

## Évforduló: Időjárás előrejelzés számítógép segítségével.

Megemlékezés von Neumann és társai egykori munkájáról:

*Numerical Integration of the Barotropic Vorticity Equation.*

2013. szeptember

Hatvanhárom évvel ezelőtt végre megvalósult Richardson álma, hogy az időjárás előrejelzés gyorsabbá vált, mint maga az időjárás változás (Peter Lynch: *The Emergence of Numerical Weather Prediction: Richardson's Dream*; isbn: 9780521857291; Cambridge University Press). Richardson az előrejelzés elvét már a huszas években kidolgozta, de a számítások bonyolultsága és nem-linearitása miatt azok nem voltak elvégezhetőek kellő időben, azaz a változások előbb következtek be, mint az eredmények. Az álom a jóslás felgyorsulását, hogy értelmesen használhatóvá váljék jelentette.

Ezt sikerült 1950-ben Neumann Jánosnak és társainak az ENIAC gépen megvalósítani a barotrópikus örvénylési egyenletek numerikus megoldásával.

Miről is van szó? Ehhez szükséges egy rövid meteorológiai, egyben folyadék dinamikai bevezetőre.

A barotróp atmoszféra:  $\rho = \rho(p)$  vagyis  $\int_0^p \frac{dp}{\rho}$  feltételezi, hogy a nyomás kizárólag a sűrűségtől függ

(és viszont). Ezáltal az izobár rétegek izotermák is, amiből következően a hő okozta szelek magasságfüggőek és örvénylésük erősen korlátozott. Az örvényléseket a Föld forgása és a légtömeg mozgása okozza. Relatív örvénylésnek a légtömeg Földhöz képesti mozgását, sebességét értjük ( a Föld forgása vonzza és ezáltal mozgatja a légrétegeket is). Minket – mivel mi is a Földön vagyunk – csak a relatív mozgás érdekel. Az örvénylést ciklonnak nevezzük, a vele szemben forgót, pedig anticiklonnak.

Az örvénylés anyagi (Lagrange) deriváltja  $\frac{D(f + \zeta)}{D(t)} = 0$ ; ahol  $\zeta$  a relatív örvénylés és  $f = 2\Omega \sin \Phi$

( $\Omega = 0,7272 \cdot 10^{-4}$  rad/s és  $\Phi$  a szélességi fok) az ún. Coriolis paraméter, a Föld forgási „frekvenciája” adott magasságban (szélességi fokon).

Nem részletezve a számításokat, ezekből kiszámítható az adott nyomású légréteg helye, illetve az adott helyhez tartozó légnyomás, egymás után következő időpontokban. A megfigyelt értékeket a numerikus eljárás segítségével felrajzoljuk, majd az egymás után következő időpontokra a Lagrange deriváltak megfelelően újraszámítjuk és felrajzoljuk: ez az előjelzés.

Az integrál meghatározására és numerikus kiszámítására adott javaslatot Neumann János, amelyet végre 1950-ben az Aberdeen Ballistic Research Laboratories ENIAC gépén a Charney J. G., Fjörtoft R., von Neumann J. triónak sikerült elvégezni. Ez volt az első alkalom a számítógépes segítséggel végrehajtott időjárás jóslásra. Az eset külön érdekessége, hogy a programozásban és a végső program-ellenőrzésben részt vett Neumann János felesége, Klára is. Az eredményről a Tellus 1950 novemberi számában leírást és magyarázatot jelentettek meg a szerzők, amelynek eredeti kivonatát itt közlöm saját fordításban:

*Numerical Integration of the Barotropic Vorticity Equation*



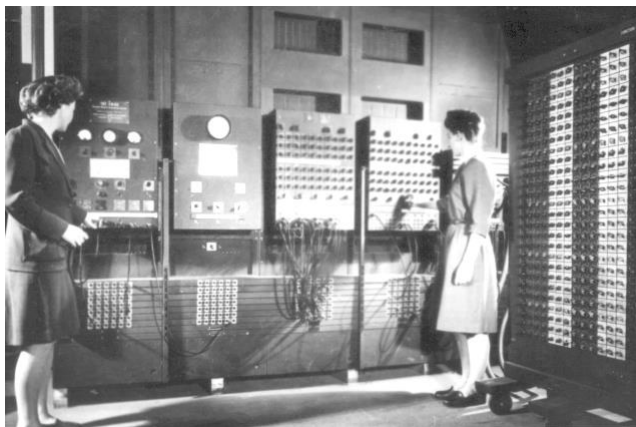
CHARNEY, J. G., FJÖRTOFT, R. and Von NEUMANN, J. (1950), *Numerical Integration of the Barotropic Vorticity Equation*. Tellus, vol.2, num.4, pp. 237–254. Nov. 1950.

A Wiley Online Library engedélyével

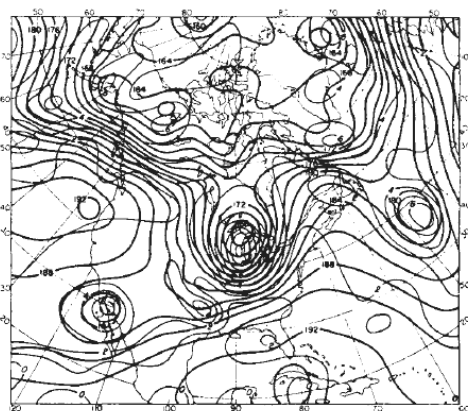
A tanulmányban egy numerikus módszert adunk a barotróp örvénylések egyenletének megoldására Földi felszín egy korlátozott területére. A természetes határok hiánya miatt heurisztikus úton határoztunk meg határokat, amelyek elégségesnek bizonyultak ehhez a speciális esethez. Megközelítő feltételek szükségesek az alkalmazott differenciál egyenletek matematikai stabilitása biztosításához. Az eredmény, amelyet bemutatunk négy 24 órás előjelzés egy sorozata aktuális adatokból kiszámolva. Az eredményeket 500 millibarnak megfelelő magasságban mutatjuk be azok analizisével és magyarázataival. Megkíséreljük továbbá meghatározni az előjelzés hibáinak okait. Ezeket részben a túl nagy térrészeknek, illetve a baroklin hatásoknak – hőmérséklet függő is – tulajdonítjuk. Ez utóbbi hatást megkíséreltük vizsgálni egy egyszerű baroklin modellel.

A munkához egy 19x16-os rácsozatot készítettek, amely lényegében lefedte Észak-Amerikát. Az időjárási adatokat ennek alapján gyűjtötték össze. A számítást nyolc három órás ciklusban végezték, így készült ez egynapos előjelzés.

A gép felkészítése – programozása – három hónapig tartott, amelyben Klara Neumann is részt vett. A tényleges futtatás 24 órát tartott, ami mai szemmel eléggé hihetetlennek tűnik. Az eredmények numerikus formában (!) jöttek létre, a rajzok elkészítése további munkát igényelt. Az ábrán az ENIAC regiszter táblái láthatók két programozó hölgy kíséretében.

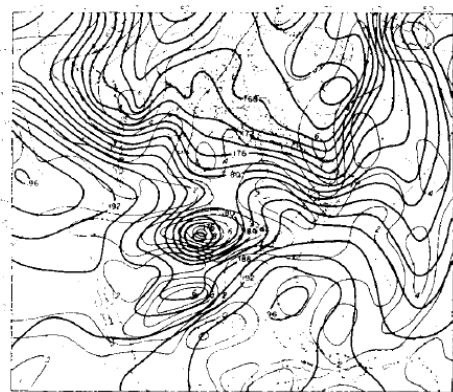


A vonalak a grafikonon az 500 hPa nyomású felület azonos magasságait kötik össze. Úgy foghatjuk fel ezeket, mint izobárok, azonos nyomású légrétegek, elrendeződése a 5500 méter körüli magassági rétegben. A különböző vonalak a maximum-minimum közötti értékeket mutatják.



← mért adatok, t=24 óra. ←

→ t=24 órára számított előjelzés. →



Jól látszik a megfigyelt és az előjelzett adatok közötti hasonlóság. A számítást több napra is elvégezték hasonló eredménnyel.

Az eltéréseknek alapjaiban két oka lehet: számítási hibák és a modell hibái, amelyek különválasztása nem mindig lehetséges. A térbeli növekmények túlzó mérete miatt a számítási hibák bizonyos esetekben olyan nagyok voltak, hogy a modell-problémák okozta maradékhibákról nem lehetett semmit mondani. Mégis, Neumann alaposságára jellemzően, megkísérelnek több javítási modellt felvázolni a nagyobb pontosság érdekében: a differenciál egyenlet közelítési eljárásainak változtatására, a vertikális légmozgások figyelembevételére, a baroklin hatásokra, sőt kimondottan eljutnak egy egyszerűsített baroklin modellhez is.

A javaslatok számítógépes vizsgálatára már nem került többé sor részükről. A modell és a módszer javítása az utódokra hárult, a már egyre korszerűbb számítógépek segítenek az összetettebb, bonyolultabb előrejelzési modellek alkalmazására.

Ma mindennapos a meteorológiai gyakorlatban a szuperszámítógépek használata előrejelzési célokra, amelyeknek az egész Földünkre kiterjedő modellek a bázisai.

Mindenesetre a Neumann János és társai által először végzett előjelzési számítás megmutatta az utat a korszerű technika szükségességére és lehetőségeire, különös tekintettel a matematika szigorú eszközeinek alkalmazására is.

A témával összefüggésben a Szentendre Szalon 2013. november 28-án, 18 órától, a Pest megyei Könyvtár Olvasótermében összejövotelt szervez, amelyen Németh Lajos meteorológus előadásában elmondja mit hozott az elmúlt 63 esztendő az időjárás előrejelzésében és befolyásolási lehetőségeiben. Az előadást beszélgetés, vita követi. Minden érdeklődőt szívesen látunk. Belépési díj nincs.

~~~~~