



---

**MTTK — MAATALOUDEN TUTKIMUSKESKUS**

**Tiedote 9/84**

**ANTTI VALMARI**  
Lapin tutkimusasema

**Roudan kehittymisen tilastollinen malli**

**JOKIOINEN 1984**  
**ISSN 0359-7652**

MAATALOUDEN TUTKIMUSKESKUS

TIEDOTE 9/84

ANTTI VALMARI

Roudan kehittymisen tilastollinen malli

Lapin tutkimusasema

PPA 1 Apukka

97999 ROVANIEMI

(991) 83217

ISSN 0359-7652



## ESIPUHE

Maan routaantuminen on monimutkainen ilmiö. Vesi on routakerroksessa vain osittain jäätyneenä, joten jo roudan määrittely aiheuttaa vaikeuksia. Kuitenkin on havaittavissa että ilman lämpötila, lumipeite ja maalaji ovat selvimmin routaantumiseen vaikuttavia tekijöitä. Kun havaintoja tehdään samalla paikalla ja samalla kasvulla (tavallisesti nurmella), eliminoituu maan kiinteän osan vaikutus, ja hallitsevaan asemaan jäävät lämpötila ja lumipeite.

Pelsolla kertyneestä roudannittausaineistosta on laskettu runsaanlaisesti lineaarisia ja käyräviivaisia polynomimalleja lämpötilan ja lumipeitteen vaikutuksen selvittämiseksi. Tyydyttävää mallia ei ole löytynyt. Nyt esillä olevan työn perusteella näyttääkin siltä että polynomimalli ei riitä vaan tarvitaan tekijä (esillä olevassa mallissa lumen paksuuteen lisättävä termi  $c$ ), joka ei ole johdettavissa suoraan regressioanalyysistä vaan joka on määritettävä kokeilemalla. Ainakaan tässä tutkimuksen vaiheessa ei  $c$ -tekijältä vaadita suurta tarkkuutta: kun pääaineistossa paras  $c$ -arvo = 5, niin malli toimii jotenkuten vielä jos sen paikalle pannaan 1 tai 20, ja varsin hyvin arvoilla 2...11. Tietenkin muut kertoimet riippuvat siitä mikä arvo  $c$ :lle on valittu.

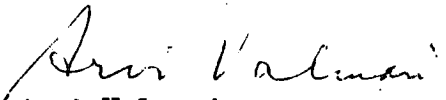
Ilmeisesti on mahdollista selittää routaantumista pitemmällekin. Tutkimusagrologi Viljo Lipsanen kiinnitti huomiota siihen, että talvella 1975-76 ja 1976-77 lumipeite ja lämpötila olivat hyvin samanlaiset ja niinollen myös ennustetut routakäyrät melkein samat, mutta todellinen routa meni tällä hietaisella hiesumaalla jälkimmäisenä vuonna paljon syvemmälle. Ero syntyi pääosaltaan alkutalvesta. Asialle löytyi täysin luonteva selitys: syksy 1975 oli kostea, seuraava syksy kuiva. Maan kosteus on hankalasti mitattava suure ja sen vaihtelu voinee jättää routamalliin tuntuva epävarmuuden.

Paitsi maan ominaisuudet (erityisesti maalaji ja kosteus) myös lumen ominaisuudet (varsinkin tiheys) vaikuttavat epäilemättä roudan etenemisnopeuteen. Esillä oleva malli kuitenkin selittää pääosan varianssista, mihin aikaisemmin kokeillut mallit eivät pystyneet.

Antti Valmari on tehnyt uudesta mallista teknillisen fysiikan erikoistyön ydin- ja energiatekniikan oppiaineessa, ja työ on siten saanut tietokoneella kirjoitetun julkaisun muodon. Käytetty aineisto on suppea eikä tämä työ ole tarkoitettu yksityiskohdissa pitkälle meneviin yleistyksiin, mutta aineisto riittänee esille saadun mallin havainnollistamiseen.

Apukassa 9.3.1984

Tutkimusaseman johtaja

  
Arvi Valmari

## ROUDAN KEHITYMISEN TILASTOLLINEN MALLI

## SISÄLLYSLUETTELO

SISÄLLYSLUETTELO .....	3
1. JOHDANTO .....	4
2. ROUDAN MITTAAMINEN .....	4
2.1. Routakerroksen rajat .....	4
2.2. Roudan mittausmenetelmiä .....	4
2.3. Routamittausten virhelähteitä .....	5
3. ROUDAN KEHITYKSEN MALLI .....	5
3.1. Roudan muodostuminen .....	5
3.2. Roudan muodostumisen malli .....	7
3.3. Roudan sulamisen malli .....	8
3.4. Tilastolliseen käsittelyyn sopiva malli .....	8
4. TILASTOLLINEN KÄSITTELY .....	9
4.1. Apukan aineisto .....	9
4.2. Apukan aineiston regressioanalyysi .....	10
4.3. Vertailuaineisto .....	11
4.4. Vertailuaineiston regressioanalyysi .....	11
4.5. Routakerroksen paksuuden ennustaminen Apukan routamallin avulla .....	12
4.6. Apukan aineiston vuosittainen käyttäytyminen .....	13
4.7. Johtopäätökset .....	14
5. MAHDOLLISUUKSIA PARANTAA MALLIA .....	14
6. TIIVISTELMÄ .....	15
7. VIITTEET .....	16
LIITE: Routa ja roudan ennuste Apukassa talvina 66-67 ... 81-82	17
(17 sivua)	

## ROUDAN KEHITTÄMISEN TILASTOLLINEN MALLI

### 1. JOHDANTO

Maan routaantumisen ymmärtäminen on tärkeää mm. suunniteltaessa maansisäisiä rakennelmia, kuten vesijohtoja, imeytyskaivoja ja teiden perustuksia. Routakerroksen maksimipaksuus samassa paikassa eri talvina voi vaihdella hyvin paljon. Talvella 1968-69 Maatalouden tutkimuskeskuksen Lapin tutkimusaseman koepellolla Apukassa routaa oli enimmillään 3 cm ja talvella 1980-81 85 cm /1/.

Routaantumiseen vaikuttavista tekijöistä ilmeisimmät ovat maan laatu, ilman lämpötila ja lumipeitteen paksuus. Kun Maatalouden tutkimuskeskuksen Hallakoeasemalla ja Lapin tutkimusasemalla tutkittiin routaantumiseen vaikuttavien tekijöiden merkitystä askeltavalla regressioanalyysillä, nousi hallitsevaksi selittäjäksi yleensä aika. Routakerros on paksuimmillaan kevättalvella ja lämpötilan ja lumipeitteen vaihtelut eivät pysty muuttamaan routakerrosta niin paljon että muutos erottuisi perushajonnasta. Sensijaan roudan lisääntymisnopeudessa lumen ja lämpötilan vaikutus saadaan näkyviin.

Tämän tutkimuksen tavoitteena oli selvittää routakerroksen paksuuden lisääntymisnopeuden riippuvuus lämpötilasta ja lumipeitteestä. Tutkimus tehtiin analysoimalla tilastomatematisesti Lapin tutkimusasemalla mitattua aineistoa sekä eräitä Hydrologisessa vuosikirjassa julkaistuja routamittauksia ja vastaavia ilmastotilastoja /2/.

### 2. ROUDAN MITTAAMINEN

#### 2.1. Routakerroksen rajat

Maan sisällä oleva kosteus jäätyy jos maan lämpötila laskee tarpeeksi alas. Jäätyminen alkaa maahiukkasten välisestä liikkuvasta vedestä. Lämpötilan edelleen laskiessa jäätyvät ensin isoja ja sitten pieniä maahiukkasia ympäröivät vesikalvot. Kaikkein pienimpiä hiukkasia ympäröivät vesikalvot voivat jäädä jäätymättä /3/.

Lämpötila jossa jäätyminen tapahtuu on epämääräinen. Lähteen /4/ mukaan yli puolet suomassa olevasta vedestä on sulaa maan lämpötilan ollessa -10 C. Myös routaantuneen ja routaantumattoman maakerroksen välinen tarkka raja on epämääräinen. Rajan voisi määrittellä esimerkiksi siihen missä 50 % maahiukkasten välisestä vedestä on jäätyneenä. Käytännössä routakerroksen rajojen määrittelmä määrittyy roudan mittausten menetelmästä.

Syyspuolella talvea, roudan muodostumisvaiheen aikana, routakerroksen yläraja on maan pinnassa. Routakerroksen paksuus saavuttaa maksiminsa yleensä maaliskuun loppupuolella /5/ jonka jälkeen routa alkaa sulaa sekä yläreunastaan että alareunastaan. Lämpötila on likimain sama koko sulavassa routakerroksessa joten routakerros sulaa myös keskeltä, mikä vaikeuttaa routakerroksen paksuuden mittaamista.

#### 2.2. Roudan mittausten menetelmiä

Eräs routakerroksen paksuuden mittausten menetelmä on metyleenisini-routaputki. Routaputki muodostuu kahdesta sisäkkäisestä putkesta joista ulompi on pysyvästi maassa. Sisemmässä putkessa on metyleenisiniliuos ja senttimetriasteikko. Routakerroksen kohdalla liuos jäätyy ja

### ROUDAN KEHITYMISEN TILASTOLLINEN MALLI

muuttuu vaaleammaksi, ja nostamalla sisempi putki ylös voidaan routakerroksen rajat lukea asteikolta.

Roudan sulamisvaiheessa routaputki ei kykene näyttämään routakerroksen rajoja selvästi. Routaraudalla eli kairalla routakerroksen rajat voi mitata sekä muodostumisvaiheen että sulamisvaiheen aikana.

Kaira uppoutuu helposti maan läpi kunnes kärki tavoittaa routakerroksen yläreunan. Routakerroksen läpi kaira isketään lekalla. Routakerroksen alaraja mitataan kairan tekemästä reiästä jäykähköllä metallikoukulla, joka työnnetään reikään siten että koukun kärki liukuu reiän reunaa vasten. Ylös nostettaessa koukun kärki tarttuu roudan alapintaan ja roudan alareunan syvyys voidaan lukea koukkuun tehdyltä asteikolta /6/.

Routaputki ja kaira antavat toisistaan poikkeavia lukemia. Maatalouden tutkimuskeskuksen Hallakoeasemalla Pelsolla talvella 1971-72 suoritetuissa mittauksissa routaputki antoi melkein koko talven 10-15 cm pienempiä lukemia kuin kaira /7/. Kairan antama lukema lienee kuvaavampi kun pyritään selvittämään sen maakerroksen paksuus jossa routa aiheuttaa suuria mekaanisia muutoksia.

### 2.3. Routamittausten virhelähteitä

Roudan mittaus on erittäin altis virheille. Mittaukset on suoritettava joka kerta hiukan eri paikasta jottei mittaajan aiheuttama lumentallautuminen tiiviksi ja maan muokkautuminen kairatessa vaikuta roudan kehitykseen.

Keväällä roudan sulaessa routakerroksen paksuudessa on suuria paikallisia vaihteluja, ja paksuuden mittaaminen on vaikeaa, koska routa sulaa yhtä aikaa ylhäältä, alhaalta ja keskeltä. Tämä ei kuitenkaan liene suuri virhetekijä, sillä tähän aikaan roudan sulaminen on hyvin nopeaa joten suurikin virhe routakerroksen paksuudessa edustaa vain pientä virhettä sulamisaikataulussa.

Routaputki on periaatteessa lämpömittari. Lämpötila jossa maa routaantuu riippuu maalajista, ja routaputki ei tällaista riippuvutta ota huomioon. Kairalla mitattaessa routakerroksen alareunan tunnistaminen on joskus epävarmaa.

### 3. ROUDAN KEHITYKSEN MALLI

Tässä luvussa johdetaan routakerroksen paksuuden vaihteluja kuvaava malli jossa vaikuttavina tekijöinä otetaan huomioon ilman lämpötila, lumikerroksen paksuus ja maan sisältä virtaava lämpöenergia. Muiden mahdollisten vaikuttajien osuus oletetaan mitättömän pieneksi tai vaikioksi. Mallin parametreja ei lasketa.

Roudan muodostumis- ja sulamistapahtumat ovat hiukan erilaisia joten kummallekin johdetaan oma malli. Johdetuista malleista muodostetaan havaintoaineiston tilastolliseen käsittelyyn sopiva yhteismalli.

### 3.1. Roudan muodostuminen

Maa routaantuu kun maakerroksesta virtaa pois lämpöenergiaa niin paljon että maahiukkasten välinen vesi jäätyy. Lämpöenergiaa vapautuu

## ROUDAN KEHITTÄMISEN TILASTOLLINEN MALLI

maahiukkasten ja veden jäähtyessä, veden jäähtyessä jääksi ja routaan-tuneen maan edelleen jäähtyessä. Lämpöenergian virtausnopeus määräytyy lämpötilaeroista eri kohtien välillä ja virtausreitillä olevien aines-ten lämpövastuksesta.

Lämpövirtaukset maassa voi jakaa kahteen komponenttiin, vaakasuoraan ja pystysuoraan. Tutkittava maa-aines oletetaan sivusuunnassa homogee-niseksi ja ilman lämpötila ja lumipeitteen paksuus oletetaan paikasta riippumattomiksi, jolloin ne eivät vaikuta lämpövirtausten vaakasuo-raan komponenttiin.

Lämpöenergian virtauksen pystysuora komponentti suuntautuu alhaalta ylöspäin. Syvältä maan sisältä tuleva lämpö, veden jäähtyessä vapautuva lämpö sekä maakerrosten ja lumipeitteen jäähtymisessä vapautuva lämpö virtaa routakerroksen ja lumipeitteen läpi ilmaan.

Lumen ominaislämpö on hyvin pieni, joten lumen jäähtyessä vapautuva lämpö voidaan jättää pois mallista. Lähteen /8/ mukaan routaantumaton tai routaantunut maa luovuttaa n. 2 J lämpöenergiaa kuutiosenttimetriä kohden jäähtyessään yhden asteen. Yksi kuutiosenttimetri vettä luovut-taa jäähtyessään 333 J, eli yksi kuutiosenttimetri maata jonka tilavuus-desta on 20 % vettä luovuttaa 67 J. Lämpöenergia joka vapautuu routa-kerroksen alareunan edetessä yhden senttimetrin on siten yhtä suuri kuin lämpöenergia joka vapautuu 33 cm paksuisen routaantuneen maaker-roksen jäähtyessä yhden asteen.

Lumipeite on hyvä lämpöeriste. Eristyskykyä kuvaa Alaskassa mitattu tulos, jonka mukaan maanpinnan lämpötila säilyy parin asteen tarkkuu-della vakiona vaikka lämpötila 30 cm paksuisen lumipeitteen yläpuolel-la vaihtelee välillä -35 C ... -47 C /9/. Maakerrosten lämpötilan vaihtelut ovat siten niin pieniä että niissä sitoutuvat ja vapautuvat energiamäärät voi jättää pois mallista.

Routakerroksen alareunan edetessä vapautuva lämpöenergia vapautuu maahiukkasten välisen veden jäähtyessä joten sen määrä riippuu maan kosteudesta. Routakerros muodostaa sulun maan kosteuden haihtumiselle ilmaan, joten syyssateiden aikana maahan imeytyneen veden määrä vai-kuttaa maan kosteuteen ja siten roudan kehitykseen koko talven ajan. Maan kosteus riippuu myös maan syvyydestä. Tässä mallissa oletetaan yksinkertaisuuden vuoksi maan kosteus ajasta ja syvyydestä riippumat-tomaksi, jolloin routakerroksen alareunan eteneminen vapauttaa aina saman määrän energiaa pituusyksikköä kohti.

Lämpötilan maan sisässä on laskettava hiukan alle nollan jotta maa-hiukkasten välinen vesi jäätyisi. Jäätyislämpötila riippuu maan laa-dusta ja kosteudesta /3/. Tässä oletetaan jäätyislämpötilan olevan olosuhteista riippumaton.

Koska lämpötila routakerroksen alareunassa on aina jäätyislämpöti-lan suuruinen, on maa routakerroksen alapuolella eristetty ilman läm-pötilan ja lumipeitteen vaikutuksilta. Siis maan sisältä virtaavan lämpöenergian määrä ei riipu näistä tekijöistä, joten se on mallin kannalta vakio. Kesän lämpöolosuhteet vaikuttavat maan sisälle varas-toituneen lämpöenergian määrään aiheuttaen vuosittaista vaihtelua eikä ole todennäköistä että virtaus säilyy vakiona talven ajan.

Jos maan ominaislämpövastus oletetaan syvyydestä riippumattomaksi voidaan todeta, että maakerroksen lämpövastus on suoraan verrannolli-nen kerroksen paksuuteen. Lumen ominaislämpövastus riippuu paitsi ker-roksen paksuudesta myös lumen tiheydestä, joka muuttuu talven mittaan.



### ROUDAN KEHITTYMISEN TILASTOLLINEN MALLI

Vastataneen lumen kyky eristää lämpöä on paljon parempi kuin suoja-  
säällä kasaan painuneen lumen kyky vaikka kerrokset olisivat saman  
paksuisia. Kuitenkin tässä mallissa oletetaan lumen lämmöneristyskyky  
verrannolliseksi vain kerroksen paksuuteen.

Lämpötila lumipeitteen yläreunassa oletetaan ilman lämpötilan suu-  
ruiseksi. Lumen haihtumisesta ym. mikroilmastollisista tekijöistä joh-  
tuen oletus ei pidä tarkalleen paikkaansa, mutta ero on pieni. Roudan  
sulamisen loppuvaiheessa maa on paljas ja auringon säteily muuttaa  
lämpötilaa maan pinnalla verrattuna ilman lämpötilaan. Koska routaker-  
roksen paksuus sulamisvaiheen aikana on epämääräinen on malli muuten-  
kin epätarkka tässä vaiheessa joten lumettoman ajan ilmiöiden huomiot-  
ta jättäminen ei liene suuri tuloksia huonontava tekijä. Syksypuolella  
aika jolloin maa on paljas ja routaa jo on on lyhyt koko Suomessa /2/.

### 3.2. Roudan muodostumisen malli

Oletetaan käyttöön seuraavat merkinnät (suluissa yksiköt):

- t aika (s)
- T ilman lämpötila (C)
- T0 lämpötila jossa maahiukkasten välinen vesi jäätyy (C)
- l lumipeitteen paksuus (m)
- m routakerroksen yläreunan syvyys (roudan muodostumisvaiheessa  
m = 0 ) (m)
- r routakerroksen paksuus (m)
- E energia joka vapautuu routakerroksen alareunan edetessä yh-  
den pituusyksikön (J/m)
- Es maan sisältä virtaava lämpöenergia aikayksikössä (J/s)
- kl lumipeitteen ominaislämpövastus (Cs/J/m)
- km routaantumattoman maan ominaislämpövastus (Cs/J/m)
- kr routaantuneen maan ominaislämpövastus (Cs/J/m)

Routakerroksen alareuna on kohta johon virtaa alhaaltapäin lämpö-  
energiaa termin Es ilmoittamalla teholla, ylhäältä termin lämpötilaero  
/ lämpövastus eli (T-T0) / (l kl + r kr) ilmoittamalla teholla ja rou-  
dan edetessä tapahtuvasta veden jäätymisestä johtuen teholla dr/dt E.  
Siten routakerroksen alareunan energiatasetta kuvaa yhtälö

$$Es + \frac{dr}{dt} E + \frac{T - T_0}{l kl + r kr} = 0$$

Josta voidaan ratkaista routakerroksen alareunan muutosnopeus

$$(1) \frac{dr}{dt} = - \frac{1}{E} \frac{T - T_0}{l kl + r kr} - \frac{Es}{E} = - \frac{1}{E kl} \frac{T - T_0}{l + r kr / kl} - \frac{Es}{E}$$

Differentiaaliyhtälön (1) ratkaisu on

$$(2) t = - \frac{E}{Es} r + \frac{E (T - T_0)}{kr Es Es} \ln \left( \frac{r kr Es}{l kl Es + T - T_0} + 1 \right)$$

## ROUDAN KEHITTÄMISEN TILASTOLLINEN MALLI

Yhtälö (2) antaa ajan jonka kuluessa routakerroksen paksuus kasvaa nollassa arvoon  $r$ . Jotta saataisiin selville kuinka paljon routakerros kasvaa ajassa  $t$  yhtälö (2) olisi ratkaistava. Seuraavassa annetaan likimääräisiä ratkaisuja, tarkka ratkaisu on liian monimutkainen.

Kun routakerroksen paksuuden muutosnopeus on pieni muutos aikayksikössä voidaan laskea likimain yhtälöstä (1) sijoittamalla  $dt =$  kulunut aika ja laskemalla  $dr =$  routakerroksen paksuuden muutos.

Kun yhtälössä (2) logaritmoitava termi on likimain yksi, voidaan soveltaa likiarvokaavaa  $\ln(x+1) = x$ , jolloin saadaan

$$(3) \frac{r}{t} = - \frac{1}{E} \frac{T - T_0}{kl} - \frac{Es}{E}$$

### 3.3. Roudan sulamisen malli

Roudan sulaminen tapahtuu yhtä aikaa alhaalta, ylhäältä ja keskeltä. Lämpötila koko sulavassa routakerroksessa on  $T_0$ . Samaan tapaan kuin roudan muodostuessa routakerroksen paksuuden muutoksille sulamisvaiheen aikana voidaan johtaa yhtälö

$$(4) \frac{dr}{dt} = - \frac{1}{E} \frac{T - T_0}{l \, kl + m \, km} - \frac{Es}{E} = - \frac{1}{E} \frac{T - T_0}{kl} - \frac{Es}{E}$$

missä oikean puolen ensimmäinen termi kuvaa roudan sulamista ylhäältä ja jälkimmäinen termi alhaalta.

Yhtälö (3) pätee roudan sulamiselle samoin edellytyksin kuin roudan muodostumisellekin.

### 3.4. Tilastolliseen käsittelyyn sopiva malli

Silloin kun lunta ei ole ja routakerros on ohut on routakerroksen paksuuden muutosnopeus suuri. Yhtälö (3) approksimoi tätä suurta muutosnopeutta härettömällä, mikä tekee yhtälöstä (3) soveltumattoman tilastollisen analyysin malliksi. Yhtälöitä (1) ja (4) voi käyttää routakerroksen paksuuden muutoksen laskemiseen vain kun muutosnopeus on pieni. Nekin antavat härettömän tuloksen silloin kun ei ole lunta eikä routaa.

Korvataan yhtälössä (3)  $l$  suureella  $l+c$ , missä  $c$  on tuntematon vakio. Näin saadaan tilastolliseen analyysiin sopiva malli, joka on muodoltaan mahdollisimman lähellä yhtälöitä (1), (3) ja (4) ja joka antaa likimain samoja tuloksia silloin kun lunta on paljon. Merkitsemällä

## ROUDAN KEHITTYMISEN TILASTOLLINEN MALLI

$$b_0 = - \frac{E_s}{E}$$

$$b_1 = - \frac{1}{E k_1}$$

$$b_2 = \frac{T_0}{E k_1}$$

saadaan yhtälö muotoon

$$(5) \frac{r}{t} = b_0 + b_1 \frac{T}{1+c} + b_2 \frac{1}{1+c}$$

joka vastaa regressiomallia jossa selittäjinä ovat  $T/(1+c)$  ja  $1/(1+c)$ . Regressiomallit joissa on vain yksi selittäjä ovat helpompia laskea kuin usean selittäjän mallit. Jos mallista (5) halutaan jättää toinen selittäjä pois, on poistettavaksi selittäjäksi valittava  $1/(1+c)$  jotta lämpötilan vaikutus säilyisi mukana mallissa. Malli muuntuu muotoon

$$(6) \frac{r}{t} = a + b \frac{T}{1+c}$$

## 4. TILASTOLLINEN KÄSITTELY

## 4.1. Apukan aineisto

Tämän tutkimuksen pääaineisto on mitattu Maatalouden tutkimuskeskukseen Lapin tutkimusasemalla Apukassa Rovaniemen maalaiskunnassa. Routa on mitattu joka kuukauden 15. ja 30. päivä alkaen lokakuusta ja päättyen toukokuuhun (helmikuun jälkimmäinen mittaus tehtiin viimeinen päivä). Mittausvälineenä on käytetty routarautaa eli kairaa. Routakerroksen paksuus on saatu vähentämällä roudan alareunan syvyydestä roudan yläreunan syvyys. Paksuus on ilmoitettu senttimetreinä.

Mittaukset suorittanut Lapin tutkimusaseman kenttämestari Lipsanen arvioi tulosten olevan oikeita n. 15 % tarkkuudella.

Lumipeitteen paksuus on mitattu yhtä aikaa roudan kanssa samasta paikasta. Vaikkakin lumipeitteen paksuus voidaan mitata kohtalaisen tarkasti, on kyseenalaista kuvaako mittaustulos todellista paksuutta koko jakson ajalta, sillä tuuli voi muuttaa lumiolosuhteita mittauspaikalla pellolla hyvin nopeasti. Lumen tiheyden vaihtelut eivät näy aineistosta. Suojasäällä lumipeite painuu hiukan kasaan mikä vähentää sen lämmöneristyskykyä.

Myös lumipeitteen paksuus on ilmoitettu senttimetreinä.

Jakson keskilämpötila on muodostettu Apukassa sijaitsevan ilmastoaseman lukemista laskettujen päivittäisten keskilämpötilojen keskiarvona. Lämpötilalukemat ilmoitetaan asteina.

## ROUDAN KEHITTYMISEN TILASTOLLINEN MALLI

Jakson pituus vaihtelee hiukan koska kuukaudet ovat eripituisia. Kuukauden ensimmäinen jakso on 15-16 päivää ja kuukauden jälkimmäinen jakso vaihtelee 13 (helmikuu) ja 15 päivän välillä. Ilmastotilastoissa käsitellään kuukauden, puolen kuun tai 1/3 kuun jaksoja yleensä samantuisina, vaikka kuukauden viimeisen jakson pituus voi vaihdella -2 ... +1 päivää muihin nähden.

Aineistosta on karsittu pois ne jaksot joina routaa ei ollut eikä tullut. Routakerroksen paksuuden muutos on laskettu vähentämällä paksuudesta jakson lopussa paksuus edellisen jakson lopussa tai nolla, jos edellistä jaksoa ei ole. Jakson aikana vallitsevaa lumipeitteen paksuutta kuvaamaan on otettu keskiarvo paksuudesta nykyisen ja edellisen jakson lopussa (jos edellistä jaksoa ei ole on edellisen jakson arvona käytetty nollaa).

## 4.2. Apukan aineiston regressioanalyysi

Apukan aineisto sovitettiin regressiomalleihin (5) ja (6) parametrin c arvoilla 1 ... 20. Tulokset ovat taulukossa 1.

## APUKAN ROUTA-AINEISTO SOVITETTUNA MALLEIHIN

$$(6) \text{ lisäys } (r) = a + b t / (1+c)$$

$$(5) \text{ lisäys } (r) = b_0 + b_1 t / (1+c) + b_2 / (1+c)$$

c	n	Malli (6)				Malli (5)			
		a	b	r	r <sup>2</sup>	b <sub>0</sub>	b <sub>1</sub>	b <sub>2</sub>	R <sup>2</sup>
1	223	0.613	-4.705	-0.751	56.46%	0.661	-4.670	-0.379	56.46%
2	223	-0.469	-9.215	-0.783	61.31%	-0.459	-9.206	-0.113	61.31%
3	223	-1.359	-13.237	-0.797	63.66%	-1.236	-13.124	-1.633	63.67%
4	223	-2.075	-16.772	-0.803	64.62%	-1.770	-16.489	-4.681	64.68%
5	223	-2.653	-19.894	-0.805	64.82%	-2.145	-19.424	-8.779	64.96%
6	223	-3.123	-22.683	-0.803	64.60%	-2.413	-22.032	-13.560	64.83%
7	223	-3.511	-25.206	-0.800	64.14%	-2.608	-24.390	-18.779	64.47%
8	223	-3.833	-27.516	-0.797	63.56%	-2.753	-26.552	-24.273	63.98%
9	223	-4.106	-29.655	-0.793	62.92%	-2.860	-28.559	-29.937	63.43%
10	223	-4.338	-31.655	-0.789	62.26%	-2.942	-30.442	-35.701	62.84%
11	223	-4.537	-33.539	-0.784	61.60%	-3.003	-32.222	-41.518	62.24%
12	223	-4.711	-35.328	-0.780	60.95%	-3.050	-33.917	-47.356	61.64%
13	223	-4.862	-37.037	-0.776	60.32%	-3.085	-35.540	-53.194	61.05%
14	223	-4.996	-38.676	-0.772	59.71%	-3.111	-37.102	-59.016	60.48%
15	223	-5.114	-40.257	-0.768	59.13%	-3.130	-38.612	-64.814	59.92%
16	223	-5.220	-41.787	-0.765	58.57%	-3.143	-40.077	-70.580	59.39%
17	223	-5.315	-43.273	-0.761	58.04%	-3.153	-41.502	-76.311	58.87%
18	223	-5.400	-44.719	-0.758	57.53%	-3.158	-42.892	-82.004	58.38%
19	223	-5.477	-46.131	-0.755	57.05%	-3.161	-44.252	-87.656	57.90%
20	223	-5.547	-47.513	-0.752	56.59%	-3.162	-45.584	-93.269	57.44%

Taulukko 1. Apukan routa-aineiston regressioanalyysin tulokset

Taulukosta 1 nähdään että paras tulos saavutetaan kun c=5 riippumatta siitä onko selittäjä 1/(1+c) mukana mallissa vai ei. Selitysaste ei ole herkkä c:n arvon vaihteluille.

## ROUDAN KEHITTYMISEN TILASTOLLINEN MALLI

Selittäjän  $1/(1+c)$  merkitys on erittäin pieni, joten kannattaa käyttää yksinkertaista mallia (6) monimutkaisemman mallin (5) sijaan. Apukan aineistolla mallin (6) kertoimien arvoksi tuli

$$(7) \quad a = -2.653 \text{ cm} / 15 \text{ d} = -0.177 \text{ cm} / \text{d}$$

$$b = -19.894 \text{ cm cm} / C / 15 \text{ d} = -1.326 \text{ cm cm} / C / \text{d}$$

ja selitysasteeksi 64.8 %. Mallia (6) kertoimilla (7) nimitetään Apukan routamalliksi.

### 4.3. Vertailuaineisto

Mallin yleispätevyyden testaamiseksi regressioanalyysi toistettiin vertailuaineistolla. Vertailuaineistona käytettiin lounaisrannikolla Mietoisissa Hietämässä avomaalla ja metsämaalla, Sodankylässä Tähtelässä avomaalla, metsämaalla ja suolla sekä Utsjoella Kevolla metsämaalla talvina 1975-76 ja 1976-77 joka kuun 6., 16. ja 26. päivä mittattuja lumipeitteen ja routakerroksen paksuuksia. Puuttuvat mittausarvot on rekonstruoitu kahden vierekkäisen keskiarvona.

Yli 150 cm routaa ei nähtävästi ole kyetty mittaamaan, koska Kevon aineistossa on jotkut lukemat annettu muodossa  $> 150 \text{ cm}$ . Tällaisten arvojen tilalla on käytetty 150 cm. Kevon aineistossa on lisäksi ilmeinen painovirhe: peräkkäisinä routakerroksen paksuuden arvoina on 68, 43 ja 98 cm. 43 cm on korvattu 73 cm:llä.

Vertailuaineisto on poimittu Hydrologisesta vuosikirjasta 1976-77. Lämpötilalukemat on laskettu vastaavista ilmastotilastoista. Vertailuaineisto on esikäsitelty samalla tavalla kuin Apukan aineisto ja siihen pätevät samat huomautukset jakson pituuden (8 ... 11 vuorokautta) suhteen.

### 4.4. Vertailuaineiston regressioanalyysi

Vertailuaineistolle suoritettiin samanlainen analyysi kuin Apukan aineistolle. Todettakoon heti aluksi, että vertailuaineisto käsittää vain kaksi talvea. Kohdan 4.6. mukaan Apukan routamallin kyky selittää routakerroksen paksuuden muutoksia ja mallin kertoimet vaihtelevat vuosittain hyvin paljon. Kuitenkin 16 talven keskiarvona muodostettu Apukan routamalli ennustaa roudan kehitystä kohtalaisen hyvin. Tästä syystä vertailuaineiston antamia tuloksia on pidettävä lähinnä viitteellisinä, tarkemman tiedon saamiseksi vertailuaineistoon olisi otettava useampia talvia mukaan.

Taulukossa 2 on annettu käytetyn aineiston koko, c:n arvo joka antoi parhaan selitysasteen ja vastaava selitysaste käytettäessä mallia (6), sama mallille (5) ja mallin (6) kertoimet a, b ja selitysaste c:n arvolla 5. Vertailujen tekemiseksi Apukan tuloksiin on taulukon viimeisellä rivillä annettu myös Apukan tiedot. Apukan kertoimet a ja b on skaalattu kymmenen päivän jaksolle jotta ne olisivat vertailukelpoisia muiden kanssa.



## ROUDAN KEHITTYMISEN TILASTOLLINEN MALLI

PAIKKA MAALAJI	n	(6)		(5)		c=5		R2. %
		c	R2. %	c	R2. %	a	b	
Hietämäki a	36	6	43.1	5	46.9	0.687	-11.289	43.1
Hietämäki m	30	12	20.9	14	32.1	-0.495	-6.049	18.7
Tähtelä a	46	4	82.6	4	83.7	-5.393	-46.747	82.1
Tähtelä m	46	3	79.3	3	79.3	-4.872	-39.735	78.8
Tähtelä s	46	4	70.3	4	72.5	-0.515	-5.033	70.1
Kevo m	47	10	64.4	9	68.6	-5.224	-37.249	61.9
Apukka a	223	5	64.8	5	65.0	-1.769	-13.263	64.8

Maastokoodit: a = avomaa, m = metsämaa, s = suo

Taulukko 2. Hietämäen, Tähtelän ja Kevon tulokset verrattuna Rovaniemen Apukassa saatuihin

Taulukosta 2 käy ilmi, että mallien kertoimet vaihtelevat paikkakunnan ja maalajin mukaan. Apukan ja Hietämäen avomaalla sekä Tähtelän ja Kevon metsämaalla kertoimet saavuttivat suunnilleen samat arvot. Sen sijaan Tähtelän suolla ja Hietämäen metsämaalla kertoimien arvot poikkeavat paljon samalla maalajilla muualla saavutetuista arvoista.

Malli selittää Hietämäellä tapahtuneita routakerroksen paksuuden muutoksia aika huonosti. Lapissa sijaitsevien paikkakuntien routakerroksen paksuuden muutokset malli selittää kohtalaisen hyvin.

Lukuunottamatta Hietämäellä metsämaalla saavutettuja tuloksia yksinkertainen malli (6) antaa lähes yhtä hyvät selitysasteet kuin monimutkaisempi malli (5). c:n arvon suuretkaan vaihtelut eivät vaikuta selitysasteeseen kovin paljoa.

#### 4.5. Routakerroksen paksuuden ennustaminen Apukan routamallin avulla

Apukan routamalli ennustaa routakerroksen paksuuden muutoksia Apukassa kivennäismaalla. Tässä kohdassa tarkastellaan mallin käyttöä routakerroksen paksuuden ennustamiseen.

Routakerroksen paksuuden ennuste lasketaan muutokselle saatujen ennusteiden summana. Näin laskettu ennuste voi saada negatiivisia arvoja. Koska todellinen routakerroksen paksuus ei voi olla negatiivinen käytetään ennusteen laskemiseen yhtälöä

$$(8) r(i+1) = \max ( r(i) + e, 0 )$$

missä  $r(i)$  tarkoittaa routakerroksen paksuuden ennustetta jakson  $i$  lopussa,  $e$  tarkoittaa Apukan routamallin antamaa roudan lisäyksen ennustetta eli yhtälöllä (6) kertoimien arvolla (7) laskettua roudan lisäyksen arviota, ja  $\max(x,y)$  tarkoittaa suurempaa luvuista  $x$  ja  $y$ .

Liitteen käyrästöihin on piirretty keskilämpötila, lumipeitteen paksuus, todellinen routa ja yhtälön (8) antama ennuste jokaiselta talvelta erikseen. Joinakin talvina ennuste seuraa todellisen roudan kehityksen muotoa hyvin mutta 10 tai 20 cm liian korkealla tai matalalla. Ilmiön syynä voi olla yksi pahasti pieleen mennyt roudan lisäyksen ennuste, joka on harhauttanut käyrän väärälle korkeudelle.

Väärän ennusteen syynä voi olla esimerkiksi jakson loppuun osunut

## ROUDAN KEHITTYMISEN TILASTOLLINEN MALLI

lumisade jonka aiheuttama lumipeitteen paksuuden muutos on vaikuttanut hyvin vähän roudan todelliseen kehitykseen mutta paljon ennusteeseen. Myös lämpötilalukemissa on samantapainen virhemahdollisuus. Jos jakson aikana on tullut paljon lunta ja sen jälkeen lämpötila on laskenut jyrkästi ennuste lupaa kohtalaista roudan lisäystä. Koska jakson alkupuolella on ollut suhteellisen lämmintä ja jakson loppupuolella on ollut eristävä lumikerros on todellinen roudan muutos pieni.

Taulukossa 3 on annettu ennustettu ja todellinen roudan maksimi eri talvina.

TALVI	66-	67-	68-	69-	70-	71-	72-	73-	74-	75-	76-	77-	78-	79-	80-	81-
ENNUST	47	67	11	34	53	52	5	59	8	28	24	35	63	20	93	34
TODELL	38	61	3	37	56	75	16	67	17	36	56	57	76	23	85	44
VIRHE	9	6	8	-3	-3	-23	-11	-8	-9	-8	-32	-22	-13	-3	8	-10

KESKIARVOT: ENNUST 39.6 TODELL 46.7 VIRHE -7.1

Taulukko 3. Apukan routamallin ennustama ja todellinen roudan maksimi kivennäismaalla Apukassa

## 4.6. Apukan aineiston vuosittainen käyttäytyminen

Paremmän kuvan saamiseksi Apukan aineiston vuosittaisesta käyttäytymisestä regressiomallit (5) ja (6) parametrin c arvolla 5 muodostettiin jokaiselle talvelle erikseen. Tulokset ovat taulukossa 4.

## APUKAN ROUTA-AINEISTO SOVITETTUNA VUOSITTAIN MALLEIHIN

$$\text{lisäys (r)} = a + b t / (1+5)$$

$$\text{lisäys (r)} = b_0 + b_1 t / (1+5) + b_2 / (1+5)$$

talvi	n	a	b	r	r <sup>2</sup>	b <sub>0</sub>	b <sub>1</sub>	b <sub>2</sub>	R <sup>2</sup>
66-67	15	-0.947	-7.954	-0.503	25.37%	-1.827	-8.587	11.790	25.84%
67-68	13	-8.211	-29.441	-0.871	76.00%	-1.861	-24.992	-96.029	85.03%
68-69	9	-1.341	-8.189	-0.747	55.81%	-0.540	-14.212	-	76.82%
69-70	15	-2.156	-19.091	-0.791	62.68%	-5.486	-25.234	50.882	68.69%
70-71	15	-2.903	-21.010	-0.922	85.09%	-1.821	-20.139	-17.070	85.98%
71-72	14	-3.047	-24.701	-0.899	80.96%	4.755	-16.204	-97.536	87.92%
72-73	9	-3.042	-35.163	-0.655	42.94%	-9.403	-43.673	288.062	53.78%
73-74	16	-4.310	-22.557	-0.795	63.30%	-3.056	-21.790	-19.571	63.80%
74-75	14	-1.646	-19.576	-0.744	55.48%	-2.360	-19.961	15.452	57.39%
75-76	14	-0.246	-7.300	-0.530	28.09%	-1.298	-8.529	21.014	29.41%
76-77	15	-3.558	-35.159	-0.940	88.49%	-4.026	-36.198	9.519	88.52%
77-78	15	-1.194	-22.613	-0.970	94.20%	-2.494	-23.890	20.113	94.76%
78-79	16	-2.397	-19.827	-0.903	81.62%	-6.191	-22.682	47.853	86.03%
79-80	14	-5.163	-32.885	-0.878	77.26%	-2.882	-31.697	-72.005	83.18%
80-81	15	-6.765	-24.388	-0.905	82.01%	-3.616	-23.796	-52.386	84.78%
81-82	14	-1.717	-17.262	-0.666	44.43%	-1.504	-16.883	-4.237	44.45%

Taulukko 4. Apukan routa-aineiston vuosittaisen regressioanalyysin tulokset

## ROUDAN KEHITTÄMISEN TILASTOLLINEN MALLI

Mallin kyky selittää routakerroksen paksuuden vaihteluja vaihtelee vuosittain hyvin paljon, selitysaste vaihtelee välillä 25.4 % ... 94.2 %. Joinakin talvina monimutkaisen mallin käyttö parantaa selitystasetta merkittävästi. Myös mallin kertoimet vaihtelevat hyvin paljon. Vuosittaisen vaihtelun mahdollisia syitä on selostettu kohdassa 3.1. Roudan muodostuminen.

### 4.7. Johtopäätökset

Malli muotoa (6) selittää roudan muutokset kohtalaisen hyvin ainakin Lapin koeasemalla Apukassa avomaalla. Mallin parametrit a, b ja c on estimoitava erikseen jokaiselle paikkakunnalle ja maalajille johon mallia sovelletaan. Parametrin c estimointi ei ole välttämätöntä, sillä c:n pienet muutokset vaikuttavat mallin antamaan selitysasteeseen hyvin vähän. Sopiva c:n arvo on 5 ... 10. Mallin monimutkaistaminen muotoon (5) ei yleensä kannata.

Mallin parametrien estimointi on ulotettava usean vuoden yli. Joukkoon olisi syytä saada sekä runsasroutaisia että vähäroutaisia vuosia.

Routakerroksen paksuutta voi ennustaa yhtälöllä (8). Joinakin talvina ennuste epäonnistuu pahasti mutta yleensä tulokset ovat oikeata suuruusluokkaa. Ennusteet paranevat jos lumipeitteen paksuus mitataan päivittäin ja yhdistetään vuorokauden keskilämpötilaan laskemalla lämpötila jaettuna lumen ja c:n summalla vuorokausittain ja käyttämällä tämän suureen kertymää selittäjänä.

Kaikenkaikkiaan on kehitetty malli, jota voi käyttää routakerroksen paksuuden ja varsinkin sen muutosten ennustamiseen muistaen että ennuste ei ole varma. Mallin käyttäminen edellyttää parametrien estimointia jota varten tarvitaan kyseisen paikkakunnan ja maalajin lumipeitteen ja routakerroksen paksuus usean vuoden ajalta. Mallin parhaana puolena on että ennusteen laskemiseen tarvitaan vain jokaisella ilmastoasemalla päivittäin mitattavat suuret keskilämpötila ja lumipeitteen paksuus.

## 5. MAHDOLLISUUKSIA PARANTAA MALLIA

Mallissa esiintyvä lauseke jakson keskilämpötila jaettuna keskimääräisen lumipeitteen ja vakion summalla tulisi korvata suurella joka saadaan laskemalla em. osamäärä vuorokausittain ja käyttämällä vuorokausisuureen kertymää roudan muutosten selittäjänä. Tämä korjaus eliminoisi ne tapaukset joissa yhtäkkinen lumisade on harhauttanut roudan muutoksen ennustetta yhden jakson ajalla. Erityisesti vaikutus routakerroksen paksuuden ennusteeseen (8) lienee huomattava.

Analysillä jossa olisi mukana usean paikkakunnan mittaustulokset riittävästi monen vuoden ajalta voitaisiin selvittää johtuuko edellä kohdassa 4.4. havaittu mallin parametrien riippuvuus paikkakunnasta ainoastaan tilastollisesta hajonnasta vai onko takana jokin todellinen vaikuttava tekijä. Parasta olisi jos kyettäisiin selvittämään mikä tämä vaikuttava tekijä on, mutta jo paikkakunnan koordinaattien liittäminen malliin olisi riittävä. Tämän kirjoittajan rohkea ennuste on että paikkakuntatekijällä ei tule olemaan suurta merkitystä sen jälkeen kun maalaji- ja vuositekijät on selvitetty.

## ROUDAN KEHITTÄMISEN TILASTOLLINEN MALLI

Maalajitekijä, mallin riippuvuus maalajista on tyypillinen faktori-tekijä. Malli on ilmeisesti muodostettava aina erikseen eri maalajeille. Onko kyseessä avomaa vai metsämaa lienee vähämerkityksellistä, tärkeämpää on tietää maaperän laji.

Vuositekijän saattaminen mittauksilla määritettävään muotoon lienee hyvin vaikeaa. Mahdollisia selittäjiä voisivat olla elo-syyskuun keskilämpötila ja syyskuun sademäärä.

## 6. TIIVISTELMÄ

Maatalouden tutkimuskeskuksen Lapin tutkimusaseman (entinen nimi Lapin koeasema) koepellolla Apukassa mitatusta aineistosta johdettiin routakerroksen paksuuden muutoksia 15 vrk jakson aikana kuvaava malli, ns. Apukan routamalli

$$\text{roudan lisäys /cm} = -2.65 - 19.9 \frac{\text{jakson keskilämpötila /C}}{\text{jakson keskilumi /cm} + 5}$$

Joka selittää routakerroksen paksuuden muutokset kyseisessä paikassa talvina 1966-67 ... 1981-82 64.8 % selitysasteella.

Malli testattiin kahdella tavalla: sovittamalla mallin kertoimet kolmella muulla paikkakunnalla ja kolmessa erilaisessa maastossa mitattuun aineistoon ja tutkimalla mallin kykyä ennustaa routakerroksen paksuus paksuuden muutosten sijaan.

Eri paikkakunnilla ja maalajeilla saadut tulokset ovat ainoastaan suuntaa antavia koska testiaineisto kattaa vain kaksi talvea. Malli toimii hyvin Sodankylässä avomaalla, metsässä ja suolla sekä Utsjoella metsässä mutta huonosti Mietoisissa avomaalla ja metsässä. Mallin kertoimet on estimoitava erikseen jokaisella paikkakunnalla ja maalajilla. Mallissa on yksi kerroin jonka arvo regressioanalyysi ei anna, nimittäin nimittäjässä oleva vakio (Apukan routamallissa 5). Vaikka parhaan selitysasteen antava kertoimen arvo vaihtelee välillä 3 ... 12 ei selitysaste huononnu olennaisesti vaikka kertoimen arvoksi kiinnitetään 5.

Mallin kyky ennustaa routakerroksen paksuus tutkittiin piirtämällä liitteen käyrästäihin roudan todellinen ja mallin perusteella ennustettu kehitys. Tulokset ovat kohtalaisen hyviä. Lisäksi tutkittiin mallin kertoimien riippuvuutta vuodesta. Riippuvuus on hyvin suuri.

Tutkittiin myös monimutkaisempaa mallia jossa otettiin käyttöön lisäselittäjä  $1/(\text{lumi} + \text{vakio})$ , mutta lisäselittäjän selitystetta parantava vaikutus havaittiin pieneksi.

Tutkimuksessa on lisäksi käsitelty teoreettisesti roudan muodostumista ja sulamista ja johdettu roudan kehitykselle yksinkertainen malli, joka on muodoltaan lähellä tilastollisessa analyysissä käytettyä mallia. Edelleen on käsitelty routakerroksen rajojen määrittelyyn ja mittaamiseen liittyviä ongelmia, routakerroksen paksuuden mittaamista virhelähteineen sekä annettu ehdotuksia jatkotutkimuksia varten.

## ROUDAN KEHITTYMISEN TILASTOLLINEN MALLI

## 7. VIITTEET

- /1/ Lumipeitteen ja routakerroksen paksuuden mittaukset Lapin koeasemalla Apukassa talvina 1966-67 ... 1981-82.
- /2/ Hydrologinen vuosikirja 1976-77. Vesientutkimuslaitoksen julkaisu 35.
- /3/ Geiger, Rudolf: The Climate Near The Ground, s. 173, Cambridge, Massachusetts USA, 1980. (611 s.)
- /4/ Monteith, J. L. (toim.): Vegetation and the Atmosphere, Vol. 2, s. 414, Lontoo, 1976. (439 s.)
- /5/ Mustonen, Seppo E.: Ilmasto- ja maastotekijöiden vaikutuksesta lumen vesiarvoon ja roudan syvyyteen, s. 25, eripainos julkaisusta Acta Forestalia Fennica 79, Helsinki 65. (40 s.)
- /6/ Valmari, Arvi ja Heikkinen, Kauko: Roudanmittausvälineitä, Maatalouden tutkimuskeskuksen Hallakoeaseman toimintakertomuksen 1970 liite 4. (6 s.)
- /7/ Valmari, Arvi: Erfarenheter av tjäle, tjälmätning samt infiltration i tjälad mark, kokousesitelmä Bodenissa Ruotsissa 21. 3. 1973 pidetyssä kokouksessa Speciella vinterproblem i representiva områden
- /8/ Viite /3/ s. 176.
- /9/ Brown, J. ym. (toim.): An Arctic Ecosystem, The Coastal Tundra At Barrow, Alaska, s.42, Stroudsburg, 1980. (571 s.)



## ROUDAN KEHITTYMISEN TILASTOLLINEN MALLI

LIITE: Routa ja roudan ennuste Apukassa talvina 1966-67...1981-82

Apukan routamallin avulla lumen paksuuden ja ilman lämpötilan arvoista laskettu roudan kehittyminen (kuvissa pisteviiva, selityksissä "Enn" = ennuste) sekä kairalla mitattu routa (ehyt murtoviiva). Kuvissa lumen ja roudan cm-asteikot vasemmalla. Ilman lämpötila (kuvissa "Lämpö") ilmaistu mittausjaksojen keskiarvoina viivapiste-viivalla. Aika-asteikko 1/2 kuukauden välein, 1.10.-15.5.

100 LAPIN KOEASEMA kivennäismaa

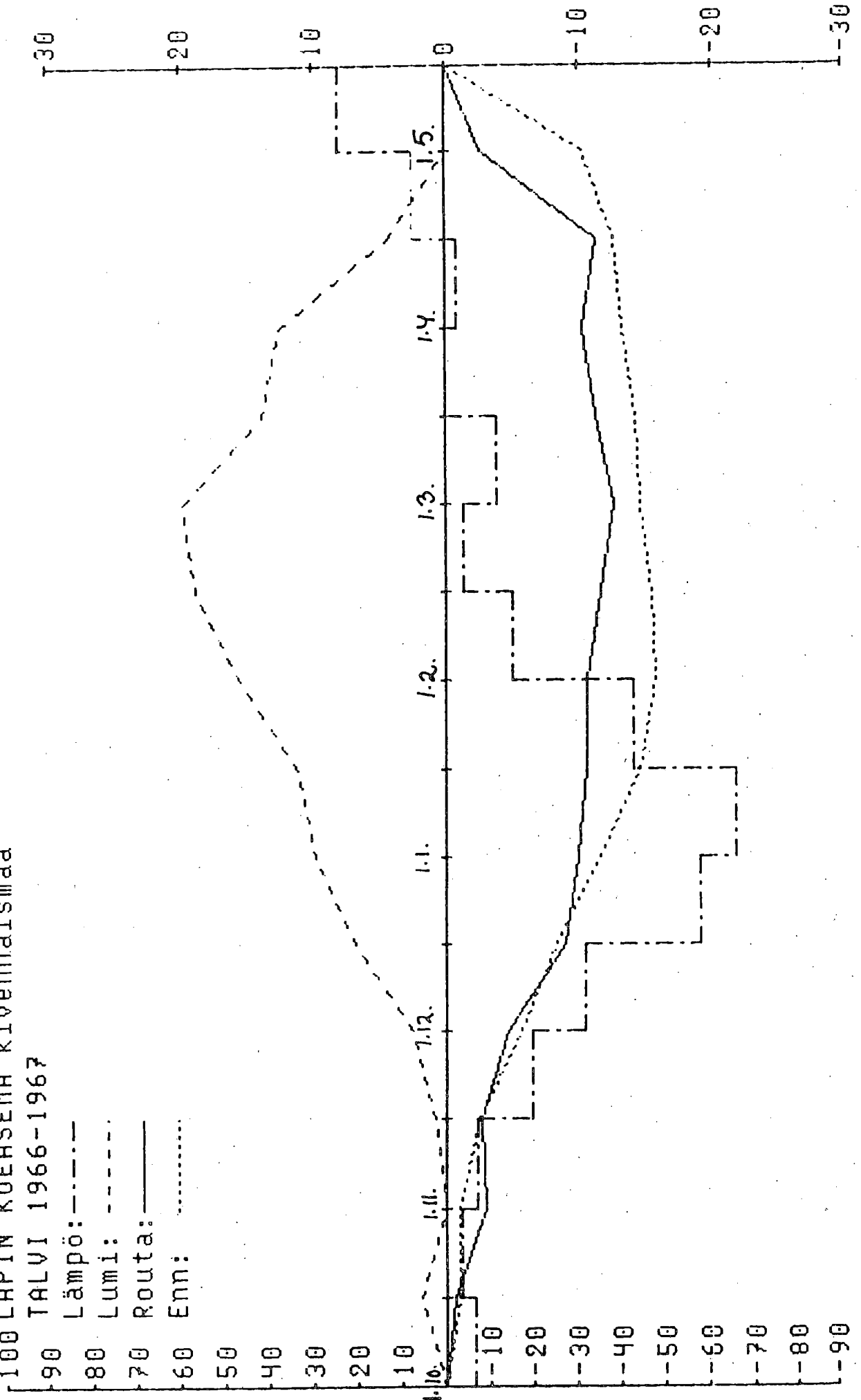
90 TALVI 1966-1967

80 Lämpö: - - - - -

70 Lumi: - - - - -

60 Routa: ———

Enn: ·····



100 LAPIN KOEASEMA Kivennäismaa

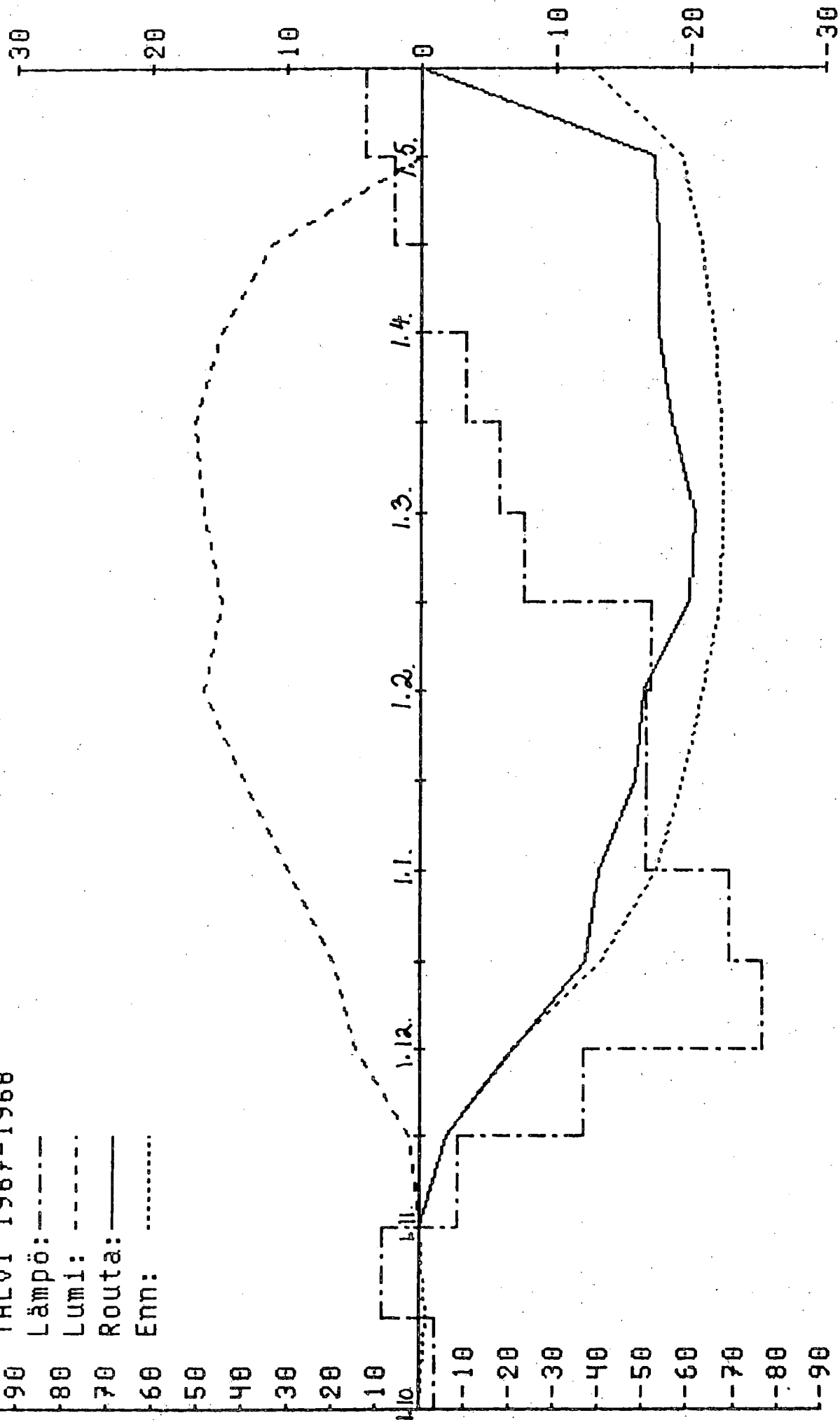
90 TALVI 1967-1968

80 Lämpö: - - - - -

70 Lumi: - - - - -

60 Rauta: ———

50 Enn: .....  
40  
30  
20  
10  
0  
-10  
-20  
-30  
-40  
-50  
-60  
-70  
-80  
-90



100 LAPIN KOEASEMA kivennäismaa

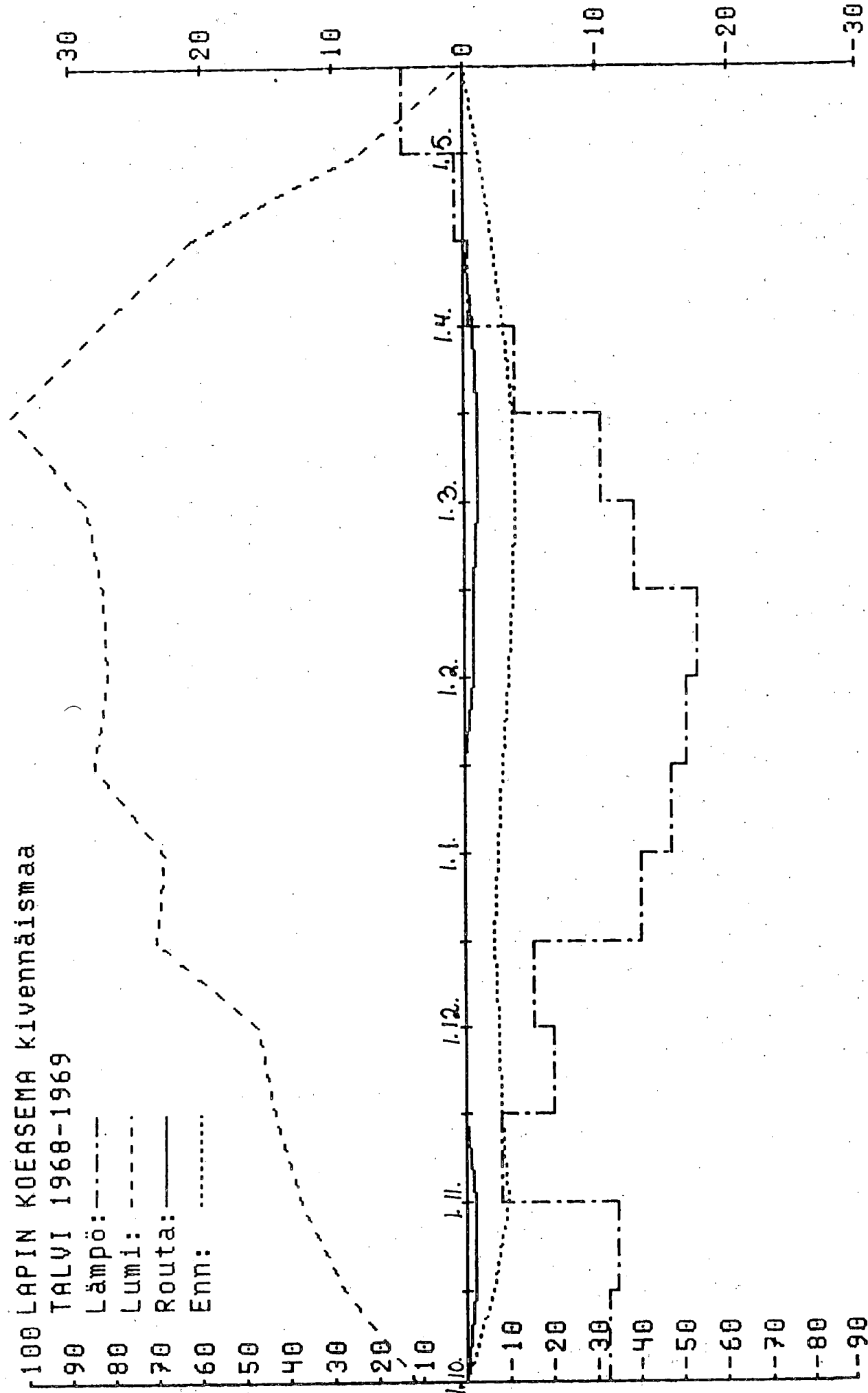
90 TALVI 1968-1969

80 Lämpö: ---

70 Lumi: - - -

60 Rauta: ———

50 ENN: .....  
40  
30  
20  
10  
0  
-10  
-20  
-30  
-40  
-50  
-60  
-70  
-80  
-90



100 LAPIN KOEASEMA kivennäismaa

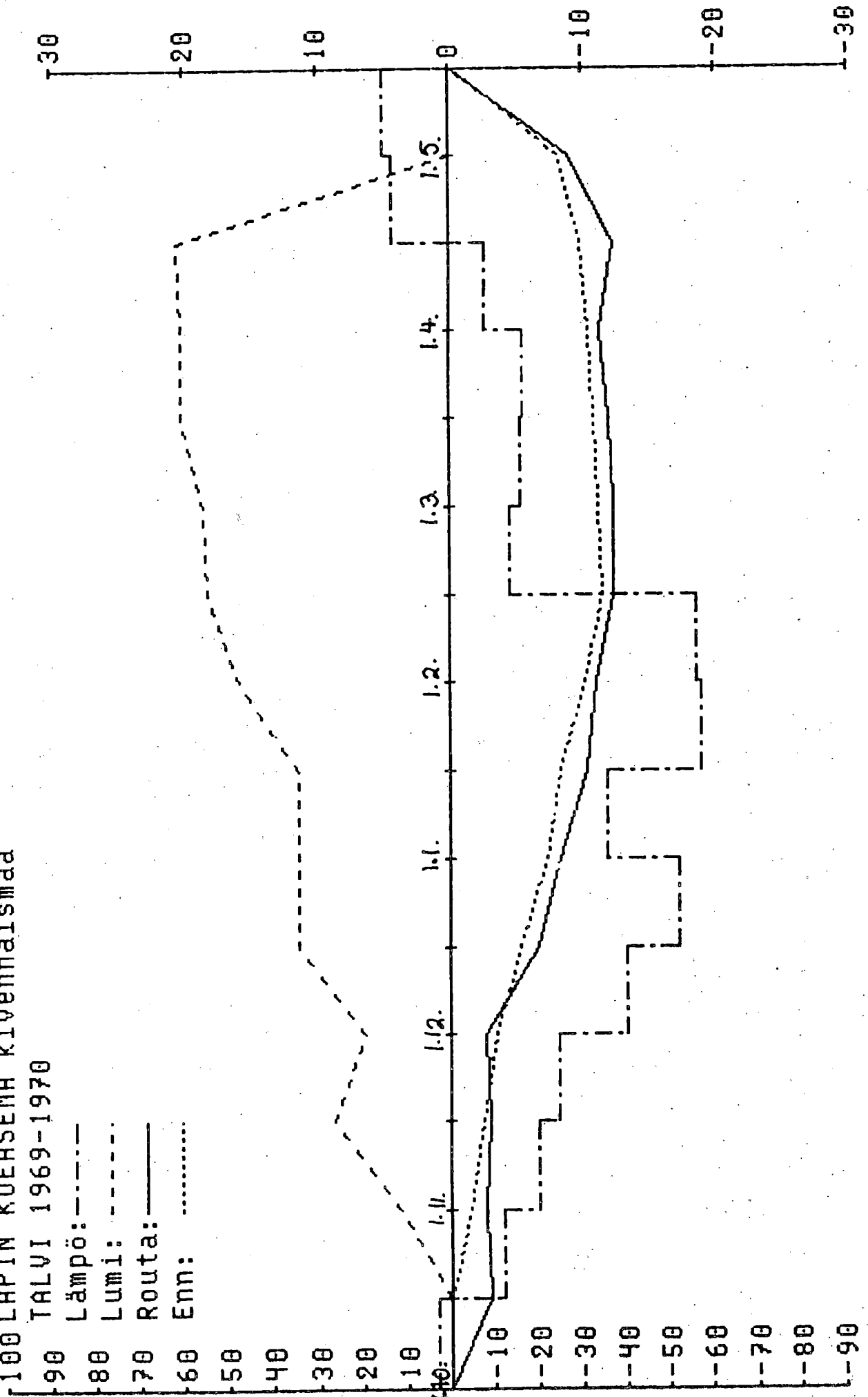
TALVI 1969-1970

Lämpö: - - - -

Lumi: - - - -

Routa: ———

Enn: ·····





100 LAPIN KOEASEMA kivennäismaa

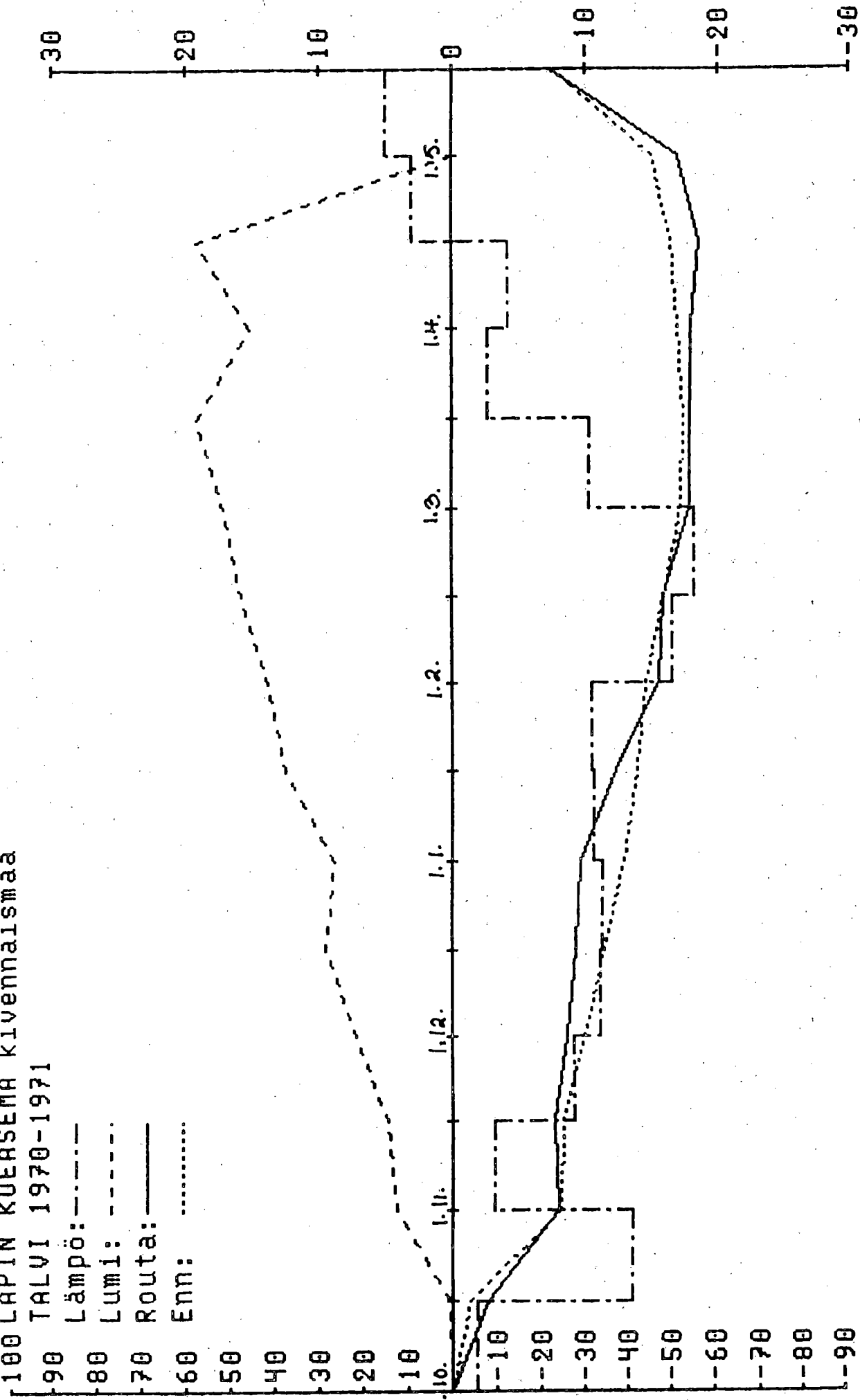
90 TALVI 1970-1971

80 Lämpö: - - - - -

70 Lumi: - - - - -

60 Routa: ———

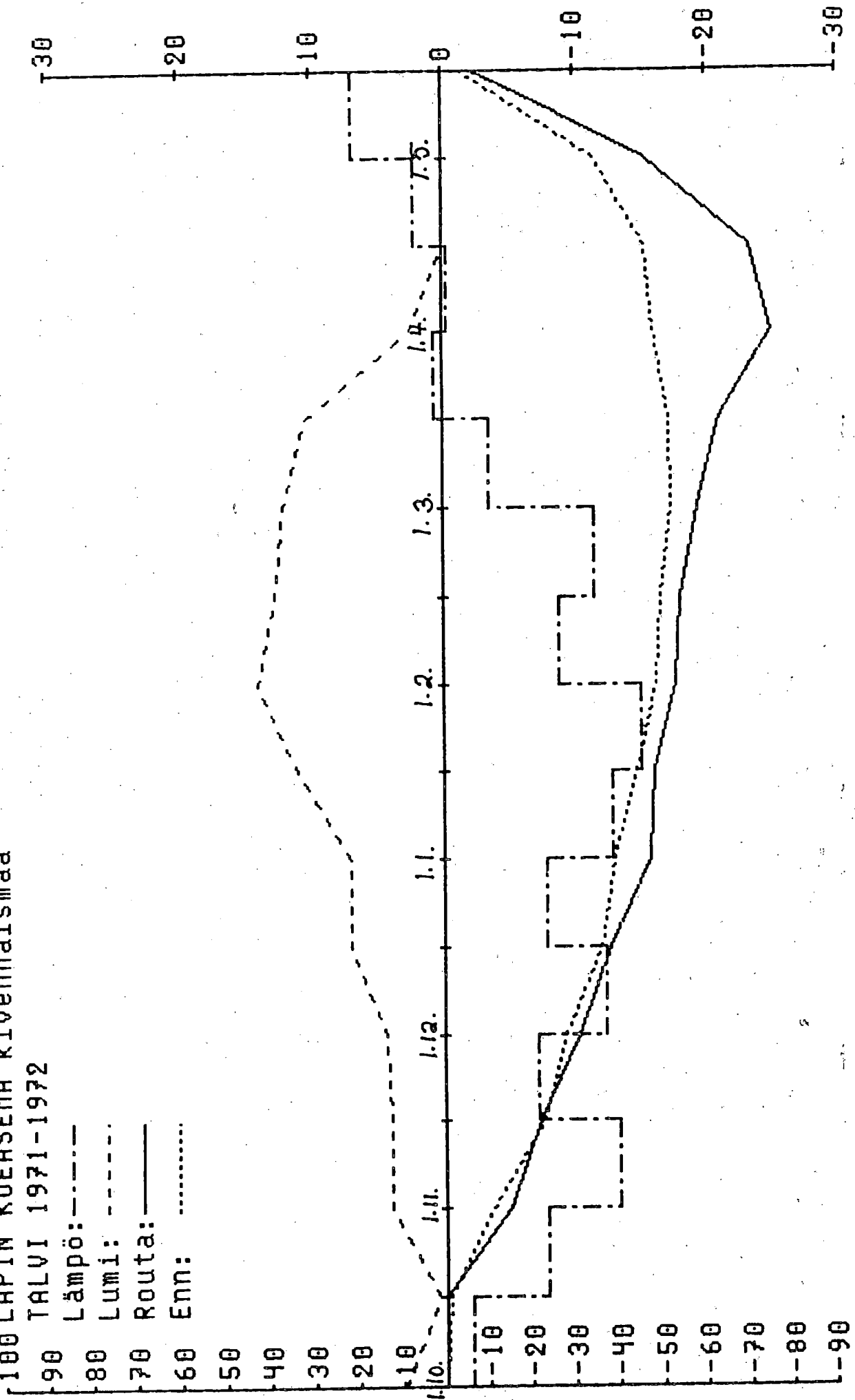
50 Enn: ·····



100 LAPIN KOEASEMA Kivennäismaa

90 TALVI 1971-1972

- 80 Lämpö: -----
- 70 Lumi: - - - - -
- 60 Routa: \_\_\_\_\_
- 50 Enn: .....



100 LAPIN KOEASEMA Kivennäismaa

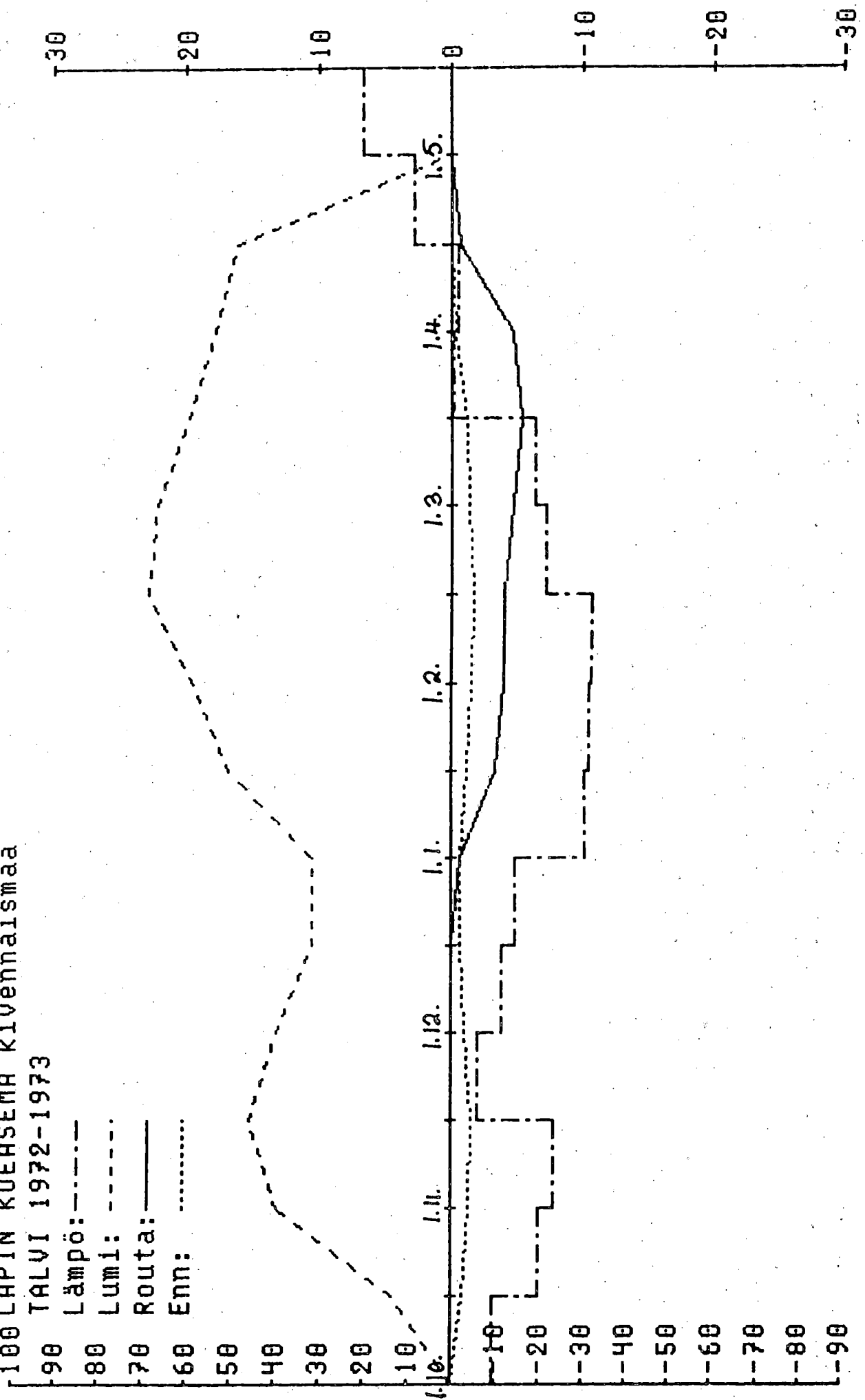
90 TALVI 1972-1973

80 Lämpö: - - - - -

70 Lumi: - - - - -

60 Routa: ———

50 Enn: ······



100 LAPIN KOEASEMA kivennäismaa

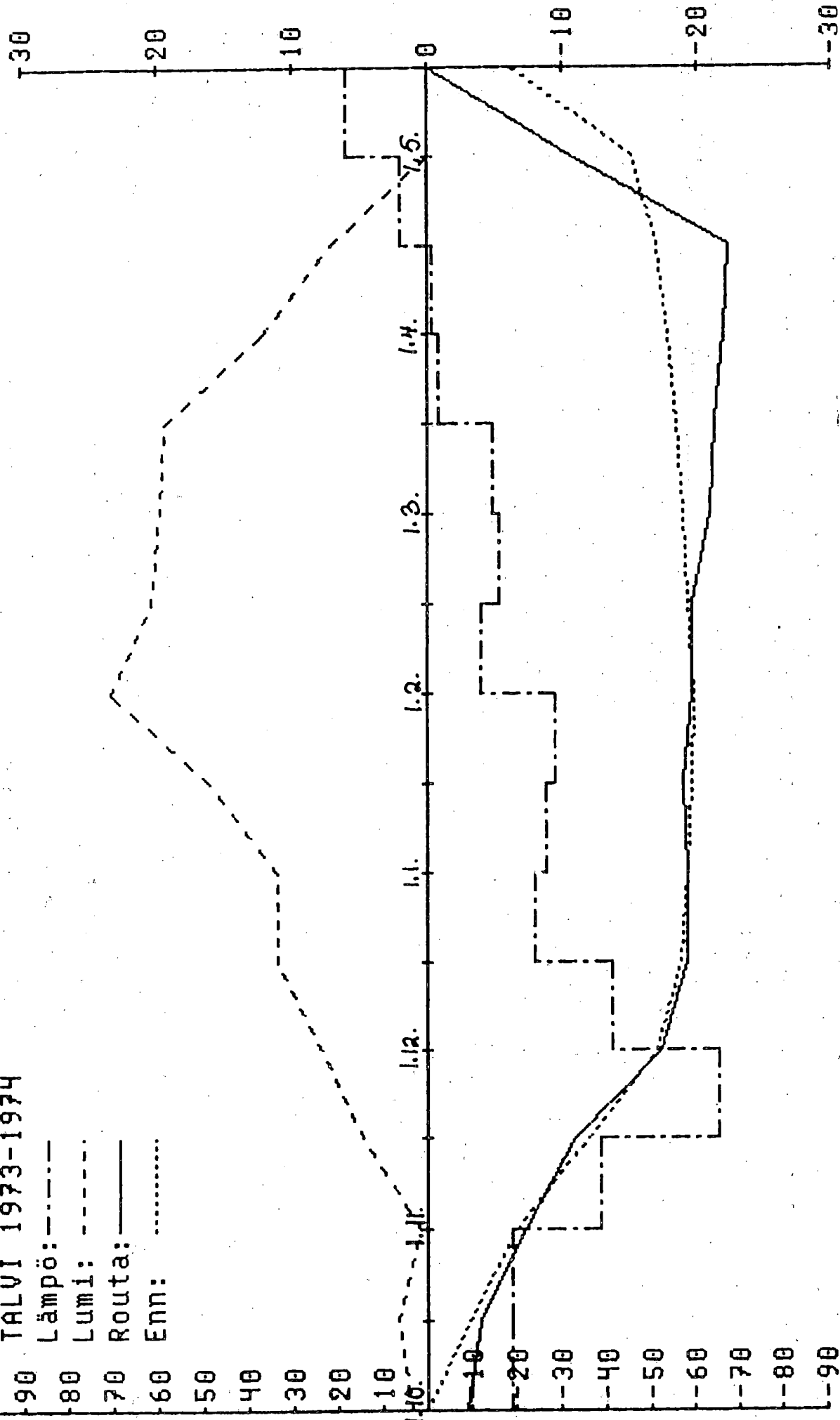
90 TALVI 1973-1974

80 Lämpö: - - - - -

70 Lumi: - - - - -

60 Routa: ———

50 Enn: .....  
40  
30  
20  
10  
0  
-10  
-20  
-30  
-40  
-50  
-60  
-70  
-80  
-90



100 LAPIN KOEASEMA kivennäismaa

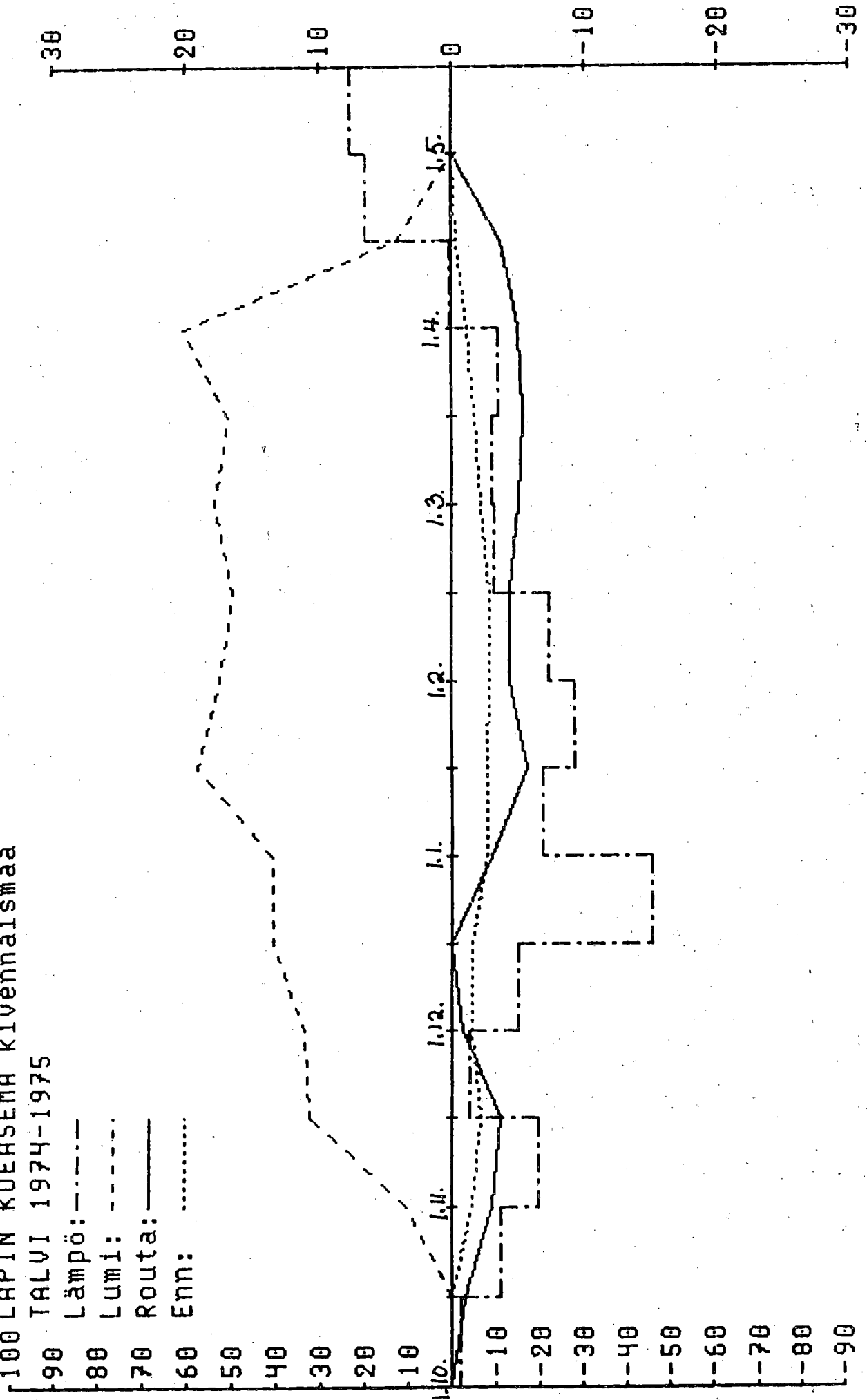
90 TALVI 1974-1975

80 Lämpö: - - - - -

70 Lumi: - - - - -

60 Routa: ———

50 Enn: ·····

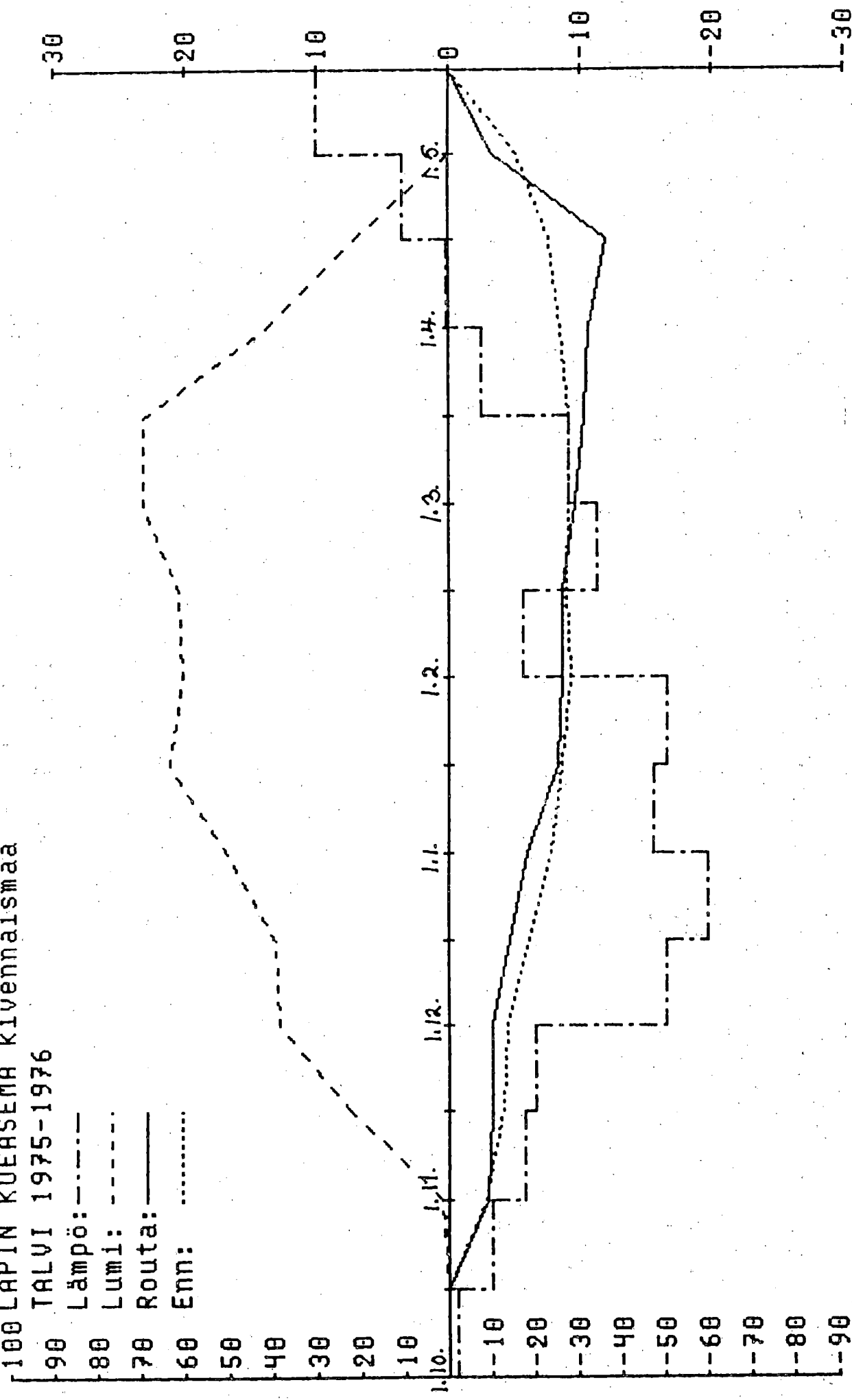




100 LAPIN KOEASEMA Kivennäismaa

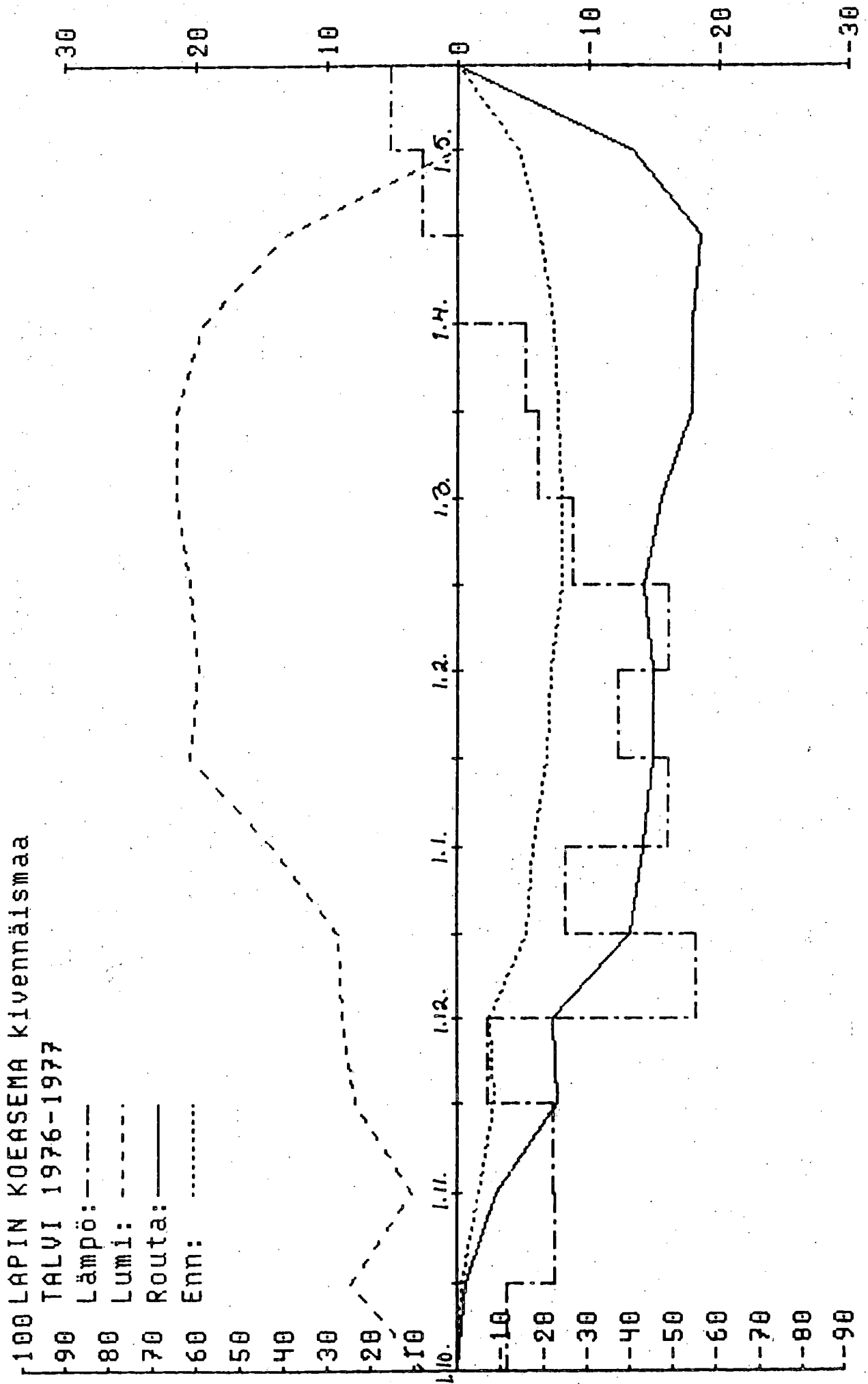
TALVI 1975-1976

- Lämpö: - - - - -
- Lumi: - - - - -
- Routa: ———
- Enn: .....



100 LÄPIN KOEASEMA kivennäismaa  
 TALVI 1976-1977

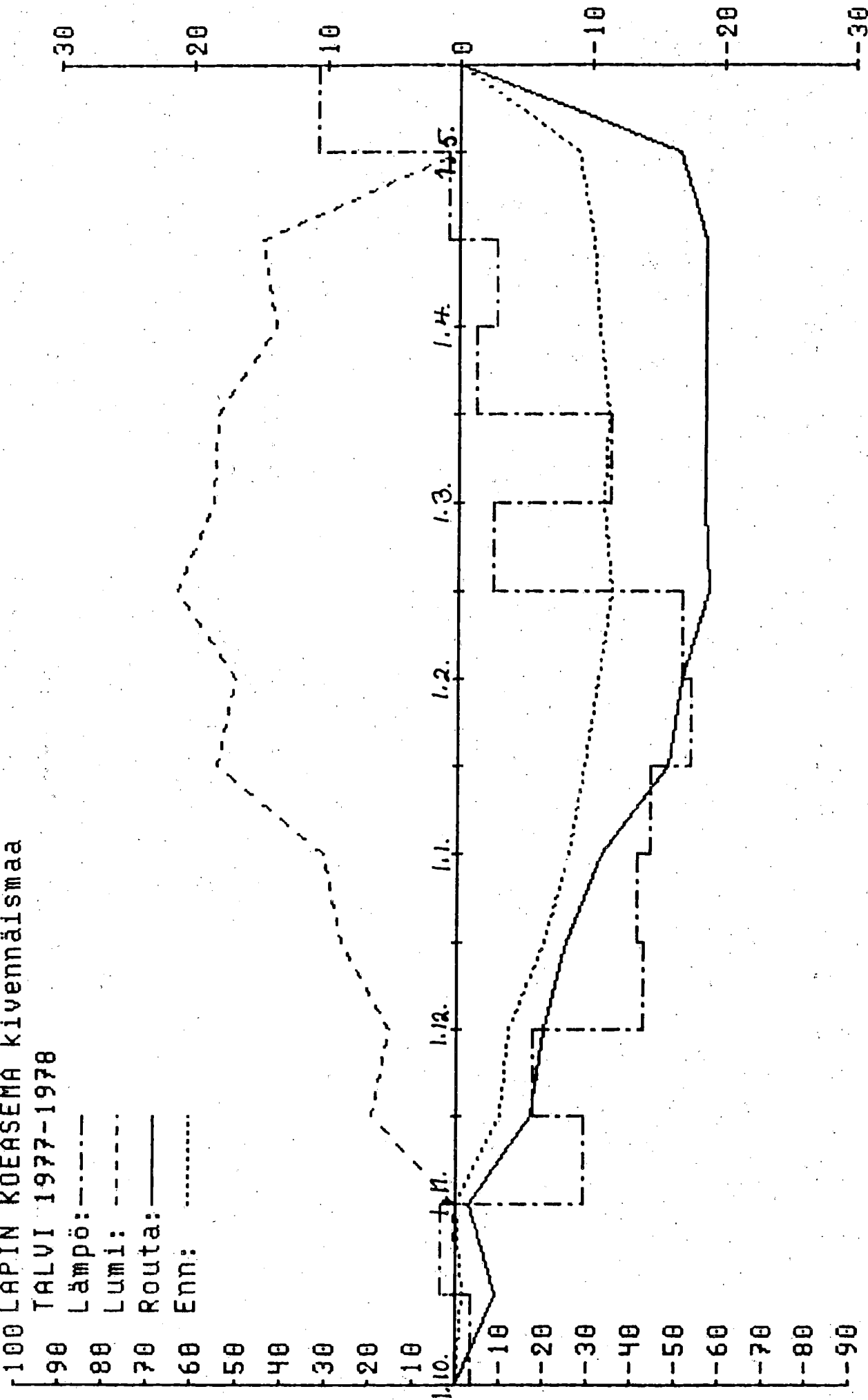
Lämpö: - - - - -  
 Lumi: - - - - -  
 Routa: ———  
 Enn: ·····



100 LAPIN KOEASEMA kivennäismaa

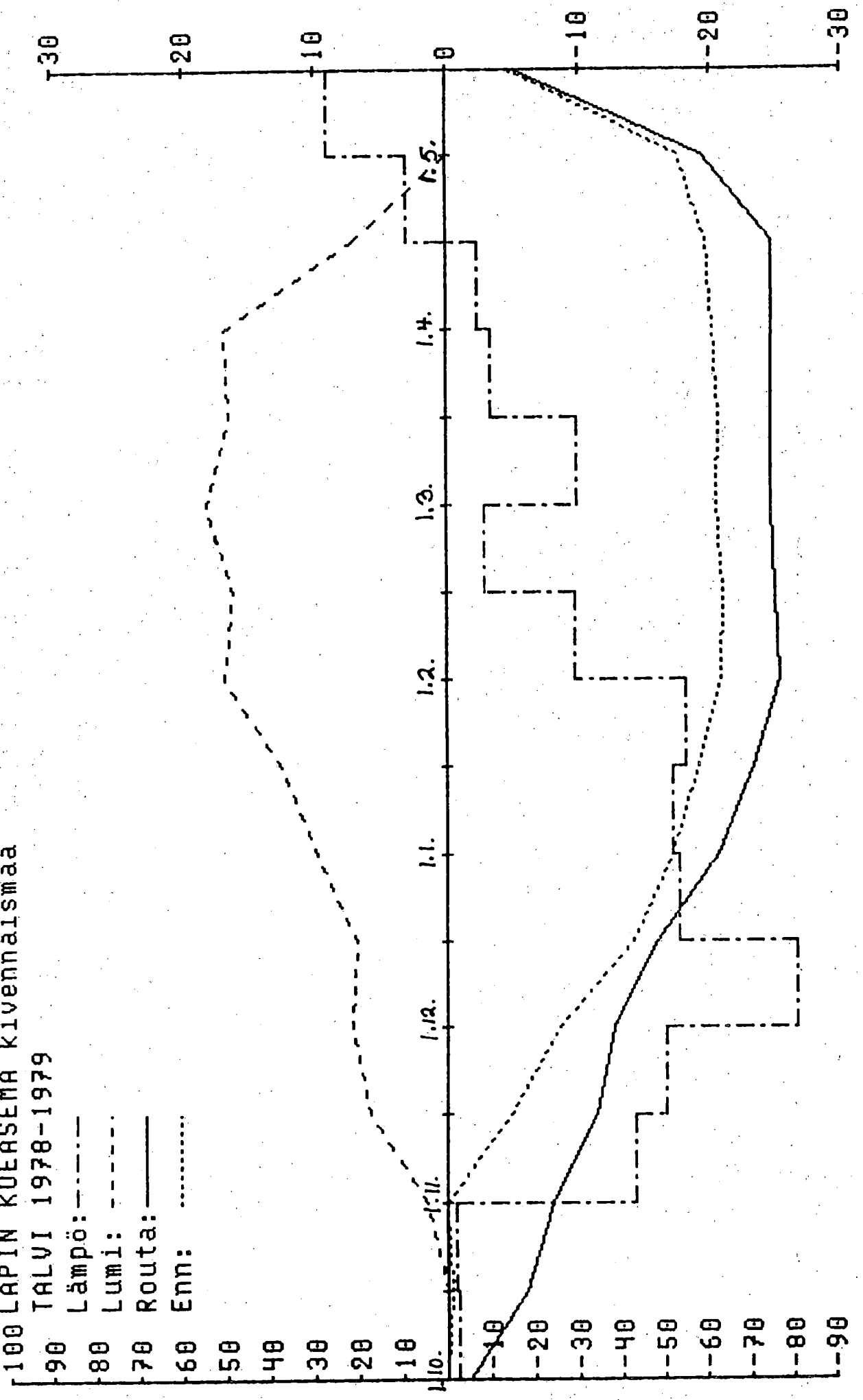
90 TALVI 1977-1978

- 80 Lämpö: - - - - -
- 70 Lumi: - - - - -
- 60 Routa: ———
- 50 Enn: ·····



100 LAPIN KOEASEMA kivennäismaa  
 90 TALVI 1978-1979

Lämpö: - - - - -  
 Lumi: - - - - -  
 Routa: ———  
 Enn: ······



100 LAPIN KOEASEMA kivennäismaa

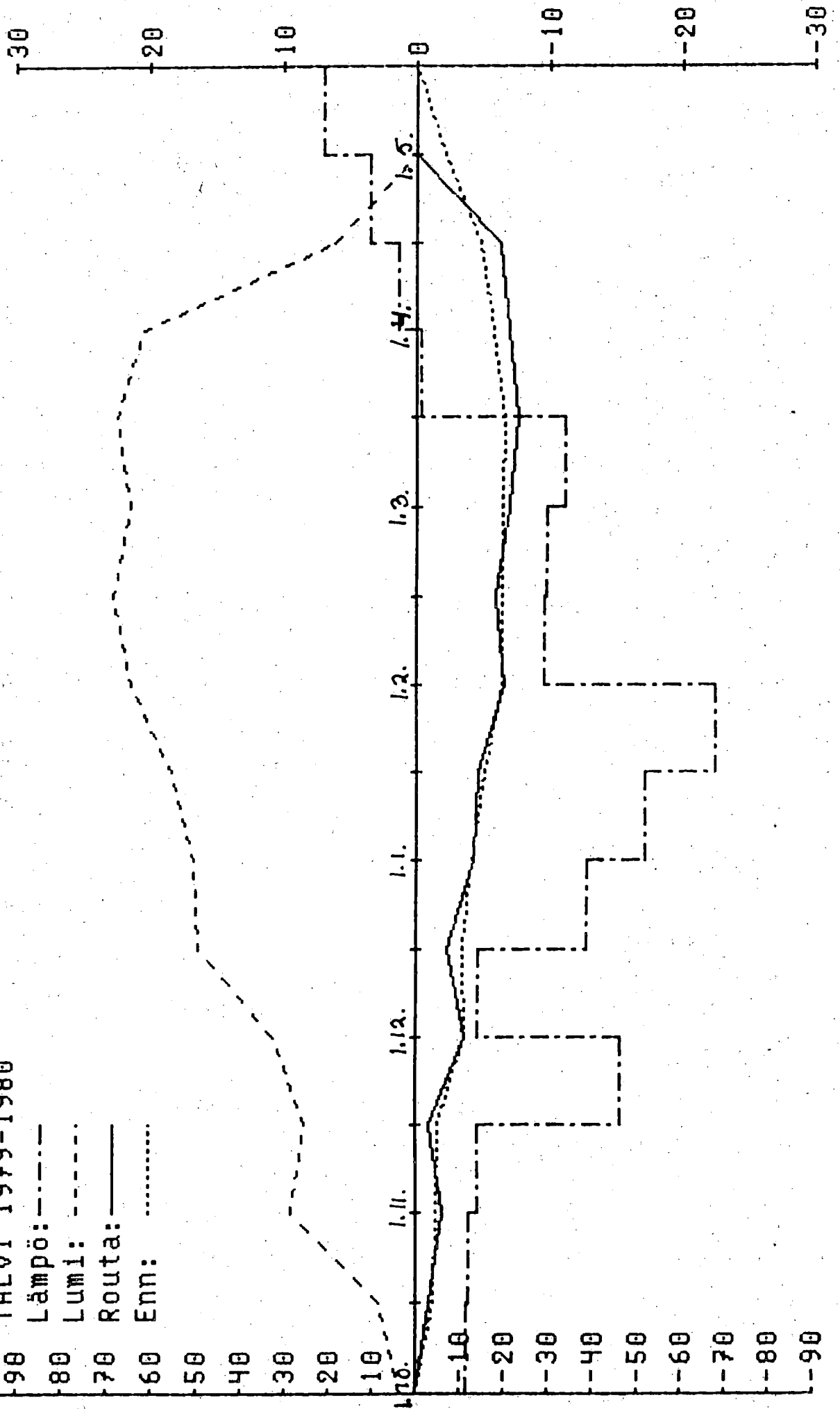
90 TALVI 1979-1980

80 Lämpö: - - - - -

70 Lumi: - - - - -

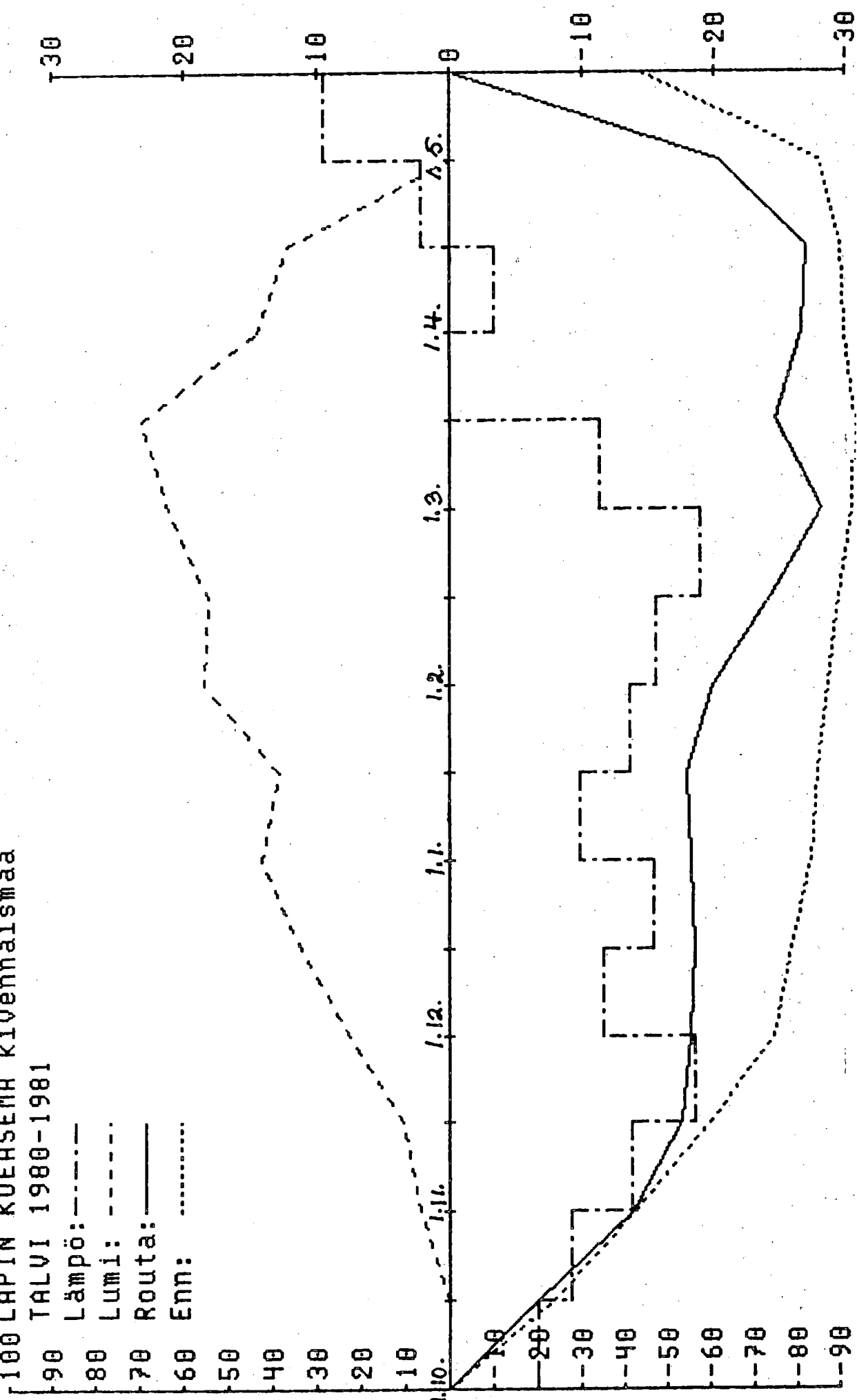
60 Routa: ———

50 Enn: .....  
40  
30  
20  
10  
0  
-10  
-20  
-30  
-40  
-50  
-60  
-70  
-80  
-90



100 LAPIN KOEASEMA kivennäismaa  
 90 TALVI 1980-1981

80 Lämpö: -----  
 70 Lumi: - - - - -  
 60 Routa: \_\_\_\_\_  
 50 Enn: .....  
 40  
 30  
 20  
 10  
 0  
 -10  
 -20  
 -30  
 -40  
 -50  
 -60  
 -70  
 -80  
 -90



100 LAPIN KOEASEMA kivennäismaa

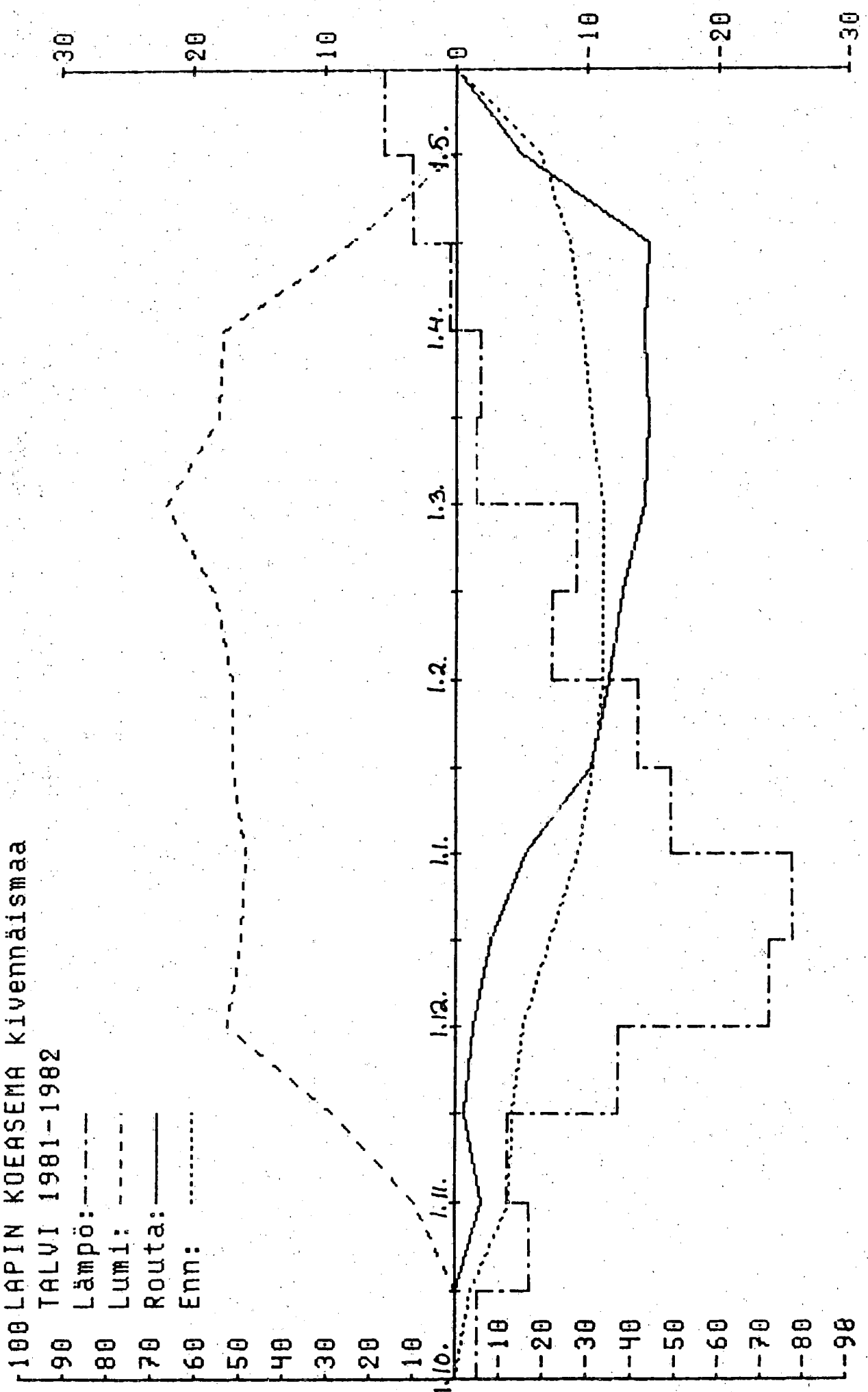
90 TALVI 1981-1982

80 Lämpö: - - - -

70 Lumi: - - - -

60 Routa: ————

50 Enn: ······



MAATALOUDEN TUTKIMUSKESKUKSEN TIEDOTTEET

1983

1. Maatalouden tutkimuskeskuksen yksiköiden tiedotteet 1975-1982.  
48 p.
2. KONTTURI, M. Mallasohra - kirjallisuuskatsaus. 42 p.
3. NORDLUND, A. & ESALA, M. Maatalouden sääpalvelut ulkomailla.  
Kirjallisuustutkimus. 66 p.
4. MUSTONEN, L., PULLI, S., RANTANEN, O. & MATTILA, L.  
Virallisten lajikekokeiden tuloksia 1975-1982.  
186 p. + 4 liitettä.
5. SUONURMI-RASI, R. & HUOKUNA, E. Kaliumin lannoitustason ja -tavan  
vaikutus tuorerehunurmien satoihin ja maiden K-pitoisuuksiin.  
13 p. + 8 liitettä.
6. KEMPPAINEN, E. & HEIMO, M. Förbättring av stallgödselns  
utnyttjande. Litteraturöversikt. 81 p.
7. MULTAMAKI, K. & KASEVA, A. Kotimaiset lajikkeet. 10 p.
8. LÖFSTRÖM, I. Kasvien sisältämät aineet tuholaiistorjunnassa. 26 p.
9. HEIKINHEIMO, O. Kirvojen preparointi ja määrittäminen. 67 p.  
+ 12 liitettä.
10. SAARELA, I. Soklin fosforimalmi fosforilannoitteena. p. 1-13.  
- Humuspitoiset lannoitteet p. 14-20.
11. YLÄRANTA, T. Jordanalytiska metoder i de nordiska länderna. 13 p.
12. LUOMA, S. & HAKKOLA, H. Avomaan vihanneskasvien lajikekokeiden  
tuloksia vuosilta 1979-82. 21 p.
13. KIVISAARI, S. & LARPES, G. Kylvöajankohdan vaikutus kevätvehnän, ohran  
ja kauran satoon 10-vuotiskautena 1970-1979 Tikkurilassa. 54 p.
14. ERVIÖ, R. Maaperäkarttaselitys. ESPOO - INKOO. 26 p.
15. BREMER, K. Ydinkasvien tuottaminen kasvisolukkoviljelyn avulla. 63 p.

1984

2. ESALA, M. & LARPES, G. Kevätviljojen sijoituslannoitus savimail-  
la. 35 p.
3. ETTALA, E. Ayrshire-, friisiläis- ja suomenkarjalämmien vertailu  
kotomilla rehuilla. 7 p. + 13 liitettä.



4. LUOMA, S. & HAKKOLA, H. Keräkaalin lajikekokeiden tuloksia vuosilta 1975-83. 22 p.
5. KURKI, L. Tomaattilajikkeet ja hiilidioksidin lisäys. Kasvihuoneto-  
maatin viljelylämpötiloista. Kasvihuonekurkun tuentamenetelmien ver-  
tailua. Sijoituslannoitus ja kasvualustan ilmastus kasvihuonekurkulla  
ja tomaatilla. 21 p.
6. VUORINEN, M. Italianraihinä ja viljat tuorerehuna. 17 p.
7. ANISZEWSKI, T. Lupiini viherlannoituskasvina. Arviointeja esikokeiden  
ja kirjallisuuden pohjalta. 11 p.
8. HUOKUNA, E. HAKKOLA, H. Koiranheinän ja timotein kasvu ja rehuarvon  
muutokset säilörehuasteella. 54 p.
9. VALMARI, A. Roudan kehittymisen tilastollinen malli. 33 p.

