

PRI LA NUNTEMPA LEVIĜO DE LA TERKRUSTO EN FINNLANDO

de D-ro ERKKI KÄÄRIÄINEN
Geodezia Instituto de Finnlando

La moviĝo de la limo inter tero kaj maro estis observata en Finnlando jam de antaŭ tricent jaroj. La reformiĝoj en la naturo pro ĉi tiu fenomeno estas observeblaj sur la malprofundaj kaj malkrutaj bordoj de Finnlando jam dum la daŭro de unu homa vivo — aperas novaj rokinsuletoj kaj rifaĵoj — trairejoj de ŝipoj kaj golfetoj malprofundiĝas kaj la areo de la tero kreskas — laŭ unu kalkulo ĉirkaŭ 1000 km² po jarcento.

La fenomeno interesis sciencistojn jam en la fino de la 17-a jarcento. La nomoj de konataj svedaj fizikisto Anders Celsius kaj natursciencisto Carl von Linné estas menciindaj ĉi tie. Celsius kalkulis en 1731, ke la malleviĝo de mara surfaco egalas 4,1 futojn po jarcento. Tio egalvaloras 13 mm pojare kaj estas tre bona takso por tiu tempo.

La sciencistoj disopiniis pri la kaŭzo de la moviĝo de la borda limo. Oni ne povis konkludi, ĉu la kvanto de akvo en la mondo malkreskas, aŭ ĉu la terkrusto leviĝas. Fine la finnaj preposto J. Brownellus kaj termezuristo E. O. Runeberg sukcesis per multaj observaĵoj montri, ke validas la lasta alternativo, ĉefe pro tio, ke, laŭ la observoj, la translokiĝo de la borda limo ne estas egala ĉie sur la diversaj partoj de la Fennoskandiaj bordoj.

La opinio pri la terkrusta leviĝo klariĝis kaj ricevis pli bonan motivadon flanke de geologoj, kiam ili solvis la problemon pri glaciaj epokoj kaj montris, ke la konfuzaĵoj sur tero, kiujn oni pli frue atribuis al maro, estas postsignoj de agado de la kontinenta glacio. La geologoj komencis studi per siaj metodoj, kiel la limo inter tero kaj maro translokiĝis dum pasintaj jarmiloj. La nuntempa leviĝo de la terkrusto estas observebla kaj taksebla multmaniere, ekz. per la diversaĝaj signoj sur bordaj rokoj, montrantaj la altecon de mara nivelo, per la diversaĝaj kartoj kaj monumentoj sur bordaj regionoj, per la marciga fenomeno, per la rekta mezurado rilate al ŝanĝiĝoj de mara nivelo kaj de niveloj de enlandaj lagoj rilate al la kliniĝanta terkrusto, kaj fine kaj plej bone per la komparo de diversaĝaj fundamentaj niveladoj.

Malnovaj, eĉ ducent-jaraj signoj sur bordaj rokoj, montrantaj maran nivelon je la enskriba tempo, ekzistas multaj kiel plej bonaj argumentoj por la leviĝo de terkrusto; ankaŭ la malegala kvanto de leviĝo en

diversaj lokoj estas klare observebla ĉe ili. Estas laŭnature, ke ili estas nur prikvalitaj markoj, por kalkulo de preciza kvanto de leviĝo ili ne taŭgas. Elklariĝis, ke oni bezonas longperiodajn kaj regulajn mezuraĵojn por fiksi la mezan nivelon de mara surfaco. Por tiu celo — meze de la 19-a jarcento — la unuaj akvoskaloj estis konstruataj; la novaj aŭtomataj mezuriloj, mareografoj, anstaaŭis ilin kelkajn jardekojn post tio. Sur ĉi tiuj mezuradoj estas bazitaj ĉiuj fruaj kalkulaĵoj, ekz. tiuj de Witting kaj Hela, koncernantaj la leviĝon de la terkrusto sur bordoj de Finnlando. — Aliflanke, ankaŭ geologoj sciigis kelkajn proksimumajn taksojn de leviĝo dum pasintaj jarmiloj.

Al la menciitaj esploroj aldoniĝis nun en Finnlando nova rimedo, kiu en sia tuta vasteco lastatempe estis aplikata de la aŭtoro por taksii la leviĝon de terkrusto ankaŭ enlande. La rimedo estas la komparo de du precizaj niveladoj, kiu en Finnlando montriĝis la plej bona kaj fidinda metodo. Premisoj de la metodo estas, ke ekzistas en la lando minimume du precizaj niveladoj kun sufiĉe longa intertempo, ke la komparaj punktoj estas tre sekuraj kaj senmovaj kaj plie ke la fenomeno de leviĝo estas sufiĉe granda por montriĝi el la mezuradoj. Pro neplenumo de tiuj premisoj la metodo ĝis nun ne estis utiligebla aliloke.

La unua fundamenta nivelado en Finnlando estis efektivigata en la jaroj 1892-1910. La reto konsistas el 11 fermitaj multanguloj kaj el aro da aldonaj linioj. La suma longeco de tiuj linioj estas 5200 km. La linioj iras laŭ la plej gravaj fervojoj kaj publikaj ĉefvojoj; apud ili estas la fiksitaj punktoj, la boltoj, je la distanco de 1,5-2 km. La boltoj estas fiksitaj ĉefe en la fundamenta roko, en terenaj ŝtonegoj kaj aliaj senmovaj subaĵoj, sume pli ol 3000 ekzempleroj.

Pro diversaj kaŭzoj ĉi tiu laboroza mezurado estis renovigata en la jaroj 1935-1955. La reto konsistas el 18 fermitaj multanguloj, kaj la longeco de la linioj estas sume 6600 km. Ĝi enhavas preskaŭ la tutan antaŭan reton; linioj komunaj al ambaŭ niveladoj havas suman longecon de pli ol 4000 km. Ĉar duono el la boltoj sidas en la fundamenta roko, ni tiel havas 1000 speciale fidindajn kaj por kalkulo de terkrusta leviĝo tre taŭgajn komparajn punktojn — meznombro je interdistancoj de 5 km. Ĉar la intertempo de la niveladoj plie estas ĉirkaŭ 50 jaroj, la kalkuloj certe kaj bele esprimas la diverskvantan rapidecon de la leviĝo en malsamaj regionoj.

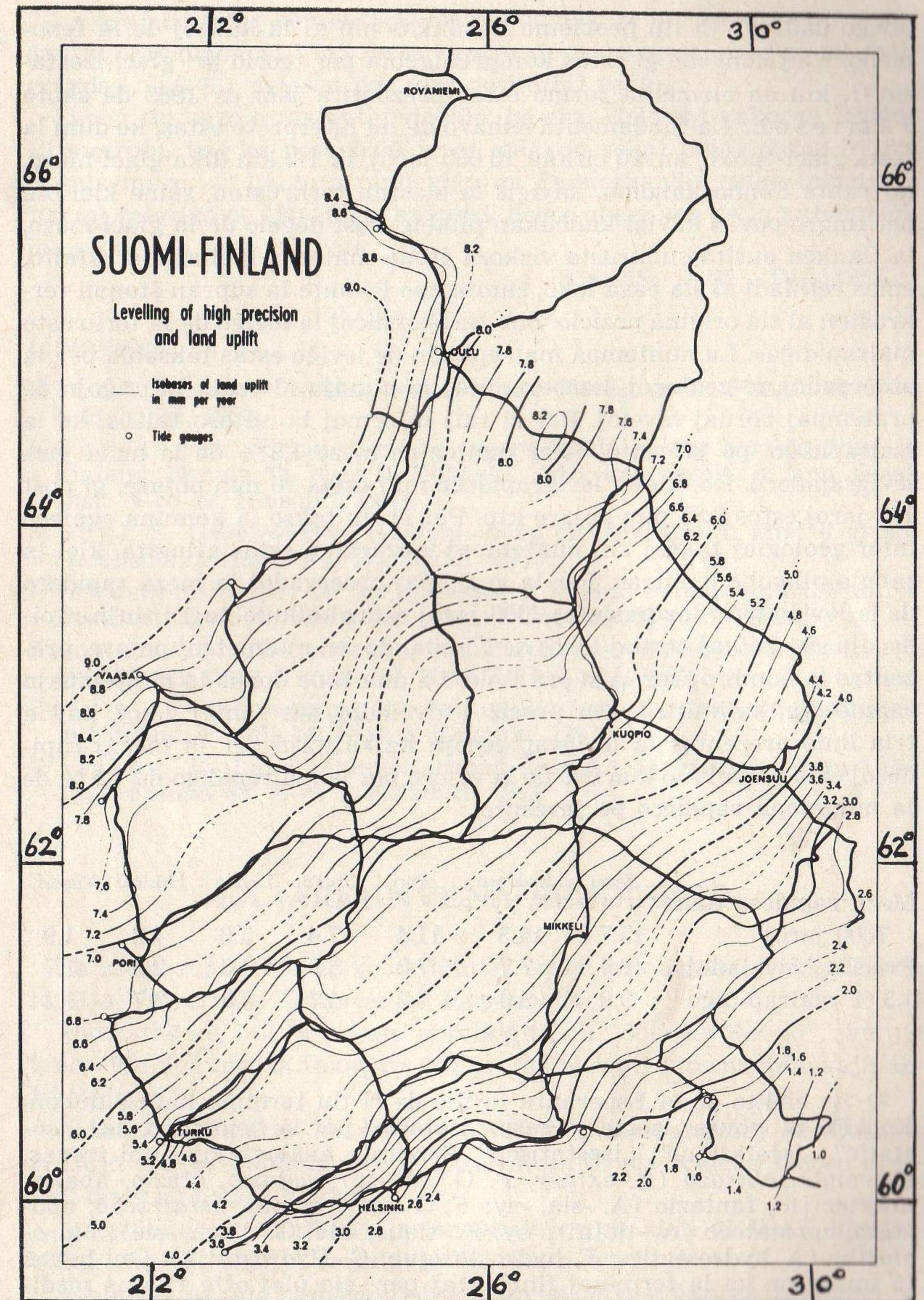
Ĉar la mezurado en ambaŭ niveladoj daŭris ĉirkaŭ 20 jarojn, la retoj ne estas senpere kompareblaj, sed la leviĝo de la terkrusto dum la mezurado devas esti konsiderata. Pro malsimila formo de la retoj la aŭtoro utiligis en kalkuloj la alproksimigan metodon. Tio signifas unue, ke la linioj de la komuna parto de la retoj estas partigitaj en linieroj, kiuj en ambaŭ niveladoj estis mezurataj seninterrompe (meze

50 km). La komparo de la altecdiferencoj inter la ekstremaj punktoj de ĉi tiuj linieroj en la unua kaj dua niveladoj donas la diferencon de leviĝo inter ĉi tiuj ekstremaj punktoj. Ĉar la komparataj boltoj sidas en fundamenta roko, la tempa ŝanĝiĝo de la altecdiferenco signifas do nur la malsaman leviĝrapidecon inter la ekstremaj boltoj de la linieroj, kaj estas do kalkulebla po jaro. Per ĉi tiuj pojaraj relativaj leviĝnombroj ambaŭ niveladoj, la unua kaj la dua, estas reduktataj en sian propran mezan tempopunkton, kvazaŭ la tuta reto, en la unua kaj la dua niveladoj, estus mezurita en unu momento. (Fakte la mezurado de la retoj daŭris en ambaŭ niveladoj ĉ. 20 jarojn). Poste ĉi tiuj reduktitaj mezuraĵoj estas alĝustigataj en la nomitaj mezaj tempopunktoj. Tiel la intertempo de la mezuradoj samigiĝas inter ĉiuj boltoj komunaj al ambaŭ niveladoj. La komparo de la alĝustigitaj retoj estas nun facila kaj la iomete ŝanĝitaj altecdiferencoj donas la novajn kaj pli precizajn leviĝnombrojn, per kiuj la metodo estas ripetebla, ĝis la dezirata precizeco en la leviĝnombroj estas atingita. La aŭtoro per tri alproksimigoj atingis en milimetroj esprimitajn jarajn leviĝnombrojn, en kiuj la dua decimalo ne plu ŝanĝiĝis. Tiel ricevita leviĝnombroj estas ankoraŭ relativaj; ili do ne rilatas al la meza mara nivelo. Por ricevi la absolutajn kvantojn de la leviĝo, la absolutaj leviĝnombroj ricevita el mareografoj estas bezonataj. La nombro de la mareografoj estas 12 sur la nunaj bordoj de Finnlando. Ĉiuj estis utiligataj kun konsidero pri ilia diversa precizeco. Nur per ĉi tiu kombino de du firmteraj niveladoj kun la mareografoj, oni trovas por ĉiu enlanda bolto komuna al ambaŭ niveladoj ĝian individuan rapidecon de leviĝo.

La rezultojn prezentas la almetita karto. Ĝi montras la reton de la dua nivelado kaj la izobazojn¹⁾, kiuj prezentas la jaran leviĝrapidecon en milimetroj. La meznombra precizo de la jaraj leviĝnombroj estas $\pm 0,25$ mm. La cirkloj en bordaj regionoj estas mareografoj. Oni povas vidi, ke la centro de la leviĝregiono situas en norda parto de Botnia maro kaj la leviĝrapideco tie estas 10 mm po jare aŭ 1 m po jarcento. De tie la rapideco malkreskas en direkto al sudo kaj oriento. Tiamaniere la terkrusto nun en suda Finnlando leviĝas kaj samtempe kliniĝas en direkto al sudoriento.

Interesa estas la komparo de la novaj leviĝ-izobazoj kun la nuna pozicio de bordaj niveloj de pratempaj maroj, kiel la geologoj prezentas ilin per siaj karto. Estas facile observi, ke ĉi tiuj linioj havas surprize konforman aspekton, eĉ en detaloj. Ĉi tiu cirkonstanco pravigas la konkludon, ke la leviĝo de la terkrusto dum jarmiloj restis samforma kaj konservis siajn proprajn karakterizajn trajtojn. Tio rajtigas al la supozo, ke la fenomeno daŭros samspeca. Ĝis kiam la

1) *Izobazo*: linio el punktoj kun egala leviĝo.



Finnlando — Precizegaj niveladoj kaj terkrusta leviĝo.

..... — Izobazoj de terkrusta leviĝo en mm po jaro;
 o mareografoj.

leviĝo daŭros? Ĉi tiu problemo kondukas nin al la kaŭzoj de la fenomeno. Plej konvene ĝi estas komprenigebla per teorio pri glaci-izostazio²⁾, kiu en elementa formo estas prezentita jam en 1865 de skoto Jamieson. La fundamenta enhavo de lia interpreto estas, ke dum la lasta glaci-epoko, antaŭ cirkaŭ 10 000 jaroj, la 1-2 km dika glaci-maso, kovranta Fennoskandion, kavigis la elastan terkruston, same kiel oni per fingro povas kavigi kaŭĉukan pilkon. Post degelo de la glaci-maso, la flanken puŝita subkrusta viskoza ŝtona materio, kiel solida asfalto, emas refluaĉi al sia eksa loko, samtempe levante la supran ŝtonan terkruston al sia origina pozicio. Sub tiaj kondiĉoj la leviĝo de la terkrusto malrapidiĝas. La nuntempa malrapidiĝo de leviĝo estas taksebla per la observadoj de geologoj, koncernantaj la nunajn altecojn kaj aĝojn de pratempaj bordaj niveloj. Per ĉi tiuj informoj la aŭtoro taksis, ke la malrapidiĝo, po jarcento, estas nuntempe meze 1,3 % de la nuna jara leviĝrapideco. Do, kie la leviĝrapideco nun estas 10 mm pojare, ĝi post 100 jaroj estos 9,87 mm pojare ktp. Per ĉi tiu takso la komuna egaleco inter geologiaj taksoj kaj nuntempaj mezuradoj estas atingita, kiel la tabulo pli sube montras. Per la geologiaj observadoj la meza rapideco de la leviĝo dum lastpasintaj 7000 jaroj estas kalkulebla; ĉi tiujn rapidecojn sur kelkaj bordaj lokoj de Finnlando, en milimetroj pojare, prezentas la nombroj sur la supra linio. La dua linio donas la nuntempajn rapidecojn, kalkulitajn per precizaj niveladoj, sur samaj lokoj, kaj la tria linio prezentas la leviĝrapidecojn kalkulitajn per la mezaj rapidecoj el la unua linio kun uzo de la valoro por la malrapidiĝo de 1,3 % de la nuntempa rapideco po jarcento.

	Kemi	Kaskinen	Pori	Turku	Hanko	Helsinki	Viipuri
Meza rapideco dum 7000 jaroj	15.7	14.3	11.4	7.4	5.6	4.3	1.9
Precizaj niveladoj	8.5	7.7	7.0	5.3	3.6	2.9	1.7
1,3 % malrapidiĝo	9.9	9.0	7.2	4.7	3.5	2.7	1.2

²⁾ La elekto de la Esperanta formo de ĉi tiu termino kaŭzis dubon. En AFG ni trovas „isostasy” resp. „isotasy” por la fenomeno, kaj „isostatic”, „isostatique”, „isostatisch”. Serĉante analogiaĵojn, oni trovas, ekzemple: *ekstazo* (A. extasy, F. G. extase); *astazio*, afazio, abazio, anestezi(o), fantazio (A. -sia, -sy; F. G. -sie); *astata*, *astat(ec)o*, apostata, apostateco (A. -tic(al), -sy; F. -tique, -sie; G. -tisch, -sie); *hidrostatiko* (A. hydrostatics; F. hydrostatique; G. Hydrostatik). Oni havas la impreson ke la terminoj finiĝantaj per *-zio* plej ofte rilatas medicinon, estas nomoj de malsanoj. Se oni konsideras la paron *astazi-astat'*, la unua estas medicina, la dua fizika termino. Volonte ni ricevos kontribuojn al diskuto pri ĉi tiu terminologia demando.

— La Redaktoro.

La egaleco estas kontentiga kaj pliboniĝas, se oni supozas pli grandan malrapidiĝon (1.7 %) ĉe la centro de la leviĝregiono kaj pli malgrandan (1.0 %) valoron por ĝiaj periferiaj partoj.

Sur ĉi tiu bazo estas antaŭvideble, ke ekz. Helsinki ankoraŭ leviĝos 15 metrojn, kaj ke post 2600 jaroj oni kun sekaj botoj povos iri tra Botnia maro. — La tuta malleviĝo en Fennoskandio estas taksita je 700 m; releviĝo de 180-200 m ankoraŭ devos okazi por ke la antaŭglacitempa alteco estu atingota.

Ricevita je 25 - IV - 1955.

Literaturo:

- H e l a, I. A study of land upheaval at the Finnish coast. *Fennia* 76, N-ro 5. Helsinki, 1953.
- K ä ä r i ä i n e n, Erkki. On the recent uplift of the earth's crust in Finland. *Fennia* 77, N-ro 2. Helsinki, 1953, kaj Veröff. d. finn. Geod. Inst. N-ro 42. Helsinki, 1953.
- M o d e l, F. Gegenwärtige Küstenhebung im Ostseeraum. *Mitt. d. geogr. Gesellsch. in Hamburg*. Bd. XLIX. 1950.
- N i s k a n e n, Erkki. On the upheaval of land in Fennoscandia. *Publ. of the Isost. Inst. of the Intern. Ass. of Geodesy*, N-ro 6. 1939.
- S a u r a m o, M. The mode of the land upheaval in Fennoscandia in late quaternary time. *Fennia* 66, N-ro 2. Helsinki, 1939.
- S i r e n, A. On computing the land uplift from the lake water records in Finland. *Fennia* 73, N-ro 5. Helsinki, 1951.
- W i t t i n g, R. Landhöjningen utmed Baltiska havet under åren 1898-1927. *Fennia* 68, N-ro 1. Helsinki, 1943.

LA JARKUNVENA REZOLUCIO

La membroj de ISAE, kolektiĝintaj en la jarkunveno de ISAE dum la 41-a Universala Kongreso en Kopenhago.

konstatas ke, laŭ la enketo publikigita en „*Scienca Revuo*”, jam ne ignorebla nombro da fakaj revuoj pretas akcepti internacilingvajn artikolojn;

konstatas aliparte ke multaj sciencistoj-esperantistoj ne utiligas ĉi tiujn eblojn, publikigante la rezultatojn de sia scienca laboro preskaŭ ĉiam en naciaj lingvoj;

instigas la esperantistajn sciencistojn nepre aliĝi al ISAE kaj publikigadi siajn fakajn verkojn en la internacia lingvo;

apelacias al aliaj esperantistoj helpi la plivastiĝantan penetron de Esperanto en sciencaj rondoj per abonado de *Scienca Revuo*, per aĉetado de la aperintaj prelegoj de ISU, per antaŭmendoj de „*Sciencaj Studoj*”, kaj per donacoj al la *Fondaĵo „Scienco”*.