissä. Julkaisu on tarkoitettu tiemestareiden käyttöön sekä vinkiksi tutkijoille siitä, että kyseessä on valkoinen alue tienpidon tutkimuskentässä.

Kuopiossa tammikuussa 1995

*Geopalvelut*

<b>SISÄLTÖ</b>	
<b>1 JOHDANTO</b>	<b>9</b>
<b>2 SORATEIDEN KEVÄTKELIRIKKO</b>	<b>10</b>
2.1 Kevätkelirikon syntymekanismi ja eri vauriotyypit	10
2.2 Kevätkelirikon laajuus	10
<b>3 LÄHTÖTIEDOT JA ARVIOINTIMENETELMÄT</b>	<b>13</b>
3.1 Lähtötietojen erittely	13
3.2 Arviointimenetelmä	14
3.2.1 Yleistä	14
3.2.2 Menetelmän esittely	15
<b>4 TULOKSET</b>	<b>16</b>
4.1 Yleistä	16
4.2 Tärkeimmät tulokset	16
4.2.1 Yleistä	16
4.2.2 Kelirikkokilometrien ennustettavuus	20
4.2.3 Kelirikon keston ennustettavuus	25
4.2.4 Kolmen esimerkkivuoden tarkempi käsittely	32
<b>5 YKSITTÄINEN TIEKOHDDE ESIMERKKINÄ</b>	<b>35</b>
<b>6 ENNUSTEMALLIN TOIMIVUUS</b>	<b>37</b>
<b>7 LOPUKSI</b>	<b>38</b>
<b>8 VIITTEET</b>	<b>39</b>

## 1 JOHDANTO

Sorateilla esiintyvän kevätkelirikon ajankohdan ja vaikeusasteen ennustaminen on tienpitäjälle erittäin vaikea tehtävä, johon ei tällä hetkellä ole käytävissä mitään arviointiperustetta tai mittausmenetelmää. Kelirikkoennusteiden tekeminen on tähän asti perustunut lähinnä aikaisemmilta vuosilta saatuihin kokemuksiin, joilla ei kuitenkaan ole ollut mitään tutkittua ja todistettua pohjaa.

Tämän tutkimuksen tarkoituksena on selvittää Kuopion tiepiirissä<sup>1</sup> 20 vuoden ajanjakson (kevät 74 - kevät 93) perusteella ilmastollisten ja hydrologisten tekijöiden vaikutusta sorateiden kevätkelirikoon, siis sen syntyyn, laajuuteen ja kestoon. Tästä aihepiiristä ei tiettävästi ole ainakaan Suomessa vielä julkaistu tutkimustuloksia.

Tutkimuskohteena on entisen Kuopion tiepiirin sorapintainen tiestö kokonaisuudessaan, sen kelirikkokilometrit ja kelirikon kesto, joihin vaikuttavat sää- ja hydrologiset tiedot on kerätty lähinnä Kuopion lentosääasemalta. Tarkoituksena ei siis ole ollut suorittaa tutkimusta yksittäisten tieosuuksien kohdalla, koska tällöin olisi tunnettava tarkat tiedot kyseisiltä osuuksilta, vaan keskittyä tiepiiriin kokonaisuutena, eli miten syksyn, talven ja kevään olosuhteet vaikuttavat kelirikoon tiepiirin laajuudessa. Luvussa 5 verrataan kuitenkin tietoja yksittäiseen tiekohteeseen, jotta nähdään tulosten soveltuvuus yksittäiseen tiehen.

<sup>1</sup>

1.1.1994 jälkeen Kuopion tiepiiri on osa nykyistä Savo-Karjalan tiepiiriä. Jäljempänä Kuopion tiepiirillä tarkoitetaan Kuopion läänin aluetta.



## 2 SORATEIDEN KEVÄTKELIRIKKO

### 2.1 Kevätkelirikon syntymekanismi ja eri vauriotyypit

Kevätkelirikolla tarkoitetaan lähinnä rakentamattomilla sorateilla esiintyvää, roudan sulamisesta johtuvaa a) tien pinnan pehmenemistä eli pintakelirikkoa ja b) tierungon ja pohjamaan kantavuuden heikkenemistä eli pohjakelirikkoa. Pintakelirikkoa esiintyy joka kevät. Sen jälkeen voi olla pitkäkin ajanjakso, ennen kuin mahdollisesti esiintyvä varsinainen kelirikko, pohjakelirikko puhkeaa. Kyseessä on ilmiö, jossa vedellä kyllästetyn pohjamaan huokospaine kasvaa ja tehokkaat jännitykset rakenteessa pienenevät.

Jotta kelirikkovaurioita voisi syntyä keväällä, on seuraavien edellytysten oltava voimassa:

- maa jäätyy
- jäätyvä maa on routivaa
- routarajalla on riittävästi vettä saatavissa
- roudan sulaessa maasta vapautuva vesi jää tierunkoon heikentäen rakennetta ja että
- tietä kuormitetaan sulamisen aikana.

Jos yksikin tekijä näistä puuttuu, routimista ja samalla pohjakelirikkoa ei tapahdu.

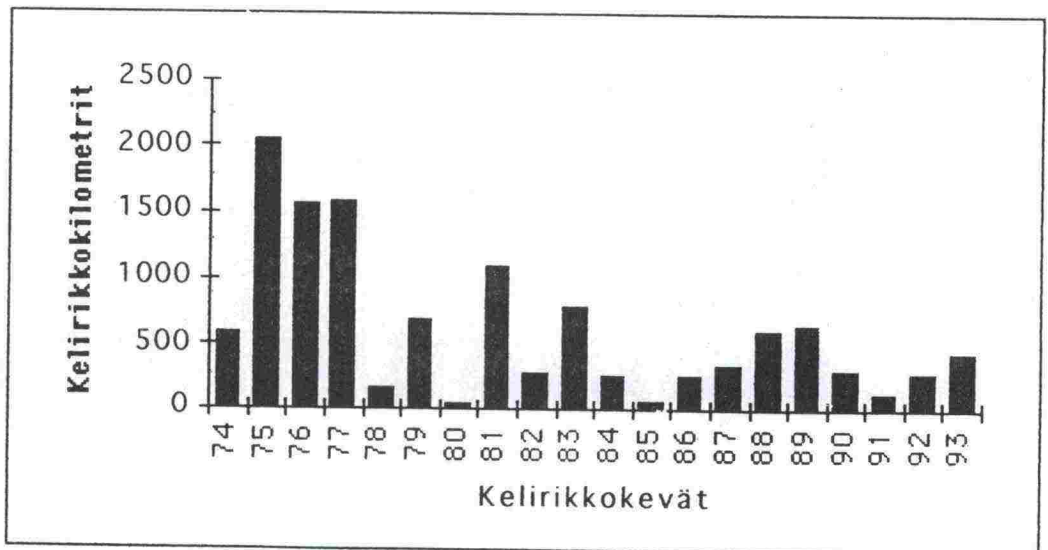
Ylipäättään kelirikon vaikeuteen vaikuttavat ilmastolliset ja hydrologiset olot. Seuraavassa luvussa 1.2 esitellään kelirikon vaikeutta entisen Kuopion tiepiirin alueella. Näitä tietoja on siis käytetty tämän tutkimuksen lähtötietoina säätiötojen ohella.

On arvioitu, että Kuopion läänin sorateista n. 70 % on ns. "rakentamattomia" teitä. Rakentamattomilta sorateilta puuttuvat nykyaikaiselle ajoneuvo liikenteelle välttämättömät kantavuutta lisäävät kerrokset. Kelirikkoajan kantavuus on sorateilla vain n. 40 - 60 % kesäkantavuudesta. Huonopohjaiset ja heikkokuntoisimmat tiet ovat usein keväisin eriasteisten liikenerajoitusten alaisina. On myös huomattava, että Savossa vallitsevina olevista moreenimaista suurin osa on routivia, mikä tekee vaikeankin kelirikon esiintymisen mahdolliseksi Kuopion läänin alueella./54,29/

### 2.2 Kevätkelirikon laajuus

Kuopion tiepiirissä kelirikkokilometrien määrä on vaihdellut kevään 1980 43 km:sta aina kevään 1975 2048 km:iin. Vastaavasti kelirikon kesto on vaihdellut kevään 1980 36 vrk:sta kevään 1990 95 vrk:een. Seuraavaan taulukkoon 1 on merkitty kelirikkokilometrit, kelirikkoaika, kelirikon kesto, kelirikko huippu (ajankohta, jolloin kelirikkokilometrit ovat olleet maksimissaan) sekä osuus koko tiepiirin tiestöstä prosentteina. Alimmaisena on esitetty tarkastelujakson 20 vuodelta lasketut keskiarvot.

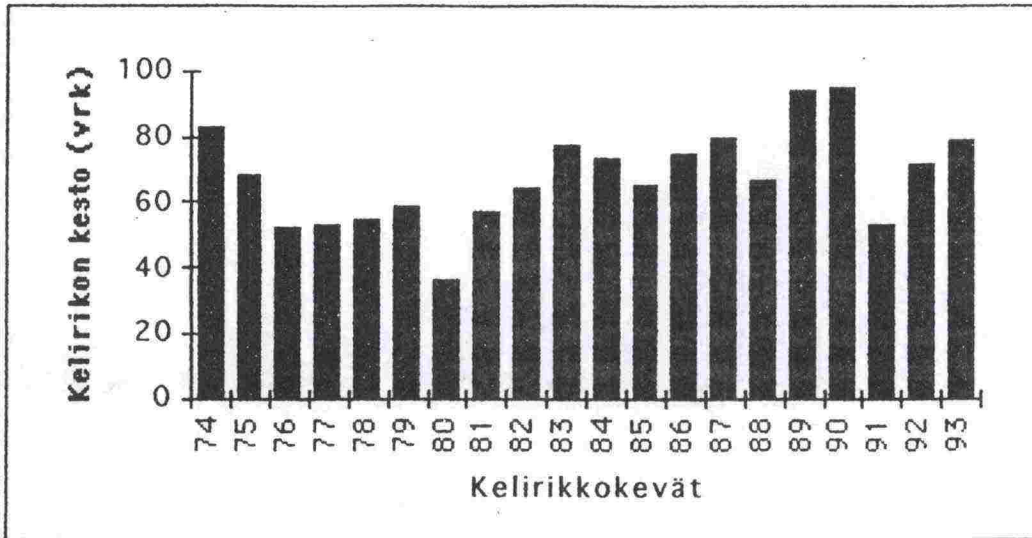
Kuvaan 1a on merkitty kelirikkokilometrien ja kuvaan 1b kelirikon keston vaihtelut vuosittain 20 viime vuoden ajalta, kevästä 1974 kevääseen 1993.



Kuva 1a: Kuopion tiepiirin kelirikkokilometrit eri kelirikkokeväinä kevästä 1974 kevääseen 1993

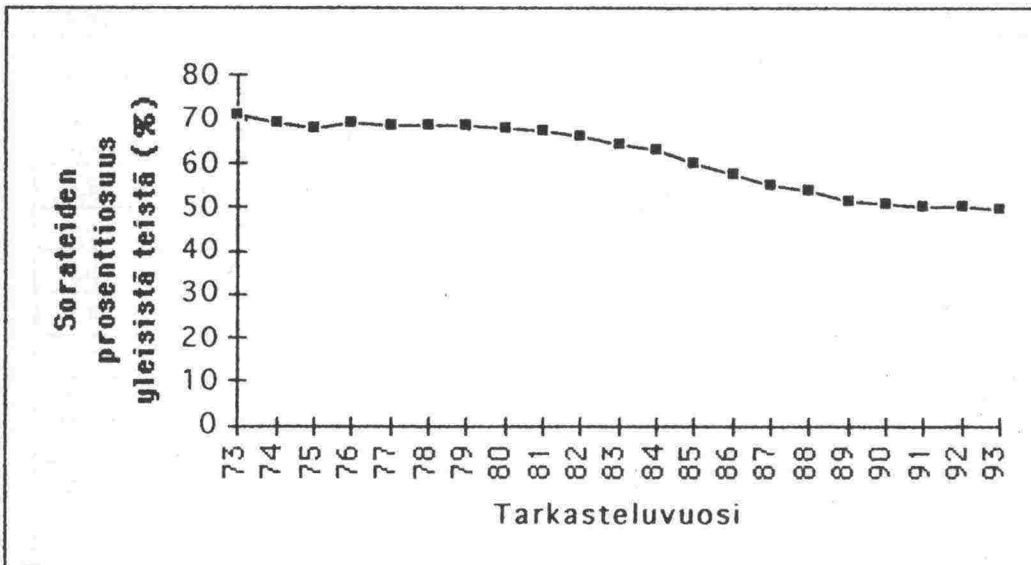
Taulukko 1: Kuopion tiepiirin kelirikko kevästä -74 kevääseen -93

Kevät	Kr-km	Kr-aika	Kr-kesto, vrk	Kr-huippu	Osuus teistä %
1974	582	9.4. - 30.6.	83	3.5 - 15.5	10,8
1975	2048	7.4. - 13.6.	68	5.5. - 28.5.	38,1
1976	1566	13.4. - 3.6.	52	22.4. - 3.6.	28,9
1977	1590	15.4. - 6.6.	53	3.5. - 25.5.	29,3
1978	157	14.4. - 7.6.	55	22.5. - 6.6.	2,9
1979	693	6.4. - 3.6.	59	16.5. - 3.6.	12,5
1980	43	16.4. - 21.5.	36	17.4. - 14.5.	0,8
1981	1093	22.5. - 17.7.	57	12.6. - 22.6.	19,4
1982	289	22.4. - 24.6.	64	13.5. - 1.6.	5,1
1983	779	7.4. - 22.6.	77	3.5. - 23.5.	13,7
1984	264	10.4. - 21.6.	73	24.4. - 20.5.	4,7
1985	62	17.4. - 20.6.	65	9.5. - 12.6.	1,1
1986	251	7.4. - 20.6.	75		4,4
1987	347	1.4. - 19.6.	80	7.5. - 20.5.	6,1
1988	606	19.4. - 24.6.	67	10.6. - 13.6.	10,6
1989	648	22.3. - 23.6.	94	6.5. - 31.5.	11,3
1990	301	20.3. - 22.6.	95	24.4. - 3.5.	5,2
1991	112	9.4. - 31.5.	53	27.4. - 27.5.	1,9
1992	290	23.3. - 2.6.	72	11.5. - 17.5.	5,0
1993	450	5.4. - 22.6.	79	13.5. - 17.5.	8,9
Keskiarvo	609	10.4. - 16.6.	68	8.5. - 27.5.	11,0



Kuva 1 b: Kuopion tiepiirin kelirikon kesto eri kelirikkokeväinä keväästä 1974 kevääseen 1993

Sorateiden osuus Kuopion tiepiirin yleisistä teistä, n. 5800 km:stä, on laskenut koko ajan, mutta yltää vieläkin lähes 50 %:iin (kuva 2). Yleisten teiden liikennesuoritteesta sorateiden osuus on n. 6 %, mutta kunnossapitokustannuksista yli 10 %. Niinpä sorateiden kelirikkovauriot ja kelirikonaikaiset painorajoitukset aiheuttavat vuosittain huomattavia kustannuksia sekä tienpitäjille että myös tienkäyttäjille./42/



Kuva 2: Sorateiden osuus Kuopion tiepiirin yleisistä teistä

### 3 LÄHTÖTIEDOT JA ARVIOINTIMENETELMÄT

#### 3.1 Lähtötietojen erittely

Sää tiedot on kerätty pääasiassa Kuopion lentosääasemalta. Pohjavesitiedot on saatu Pieksämäeltä<sup>2</sup>, routatiedot Suonenjoen tiemestaripiiristä ja haihduntatiedot Maaningalta<sup>3</sup>. Pieksämäki oli lähin mittausasema, jolla on suoritettu pohjavesimittauksia 20 viime vuoden ajan. Samoin Suonenjoki oli ainoa paikka Kuopion tiepiirin alueelta, josta on yhtenäiset ja riittävän kattavat roudansyvyystiedot 20 viime vuoden ajalta. Maaninka puolestaan oli lähin mittausasema, jolla on mitattu haihdunta-arvoja myös 20 viime vuoden ajan.

On huomattava, että havaintotiedot on kerätty kukin vain yhdestä havaintopisteestä. Koska tutkittava alue, Kuopion tiepiiri, on kuitenkin varsin pieni, eivät sääolot vaihtele kyseisellä alueella niin paljon, että sillä olisi huomattavaa merkitystä. Lisäksi suurin osa tiedoista on Kuopiosta, joka on varsin keskellä tiepiiriä.

**Lämpötilakeskiarvot ( C )** on laskettu kuukausittain ja vuosittain Kuopion lentosääasemalta saaduista tiedoista. Vuorokauden keskilämpötila on saatu klo 2.00, 8.00, 14.00 ja 20.00 lämpötilahavainnoista.

**Pakkaspäivien lukumäärät (kpl)** on laskettu niinkään kuukausittain ja vuosittain Kuopion lentosääasemalta. Pakkaspäivät on määritelty niiksi päiviksi, joiden keskilämpötila on pakkasen puolella.

**Pakkasmäärä (h \* C)** on laskettu kertomalla päivittäiset pakkasen puolella olleiden vuorokausien keskilämpötilat tuntimäärillä. Tuloksena saadaan kuukausittaiset pakkasmäärät. Myös tästä on laskettu kuukausittaiset ja vuosittaiset sekä kunkin talven pakkasmäärät Kuopion lentosääaseman tietojen perusteella.

Kuopion lentosääasemalta saaduista tiedoista on myös laskettu maaliskuun osalta kuukausittain yöpakkaset, auringonpaistetunnit ja tuulen nopeudet. Samoin tuulen vallitsevat suunnat on otettu huomioon. Nämä on laskettu, jotta kevään sääolosuhteita voitaisiin mallittaa tarkemmin.

**Yöpakkaspäivät (kpl)** on laskettu määrittämällä yöpakkaspäiviksi sellaiset vuorokaudet, joiden minimilämpötila alittaa - 2 C.

**Auringonpaistetunnit (h)** on laskettu päivittäisistä auringonpaistetuntimääristä.

**Tuulen nopeuksista (m/s)** on laskettu kuukausittaiset keskiarvonopeudet. Tuulen suunnat on otettu huomioon määrittämällä kunkin kuukauden hallitseva tuulensuunta. On huomattava, että etelän ja lännen väliset tuulet tuovat kosteaa meri-ilmaa ja sadetta, kun taas etelän ja idän väliset tuulet tuovat lämmintä mannerilmaa keväällä.

**Roudansyvyystietojen (cm)** kerääminen aiheutti ongelmia, koska tietojen säilytysaika on niin lyhyt (10 vuotta) ja routamittarit usein rikki. Roudansyvyystietoja kerättiin Kuopion tiepiirin alueella olevista routamittareista, joista lähes kaikki sijaitsevat tiemestaripiirien tukikohtien piholla. Kuitenkin

<sup>2</sup> Vesi- ja ympäristöhallinnon hydrologian osasto, Naarajärven tutkimusasema

<sup>3</sup> Vesi- ja ympäristöhallinnon hydrologian osasto, Halolan tutkimusasema

Suonenjoen routamittari oli ainoa, josta saatiin koko 20 vuoden tutkimusjaksolta luotettavat ja kattavat tiedot.

Routamittarin sijainti ei ole paras mahdollinen (tukikohdan piha), mutta muiden tietojen puutteessa mitatut tiedot antavat kuitenkin hyvän kuvan eri vuosien suhteellisista eroista niin roudansyvyyksien kuin niistä laskettujen routaantumisnopeuksien, sulamisnopeuksien, routaantumisajankohtien yms. suhteen.

**Sademäärät** (mm) on myös laskettu kuukausittain ja vuosittain Kuopion lentosääaseman havaintotiedoista.

**Sadepäivien lukumäärät** (kpl) on laskettu Kuopion lentosääaseman tiedoista siten, että sadepäivät on jaoteltu vähäsateisiin, yli 0,1 mm ja runsaampisateisiin, yli 1,0 mm päivässä sataviin. Jaottelu on saatu ilmatieteen laitokselta. Kummankin sadepäivälukumäärän osalta on laskettu niin kuukausittaisia kuin vuosittaisia määriä.

Myös **lumipeitteen syvyysarvot** (cm), kuten myös **tulo- ja sulamisajankohdatkin** on mitattu Kuopion lentosääasemalta. Vaikka lumipeite ei näytä suoraan vaikuttavan kelirikon luonteeseen, kuvaa se talven luonnetta. Lumen määrä tien reunoilla vaikuttaa kuitenkin myös tierakenteen sulamiseen keväällä. Lumipeitteen syvyys on mitattu kunkin kuun 15. päivänä. **Lumipeitteen vesiarvo** on mitattu vuosittain 1.4 Vuoksen vesistöstä, Konnus-Karvion alueelta. Tämä arvo kuvaa siis vuosittain lumessa olevan veden määrää.

**Suhteellinen kosteus** (%) on laskettu kuukausittaisina keskiarvoina Kuopion lentosääasemalta.

**Haihdunta** (mm) on mitattu huhti-kesäkuussa Maaningan Halolan mittausasemalta. Tällä on pyritty selvittämään vuosittaisten haihduntaerojen vaikutuksia, vaikkakaan haihduntatilannetta ei kyseisellä asemalla voikaan verrata tienpinnasta tapahtuvaan haihtumiseen.

**Selkeiden päivien lukumäärä** (kpl) ja **keskipilvisyys** (%) kuvaavat kumpikin samaa ominaisuutta eri näkökulmista. Arvot on laskettu kuukausittain ja vuosittain Kuopion lentosääaseman mittaustiedoista.

**Pohjavedenkorkeudet** (cm) on mitattu Pieksämäen mittausasemalta. Korkeuserot on huomioitu kuukausittaisina keskiarvoina. Vaikka tiedot on kerätty yksittäisestä tutkimuskohteesta ja niiden absoluuttisilla arvoilla ei niinkään ole merkitystä, antavat vuosien väliset erot suuntaa koko tiepiirin alueen pohjavedenkorkeuksien vaihteluille. Näistä vaihteluista on erotettu pohjaveden normaali vuosittainen vaihtelu, jolle on tyypillistä sinikäyrämäinen muoto: alkukesästä pohjavesi on korkeimmillaan, josta se sitten laskee alimmilleen helmi-maaliskuussa.

## 3.2 Arviointimenetelmä

### 3.2.1 Yleistä

Tutkittavina olevat sää- ja hydrologiset ilmiöt vaikuttavat kelirikon tunnuslukuihin yleensä lineaarisesti: jonkun säähavaintoarvon muuttuessa suuremmaksi kelirikon tunnusluku joko a) pysyy samana, b) kasvaa tai c) pienenee lähes suoraviivaisesti. Käyräviivaista riippuvaisuutta ei yleensä esiinny:

tämä on tosin tarkistettu jokaisen riippuvaisuussuhteen osalta piirtämällä kuvat. Samoin on tarkistettu, onko riippuvaisuus logaritmista. Koska tutkittuja riippuvaisuussuhteita on niin paljon, ei kaikkien kuvien esittäminen ole mahdollista, ei edes liitteissä. Tärkeimmät kuvat esitetään kohdassa 4.2, kunkin ominaisuusparin yhteydessä. Tutkittuja riippuvaisuussuhteita ja tarkasteltuja kuvia on n. 530 kpl.

Tulosten luotettavuudesta on huomattava se, että otos on kunkin riippuvaisuussuhteen kohdalla varsin pieni, 20 kpl. Soratiestön prosenttuaalisen osuuden pieneneminen aiheuttaa kelirikkokilometrejä koskeviin korrelaatioihin hieman vääristymää, kuva 2. Hajontaa tuloksiin aiheuttaa myös se, että kelirikon kestolla tarkoitetaan sitä aikaa, joka kuluu ensimmäisten liikenne rajoitusten asettamisesta viimeisten rajoitusten päättymiseen.

Ennustemallin luotettavuus perustuu siis täysin tiemestareiden asettamiin liikennerajoituksiin. Eriasteisten painorajoitusten asettamisessa samoin kuin oikea-aikaisuudessa on käytännössä eroja.

### 3.2.2 Menetelmän esittely

Koska riippuvaisuussuhteet ovat lineaarisia, on luontevinta arvioida riippuvaisuuksia korrelaatiokertoimen  $c$  avulla. Korrelaatiokertoimen arvo vaihtelee välillä  $[-1...+1]$ . Korrelaatio on  $-1$ , kun ominaisuuksien välinen riippuvaisuus on negatiivista: toisen kasvaessa toinen pienenee. Korrelaation ollessa  $1$  on asetelma päinvastainen: toisen kasvaessa myös toinen kasvaa. Korrelaation ollessa  $0$  ei ominaisuuksien välillä ole lineaarista riippuvaisuutta.

Kaikista n. 530 riippuvaisuussuhteesta on laskettu korrelaatiokertoimet. Korrelaatiokertoimen itseisarvon ylittäessä  $0,15$  on riippuvaisuussuhteelle laskettu muotoa  $y = ax + b$  oleva sovitettu lineaarinen käyrä. Käyrä on sovitettu aineistoon käyttäen pienimmän neliösumman menetelmää. Useampaa astetta olevat riippuvaisuussuhteet on eliminoitu, kuten edellä jo mainittiin, piirtämällä kuvat kustakin ominaisuusparista. Samoin on eliminoitu logaritmiset riippuvaisuudet.

Otoksen koon ollessa tiedonhankinnallisista syistä 20 vuotta, korrelaatiokertoimen arvo voi vaihdella 95 %:n luottamusvälillä n.  $\pm 0,20$  perusarvosta laskettuna. Tästä huolimatta tiettyjen ominaisuuksien riippuvaisuussuhteet ovat selviä, kuten seuraavassa luvussa huomataan.

## 4 TULOKSET

### 4.1 Yleistä

Kevätkelirikko on monimutkainen ilmiö, johon vaikuttavat lukuisat sää- ja hydrologiset tekijät. Juuri näiden tekijöiden vaikutusta on tässä tutkimuksessa pyritty selvittämään: mikä on kunkin tekijän vaikutus kelirikon kehittymiseen, mihin suuntaan kukin tekijä vaikuttaa, milloin vaikutus on voimakkaimmillaan, voidaanko kelirikon vaikeutta ennustaa tai millaisen arvion kelirikon kehittymisestä em. tekijöiden perusteella voidaan antaa. Kun sitten tunnetaan yksittäisten tekijöiden vaikutus kelirikon vaikeuteen, voidaan kentällä varautua kevään kelirikkoon tiettyjen suuntaa antavien tietojen pohjalta.

Tässä luvussa esiintulevia sää- ja hydrologisia tietoja on kutakin verrattu kahteen eri kelirikon tunnuslukuun: kelirikkokilometreihin ja kelirikon keston. Lähtötietoja on käytetty hyväksi sekä kuukausittain että vuosittain. Lähtötiedoista on muodostettu myös kuukausikokonaisuuksia, esim. loka-huhtikuu, joiden riippuvaisuuksia kelirikon tunnuslukuihin on myös laskettu.

Osa ominaisuuksista vaikuttaa selvästi kelirikon keston, osa kelirikkokilometreihin. Myöhemmin tässä luvussa esitetään nämä tärkeimmät vaikutukset jaoteltuina em. vaikutusjaottelun mukaisesti.

Tämän esityksen suppeuden vuoksi tuloksista esitetään vain tärkeimmät tiedot. Tarkemmat tulokset ovat luettavissa Petri Launosen DI-työstä.

### 4.2 Tärkeimmät tulokset

#### 4.2.1 Yleistä

Kelirikon vaikeutta voidaan kuvata painorajoitusten määrän eli kelirikkokilometrien ja kelirikon keston tulon neliöjuurella. Jos keskimääräistä vaikeusastetta merkitään luvulla 1, kevään kelirikon vaikeus on vaihdellut 0.245 ... 2.14. Vaikeiden kelirikkokeväiden 1975, 1976 ja 1977 suhdeluvut olisivat 2.4, 1.85 ja 1.86. Helpoimpia keväitä vastaavasti olivat keväät 1980, 1985 ja 1991, joiden suhdeluvut ovat 0.245, 0.377 ja 0.483.

Kelirikko on alkanut aikaisimmillaan 20.3. ja myöhäisimmillään 22.5. Poikkeuksellista kevättä 1981 huomioonottamatta kelirikko alkaa keskimäärin 8. huhtikuuta ja päättyy 14. kesäkuuta. Leudon talven jälkeen kelirikko alkaa maaliskuun viimeisellä kolmanneksella, mutta kestää yleensä yli 80 päivää.

Seuraavassa taulukossa 2a...c on esitetty tärkeimmät riippuvaisuudet korrelaatiokerroimen arvoina (c). Rajaksi on otettu arvo  $\pm 0,30$ , tosin joitakin poikkeuksia tärkeimpien tulosten kohdalta on tehty.

Taulukon ensimmäisessä sarakkeessa esitetään ominaisuus, jonka riippuvaisuutta kelirikon tunnuslukuihin on tutkittu. Toisessa sarakkeessa esitetään korrelaatiokerroin c verrattaessa ominaisuutta kelirikkokilometreihin (krkm) ja kolmannessa korrelaatiokerroin c verrattaessa ko. ominaisuutta kelirikon keston (krkesto). Lisäksi esitetään kuvina muutama tärkein riippuvaisuus.

Taulukko 2a: Tärkeimmät tulokset korrelaatiokertoimen arvoin

TARKASTELTU OMINAISUUS	C (KRKM)	C (KRKESTO)
<b>Lämpötilakeskiarvot (C):</b>		
helmikuu	0,13	0,61
maaliskuu	-0,08	0,53
huhtikuu	-0,1	0,37
loka-maaliskuu	0,25	0,43
loka-huhtikuu	0,24	0,480
tammi-maalis	0,190	0,53
huhti-kesä		0,33
<b>Lämpötilojen keskiarvoluokitus (kpl):</b>		
T = 0... -5 C; vrk/X-XII <sup>1)</sup>	0,48	-0,44
T = 0... -5 C; vrk/talvi	0,320	0,140
T = ≤ -10 C, vrk/X-XII <sup>2)</sup>	-0,350	0,34
T = ≤ -10 C, vrk/talvi	-0,302	-0,35
<b>Pakkaspäivien lukumäärä (kpl):</b>		
helmikuu	0,17	-0,57
maaliskuu	0,04	-0,440
huhtikuu	0,01	-0,29
toukokuu	0	-0,39
loka-huhtikuu	0,1	-0,47
huhti-kesäkuu	0	-0,39
koko talvi	0,09	-0,47
<b>Pakkasmäärä F (h * C): <sup>3)</sup></b>		
koko talvi	-0,290	
F/pakkaspäivät (koko talvi)	-0,36	
F/X-XII	-0,27	
F/I-III	-0,22	-0,51
F:X-XII/I-III		0,57
pakkasmäärä/routamaksimi		-0,32
pakkasmäärä/routaantumiskuukautena	-0,3	
pakkasmäärä/pakkaspäivät ennen roudantumista	-0,44	0,26
Lämpötilojen keskiarvoluokituksessa talven pakkaspäiviä on jaettu luokkiin vuorokauden keskilämpötilojen mukaan:		
<sup>1)</sup> Keskilämpötila on 0 C ja -5 C asteen välillä <sup>2)</sup> Keskilämpötila on alle -10 astetta <sup>3)</sup> Pakkasmäärän F laskeminen on esitetty jo aikaisemmin. Sen yhteydessä kuukaudet on merkitty roomalaisin numeroin.		



Taulukko 2b: Tärkeimmät tulokset korrelaatiokertoimen arvoin

TARKASTELTU OMINAISUUS	C (KRKM)	C (KRKESTO)
<b>Routaantumisnopeus (cm/vrk):</b>		
ennen 31. joulukuuta	-0,34	
1. tammikuuta jälkeen	0,17	-0,41
edellisten suhde		0,690
routaantumisaika 100 cm:iin (vrk)	0,28	-0,43
nopeus > 0,5 cm/vrk (viikkoja); koko talvi		-0,52
nopeus > 0,5 cm/vrk (viikkoja);X-XII	-0,43	
nopeus > 2,0 cm/vrk (viikkoja);koko talvi		0,26
nopeus > 2,0 cm/vrk (viikkoja);X-XII	-0,15	0,3
roudansyvyysero 15.12. - 15.11. (cm)	-0,41	0,220
<b>Roudansyvyys (cm):</b>		
tammikuu 15.	-0,33	
helmikuu 15.	-0,45	
maaliskuu 15.	-0,370	-0,310
huhtikuu 15.	-0,35	-0,4
routamaksimi/talvi	-0,35	-0,390
roudan sulamisen kesto (viikkoja)	-0,3	-0,15
roudan pintasulamisnopeus < 2 cm/vrk	0,050	0,28
<b>Yöpakkaset (kpl):</b>		
maaliskuu		-0,46
huhtikuu		-0,27
toukokuu		-0,290
huhti-kesäkuu		-0,320
<b>Auringonpaistetunnit (h):</b>		
huhtikuu		0,360
<b>Selkeiden päivien lukumäärä (kpl):</b>		
maaliskuu		-0,49
toukokuu		-0,460
loka-toukokuu		-0,39
<b>Keskipilvisyys (%):</b>		
tammikuu	0,44	
helmikuu		0,44
maaliskuu		0,33
huhti-kesäkuu	-0,440	

Taulukko 2c: Tärkeimmät tulokset korrelaatiokertoimen arvoin

TARKASTELTU OMINAISUUS	C (KRKM)	C (KRKESTO)
<b>Tuulet (m/s):</b>		
huhtikuu	0,52	-0,39
toukokuu	0,12	-0,32
kesäkuu	0,6	-0,44
huhti-kesäkuu	0,560	-0,5
<b>Sadepäivät (0,1 mm); kpl:</b>		
tammikuu	0,52	
loka-huhtikuu	0,31	
syys-marraskuu	0,59	
huhti-kesäkuu	0,27	
<b>Sadepäivät (1,0 mm); kpl:</b>		
joulukuu	0,54	
tammikuu		0,53
helmikuu		0,480
huhtikuu	0,38	
loka-huhtikuu	0,27	0,24
huhti-kesäkuu	0,39	-0,27
<b>Suhteellinen kosteus</b>		
helmikuu	-0,33	
<b>Haihdunta</b>		
huhtikuu	0,72	
toukokuu	0,2	
<b>Sademäärä (mm):</b>		
tammikuu		0,64
helmikuu		0,580
maaliskuu		0,53
kesäkuu		-0,34
edeltävän vuoden huhti-lokakuu		0,33
loka-huhtikuu		0,560
edeltävä vuosi		0,45
kaksi edeltävää vuotta	0,22	0,53
<b>Pohjavedenkorkeudet (cm):</b>		
maaliskuu	-0,03	0,5
huhtikuu	-0,14	0,58
toukokuu	-0,12	0,4
kesäkuu	-0,34	0,2
huhti-kesäkuu	-0,2	0,48
edeltävän vuoden keskiarvo	-0,16	0,47

Pakkasmäärien ja roudansyvyyksien yhteydessä on laskettu myös routaantumisnopeuksien vaikutuksia, jotka on taulukossa merkitty pelkällä nopeus-sanalla. Nopeudet on jaettu kahteen luokkaan: yli 0,5 cm/vrk ja yli 2,0 cm/vrk. Lisäksi on tutkittu mm. pakkasmääriä routaantumisen aikana.

#### 4.2.2 Kelirikkokilometrien ennustettavuus

Kelirikkokilometreihin yksittäisten kuukausien lämpötilojen vaikutus ei ole kovin selvä: lievää vaikutusta näyttää olevan joului-tammikuun ja toukokuun lämpötiloilla  $c = 0,247 \dots 0,300$  ja  $0,269$ . Mitä lämpimämpiä nämä kuut ovat, sitä enemmän joudutaan kelirikkorajoituksia asettamaan. Kesäkuun vaikutus on lievästi päinvastainen  $c = -0,266$ .

Kuukausijaksoista niin marras-joulukuun kuin loka-huhtikuukin näyttävät vaikuttavan lievästi siten, että mitä lämpimämpi jakso sitä enemmän kelirikkokilometrejä kertyy. Mutta tässä, kuten edellisissäkin kelirikkokilometreihin vaikuttavissa ominaisuuksissa on huomattava, että vaikutukset ovat varsin lieviä.

Sitä vastoin tarkasteltaessa talven pakkaspäivien lämpötilakeskiarvojen jakautumista leutoihin,  $T = 0 \dots -5$  C, ja kylmiin,  $T < -10$  C, päiviin näyttää näillä olevan selvä vaikutus kelirikkokilometreihin. Kun verrataan loka-joulukuun leutojen pakkaspäivien, eli juuri kerroksellisen roudan syntymiselle otollisten päivien vaikutusta kelirikkokilometreihin, nähdään selvä korrelaatio leutojen päivien määrän ja kelirikkokilometrien välillä. Mitä enemmän näitä leutoja pakkaspäiviä on loka-joulukuussa ollut sitä enemmän näyttää keväällä kertyvän kelirikkokilometrejä. Koko talven osalta vaikutus on samansuuntainen, joskin lievempi. Loka-joulukuun sekä koko talven osalta kylmien päivien ( $T < -10$  C) määrällä on päinvastainen vaikutus - mitä enemmän kylmiä päiviä, sitä vähemmän kelirikkokilometrejä. Tällöinhän tierakenne routaantuu nopeammin, jolloin siihen ei sitoudu niin paljon vettä. Kyseessä on ns. massiivinen routa eli luonnollisen kosteuden omaava jäätyneet maa-aines.

Samana ominaisuutta, eli talven lämpötilaa, kuvaa talven pakkasmäärä. Mitä suurempi pakkasmäärä eli kylmempi talvi sitä helpompi näyttää kelirikosta tulevan. Kelirikkokilometrien määrä pienenee sitä mukaa mitä kylmempi talvi on. Kun verrataan loka-joulukuun pakkasmääriä, on kevään kelirikkokilometrien määrä sitä pienempi mitä kylmempi loka-joulukuun on. Kun verrataan taas tammi-maaliskuun pakkasmääriä, on kelirikkokevät sitä helpompi kilometreiltään mitä kylmempi tammi-maaliskuun jakso on.

Kelirikkokilometreihin pakkaspäivien lukumäärällä ei näytä olevan vaikutusta. Painorajoitusten määrän indikaattorina pelkkä pakkaspäivien lukumäärä on huono, koska lievät pakkaset lisäävät kelirikkoa ja ankarat ( $T < -10$  C) vähentävät kelirikkoa - keskimäärin vaikutus on siis  $\pm 0$ . Ainoastaan tammikuun pakkaspäivien runsaudella näyttäisi olevan vaikutusta kilometrejä vähentävästi  $c = -0,495$ . Tämä saattaa tosin olla sattumaakin.

Laskettaessa tunnuslukua pakkasmäärä/pakkaspäivät koko talven osalta kuvaamaan talven pakkaspäivien keskimääräistä ankaruutta, ei sen vaikutus kelirikon tunnuslukuihin ole yllätys edellä olleiden tulosten perusteella. Siis mitä kylmempiä päiviä keskimäärin sitä vähemmän kelirikkokilometrejä,  $c = -0,355$ .

Routaantumisnopeutta on tutkittu jakamalla ko. nopeus luokkiin  $>0,5$  cm/vrk ja  $>2,0$  cm/vrk. Näitä on sitten tutkittu laskemalla nämä routaantumisnopeusrajat ylittävien viikkojen määrät sekä koko talvelta että loka-joulukuulta.

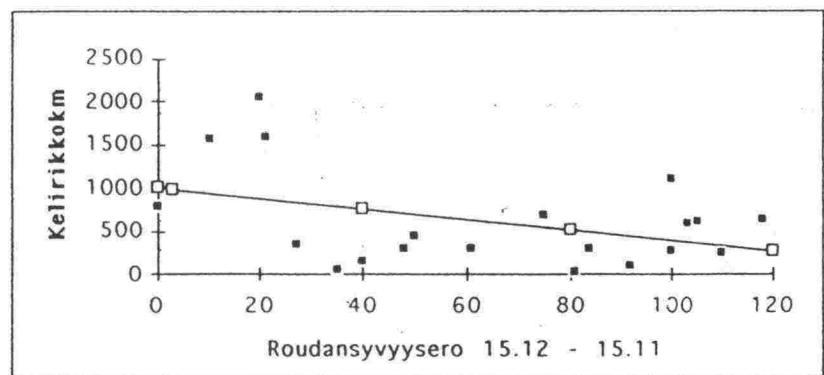
Loka-joulukuussa  $0,5$  cm/vrk - nopeuden ylittävien viikkojen määrän kasvaessa näyttää kevään kelirikkokilometrien määrä pienenevän. Kun raja vedetään routaantumisnopeuteen  $2,0$  cm/vrk, ei viikkojen lukumäärä näytä vaikuttavan yhtä voimakkaasti kilometreihin, vaikka vaikuttaakin samansuuntaisesti.

Kun verrataan vastaavia lukuja koko talven osalta, näyttää nopeuden  $0,5$  cm/vrk ylittävien viikkojen määrän kasvaminen vaikuttavan kelirikkokilometreihin varsin lievästi, mutta samansuuntaisesti kuin loka-joulukuussa. Nopeuden  $2,0$  cm/vrk ylittävien viikkojen määrän kasvaminen ei vaikuta mitenkään kilometrimääriin.

Kun lasketaan keskimääräinen routaantumisnopeus routaantumisen alusta vuoden loppuun, näyttää nopea routaantuminen vähentävän kelirikkokilometrien määrää  $c = -0,343$ .

Helppo tapa tarkastella routaantumisnopeutta on tarkastella sitä aikaa, mikä menee  $100$  cm:n roudansyvyuden saavuttamiseksi routaantumisen alusta lukien. Kuten edellisten tulostenkin nojalla voidaan odottaa, näyttää nopea routaantuminen vähentävän kelirikkokilometrien määrää. Tämä vastaa loka-joulukuun routaantumisviikkojen määrien vaikutuksia, tapahtuuhan metriin routaantuminen yleensä ennen joulukuun loppua.

Toinen tapa tarkastella syksyn routaantumisnopeuksia on verrata roudansyvyksiä marras-, joului- ja tammikuun välillä. Tällöin marras- ja joulukuun roudansyvyseron kasvaessa, aivan kuten muutkin tunnusluvut osoittavat, kevätkelirikkokilometrit vähenevät. Tammi- ja joulukuun roudansyvyseron muuttuessa ei näytä esiintyvän selviä muutoksia kelirikon tunnusluvuissa, joten näyttää siltä, että syyskuukausista marras- ja joulukuun tapahtumilla on enemmän merkitystä keliriksoon kuin joului- ja tammikuun.



Kuva 3: Joului- ja marraskuun roudansyvyys eron (cm) vaikutus kelirikkokilometreihin:  $y = -6,1x + 1001,9$ ,  $c = -0,411$

**Roudansulamisen nopeuden vaikutus** näyttää olevan kaksijakoinen. Kelirikkokilometreihin on pohjastasulamisnopeudella selvästi enemmän vaikutusta kuin pinnastasulamisnopeudella. Nopea pohjastasulaminen näyttää vähentävän lievästi kelirikkokilometrejä. Tähän ei taas pinnastasulamisnopeudella näytä olevan mitään vaikutusta. Tässä on tosin huomattava, että paikallisten maa-, vesi- ym. olosuhteiden takia sulaminen voi joissakin paikoissa tapahtua lähes kokonaan pohjastakin päin. Tätä voi tapahtua tieosuuksilla, joilla pohjavesi on ollut routarajan tuntumassa ja/tai pohjaveden pinta nousee nopeasti keväällä. Tässä yhteydessä on vielä mainittava, että sekä roudansulaminen että routaantuminen riippuu paljon maalajista ja sen kosteudesta, tiivyydestä, veden läpäisevyydestä ja lämmönjohtokyvystä. Maan routaantumisenopeuteen vaikuttaa myös maan pintaosien lämpökapasiteetti eli maan sisältämä lämpömäärä routaantumiskauden alussa. Toisaalta tässä tutkimuksessa keskityttiin laajempiin kokonaisuuksiin, eikä ollut tarkoituskaan puuttua yksittäisten tieosuuksien maalajien ominaisuuksiin./52/

**Routaantumisen ja roudansulamisen kestolla** ei näytä olevan juurikaan vaikutusta kelirikon tunnuslukuihin. Routaantumisen kestolla tarkoitetaan sitä aikaa, jona roudansyvyys kasvaa. Ainoastaan sulamisen kesto vaikuttaa kelirikkokilometreihin lievästi siten, että nopea sulaminen lisää kelirikkokilometriä määrää. Tällöin mitataan siis roudansyvyksiä, ei pintamaan käytäytymistä. Kun verrataan tätä tulosta edellisessä kappaleessa saatuun tulokseen, ovat tulokset vastakkaisia, joten mitään päätelmiä tästä yksittäisestä tuloksesta ei voida tehdä.

Laskettaessa pakkasmäärän vaikutusta routaantumiseen muutaman tunnusluvun muodossa, kävi selville, että vuosittain saman routamittarin kohdalla routaantumiseen tarvittava pakkasmäärä vaihtelee hyvinkin voimakkaasti. Mitään yhteyttä kelirikon tunnuslukujen ja pakkasmäärän kasvun välillä ei näytä olevan olemassa. Nämä erot selittynevät maaperän kosteudella ja maan lämpömäärällä routaantumiskauden alussa.

**Roudansyvyyden vaikutus kilometreihinkin** on selvä kevätkauden osalta. Tällöin tammi-huhtikuussa roudansyvyydet vaikuttavat kelirikkoon siten, että mitä paksumpi routa sitä vähemmän kelirikkokilometrejä. Myös koko talven roudansyvyyksimaksimi vaikuttaa samansuuntaisesti. Syksyn routasyvyydet eivät näytä vaikuttavan kelirikkoon.

**Keskipilvisyys** kuvaa auringonpaistetuntien ja selkeiden päivien lukumäärän ohella kunkin kuukauden säätilan luonnetta. Keskipilvisyyden vaikutus kelirikkokilometreihin on selvin, kun tarkastellaan jaksoa huhtikuusta kesäkuuhun eli kelirikkokautta. Mitä pilvisempää tällöin on ollut sitä vähemmän kelirikkokilometrejä on kertynyt  $c = -0,440$ . Samaa kertoo auringonpaistetuntien määrä samalta jaksolta, tosin lievempänä: mitä vähemmän auringonpaistetunteja sitä vähemmän kilometrejä. Selkeiden päivien määrällä ei näyttäisi olevan suoraa vaikutusta kelirikkokilometriä määrään. Muuten keskipilvisyyden vaikutuksessa kilometreihin nousee esille vain tammikuu, sekin yksittäisenä kuukautena muiden kelirikkokilometreihin vaikuttamattomien kuukausien välissä  $c = 0,437$ . Tällöin pilvinen tammikuu ennakoi enemmän kilometrejä, mikä on sopusoinnussa aikaisempien tulosten kanssa, sillä pilvisyys keskitalvella merkitsee samalla leutoa säätä. Auringonpaistetunnit ja selkeiden päivien lukumäärä eivät muuten näytä

vaikuttavan ainakaan kevätkuukausien osalta kelirikkokilometreihin sanottavasti.

**Suhteellisen kosteuden** vaikutus keliriksoon sen ennustajana näyttää olevan olematon. Vaikka se onkin eräänlainen yleisen säätilan mittari, ei se näytä vaikuttavan selvästi keliriksoon miltään puolelta missään kuussa. Ainoastaan muutama yksittäinen kuukausi nousee hieman muiden yläpuolelle, mutta mitään yleispätevää ei näistä voida sanoa jo niiden yksittäisyydenkin takia.

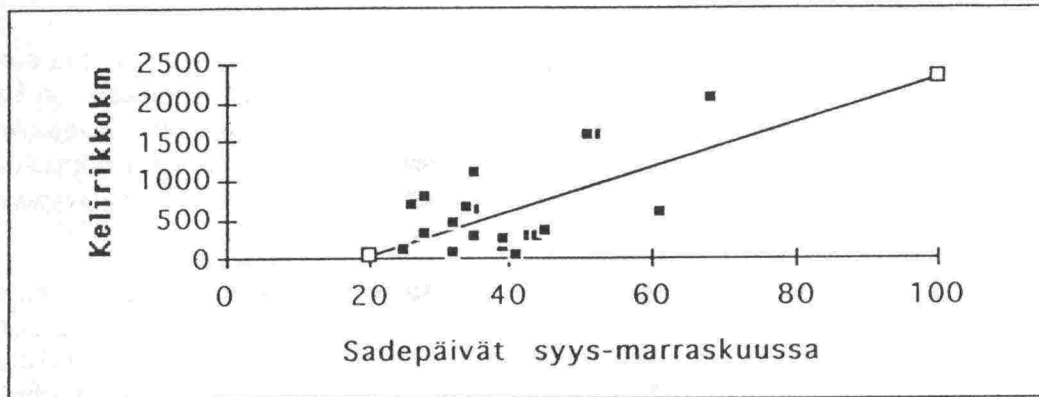
**Tuulten** vaikutusta on tutkittu kevätkuukausien osalta vertailemalla kuukausittain tuulennopeuksien keskiarvoja. Kelirikkokilometriä osalta vaikutus on vaihtelevaa: huhti- ja kesäkuussa tuulisuus ennakoiki kilometrimäärien lisääntymistä  $c = 0,523$  ja  $0,598$ , kun taas maalisi- ja toukokuussa tuulilla ei näyttäisi olevan mitään vaikutusta  $c = 0,011$  ja  $0,119$ . Kelirikkokauden osalta laskettaessa huhti-kesäkuun keskiarvoa vaikutus on kuitenkin selvä. Se johuu huhti- ja kesäkuusta: mitä tuulisempaa sitä enemmän kelirikkokilometriä  $c = 0,560$ .

**Haihdunta-arvojen** vaikutusta on tutkittu kelirikkokauden ajalta. Haihdunnan seuranta alkaa yleensä Maaningan tutkimusasemalla sulan kauden alussa eli toukokuussa. Vaikka tutkimusaseman sijainti ei olekaan paras mahdollinen, antaa se silti vuosille suhteelliset haihduntaerot.

Silloin, kun runsaampi haihdunta alkaa jo huhtikuussa, näyttää haihdunnan kasvaminen lisäävän kelirikkokilometriä,  $c=0,724$ . Mutta on myös monia kilometreiltään pahoja kelirikkokevähäitä, jolloin huhtikuussa ei haihdu ollenkaan, joten tästä ei voi tehdä mitään päätelmiä. Muutenkaan haihdunnan määrällä ei näytä olevan ainakaan suoraa vaikutusta, näin tarkasti tutkimusasemalta mitattuna, kelirikkokilometreihin.

**Sadepäivien lukumäärää** käsiteltiin jakamalla ne vähä- ja runsassateisiin päiviin. Sateisuuden rajana pidettiin  $0,1$  mm/päivä, runsassateisuuden  $1$  mm/päivä. Luokitusrajat saatiin ilmatieteen laitokselta. Yleispiirteenä näistä voidaan todeta, että vaikutukset yksittäisiä kuukausia lukuunottamatta olivat lieviä.

Kelirikkokilometreihin sadepäivien lukumäärän vaikutus oli lievästi suurempi. Varsinkin joulutammikuun ja huhtikuun vaikutukset olivat selviä molemmilla sadepäiväluokituksilla. Tällöin mitä enemmän kuussa oli sadepäiviä sitä enemmän keväällä kertyi kelirikkokilometriä. Kuukausijaksoista lokahuhtikuun ja huhti-kesäkuun vaikutukset olivat molempien sadepäivien määrille samanlaiset: mitä enemmän sadepäiviä sitä enemmän kelirikkokilometriä. Vain syys-marraskuussa syntyi eroja: vähäsateisten sadepäivien runsaus lisäsi kelirikkokilometriä, mutta runsassateisten sadepäivien lukumäärällä ei ollut mitään vaikutusta.



Kuva 4: Syys-marraskuun 0,1 mm:n sadepäivien lukumäärän vaikutus kelirikkokilometreihin:  $y = 28,6x - 524,8$ ,  $c = 0,585$

Kelirikkokilometreihin **sademäärillä** ei juurikaan näytä olevan vaikutusta. Ainoastaan joulukuun sademäärien runsaus näyttäisi vaikuttavan lievästi kelirikkokilometrejä lisäävästi,  $c = 0,245$ .

Tarkasteltaessa kuukausi- ja vuosijaksoja kelirikkokilometreihin edes hieman vaikuttava jakso on kahden edellisen vuoden sademäärä, sekin lievästi: mitä enemmän sataa sitä enemmän kertyy kelirikkokilometrejä,  $c = 0,218$ .

**Lumipeitteen syvyys** ei varsinaisesti vaikuta tierakenteeseen, aurataanhan teiltä lumet heti lumisateiden jälkeen. Aurusvallien koko ja niistä mahdollisesti tierakenteeseen sulava vesi voi kuitenkin teoriassa vaikuttaa kelirikon kehittymiseen. Nykyisin kuitenkin vallit leikataan ja madalletaan ajoissa, joten lumensyvyyden vaikutus rajoittunee enemmänkin kuvaamaan talven luonnetta.

Kelirikkokilometreihin lumipeitteen syvyydellä ei näytä olevan vaikutusta. Samoin käy, kun tarkastellaan lumen vesiaron, pysyvän lumen tulon, sulamisen ajankohdan ja pysyvän lumen keston (vrk) vaikutusta kelirikkokilometreihin. Tosin sulamisen ajankohta näyttää hieman vaikuttavan siihen suuntaan, että mitä myöhemmin lumi sulaa sitä enemmän kertyy kelirikkokilometrejä. Tämä kuvaa yleisemminkin kevään tulon ajankohtaa, kuten myös **kelirikon alkamisen ajankohtakin**. Tämä ajankohta ei kuitenkaan vaikuta mitenkään kelirikkokilometreihin.

Kelirikkokilometreihin **pohjavedenkorkeudella** ei näytä olevan kovin selvää vaikutusta. Lähes kaikki kuukaudet kyllä vaikuttavat samaan suuntaan, eli korkea pohjavesi näyttää vähentävän kilometrejä, mutta marras- ja kesäkuuta lukuunottamatta korrelaatiot ovat niin pieniä, ettei niillä ole vaikutusta.

Tulos on kuitenkin yhtäpitävä sen seikan kanssa, että roudan nopea pohjastasulaminen vähentää kelirikkoa. Marras- ja kesäkuussakaan vaikutus ei ole voimakas,  $c = -0,303$  ja  $c = -0,342$ .

Kelirikkokilometreihin näyttävät vaikuttavan seuraavassa taulukossa luetellut tekijät.

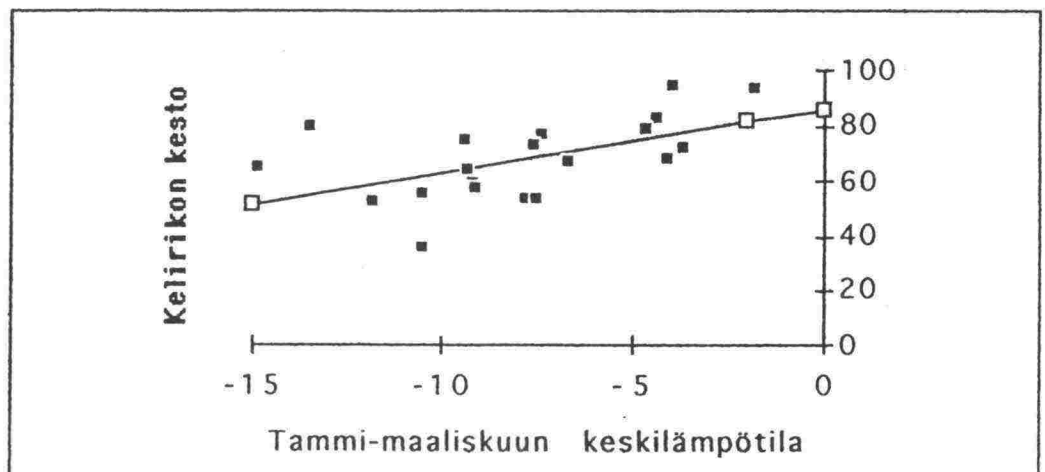
Taulukko 3: Kelirikkoa ja painorajoituksia lisäävät (+) ja vähentävät (-) tekijät

leuto alkutalvi (X-XII) ja sadepäivien määrä (> 0,1 mm/vrk) IX-XII	+
hidas routaantuminen 1 m:iin	+
lämmin talvi kokonaisuudessaan ja erityisesti pilvinen, sateinen ja lämmin tammikuu	+
joulukuun runsaat sateet (> 1,0 mm/vrk)	+
huhtikuun haihdunta ja kelirikkokauden tuulisuus (IV-VI) (m/s)	+
myöhäinen lumen sulaminen ja nopea roudan sulaminen	+
kylmä, kuiva alkutalvi ja nopea routaantuminen X-XII	-
suuri pakkasmäärä ja roudansyvyys	-
roudansyvyyden kasvu 15.XI - 15.XII	-
suuri suhteellinen kosteus helmikuussa	-
keskipilvisuus (%) huhti-kesäkuussa	-
korkea pohjavesi kesäkuussa	-

#### 4.2.3 Kelirikon keston ennustettavuus

Tarkasteltaessa lämpötilojen vaikutusta kelirikon tunnuslukuihin nousee selvästi esille helmi-huhtikuun lämpötilojen vaikutus kelirikon keston. Mitä lämpimämpi kukin näistä kuukausista on sitä kauemmin kelirikko näyttää kestävän. Tämä johtunee kelirikon aikaisemmasta alkamisesta, jolloin kelirikko helposti venyy pitkäksi, esimerkiksi keväinä 1989 ja 1990, jolloin kelirikko kesti lähes 100 vuorokautta. Näinä vuosina myös touko- ja kesäkuu olivat hieman normaalia lämpimämpiä.

Kelirikon keston näyttävät vaikuttavan selvästi myös loka-huhtikuun, luonnollisesti tammi-maaliskuun (vrt. edellinen kappale) ja huhti-kesäkuun lämpötilat. Nämä vaikuttavat kaikki samaan suuntaan, eli mitä lämpimämpi jaks on sitä kauemmin kevätkelirikko kestää. Huomattavaa on juuri se, että mitä lämpimämpi talvi on sitä kauemmin kelirikko kestää. Myös mitä lämpimämpi kelirikkokauden sää on sitä kauemmin kelirikko kestää. Tässä vaikutus ei ole kuitenkaan niin selvä kuin edellisissä.



Kuva 5: Tammi-maaliskuun keskilämpötilan vaikutus kelirikon keston:  $y=2,3x + 86, c=0,534$



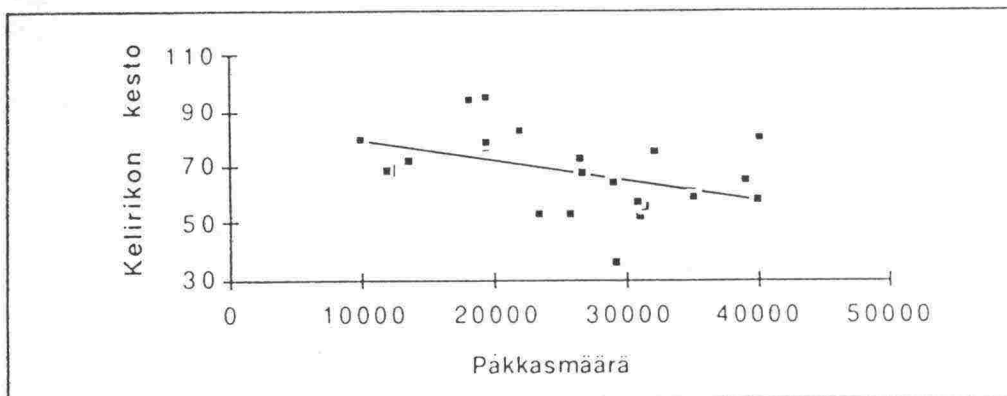
Marras-joulukuun vaikutus kelirikon kestoon näyttää olevan lievästi päinvastainen: mitä lämpimämpi tämä jakso on sitä vähemmän aikaa näyttää kelirikko kestävän,  $c = -0,140$ .

Tarkasteltaessa talven pakkaspäivien lämpötilakeskiarvojen jakautumista leutoihin,  $T = 0... - 5$  C, ja kylmiin,  $T < -10$  C, päiviin näyttää näillä olevan selvä vaikutus kelirikon kestoon. Kun verrataan loka-joulukuun leutojen pakkaspäivien, eli juuri kerroksellisen roudan syntymiselle otollisten päivien vaikutusta kelirikon kestoon, nähdään selvä korrelaatio leutojen päivien määrän ja kelirikon keston välillä: mitä enemmän pikkupakkaspäiviä on loka-joulukuussa ollut, sitä lyhyempi on kelirikkokausi. Kun verrataan saman ajanjakson kylmien päivien määrää, näyttää näillä olevan päinvastainen vaikutus edellisiin verrattuina: kelirikko kestää sitä kauemmin mitä enemmän kylmiä päiviä tällöin on.

Kun verrataan koko talven pakkaspäivien jakautumista edellisiin luokkiin, havaitaan osittain samansuuntaiset, osittain erisuuntaiset ilmiöt edellisiin verrattuina. Mitä enemmän leutoja pakkaspäiviä on talvella ollut sitä enemmän näyttää keväällä olevan kelirikkokilometrejä (kerroksellinen routa). Kelirikon kestoon tällä ei näytä olevan merkittävää vaikutusta.

Kun verrataan koko talven kylmien päivien määrää kelirikon kestoon, havaitaan paljon kylmiä päiviä sisältävien talvien johtavan kelirikon kestoltaan lyhyempiin kelirikkokeväisiin.

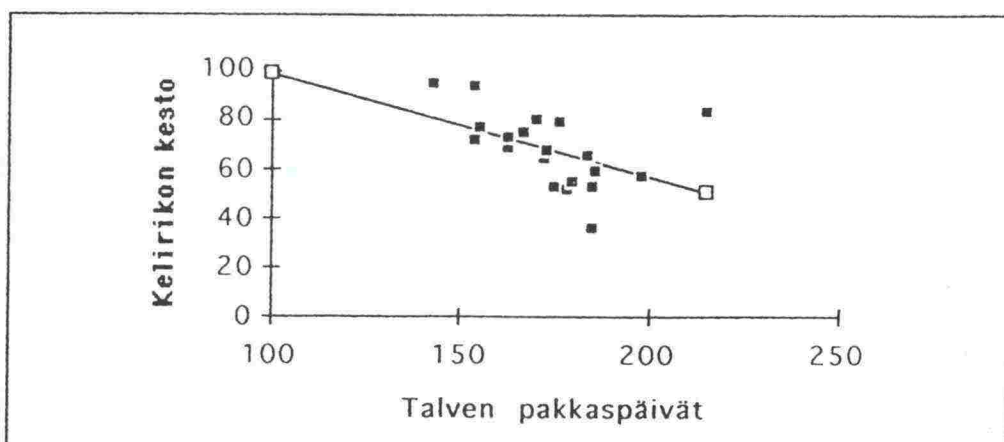
Samaa ominaisuutta, eli talven lämpötilaa, kuvaa talven pakkasmäärä. Mitä suurempi pakkasmäärä eli kylmempi talvi sitä helpompi näyttää kelirikosta tulevan. Kelirikon kesto lyhenee sitä mukaa mitä kylmempi talvi on. Kun verrataan loka-joulukuun pakkasmääriä, on kevään kelirikon kesto sitä lyhyempi mitä lämpimämpi loka-joulukuun on. Kun verrataan taas tammi-maaliskuun pakkasmääriä, on kelirikkokevät sitä helpompi kestoltaan mitä kylmempi tammi-maaliskuun jakso on.



Kuva 6: *Pakkasmäärän vaikutus kelirikon kestoon:*  
 $y = -0,0007x + 86,2$ ,  $c = -0,367$

**Pakkaspäivien lukumäärä** kertoo myös talven luonteesta. Tämän vaikutus näyttää kohdistuvan lähinnä kelirikon keston, varsinkin kevätkuukausien osalta, mutta myös koko talven pakkaspäivien lukumäärä näyttää vaikuttavan tähän. Helmikuusta toukokuuhun kuukausittaiset pakkaspäivien lukumäärät vaikuttavat kelirikon keston siten, että mitä enemmän kuussa on pakkaspäiviä sitä vähemmän aikaa kelirikko kestää. Tämä sama ilmiö näkyy myös selvästi, kun tarkastellaan koko talvea, loka-huhtikuuta ja huhti-kesäkuuta. Eli kokonaisuutena: mitä enemmän pakkaspäiviä talvessa sitä vähemmän aikaa kelirikko näyttäisi kestävän.

Laskettaessa tunnuslukua pakkasmäärä/pakkaspäivät koko talven osalta kuvaamaan talven pakkaspäivien keskimääräistä ankaruutta, on tuloksena: mitä kylmempiä päiviä keskimäärin sitä lyhyempikestoinen kelirikko.

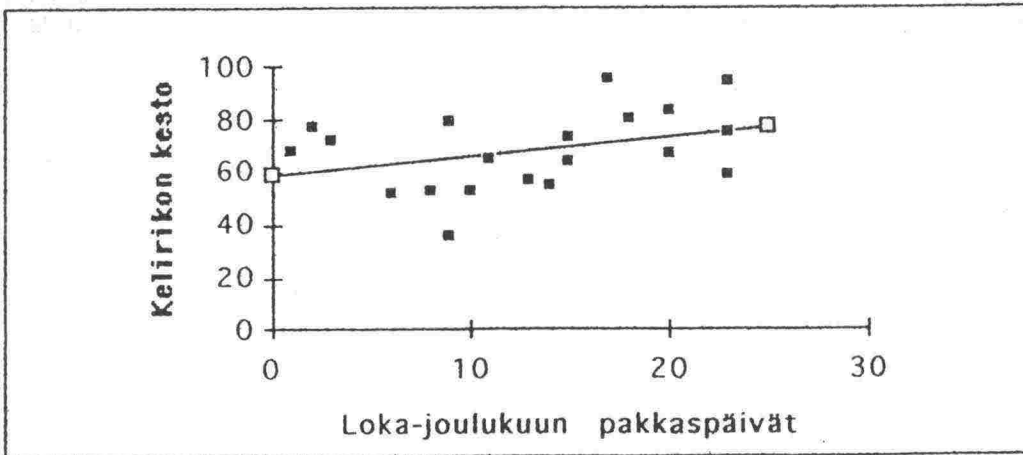


*Kuva 7: Talven pakkaspäivien lukumäärän vaikutus kelirikon keston:  $y=0,4x + 140,6$ ,  $c= -0,468$*

**Routaantumisnopeutta** on tutkittu jakamalla ko. nopeus luokkiin  $>0,5$  cm/vrk ja  $>2,0$  cm/vrk. Näitä on sitten tutkittu laskemalla nämä routaantumisnopeusrajat ylittävien viikkojen määrät sekä koko talvelta että loka-joulukuulta.

Loka-joulukuussa  $0,5$  cm/vrk - nopeuden ylittävien viikkojen määrän muuttuminen ei juurikaan näytä vaikuttavan kelirikon keston. Kun raja vedetään routaantumisnopeuteen  $2,0$  cm/vrk, näyttää vaikutus olevan lievästi seuraava: mitä enemmän viikkoja sitä kauemmin kelirikko kestää.

Kun verrataan vastaavia lukuja koko talven osalta, näyttää nopeuden  $0,5$  cm/vrk ylittävien viikkojen määrän kasvaminen vaikuttavan selvästi kelirikon kestoja lyhentävästi. Nopeuden  $2,0$  cm/vrk ylittävien viikkojen määrän kasvaminen vaikuttaa lievästi kelirikon kestoja pidentävästi.

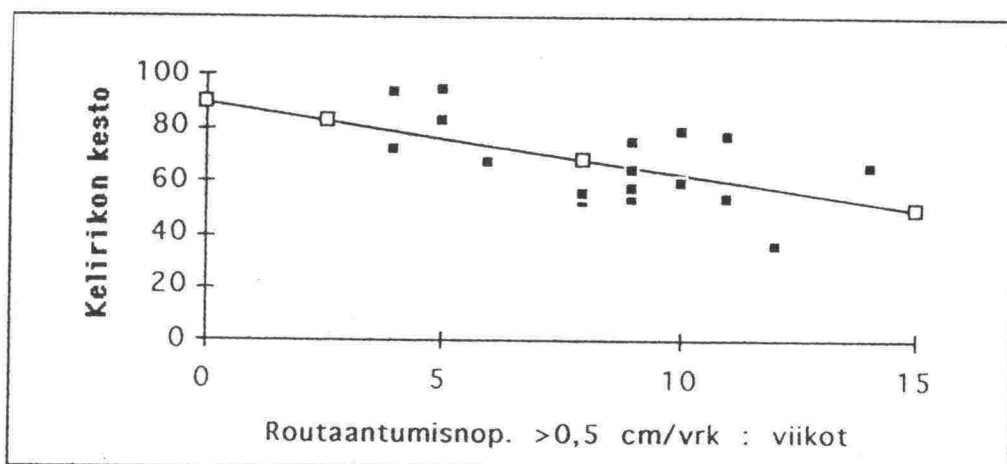


Kuva 8: Loka-joulukuun nopealle routaantumiselle otollisten lämpötilavuorokausien ( $t < -10\text{ C}$ ) lukumäärän vaikutus kelirikon kesto:  $y=0,7x + 58,4$ ,  $c=0,343$

Kun lasketaan keskimääräinen routaantumisnopeus vuoden alusta routaantumisen loppuun, näyttää nopea routaantuminen tänä ajankohtana lyhentävän kelirikon kesto. Kun sitten lasketaan alkutalven (routaantumisen alusta vuodenvaihteeseen) ja lopputalven keskimääräinen routaantumisnopeuksien suhde, näyttää kelirikon kesto pidentyvän sitä mukaa, mitä suurempi on alkutalven nopeus lopputalven verrattuna.

Helppo tapa tarkastella routaantumisnopeutta on tarkastella sitä aikaa, mikä menee 100 cm:n roudansyvyuden saavuttamiseksi routaantumisen alusta lukien. Kuten edellisten tulostenkin nojalla voidaan odottaa, näyttää nopea routaantuminen pidentävän kelirikon kesto. Tämä vastaa loka-joulukuun routaantumisviikkojen määrien vaikutuksia, tapahtuahan metriin routaantuminen yleensä ennen joulukuun loppua.

Toinen tapa tarkastella syksyn routaantumisnopeuksia on verrata roudansyvyyskä marras-, joului- ja tammikuun välillä. Tällöin marras- ja joulukuun roudansyvyyseron kasvaessa, aivan kuten muutkin tunnusluvut osoittavat, kelirikon kesto hieman pitenee. Tammi- ja joulukuun roudansyvyyseron muuttuessa ei näytä esiintyvän selviä muutoksia kelirikon tunnusluvuissa, joten näyttää siltä, että syyskuukausista marras- ja joulukuun tapahtumilla on enemmän merkitystä kelirikoon kuin joului- ja tammikuun.



Kuva 9: Nopean routaantumisen vaikutus kelirikon keston:  $y = -2,7x + 89,6$ ,  $c = 0,517$  (vaaka-akselilla nopeiden routaantumisviikkojen lukumäärä)

Roudansulamisen nopeuden vaikutus näyttää olevan kaksijakoinen. Kelirikon keston on pohjastasulamisa nopeudella selvästi vähemmän vaikutusta kuin pinnastasulamisa nopeudella. Nopea pinnastasulaminen näyttää lyhentävän lievästi kelirikon kestoä, kun taas pohjastasulamisa nopeudella ei näytä olevan mitään vaikutusta kelirikon keston.

Routaantumisa ja roudansulamisa kestolla ei näytä olevan juurikaan vaikutusta kelirikon tunnuslukuihin.

Roudansyvyyyden vaikutus kelirikon keston on selvä kevätkuukausien osalta. Kelirikon keston näyttävät vaikuttavan varsinkin maalisa- ja huhtikuun roudansyvyyydet siten, että routasyvyyyden kasvaessa kelirikon kesto lyhenee. Myös koko talven roudansyvyysmaksimi vaikuttaa samansuuntaisesti. Syksyn routasyvyyydet eivät näytä vaikuttavan kelirikkoon.

Kevään yöpakkasten vaikutus kohdistuu kelirikon keston. Mitä enemmän maalisa-kesäkuussa on yöpakkasia sitä vähemmän aikaa kelirikko kestää.

Keskipilvisyys kuvaa auringonpaistetuntien ja selkeiden päivien lukumäärän ohella kunkin kuukauden säätilan luonnetta.

Kelirikon keston nähden em. kolmen, samaa ominaisuutta eri kulmilta kuvaavan tunnusluvun arvoilla ei juurikaan näytä olevan vaikutusta. Keskipilvisyyden osalta korostuvat vain helmi- ja maaliskuu, jolloin pilvisemmät kuukaudet ennakoivat pidempää kelirikon kestoä. Auringonpaistetuntien osalta huomio kiinnittyy maalisa- ja huhtikuuhun. Maaliskuussa runsas auringonpaiste näyttää lievästi ennakoivan lyhyempää kelirikon kestoä (vrt. edellinen). Huhtikuussa puolestaan aurinkoisuus näyttäisi ennakoivan pidempää kelirikon kestoä. Selkeiden päivien osalta maalisa- ja toukokuun selkeiden päivien runsaus ennakoi lyhyempää kelirikkokautta. Maaliskuun osalta tämä sopii hyvin keskipilvisyyden vaikutukseen. Toukokuun osalta muut ominaisuudet eivät näytä vaikuttavan kelirikon keston. Koko talven osalta runsas aurinkoisuus näyttää olevan yhteydessä lyhyeen kelirikon keston. Tämä on ymmärrettävissä siten, että aurinkoiset talvipäivät ovat yleensä myös kylmiä. Aikaisemmista tuloksistahan on nähty, että kylmyys vaikuttaa kelirikon kestoä lyhentävästi.

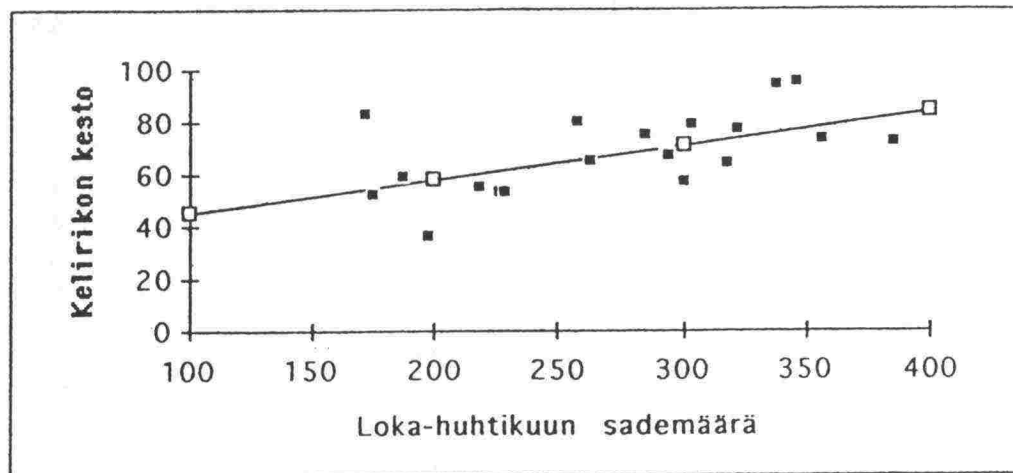
**Suhteellisen kosteuden** vaikutus kelirikoon sen ennustajana näyttää olevan olematon, kuten edellä jo mainittiin. Vaikka se onkin eräänlainen yleisen säätilan mittari, ei se näytä vaikuttavan selvästi kelirikoon miltään puolelta missään kuussa. Ainoastaan muutama yksittäinen kuukausi nousee hieman muiden yläpuolelle, mutta mitään yleispätevää ei näistä voida sanoa jo niiden yksittäisyydenkin takia.

**Tuulten** vaikutusta on tutkittu kevätkuukausien osalta vertailemalla kuukausittain tuulenopeuksien keskiarvoja. Kelirikon kestoon tuulten vaikutus on tasaista ja selvempää kuin kelirikkokilometreihin. Maaliskuussa vaikutus on vielä lievää, mutta on huhti-kesäkuussa sekä kuukausittain että keskiarvona laskettuna selvää: mitä tuulisempaa tuolloin on sitä vähemmän aikaa kelirikko kestää. Tällöinhän tien pinnasta kosteus pääsee paremmin haihtumaan pois.

**Haihdunta-arvojen** vaikutusta on tutkittu kelirikkokauden ajalta. Haihdunnan seuranta alkaa yleensä Maaningan tutkimusasemalla toukokuussa. Haihdunnan määrällä ei näytä olevan ainakaan suoraa vaikutusta, näin tarkasti tutkimusasemalta mitattuna kelirikon kestoon.

**Sadepäivien lukumäärää** käsiteltiin jakamalla ne vähä- ja runsassateisiin päiviin. Sateisuuden rajana pidettiin 0,1 mm/päivä, runsassateisuuden 1 mm/päivä. Yleispiirteenä näistä voidaan todeta, että vaikutukset yksittäisiä kuukausia lukuunottamatta olivat lieviä, varsinkin kelirikon kestoon.

Kelirikon kestoon vaikuttivat selvästi vain yli 1 mm:n sadepäivien lukumäärä tammi-heimikuussa. Tuolloin, mitä useampana päivänä satoi runsaasti sitä pidempään kelirikko kesti. Tässä on huomattava samansuuntaiset tulokset sademäärien osalta juuri tammi-maaliskuussa. Kuukausijaksoina ainoastaan loka-huhtikuun ja huhti-kesäkuun runsaiden sadepäivien lukumäärä vaikutti lievästi kelirikon kestoon: mitä enemmän näitä sadepäiviä loka-huhtikuussa oli sitä pidempään kelirikko kesti. Huhti-kesäkuussa vaikutus oli lievästi päinvastainen: mitä enemmän sadepäiviä sitä lyhyemmän ajan kelirikko kesti. Tämänkin vaikutus oli samansuuntainen saman kuukausijakson sademäärien kanssa.



Kuva 10: Loka-huhtikuun sademäärän (mm) vaikutus kelirikon kestoon:  $y=0,1x + 31,9$ ,  $c=0,560$

**Sateiden määrä tammi-maaliskuussa näyttää vaikuttavan voimakkaimmin kelirikon kestoon. Näyttää selvästi siltä, että sateista tammi-, helmi- ja/tai maaliskuuta seuraa pitkä kelirikkokausi. Myös joulukuun osalta vaikutus on samansuuntainen, mutta lievempi. Kesäkuun vaikutus näyttäisi olevan päinvastainen: mitä enemmän sataa sitä lyhyempi on kelirikon kesto. Tosin kesäkuussa kelirikkokausi alkaa olla muutenkin lopussa, joten sademäärä vaikuttaa enää kelirikon päättymiseen. Alkupalven sademääristä suurin osa tulee kyllä lumena, mutta kuitenkin vaikutus näyttäisi olevan selvä.**

Kuukausijaksoja tarkasteltaessa talvea edeltävän huhti-lokakuun vaikutus on selvä. Tällöin sademäärän kasvaminen pidentää kelirikon kestoa. Vielä selvempiä ja samansuuntaisia ovat seuraavien kolmen jakson vaikutukset: kyseisen talven (loka-huhtikuun) sademäärä, edeltävän ja kahden edeltävän vuoden sademäärät. Tässä edeltävällä vuodella tarkoitetaan kelirikkokevättä edeltävää vuotta. Ainoastaan huhti-kesäkuun vaikutus on yllättäen lievästi vastakkainen: mitä enemmän silloin sataa sitä lyhyempi kelirikkokausi on.

**Pohjavedenkorkeudella näyttää olevan merkitystä varsinkin kelirikon kestoon. Maalis-, huhti- ja toukokuussa korkealla olevat pohjavedet näyttävät ennakoivan kestoltaan pitkää kelirikkkoa. Selvimmillään tämä vaikutus on huhtikuussa. Niinpä myös kelirikkokaudelta laskettu keskiarvo korreloi selvästi kelirikon kanssa. Samoin korreloi edelliseltä vuodelta laskettu keskiarvo. Nämä kaikki johtunevat siitä, että tällöin tierakenteeseen voi virrata enemmän vettä kuin silloin, kun pohjavesivarastot ovat kauempana. Syksyn pohjavedenkorkeuksilla ei kuitenkaan näytä olevan vaikutusta kelirikoon.**

**Lumipeitteen syvyys ei varsinaisesti vaikuta tierakenteeseen, aurataanhan teiltä lumet heti lumisateiden jälkeen. Aorausvallien koko ja niistä mahdollisesti tierakenteeseen sulava vesi voi kuitenkin teoriassa vaikuttaa kelirikon kehittymiseen. Nykyisin kuitenkin vallit leikataan ja madalletaan ajoissa, joten lumensyvyyden vaikutus rajoittunee enemmänkin kuvaamaan talven luonnetta.**

Kelirikon kestoon lumipeitteen syvyys ei vaikuta juuri ollenkaan. Samoin käy, kun tarkastellaan lumen vesiarvon, pysyvän lumen tulon, sulamisen ajankohdan ja pysyvän lumen keston (vrk) vaikutusta kelirikon tunnuslukuihin. **Kelirikon alkamisen ajankohta näyttää vaikuttavan kelirikon kestoon selvästi ( $c=-0,58$ ), eli mitä myöhemmin kelirikko alkaa, sitä lyhyemmän aikaa se kestää, kuten olettaa saattoikin.**

Taulukko 4: Kelirikon kestoa pidentävät (+) ja lyhentävät (-) tekijät

lämpimät talvikuukaudet I-IV	+
lämmiin talvikausi X-IV	+
kylmä alkutalvi ja nopea routaantuminen alkutalvesta X-XII	+
hidas roudan pintasulamien	+
pilvinen ja sateinen (> 1 mm/vrk) tammi-maaliskuu I-III	+
sademäärä I-III	+
sateinen edeltävä huhti-lokakuu, IV-X ja	+
koko talvi loka-huhtikuu, X-IV	+
leuto alkutalvi X-XII	-
pakkaspäivien lukumäärä I-V	-
kylmä talvi X-IV	-
pakkaspäivät IV-VI	-
pakkasmäärä I-III ja suuri roudansyvyys	-
selkeitten päivien lukumäärä III-IV tai X-V	-
tuulisuus ja yöpakkaset kelirikkoaikana	-

#### 4.2.4 Kolmen esimerkkivuoden tarkempi käsittely

Tulosten pohjalta tarkastellaan kolmea vuotta:

- 1) Hyvin vaikeaa kevättä -75, jolloin kilometrejä oli 2048 km ja kelirikon kesto 68 vrk. Kelirikko alkoi normaaliin aikaan 7.4.
- 2) Hyvin helppoa kevättä -80, jolloin kilometrejä kertyi vain 43 km ja kelirikko kesti vain 36 vrk. Kelirikko alkoi hieman normaalia myöhemmin 16.4.
- 3) Keskiarvokevättä -88, jolloin kilometrejä kertyi 606 km ja kelirikko kesti 67 vrk. Kelirikko alkoi normaalia myöhemmin 19.4.

**Kelirikkokevättä 1975** edeltäneet kaksi vuotta olivat jo hyvin sateisia. Kahden vuoden sadanta oli yhteensä 1400 mm, joka on paljon normaalia enemmän<sup>1</sup>. Varsinkin vuodesta 1974 kehittyi hyvin runsassateinen, erityisesti kesä heinäkuusta syyskuuhun oli hyvin sateinen. Tällä aikavälillä, siis kolmessa kuukaudessa, satoi yhteensä 385 mm. Syyskin jatkui runsassateisena ja samalla normaalia lauhempaa.

Talvi jatkui lauhana. Myös kevätkaudet toukokuu (+10,5 °C) olivat normaalia lämpimämpiä aina kesäkuulle asti, jolloin lämpötilat asettuivat normaalille tasolle. Pakkaspäiviä oli selvästi tavallista vähemmän ja pakkasmääräkin oli selvästi normaalia pienempi, alle puolet normaalista.

Sademäärät olivat koko talven huomattavasti tavanomaista suurempia helmikuuta lukuunottamatta, tällöin myös sadepäiviä kertyi tavallista enemmän.

1

Sadannan pitkän aikavälin keskiarvo Pohjois-Savossa on 510 mm vuodessa.

Lunta oli hieman normaalia vähemmän aina huhtikuulle asti. Lumipeite suli 28.4.

Talven aikana roudansyvyys oli koko tarkastelujakson pienin. Samoin roustaantuminen tapahtui normaalia hitaammin. Pakkasmäärä oli vain 11947 h °C eli 498 d°C, mikä voi esiintyä kerran 50 vuodessa.

Kelirikkokaudella oli vain vähän yöpakkasia. Samoin tuulet olivat heikkoja ja vähäisiä. Huhti-toukokuun vallitseva tuulen suunta oli etelässä. Sateisuudesta huolimatta selkeitä päiviä kertyi normaali määrä.

Pohjavedet olivat koko talven keskimääräistä korkeammalla. Vasta touko-kesäkuussa ne painuivat normaalille tasolle.

Edellisessä luvussa saadut tulokset näyttivät pätevän siis hyvin kevääseen 1975.

**Kelirikkokevät 1980** oli puolestaan hyvin helppo ja lyhyin tarkastelujaksolla. Tällöin kahden edellisen vuoden sadesumma jäi hyvin pieneksi, vain 932 mm:iin.<sup>4</sup> Edeltävä kesä ja koko syksy olivat sademääriltään normaalia kuivempia, ainoastaan marraskuu oli hieman normaalia sateisempi.

Myös kevätpuoli jatkui hieman normaalia kuivempana, esim. huhtikuussa satoi vain 9 mm. Toukokuu oli sademäärältään normaali, 40 mm, mutta kesäkuu normaalia sateisempi, 95 mm. Sadepäiviä oli normaali määrä.

Hieman normaalia kylmempää lokakuuta seurasi normaali marras- ja joulukuu, mutta tammikuusta aina huhtikuulle asti kesti normaalia kylmempi jaksos. Huhti- ja toukokuu olivat normaalilämpöisiä, mutta kesäkuu oli puolestaan lämmin, 17,8°. Pakkaspäiviä kertyi hieman normaalia enemmän. Pakkasmäärältään talvi oli hieman normaalia ankarampi. Pakkasmäärä oli 29283 h°C F<sub>4</sub> eli kerran neljässä vuodessa on niin ankara talvi. Lumipeite suli 27.4. Lumioloiltaan alkutalvi oli runsas, mutta lopputalvi normaalia niukempi.

Maa routaantui normaalia syvemmälle ja routaantumisnopeus oli selvästi normaalia nopeampaa.

Kelirikkokaudella yöpakkasia oli lähes normaalisti. Tuulioloiltaankin kevät oli normaali, mutta selkeitä päiviä kertyi huomattavasti tavallista enemmän. Auringonpaistetta kertyi muuten normaalisti. Tuulen suunta oli idästä huhti-toukokuussa.

Pohjavesi oli helmikuuhun asti tavallista korkeammalla, sen jälkeen selvästi tavallista matalammalla kesäkuuhun asti, jolloin se palautui normaaliksi.

Näin voidaan todeta, että em. tulokset sopivat hyvin myös tähän vuoteen.

**Kelirikkokevät -88** oli niin kilometreiltään kuin kestoltaankin normaali huolimatta hieman myöhäisestä alkamisesta.

Sademääriltään kahden edellisen vuoden sadesumma oli normaali, mutta edellinen vuosi oli hieman normaalia sateisempi. Muuten sademääriltään syksy, talvi ja kevät olivat vaihtelevia. Elokuu oli hyvin sateinen, syys- ja marraskuu normaaleja, mutta lokakuu kuiva. Joulukuu puolestaan oli sateinen.



Kevät oli normaalia kuivemmalle kesäkuulle asti hieman normaalia sateisempi, erityisesti toukokuu. Sadepäiviä oli vaihtelevasti, mutta kokonaisuutena katsoen normaalisti. Lunta oli talvella runsaasti ja se sulii pois 5.5, lähes normaaliaikaan.

Pohjavesi oli joulun-maaliskuun ajan normaaleissa lukemissa. Muuten se oli normaalia korkeammalla.

Lämpötiloiltaankin jakso oli vaihteleva. Syyskuu oli normaali, mutta lokakuu lämmin. Marras- ja joulukuu olivat normaalia kylmempiä. Tammi-, helmi- ja maaliskuu olivat hieman normaalia lämpimämpiä, mutta huhtikuu hieman normaalia kylmempi. Toukokuu oli lähes normaalilämpöinen, mutta kesäkuu oli lämmin.

Pakkaspäiviä oli lokakuuta lukuunottamatta normaalisti. Pakkasmäärältään talvi oli hieman normaalia kylmempi. Pakkasmäärä oli 26628 h°C (ka 23500 h°C). Rouda eteni normaalille syvyydelle. Roudantumisnopeus oli hieman normaalia hitaampaa.

Kelirikkokausi oli pilvistä huhtikuuta lukuunottamatta aurinkoisuudeltaan normaali. Tuulisuudeltaan ja yöpakkasten määrältään kelirikkokausi oli normaali. Huhtikuussa tuuli kävi lounaasta, mutta toukokuussa idästä.

Kelirikon hieman normaalia myöhäisempi alku johtuneen kylmästä huhtikuusta.

Aikaisemmin saadut tulokset tukevat hyvin myös tämän vuoden käyttäytymistä.

## 5 YKSITTÄINEN TIEKOHD E SIMERKKINÄ

Esimerkkietienä on Jalkalan paikallistie, Pt 16201 Savo-Karjalan tiepiirin Suonenjoen tiemestaripiiristä. Tämän tien n. 17 km:stä ensimmäiset 2500 m on päällystetty öljysoralla ja luokiteltu lievästi routivaksi tieksi. Loppu 14862 m on soratietä ja luokiteltu erittäin routivaksi tieksi. Kelirikkorajoitukset on yleensä asetettu tämän tien soraosuudelle. Seuraavassa taulukossa 5 on esitetty po. tiellä 20 viime vuoden aikana olleet kelirikkorajoitukset. Kelirikkorajoitukset ovat vertailukelpoisia eri vuosien välillä, koska tiemestarina on pysynyt koko ajan sama henkilö, eikä eri henkilöiden subjektiivinen näkemys ole päässyt vaikuttamaan rajoitusten asettamiseen.

Taulukko 5: Paikallistien 16201 kelirikkorajoitukset keväinä 1974 - 1993

Kevät	Kilo- metrit	Aika	Kesto	Paino- rajoitus tonnia	Pakkas määrä d °c	Piirin kelirikon luonne
1974	-				925	Normaali kelirikko
1975	17 km	11.4.-23.5.	43 vrk	3 t	498	Vaikea
1976	15 km	13.4.-4.6.	54 vrk	4 t	1292	Vaikea
1977	-				1079	Vaikea
1978	-				1311	Helppo
1979	-				1461	Normaali
1980	-				1220	Helppo
1981	-				1286	Vaikea
1982	15,7 km	?		4 t	1210	Helppo
1983	-				812	Vaikeahko
1984	15,7 km	18.4.-21.6.	65 vrk	4 t	1106	Helppo
1985	-				1631	Helppo
1986	15,7 km	?-5.6.		8 t	1343	Helppo
1987	-				1671	Helppo
1988	15,7 km	7.5.-24.6.	49 vrk	8 t	1110	Normaali
1989	15,7 km	26.4.-2.6.	38 vrk	8 t	757	Normaali
1990	-				810	Helppo
1991	-				975	Helppo
1992	15,7 km	14.5.-1.6.	19 vrk	8 t	569	Helppo
1993	-				808	Lähes normaali

Valitettavasti tietojen säilytysajan lyhyys (10 vuotta) aiheutti joitakin puutteita taulukkoon. Tästä huolimatta nähdään, käykö laajemmalle alueelle tarkoitettu kelirikon ennustus- ja arviointimalli myös yksittäiseen tiekohteeseen. Tässä on kuitenkin otettava huomioon paikallisten olosuhteiden suuri vaikutus, esim. pohjaveden korkeutta kyseisellä paikalla ei tiedetä. Tosin pohjaveden korkeusaseman mittauspaikka, vaikka ei sijaitsisi lähelläkään, antaa suuntaa vuosittaisille pohjaveden korkeuden vaihteluille.

Verrattaessa kelirikkoa tällä paikallistiellä koko tiepiirin keliriksoon havaitaan, että kahdeksasta vuodesta, jolloin kelirikkoa esiintyi tällä tiellä kaksi vuotta 1975 ja 1976 olivat koko tiepiirissä vaikeita. Tällöin vuonna 1975 jouduttiin jopa asettamaan täyskielto reilun viikon ajaksi koko tieosuudelle. Vuodet 1988 ja 1989 olivat koko tiepiirin alueella normaaleja, mutta vuodet 1982, 1984, 1986 ja 1992 helppoja.

Taulukkoa 5 tarkasteltaessa havaitaan, että painorajoituksia ei ole asetettu kevään -76 jälkeen moneen vuoteen Jalkalan tielle. Asia selittyy sillä, että vuonna 1976 tien pahimpia routavaurioita korjattiin suodatinkankailla stabiloinneilla ja kuivatusta tehostamalla. Painorajoitusten asettaminen keväinä -82, -84, -86 ja -92 on ristiriidassa piirissä muualla vallitsevaan helppoon kelirikkotilanteeseen. Ilmeisesti on odotettu ankarien talvien -82, -84 ja -86 jälkeen pahaa kelirikkoa. Painorajoitukset ovat saattaneet olla joko turhaan tai liian pitkään. Huomaa painorajoitusten ajankohdassa ilmenevät puutteet. Keväästä -92 olisi saattanut tulla vaikea leudon talven perusteella. Kelirikkoajan poikkeukselliset sademäärät ovat ilmeisesti pelastaneet tilanteen. Huhtikuussa satoi yli kaksi kertaa normaalin määrän 74 mm (ka = 31 mm). Touko- ja kesäkuu puolestaan olivat normaaleja huomattavasti kuivempia eli sademäärät olivat 15 mm ja 14 mm, kun pitkän ajan keskiarvot ovat 38 ja 56 mm.

On huomattava, että tiellä ei ole suoritettu suuria kunnostustoimenpiteitä, jolloin tien kunto on vuosien saatossa hieman huonontunut ja kelirikkoalttius kasvanut. Tästä voi johtua 1980-luvulla lisääntynyt kelirikkorajoitusten määrä.

Tarkasteltaessa ko. tien kelirikkokilometrien määrää havaitaan, että kelirikkorajoitusten alaiseksi joutuu lähes aina sama 15,7 km:n osuus, josta suurin osa on soratietä (14,8 km). Kelirikkorajoituksen kesto on vaihdellut voimakkaasti 19 vrk:sta aina 65 vrk:een.

Kun tarkastellaan näitä kahdeksaa vuotta, jolloin Pt 16201 on joutunut kelirikkorajoitusten kohteeksi, havaitaan näiden kaikkien vuosien ja niitä edeltäneiden vuoden tai kahden vuoden olevan usein normaalia sateisempia. Sadepäivien lukumäärät olivat normaaleja. Sateisuudellahan on oletettu olevan vaikutusta varsinkin kelirikon keston, mutta myös kilometreihin. Pääsääntöisesti talvet olivat myös normaalia lauhempia, vaikkakin joukkoon mahtui pari normaalia ja kolme normaalia kylmempää talvea. Neljänä vuotena pakkaspäiviä oli normaalia vähemmän, muuten niitä oli normaalisti. Pakkasmääriltään talvet olivat normaalia lämpimämpiä tai normaaleja. Tosin joukkoon mahtui kolme hieman tavallista kylmempää talvea<sup>1</sup>.

Pohjavesi oli pääsääntöisesti varsinkin keväisin korkealla. Tosin useana talvena pohjavesi oli suurenkin osan ajasta normaaleissa lukemissa. Aikaisemminhan todettiin varsinkin kevätkorkeuksien vaikuttavan keliriksoon.

Kokonaisuutena niinä kahdeksana vuotena, jolloin kelirikkoa esiintyi tiellä Pt 16201, säät olivat vaihtelevia. Säiden vaikutus koko tiepiirin keliriksoon oli edellisessä luvussa saatujen tulosten mukainen.

<sup>1</sup> Pakkasmäärä on normaalisti 23500 tuntiaastetta tai 980 vuorokausiaastetta Kuopion korkeudella.

## 6 ENNUSTEMALLIN TOIMIVUUS

Näiden tutkimuksessa kuvattujen erillisten indikaattoreiden avulla on siis mahdollista arvioida etukäteen tulevan kevään kelirikon luonnetta suhteellisen hyvin entisen Kuopion tiepiirin alueella. On selvää, että menetelmä ei sellaisenaan sovellu rannikkoseuduille tai Lapin olosuhteisiin, joissa maape- rä-, pohjavesi- tai ilmasto-olosuhteet ovat erilaiset.

Yksittäisen tien kelirikon ennusteluun menetelmä soveltuu sitä paremmin, mitä kelirikkoalttiimpi tie on. Arvion luotettavuus riippuu viimekädessä paikallisten olosuhteiden tuntemisesta. Paikallisilla tiemestareilla on siis paras asiantuntemus alueensa jokaisen tien kelirikkokäyttäytymisestä. Voidaan todeta, että pintakelirikkaa esiintyy kaikilla sorateilla, mutta pohjakelirikkaa harvemmin. On kuitenkin sekä maanteitä että paikallisteitä, joille joudutaan painorajoitukset asettamaan lähes säännöllisesti. Tällaisia teitä ovat entisen Kuopion tiepiirin alueella mm. tiet (tienumerot) 508, 536, 5635, 5862, 16033, 16041, 16051, 16053, 16075, 16201, 16269, 16271, 16273, 16338, 16349, 16397, 16399, 16411, 16413, 16459, 16461 ja 16494. Näiden joukossa on siis myös tarkasteltu tie Pt 16201. Jotkut näistä teistä esiintyvät tässä joukossa jopa 11 kertaa 20 vuoden tarkastelujakson aikana, esim. tie Pt 16075.

Edellä olevat tiet saattavat siis joutua painorajoitusten piiriin myös helppoina keväinä.

Syksyn ja talven ennusmerkkien avulla voidaan siis kelirikon luonnetta arvioida etukäteen, mutta käytännössä on todettu, että viimekädessä kelirikko-kauden, lähinnä huhti-toukokuun tuulensuunta, sateet, lämpötila ja yöpakaset ovat antaneet oman leimansa kelirikolle. Tämä käy ilmi myös tästä tutkimuksesta tarkasteltaessa kuutta helpointa ja neljää vaikeinta kelirikkokevättä.

Helppoina kelirikkokeväinä vallitseva tuulen suunta on huhti-toukokuussa ollut idästä, 66 % ja vaikeina keväinä pääasiassa etelästä (tai lännestä 1 kk), 75 %. Edelleen havaitaan, että helppoa kelirikkaa on edeltänyt ankara tai keskimääräistä ankarampi talvi  $F = 30343 \text{ h}^\circ\text{C}$  ja vaikeaa kelirikkaa yleensä lauhempi talvi  $F = 22893$  (kuuden talven keskiarvo).

## 7 LOPUKSI

Sorateiden kelirikkovauriot ja kelirikonaikaiset painorajoitukset aiheuttavat vuosittain huomattavia kustannuksia sekä tienpitäjälle että myös tienkäyttäjille. Vuosittain sorateiden hoitoon Savo-Karjalan tiepiirissä käytetään 7500 mk kilometrille. Sorateita piirissä on 49 % (v. 1994) yleisten teiden pituudesta, joten sorateiden kunnostukseen ja kesähoitoon käytetään vuodessa 40 Mmk Savo-Karjalan tiepiirissä. Talouselämälle ja tienkäyttäjille heikosta tiestöstä koituva rahallinen kustannus on varmaankin samaa luokkaa.

Tämän tutkimuksen tarkoitus on helpottaa mm. tiemestareita arvioimaan painorajoitusten ajankohtaa ja tarpeellisuutta sekä ohjaamaan alkukesän toimintaa. Ennustemallien toimivuutta voidaan varmasti parantaa useamman muuttujan, indikaattorin ennustemallilla.

## 8 VIITTEET

- /1/ Belt, J. Tierakenteen vaurioitumisesta ja rakentamisen aikaisesta laadun vaihtelusta. Julkaisu 5. Oulu 1986.
- /2/ Ehrola, E. ym. Sorateiden kulutuskerroksen materiaalit ja kunnossapito. Oulu 1990.
- /3/ Hartikainen, O-P. Maarakennustekniikka. Otatieto 435. Hämeenlinna 1990.
- /4/ Helenelund, K.V. Maarakennusmekaniikka. Otakustantamo 137. Espoo 1979.
- /5/ Heikkilä, J. Roudan aiheuttama pituushalkeama. DI-työ Oulu 1982.
- /6/ Heikkinen, I. Tutkimus tierakenteen parantamistoimenpiteistä TVL:n Kuopion piirissä. DI-työ. Oulu 1990.
- /7/ Hyvönen, S. Tien kuivatus. Kuopio 1986.
- /8/ Ilmatieteen laitos. Kuukausikatsaus Suomen ilmastoon 1/1973 - 12/1993, 483 kpl.
- /9/ INSKO. Julkaisu 16-85. Routa rakentamisessa.
- /10/ Jonsson, B. Tjälisolering i vägar. SP rapport 1993:06.
- /11/ Järvinen, L. Tien rakenteen suunnittelu. T 45. TKK. Tietekniikka. Otaniemi 1991.
- /12/ Kelirikko laajimmillaan toukokuun alussa. Kuljetus 4/1983.
- /13/ Keränen, P. Sorateiden kulutuskerroksen materiaalit ja kunnossapito. Tierakennusmestari 1/1991.
- /14/ Kuopion tiepiiri. Kelirikkoennuste 27.3.1978.
- /15/ Kuopion tiepiiri. Kelirikkoennuste keväällä 1979.
- /16/ Kuopion tiepiiri. Kelirikkorajoitusten määrääminen Benkelman-mittausten avulla. Vastine 22.4.1977.
- /17/ Kuopion tiepiiri. Kuopion tiepiirin TIE 2010. Kuopio 1993.
- /18/ Kuopion tiepiiri. Muistio TVH:lle 28.6.1981.
- /19/ Kuopion tiepiiri. Yleisten teiden kelirikko v. 1977.
- /20/ Leinonen, E. Ovatko pientiet jäämässä "herran haltuun"? Tie ja liikenne 10/1984.
- /21/ Leppävuori, M. Sorakatuojen kulutuskerroksen vaihtoehdot. Tie ja liikenne 12/1987.
- /22/ NVF. Trafikbegränsningar under tjällossningen. Rapport 1:1986.
- /23/ OECD. Frost action on roads. Paris 1974.

- 
- /24/ Orama, R. Routimismousun arviointi tierakenteissa. Tie ja liikenne 9/1981.
- /25/ Pelkonen, V. Teiden hoito ja kunnostus. T 37. TKK. Tietekniikka. Otaniemi 1991.
- /26/ Pihlajamäki, J. ym. Pohjaveden tason vaikutus tierasituksiin. Tie ja liikenne ' 92 - luentopäivät.
- /27/ Rantamäki, M. ym. Pohjarakennus. Otatieto 465. Hämeenlinna 1992.
- /28/ RIL K66-1986. Routa maa- ja pohjarakentamisessa.
- /29/ RIL K133-1991. Routatekniikka liikennealueilla.
- /30/ Saarelainen, S. Routavaurioiden korjausrakenteet valtatiellä 21 Peerassa. VTT tiedotteita 1102.
- /31/ Saarelainen, S. Routavaurioiden korjaus valtatiellä 21 Tullissa, Kilpisjärvellä. VTT tiedotteita 1107.
- /32/ Saarelainen, S. Arktinen tienrakentaminen. Kilpisjärven hankkeen yhteenveto. Tielaitoksen tutkimuksia 5/1993.
- /33/ SGY ry. Routa ja rakentaminen. Mänttä 1987.
- /34/ Taivainen, O.A. Teiden routavaurioiden korjaamisesta. Tie ja liikenne 1/1977.
- /35/ Teiden kuivatus. Opintomoniste. Otaniemi 1991.
- /36/ Tielaitos. Kuitukankaat tienrakennuksessa. Tielaitoksen selvityksiä 68/1993.
- /37/ Tielaitos. Kuivatustutkimus osa II. Tielaitoksen sisäisiä julkaisuja 47/1993.
- /38/ Tielaitos. Kuivatus. Teiden suunnittelu IV. Tien rakenne 4. Helsinki 1993.
- /39/ Tielaitos. Laadunvalvontaohjeet, alusrakenne ja päällysrakenteen sitomattomat kerrokset. TIEL 732816.
- /40/ Tielaitos. Rakenteen parantaminen. Teiden suunnittelu IV. Tien rakenne 7. Luonnos koekäyttöön. Helsinki 1991.
- /41/ Tielaitos. Rakenteen parantamissuunnitelmat. Teiden suunnittelu, IX Suunnitelmat. Luonnos koekäyttöön. Helsinki 1991.
- /42/ Tielaitos. Sorateiden kelirikkovaurioiden korjaaminen, väliraportti I. Tielaitoksen sisäisiä julkaisuja 27/1991.
- /43/ Tielaitos. Sorateiden kelirikkovaurioiden korjaaminen, väliraportti II. Tielaitoksen sisäisiä julkaisuja 32/1992.
- /44/ Tielaitos. Sorateiden kelirikkovaurioiden korjaaminen, väliraportti III. Tielaitoksen sisäisiä julkaisuja 51/1992.
- /45/ Tielaitos. Sorateiden kelirikkovaurioiden korjaaminen, väliraportti IV. Tielaitoksen sisäisiä julkaisuja 52/1992.

- /46/ Tiemestaripiirien varastonhoitajat. Puhelut 21.1.1994.
- /47/ TVH. Kelirikotteiden välilliset kustannukset. TVH 2.394. Helsinki 1973.
- /48/ TVH. Savorakulutuskerroksen kunnossapitotyöt. Järjestelytoimisto 1972. TVH 2.849.
- /49/ TVH. Soratien kulutuskerroksen valinta. Kunnossapitotoimisto. TVH 741993.
- /50/ TVH tiedottaa. Kelirikko keväällä 1978. Helsinki 18.7.1978.
- /51/ Turunen, P. Roudasta, tien routavaurioista ja niiden ennaltaehkäisyä. Kuopio 1975 (julkaisematon).
- /52/ Turunen, P. Routa ja tierakenteen mitoitus. Tie ja liikenne 10/1988.
- /53/ Turunen, P. Routamittaritiedot.
- /54/ Turunen, P. 6.10.1993
- /55/ UN. Frost damage and its prevention. New York 1969.
- /56/ Veglaboratoriet. Frost i veg 1972. Meddelelse nr 46. Oslo 1972.
- /57/ Vesi- ja ympäristöhallitus. Pohjavesitiedot/hydr. toimisto.
- /58/ Vesi- ja ympäristöhallitus. Haihduntatiedot/Maaninka, Halola.
- /59/ Vesi- ja ympäristöhallitus. Lumen vesiarvojen täydennys. Perälä, J, Puhelu 12.4.1994.
- /60/ Vesi- ja ympäristöhallitus. Hydrologiset vuosikirjat 1973-1990. 11 kpl.



## TIELAITOKSEN SISÄISIÄ JULKAISUJA

- 32/1993 V-poikkileikkaus ja teräsverkot tierakenteissa; Tulokset V-poikkileikkauksen ja teräsverkkojen käyttökokeista tien pituussuuntaisten halkeamien ehkäisyssä. TIEL 4000043
- 48/1993 Geopalveluiden maksu- ja mittausperusteet; Geopalveluyksiköiden tuloslaskelmat. TIEL 4000049
- 48/1994 Päälystettyjen teiden heijastushalkeilun esto, esiselvitys. TIEL 4000088

## TIELAITOKSEN TUTKIMUKSIA

- 4/1992 Tiepenkereen holvautuminen, loppuraportti. TIEL 3100005
- 5/1993 Arktinen tienrakentaminen, Kilpisjärven hankkeen yhteenveto. TIEL 3100011
- 2/1994 Routanousun mallintaminen, kirjallisuusselvitys. TIEL 3100013

## TIELAITOKSEN SELVITYKSIÄ

- 1/1992 Pystyjanauhojen laatuvaatimukset; laadunvalvonta ja testausmenetelmät. TIEL 3200057
- 31/1992 Pohjaveden maatiivistesuojan tiivistäminen. TIEL 3200086
- 46/1992 Syvästabiloinnin laadunvalvontaohje. TIEL 3200099
- 62/1992 Hienoaineksen vaikutus stabiloidun moreenimurskeen pakkaskestävyyteen. TIEL 3200112
- 68/1992 Tien pohja- ja päällysrakenteet -tutkimusohjelma (TPPT), perussuunnitelma. TIEL 3200118
- 69/1992 Rakennettujen ja perusparannettujen teiden tasaisuus. TIEL 3200119
- 78/1992 PTM-auton tuottamien tunnuslukujen käyttökelpoisuus ja vertailtavuus sekä niiden yhteys laser-mittauksiin (IRI, IRI4, PI/Laser). TIEL 3200134
- 8/1993 Sitomattoman kantavan kerroksen rakentaminen. TIEL 3200135
- 15/1993 Masuunikuonan käyttö sitomattomissa päällysrakennekerroksissa. TIEL 3200142
- 16/1993 Betonipäällysteen seuranta; Vt 4 Kempele-Kiviniemi, seurantaraportti nro 1. TIEL 3200144
- 19/1993 Teiden kuntoa ja palvelutasoa koskeva seurantatutkimus. TIEL 3200145
- 20/1993 Moreeni ja sen käyttö. TIEL 3200146
- 26/1993 Bentoniittimattojen ja muovikavojen kelpoisuus pohjaveden suojaukseen, tutkimuksia ja suosituksia. TIEL 3200152
- 34/1993 Kalliomurskeiden tiivistyminen ja hienoneminen, esitutkimus. TIEL 3200159
- 36/1993 Palaturpeen käyttö lämmöneristeenä, raportti koerakenteiden rakentamisesta. TIEL 3200161
- 38/1993 Sitomattomien kerrosten kiviainesten muodonmuutosominaisuudet; Kirjallisuusselvitys. TIEL 3200163
- 39/1993 Sitomattomien kerrosten kiviainesten muodonmuutosominaisuudet; Esiselvitysvaiheen kuormituskokeet. TIEL 3200164
- 40/1993 Teiden tasaisuusmittareiden vertailu; PTM:n, Roadmanin ja Dipstickin laitevertailu sekä epätasaisuuksien vaikutus tierasitukseen. TIEL 3200165
- 41/1993 Stabiloidun materiaalin maksimiraekoon sekä koekappaleen koon ja muodon vaikutus puristuslujuuteen. TIEL 3200166

## TIELAITOKSEN SELVITYKSIÄ

- 47/1993 Väsymissuorat tierakenteen mitoitusta varten. TIEL 3200172
- 59/1993 Valtatien 3 routamitoitus routanousun mukaan välillä Riihimäki P - Virala. TIEL 3200184
- 60/1993 Jännitys- ja muodonmuutosmittaukset tierakenteessa 1991-1992; Pohjaveden pinnan vaikutus, tienpinnan taipumamittaus eri lämpötiloissa, vertailu standardi paripyörä - Neste Oy:n kantavuusradan pyörä. TIEL 3200185
- 68/1993 Kuitukankaat tienrakennuksessa; Uudistetun VTT-GEO luokituksen mukaiset laatuvaatimukset. TIEL 3200193
- 77/1993 Moreenin jalostaminen. TIEL 3200201
- 81/1993 Vt 12 Veittostensuon syvästabilointi, tutkimusraportti. TIEL 3200205
- 82/1993 Emulsiopäällysteiden suunnittelu ja rakentaminen. TIEL 3200206
- 4/1994 Strategic Highway Research Program (SHRP) - Long-Term Pavement Performance (LTPP); Materiaalimodulin määrittäminen takaisinlaskentaohjelmalla sekä tierakenteen vaurioitumisajankohdan ennustemallit. TIEL 3200213
- 8/1994 Roudan vaikutusten mallintaminen. TIEL 3200219
- 12/1994 Jännitys- ja muodonmuutosmittaukset tierakenteessa 1992-1993. Roudan sulamisen simulointi, pohjaveden pinnan vaikutus korkeassa lämpötilassa ja päällysteen reunan vaikutus. TIEL 3200223
- 28/1994 Sitomattomien kerrosten kiviainesten muodonmuutosominaisuudet; Vuoden 1993 kuormituskokeet. TIEL 3200238
- 30/1994 Kallioleikkaukset. TIEL 3200240
- 45/1994 Maan routimisen termomekaaninen malli ja sen laskelmat. TIEL 3200254
- 47/1994 Masuunihiekan käyttö päällysrakennekerroksissa. TIEL 3200256
- 53/1994 Kalliomurskeiden tiivistyminen ja hienoneminen, loppuraportti. TIEL 3200262
- 3/1995 Kuormituskestävyyden tavoitekriteerit. TIEL 3200281
- 15/1995 Betonipäällysteen seuranta, vt 4 Kempele-Kiviniemi, seurantaraportti nro 2. TIEL 3200293
- (Geotekniikan informaatiojulkaisuja:)*
- 2/1993 Massanvaihto. TIEL 3200127
- 21/1993 Pengerpaalutus. TIEL 3200147
- 23/1993 Pohjanvahvistusmenetelmän valinta. TIEL 3200149
- 24/1993 Tiegeotekniikan yleiset mitoituserusteet. TIEL 3200150
- 39/1994 Tiepenkereen siirtymärakenteet pehmeiköllä. TIEL 3200248
- 42/1994 Nauhapystyöjitys. TIEL 3200251
- 67/1994 Maanvarainen tiepenger savikolla, suunnitteluohje. TIEL 3200276