

Prognosi vai diagnoosi?

■ Heikki Järvinen

Ilmakehän virtausta kuvaavat fysiikan perusyhtälöt sisältävät aikaulottuvuuden ja tämä mahdollistaa niiden käytön sään ennustamiseen. Newtonin toisen liikelain mukaan kappaleen, eli kuvitellun pienen ilmapaketin, kiihtyvyys on yhtä kuin siihen vaikuttavien voimien summa massayksikköä kohden. Kiihtyvyys on puolestaan sama kuin nopeuden muutos aikayksikössä. Ennustamisen avainkohta on juuri tässä yhtälön aikariippuvuudessa. Kun vaikuttavat voimat tunnetaan, voidaan ilmakehän virtauksen nopeusjakaumaa viedä ajassa pieni hyppäys eteenpäin eli tehdä tulevaisuudessa vallitsevaa nopeusjakaumaa koskeva ennuste. Tämän aikariippuvuuden vuoksi sääennusteita voidaan laatia ”prognostisessa” mielessä.

Aikariippuvuuden puuttuminen käytettävistä yhtälöistä ei kuitenkaan tarkoita, etteikö voitaisi ennakoida tulevia tapahtumia. Jos tarkasteltavan systeemin muuttujia sitoo toisiinsa diagnostinen yhteys – siis sellainen yhtälö, jossa aikaulottuvuutta ei lainkaan esiinny – voidaan tässäkin tapauksessa ennakoida, mitä yhdelle muuttujalle tapahtuu toisen tai toisten muuttuessa. Tämä olisi ennustamista ”diagnostisessa” mielessä. Ilmakehässä esimerkiksi kaasujen tilanyhtälö sitoo toisiinsa paineen, lämpötilan ja ominaistihedden arvot ilmakehän kaasuille ominaisen kaasuvakion kautta. Nämä kolme muuttujaa eivät siis voi vaihdella vapaasti esimerkiksi niin, että yhden muuttujan arvo kasvaisi ja toiset pysyisivät ennallaan. Ei, se rikkoisi tilanyhtälöä vastaan. Diagnostinen ennakoiminen on kuitenkin aivan mahdollista: jos haluat nostaa lämpötilaa, niin pyri lisäämään painetta. Tai, paineen, lämpötilan ja ominaistihedden arvoja mittaamalla voit ”ennustaa” kaasuvakion arvon tunte-matta kaasun koostumusta.

Kaasujen tilanyhtälö on johdettu kaasujen käyttäytymistä koskevien mittausten pohjalta.

Tutkijat kykenivät aluksi selvittämään pareittain muuttujien väliset riippuvuudet ja nämä muodostetut toisistaan näennäisesti riippumattomat lait yhdistettiin myöhemmin yhdeksi yleisesti päteväksi kaasulaiksi. Fysiikassa on mahdollista laboratoriossa eristää ilmiö häiritsevistä tekijöistä ja mitata vain kiinnostuksen kohteena olevaa ilmiötä. Laboratoriot ovatkin olleet se avaintekijä, joka selittää klassisen fysiikan kehitystä ”valmiiksi” tieteeksi – valmiiksi siinä mielessä, että sen peruslakeihin voi luottaa. Kaikilla tieteenaloilla ei näin tietenkään ole. Esimerkiksi taloustieteessä tuskin on edes olemassa aikariippuvuutta sisältävää prognostista systeemin kuvausta, ja diagnostisten yhteyksien kuvausten muodostaminen on hidasta lukuisten häiriötekijöiden vaikuttaessa samanaikaisesti tutkittaviin ilmiöihin. Pelkkä looginen päättely ei kuitenkaan johtane diagnostisten yhteyksien löytymiseen vaan systeemiä kuvaavia muuttujia on mitattava tavalla tai toisella.

Takaisinkytkennät

Luonnontieteissä ennusteet eivät yleensä vaikuta systeemien käyttäytymiseen yhtä tuntemaani poikkeusta lukuun ottamatta. Ilmastoennusteita laadittaessa ihmiskunnan tulevia ilmastotoimia, energiainnovaatioita tai muita vastaavia tekijöitä ei voida tietää. Siksi ilmastoennusteita laaditaan suuri joukko olettaen kullekin ennusteelle tietty skenaario ihmiskunnan tulevasta toiminnasta ja käyttäytymisestä. Ennusteet ovat näin ehdollisia tuleville päätöksille: mikäli tiettyihin määrällisiin hillintätoimiin ryhdytään, voidaan lämpeneminen rajoittaa esimerkiksi kahteen asteeseen.

Epävarmuus

Suomessa nähtiin taannoin lähes täydellinen auringonpimennys. Osasimme odottaa sitä,

koska se oli ennustettu etukäteen, ja se myös tapahtui ennustetusti niin kuin almanakkaan oli painettu jo vuotta aiemmin. Vai tapahtuiko se sittenkään aivan ennustetusti? Rannekellos-ta katsoen ennuste meni tietysti aivan nappiin ja onnittelut siitä tähtitieteilijöille. Tähänkin ennusteeseen liittyy kuitenkin epävarmuus, joka palautuu kahteen virhelähteeseen: lähtötilanteen ja ennustemallin virheisiin. Aurinkokunnan kappaleiden massat ja sijainnit eivät ole lähtöhetkellä täsmälleen tiedossa ja ennustamiseen käytettävä malli sisältää yksinkertaistuksia ja puutteita. Tällaisilla prognostisilla virheillä on taipumus kasvaa ennustejakson pituuden kasvaessa, ja ennen pitkää rannekello riittäisi ennustusvirheen toteamiseen. Tästä huolimatta ei voi muuta kuin ihaila tähtitieteilijöiden kykyä ennustaa tulevia tapahtumia.

Sääennusteiden virhe on luonteeltaan hyvin samantapainen kuin planeettojen liikkeiden ennusteisiin sisältävyä virhe. Sääennusteiden virhe vain kasvaa paljon nopeammin, jo parissa viikossa virhe voi olla niin suuri, ettei ennusteen voi katsoa sisältävän juuri enempää informaatiota kuin mitä ilmastollisesta sääennusteesta voisi päätellä.

Verifointi

Sääennusteiden virheitä analysoidaan ahkerasti jälkikäteen. Ennustusvirheitä tutkimalla saadaan tietoa ennustusjärjestelmän puutteista ja niitä osataan saadun tiedon perusteella poistaa ja saada ennusteita entistä tarkemmiksi. Eri mallien tuottamia ennusteita verrataan myös systemaattisesti keskenään. Ennustusvirheitä tutkimalla paranee samalla käsitys ennusteiden epävarmuudesta. Tämähän on keskeinen asia ennusteiden hyödyntämisen näkökulmasta.

Epävarmuuden kommunikointi

Edellä tarkastellut ennustusongelmat – sääennusteet ja auringonpimennyksen ennusteet – ovat pohjimmiltaan probabilistisia. Niissä alkutilan todennäköisyysjakauma tunnetaan ja se kuvautuu epälineaaristen malliyhtälöiden myötä ennusteen todennäköisyysjakaumaksi. Sen huippukohta kertoo uskottavimman ennusteen

ja jakauman muoto erilaisten vaihtoehtojen todennäköisyyksistä. Ennen kaikkea voidaan kumulatiivisesta ennustejakaumasta tarkastella todennäköisyyksiä erilaisten kynnyсарvojen ylittämiseen. Käyttäjä voi määrittää itse omalle toiminnalleen kriittiset raja-arvot, joissa hänen on esimerkiksi ryhdyttävä suoja toimiin tai hänelle avautuu mahdollisuus aloittaa jokin uusi toimi. Tuntemalla pelkästään jakauman huippukohta monissakaan tapauksissa ei voida määrittää omaan toimintaan liittyviä tulevia riskejä.

Ennustesuureiden todennäköisyysjakauma on hyvin informatiivinen tapa esittää ennusteiden tietosisältö. Siinä, missä yksittäisen ennuste voi joko osua hyvinkin kohdalleen tai mennä pieleen, kertoo todennäköisyysennuste mahdollisuuksien koko kirjon.

Auringonpimennyksen ennustamisen virhe on niin pieni, että sitä ei ole ollut tarpeen laajemmin kertoa yleisölle; minuutinkaan virhe ilmiön alkamisajassa ei olisi haitannut omaa harrastelijahavainnointiani. Sääennusteiden epävarmuus on kuitenkin jo muutaman päivän ennusteissa niin suuri, että se on kerrottava ennusteiden käyttäjille. On epäselvää, miten käyttäjät ovat oppineet käyttämään hyväkseen tätä tietoa, mikä on edellytyksenä sääriskien minimointiin.

Näiden kahden tapauksen perusteella vaikuttaa siltä, että ennusteen epävarmuuden kommunikointi on sitä tärkeämpää mitä merkittävämpi epävarmuus ennusteeseen sisältyy. Monilla aloilla ennustemallit perustuvat diagnostisten yhteyksien käyttöön ja näihin liittyy mahdollisesti suurikin epävarmuus. Vaikutelmani kansalaisena on se, että epävarmuuksista ei juurikaan kerrota, mutta minun oletetaan tuntevan ne jotenkin. Joskus tieto, johon liittyy suurikin epävarmuus ja joka on selkeästi kerrottu, saattaa vaikuttaa toimiini enemmän kuin tarkempi tieto, jonka epävarmuudesta en löydä mainintaa.

Kirjoittaja on Helsingin yliopiston meteorologian professori. Kirjoitus perustuu yhteiskuntatieteen filosofian huippuyksikön (TINT) järjestämällä tieteidenvälisen keskustelun foorumilla (AID: www.helsinki.fi/tint/aid.htm) 8.12.2014 pidettyyn puheenvuoroon.