

Mi a baj a számítógépes előrejelzéssel?

Az előző fejezetekben bemutatott sikerek azzal kecsegtették a meteorológusokat, hogy néhány év alatt sikerül megoldani az előrejelzési feladatot, és teljesülhet végre az ember álma: pontosan ismerheti a jövőt, legalábbis a várható időjárást.

A viharos gyorsasággal elindított fejlesztések eredményei viszont hamar józanságra intették a szakembereket. Kiderült, hogy a számítógépek befogadó képessége és műveleti sebessége nagyságrendekkel elmarad attól, ami az időjárási folyamatok előrejelzéséhez szükséges. A kényszerű kompromisszumok árát pedig a prognózis megbízhatósága területén kellett megfizetni. Többek között ez az indoka annak, hogy csaknem negyed századot kellett várni addig, amíg a számítógépes előrejelzés pontossága versenyre kelhetett a hagyományos módszerrel készített előrejelzések bevalásával. Az informatika alaptörvényeként szokták emlegetni **Gordon Moore**, az Intel alapítójának becslését 1960-ból, amely szerint a számítógépek kapacitása 18 hónaponként megduplázódik. Az idő igazolta a jóslatot. Ez a meteorológusok számára azt jelentette, hogy a légkörmodellek egyre pontosabbak, egyre részletesebbek lehetnek. Mégsem történt áttörés egyik napról a másikra.

A beválás javulásának a tapasztalatok szerint három tényező szabott gátat: a mérések pontatlansága, a modellezés korlátai és a megoldandó matematikai egyenletrendszer komplexitása.

Az **első hibaforrás** hatásának csökkentésére hatalmas erőfeszítések történtek az elmúlt évtizedekben. Sűrítették a megfigyelőhálózat állomásainak számát, növelték az eszközök mérési pontosságát, és új megfigyelési módszereket vezettek be, például meteorológiai műholdakkal mért adatokat integráltak a modellek kiindulási adatbázisába.

A modellezés korlátainak tágitása még napjainkban is komoly feladatot jelent a meteorológiai számítóközpontok számára. A korlátok jelentőségének megítéléséhez induljunk ki abból, hogy a légkör legalsó, mintegy 12-15 km vastag rétege, a **troposzféra** tartalmazza a légkör tömegének mintegy 85 %-át, és a légköri vízgőzkészlet több mint 99,9 %-át. Mivel az emberiség a hatalmas levegőóceán fenekén él, itt képződnek a felhők, itt hull az eső és a hó, joggal mondhatjuk, hogy a troposzféra az időjárási folyamatok zömének színtere, azaz a légkörmodellek számára a legfontosabb övezet. Ennek a vékony rétegnek a horizontális kiterjedése viszont - bármelyik irányba indulunk is el - megegyezik a Föld kerületével. A méretek összehasonlításából az tűnik ki, hogy a horizontális kiterjedés mintegy 4000-szer meghaladja a vertikálisat! Még szembetűnőbb a különbség, ha figyelembe vesszük, hogy a horizontális légmozgások átlagos sebessége a 10 m/s nagyságrendbe esik (nagyobb 1 m/s-nál és kisebb 100 m/s-nál), míg a vertikálisoké átlagosan legfeljebb néhány cm/s, azaz 10-2 m/s. A két eltérő típusú mozgásforma által képviselt mozgási energia viszont a sebesség négyzetével arányos, azaz a kettő aránya 1:1.000.000 a horizontális mozgások javára. Ha egy mérnökhallgató ilyen áramlási viszonyok mellett kap számítási, tervezési feladatot, biztosak lehetünk abban, hogy az egyszerűség kedvéért figyelmen kívül hagyja a vertikális mozgásokat. Nincs kétség afelől, hogy az így tervezett berendezés üzembiztonsága az elhanyagolás ellenére egészen kiváló lenne.

A légkörmodellek készítői viszont a fürdővízzel együtt a gyereket is kiöntenék, ha ezt az egyszerűsítést megtennék. Az időjárás legjellemzőbb folyamatai, vagyis a felhő- és csapadékképződés, és ezen keresztül jelentős (látens) energiaszállítás ugyanis éppen a függőleges légmozgásokhoz kapcsolódik. Hiába tudja a számítógép tized m/s pontossággal előrejelezni a szélesebbéget a légkör tetszőleges szintjén, ha a felhasználót sokkal jobban érdekli az, sütni fog-e a Nap, esni fog-e az eső?! A VIII. fejezetben bemutatott egyenletrendszerben viszont - legnagyobb sajnálatunkra - hiába keresünk olyan egyenletet, ami a felhőképződés és a csapadékhullás folyamatát közvetlenül leírja. A keresés azért hiábavaló, mert a napsütésnek, a „jóidőnek” és a „rosszidőnek” nincs matematikai egyenlete.

Napjaink mérés technikáját ismerve arra sincs esély, hogy a kritikus függőleges mozgásokat közvetlenül lehessen mérni. Marad tehát az egyenletrendszer kiegészítése olyan tapasztalati összefüggésekkel, amelyek leírják a folyamatokat, és matematikai kapcsolatot biztosítanak a modell prognosztikai változóival. Ezt a kiegészítő módszertant nevezik a meteorológusok **paraméterezésnek**.

A vízgőz légköri kondenzációja, azaz a **felhőképződés** és a **csapadékképződés** nem az egyetlen olyan jelentős folyamat, ami hiányzik az egyenletrendszerből. Ugyancsak paraméterezés útján kell csatolni a modellekhez a légköri **sugárzásátviteli folyamatokat**, azaz a napsugárzás elnyelődését és visszaverődését a földfelszínen, a légkörben és a felhőkön. Paraméterezésre ezen kívül az egyenletrendszerben szereplő egyes mennyiségek értékének meghatározása miatt is szükség van. Az energiamegmaradást kifejező termodinamikai energiaegyenletben például az energiabevételt, azaz az a légkör és a földfelszín közötti energiaforgalmat kifejező mennyiség értékét nem tudjuk közvetlenül mérni. A modell-légkörben játszott szerepét szintén paraméterezés útján lehet szimulálni.

A paraméterezés szerepét talán az jellemzi legjobban, hogy a modell-előrejelzések kiszámításához felhasznált operatív számítógépes gépidő több mint felét a paraméterezési programcsomag futtatása teszi ki. Áttörés pedig alig-alig történt ezen a téren az elmúlt 15-20 évben.

A **harmadik hibaforrás**, azaz a megoldandó **egyenletrendszer komplexitása** olyan probléma napjainkban, ami mások érdeklődését is felkeltette. A Clay Matematikai Intézet tudósai 2000-ben, 100 évvel Hilbertnek a XX. század küszöbén készített hasonló listája után összeállították a XX. század legfontosabb megoldatlan matematikai problémáinak gyűjteményét. Az intézetet alapító amerikai milliárdos egyenként 1 millió dollárt ajánlott fel annak, aki a problémákat megoldja.

A hét makacs feladvány között az egyik azt feszegeti, hogy a légköri áramlások leírására is használt Navier–Stokes-egyenletek látszólag egyszerű matematikai alakjából hogyan következik az, hogy az egymáshoz közeli helyről indított részecskék egymáshoz viszonyított pályáját látszólag csak a véletlen befolyásolja. A meteorológusok mindennapjait is megkeserítő problémáról a következő fejezetben olvashatunk részletesebben.