

Mersich Iván

IDŐJÁRÁS

AZ ORSZÁGOS METEOROLÓGIAI SZOLGÁLAT FOLYÓIRATA
91. ÉVF. ★ 2–3. SZÁM ★ 1987. MÁRCIUS–JÚNIUS

ÖSSZEVONT SZÁM

METEOROLÓGIA ÉS MEZŐGAZDASÁG

SPECIAL ISSUE

METEOROLOGY AND AGRICULTURE

JOURNAL OF THE HUNGARIAN METEOROLOGICAL SERVICE

VOL. 91. ★ NO. 2–3. ★ MARCH—JUNE 1987. ★ BUDAPEST

IDŐJÁRÁS

Az Országos Meteorológiai Szolgálat folyóirata
Journal of the Hungarian Meteorological Service

SZERKESZTŐBIZOTTSÁG – EDITORIAL BOARD

AMBRÓZY P. (Budapest)	MILOSHEV, G. (Sofia)
ANTAL E. (Budapest)	PRÁGER T. (Budapest)
BENGTSSON, L. (Reading)	PRUPPACHER, H. R. (Mainz)
BÖHME, W. (Potsdam)	RÁKÓCZI F. (Budapest)
BUDYKO, M. I. (Leningrad)	RENOUX, A. (Paris-Créteil)
CZELNAI, R. (Geneva)	ŠAMAJ, F. (Bratislava)
FISHER, B. (Leatherhead)	SPÄNKUCH, D. (Potsdam)
GEORGII, H. – W. (Frankfurt a. M.)	STAROSOLSZKY Ö. (Budapest)
GÖTZ G. (Budapest)	SZEPESI D. (Budapest)
GULYÁS O. (Budapest)	TAYLOR, F. W. (Oxford)
HAMAN, K. (Warsaw)	TÄNCZER T. (Budapest)
HUSAR, R. (St. Louis, Missouri)	VARGA-HASZONITS Z. (Budapest)
KAPOVITS A. (Budapest)	VITEK, V. (Praha)
KONDRATYEV, K. YA. (Leningrad)	WHELPDALE, D. M. (Downsview, Ont.)
MAJOR GY. (Budapest)	WIRTH E. (Pécs)
MESINGER, F. (Beograd)	ZAHARIJEV, V. (Sofia)

Elnök – Chairman of the Editorial Board:

MÉSZÁROS ERNŐ (Budapest)

Szerkesztő – Editor:

SZEPESINÉ LŐRINCZ ANNA (Budapest)

Szerkesztőség: 1525 Budapest, Postafiók 38

Előfizetés: 1 évre 300 Ft. Megrendelhető: Az Országos Meteorológiai Szolgálat Pénzügyi Osztályán
1024 Budapest, Kitaibel Pál utca 1. Levélcím: 1525 Budapest, Pf. 38 Megjelenik kéthavonként.

Egyes szám ára: 50 Ft

Editorial Office: H – 1525 Budapest P. O. B. 38. This journal, published bimonthly can be purchased
from the distributor: KULTURA, H – 1389 Budapest, P. O. B. 149

The actual subscription rate is determined by the distributor

IDŐJÁRÁS

Az Országos Meteorológiai Szolgálat folyóirata. 91. évf. 2–3. szám. 1987. március – június
Journal of the Hungarian Meteorological Service. Vol. 91. No. 2–3 March–June 1987 Budapest

TARTALOM

<i>Mészáros Ernő</i> : Megnyitó az 1986. november 26–27-i Meteorológiai Tudományos Napok előadás-sorozatán	58
<i>Cselőtei László</i> : A meteorológia szerepe a mezőgazdaságban	60
<i>Antal Emánuel</i> : Agrometeorológiai kutatások az Országos Meteorológiai Szolgálat keretében	68
<i>Tóth Erzsébet</i> : Az élelmiszertermeléshez kapcsolódó agrometeorológiai kutatások évtizedünkben	80
<i>Szász Gábor</i> : A mezőgazdasági célú távérzékelés jelentősége az agrometeorológiában	88
<i>Debreczeni Béla</i> : A tápanyag- és vízellátás kapcsolata	104
<i>Dávid Aranka</i> : A műtrágyázás hatékonyságának időjárási feltételei	114
<i>Csapó Piroska–Kozma Ferenc</i> : A szőlő hazai sík-, hegy- és dombvidéki termőhelyeinek agroklimatológiai értékelése ...	122
<i>Justyák János</i> : Energiaháztartás-mérések tölgyerdőben	131
<i>Kovács György</i> : A tényleges evapotranspiráció átlagos területi értékének becslése	148
<i>Petrasovits Imre</i> : Vízgazdálkodás, melioráció, agrometeorológia	160
<i>Posza István</i> : Az öntözés agrometeorológiai alapjai	167
<i>Varga-Haszonits Zoltán</i> : Az időjárás-növény modellek elvi-módszertani kérdései	176
<i>Erdős László–Lambert Károly</i> : Modellek a fűszerpaprika festéktartalmának és természetlágának előrejelzésére	187
<i>Dunkel Zoltán–Hunkár Márta–Zárbok Zsolt</i> : A kukorica fejlődésének leírása dinamikus-szimulációs növénynövekedési modell segítségével	197

CONTENTS

<i>Mészáros, E.</i> : Opening address for the sessions of the Meteorological Scientific Days, held in November 26–27, 1986..	59
<i>Cselőtei, L.</i> : The importance of meteorology in agriculture	60
<i>Antal, E.</i> : Agrometeorological researches in Hungarian Meteorological Service ...	68
<i>Tóth, E.</i> : The agrometeorological research related to the food production in present decade	80
<i>Szász, G.</i> : The importance of agricultural remote sensing in development of agricultural meteorology	88
<i>Debreczeni, B.</i> : Relationship between nutrient and water supply	104
<i>Dávid, A.</i> : Weather conditions of efficiency of fertilization	114
<i>Csapó, P.–Kozma, F.</i> : Agroclimatological evaluation of the hungarian vineyards are situated on the plains in hilly country and in mountainous region	122
<i>Justyák, J.</i> : Energy balance measurements in a forest of oak (Síkfőkút Project) ...	131
<i>Kovács, Gy.</i> : The estimation of the areal average of the effective evapotranspiration.....	148
<i>Petrasovits, I.</i> : Water economy, melioration, agricultural meteorology	160
<i>Posza, I.</i> : The meteorological bases of the irrigation	167
<i>Varga–Haszonits, Z.</i> : Theoretical and methodological questions of the weather-plant models	176
<i>Erdős, L.–Lambert, K.</i> : Models to forecast the colour stuff content and the yield of spice paprika	187
<i>Dunkel, Z.–Hunkár, M.–Zárbok, Zs.</i> : Description of the development of maize using dynamic-simulation plant-growth model	197

IDŐJÁRÁS

Az Országos Meteorológiai Szolgálat folyóirata, 91. évf. 2–3. szám. 1987. március–június
Journal of the Hungarian Meteorological Service. Vol. 91. No. 2–3 March–June 1987 Budapest

Megnyitó az 1986. november 26–27-i Meteorológiai Tudományos Napok előadás-sorozatán

A Magyar Tudományos Akadémia X. Föld- és Bányászati Tudományok Osztálya és az Országos Meteorológiai Szolgálat elnöksége nevében tisztelettel üdvözlöm a Meteorológiai Tudományos Napok rendezvényen megjelenteket. Mint a programból ismeretes az 1986-os konferenciánkat a „Mezőgazdaság és meteorológia” tárgykörének szenteljük. Más szavakkal szeretnénk azokról az agrometeorológiai kutatásokról beszámolni, amelyet a magyar meteorológusok ebben a tárgykörben végeztek és végeznek. Másrészt szeretnénk meghallgatni a mezőgazdaság területén dolgozó szakemberek előadásait, hogy a jövőben jobban ki tudjuk elégíteni a mezőgazdasági termelés által a meteorológiai kutatás és szolgáltatás felé felvetett igényeket.

Azt hiszem felesleges hangsúlyoznom, hogy a meteorológia és a mezőgazdaság kapcsolata milyen sokrétű. Nemcsak azért, mivel az időjárás és az éghajlat a növények fejlődését közvetlenül befolyásolja. Ez a kapcsolat azért is fontos, mivel a növények tápanyag- és vízfelvétele, sőt a műtrágya hasznosulása is a légköri feltételektől függ. A hazai erdőállomány jövője, az élelmiszer- és bortermelés mind a meteorológiai viszonyok függvénye. Magyarország csapadékviszonyait figyelembe véve a talajok vízellátottságának tanulmányozása különösen lényeges. Ezzel a kérdéssel több tanulmány foglalkozik. Azt is kiemelném, hogy az utóbbi évek agrometeorológiai kutatásaiban a matematikai modellezés egyre inkább elterjedt. Örvedetes, hogy a konferencia ezt a problémakört is érinti.

Végül szeretném kifejezni azt a meggyőződésemet, hogy a „Meteorológia és mezőgazdaság” c. rendezvény jól fogja szolgálni azt a törekvésünket, hogy a meteorológiai szolgáltatások a mezőgazdasági termelés tervezésének elengedhetetlen részévé váljanak.

Mészáros Ernő

IDŐJÁRÁS

Az Országos Meteorológiai Szolgálat folyóirata. 91. évf. 2-3. szám. 1987. március - június
Journal of the Hungarian Meteorological Service. Vol. 91. No. 2-3 March - June 1987 Budapest

Opening address for the sessions of the Meteorological Scientific Days held in November 26-27, 1986

On behalf of the Department of Earth Sciences and Mining of the Hungarian Academy of Sciences as well as on behalf of the Hungarian Meteorological Service I respectfully welcome the participants of the conference *Meteorological Scientific Days*. As it is known from the program the discussion this year will be devoted to the relationship between meteorology and agriculture. In other words this means that we want to review research on agricultural meteorology which has been done by Hungarian meteorologists in this field. On the other hand we will be happy to hear the lectures of agricultural scientists to learn about demands of agriculture towards meteorological research and operative works.

I believe that it is not necessary to stress that the relationship between meteorology and agriculture is manifold. This is so not only because the weather and climate influence directly the growth of plants. Further, this relationship is also important because the nutrient and water uptake of plants, and even the use of fertilizers by them are determined by atmospheric conditions. The future of our forests, the production of foods and wines in Hungary all depend on weather and climate. Considering the precipitation amount in Hungary it is obvious that the study of the water supply of soils is essential in particular. This problem is discussed in several lectures. I also emphasize that in recent years the mathematical modelling has become an important tool of research on agricultural meteorology. I am happy that this question will also be discussed during this conference.

Finally, I would like to express my conviction that this meeting on the relationship between meteorology and agriculture will serve our aim that meteorological information will become an integral part of the planning of agricultural production.

E. Mészáros

IDŐJÁRÁS

Az Országos Meteorológiai Szolgálat folyóirata. 91. évf. 2–3. szám. 1987, március – június
Journal of the Hungarian Meteorological Service. Vol. 91. No. 2–3 March–June 1987 Budapest

A meteorológia szerepe a mezőgazdaságban

CSELŐTEI LÁSZLÓ, Agrártudományi Egyetem, Kertészeti Tanszék,
H–2103 Gödöllő, Péter Károly u. 1.

The importance of meteorology in agriculture. The agricultural production mainly the horticulture and the plant breeding can be considered as applied ecology. The weather has an effect on the edaphic factors and is of great importance in environment of plants too. All these together with social-economic and material-technical knowledges create the necessary conditions for planning and organization of production. The experts managing and organizing agricultural production have to co-operate with specialists of different profession and sciences. The work of agrometeorologists dealing with the meteorological problems of agriculture is outstanding among them. The climate of Carpathian Basin including the climate of Hungary is on the border of continental, mediterranean and oceanic climate. Sometimes one sometimes other types of climate have under control of this area. The farmer is pressed to calculate on the weather and its change because of the limited adaptability of plants and the expensive possibilities of having effect on the environment. The agreement between production factors and weather have to be created partly during planning partly during constructions or carrying out of technology. In the first case we are interested in weather conditions and extremities and our intention is to product as economically as possible satisfying the requirements of the plants. It would be desired not only to know many years averages given by meteorology but meteorology would be able to predict weather better and better for a season or for the whole year. It would be more important this weather forecast during growth season. The knowledge of ecological conditions, choosing the applied agrotechnics or evaluating wanted yield has a great importance during growth periods of plants. Having this knowledge date of ripening, quality and yield of crops can be predicted better getting near to the harvest this way. All these together influence the utilization of production and harmony of harvest-transport-processing. The knowledge of meteorology, the deepness of knowledge, the experiments and the data processing have developed rapidly in the years gone by. Agriculture is interested in efficient co-operation with experts mainly whose purpose is to help agriculture.

*

A meteorológia szerepe a mezőgazdaságban. A mezőgazdasági termelést – azon belül különösen a növénytermelést és a kertészetet – alkalmazott ökológiának is tekinthetjük. A növény környezetében kimagasló jelentősége van az időjárásnak, amely az edafikus tényezők alakulását és hatását is messzemenően befolyásolja. Mindez társadalmi-gazdasági, anyagi-technikai ismeretekkel együtt megteremti a termelés tervezéséhez-szerkesztéséhez szükséges feltételeket. A mezőgazdasági termelést szervező – irányító agrárszakembereknek munkájuk eredményes ellátásához számos szak-, illetve tudományterület művelőivel kell együttműködni. Közülük kimagasló a mezőgazdaság időjárási problémáival foglalkozó agrometeorológusok munkája. A Kárpát-medence – s benne hazánk – időjárása a kontinentális, az óceáni és a mediterrán klíma határán van. E térségben hol az egyik, hol a másik éghajlati típus válik uralkodóvá. A növény alkalmazkodásának, illetve a környezet befolyásolásának korlátozott és drága lehetőségei arra készítetik a termelőket, hogy messzemenően számoljanak az időjárással és annak változékonyságával. A termelési tényezők összhangját az időjárással egyrészt a tervezés – szerkesztés szakaszában, másrészt a megtervezett technológia végrehajtása során kell megteremteni. Az első esetben az időjárás várható alakulására és annak élségezésre vagyunk tekintettel, s minél gazdaságosabb termelésre törekedve készülünk fel

a növény igényének kielégítésére. Már itt is kívánatos volna, hogy a meteorológia nemcsak a sokévi átlagadatok közlésével segítene, hanem a rendelkezésre álló eszközökkel az adott év, vagy évszak várható alakulását is egyre jobban előre tudná jelezni. Még fontosabbá válik ez az előrelátás a tenyészidő során. Az egymást követő növényfejlődési szakaszok környezeti körülményeinek ismerete mind az alkalmazott agrotechnika megválasztásához, mind a növény várható teljesítményének megítéléséhez igen jelentős. A betakarításhoz közeledve a várható termés érésidejét, mennyiségét és minőségét így egyre magasabb pontossággal előre jelezhetjük. Mindez messzemenően befolyásolja a termelés hatékonyságát, a betakarítási – szállítási – felhasználási folyamat összhangját. A meteorológia ismerettömege, az ismeretek mélysége, a kísérletek és azok feldolgozásának eszköztára az elmúlt időszakban sokat fejlődött. A mezőgazdaság ezért érdekelt abban, hogy e szaktudomány munkatársaival – közülük különösen azokkal, akik a mezőgazdaság segítségét tűzték ki célul – minél hatékonyabban együttműködjön.

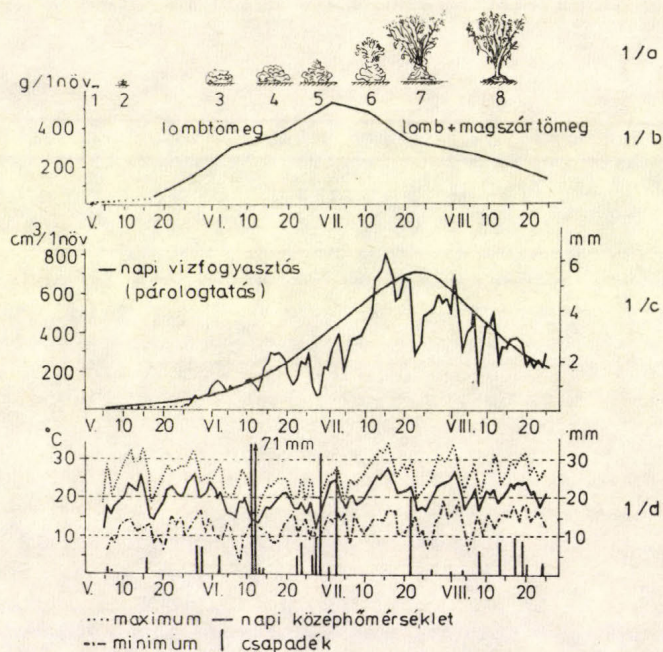
*

Tudományos ülésünk, melynek témája a mezőgazdaság és meteorológia, a két tudományterület kapcsolatáról, azok határfelületén felhalmozódott ismeretekről ad számot. Gyakorlatilag nincs olyan része a mezőgazdaságnak, ahol közvetlenül, vagy közvetve ne kellene számolnunk az időjárás hatásával. Érthető ezért, hogy szinte áttekinthetetlen a felgyülemlett tudás, de a problémák tömege is a két ismeretkör érintkezési felületén. A mostani előadások címei és vázlatai is jól mutatják ezt a sokrétűséget és sokszínűséget. Ezért csak a témakör fontosságának jellemzésére a lényeges összefüggések bemutatására vállalkozhatom. Megállapításaim alátámasztására elsősorban abból a kutatási anyagból merítetek, amely munkahelyemen, az Agrártudományi Egyetem Kertészeti Tanszékén, Gödöllőn az idők során felhalmozódott.

Szeretném előre bocsátani, hogy magam közös témánkhoz a mezőgazdaság felől közelítek. Egyben előre is elnézést kérek a tudományos konferenciákon megszokott formáktól talán kissé eltérő előadásomért.

Azt szoktuk mondani, hogy az ember egész élete során együtt él, vagy más szóval harcol a természettel. Különösen igaz ez a megállapítás a mezőgazdaságra, azon belül a növénytermelésre és a kertészetre, melyeket alkalmazott ökológiának is tekinthetünk. Ebben a természettel folytatott küzdelemben a történelem folyamán különböző ismeretek és eszközök álltak az ember rendelkezésére. Úgy vélem, hogy a múltban és ma is többet tudtunk és tudunk a növény és környezete közötti kapcsolatokról előbb empirikus megfigyelések felhalmozódása, majd később szervezett és tudatos kutatások alapján, mint amennyire a termeléshez szükséges eszközök a rendelkezésünkre állnak. Az utóbbi évszázadban, de főként a legutolsó évtizedekben, sőt években a fejlődés mindkét területen viharosan felgyorsult. A termelés szinte valamennyi folyamatát többé-kevésbé gépesítettük, kemizáltuk. Az új körülményeknek jobban megfelelő biológiai háttér – benne főként új, nagyobb teljesítőképességű fajták sora – alakult ki. Később a kutatásban és a termelés szervezésében a számítástechnika, csaknem minden területen az elektronika, majd a mikroelektronika nyújtott új lehetőségeket. Legújabban pedig a biotechnológia kínálja a mindig változó társadalmi-gazdasági körülmények között a termelési technológiák megújításának feltételeit. Mindez azt jelenti, hogy a növényt, amely tárgy és hatótényezője is a technológiának, a termelés céljától, körülményeitől és módjától függően növekedésében és fejlődésében újra és újra át kell értékelnünk. Ennek során különösen számolnunk kell annak környezetével, azon belül a természet fizikai hatásait, törvényszerűségeit mind pontosabban leíró, előrejelző és értelmező meteorológiával, amelynek eszközei talán még a mezőgazdaságénál is gyorsabban fejlődtek.

Jól ismert, hogy a Kárpát-medence, s benne hazánk időjárása a kontinentális, az óceáni és a mediterrán klíma hatása alatt áll. Tudjuk, hogy térségünkben hol az egyik, hol a másik éghajlati típus válik uralkodóvá és teremt növényeink számára egy-egy tenyészidő folyamán is változóan kedvező, vagy kedvezőtlen ökológiai körülményt. A növény többé-kevésbé, kisebb-nagyobb „áldozatok árán” alkalmazkodik ezekhez. A termelés feladata, hogy ebben „segítse” a növényt. Tudnunk kell azonban, hogy ez a „segítés” mindenkor pótlólagos ráfordítást jelent, növeli a költségeket. Kívánatos tehát, hogy a termelésben, a ter-



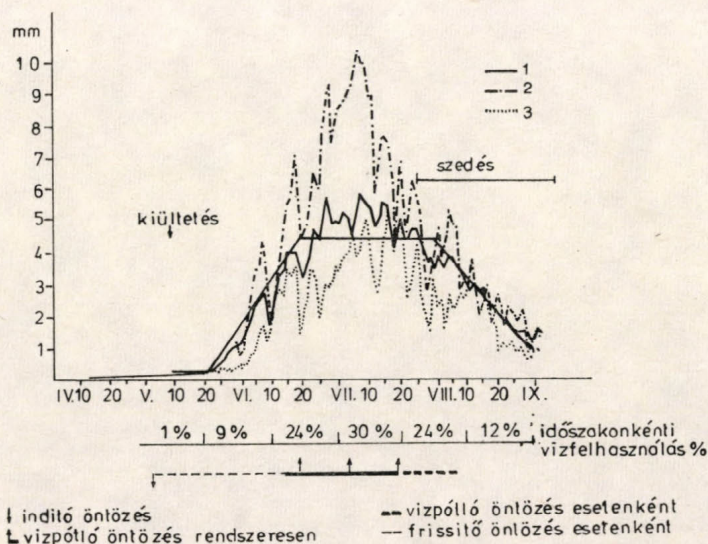
1. ábra: A magtermő saláta vízforgalma. Fajta: Attrakció, Gödöllő, 1958. Jelölések: 1/a — a növény fejlődése: 1. vetés ápr.9.; 2. kiültetés, máj. 7.; 3. fejedés kezdete, jún. 3.; 4. gazdasági érés kezdete, jún. 15.; 5. magszárba indulás kezdete, jún. 27.; 6. magszárba indulás után két héttel, júl. 11.; 7. első virágok megjelenése, júl. 22.; 8. teljes virágzás, aug. 13.; 1/b — a vegetatív tömeg változása, 1/c — naponkénti vízfelhasználás és a tenyészidő alatti dinamika, 1/d — meteorológiai tényezők

melési vertikum minden szakaszában előre vessünk számot az időjárással, annak változékonyságával. Ebben a tevékenységünkben messzemenően támaszkodunk a meteorológusok, különösen az agrometeorológusok ismereteire, tudományára, akik az alkalmazók, a mezőgazdaság kívánalmaira is felkészülve segítik az agrártermelést. Ezt a segítséget kértük és kaptuk meg mi is a kertészeti növények öntözését kutató munkánk során, amikor meghatározott célok érdekében és módon megfigyeltük, vizsgáltuk növényeinket, életfolyamataikat, a reájuk ható tényezőket, s mindezeket megkíséreltük felhasználni az öntözés alapozásához.

A növény öntözése szempontjából mindenekelőtt az által felhasznált víz tömege és dinamikája kötötte le figyelmünket. Munkánk során a növényélettani és termesztési irodalomból már jórészt ismert összefüggések minél pontosabb számszerűsítésére törekedtünk, hogy eredményeink a termés szerkesztésének

alapjaiként felhasználhatók, értelmezhetőek legyenek. A növény vízfelvétel-dinamikáját, mint alapfolyamatot, a reá ható tényezők közül a növény növekedését, fejlődését leginkább befolyásoló meteorológiai tényezőkkel vetettük össze (1. ábra). E munkát első kísérleteinkből a magtermő saláta vízforgalmával szemléltetem, ahol a növény növekedését, fejlődését egyrészt ábrával (1/a), másrészt a vegetatív tömeg változásával (1/b), a vízfelhasználást annak naponkénti értékeivel és a tenyészidő alatti dinamikával (1/c), a környezeti tényezőket pedig a hőmérsékleti minimum, közép, maximummal, valamint a csapadékkal jellemeztük (1/d).

A grafikus ábrázolás mellett természetesen különböző összefüggés-vizsgálatokat végeztünk. Egyértelműen kitűnt, hogy a vízfelvétel tendenciáját a növény



2. ábra: A paradicsom vízfelhasználása; Fajta: K. 42, Gödöllő, 1963 – 1972. Jelmagyarázat: 1. 10 év, 1963 – 1972 átlaga, 2. a két legnagyobb vízfelhasználású év (1963 és 1968) átlaga; 3. a két legkisebb vízfelhasználású év (1966 és 1972) átlaga

növekedése és fejlődése határozza meg, amely nagymértékben függ a meteorológiai tényezők hatásának halmozódásától, a napi ritmusé pedig az utóbbiak napközi értékeihez kapcsolódik. A vízfelhasználásban különösen kiemelkedő szerepe van a hőmérsékletnek, amelynek a párologtatás másik tényezőjével, a levegő páratartalmával is szoros a kapcsolata. Emellett a hőmérséklet a konkrét növény hőigényének kielégítettségét is jellemzi. (Tehát nemcsak általánosságban, hanem növény-specifikusan is mutatja a várható hatást.)

A növény növekedése és fejlődése vízforgalmi szempontból viszonylag jól elkülöníthető szakaszokra bontható. A 2. ábra kísérleteinkből a paradicsom 10 évi, valamint abból a két legnagyobb és a legkisebb vízfelhasználású és vízfelvétel-dinamikájának átlagát mutatja.

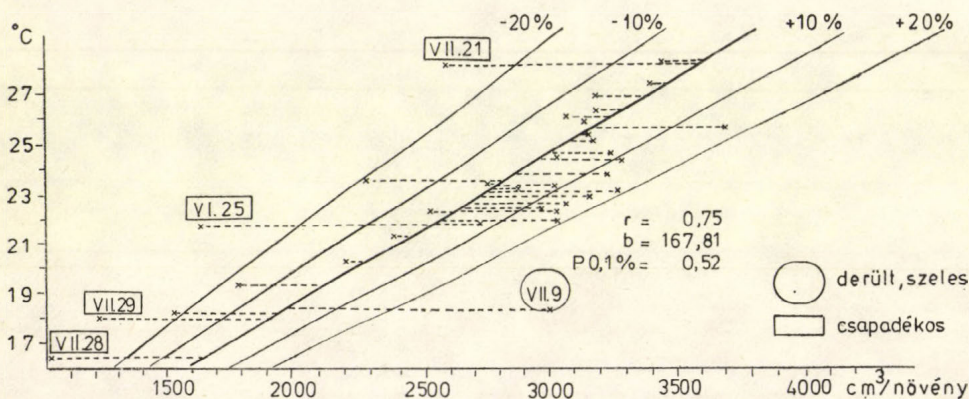
A szakaszolás az ábrán feltüntetett bármely esetre, de természetesen egyes évekre is elvégezhető. A 10 évi átlagra vonatkozóan a vastag vonallal jelzett képet kapjuk.

– A vetés-keles-kezdeti fejlődés, illetve a kiültetés-megeredés-kezdeti fejlődés időszakában a talaj legfelső néhány cm-es rétegének nedvességtartalma

a döntő. Erre gyakorlatilag az evapotranspiráción belül az evaporáció van hatással, ebben az időben a transpiráció gyakorlatilag nulla.

– A következő szakaszban a növekvő, s a talajt mind jobban borító lombfelület miatt előtérbe kerül a transpiráció. Ennek uralkodó hatását csak időszakosan szakítják meg a csapadékos periódusok, melyek kiugróan magas evaporációval és minimálisra csökkent transpirációval járnak együtt.

– Ezt a szakaszt egy aránylag kiegyenlített időszak követi, amikor a növény párologtatási készségét a még növekvő, de már részben előregedő lombfelület viszonylagos egyensúlyban tartja. Ekkor az evapotranspiráción belül a transpiráció dominál.



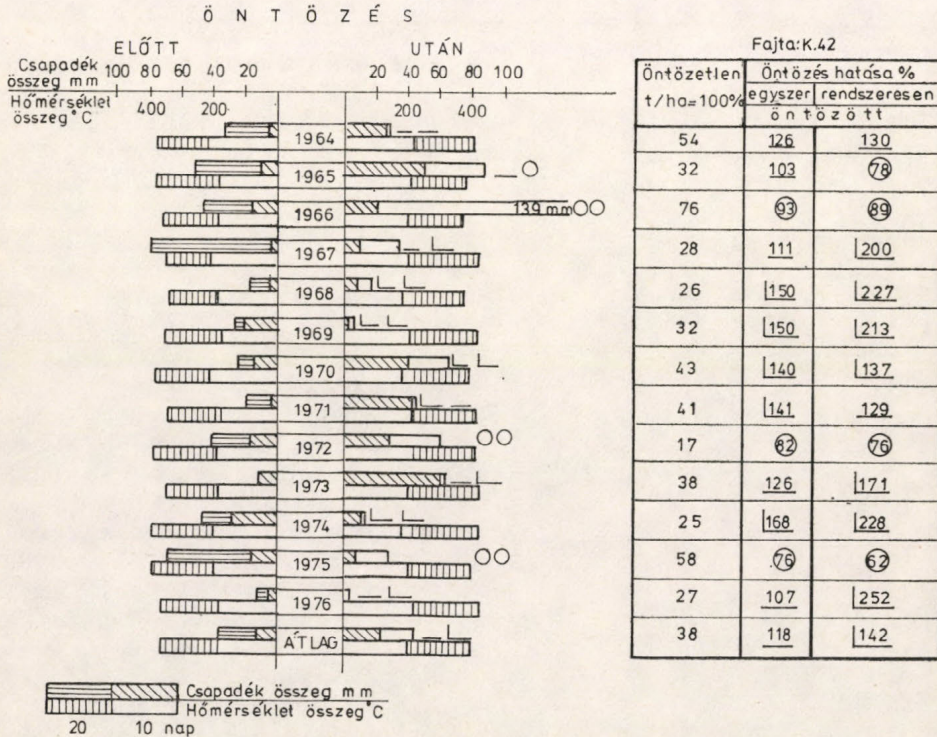
3. ábra: A napi középhőmérséklet és a paradicsom párologtatásának kapcsolata 1963. VI. 25 – VII. 30 között Gödöllőn

– Végül a növény előregedésével, majd elhalásával az egyre csökkenő vízfelhasználás időszaka következik. A termelési céltól függően a növényt sokszor már a második, vagy a harmadik szakasz folyamán betakarítjuk, s azzal a vízfelhasználás is megszakad.

Számunkra öntözési szempontból többnyire a harmadik, az úgynevezett fő vízfelhasználás időszakának ismerete a legfontosabb (3. ábra). Erre vonatkozóan ugyancsak egy régebbi kísérletünkből a hőmérséklet és a paradicsom vízfelhasználásának napi értékei közötti összefüggést mutatom be a június végétől július végéig terjedő időszakra. Vizsgálataink során úgy találtuk, hogy növényeink vízfelhasználását ilyenkor optimális talajnedvesség esetén a napi középhőmérséklet 75–80%-os pontossággal meghatározza. Ha a levegő páratartalmát vesszük figyelembe, s ezzel számítjuk az összefüggést, közel hasonló eredményt kapunk. A két tényező pedig együttesen mintegy 90%-os pontosságot adott.

Öntözési szempontból értelmezve ezt az összefüggést, néhány problémára szeretném felhívni a figyelmet. Mindenekelőtt szántóföldi körülmények között a növények még öntözés esetén is változó talajnedvesség mellett növekednek. A vízfelhasználás dinamikájának megítélésénél ezért nem hagyható figyelmen kívül a talaj nedvességállapota. Másodsor: a növény talajnedvesség igénye a termelés körülményeitől és céljától függően változó, s így pl. a potenciális vízellátás nem mindig optimális. Harmadsor: a vízellátás szintjét és folyamatosságát korlátozzák az alkalmazott öntözési technika lehetőségei.

Az előzőekben a meteorológiai ismereteknek a termelés folyamatában való felhasználási lehetőségét jellemeztem. Az ezek alapján elhatározott beavatkozások eredményessége azonban nagyrészt az azt követő időjárás alakulásától függ. Engedjék meg, hogy erre példaként a paradicsom tartamkísérletünk néhány esztendejének eredményét mutassam be (4. ábra). Az ábrán az egyes években az öntözést megelőző és követő 10, illetve 20 nap csapadék-, valamint hőmérsékleti összegét tüntettük fel. Az évek mellett az öntözetlen kezelések terméstömege, valamint ehhez viszonyítva két öntözött kezelés %-osan kifejezett különbsége szerepel. Az utóbbiakat különböző jelekkel csoportosítva jól látható, hogy az eredménytelen, sőt depresszióval járó öntözéstől a több mint kétszeres termést

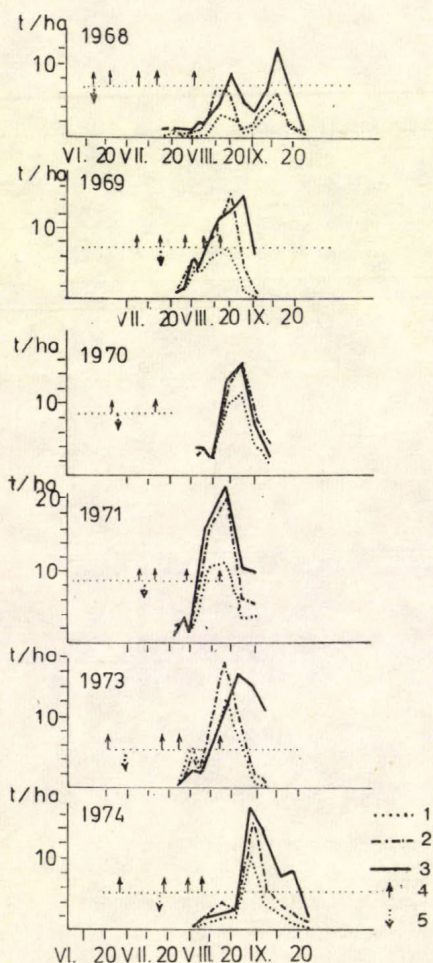


4. ábra: Az egy alkalommal öntözött paradicsom öntözését 10, illetve 20 nappal előző és követő csapadék és hőmérséklet összege Gödöllőn

adó kezelésig minden megtalálható. A legnagyobb termést érthetően ott kaptuk, ahol az öntözést követően kevés csapadék hullott és magas volt a hőmérséklet. Mindez jól mutatja, hogy milyen nagy jelentőségű lenne, ha rövidebb-hosszabb időre jobban láthatnánk előre az időjárás alakulását. Nem lehet eléggé megbecsülni azt a haladást, amely e téren az utóbbi időben történt. Biztosak vagyunk benne, hogy a meteorológiai tudomány fejlődésével a jövőben még több eredményre, nagyobb segítségre számíthatunk.

Az eddigiek során arról volt szó, hogy a meteorológiai ismeretek hogyan hasznosíthatók az öntözésben. Hadd szóljak most röviden arról, hogy az öntözéssel mit lehet elérni. Hiszen annak, mint minden agrotechnikai eljárásnak az eredményesebb, gazdaságosabb termelés a célja. Példát itt is saját kísérleteink-

ből meríték (5. ábra). Kiemelve néhány évet a paradicsommal folytatott több mint 25 évi tartamkísérletünkben, fordítsuk most figyelmünket előbb a termésérés kezdetére, majd annak dinamikájára. Előrebocsátom, hogy kísérletünkben az öntözésen, és természetesen az időjárásen kívül az alkalmazott agrotechnika, fajta és a termesztési idő minden évben gyakorlatilag azonos volt. Mégis, mint látható, feltűnően nagy a termésérés kezdete közötti különbség. Ebben az év-csoportban 1968-tól 1974-ig ez július 18-a és augusztus 1-e között szóródik, a legnagyobb különbség tehát 2 hét. A 25 év legkorábbi és legkésőbbi éréskezdetek között azonban közel 1 hónapos volt az eltérés. Világosan mutatja ez a termelés programozásánál az éréskezdet időzítésének korlátait.



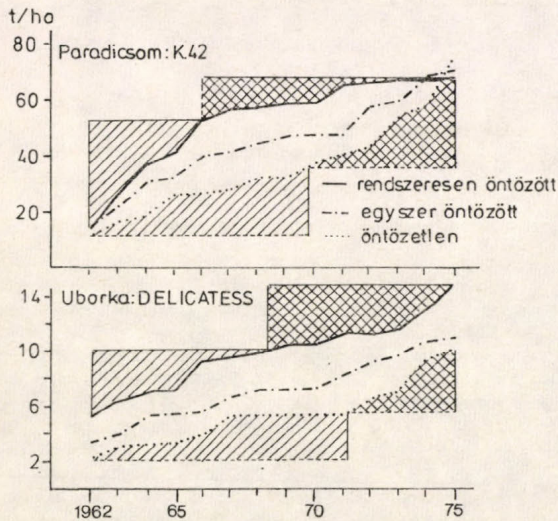
A másik feltűnő jelenség, hogy az öntözetlen, illetve a feltételezetten legkedvezőbb időpontban egyszer öntözött, valamint a talaj nedvességtartalma alapján rendszeresen öntözött kezelések – éven belül és évek között is – a termés tömegében és dinamikájában nagy eltérést mutatnak. Talán még jellemzőbb a kép, ha a három kezelés eredményeit hosszabb időtartamra, az öntözetlen kezelés növekvő terméstömegű évei szerinti sorrendbe rendezzük (6. ábra). Ezt azonos évekre az uborka öntözési tartamkísérletünk eredményeivel is elvégeztük.

A paradicsomnál szembevetendő, hogy a legkisebb és a legnagyobb termésű években a kezelések között gyakorlatilag nincs különbség. Megállapítottuk, hogy az egyik esetben, a legkisebb termésnél a jobb vízellátás hatását az alacsony hőmérséklet korlátozta. A nagy termésű években pedig megfelelő hőmérséklet mellett a természetes vízellátás is elegendő volt, így az öntözés nem hatott, sőt volt, ahol kismértékű terméscsökkenést okozott. Itt tehát az öntözés közvetett kedvezőtlen hatása érvényesült.

5. ábra: Elterő vízellátású paradicsom termésalakulása. Fajta: K. 42, Gödöllő. A terméshez minden évben március eleji vetésből származó tűzdelt palántát ültettünk ki április végén. *Jelmagyarázat:* 1. öntözetlen, 2. egyszer öntözött, 3. rendszeresen öntözött, 4. VK_{sz} 60–65%-nál öntözött, 5. egyszer öntözött.

Termesztési szempontból pl. a termés és feldolgozás összhangja miatt rendkívül fontos, hogy az öntözéssel mennyire tudjuk csökkenteni a termés évenkénti ingadozását. Tétélezzük fel, hogy egy konzervgyár az általa szerződött területen az öntözetlen kezelés ha-onkénti átlagára készül fel. Ebben az esetben az évek egy részében kevesebb termést kap, az évek más részében pedig több

termést kellene feldolgoznia. Az egyik esetben a feldolgozókapacitás egy része – évenként változó mértékben – kihasználatlan marad, a másikban pedig a termés jelentős tömege elpusztul. Láthatjuk azt is, hogy a rendszeresen öntözött kezelés sem csökkenti a termésingadozás szélsőségeit, de az évek nagyobb részé-



t/ha	∅	1x öntözött	rendszeresen öntözött
60 <	1	2	5
50-60	2	2	5
40-50	2	5	1
30-40	3	3	1
20-30	3	1	1
> 20	3	1	1

t/ha	∅	1x öntözött	rendszeresen öntözött
12 <	-	-	3
9-12	1	3	7
6-9	3	6	3
3-6	8	5	1
> 3	2	-	-

6. ábra: Eltérő vízellátású paradicsom és uborka termésének szóródása; Gödöllő, 1962–1975

ben a nagy termések szintjén kiegyenlítettebb eredményt ad. Ily módon azoknak az éveknek a kivételével, amikor a hőmérséklet korlátozza a termés kialakulását, viszonylag egyenletes, nagy terméssel számolhatunk. Az öntözéssel tehát csökkenthető a paradicsom termésingadozása. Nem így az uborkáé, ahol a mi időjárásunk mellett e növény nagyobb hőigénye a paradicsomhoz képest több esztendőben korlátozza a nagy termés kialakulását, ahol tehát a termésszint kezelésenként eltérő, de a termés ingadozása hasonló mértékű. A gyakorlatban az időjárásnak ezt a hatását sok tényező, így több fajta használata, a termőhelyek különbségei, a betakarítás körülményei stb. csökkenthetik, de nem szüntetik meg.

Milyen következtetést vonhatunk le mindebből? Természetesen, ha bízunk is benne, kicsi a valószínűség belátható időn belül a következő év időjárásának előrejelzésére úgy, hogy a termelés szerkezetét és a termőterületet ahhoz igazíthassuk. A termelés folyamán azonban éppen a meteorológia segítségével jelentős beavatkozásra van módunk. Emellett a termelő és felhasználó vállalatoknak együtt kell megtalálniuk azokat a termelés-szervezési és egyéb puffer lehetőségeket, amelyek a vertikum egésze szempontjából a legjobb eredményt adják. Tudnunk kell ugyanis, hogy a vertikum résztvevői – végső soron a fogyasztók, tehát mi – mind a fel nem dolgozott termést, mind a kihasználatlan kapacitást így, vagy úgy, de megfizetik. Itt tehát közvetve mai meteorológiai ismereteink korlátai is segítenek, hiszen más irányú megoldások keresésére hívják fel a figyelmünket.

IDŐJÁRÁS

Az Országos Meteorológiai Szolgálat folyóirata. 91. évf. 2–3. szám. 1987. március–június
Journal of the Hungarian Meteorological Service. Vol. 91. No. 2–3 March–June 1987 Budapest

Agrometeorológiai kutatások az Országos Meteorológiai Szolgálat keretében

ANTAL EMÁNUEL, *Országos Meteorológiai Szolgálat, H–1525 Budapest, Pf. 38*

Agrometeorological researches in Hungarian Meteorological Service. Firstly the meteorologists and the ecologists undertook to discover the complicated interactions of weather, climate and agricultural production few decades ago. Nowadays agrometeorologists, ecologists and agriculturists try to elaborate quantitative methods. Useful relationships were determined between the meteorological-climatological elements and the phenological phases of the plants and the yield-values of last decades and some kind of models are used for phenological and yield forecast. The quick development of the methods of measurements and the complex agrometeorological experiments allow to recognize complicated relationships too. These new results in the agricultural meteorology make possible to give useful advice to the specialists planning and operating the development of the agriculture and the agriculturists making every day work by the agrometeorologists. A brief history of the agrometeorological experiments and researches have been carried out in Hungary and their development is appraised by the author. The increase and the differentiation in the requirements for agrometeorological informations and their financial and personal conditions are analysed.

*

Agrometeorológiai kutatások az Országos Meteorológiai Szolgálat keretében. Az időjárás, az éghajlat és a mezőgazdasági termelés közötti bonyolult kapcsolatok feltárására először a meteorológusok, ökológusok vállalkoztak sok-sok évtizeddel ezelőtt. Jelenleg agrometeorológusok, ökológusok és mezőgazdászok töreksenek kvantitatív módszerek kidolgozására reményt keltő eredményességgel. Már a korábbi évtizedekben is sikerült jól használható kapcsolatokat megállapítani az egyes időjárási-éghajlati elemek és a növények egyes fejlődési fázisa, ill. a terméseredmények között, s jelenleg számos modellt alkalmaznak a fejlődési fázisok és a várható termés előrejelzésére. A mérési és megfigyelési módszerek rohamos fejlődése, a komplex agrometeorológiai kísérletek a jelenben és a jövőben lehetővé teszik a bonyolultabb összefüggések feltárását is. Ezek az új agrometeorológiai kutatási eredmények nagyban hozzájárulnak ahhoz, hogy egyre hasznosabb tanácsokat adhassanak agrometeorológusaink a mezőgazdaság fejlődését tervező, irányító szakembereknek, ill. a mindennapi munkafolyamatot szervező mezőgazdászoknak. Szerző röviden áttekinti a hazai agrometeorológiai kísérletek, megfigyelések és kutatások történetét, értékelve a tapasztalható fejlődést is e téren. Elemzi az agrometeorológiai szolgáltatások iránti igények növekedését és differenciálódását, majd hozzávéve az anyagi és személyi feltételeket rámutat a jövőben várható fejlődés főbb irányaira.

*

Hazánk területének éghajlata eleve megszabja, hogy milyen növényfajokat lehet termesztetni és milyen eredményességgel. Mérsékelt övi éghajlatunk általában kedvező feltételeket biztosít a szántóföldi növénytermesztés, a zöldség-, a gyümölcs- és a szőlőtermesztés számára. Éghajlatunkra azonban az is jellemző, hogy az időjárás nemcsak napról napra, hanem évről évre is jelentős mértékben ingadozik. A változékonyság pedig igen széles skálára terjed ki. A szélsőséges hőmérséklet, a tartós szárazság, ill. bőséges csapadék, a vihar, a jégeső egyes helyeken és bizonyos években akár a teljes termés pusztulását is előidézhetheti.

Időjárásunk változékonysága, szeszélyessége nemcsak a növény életére, fejlődésére, terméshozamára hat ki, hanem a mezőgazdasági munkák menetére, végrehajtására, egyszerűen az egész mezőgazdasági munkaszervezésre is. Mezőgazdaságunk különösen a korábbi évszázadokban volt erősen függő helyzetben az időjárás alakulásától. Az agrotechnika fejlődésével, az egyre korszerűbb technológiai eljárások alkalmazásával, a biológiailag értékesebb és ellenállóbb fajták termesztésbe állításával valamelyest csökkent a mezőgazdaság időjárás-érzékenysége. A függőség azonban alapjában véve megmaradt. Sőt, minthogy az egy hektárra eső termelési érték rendkívüli módon megemelkedett, az adott időjárási kár is egyre magasabb értékű lett. Amíg pl. az ötvenes években a 100%-os kárt okozó jégeső hektáronként 15–20 q veszteséget okozott, addig napjainkban egy ugyanolyan jégverés már 40–50 q gabona pusztulását eredményezi.

A fentiek alapján érthető, hogy az időjárás és az éghajlat mindig is alapvető témája volt a mezőgazdászoknak. Annak ellenére azonban, hogy Magyarországon erősen függő helyzetben volt a mezőgazdasági termelés az időjárástól, nincs nagy múltja a meteorológiai tényezők növényzetre gyakorolt hatásainak feltárására irányuló kutatásoknak. Mint más meteorológiai témáknál, ez esetben is *Berde Áron* „*Légtüneménytan*” c. munkájára hivatkozhatunk (*Berde, 1847*). Ez volt az első meteorológiai mű hazánkban, amelyben agrometeorológiai, vagy inkább agroklimatológiai megállapítások találhatók általánosított formában. Sajnos, a XIX. század második felében már nem jelent meg további olyan munka, amelyik agrometeorológiai fejezeteket is tartalmazott volna.

Kéri (1970) szakirodalom feltáró munkássága alapján agroklimatológiai vonatkozású anyagot találhatunk még *Hunfalvy János*: „*A Magyar Birodalom természeti viszonyainak leírása*” c. több kötetes munkájában és *Greguss Gyula* „*Természettani földrajz*” c. művében. Ezeket kívül néhány természettudós a természet szeretetéből fakadóan évtizedeken át folytatott meteorológiai megfigyelést, s voltak próbálkozások az időjárás és a növényzet közötti kapcsolatok feltárására is.

Az 1870-ben megalakult Meteorológiai és Földdeleljességi Magyar Királyi Központi Intézetben sem került sor agrometeorológiai mérésekkel és kutatásokkal foglalkozó személy alkalmazására. Az intézet évkönyveiben ugyan találhatunk növényfenológiai adatokat 1871-től 1885-ig, ez az adatgyűjtés azonban nem a Meteorológiai Intézet szervezésében folyt.

Hegyfokly Kabos (1902) a múlt század utolsó éveiben szervezte újjá a növényfenológiai adatgyűjtést. Növényfenológiai feldolgozásainak eredményeit publikálta is néhány dolgozatában.

Annak ellenére, hogy a Meteorológiai Intézet 1893-ban a Földművelésügyi Minisztérium felügyelete alá került, nem történt kezdeményezés az agrometeorológiai kutatások megszervezésére. Csak 27 év múltán, 1920-ban szervezték meg az agrometeorológiai osztályt *Sávoly Ferenc* vezetésével. Érdeklődésének középpontjában az időjárás-éghajlat és a mezőgazdasági termelés kapcsolatának vizsgálata állt, különös tekintettel a peronoszpóra időjárási feltételeinek feltárására (*Sávoly, 1912*). A ma is figyelemreméltó „*Mezőgazdaság és Meteorológia*” c. tanulmányában (*Sávoly, 1915*) kifejtett nézete szerint, aki agrometeorológiai kutatásokkal kíván foglalkozni, annak egyaránt jártasnak kell lennie mind a meteorológiában, mind a mezőgazdasági tudományok területén. Ez az igény ma is helytálló.

Az 1928-ban megszűnt agrometeorológiai osztály munkáját az éghajlati osztály vette át és ellátta az agrometeorológiai szolgáltatások feladatkörét is. Agrometeorológiai *kutatómunka* azonban nem folyt a Meteorológiai Intézetben. A harmincas években csupán néhány jeles agrárszakember próbálkozott agrometeorológiai vizsgálatokkal, egy-egy tanulmány megjelenésén túl azonban a szervezett kutatást nem sikerült elindítaniok.

Az Országos Meteorológiai és Földmágnességügyi Intézetben a háború után ismét megszervezték az agrometeorológiai osztályt, amelynek alapvető feladatául a növényfenológiai hálózat létrehozatalát, ill. az éghajlati adatok feldolgozását tűzték ki a mezőgazdaság igényeinek megfelelően.

Az agroklimatológiai feldolgozásokkal szembeni újabb igényeket *Kulin* (1955) fogalmazta meg „Az agrárklimatológia néhány kérdése” c. tanulmányában. Kifejti, hogy „... a nagyvonalú éghajlati tájékoztatáson kívül szükség van annak ismeretére is, hogy a mezőgazdasági termelés szempontjából előnyös és hátrányos különböző időjárási események bekövetkezése milyen valószínűséggel várható, mégpedig az ország különböző vidékein és a termelés különböző szakaszaiban. Vagyis olyan éghajlati számértékekre van szükség, amelyek rámutatnak a távoli jövő időjárásának lehetőségeire és valószínűségeire is”. E program hatására az 50-es években és a 60-as évek elején egyre-másra jelentek meg az éghajlati adatok mezőgazdasági célú feldolgozásának eredményei tanulmányok és kiadványok formájában. Kezdeményezés történt az agrometeorológiai kísérletek indítására is Mátraszentlászlón és a Bakonyban levő Lókúton, ahol 1953-ban fagykísérleti állomást szervezett az OMI agrometeorológiai osztálya az őszi gabona télállóságának vizsgálatára (*Kulin*, 1954a). Az 50-es évek elején végzett agroklimatológiai munkákról *Kulin* (1954b) számolt be. Munkájában megállapítja, hogy „A két-három év óta folyó mezőgazdasági célú éghajlati feldolgozások igen szép eredményeket hoztak, de még nem kielégítők. A tulajdonképpeni agrometeorológiai tudományos kutatómunka még csak kezdetleges állapotban van. Növényfenológiai hálózatunk gyér, és még igen rövid múltú. A Szovjetunióéhoz hasonló agrometeorológiai hálózatunk tulajdonképpen nincs... Agrometeorológiai obszervatóriumunk szintén hiányzik. Az agrometeorológia jelentőségének felismerése ma még hazánkban nem eléggé általános.” Ezek a mondatok egyúttal a fontosabb teendőkre is céloztak.

E szakmai programadás részben már azoknak a szakmeteorológusoknak szólt, akik 1954-ben, s utána még 3 éven át kerültek ki az ELTE meteorológus szakáról. Közben *Kulin* (1954b), az Országos Meteorológiai Intézet (OMI) agrometeorológiai osztályának akkori vezetője, a Tudományos Tanács 1954. március 11-i ülésén kiemelte: „Foglalkoznunk kell azzal a gondolattal, hogy mezőgazdasági intézményeink számára agrometeorológiai megfigyelési és kutatási módszereket dolgozzunk ki.” Ezen az ülésen jelentette be azt is, hogy Martonvásáron agrometeorológiai obszervatórium épül.

A mérésekre és kísérletekre alapozott agrometeorológiai kutatások elindításának szükségességét hangoztatta *Dési* (1955), az OMI akkori igazgatója is „A meteorológiai kutatás időszerű kérdései” c. munkájában. Ebben leírja: „... meg kell vetnünk agrometeorológiai kutatásaink bázisát is. Ha megteremtjük az agrártudományok keretében folyó kutatásokkal a szoros együttműködés konkrét feltételeit célunkat el fogjuk érni. Eddigi eredményeink még szerények, de perspektívánk biztató. Martonvásárott leraktuk egy agrometeorológiai intézet alapjait, s ha a jövőben a nagyobb agrártudományi kutatóintézetekkel kapcsolatot létesítünk, széles és termékeny talajon állva művelhetjük az agrometeorológiát”. Az MTA Mezőgazdasági Kutatóintézete területén felépült obszervatóriumban 1955. szeptember 1-jén indult el a kísérletekre alapozott agrometeorológiai kutatómunka, frissen végzett diplomás szakmeteorológusokkal (vezető: *Pletser* János).

A martonvásári obszervatórium munkatársai az első években a talajművelés és a talajtakarás mikrometeorológiai kérdéseivel foglalkoztak (*Kozma*, *Varga*, 1957, 1958; *Pletser*, 1960a, 1960b, 1961a; *Varga*, 1963), majd a kukorica és a búza fejlődésének agrometeorológiai vizsgálatára fordították figyelmüket (*Varga*, 1967; *Pletser*, 1967, 1968). Az elmúlt harminc év során természetesen egyéb agrometeorológiai vizsgálatokat is folytattak az obszervatórium tudományos

munkatársai. Többek között foglalkoztak a fagyvédelem (Szilágyi, 1961), a fitotron (Pletser, 1977; Ábrányi, Magyarics, Pletser, Timár, 1984), az üvegház (Morvai, 1961; Szakály, 1961), a terményszárítás (Pletser 1961b) agrometeorológiai kérdéseivel, számos publikációt közölve eredményeikről.

A meteorológiai kutatások fellendülésének kezdeti időszakában egy további jelentős esemény segítette az agrometeorológiai kutatás kibontakozását. Nevezetesen 1959. augusztus 20-án avatták fel az OMI második agrometeorológiai obszervatóriumát Kecskeméten (vezető: Szilágyi Tibor), a Duna–Tisza közti Mezőgazdasági Kísérleti Intézet kertjében. A kezdeti években a vizsgálatok döntő többsége a talaj és a talajközeli légréteg lehülési problémáival (Kozma, Stollár, Szilágyi, 1961), a hótakaró hatásával (Stollár, 1960), a kisugárzási fagy előrejelzőképességével foglalkozott, de sor került agrometeorológiai műszerek fejlesztésére is (Kozma, Stollár, Szilágyi, 1960; Kozma, 1962). Ezekkel párhuzamosan megindult a paradicsom agrometeorológiai vizsgálata is (Szilágyi, 1966, 1967), amely nagyon sok részletkérdésre kitért a hatvanas, hetvenes években. E témakörben publikációk sorozata jelent meg meteorológiai és mezőgazdasági szaklapokban. A Kecskeméti Obszervatórium munkatársai a hatvanas évek közepétől bekapcsolódtak a szőlő, zöldség és gyümölcs evapotranspirációjának, vízigényének és öntözővízigényének vizsgálatába, amiből szintén számos tanulmány született.

A hazai agrometeorológiai kutatásoknak új irányzatot adott az 1958-ban induló „Balaton-kutatás” keretében végzett terepklimatológiai mérésorozat. Ekkor ugyanis első ízben került sor hazánkban evapotranspiráció meghatározására turbulens diffúziós és energiaháztartási módszerrel (Antal, 1959, 1961a, 1961b).

Az 1958–1962. között nagy intenzitással folytatott „Balaton-kutatás” során került alkalmazásra az akkor korszerűnek mondható módszer, amely lehetővé tette a különböző felszínek sugárzási mérlegének, energiaháztartásának és párolgási viszonyainak vizsgálatát óránkénti bontásban.

A Meteorológiai Intézet agrometeorológiai kutatásainak történetében újabb fordulópontot jelentett 1963, amikor is Szarvason az Öntözési és Rizstermesztési Kutatóintézet kísérleti területén aspiránsi téma kidolgozására agrometeorológiai kutatóállomást létesítettek (Antal, 1965a). Az itt kezdett agrometeorológiai vizsgálatok elsődleges célja volt olyan módszer kidolgozása, amely lehetővé teszi a különböző növényállományok öntözési időpontjának és az öntözendő víz mennyiségének előrejelzését meteorológiai információk alapján (Antal, 1965b). Ennek érdekében a korábban létesített két agrometeorológiai obszervatórium műszerezettségét jelentős mértékben meghaladó kutató- és kísérleti állomást hoztunk létre, ahol folyamatos volt a sugárzási összetevők, a talaj- és a léghőmérséklet, valamint a szélesebbég regisztrálása. A növényállomány vízigényének meghatározására 4–5 m²-es Thornthwaite–Mather-féle evapotranspirométereket helyeztünk el, míg a tényleges evapotranspiráció számítása érdekében óránként folytak a turbulens diffúziós módszer alkalmazásához szükséges mérések. A gyökérzóna talajnedvesség-tartalmát a hagyományos termogravimetriás eljárással határoztuk meg dekádonként.

A meteorológiai elemek, ill. a különböző növényállományok vízigénye és vízfogyasztása közötti összefüggések feltárása érdekében igen részletes növényfenológiai és fenometriai mérések is folytak. Az itteni agrometeorológiai kutatások programja évről évre bővült és egyre több szakember kapcsolódott be a növényzet vízháztartási kérdéseivel foglalkozó vizsgálatokba. Néhány évi kutatás eredményeként a szarvasi agrometeorológiai kísérletek alapján új módszer született a potenciális és a tényleges evapotranspiráció számítására (Antal, 1968).

Miközben az itt telepített evapotranszpirométerek száma jelentősen megnövekedett az évek során, úgy egyre több agrometeorológiai kérdés kerülhetett tisztázásra a növényállományok vízháztartási viszonyaira vonatkozólag. Ilyenek voltak többek között a faj és a fajta (Antal, 1966; Antal, Posza, 1967; Endrődi 1968; Posza, Tóth, 1969), az állománysűrűségnek (Walkovszky, 1978a), a vízellátottság mértékének hatása a potenciális, ill. a tényleges evapotranspirációra (Antal, Endrődi, 1972). Vizsgálódás tárgyát képezte továbbá a talajvíz mélységének hatása az evapotranspirációra (Posza, 1978). Igen széles körű volt a műtrágyázás és az evapotranspiráció (Posza, 1977; Dávid, 1979, 1980), ill. a természetes eredmény közötti kapcsolatok elemzése is (Tóth, 1978), ám a kutatások zöme az öntözővíz-szükséglet meteorológiai módszerekkel történő meghatározására irányult (Antal, Posza, Tóth, 1972, 1974; Antal, Endrődi, 1972; Endrődi, 1974, 1978; Posza, Tóth, 1973).

Részletes vizsgálatok folytak ez idő tájt a növényállományok sugárzás- és hőháztartási összetevőinek feltárására is (Kissné Tóth E., 1965; Weingartner, 1966, 1967; Tóth, 1966, 1972; Antal, Posza, Tóth, 1974). E témakörökből 1963-tól napjainkig több mint száz agrometeorológiai publikáció jelent meg.

A szarvasi agrometeorológiai kutatóállomáson folyó kísérletek olyan mértékben kibontakoztak a 70-es évek elejére, hogy döntés született a kísérleti állomás obszervatóriummá fejlesztésére. Az új objektum az Arborétum mellett épült fel, s 1974-ben került átadásra (vezető Posza István). Szakmai profilja továbbra is az öntözés, a növényállományok sugárzás-, hő- és vízháztartási rendszerének vizsgálata maradt. Az utóbbi években az evapotranszpirométeres vizsgálatok hangsúlyozottabban a konzervipari növényekre tolódtak.

A szarvasi agrometeorológiai kutatások kezdeti eredményeire felfigyeltek az öntözéssel foglalkozó szakemberek is. Az Országos Vízügyi Főigazgatóság 1965 őszén megbízást adott a Meteorológiai Intézetnek arra, hogy egységes elvek szerint Szarvason, Kecskeméten és Kisvárdán is hozzon létre evapotranszpirométeres mérőállomást. A hálózat 1966-ra el is készült. Ugyancsak az OVF megbízásából a Gödöllői Agrártudományi Egyetem Földműveléstani és Növénytermesztési tanszéke is létrehozott azonos elvek szerint működő ET állomást Szolnokon, Gödöllőn és Pakodon. E hat állomást az OMI és a GATE egységes elvek szerint több éven át üzemeltette az OVF finanszírozásával. Ezek a vizsgálatok szolgálták később az OVF által kidolgozott öntözési norma szabványaihoz.

A hatvanas évek végén a Meteorológiai Intézet részben saját kezdeményezésre, részben más intézményekkel együttműködve további evapotranszpirométeres kutatóállomásokat létesített az ország különböző helyein. Többek között Keszthelyen és Kapuvárott szántóföldi növénykultúrákkal, a Fertő tavon nádas állománnyal (Szilágyi, 1975; Walkovszky, 1977, 1978b), Kecskemét – Katona telepen és Egerben a Szőlészeti és Borászati Kutatóintézettel közösen szőlőkultúrával (Füri, Kozma, 1972, 1975, 1978; Kozma, Füri 1974), Érd – Elvira majorban pedig a Gyümölcs- és Dísznövénytermesztési Kutató Intézettel együttesen gyümölcskultúrával betelepített evapotranszpirométereket helyeztünk el (Stollár, 1973; Stollár, Gergely, 1978; Gergely, Stollár, 1980).

Az öntözéssel kapcsolatos agrometeorológiai feladatokat 1965-ben az alábbiakban foglaltuk össze (Antal, 1965a, 1965b):

a) Az időbeli és területi átlagos öntözővíz-szükséglet és az éghajlati vízhiány, valamint ezek szélsőséges értékeinek meghatározása, továbbá az öntözési rend, az öntözési tájékoztató és az öntözési prognózis kidolgozásához szükséges módszerek előállítás;

- b) Az öntözés átlagos és tényleges időpontjának meghatározása;
- c) Az öntözés hatása a növényállomány mikroklímájára;
- d) A természetes és mesterséges víztározókból és az öntöző csatornákból elpárolgó víz mennyiségének meghatározása, előrejelzése;
- e) Az esőztető öntözés párolgási vízvesztésének meghatározása.

A több mint 20 évvel ezelőtt kijelölt 5 feladat ma is időszerű, bár az a) és a b) pontban foglalt feladatok jelentős részét megoldották agrometeorológusaink. Ténnivaló azonban a következő generáció számára is bőven kínálkozik.

Az agrometeorológiai kutatásoknak újabb lendületet hozott az 1977-es esztendő. A Nyíregyházi Konzervgyár ugyanis ekkor indította az igen széles alapokra helyezett „Komplexen integrált konzervipari számítógépes termelésirányítást előkészítő kutatások” c. OMF B kutatási-fejlesztési témát. Ezt a több mint 30 millió Ft-tal támogatott témát az OMSZ agrometeorológusai koordinálták, akik aktíván részt vállaltak a megvalósításban is. E nagyszabású kutatási-fejlesztési munka során olyan agrometeorológiai kutatásokat kellett végezni, amelyek a korábbi mérési eredmények felhasználásával létrehozták azokat az alapösszefüggéseket, amelyek birtokában lehetővé vált a zöldségfélék termesztésének számítógépes programozása. Alapvető feladat volt olyan agrometeorológiai modellek kidolgozása, amelyekkel az ún. „optimális vetési időpont” helyett a tényleges időjárási viszonyokat és a rendelkezésre álló agrometeorológiai feltételeket figyelembe vevő „ésszerű vetési intervallum” lép. Ebben az intervallumban szakaszolják a vetést számítógépes irányítással úgy, hogy a talaj és az éghajlati erőforrás kihasználásával a termés növekedjék.

A programon belül az agrometeorológiai kutatómunka másik fontos területe volt a növény fejlődésének, az érés időpontjának és a termés várható mennyiségének előrejelzését lehetővé tevő modellek kidolgozása. Elvárás volt, hogy a kifejlesztendő modellek tegyék lehetővé, hogy az alkalmazás során a tényleges időjárási viszonyok naponkénti figyelembevételével prognosztizálni lehessen a várható nyersanyag rendelkezésre állását. Ez teszi lehetővé ugyanis a betakarítás, a szállítás és a feldolgozó kapacitás optimális szervezését. Célkitűzés volt, hogy az agrometeorológiai előrejelzés pontossága a betakarítást megelőző időszakban elérje a 90–95%-os beválási valószínűséget. Ehhez a kutatási periódusban a növény fejlődésének, állapotának megbízható szimulálására, nyomon követésére alkalmas agrometeorológiai fejlődési modelleket kellett kifejleszteni a zöldborsó, a zöldbab, az uborka, a paradicsom és a szamóca konzervipari növényfélékre (Erdős, Gulyás, Légrádi, 1980; Dávid, Anda, 1984, 1985; Posza, Walkovszky, 1985; Lambert, Szilágyi, Walkovszky, 1986).

E konzervprogram keretében a 70-es évek végén tovább fejlődött az agrometeorológiai műszer- és berendezéspark mind hazai, mind szocialista, mind pedig tőkés viszonylatból. E program kapcsán létesült a Nyíregyházi Agrometeorológiai Obszervatórium egy komplett evapotranspirométeres mérőállomással (vezető dr. Kiss Attiláné). Agrometeorológiai obszervatóriumaink és kutatóállomásaink 1977 óta a konzervipari növények vizsgálatára helyezték a hangsúlyt, ám ezzel párhuzamosan továbbra is folynak azok a kutatások, amelyek megalapozó jellegűek, vagy amelyek a partner intézménnyel kötött megállapodásokból hárulnak kutatóinkra. E témakörben is tovább gazdagodott a magyar agrometeorológiai irodalom (Novák, Szilágyi, 1980; Posza, 1980; Kádár, 1981; Fekete, 1981; Novák, 1981, 1982; Posza, Zárbok, 1985).

A hatvanas években nemcsak a kísérleti agrometeorológiai kutatás haladt előre óriási léptekkel, hanem a fenológiai és éghajlati adatok elemzésére támasz-

kode agroklimatológiai és agrometeorológiai kutatás is. Ekkorra ugyanis már megfelelő hosszúságú fenológiai és termésmennyiségi adatsorokhoz lehetett hozzájutni részben a Meteorológiai Intézet hálózatából, részben mezőgazdasági intézményektől. Ezen adatsorok birtokában megindultak a kvantitatív elemzések, mindenekelőtt az őszi búzára összpontosítva (Varga, 1976, 1979). Egyre-másra jelentek meg azonban a burgonya, a cukorrépa és a kukorica fejlődésével és terméseredményével foglalkozó agrometeorológiai cikkek is (Ajtay, 1969; Dunkel, Zárbok, 1980; Kmetykó, 1979, 1984).

Az agrometeorológiai előrejelzések érdekében folytatandó kutatások irányvonalát Dési (1968) agroklimatológusaink számára e szavakkal fogalmazta meg: „... megalapozott módszerekkel kísérreljük meg az időjárás-növény kapcsolat elemzését, s minden olyan növényre gondolunk majd, amelyeknek fejlődési fázisait – hosszabb fenológiai sorok alapján – jól ismerjük. E vizsgálatok – végső soron – betetőzik azt az előkészítő munkát, amelyet a mezőgazdaság korszerű agrometeorológiai tájékoztatása alapjának lerakása érdekében évekkal ez előtt megkezdünk már.”

Széles körű és eredményes munka folyt az agroklimatológiai körzetesítés érdekében is (Ajtay, Dunay, Kmetykó, Varga, 1972; Botos, Varga, 1974). Néhány növényfeleségre el is készült azóta az európai szocialista országok agroklimatológiai térképsorozata (Herskovits, szerk., 1971; Herskovits, szerk., 1979). Az agroklimatológiai vizsgálatok során időközben olyan heti, dekád és havi éghajlati paramétereket számítottak ki, amelyek megalapozták a rendszeres agrometeorológiai tájékoztatást, agrometeorológiai előrejelzést. Igaz, mindez elsősorban operatív tevékenység, ám e témakörben is rendszeres kutatómunka folyik az eddig bevezetett agrometeorológiai szolgáltatási módszerek fejlesztésére (Vadász, 1980; Kmetykó, 1979, 1984; Varga, 1979; Szalai, Varga, 1980).

A szántóföldi kísérletekre alapozó agrometeorológiai kutatás újabb fejlődési szakasza kezdődött a hetvenes évek végén és a nyolcvanas évek elején, amikor az egyszerű meteorológiai elemek mérésén túl megkezdődött a fotoszintetikusan aktív sugárzás növényfejlődésre gyakorolt hatásának beható tanulmányozása (Dávid, Morvai, 1978; Abrányi, 1978; Hunkár, 1985; Galló, 1985; Hunkár, 1986a). E vizsgálatokkal szinte párhuzamosan indult a CO₂ asszimiláció mérése és agrometeorológiai értékelése. Kezdetben őszi búza volt a kísérleti növény (Abrányi, 1977, 1978; Abrányi, Magyarics, Pletser, Timár, 1984), a vizsgálatokat azonban később a kukorica jelzőnövényre összpontosították agrometeorológusaink (Dunkel, 1985; Anda, 1985; Pletser, Magyarics, Abrányi, Timár, 1985; Hunkár, 1986b). A mérésekkel egybekötött vizsgálatokat búzára vonatkozólag Martonvásáron végezték, míg a kukorica CO₂ asszimilációjának elemzése a keszthelyi agrometeorológiai kutatóállomáson folyik napjainkban is.

A fotoszintetikusan aktív sugárzás, a CO₂ asszimiláció, a zöld- és szárazanyaggyarapodás, valamint a növényállomány evapotranspirációjának rendszeres mérése lehetővé teszi a bonyolultabb dinamikus növényfejlődési modellek alkalmazását is a korszerű agrometeorológiai kutatásainkban (Dunkel, 1984; Dunkel, Zárbok, 1980).

Évtizedünkben indultak azok a kutatások az OMSZ-ban, amelyek azt hivatottak kideríteni, hogy a műholdról érkező meteorológiai információk hogyan hasznosíthatók az agrometeorológiai szolgáltatások során. E témakörben megjelent publikációkból tájékozódhatunk a távérzékeléssel nyert meteorológiai információk agrometeorológiai célú hasznosításának lehetőségeiről (Kozma, Pintér, Tünczer, 1982; Vadász, 1985).

Közel 150 esztendő agrometeorológiai kutatásait tekintettük át vázlatosan a Magyar Meteorológiai Szolgálat keretein belül. Inkább csak a jelentősebb munkákat, eseményeket, fordulópontokat emeltük ki, amelyek ösztönözték, vagy visszafogták az agrometeorológiai kutatásokat szolgálatunknál. Természetesnek tartjuk, hogy világosabb képet rajzolhatnánk a hazai agrometeorológiai kutatásokról, ha a szolgálaton kívüli, többi hazai tevékenységet is áttekintenénk. Idő hiányában azonban erre nem kerülhet sor. Annyit azonban érdemes megemlíteni, hogy a két világháború között és a háború utáni években — kb. a 60-as évek elejéig — az agrometeorológiai tárgyú publikációk főként a mezőgazdasági kutatóintézetek és az egyetemi tanszékek munkatársai tollából jelentek meg. Ez az arány akkor kezdett megváltozni, amikor létrejöttek az agrometeorológiai obszervatóriumok, ill. kutatóállomások és nagy intenzitással megindultak az agrometeorológiai kísérletek, vizsgálatok, s egyben a publikálások is.

Igaz, az Országos Meteorológiai Szolgálaton belül ma már nem egy-két ember, nem egy kis létszámú osztály, hanem egy népes Agrometeorológiai Főosztály foglalkozik az agrometeorológiai és agroklimatológiai kutatásokkal, illetve agrometeorológiai szolgáltatásokkal (tájékoztatással és előrejelzéssel).

Az agrometeorológiai kutatás és szolgáltatás jelenleg a Központi Meteorológiai Intézetben koncentrálódik az Agrometeorológiai Főosztályon belül. Szervezetileg három osztályból, négy agrometeorológiai obszervatóriumból és egy kutatóállomásból tevődik össze a főosztály. Az évenként rögzített kutatási feladatok megoldásában 30 szakember (25 meteorológus és 5 mezőgazdasági képzettségű szakember) vesz részt.

Az agrometeorológiai kutatási-fejlesztési és szolgáltató-operatív munkák aránya évről évre, a külső és belső igényeknek megfelelően változik. A 80-as évek közepén folyó alap-, fejlesztési- és alkalmazott agrometeorológiai kutatásokat röviden az alábbiakban vázolhatjuk:

- különböző növényállományok hő- és vízigényének, CO₂ asszimilációjának vizsgálata agrometeorológiai kísérletek és dinamikus modellezés útján;
- agrometeorológiai modellek kidolgozása és továbbfejlesztése szántóföldi és kertészeti kultúrák fejlődésének és terméseredményének előrejelzése céljából;
- agrometeorológiai tájékoztatási módszerek fejlesztése a korszerű fenológiai megfigyelések és éghajlati adatok alapján;
- az öntözés és műtrágyázás agrometeorológiai kérdéseinek vizsgálata;
- szántóföldi és kertészeti kultúrák optimális termőhelyeinek kijelölése az agroklimatológiai erőforrások számbavételével;
- az időjárási elemek és a növényfejlődés törvényszerűségeinek elemzése a számítástechnika bevonásával;
- agrometeorológiai mérőeszközök és megfigyelési rendszerek fejlesztése.

A kutatási feladatok megoldásához agrometeorológusaink a következő adatbázisra támaszkodhatnak:

1. Meteorológiai mérő és megfigyelő alaphálózat, vagyis a főállomások, az éghajlati állomások és a csapadékmérő állomások adataira.
2. A növényfenológiai megfigyelőhálózat adataira (19 kultúrnövényfajra és 6 vadontermő növényfajra vonatkozólag folyik az adatgyűjtés).
3. A talajnedvességmérő hálózat tíznapenkénti méréseire.
4. A speciális agrometeorológiai állomások adatbázisára.

5. Az agrometeorológiai obszervatóriumokban és a kutatóállomásokon folyó kísérletek adataira.
6. A műholdas megfigyelésekből származó meteorológiai információs rendszerre.
7. A mezőgazdasági partnerintézményektől származó olyan adatbázisra (pl. a hosszú sorozatú terméseredményekre), amivel az OMSZ saját hálózatából nem rendelkezik.

Az agrometeorológiai szolgáltatásokkal, s ebből fakadóan a *jövőbeni kutatások iránti mezőgazdasági igényeket* az alábbiakban fogalmazhatjuk meg:

Mint hogy a mezőgazdaság valamennyi termelési ágát, de különösen a szántó-földi és kertészeti növénytermesztést az éghajlat és az időjárás alakulása közvetlen befolyásolja, így a tervezés, az üzem profiljának kialakítása, az üzemeltetés technológiai menetének megfogalmazása — munkagépeinek megválasztása, a fajták és a fajta-arányok helyes kialakítása, a tenyészdő megítélése stb. —, továbbá a termelési folyamat időjáráshoz alkalmazkodó levezetése csak akkor lehet tervszerű, ha annak minden lépése kellő agrometeorológiai információra, ezen belül a tervezési alapinformációra és a termelés folyamatirányító információira épül.

Az alapinformációk adják azt a keretet, amelyen belül célszerűen és gazdaságosan tervezhető az üzem felépítése, termelésmenete, illetve felmérhető az éghajlati kockázat mértéke, esetleg meghatározó jellege és elemei.

A folyamatirányító információk jórészt időjárási elemekből épülnek fel, s döntően az időjárási és agrometeorológiai előrejelzés megbízhatóságán, illetve a munkafolyamatba való beépíthetőségén mérhető hatásuk.

Új kutatási területként jelentkezik majd a tervezéshez és a termelés irányításához szükséges meteorológiai szolgáltatásokon kívül a mezőgazdasági környezet romlásából adódó problémák alapinformációinak mérése, s az adatok megfelelő feldolgozása.

Az agrometeorológiai kutatásokkal szemben támasztott új mezőgazdasági igény lesz az éghajlati tájkörzethez kötődő paraméterek mezőgazdasági célú feldolgozása, az időjárásváltozások mezőgazdasági célú előrejelzésének fejlesztése, a környezetváltozások légköri jelenségeinek okozati regisztrálása.

A mezőgazdaság távlati fejlesztése bizonyos differenciált adatszolgáltatási igényt támaszt a klimatológiai adatokkal szemben is.

A jövőben a talajállapotról vonatkozó megfigyeléseket és kutatásokat is egyre jobban igénylik majd. Egy-egy táj talajainak művelési lehetősége, erőgéppel való terhelhetősége, mind-mind olyan tervezési bázisadat, amelyeknek alátámasztására csak a hosszú éghajlati adatsorok alkalmasak.

Természetesen további segítséget jelenthet ezen a téren a talajnedvesség változását jellemző adatsor is (tájegység és talajtípus bontásban, mezőgazdasági célokra alkalmas feldolgozási formában).

A korszerű, környezetkímélő permetezés érdekében agrometeorológiai modellek kidolgozása, ill. ezek főbb összetevőinek folyamatos szolgáltatása lesz majd szükséges. Egy ilyen kutatási eredmény nemcsak az eredményes permetezést, hanem a növényi betegségek elleni hatásvás küzdelmet is segítené, sőt a környezetvédelem egyes kérdéseire is kapcsolódnék.

Felvetéseinkkel azt kívánjuk érzékeltetni, hogy az éghajlati adatok tájkörzeti csoportosításhoz közreadása nélkülözhetetlen eleme az üzemi, a nagyüzemi tervezésnek éppen úgy, mint az országos irányításnak.

A mezőgazdasági üzemek termesztés-technológiai folyamatainak irányítói leginkább a növény- és a zöldségtermesztésben igénylik a megbízható előrejelzése-

ket. Ez természetes, hiszen a szántóföldi tábla nemcsak a termelés eszköze, de egyben az agrotechnikai munkák tárgya és színhelye is.

Ugyanakkor, a növény növekedési és fejlődési állapotától függően, — a tenyészidő különböző szakaszaiban — az időjárási előrejelzésnek más és más elemei lehetnek fontosak. Sőt, időről-időre változhat az általános előrejelzést kiegészítő speciális mezőgazdasági igény is. Más-más elemek lehetnek fontosak, s más-más időtartamokra szóló igény léphet fel. A fentiek alapján várható, hogy az elkövetkező években célszerű lenne egy mezőgazdaság-centrikusabb prognosztikát kialakítani.

Az agrometeorológiai kutatások jövő perspektíváit illetően összefoglalóan elmondhatjuk, hogy az elvárások növekedni fognak mind az alap kutatásokkal, mind a szolgáltatási módszerek fejlesztésével szemben. Várható továbbá, hogy fokozódni fog az igény az együttműködés iránt. Megnövekszik a kereslet majd az éghajlatváltozás és éghajlatingadozás mezőgazdasági kihatásainak feltárására irányuló agrometeorológiai kutatások iránt.

IRODALOM

- Ajtay Á., 1979: A burgonya terméshozamának előrejelzése meteorológiai paraméterek segítségével. *Burgonya-termesztés*, 2. sz., 35—52.
- Ajtay Á., Dunay S., Kmetykó K. és Varga H. Z., 1972: Agroklimatológiai térképek és valószínűségi grafikonok készítése. *Beszámoló*, 1969. OMSZ Hiv. Kiadv., XXXVI. 417—422.
- Anda A., 1985: A fotoszintetikus szén-asszimiláció alapfolyamatai. *Beszámoló* 1982, OMSZ Hiv. Kiadv., 98—114.
- Antal E., 1959: A természetes felszín evapotranspirációja a Balaton térségében. *Időjárás* 63, 85—93.
- Antal E., 1961 a: Levendulaállomány evapotranspirációjának kiszámítása turbulens diffúziós módszerrel. *Beszámoló*, 1961. OMI Hiv. Kiadv., XXIV. 184—193.
- Antal E., 1961b: Energiaháztartás-mérések a Tihany-félszigeten. *Időjárás* 65, 40—46.
- Antal E., 1965a: Az öntözéssel kapcsolatos hő- és vízháztartás-mérések célja és várható eredményei. *Beszámoló*, 1964. OMI Hiv. Kiadv., XXVIII. 46—59.
- Antal E., 1965b: Öntözés és meteorológia. *Időjárás* 69, 248—257.
- Antal E., 1966a: Egyes mezőgazdasági növényállományok potenciális evapotranspirációja. *Öntözéses Gazdálkodás*, Vol. IV., No. 1., 69—86.
- Antal E., 1966b: A kukorica és a lucernaállomány maximális vízfogyasztásának mérése. *Beszámoló* 1964, OMI Hiv. Kiadv., XXVIII. 60—65.
- Antal E., 1968: Az öntözés előrejelzése meteorológiai adatok alapján. Kandidátusi értekezés, 147 oldal.
- Antal E. és Posza I., 1967: A kukoricaállomány evapotranspirációjának jellemzői. *Beszámoló* 1966, OMI Hiv. Kiadv., XXXIII. 499—509.
- Antal E. és Enrdődi G., 1972: A burgonya vízigénye és öntözővízszükséglete. *Időjárás* 76, 223—233.
- Antal E., Posza I., 1970: A különböző növényállományok növénykonstansai és változásuk a tenyészidő folyamán. *Beszámoló* 1968, OMI Hiv. Kiadv., XXXV. 452—460.
- Antal E., Posza I. és Tóth E., 1972: A kukorica öntözésének agrometeorológiai alapjai. *Időjárás* 76, 302—313.
- Antal E., Posza I. és Tóth E., 1974: A kukorica hő- és vízháztartás rendszerének kapcsolata az öntözővíz-szükségletével. *Beszámoló*, 1971, OMSZ Hiv. Kiadv., XXXVIII. 142—158.
- Ábrányi A., 1977: A búza CO₂ asszimilációjának tanulmányozása fitotronban. *Beszámoló* 1973, OMSZ Hiv. Kiadv., XI.LIII. 211—213.
- Ábrányi A., 1978: Őszi búza termésének elemzése fotoszintetikus modell alapján. *Beszámoló* 1975, OMSZ Hiv. Kiadv., LXV. 133—136.
- Ábrányi A., Magyarics K., Pletser J. és Timár I., 1984: A búza szén-dioxid asszimilációja. *Beszámoló* 1981., OMSZ Hiv. Kiadv., 285—295.
- Berde Á., 1847: *Légtülneménytán*, 1. rész 229, 2. rész 238 oldal. Kolozsvár
- Botos L. és Varga H. Z., 1974: *Agroklimatológia és növény-termesztés*, 162 oldal, Budapest.
- Dávid A., 1975: A napsugárzás hatása néhány mezőgazdasági növény fejlődésére. *Beszámoló* 1972, OMSZ Hiv. Kiadv., XXXIX. 315—324.
- Dávid A., 1979: Az időjárás hatása a műtrágyázott kukorica fejlődésére és terméshozamára. *Beszámoló* 1977, OMSZ Hiv. Kiadv., XLVII. 170—184.
- Dávid A., 1980: Műtrágyázási kísérletek agrometeorológiai elemzése. *Beszámoló* 1978, OMSZ Hiv. Kiadv., XLIX. 181—198.
- Dávid A. és Morvai A., 1978: A sugárzás spektrális eloszlása kukoricaállományban. *Beszámoló* 1974. OMSZ Hiv. Kiadv., XLIV. 152—162.
- Dávid A. és Anda A., 1984: A paradicsom érés-ütemének, előrejelzése. *Beszámoló* 1981, OMSZ Hiv. Kiadv. 100—117.
- Dávid A. és Anda A., 1985: A paradicsomerés idejének és termésmennyiségének becslése hő- és nedvesség-ellátottságának alapján. *Beszámoló* 1982, OMSZ Hiv. Kiadv., 174—184.
- Dési F., 1968: Meteorology and agriculture. *Időjárás* 72, 129—137.
- Dunkel Z., 1984: Szántóföldi növények fejlődésének (tömeggyarapodásának) dinamikus (szimulációs) modellezése. *Beszámoló* 1981, OMSZ Hiv. Kiadv., 269—284.
- Dunkel Z., 1985: A szén-dioxid függőleges eloszlása kukorica állományban. *Beszámoló* 1982, OMSZ Hiv. Kiadv., 82—97.
- Dunkel Z. és Zárbok Zs., 1980: Agrometeorológiai modellek alkalmazása a növény fejlődésének előrejelzésében. *Időjárás* 84, 239—245.
- Enrdődi G., 1968: Összefüggés a szabadvízfelszín és a fűfelszín potenciális evapotranspirációja között Magyarországon. *Beszámoló* 1967, OMI Hiv. Kiadv., XXXIV. 424—430.
- Enrdődi G., 1974: A cukorrépa vízsükségletének és öntözővíz igényének agrometeorológiai alapjai. *Beszámoló* 1971, OMSZ Hiv. Kiadv., XXXVIII. 186—199.
- Enrdődi G., 1978: A burgonya optimális evapotranspirációja és csapadékellátottsága Magyarországon. *Időjárás* 82, 89—96.
- Erdős L., Gulyás O. és Légrádi G., 1980: Számítógépes kísérletek a paradicsom termésmennyiségének és érésnapjának az előrejelzésére. *Beszámoló* 1978, OMSZ Hiv. Kiadv., XLIX. 116—121.
- Fekete L., 1981: A zöldborsó evapotranspirációja, fenológiája és fenometriai jellemzése 1978-ban. *Beszámoló* 1979, OMSZ Hiv. Kiadv., LIII. 136—155.
- Füri J. és Kozma F., 1972: Öntözött és öntözetlen szőlőállomány vízháztartása. *Beszámoló* 1969, OMSZ Hiv. Kiadv., XXXVI. 142—156.

- Füri J. és Kozma F., 1975: A szőlő evapotranspirációja. *Időjárás* 79, 113–120.
- Füri J., Kozma F., 1978: A szőlő tényleges evapotranspirációja és öntözővíz-szükséglete. *Beszámoló* 1975, OMSZ Hiv. Kiadv., LXV. 181–194.
- Galló V., 1985: Fotoszintetikusan aktív sugárzás mérése. *Beszámoló* 1982, OMSZ Hiv. Kiadv., 140–147.
- Gergely I. és Stollár A., 1980: Almaültvények és tenyészédesnyben nevelt fák vízfogyasztásának vizsgálata. *Beszámoló* 1978, OMSZ Hiv. Kiadv., XLIX. 138–145.
- Greguss Gy., 1864: *Természettani földrajz*. A művelt rendek szükségéhez alkalmazva. Pest.
- Hejfalvy K., 1902: Turkeve éghajlata. *Időjárás* 6, 57–64.
- Hunfalvy J., 1865: *A Magyar Birodalom természeti viszonyainak leírása*, I–III. Pest.
- Herskovits, E. L. (szerk.) 1971: *Agroklimatikus eszközei reszurszül territorii szocialiszticeszkii sztran Evropü*. Bolgarszkaja Akademiája Nauk, Insztitút Hidrológii i Meteorológii, pp. 33. Szofia.
- Herskovits, E. L. (szerk.), 1979: *Agroklimatikus eszközei rajonirovavije pjati osnovnih szelszkovhozajszvennih kultur na territorii szocialiszticeszkii sztran Evropü*. Bolgarszkaja Akademiája Nauk, Insztitút Hidrológii i Meteorológii, pp. 123, Szofia.
- Hunkár M., 1984: A simple calculation of the vertical profile of average PAR flux density within a maize stand. *Időjárás* 83, 139–144.
- Hunkár M., 1985: A fotoszintetikusan aktív sugárzás vertikális profilja kukoricaállományban. *Beszámoló* 1982, OMSZ Hiv. Kiadv., 125–139.
- Hunkár M., 1986a: Napsugárzámérleg és fényhasznosulás kukoricaállományban. *Időjárás* 90, 221–227.
- Hunkár M., 1986b: A növényfejlődés dinamikus modelljében alkalmazott növekedési függvények. *Beszámoló* 1983, OMSZ Hiv. Kiadv., 111–120.
- Káddár F., 1981: A szamóca (*Fragaria vesca* L.) fenológiája, fenometriája és vízfogyasztása 1979-ben. *Beszámoló* 1979, OMSZ Hiv. Kiadv., LIII. 121–135.
- Káddár F., 1984: A szamóca érédinamikája az időjárási tényezők függvényében. *Beszámoló* 1981, OMSZ Hiv. Kiadv., 117–127.
- Kéri M., 1970: *Fejezetek a magyar meteorológia történetéből*. Az agro- és biometeorológia története Magyarországon. Országos Meteorológiai Szolgálat, 213–245. Budapest.
- Kmetký K., 1979: Terméshozam előrejelzés meteorológiai paraméterekkel. *Tud. Napok '78*, OMSZ Hiv. Kiadv., XLVIII. 95–102.
- Kmetký K., 1984: A kukorica területi termésátlagának előrejelzése meteorológiai paraméterek segítségével. *Időjárás* 83, 232–237.
- Kozma F., 1962: Termisztoros hőmérséklet- és légnedveségmérő berendezés. *Időjárás* 66, 180–181.
- Kozma F. és Füri J., 1974: A szőlő evapotranspirációja. *Beszámoló* 1971, OMSZ Hiv. Kiadv., XXXVIII. 215–226.
- Kozma F., Pintér F. és Tünczer T., 1982: Terepklimatológiai módszerek a szőlőtermőhelyi kutatásban. *Szélészet és Borászat*, IV. évf. 4. sz., 16–18.
- Kozma F., Stollár A., és Szilágyi T., 1960: Szellőztetett termisztoros pszichrométer. *Időjárás* 64, 44–47.
- Kozma F., Stollár A., és Szilágyi T., 1961: A hótakaró szerepe a lég-, talaj- és növényhőmérsékletek kialakításában. *Időjárás* 65, 220–225.
- Kozma F., Varga H. Z., 1957: Különböző anyagokkal takart talajok hőmérsékleti viszonyai. *Időjárás* 61, 199–207.
- Kozma F. és Varga H. Z., 1958: Megművelt és takart talajok hőmérsékletének napi menete. *Időjárás* 62, 150–159.
- Kulín I., 1954 a: Az agrometeorológia a Szovjetunióban és hazánkban. *Időjárás* 53, 1–7.
- Kulín I., 1954 b: Az agrometeorológia időszerű kérdései. *Időjárás* 53, 153–157.
- Kulín I., 1955: Az agrárklimatológia néhány kérdése. *Időjárás* 59, 257–267.
- Lambert K., Szilágyi T. és Walkovszky A., 1986: A fűszerpaprika termesztésének néhány agrometeorológiai vonatkozása. *Beszámoló* 1983, OMSZ Hiv. Kiadv., 53–60.
- Morvai A., 1961: Üvegházi gombatermesztés agrometeorológiai vizsgálata. *Beszámoló* 1960, OMI Hiv. Kiadv., XXIV. 231–236.
- Novák S. és Szilágyi T., 1980: Adatok az uborka (*Cucumis Sativus* L.) evapotranspirációjához. *Beszámoló*, 1978, OMSZ Hiv. Kiadv., XLIX. 199–209.
- Novák J., 1981: Adatok a konzervipari zöldbab termesztésének agrometeorológiai vonatkozásaihoz. *Beszámoló* 1981, OMSZ Hiv. Kiadv., LIII. 156–181.
- Novák J., 1982: A konzervzöldbab fenofázisaiban a vízellátottság hatása az érésütemre. *Beszámoló* 1980, OMSZ Hiv. Kiadv., 125–138.
- Pletser J., 1960a: Száraz és nedvestalaj hőmérséklete. *Időjárás* 64, 48–49.
- Pletser J., 1960b: Öntözött talaj hőmérséklete. *Időjárás* 64, 112–114.
- Pletser J., 1961a: Kapált és kapálatlan talaj hőmérséklete. *Időjárás* 65, 183–186.
- Pletser J., 1961b: A szénázártás agrometeorológiai vizsgálata. *Beszámoló* 1960, OMI Hiv. Kiadv., XXIV. 222–230.
- Pletser J., 1967: A kukorica kelésének és növekedésének kapcsolata a talaj hőmérsékletével. *Beszámoló* 1960, OMI Hiv. Kiadv., XXXIII. 103–118.
- Pletser J., 1968: A kukorica növekedésének kapcsolata a talaj hőmérsékletével és nedvességével. *Beszámoló* 1967, OMI Hiv. Kiadv., XXXIV. 117–127.
- Pletser J., 1977: Az első időjárási modellek a martonvásári fitotronban. *Beszámoló* 1973, OMSZ Hiv. Kiadv., XII. 199–204.
- Pletser J., Magyarics K., Ábrányi A. és Timár I., 1985: A kukorica szén-dioxid gázcsereje a kezdeti fejlődéskor. *Beszámoló* 1982, OMSZ Hiv. Kiadv., 115–124.
- Posza I. és Tóth E., 1973: Előzetes kutatások a gabonafélék öntözésének szükségességéről. *Beszámoló* 1970, OMSZ Hiv. Kiadv., XXXVII. 162–169.
- Posza I., 1977: Tápanyagellátás és evapotranspiráció szántóföldi viszonyok között. *Beszámoló*, 1973, OMSZ Hiv. Kiadv., XLII. 162–168.
- Posza I., 1979: A talajvíz mélységének hatása az evapotranspirációra. *Beszámoló* 1975, OMSZ, Hiv. Kiadv., LXV. 210–218.
- Posza I., 1980: Konzervnövények evapotranspirációja. *Beszámoló* 1978, OMSZ Hiv. Kiadv., XLIX. 226–231.
- Posza I. és Tóth E., 1970: A potenciális evapotranspiráció, a vízvisszértel, a tényleges evapotranspiráció és az öntözővízszükséglet alakulása Magyarországon. *Beszámoló* 1968, OMI Hiv. Kiadv., XXXV. 434–451.
- Posza I. és Zárók Zs., 1985: Szabolcs-Szatmár megyei talajok hő- és a vizgázalkodása tekintettel a zöldségtermesztésre. *Beszámoló* 1982, OMSZ Hiv. Kiadv., 162–173.
- Posza I. és Walkovszky A., 1985: Néhány zöldborsófajta főmeggyarapodása és érédinamikája. *Beszámoló* 1982, OMSZ Hiv. Kiadv., 161–173.
- Sávoly F., 1912: A szőlő peronoszporájának időjárási feltételei. *Szélészeti Kísérleti Állomás és Ampelológiai Intézet Közleménye*, 30–31. szám.
- Sávoly F., 1915: Mezőgazdaság és meteorológia. *Földrajzi Közlemények*, XLIII. 8–9 sz., 333–356.
- Stollár A., 1960: 1959–60. leghidegebb téli napjának hőmérséklete a talajban, hótakaróban és a levegőben. *Időjárás* 64, 229–230.
- Stollár A., 1973: Vízháztartás-vizsgálatok alma állományban. *Beszámoló* 1970, OMSZ Hiv. Kiadv., 155–161.
- Stollár A., és Gergely I., 1978: A fiatal almaállomány evapotranspirációja. *Beszámoló* 1976, OMSZ Hiv. Kiadv., LXVI. 206–215.
- Szakályi J., 1961: Mikrolégáramlás növényházban. *Beszámoló* 1960, OMI Hiv. Kiadv., XXIV. 237–241.
- Szalai Gy., és Varga H. Z., 1980: Az őszibúza terméshozamának előrejelzése csapadék- és hőmérsékletadatok alapján. *Növénytermesztés*, 1. sz., 37–43.
- Szilágyi T., 1961: Az 1960. évi fagyvédelmi kísérleteink. *Beszámoló* 1960, OMI Hiv. Kiadv., XXIV. 210–212.
- Szilágyi T., 1966: A légkörhőmérséklet és a paradicsom érése közötti összefüggések. *Beszámoló* 1965, OMI Hiv. Kiadv. XXIX. 145–150.
- Szilágyi T., 1967: Az 1960. évi szokatlan paradicsomtermés agrometeorológiai háttere. *Beszámoló* 1966, OMI Hiv. Kiadv., XXXIII. 119–125.
- Szilágyi T. 1975: A Fertő tavi nád néhány fenometriai jellemzője. *Beszámoló* 1972. OMSZ Hiv. Kiadv., XXXIX. 294–297.
- Tóth E., 1965: A meteorológiai elemek és a hőháztartás, egyes összetevőinek alakulása lucernaállomány felett. *Beszámoló* 1964, OMSZ Hiv. Kiadv., XXVIII. 66–72.
- Tóth E., 1966: A hőháztartás komponenseinek alakulása a tenyészidőszakban. *Időjárás* 70, 361–369.

- Tóth E.*, 1972: A lucernaállomány hő- és vízbázis tartási rendszere. *Beszámoló* 1969, OMSZ Hiv. Kiadv., XXXVI. 174–197.
- Tóth E.*, 1978: A kukorica evapotranspirációja, terméshozama és vízhasznosítása különböző tápanyag- és vizellátás mellett. *Beszámoló* 1975, OMSZ Hiv. Kiadv., XLV. 241–255.
- Vadász V.*, 1980: A vegetációs periódus hőmérsékleti összegének előrejelzése. *Beszámoló*, 1978. OMSZ Hiv. Kiadv., XLIX. 81–82.
- Vadász V.*, 1985: Termális műholdfelvételek alkalmazási lehetőségei az agrometeorológiában. *Klímapotenciál és az agrometeorológiai információk népgazdasági hasznosítása*. XXIII. (IX.) Vándorgyűlés, Nyíregyháza, 443–461.
- Varga-Haszonits Z.*, 1963: A füves és a hengerezett talaj hőmérséklete. *Időjárás* 67, 178–179.
- Varga-Haszonits Z.*, 1967: A Bánkúti 1201 búzafajta vetés-kelés szakaszának hőmérsékleti viszonyai. *Időjárás* 71, 334–338.
- Varga-Haszonits Z.*, 1972: Az őszi búza érési időpontjának előrejelzése meteorológiai adatok alapján. *Időjárás* 76, 146–150.
- Varga-Haszonits Z.*, 1976: Az agrometeorológiai előrejelzések módszertani alapjai. *Időjárás* 80, 253–261.
- Varga-Haszonits Z.*, 1979: Az őszi búza területi termésátlagának előrejelzése meteorológiai paraméterek alapján. *Időjárás* 83, 332–340.
- Walkovszky A.*, 1977: Kísérlet a nád transpirációjának meghatározására. *Beszámoló* 1973, OMSZ Hiv. Kiadv., XLIII. 145–149.
- Walkovszky A.*, 1978a: Az állománysűrűség hatása a kukorica evapotranspirációjára. *Beszámoló* 1975, OMSZ Hiv. Kiadv., LXV. 256–259.
- Walkovszky A.*, 1978b: A Fertő tavi nád evapotranspirációja. *Beszámoló* 1974, OMSZ Hiv. Kiadv., XLIV. 188–192.
- Weingartner F.*, 1966: Különböző növényfelszín sugárzási egyenlege. *Beszámoló* 1965, OMSZ Hiv. Kiadv., 131–135.
- Weingartner F.*, 1967: Különböző felszín és növényállományok albedója. *Beszámoló*, 1967, OMI Hiv. Kiadv., XXXIV. 431–437.
- Az OMSZ (OMI) munkatársai által írt agrometeorológiai könyvek jegyzéke
- Aujeszký L.*, 1930: *Védekezés az időjárási károk ellen*, Budapest, MMT kiadványai, 2. kötet, 157 oldal.
- Aujeszký L., Berényi D. és Béll B.*, 1951: *Mezőgazdasági meteorológia*. Budapest. Akadémiai Kiadó, 550 oldal.
- Bacsó N.*, 1946: *Az éghajlaton elemei növénytermesztők számára*. Karcag, Kertész József Könyvnyomdája, 100 oldal.
- Bacsó N.*, 1978: *Bevezetés az agrometeorológiába*. Budapest Mezőgazdasági Kiadó, 330 oldal.
- Kulin I.*, 1952: *Agrometeorológia*. Budapest, OMI, 104 oldal.
- Réthy A. és Aujeszký L. (szerk.)* 1948: *Agrometeorológia*. Budapest, QUICK, 424 oldal
- Varga-Haszonits Z.*, 1977: *Agrometeorológia*. Budapest, Mezőgazdasági Kiadó, 224 oldal.

IDŐJÁRÁS

Az Országos Meteorológiai Szolgálat folyóirata, 91. évf. 2–3. szám, 1987. március–június.
Journal of the Hungarian Meteorological Service, Vol. 91. No. 2–3 March–June 1987 Budapest

Az élelmiszertermeléshez kapcsolódó agrometeorológiai kutatások évtizedünkben

TÓTH ERZSÉBET, Központi Meteorológiai Intézet, H–1525 Budapest, Pf. 38

The agrometeorological research related to the food production in present decade. Important innovations have been made in the food production over last decade. The agriculture is expected to satisfy the demands made by the increased home food consumption and the food export. The agricultural meteorology plays an important role in helping of this work. Two basic task of this science is: 1. to carry out researches resulting informations for agriculture to exploit the climatic resources of the country in increasing yields; 2. to set up and operate an information system for the agriculture that allows the minimalization of the damage in the production caused by weather, the increase of the effectivity of the workorganization and making use of the produced material without damage. The agrometeorology in our country helping the food production is analysed from these view-points. The results not only establish the long range planning using meteorology but help to organize the daily-weekly works and the immediate tactical decision as well.

*

Az élelmiszertermeléshez kapcsolódó agrometeorológiai kutatások évtizedünkben. Az élelmiszertermelés évtizedünkben jelentős innováción ment keresztül. Mind a belső fogyasztás, mind az export szempontjából nőttek a követelmények, amelyeknek teljesítését a mezőgazdaságtól várják. E munka segítségével fontos szerepet játszik az agrometeorológia; e tudományág kettős feladatát évtizedünkben a következőképpen fogalmazhatjuk meg: 1. végezzen olyan kutatásokat, amelyeknek eredményeként tanácsot adhat a mezőgazdaságnak, hogy hogyan használhatók ki a legjobban az ország éghajlati adottságai a terméshozamok növelésében; 2. dolgozzon ki és működtessen olyan információs rendszert a mezőgazdaság számára, amelynek birtokában az időjárási károk minimálisra csökkenthetők a termelésben, hatékonyabbá válik a munkaszervezés, a megtermelt nyersanyagok veszteségmentesen, jó minőségben kerülnek feldolgozásra. Az előadás ebben a szellemben tekinti át a hazai agrometeorológiai kutatásokat, amelyek az élelmiszer-termelést segítik. Külön kitér azokra az eredményekre, amelyek a hosszabb távú tervezés meteorológiai megalapozását, és külön azokra, amelyek a napi-heti munkák szervezését, a közvetlen taktikai döntések meghozatalát szolgálják.

*

Bevezetés. Az élelmiszertermelésnek elsődleges forrása a termőföld. Közismert tény azonban, hogy világviszonylatban a megművelhető földterület állandóan csökken. Ennek oka többek között az urbanizáció, a természet által okozott rombolás, pl. az erózió, a környezetszennyezés, amely a földet nem elveszi, csak használhatatlanná teszi. E körülmények hatására a termőföldhöz való viszony gyökeresen megváltozhat. Az emberiség eddig „föld bőségben” élt, de a századfordulóra könnyen „föld ínségben” állhat szemben.

Hazánk adottságai e tekintetben lényegesen kedvezőbbek, hiszen már megszülettek és érvényben vannak a földdel való jobb gazdálkodást serkentő intézkedések. Azaz a földre, mint az egyik legjelentősebb nemzeti kincsre fokozottan figyelnek s igyekeznek védelmét megoldani.

Egy-egy ország élelmiszertermelésének volumenét azonban nemcsak a földterület nagysága, hanem annak minősége, továbbá a domborzati és az éghajlati viszonyok határozzák meg. A felsorolt főbb természeti adottságok kedvező összhangja jelentős különözeti „földjáraadék” forrása lehet, ha a technikai felkészültség, a termelési struktúra engedi és segíti ezt a földjáraadékot realizálni.

Az élelmiszertermelés kérdéseit évtizedünkben két világszervezet is napi-rendre tűzte, így a WMO 1984-ben, a FAO pedig 1986-ban, azért elsősorban, mert a világ népességének 23–24%-a, mintegy félmilliárd ember még ma is éheznek. Magyarország szerencsére nem tartozik ebbe a kategóriába, ám mind a belső fogyasztás, mind az export szempontjából nálunk is nőttek azok a követelmények, amelyeknek teljesítésében fontos a szerepe az *agrometeorológiának* is. Ennek ket-tős feladatát évtizedünkben a következőképpen fogalmazhatjuk meg:

- végezzen olyan kutatásokat, amelyeknek eredményeként tanácsot adhat a mezőgazdaságnak, hogy hogyan használhatók ki a legjobban az ország éghajlati adottságai a terméshozamok növelésében;
- dolgozzon ki és működtessen olyan információs rendszert a mezőgazdaság számára, amelynek birtokában minimálisra csökkenthetők az időjárás-károk a termelésben, hatékonyabbá válik a munkaszervezés, a megtermelt nyersanyagok veszteségmentesen, jó minőségben kerülnek feldolgozásra.

Lényegében tehát a hosszabb távú tervezés meteorológiai megalapozását és a napi-heti munkák szervezését, a közvetlen taktikai döntések meghozatalát szolgáló agrometeorológiai kutatásokról van szó.

Agrometeorológiai kutatások a hosszabb távú mezőgazdasági tervezések megalapozásához

Magyarország kedvező természeti adottságai változatos összetételű és nagymennyiségű növényi produkció évenkénti megtermelését teszik lehetővé. Hazánk éghajlata a mezőgazdasági termelés fejlesztésének egyik biztosítóka, bár számolnunk kell azzal – és sajnos évtizedünkben erre négy év (1981, 1983, 1984, 1986), is igen jó példaként szolgált –, hogy az egyik legfontosabb éghajlati tényező, a csapadék eloszlása, s a gazdálkodás szempontjából kedvezőtlen ingadozások a jövőben is veszélyeztetik a termés biztonságát; a hosszútávú tervezések során tehát ezt a körülményt mindenképpen figyelembe kell venni.

Természetesen azért, hogy a mezőgazdaság egy-egy évben nem tudja teljesíteni a követelményeket, nem *kizárólag* az időjárás vonható felelősségre, bár súlya nem hagyható figyelmen kívül a termés kiesések okainak elemzésében. Minthogy évtizedünkben többször is voltak gondok az élelmiszertermelés eredményeivel, ezért az időjárás hatásának példaként először röviden áttekintjük az 1981–86-os tenyészidőszakok napfény-, hőmérséklet- és csapadékviszonyait néhány megfigyelőhely adatai alapján, úgy, hogy azokat mindjárt a mezőgazdaság szempontjából értékeljük.

Az 1981–1986 közötti tenyészidőszakok napfényben, amint az az *I. táblázatból* kitűnik, a szokásosnál szegényebbek voltak, kivéve az utolsó két évet. A léghőmérséklet alakulását szemlélve az aszályos évek közül az 1984-es viselkedése tűnik ki az átlagosnál jóval hűvösebb voltával. Ami pedig a csapadékot illeti, egyértelmű volt hiánya 1981-ben, 1983-ban és 1986-ban, de mi történt 1984-ben, amikor előfordultak az átlagot meghaladó csapadékösszegek is, így pl. Nyíregy-

I. TÁBLÁZAT

A napfénytartam (N), a léghőmérséklet (H) és a csapadék (C) alakulása a tenyészidőszakban és télen

Év	Tenyészidőszak (IV – IX)			Tél (XII – II)		
	N, óra	H, °C	Cs, mm	N, óra	H, °C	Cs, mm
Szarvas						
Átl. (1901 – 50)	1511	17,9	276	198	-0,5	92
1981	1366	17,1	305	289	-1,5	65
1982	1494	17,7	272	187	-2,3	159
1983	1490	18,4	256	184	2,1	57
1984	1379	16,8	242	156	0,1	70
1985	1524	17,0	261	245	-5,1	86
1986	1674	18,2	197	245	0,3	129
Kecskemét						
Átl. (1901 – 50)	1491	17,3	289	188	-0,3	100
1981	1447	17,0	287	291	-1,1	56
1982	1403	17,8	188	179	-2,0	137
1983	1474	18,6	219	202	2,4	71
1984	1356	16,8	282	143	0,3	56
1985	1497	17,3	246	194	-4,3	63
1986	1604	18,2	226	220	0,3	127
Nyíregyháza						
Átl. (1901 – 50)	1433	16,8	353	183	-1,5	97
1981	1322	16,6	318	196	-1,8	47
1982	1438	16,8	305	183	-3,2	121
1983	1344	17,5	282	159	1,5	100
1984	1229	15,6	366	160	-0,9	56
1985	1334	16,2	376	179	-5,8	69
1986	1599	17,4	193	206	-0,5	108
Martonvásár						
Átl. (1901 – 50)	1473	17,1	306	186	-0,6	107
1981	1360	16,7	218	308	-1,0	56
1982	1384	17,3	283	161	-2,3	149
1983	1416	18,1	167	199	1,6	150
1984	1275	15,6	373	168	-0,1	84
1985	1471	16,5	258	212	-4,0	66
1986	1642	17,5	182	197	0,0	144
Keszthely						
Átl. (1901 – 50)	1436	17,3	415	204	0,2	123
1981	1438	17,1	308	296	-0,4	48
1982	1419	17,4	299	142	-1,1	159
1983	1460	18,1	306	188	1,9	170
1984	1323	16,0	443	164	0,4	121
1985	1526	16,9	377	185	-2,7	99
1986	1525	17,5	298	232	0,6	164
Szentgotthárd						
Átl. (1901 – 50)	1297	15,6	519	184	-0,8	125
1981	1227	15,6	486	329	-2,0	47
1982	1254	15,8	544	160	-2,3	119
1983	1274	16,6	397	207	1,1	175
1984	1155	14,4	465	169	-0,4	133
1985	1449	15,5	492	163	-3,3	71
1986	1379	15,8	446	232	-0,7	235

házán, Martonvásáron, Keszthelyen. Ennek az aszálynak az okai a megelőző télre nyúlnak vissza, amikor is a talajok az 1983-as szárazság után az átlagosnál kevesebb téli csapadékból nem tudtak nedvességgel feltöltődni, főleg az Alföldön.

Sokszor elmondtuk már, hogy Magyarországon a fény- és a hőellátottság általában nem korlátozza az eredményes növénytermesztést, ám az is ismeretes, hogy főként értékes gyümölcs- és szőlőkultúráinkban a kora tavaszi vagy késő őszi, esetenként pedig az erős téli fagyok komoly károkat okozhatnak. Ebből a szempontból, ismét csak példaként mutatjuk be évtizedünk teleinek középhőmérsékletét. A táblázatból most az 1984/85-ös tél tűnik szembe, amikor a hideg időjárás következtében mintegy 70–75%-os rügykár érte a szőlőültetvényeket, fajtától és termőhelytől függően. Voltak olyan területek, ahol a termőkarok, törzsek elfagyása miatt tiltetvényeket kellett felszámolni.

E rövid kis kitérő után áttekintjük a hosszabb távú mezőgazdasági tervezések megalapozását célzó agrometeorológiai kutatásainkat, melyek évtizedünkben folytak.

Az élelmiszertermelésben a természeti adottságok maradéktalan hasznosítása csak az ország vízkészleteivel való racionális gazdálkodás útján valósulhat meg. Ismeretes, hogy a csapadékelletlenség hazánk területének több mint a felén ma is korlátozó tényező, s szerepe — a terméshozamok növekedése esetén — egyre fokozódik. Ezért indokolt a korszerűen felszerelt öntözött területek növelése.

Az öntözés agrometeorológiai megalapozását célzó kutatások, az ezekhez szükséges mérések, szántóföldi kísérletek elindítása több, mint 20 éves múltra tekint vissza. Az utóbbi években az ez irányú munka zömét részben a pontszerű mérések eredményeinek területi általánosítása, az erre alkalmas módszerek kidolgozása képezte, részben pedig az a törekvés, hogy a vízigény és az öntözővíz-szükséglet idősorait mennél több szántóföldi és kertészeti növényre meghatározhassuk, az öntözési normák tervezéséhez szükséges statisztikai paraméterekkel együtt.

A talajok termékenységének fokozásában meghatározó a jó tápanyagellátottság, melyen hazánkban elsősorban a hatékony műtrágyázást értjük. Azonban, amint erről a későbbiekben még szólunk, ha vízhiány van, akkor a növény nem tudja a tápanyagot hasznosítani, bármennyi is legyen belőle a talajban. Éppen ezért végeztünk olyan kísérleteket és kutatásokat — a keszthelyi Agrártudományi Egyetemmel közösen —, melyek célja az időjárás és az éghajlat hatásának feltárása a műtrágya érvényesülésében. Az időjárás és a műtrágya érvényesülése közötti alapösszefüggések feltárása után kísérletet tettünk az eredmények térbeli kiterjesztésére, az éghajlati adatsorok és a műtrágyázási tartamkísérletek eredményeinek felhasználásával.

Ismeretes, hogy Magyarország minden mérsékelt övi gyümölcsfaj termesztésére alkalmas, de az egyes gyümölcsfajok jellegzetes termőhelyi igényeit, amelyek garantálják a jó minőséget és a nagy hozamokat, csak az ország meghatározott tájain lehet kielégíteni. Ugyanígy történelmi borvidégeinken a zamatban gazdag és jó minőségű borokat adó szőlőtermesztésre az ökológiai viszonyok kedvezőek, ám a termelési biztonságot a szélsőséges időjárás, főleg a téli, a tavaszi és a kora őszi fagyok, meg egyéb időjárási rendellenességek is veszélyeztetik. A talajtípus, a csapadékmennyiség és páratartalom, a napfényes órák száma, illetve a környezethez viszonyított magasság és domborzat jelentősen befolyásolja a szőlő- és gyümölcsfajok és -fajták termésmennyiségét, illetve a késő tavaszi, esetenként a téli fagyok kártételeinek gyakoriságát és mértékét is. E témacsoport-

ban játszanak döntő szerepet azok a kutatásaink, amelyeket az optimális termőhelyek feltárása érdekében végeztünk, illetve végzünk.

A természeti erőforrások jobb megismeréséhez, az erőforrások hasznosítási hatáskörének növeléséhez a VII. ötéves tervben indítottuk el azt a kutatómunkát, melynek célja a hazai agroklimatológiai körzetek kijelölése és térképes formában történő megjelenítése a fő mezőgazdasági és kertészeti kultúrákra,

- a hő-, a sugárzás- és a csapadékkellátottság alapján,
- a terméshozamra gyakorolt meteorológiai hatások alapján és
- az éghajlati potenciál alapján.

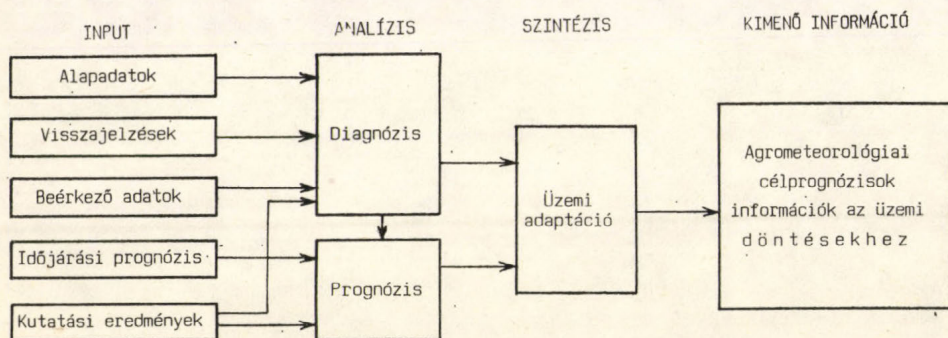
Agrometeorológiai kutatások a közvetlen taktikai döntésekhez

A napi, heti munkák szervezésében, a közvetlen taktikai döntések meghozatalában a termelő fő igénye a mezőgazdasági tevékenység aktualitásához igazodó időjárás előrejelzés, vagyis az *agrometeorológiai célprognózis*.

Az Országos Meteorológiai Szolgálat agrometeorológiával foglalkozó kutatóinak fő tevékenysége az elmúlt évtizedekben a meteorológiai elemek és elemegyüttesek alkalmas paramétereinek megállapítására, az időjárás és növényfejlődés, valamint a terméseredmény összefüggéseinek feltárására irányult. A kiterjedt kísérleti és kutatómunka eredményei megalapozhatták egy részletes agrometeorológiai információs modell kialakítását, majd 1983-tól e modell gyakorlati alkalmazását.

A módszer megalapozásához szükség volt a termelőüzemek növénytermesztési szerkezetének felmérésére, az időjárás anomáliák terméseredményre ható tényezőinek elemző vizsgálatára, a nagyüzemi fenológiai hálózat korszerűsítésére. Szükség volt továbbá olyan módszer kidolgozására, amely a Központi Előrejelző Intézet által készített regionális előrejelzés helyi, nagyüzemre történő adaptációját teszi lehetővé, igazodva a mezőgazdasági munkák aktualitásához, pl. vetés idején a talajhőmérséklet előrejelzésével, a talajnedvesség előrejelzésével stb. A fennálló viszonyok, valamint a regionális előrejelzések ismeretében a mezőgazdasági üzem területére adaptált agrometeorológiai információ heti két alkalommal kerül kibocsátásra, és kiterjed

- a hőmérsékleti paraméterek alakulására,
- a csapadékviszonyok alakulására,

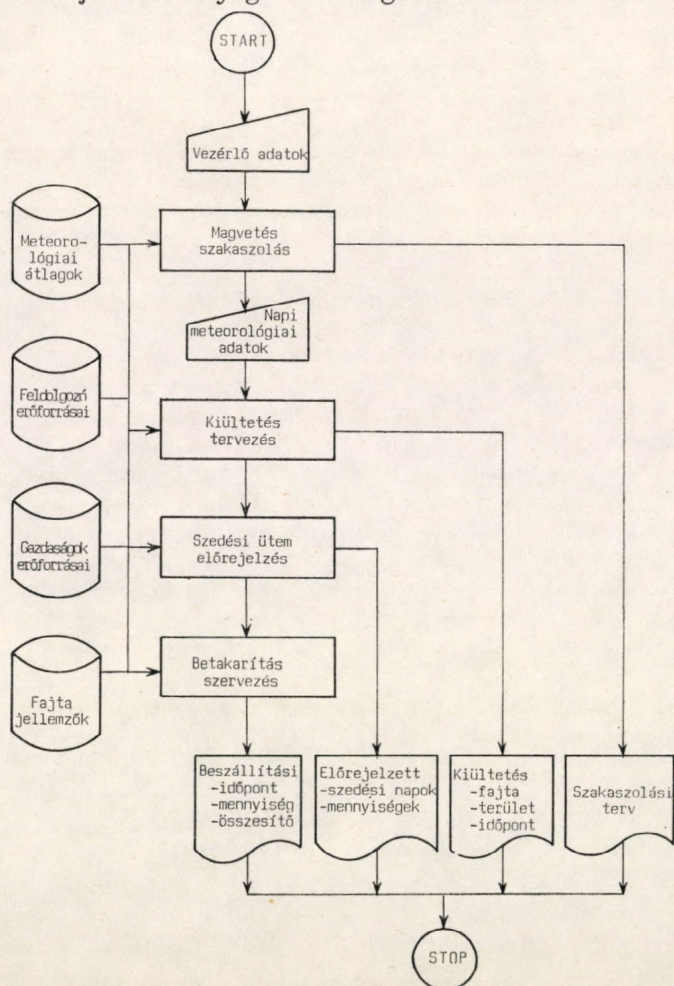


1. ábra: Az Agrometeorológiai Információs Program folyamata.

- a talaj nedvességellátottságára,
- a szél irányára és erősségére,
- valamint magában foglal speciális információkat, kiemelt eseményeket.

Ennek, a ma már egyre több mezőgazdasági üzem által igényelt programnak a folyamatát az 1. ábránk mutatja be. Az agrometeorológiai kutatások egyik legizgalmasabb területe az időjárás-növény kapcsolatok feltárása, ezen belül a növény fejlődésének nyomonkövetésére, a termés mennyiségének és minőségének becslésére alkalmas módszerek kidolgozása. Különösen izgalmas ez a témakör akkor, ha olyan komplex feladat keretében kap helyet, amelynek célja egy számítógépes termelésirányítási mintarendszer létesítése, amely képes a tartósítóipari növények termeltetésének és feldolgozásának összehangolására.

Közismert tény, hogy az élelmiszeripar igen erősen kötődik a nyersanyagokat termelő mezőgazdasághoz. Ebben a viszonyban a legnagyobb nehézséget a nyersanyagellátásban rejlő bizonytalanság jelenti, amely a gyorsan romló zöldségfélék esetében jelentős anyagi veszteségeket okozhat. Visszatérő üzem- és



2. ábra: A csemege paradicsom számítógépes termelésirányítási rendszerének bloksémája.

munkaszervezési probléma az, hogy a nyersanyag – így pl. a zöldborsó, zöldbab, paradicsom, uborka – beszállítása nem egyenletes ütemű, hanem sokszor lökés-szerűen jelentkezik. Az időnként nagy tömegben beérkező nyersanyag feldolgozásához a gyári kapacitás sok esetben kicsi, míg más esetekben a nyersanyagban mutatkozik hiány. Ez elsősorban akkor következik be, ha a termelők egymástól elkülönülten végzik munkájukat. Ebben az irányítás nélküli termeltetési rendszerben a gazdaságok tavasszal közel azonos időben vetnek vagy ültetnek, s ennek a következménye, hogy közel azonos időben folyik a betakarítás is.

1977-ben az Országos Műszaki Fejlesztési Bizottság és a Mezőgazdasági és Élelmezésügyi Minisztérium támogatásával elkezdődött az a kutató-fejlesztő munka, amelynek végső célja volt egy olyan számítógéppel segített termelésirányító mintarendszer létesítése, amely nyomonköveti és összehangolja a termeltetés és feldolgozás lényeges paramétereit, biztosítja az adott növényi kultúra igény szerinti termesztését, valamint a kapacitások célszerű kihasználását.

A feladat megoldását az e témakörben már előzményekkel rendelkező Nyíregyházi Konzervgyár vállalta el. A külső igény az agrometeorológiának a téma kidolgozásában való részvételére kezdettől fogva felmerült, illetve úgy alakultak a körülmények, hogy a teljes kutatási-fejlesztési munka koordinálását is az Országos Meteorológiai Szolgálatra bízta az 1977–1985 közötti időszakban.

Szorosan vett szakmai tevékenységet a következő területeken végeztünk. Kidolgoztunk – a mezőgazdaság és a számítástechnika szakembereivel együttműködve – olyan modelleket, amelyek segítségével leírható az adott növény fejlődése, előrejelezhető az érés időpontja, becsülhető a termés mennyisége és minősége. A modellrendszer szoros tartozékát képezi a gyár feldolgozó kapacitásának szem előtt tartásával – a fajták optimális összeválogatása, a vetési időpontok sorrendiségének megállapítása, illetve a tényleges vetés és a betakarítás szervezése. A különböző zöldségfélék érésidőpontjának becsülésére kidolgozott többváltozós modellek önmagukban is összetettek, minthogy a teljes tenyészidő fenofázisokra bontott, s a fázishosszt leginkább determináló meteorológiai változókat tartalmazza. A számítógépes termelésirányítási rendszer blokk-sémáját a csemege paradicsom példájával mutatjuk be a 2. ábrán.

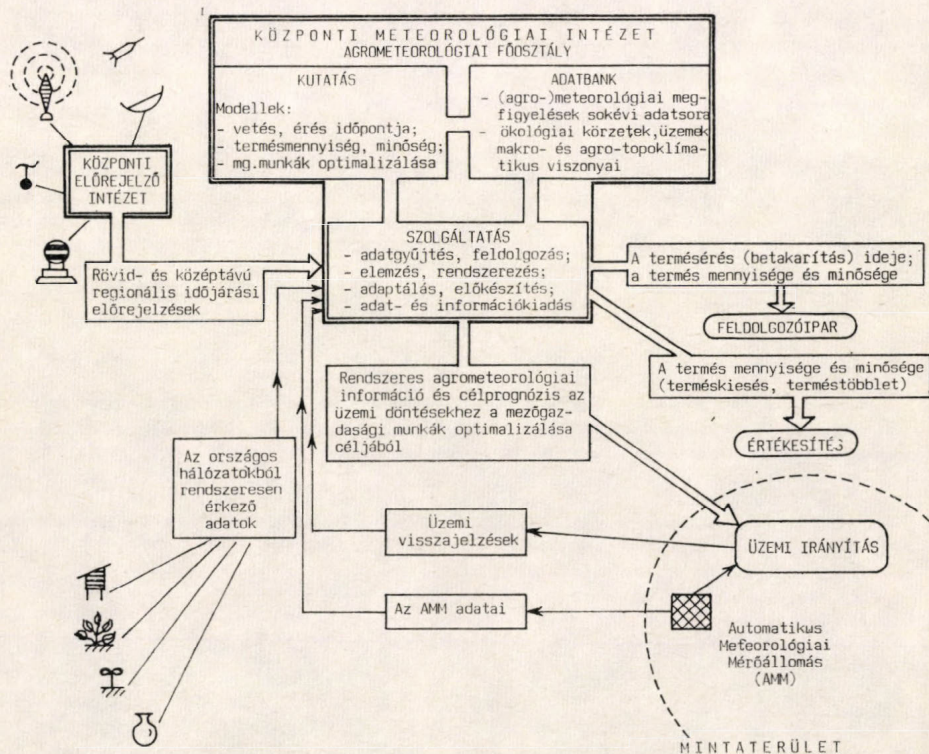
E röviden vázolt témában agrometeorológusaink nem csupán az érési időpont, a termés- és a minőségbebecslő modellek kidolgozásával vettek részt, hanem meghatározták a mintarendszert kiszolgáló agrometeorológiai állomáshálózat racionális sűrűségét, kialakították az adatgyűjtés, az adattovábbítás gyakorlatát, illetve biztosították valamennyi növény valamennyi modellelemének agrometeorológiai információkkal történő kiszolgálását.

Évtizedünk második felében, pontosabban 1986-tól kezdve „Az élelmiszertermelés elektronizálása” c. OMFB–MÉM tárcaközi programban ismét feladatot vállaltunk és kaptunk. „Az élelmiszertermelés elektronizálásán olyan komplex fejlesztési folyamatot értünk, amely

- egyrészt átfogja az export és a belső fogyasztás szempontjából kulcsfontosságú élelmiszertermékek előállításának és értékesítésének teljes vertikumát a mezőgazdasági termeléstől kezdve, a feldolgozástól át a piaci értékesítésig;
- másrészt kiterjed a különböző elektronikus eszközök, számítógépek, telekommunikációs és hírközlő berendezések stb. fenti folyamatokban történő hatékony alkalmazására, informatikai és képzési tevékenységekre.” (Idézet a program célkitűzéseiből).

A feladat számunkra részben szántóföldi, részben további kertészeti kultúrák termés- és minőségbecslési módszereinek kidolgozását, részben az elektronizált mintarendszer agrometeorológiai információkkal történő magasszintű ellátását jelenti.

A téma keretében végzendő komplex agrometeorológiai tevékenység sémáját a 3. ábra mutatja be. A kiválasztott mintaterületen egy számítógépre alapozott, TAF-rendszerben működő intelligens agrometeorológiai mérésadatgyűjtő kiépítését is tervezzük, ennek koncepciótervét elkészítettük. Ez az elektronizált



3. ábra: Mintarendszerben végzendő komplex agrometeorológiai tevékenység.

rendszer hármas feladatot képes ellátni. Nevezetesen elsődlegesen feldolgozott adatai a közvetlen felhasználó mezőgazdasági üzem szolgálatára állnak, ezen túlmenően a mért értékek eljutnak a budapesti központba, ahol komplex feldolgozások után, figyelembe véve az országban uralkodó vagy várható időjárási eseményeket, információként kerülnek kibocsátásra és felhasználásra, az élelmiszertermelés elektronizálása tárgyú program keretében.

Kiszolgálják továbbá a mintaterület főbb mezőgazdasági és kertészeti kultúrára kidolgozott éresidőpont és termésbecslő modelleket.

Az élelmiszertermeléshez kapcsolódó, évtizedünkben folyó agrometeorológiai kutatások közül elsősorban a nagyobb volumenű munkákról próbáltunk rövid áttekintést adni. Az egyes témákban elért tudományos eredmények részleteiről rendezvényünk további előadásai adtak számot.

IDŐJÁRÁS

Az Országos Meteorológiai Szolgálat folyóirata. 91. évf. 2–3. szám. 1987. március–június
Journal of the Hungarian Meteorological Service. Vol. 91. No. 2–3 March–June 1987 Budapest

A mezőgazdasági célú távérzékelés jelentősége az agrometeorológiában

SZÁSZ GÁBOR, Agrártudományi Egyetem Debrecen, H–1015 Debrecen, POB. 36

The importance of agricultural remote sensing in development of agricultural meteorology.
The technical progress helps to extend the agrometeorological information systems considerably. The remote sensing technique is such a system of means for specialist interested in the agricultural meteorology that multiplies the efficiency of researches was carried out so far. A system of instruments have been developed in Hungary allows recognition of spectral reflexion of various natural surfaces and in addition an abstract is showed about the past and the future of research and development of this problem.

*

A mezőgazdasági célú távérzékelés jelentősége az agrometeorológiában. A technikai előrehaladás jelentős mértékben segíti elő az agrometeorológiai információs rendszer kifejlesztését. A távérzékelés olyan eszközrendszert jelent az agrometeorológiai kutatók számára, amelynek alkalmazása megegyezően növeli az eddigi tudományos munka hatékonyságát. Bemutatunk egy hazánkban kifejlesztett műszerrendszert, ami lehetővé teszi a különböző természetes felszínek spektrális reflexiójának széles körű megismerését, s emellett bepillantást nyújtunk a témakörre vonatkozó kutatási és fejlesztési tevékenység közeli múltjáról és jövőbeni lehetőségeiről.

*

Bevezetés. A távérzékelés alapja és műszaki megoldása az integrális tudománynak nemcsak szimbóluma, hanem rendkívül eredményesen alkalmazható műszaki alapja is. A távérzékelés eszköztára interdiszciplináris jellegű, ennél fogva az agrometeorológia területén is egy rendkívül fontos, sokoldalú információforrás feltárását teszi lehetővé. A távérzékelés az elmúlt 20 évben vonult be az agrometeorológia területére s vált egyre szélesebb alapokra épülő vizsgálati eljárássá, és ennek nyomán egyre újabb, eddig hozzá nem férhető információkat biztosított. A távérzékelés lehetővé teszi a nagytérségek hőmérsékleti, nedvességi állapotának képszerű megállapítását, termikus és hígrikus folyamatok dinamikájának hely szerinti megismerését, valamint segítségével nyomon követhető a felszíni növénytakarónak az említett folyamatoktól való függése is. A távérzékelés megoldotta a meteorológia egyik legnehezebb kérdését: a folyamatok pontos mérés alapján történő térségi alakulása megismeréséről az áttérést a *térségi folyamatosságot* biztosító vizsgálati módokra. A meteorológiai információ rendszer egyik kardinális kérdése a megfigyelő pontok optimalizálása (*Gandin, Czelnai*), ezzel egyidejűleg a távérzékelés a kép elemeinek sűrítésére törekszik és ezt valósítja meg. A meteorológiában a radar alkalmazása jelentette az első lépést, és ennek alapján született meg a tudomány új, speciális területe: a *radarmeteorológia*, mintegy 40 évvel ezelőtt. Az előrehaladás második lépése az volt, amikor az érzékelő rendszer elhelyezése olyan hordozón történt, amely képes volt a

felszíntől több 100 – 1000 km-re eltávolodni. A szatellit-technika kialakulása nyomán jött létre a *távérzékelés*. A távérzékelés az a tudomány, amely a különböző felszín feletti és felszín alatti tulajdonságokat és folyamatokat vizsgálja az elektromágneses sugárzás segítségével, anélkül, hogy velük a vizsgálat során közvetlen anyagi kontaktusba kerülne. Az információ a vizsgált anyagról, folyamatról elektromágneses sugárzás útján jut el a vizsgáló rendszerhez. A távérzékelés legrégebb módszere a *fényképezés*. Napjainkban a tudományos-műszaki ismeretek az információs rendszert széles körű alapokra helyezték, s eredményeit számos tudomány alkalmazza, többek között az *agrometeorológia*. Az agrometeorológiai kutatások célja azoknak a természeti erőforrásoknak a feltárása és megismerése, amelyek a mezőgazdasági termelést közvetlenül vagy közvetve fokozhatják vagy hátráltathatják.

Az alábbiakban azokat a fontosabb módszertani eljárásokat és kutatási eredményeket foglaljuk össze, amelyek az agrometeorológia területén hazánkban terjedőben vannak, illetve felhasználásra kerülnek.

1. A hazai agrometeorológiai kutatásokban alkalmazott módszerek

A hazai agrometeorológiai célú távérzékelés mérés technikájában a *passzív* eljárások honosodtak meg, vagyis a természetes sugárzási folyamatok által nyújtott lehetőségekre épülő mérési módszerek. A következőkben ezek lényegét ismertetjük.

Az elektromágneses sugárzási spektrum különböző tartományai a távérzékelés eltérő módjait engedik meg. A fotoemulzióra történő képrögzítés a *látható sugárzás* tartományára és *közvetlen közeli sávja*ira esik (ultraibolya, infravörös). Az ún. *fotogrammetriai infravörös* tartomány (700 – 900 nm) és a látható sugárzás tartományában történik a *multispektrális* képfelvételezés, illetve a spektrális elemzés. A *termikus infravörös* sugárzás nem szoláris eredetű (4000 – 15 000 nm), az anyagok, tárgyak saját hőmérsékletük függvényében emittálják energiájukat. A távérzékelés keretében széles körben elterjedt az *aktív és passzív radiometria*. Az aktív, ún. generált mikrohullámok a föld felszíni rétegeibe frekvenciájuktól függően eltérő mélységbe hatolnak be, s onnan egy részük visszaverődik. A passzív mikrohullámok a Föld elektromágneses spektrumának cm-es nagyságrendjébe sorolhatók. E kis energiájú sugárzási jelek felfogása alapján olyan információkhoz juthatunk, amelyekből következtetni lehet a talaj nedvességtartalmára. A fent említett elektromágneses spektrum-tartományokból kapható információkhoz minden esetben speciális sugárzásmérést kell végeznünk, azonban a mérési eredmény alapján nemcsak a sugárzási folyamatokban bekövetkező változás állapítható meg, hanem az azt kiváltó fizikai ok is.

Nyilvánvaló, hogy az ismeretszerzésnek ez az új módja új technikai mérőrendszerek alkalmazását követeli meg, s ezek az alábbi csoportokba sorolhatók:

- a) képi információs rendszerek (MSS tematik mapek, színterminológiai, űr-, légi-, fény- és hőképek stb.),
- b) abszolút és relatív reflexió analízise,
- c) objektumok termikus emissziója.

A fenti eszközrendszerek elhelyezhetők űr- és légihordozók fedélzetén, de használatuk szükséges a felszíni, ún. *referenciamérések* keretében is. Az űrből kapott információk a referenciamérések segítségével hitelesíthetők, elemezhetők, s ennek alapján történhet meg egzakt módon az *űrfelvételek útján kapott informá-*

ciók interpretálása. E bonyolult rendszerben az *agrometeorológia feladata* az információs és feldolgozó rendszerek eredményeinek felhasználásával az időjárás által befolyásolt felszín és az ezt fedő növénytakaró állapotváltozása közötti összefüggések felfedése, fizikai okának megállapítása, az objektum – talaj, növény – állapotváltozás-dinamikájának leírása.

Az említett távérzékelő rendszerekkel azokra az alább felsorolt tulajdonságokra következtethetünk, amelyek az agrometeorológiában hasznosíthatók:

Talajtulajdonságok

- talajtípus, talajféleség
- a talaj nedvességi állapota
- a talaj anyagi jellemzői (humusztartalom, vas, mész stb.)
- a talaj felszínének érdessége
- erodálhatóság, vagy erodáltság mértéke

Növényi tulajdonságok

- a növény faja
- tömege, fejlettségi állapota
- a növényállomány vízellátottsága
- a növényállomány tápanyagellátottsága
- a növény jellegzetes alkotó anyagainak jelenléte
- ezek mennyiségi változása
- a növény egészségi állapota
- a termesztési célnak megfelelő főtermék nagysága

A fenti sajátosságok és a távérzékelés útján kapható információ típusa, valamint ennek valamely fizikai egységben mérhető értéke között szoros, de sajátos – függvényyszerű – összefüggés áll fenn. Ebből kitűnik, hogy az információkat az objektum mérhető tulajdonságaihoz kell *kalibrálni*. A jelhitelesítés megköveteli a referenciafelületek olyan tulajdonságainak megismerését, amelyek multispektrális képelemzéssel, spektrálanalízissel részletesen feltárhatók. A hitelesítés bonyolult *biofizikai* feladat, de nélküle az űr- és légi felvételek interpretációja nem valósítható meg. Mindezekhez

- a hagyományos eszközrendszer mellett *új mérőrendszer alkalmazása* és
- *új módszertani szemlélet*

bevezetése szükséges. Az új módszertani szemlélet lényege az, hogy az agrometeorológiai információs rendszer olyan új elemekkel gyarapodik, amelyek az *időjárás által kiváltott növényi reakciókat* fejezik ki. Az általánosan használt eddigi agrometeorológiai modellekben a valószínűségi változók csaknem kizárólag időjárási elemek, és hiányoznak olyan paraméterek, amelyek a fejlődés tényét, az időjárás növényre kifejtett hatásának következményeit reprezentálnák. Ez a magyarázata annak, hogy az agrometeorológiai modellek segítségével a termés nagyságának változatai mintegy 40–80%-os arányban becsülhetők, a növényfaj időjárással szembeni érzékenységtől függően. A távérzékelés segítségével olyan új információs alrendszer dolgozható ki, amely beépíthető az általános agrometeorológiai modellekbe, s ezáltal a környezetnek a növény fejlődésére, termésére gyakorolt hatása és ennek következménye az eddigieknél lényegesen pontosabban becsülhető. A *növényi diagnosztikus paraméterrendszer* a növénytakaró optikai tulajdonságának mérésével az állapotváltozás dinamikáját fejezi ki.

A továbbiakban azokról a legfontosabb információ-hordozókról kell megemlékeznünk, amelyek agrometeorológiai célokra hasznosíthatók. A speciális űr-

felvételek készítése erőforráskutatást szolgáló műholdak (Landsat, Szaljut, Spot) fedélzetén elhelyezett felvevő rendszerekkel történik. A sokféle és bonyolult rendszerek közül csak azokat említjük meg, amelyek hazánkban használatosak.

A LANDSAT (*Land Satellite*) multispektrális pásztázó letapogatóval, mintegy 60×80 m-es képelemek jeleit négy spektrális csatonán át tárolja. A csatornák spektrális sávjai:

MSS sáv	Hullámhossz, nm	Szín	Színhű kép szintorz színe
4	500 – 600	zöld	kék
5	600 – 700	vörös	zöld
6	700 – 800	infravörös	vörös
7	800 – 1100	infravörös	vörös

(MSS: *Multispectral Scanning System*) A mágnesszalagon tárolt jelek alapján a digitális képfeldolgozó rendszer segítségével a kép előállítható.

A SZALJUT fedélzetén MKF-6 kamera dolgozik, melynek spektrális sávjai:

- | | |
|--------------------------------|------------------------------|
| 1. 460 – 500 nm (kék – zöld) | 4. 640 – 680 nm (vörös) |
| 2. 520 – 560 nm (zöld – sárga) | 5. 700 – 740 nm (infravörös) |
| 3. 580 – 620 nm (sárga) | 6. 790 – 890 nm (infravörös) |

Az MKF-6 filmen tárolja a szinkronfelvételeket. Ez a kamera légilaboratórium fedélzetén (AN-30) is használatos.

Mind légi, mind pedig földi méréseknél alkalmazzák *hőképek* előállítására az AGA-termovíziós mérőrendszert, amely a termoemisszió alapján a felszíni hőmérséklet képszerű ábrázolására alkalmas. A Debreceni Agrártudományi Egyetemen ennek bevezetését agrometeorológiai kutatásokra 1981-ben kezdtük.

Igen jelentős a Földmérési Intézetben (MÉM – FÖMI) és az Országos Meteorológiai Szolgálatnál folyó munka, melynek keretében a spektrális úrfelvételek képi beazonosítása történik, főként a mezőgazdasági kultúrák felismerése, állapotának meghatározása céljából.

Külön figyelmet érdemel agrometeorológiai szempontból az *abszolút és relatív reflexiós spektroradiometrikus vizsgálati módszer*. A különböző növénytakarók színe a tenyészidőszak alatt a faj jellegzetességének megfelelően változik. Termesztett növények színváltozásának mérései során azt tapasztaltuk, hogy a növény kora előrehaladtával a sárga és vörös színtestek aránya folyamatosan nagyobbodik (Szász, 1981, 1986). A színkoordináták az additív színkeverés elve alapján meghatározhatók, s a színértékek ezáltal egzakt módon kifejezhetők.

Az *abszolút reflexiós spektrum* (RS_a) a beeső és a visszavert sugárzás sajátosságait egyesíti. A reflexiós abszolút értékének ($W \text{ m}^{-2}$) hullámhossz szerinti változása jól jellemzi azokat a felszíni tulajdonságokat, amelyeket korábban felsoroltunk. Az abszolút reflexiós spektrum számos *informatív sávot* fog össze, melyek a reflexió erőteljes átmeneti növekedésével vagy csökkenésével tűnnek ki környezetükből. Minden informatív sáv valamely anyagi jellegzetesség jelenlétére utal.

A *relatív reflexiós spektrum* (RS_r) a reflektált sugárzásnak valamely optikai-lag standard felület reflexiójához viszonyított értéksora. A gyakorlatban a közel abszolút fehér felületet szokás standardként használni (BaSO_4 , MgO), ennek reflektanciája 300 – 1300 nm tartományban 96 – 98% közötti. A RS_r annál rész-

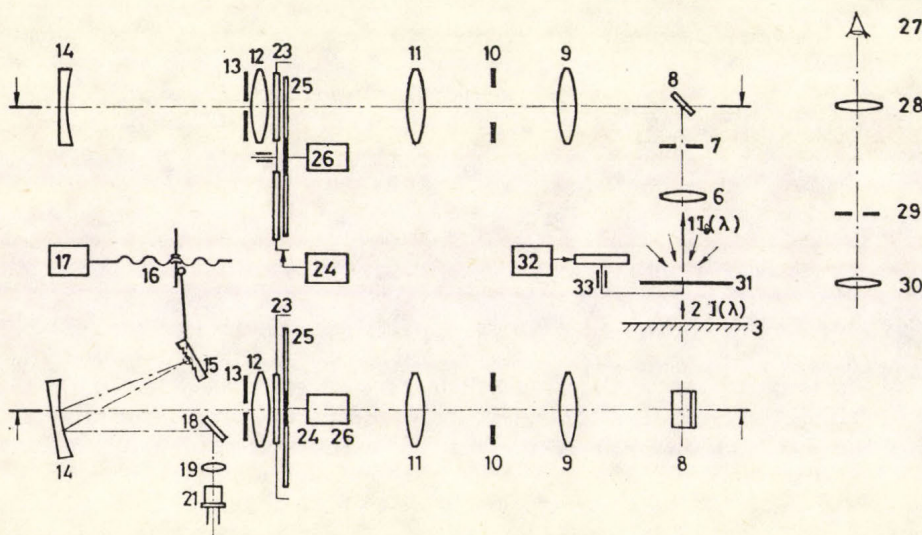
letesebb információt tartalmaz, minél nagyobb spektrális bontottsága; ez még abban az esetben is igaz, ha az informatív sávok szélessége 50 nm feletti. A *RS*, értékelése során

- a különböző sávok egymáshoz viszonyított aránya,
 - azonos sáv reflexiós hányadának időbeli változása
- nyújt rendkívül sokféle összefüggés szerint sokoldalú információt.

A reflexiós spektrum mérése bonyolult feladat. A bonyolultság oka a mérési feladat összetettségében keresendő. Magyarországon nagy felbontó képességű terepi reflexiós radiométer nem állt rendelkezésünkre; e körülmény késztetett bennünket arra, hogy egy ilyen műszer konstrukciójának megtervezését és kivitelezését magunkra vállaljuk. Szász – Szilágyi – Zilinyi, valamint a LABOR MIM munkatársai (Baranyiné – Bácskai – Jónás – Kurtz – Pilát – Pungor) végezték el az SM – 1 és SM – 2 típusú spektrométer általános és műszaki tervezését, valamint kivitelezését.

Az SM – 2 radiométer fontosabb műszaki adatai

Két külön optikai mérőegységgel történik a látható (VIS) és az infravörös (NIR) spektrum felvétele (1. ábra). A mérőegységek optikai rácsoz monokromátort, szűrőváltót, detektor egységet és vezérlő elektronikát tartalmaznak. A beeső sugárzás méréséhez lehetőség van reflexiós standard automatikus használatára.



1. ábra: Az SM-típusú terepi reflexiós spektrofotométer optikai elrendezési vázlatja. 1. $I_0(\lambda)$ beeső sugárzás. 2. $I(\lambda)$ mért mintafelületről visszاسzórt sugárzás minta. 3. Minta. 4. Integráló gömb (eltávolítható). 5. Objektív. 6. Objektív. 7. Látómezőt határoló rekesz. 8. Tükör. 9. Lencse. 10. Apertúra rekesz. 11. Lencse. 12. Lencse. 13. Monokromátor belépő nyílás. 14. Kollimátor tükör. 15. Optikai rács. 16. Szinusz mechanizmus. 17. Léptető motor. 18. Tükör. 19. Lencse, egyben a monokromátor kilépő nyílása. 20. Lencse, egyben a monokromátor kilépő nyílása. 21. Detektor. 22. Detektor. 23. Szűrőtartó kerék. 24. Szűrőváltó mechanizmus és motor. 25. Fényszaggató tárcsa. 26. Szinkromotor. 27. Megfigyelő. 28. Megfigyelő távcső szemlencse. 29. Mezőrekesz. 30. Megfigyelő távcső objektív. 31. Reflexiós etalon. 32. Váltómotor. 33. Váltómechanizmus. 34. VIS jelű egység (400 – 1000 nm) reflexiós etalonnal. 35. VIS jelű egység (400 – 1000 nm) egyidejűleg kétsugaras. 36. NIR jelű egység (1000 – 2400 nm) reflexiós etalonnal. 37. NIR jelű egység (1000 – 2400 nm) egyidejűleg kétsugaras.

A vezérlőegység egy beépített mikroszámítógépet tartalmaz, amely vezérli a mérőegységeket, adatfeldolgozást végez, a spektrumokat és a kalibrációt tárolja, kinyomtatja, vagy X. Y. plotteren megjeleníti. A mérési eredmények távadatközlése RS-232 C interfacen történik. A berendezés gépjárműre telepíthető. Akkumulátorról működtethető transzverter szolgáltatja a tápfeszültség-ellátást.

A spektrális sugázmérő főbb előnyei:

- a mérési sávok tetszőlegesen állíthatók be a mérési módtól függően
- az optika nyílásszöge módosítható
- a spektrum maximális felbontása 1 nm, s ezzel meghaladja az ismert (hasonló kategóriájú) spektrométerek felbontását
- nemcsak a visszavert, hanem egy tetszőleges térszögből érkező besugárzás spektrális vizsgálatára alkalmas
- a berendezés mikroprocesszoros vezérlésű, memóriájában képes a spektrum adatok tárolására
- számítógép on-line illesztésénél az adatok gyors feldolgozása válik lehetővé
- a spektrumokat X. Y. plotter illesztéssel szemléletessé lehet tenni
- az optikában és az elektronikus vezérléseknél alkalmazott műszaki megoldások a kutatómunkában tágabb lehetőségeket biztosítanak az eddig ismert berendezésekhez képest.

Optikai felépítés és működés: A berendezés széles hullámhossztartományban (látható és közeli infravörös: 600 nm-től 2400 nm-ig) méri a spektrális besugárzott felületi teljesítményt, illetve a vizsgált mintafelület spektrális reflexiók tényezőjét (reflektométer értéket). Mérés módja: földfelszínhez közel (néhány méterre), vagy repülőgépen történhet.

A vizsgált hullámhossztartomány 2 optikai érzékelőegységgel fogható át, amelyek azonos konstrukciós kialakítás mellett az alábbiakban különböznek egymástól:

- 400 – 1000 nm: 1200 v/mm optikai rács, optikai szűrőprogram, a detektor PIN fotodióda, a reflexiók standard BaSO_4 (jelölése: VIS, 34, 35),
- 1000 – 2400 nm: 600 v/mm optikai rács, optikai szűrőprogram, a detektor PbSO_4 fotoellenállás termosztálva, 200 V-os detektor tápegység, reflexiók standard, arannyal bevont diffúz felület (jelölése: NIR, 36, 37).

A műszer kialakítása 2 változatban valósult meg:

- a) egyidejűleg mért beeső és reflektált sugárzás részben azonos optikai rendszeren [VIS-egység (35) és NIR egység (37)];
- b) időben egymásután mért beeső és reflektált sugárzás azonos optikai rendszeren, reflexiók etalonnal [VIS egység (34) és NIR egység (36)].

A fenti mérőrendszerrel előállíthatók azok a reflexiók spektrumok, amelyek alapján a *spektrális karakterisztikák* kiszámíthatók. A spektrumok analízisének módja igen bonyolult és rendkívül szerettegázó az alkalmazási célnak megfelelően. E helyen csupán azokat a legfontosabb paramétereket említjük meg, amelyek az agrometeorológiai célú interpretációhoz nyújtanak alapot. Az információs paramétereket *talajra és növénytakaróra* vonatkozóan szokás csoportosítani:

a) *Talajkarakterisztikák*

- *humusz-regresszió* (R_H): minél nagyobb a humusztartalom, a reflektált spektrális fényerősség annál kisebb. A reflexióváltozás és a humusztartalom közötti kapcsolat sztochasztikus módszerrel írható le (*Fedcsenko – Kondratyev*, 1981)
- *nedvességtartalom* (R_N): a talajok spektrális reflexiója közelítően lineáris összefüggés formájában írható le; jellegzetes paraméterei: Y tengely metszeti érték (400 nm), pozitív iránytangens. A nedvességtartalom növekedésével azonos vagy változó arányban csökken az iránytangens értéke
- *nedvességi nyílásszög*: a száraz és a minimális vízkapacitásig telített talaj reflexiók spektrumára (400 – 1000 nm) illesztett regressziós egyenesek iránytangenseinek hányadosa: b_n/b_{sz} változik. Minél érdekesebb a felszín, a reflexió mértéke annál kisebb, s a vonatkoztatási pont körüli fényáram-mező annál jobban közelíti meg a hemiszférikus homogenitást, adott r távolságra (*Ross*, 1981). A felszín érdekességének csökkenésével a reflexió mind a beeső sugár mentén, mind pedig a beesési merőlegeshez mérten – vele identikus térszögben – növekszik. Az indikatix megjelenése arra utal, hogy mind a diffúz, mind pedig a tükrözési reflexió folyamata kialakult. A természetben a kettő aránya változó. A növényállomány Lambert-féle reflexiója (R_L) *Bunnik* (1981) szerint:

$$R_L = \frac{1}{\pi} r E_i$$

ahol E_i a teljes besugárzás, r a reflexiók együttható. Az említett értékek alapján a talaj érdessége becsülhető.

– *érdességi (Sifrin-féle) kritérium:*

$$\eta = \frac{2 \cdot h \cdot \cos \varphi}{\lambda}$$

amelyben η : optikai érdességi együttható, h : az érdes felszín legkiemelkedőbb és legmélyebb pontja közötti távolság, φ : a direkt sugárzás beesési szöge, λ : hullámhossz. Mint látható η értékét λ jelentősen módosíthatja, általában a hosszabb hullámhossz használata az ajánlott.

b) *Növényállományok spektrális paraméterei*

– *a növény színe*: a szín fejlődési állapotra utaló paraméter. A szín értékének megállapítására az additív színkeverés alapja ad lehetőséget. Minden szín a három alapszín (kék, zöld, vörös) valamilyen arányú keveréséből állítható elő. A szín fizikailag jól definiálható érték, ezért a különböző felszínek jellemzőjének tekinthető, s a szín és a növények szintest-garnitúrájának mennyisége és minősége között szigorú valószínűségi összefüggés áll fenn. A színek additív keverésének elve szerint a szín három dimenziós tulajdonság, s e három dimenzió értéke három színkoordinátával fejezhető ki (x, y, z):

$$x = \frac{X}{X+Y+Z}; \quad y = \frac{Y}{X+Y+Z}$$

Az X, Y és Z a vörös, a zöld és kék alapszín ingerek mértékét (színösszetevőket) fejezik ki, x, y és z a színkoordináta-függvények, melyek értéke a hullámhossztól függ. Az X a 700 nm-es, Y az 546,1 nm-es, Z pedig a 435,8 nm-es hullámhossznak megfelelő színinger. A színösszetevők értéke:

$$X = k \int_{380}^{780} \varphi(\lambda) \bar{x}(\lambda) d(\lambda),$$

$$Y = k \int_{380}^{780} \varphi(\lambda) \bar{y}(\lambda) d(\lambda),$$

$$Z = k \int_{380}^{780} \varphi(\lambda) \bar{z}(\lambda) d(\lambda),$$

ahol $\varphi(\lambda) = \rho(\lambda)s\lambda$, vagy $\varphi(\lambda) = \beta(\lambda)s\lambda$, vagy $\varphi(\lambda) = \tau(\lambda)s\lambda$.

s ezekben $\rho(\lambda)$: a felszín spektrális reflektanciája, $\beta(\lambda)$: a felszín spektrális fénysűrűségi tényezője, $\tau(\lambda)$: a felszín vagy tárgy spektrális átbocsátása; k értékét úgy kell megválasztani, hogy ha $\rho(\lambda)$ minden λ -ra 1,0, akkor $Y = 100$ (Lukács, 1978, 1982). A színmérés gyakorlatában az arra szolgáló Lukács-rendszerű trisztimulusos színmérőt szokás használni, mellyel az x, y és z értékek közvetlenül mérhetők. A színváltozás dinamikája növényfajra vagy fajtára jellemző.

– a növénytakaró fejlettségi állapotának mértékét fejezi ki a *vegetációs index*; Landsat digitális felvételek szerinti értéke (VI_L):

$$VI_L = DC7/DC5$$

mely $DC7$ a 800–1100 nm közötti, és a $DC5$ a 600–700 nm közötti digitális jel (*digital counts*) hányadosa.

– *A normalizált differencia (ND)*:

$$ND = DC6 - DC5 / DC6 + DC5$$

A fenti összefüggések (Heilman és Boyd, 1986) digitális jelek alapján használhatók, azonban Nilsson et al. (1982) a nagy felbontású reflexió spektroradiogram szerint is megállapítja a vegetációs index (VI_S) értékét:

$$VI_S = \frac{b_{795} - b_{675}}{b_{795} + b_{675}} = \frac{b_{795}/b_{675} - 1}{b_{795}/b_{675} + 1}$$

A VI_S , VI_L és a ND értéke szoros párhuzamot mutat a talaj feletti növényi zöldtömeg nagyságával ($r = 0,8 - 1,0$), a növénytakaró relatív szárazanyag-tartalmával, s ennek alapján a fejlődésdinamika jól nyomon követhető.

- Elterjedten használt paraméter a növényi zöldtömeg nagyságának becslésére digitális jelek alapján az ún. *zölderősség* (GRN : *Greenness*):

$$GRN = -0,23817 \cdot DC4 - 0,66006 \cdot DC5 + 0,57735 \cdot DC6 + 0,38833 \cdot DC7$$

A GRN a zöld, vörös, valamint az infravörös-tartomány jelei közötti különbséget fejezi ki. A zölderősséghez hasonló értelmezésen alapul a *relatív zöldarány* (RG):

$$RG = a \frac{2\bar{R}_{620-580}}{\bar{R}_{400-500} + \bar{R}_{600-700}} \geq 1,0$$

Növényzet nélküli talajokon $RG = 1,0$, a zöldtömeg növekedésével RG arányosan nagyobbodik; a : állandó, az általunk vizsgált talajokon $0,93 - 0,98$ közötti. Az állandó használatát az teszi szükségessé, hogy a csupasz talaj reflexiós spektruma a látható tartományban jól közelíti az egyenes egyenletét, de attól rövidebb hullámhosszon ($400 - 500$ nm) eltér. Az RG -paraméter alkalmas a LAI megállapítására.

- A *reflexió szögfüggése* egy helyi koordináta-rendszerben értelmezve, ugyancsak hasznos tájékoztatást nyújt a növénytakaró jellegzetességének megállapításában. A Nap látszólagos pályasíkjának merőlegese mentén végzett mérések információt adnak a levélzet hajlásszögének valószínűségi eloszlásáról, s ezáltal következtethetünk annak ökotípusára (szárazságtűrő, víztűrő stb.).
- A növényi felületek állapotának jellemzésére elterjedten használják a *fényességi értéket* (*brightness*, B), amely a *Landsat* multispektrális digitális sávokra az alábbi módon számítható:

$$B = -0,332 \text{ MSS4} + 0,63 \text{ MSS5} + 0,59 \text{ MSS6} + 0,26 \text{ MSS7}$$

Az MSS sávokra vonatkozó adatok természetesen normalizálva vannak a zenittávolság koszinusza szerint.

A fenti általánosan használt elemző paraméterek mellett meg kell említeni a reflexió abszolút és relatív színeképeken felismerhető erőteljes elnyelési vagy visszaverődési sávjait, melyek különböző alkotó anyagok jelenlétére vagy hiányára utalnak.

A mezőgazdasági célú távérzékelés során hazánkban is használatosak a *termovíziós* (AGA)-*felvételek*. A termomisszió detektálása folyékony hidrogénbe ágyazott (-90 °C) speciális optikai rendszere mintegy $0,5$ °C-os felszíni hőmérsékletkülönbség kimutatását teszi lehetővé. Elsősorban a növényállományok vízellátottságának, a talajok nedvességi állapotának becslésére alkalmas.

2. A főbb eredmények ismertetése

A nagyszámú hazai és a különböző nemzetközi expedíciók keretében végzett méréseink alapján az alábbiakban *szemelvényeket* mutatunk be a távérzékelés útján kapott információs anyagból. Véleményünk szerint e részeredmények alkalmasak arra, hogy a rendelkezésre álló úrfelvételek elemzését egzakt módszerek alapján bővítsük. Hazánkban jelenleg túlnyomórészt az *analóg interpretációs eljárások* a használatosak. Nem vitatjuk hasznosságukat, azonban azt mégis hangsúlyoznunk kell, hogy a széles körű fizikai módszerekre támaszkodó interpretációs módszerek alkalmazása vezet el az általános érvényű következtetésekhez. Az alábbiakban összefoglalt megállapítások és tapasztalatok lényegében ennek az irányzatnak a kibontakozását segítik.

a) *A talajokra vonatkozó vizsgálati eredmények.* Agrometeorológiai szempontból elsősorban a *talaj nedvességi állapotának* ismerete a legfontosabb. A talajok optikai tulajdonsága és a nedvességtartalom nagysága közötti kapcsolatban számos hasonlóság ismerhető fel, de egyidejűleg sajátos eltérések is következnek be. E körülmény a vizsgálati eredmények csoportosítását teszi szükségessé.

Nagyszámú kísérleti mérés alapján megállapítást nyert, hogy a *csupasz talajok relatív spektrális reflexiója* $400 - 1000$ nm-es tartományban a hullámhossz

növekedésével nagyobbodik, nedvességtartalmuktól függetlenül. A relatív reflexió nagysága és a hullámhossz között közel lineáris kapcsolat áll fenn. Amennyiben egy reflexiós spektrumot 10 nm-es szakaszokra bontunk, úgy a 400–1000 nm-es intervallumban 60 mérési pont helyezkedik el. Talajonként 60 adatpárra illesztett lineáris regressziós egyenlet tengelymetszeti értéke (a): $-2,0-15,0$ közé esik; az iránytangens (b) értékek $0,0117-0,0500$ közöttiek. Az illesztés pontosságát kifejező korrelációs koefficiensek $0,93-0,99$ között váltakoznak, bizonyítva, hogy a spektrum egy egyenessel jól kifejezhető. Ezeket az eredményeket az SM-1 spektrofotométerrel végzett mérésekből kaptuk. Az SM-2 spektrofotométerrel végig mérhető a közeli infravörös tartomány (NIR). A kísérleti mérések szerint a csupasz talajok reflexiója e tartományban tovább növekszik.

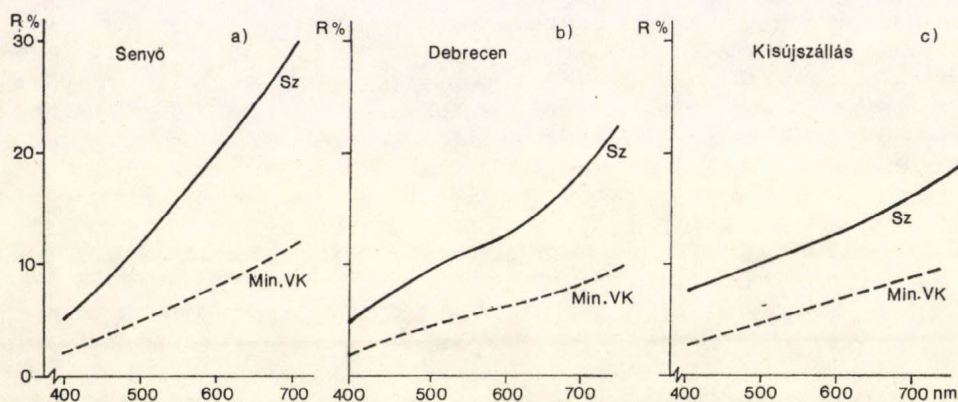
Tekintettel arra, hogy a talajok visszaverő képessége egyrészt a nedvességtartalomtól, másrészt a talajt alkotó részecskék nagyság szerinti arányától függ, bizonyos elvi megfontolásokból kiindulva arra a következtetésre jutunk, hogy

- a nedvességtartalom növekedésével a relatív reflexió kisebbedik,
- az agyagfrakció növekedésével a relatív reflexió mérséklődik.

A talaj nedvességtartalmának növekedése a spektrális reflexió linearitását nem csökkenti, de megváltozhat az iránytangens értéke, vagyis az illesztett egyenes merőlegessége. Laboratóriumi vizsgálatok eredményei alapján megállapítást nyert, hogy minél nagyobb a talaj agyagfrakciójának részaránya, a hullámhossz szerinti reflexiónövekedés mértéke annál kisebb. Hazai talajmintákon végzett kísérleti mérések eredményei szerint ez a megállapítás elsősorban a száraz talajokra vonatkozik. A 2. ábra homok-, vályog- és agyagos talajok spektrális reflexióját mutatja be.

A különböző talajoknál a teljes benedvesedés eltérő módon csökkenti a reflexió hullámhossz szerinti növekedését. Felvetődik az a kérdés, hogy a fent leírt tapasztalati összefüggésekből milyen általános következtetés vonható le. A következtetés számszerű kifejezésére az alábbi hányadost ajánljuk:

$$T_k = b_n/b_{Sz}$$



2. ábra: A különböző talajtípusok relatív spektrális reflexiója száraz (Sz) és a minimális vízkapacitásnak megfelelő nedvességi állapotnál (Min. VK). kavicsos sárga homoktalaj (a), sötétszürke vályogtalaj (b), szürke agyagtalaj (c).

ahol T_k : a nedvességi nyílásszög, b_n : a minimális vízkapacitásnak megfelelő nedvességtartalmú felület spektrális reflexiója, b_{sz} : a légszáraz állapotú felszín spektrális reflexiója lineáris regressziójának iránytangense, legalább 25 nm-es felbontásra.

A T_k -értékeknek a vizsgált talajokra vonatkoztatott átlagát, a száraz állapot (Sz) esetére vonatkoztatott iránytangensét (b) és a minimális vízkapacitásnak megfelelő értékeket ($Min. VK$) különböző talajtípusok esetén így foglalhatjuk össze:

	T_k	b	$Min. VK$
homoktalajok	0,370	0,080	0,030
vályogtalajok	0,320	0,040	0,013
agyagos talajok	0,710	0,028	0,020

A közölt átlagos hányadosok szerint *minél közelebb áll I_k -értéke az 1,00-hez, a talaj agyagfrakciójának hányada annál nagyobb*. A száraz és nedves értékre vonatkozó iránytangens különbsége szöget fejez ki; minél nagyobb a két egyenes által bezárt szög, a talaj agyagtartalma annál kisebb. A bemutatott eredmények megerősítik azt a korábbi megállapításunkat (Szász, 1981), mely szerint a talajok nedvességi állapotára főként a vörös tartományban végzett reflexiós mérések alapján következtethetünk. Erre a célra a Landsat MSS-5 és a MSS-6 sávok adják a legmegfelelőbb információt, főleg a kora tavaszi felvételek alapján.

A talajfelszínnek egyik legjellegzetesebb mechanikai jellemzője az *érdesség*. Az érdesség lehet természeti folyamatoknak és antropogén beavatkozásoknak a következménye. A felszín érdességének foka egyaránt lehet a felszínt formáló folyamatoknak elindítója, közbeeső állapota, vagy éppen következménye. A felszín érdessége mértékének ismerete igen hasznos a geográfus, a mezőgazdasági mérnök, a környezetvédő stb. számára. A távérzékelés ismertetett elve és módszere lehetőséget nyújt arra, hogy az érdesség mértéke megállapítható legyen. E helyen a részletes fizikai alapok ismertetését mellőzve, csupán annyit említünk meg, hogy *minél érdesebb egy felület, valószínűsége annál kisebb az a felületi arány, amelyről a visszaverődés a vízszintes felület visszaverődéséhez közel áll*. Más szóval: minél érdesebb a felület, a reflektáló elemi felületek hajlásának valószínűségi eloszlása annál közelebb áll a véletlenszerű térszögálláshoz. Ebből már könnyen belátható, hogy a felületek „simaságával” a reflexió mértéke fokozódik. Vizsgálataink szerint az érdesség fogalmát a mezőgazdasághoz kapcsolva, a különböző módon művelt felületek reflexiós feltételeit hasonlítottuk össze. Az eddigiek szerint úgy látszik, hogy az érdesség mélysége és a reflexió csökkenése között statisztikailag szigorú összefüggés áll fenn ($r = 0,75 - 0,95$). A kísérleti mérések alapján arra a következtetésre jutottunk, hogy egy mélyszántás – közepes humusztartalmú talajon (3,5%), közepes nedvességtartalomnál – átlagosan 15%-os reflexiócsökkenést vált ki. A néhány cm-es szintkülönbséget kiváltó érdesítő reflexiót csökkentő hatása 5% alatti. Az eddigi – teljesnek nem mondható, de hazai adatok hiányában ki nem egészíthető – ismereteink szerint az *érdesség reflexiót csökkentő hatása egyéb tényezők mellett nem hanyagolható el a mezőgazdasági célú interpretáció során*. Úgy ítéljük meg, hogy ennek kérdése az eddigi vizsgálatok rendjében a háttérben maradt.

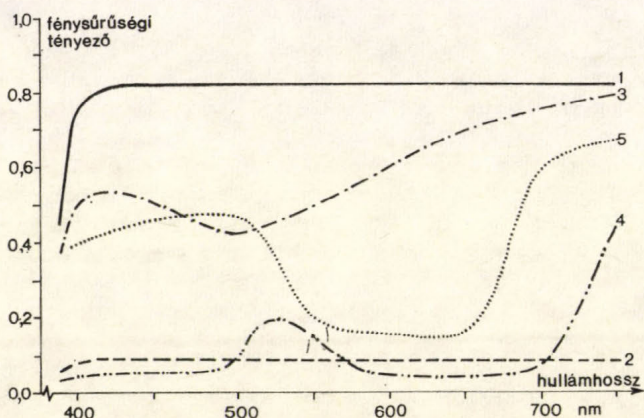
Amikor távérzékelési módszerekkel elemezzük a talajok állapotát, nem hagyható figyelmen kívül a talaj *szervesanyag-tartalma és agyagtartalma*. A *szervesanyag-tartalom* és a reflexió viszonya nemzetközileg is széleskörűen elemzett

kérdések körébe tartozik. Minél nagyobb a felszíni talajréteg szervesanyag-tartalma, reflexiója annál kisebb. Ez a megállapítás a hazai talajmintákon, illetve mintaterületeken végzett mérések alapján megerősíthető. A jelenség érdekessége, hogy a hullámhossz növekedésével a reflexió fokozódik. A reflexió hullámhossz szerinti erősödése a közeli infratartományra is kiterjeszkedik. Al-Abbas – Swain – Baumgardner (1972) megállapította, hogy a közeli infravörös tartomány reflexiója erősebb korrelációt mutat a szervesanyag-tartalommal, mint a látható sugárzási tartomány egyes szakaszaiban mérhető reflexióval. A spektrális relatív reflexió és a talaj *agyagtartalma* között szintén jelentős kapcsolat mérhető fel. Az agyagtartalom nagysága és a spektrális reflexió relatív értéke közötti kapcsolat sajátos módon alakul. Az agyagtartalom növekedésével érdekes módon főként a vörös és a közeli infravörös reflexió fokozódik. Az utóbbi fizikai magyarázata további fizikai vizsgálatokat igényel. Hazánkban a nagy agyagtartalmú talajok területaránya jelentős. Éppen ezért a növényzet nélküli időszakból származó űrfelvételek tematikus értékelése során ez a körülmény nem hanyagolható el.

Amikor a talaj szervesanyag- és agyagtartalmáról beszélünk, e két alkotóanyagnak a reflexióra kifejtett kölcsönhatása nem hanyagolható el. Röviden összefoglalva: az agyagtartalom növekedésével a szervesanyag-tartalom nagyobodik. E kapcsolat karakterisztikája talajtípusonként változik, és természetesen fontos szerepet tölt be ebben a kapcsolatrendszerben az *ökológiai adottság*. E helyen számszerű összefüggésekről hazai viszonyok között még nem beszélhetünk, mivel az erre vonatkozó mérések eredményei nem engedik meg a számszerű általánosítást.

A fentiek azokat a tapasztalatokat foglalják össze, melyeket a csupasz talajokra vonatkozó referencia-mérések eredményei alapján értünk el. Úgy ítéljük meg, hogy e számszerű összefüggések jól hasznosíthatók az űrfelvételek agrometeorológiai célú interpretációjára.

b) *A növényállományokra vonatkozó vizsgálati eredmények.* A növényzet megjelenése és gyarapodása a felszín spektrális relatív reflexióját alapvetően módosítja. A módosulás *minőségileg* két szakaszra bontható fel:

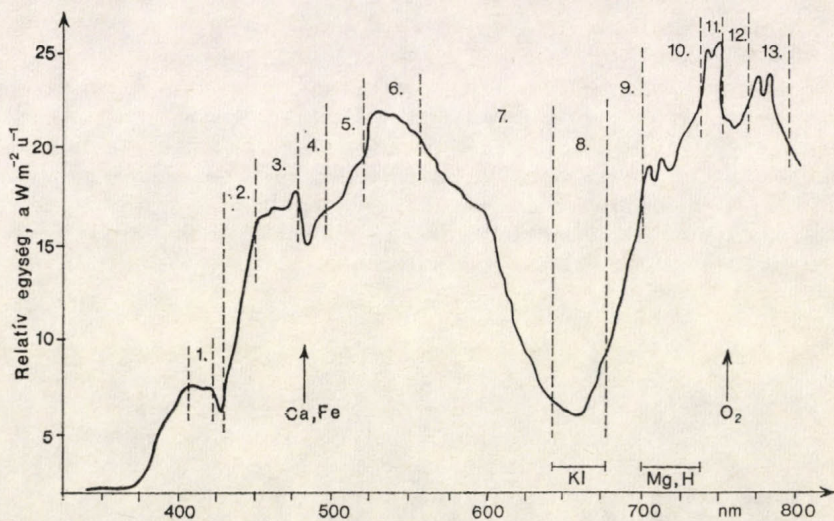


3. ábra: A különböző színek spektrális reflexiójának karakterisztikája az OMH színtalonjai szerint, 1: fehér, 2: sötétszürke, 3: középpiros, 4: telített zöld, 5: telített kék. Fillingier közlése szerint Lukács (1982) nyomán.

- a megjelenő növényzet módosítja a talajra *domináns* jellegzetességek számszerű értékeit
- a növénytakaró spektrális tulajdonságai háttérbe szorítják a talajra vonatkozó jellemzőket, a növényzet optikai sajátosságai válnak a felszín jellemzőivé.

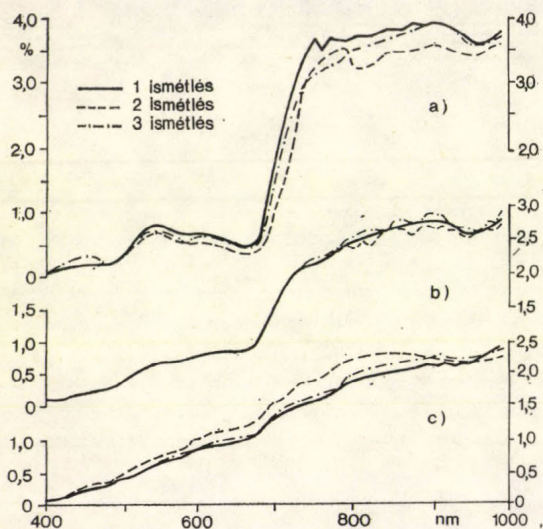
A növénytakarónak megjelenése a talajfelszínen főként a *színarányok* megváltozásán át fejti ki hatását a felszíni reflexióra. A hazai szántóföldi növényállományok a fejlődés első szakaszában optikailag hasonló hatásokat keltenek. Növényeink színanyaga a klorofill, amely kisebb-nagyobb arányban épül fel a fiatal növények levélzetében. A zöld felületnek sajátos spektrális relatív reflexiója van: a kék és vörös tartományban a visszaverődés kismérvű, míg a zöld tartományban érthető módon erőteljes; a legerőteljesebb reflexió a közeli infravörös tartományban mérhető. Természetesen egyéb más növényi szintesteknek is megvannak a karakterisztikus reflexiók görbéi, melyeket a 3. ábra mutat be. A klorofillnak és egyéb szintesteknek (xantofill, karotinoid stb.) a mennyisége, aránya sajátos dinamikát mutat az egyedfejlődés során. Több növény levélzetének határoztuk meg a színkoordinátáit. E vizsgálatok nyomán az a tapasztalat alakult ki, hogy a növény korának előrehaladtával a vörös-összetevő egyre erőteljesebbé válik. A színváltozásnak megkülönböztettünk egy latens szakaszt, amikor az még vizuálisan nem látható, csupán a színösszetevők mérésével bizonyítható. Ezt követi a *szenzibilis szakasz*, amikor a színváltozás szemmel láthatóvá válik. A zöld-vörös aránynak ez a változása természetes folyamat, azonban a különböző — hő-, víz-, tápanyagellátásban jelentkező — stresszhelyzetekben jelentős torzulást szenved el a növény. A *növényi állapot diagnózisának* egyik lényeges módja a színarányok megállapítása, ezzel ugyanis az állomány kora becsülhető.

Minél nagyobb a növényállomány levélfelülete, a mérhető reflexiók spektrum egyre inkább a klorofill reflexiót reprezentálja. A 4. ábra egy vegetatív sza-



4. ábra: Az őszi búza abszolút spektrális reflexiója (részben Mack, Brach és Rao nyomán) és néhány főbb alkotó anyag elnyelési sávja (1: 415–425; 2: 430–450; 3: 450–480; 4: 480–490; 5: 490–520; 6: 520–560; 7: 560–640; 8: 640–680; 9: 680–700; 10: 700–730; 11: 730–750; 12: 750–770; 13: 770–790 nm).

kaszban levő növényi felület abszolút reflexióját mutatja be, relatív egységben kifejezve. A spektrum felvétele nagy felbontású spektrofotométerrel történt. Az SM-1, illetve az SM-2 típusú spektrofotométerünk maximális felbontása 1 nm, s ezzel az ábra szerinti spektrum megszerkeszthető. A közölt ábra Mack, Brach és Rao (1984) mérései alapján készült, ezt mutatjuk be némi módosítással és ki egészítéssel. Mindenek előtt a növényi felületek abszolút reflexiójáról kell röviden szólni. Általános mérési tapasztalat, hogy a zöld növénytakaró spektrális reflexiójának két erőteljes maximuma van, az egyik 500–600 nm, a másik pedig a



5. ábra: Az őszi búza relatív spektrális reflexiója kalászhányás kezdetén (a), a virágzás végén (b) és viaszérés idején (c).

látható spektrum utolsó szakaszában 700–780 nm között alakul ki. A minimális értékek a kék (350–425 nm) és a sárga (625–675 nm) tartományban alakulnak ki. Ahogyan az ábrából kitűnik, a reflex-sugárzás intenzitásának görbéjén számos, változó mértékű visszaesés látható. Ezeknek egy része a beeső sugárzás abszorpciós sávjaival esik egybe, más részük pedig a reflektáló felület nagyfokú elnyelőképességével magyarázható. Az elnyelő-, illetve visszaverőképeség erőteljes változását a felszín sajátos alkotó anyagának hiánya, vagy jelenlétének nagy aránya okozza. A 4. ábrán feltüntettük azokat a sávokat (nm), melyeknek okozó anyaga ismert. Ezek közül a jelentősebbek:

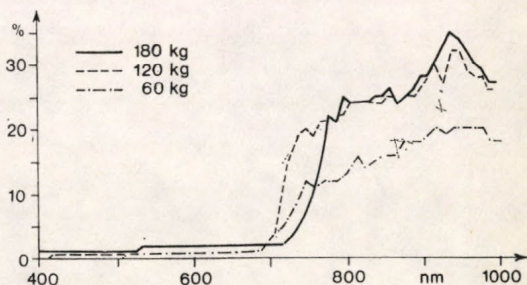
Ca, Fe	SiO ₂ , Fe ₂ O ₃	Klorofill	Mg, H	O ₂
480-490	500-640	640-680	690-775	750-770

Természetesen a fenti anyagokon túlmenően – ahogyan majd később látni is fogjuk –, számos olyan sávról tudunk, amelynek okozó anyaga ismert. A sávok rendszeres ellenőrzése, mélységüknek, vagy magasságuknak idő szerinti alakulása a sávhatást kiváltó anyag mennyiségi változására utal.

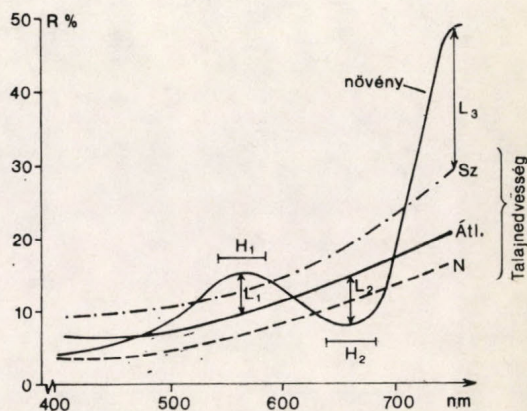
A relatív spektrális reflexió szélesebb körben használatos információs anyag. A relatív reflektancia szintén sokféle tájékozódásra nyújt lehetőséget. Agrometeorológiai szempontból a növények fejlődési dinamikáját kell elsődleges fontosságúnak minősítenünk. A spektrális karakterisztikáknak sajátos típusai különíthetők el egymástól, illetve a típusok időbeli rendjéből következtethetünk a

növény állapotváltozására. Példaként mutatjuk be az őszi búza állományának relatív spektrális reflexióját három fejlődési szakaszra. Az 5a. ábra az őszi búza kalászhányás kezdetén levő állománya spektrális reflexióját szemlélteti. Igen jól látszik az erőteljes zöld reflexió, valamint a kék és sárga tartomány alacsony értéke. A közeli infravörös tartományban a különböző helyeken mért értékek egyaránt magasak. Az 5b. ábra a kalászoslást követő virágzás idejéből származó mérés eredményét mutatja. E fenofázisban a klorofillhatás már mérséklődik, s a sárga

6. ábra. A nitrogén műtrágyázás hatása a kukorica relatív spektrális reflexiójára virágzás idején.



7. ábra. A talaj-növény távérzékelési szubmodelljének vázlatja.

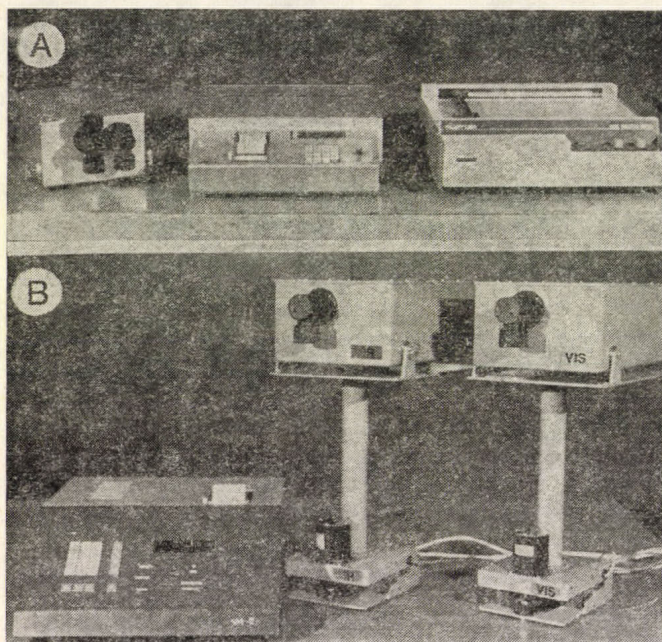


tartományban a reflexió erőteljessé válik a szintest-garnitúra módosulása folytán. Az 5c. ábra a viaszérésben levő állományt reprezentálja: az elszáradt, le-sárgult levézet, a sárgásbarna kalászok teljesen megváltoztatják a visszavert sugárzás hullámhossz szerinti arányait. Jelentős mértékben csökken a NIR tartományban is a reflexió, amely a növényzet víztartalmának csökkenésére utal. Az utóbbi három ábra közötti eltérés a különböző sávarányokkal számszerűen kifejezhető. A 10 nm-es felbontású spektrális reflexiók görbék rendkívül jellegzetesnek minősíthetők a zöld, az érés elején és a teljes érés előtti állapotra.

A különböző agrotechnikai beavatkozások is módosítják a spektrális karakterisztikát. E helyen elsősorban a tápanyagellátás szerepére utalunk. A 6. ábra a különböző adagú nitrogénműtrágya hatását mutatja be kukorica növényenél 1985-ben, címerhányás fázisában. A N-dózis növekedésével a NIR-tartományban (800 – 1000 nm) a reflexió nagyobbodik, amíg azt a növény fel is veszi. A 120 és a 180 N kg/ha hatóanyag közötti különbség már elhanyagolható, mivel a növényállomány a 180 kg-nak csak egy hányadát veszi fel. A kísérleti mérések sze-

rint a 750 – 1000 nm-es intervallumban mért reflexió relatív értéke jól jellemzi a növénytakaró nitrogénellátottságának mértékét.

Végezetül lehetőséget mutatunk be arra, hogy miként hasznosíthatók a különböző részinformációk egy *egységes agrometeorológiai modellben*. A modell kidolgozásának célja az, hogy a spektrális jellemzők alapján a különböző növények fejlődését nyomon követhessük, megállapítható legyen a fejlődés kedvező vagy kedvezőtlen volta, s végül a többszöri reflexiós mérések elemzése alapján következtethessünk a termés nagyságára és minőségére. A kérdésfelvetés könnyebb



8. ábra. Az SM-1 (A) és az SM-2 (B) reflexiós spektrofotó méter optikai egysége a mikroprocesszorral és az X. Y.-plotterrel.

megértése céljából mutatjuk be a 7. ábrán a *talaj-növény modell grafikus vázlatát*. Lényegében a talaj és a zöld növénytakaró relatív spektrális reflexiós karakterisztikáját egymásra helyezve, a λ hullámhossz intervallumokban L_n eltérés állapítható meg közöttük. A közölt vázlaton három megkülönböztetett sávot tüntettünk fel:

- klorofill reflexió – talajreflexió különbsége (L_1); 525 – 575 nm
- sárga reflexió – talajreflexió különbsége (L_2); 625 – 675 nm
- vörös reflexió – talajreflexió különbsége (L_3); 725 – 775 nm

Nyilvánvalóan más tartományokban, következetesen kialakuló eltérések is figyelembe vehetők az objektum természetétől függően. Amennyiben a felszín borító növénytakaró minőségi – fajbéli – megkülönböztetése a cél, az L értékét bármely felszínhez viszonyítva megállapíthatjuk, a lényeg az, hogy az objektum és a vonatkoztatási felszín reflexiója alapvetően különbözzék egymástól. Erre a legmegfelelőbb a fehér-standard használata. A 7. ábrán bemutatott vázlat szerint a talaj-reflektancia a referencia-érték, de ekkor a talaj nedvességtartalmát esetről esetre meg kell állapítani. (A talajnedvesség becsülésének módjáról más közleményben számolunk be.) Az L eltérések regressziós analízissel hitelesíthetők:

$$P_n = \alpha_0 + \alpha_1 L_1 + \alpha_2 L_2 \dots + \alpha_n L_n [t \text{ ha}^{-1}]$$

ahol α_i : regressziós együtthatók, L_i : a növényállomány és talaj relatív reflexiója közötti különbség a figyelembevett sávokban. Ezen a módon olyan szubmodell kialakítása válik lehetővé, amely egy általános agrometeorológiai modellt eredményesen egészít ki.

A távérzékelés számos más eljárás alkalmazását is lehetővé teszi, ezek kidolgozása folyamatban van, eredményeiről azonban csak később adhatunk tájékoztatást. Azt is hangsúlyoznunk kell, hogy e helyen csak a főbb eredményeket említettük meg. Az elmondottakon túlmenően célunk az, hogy korszerű módszerekkel egészítsük ki az eddigi elemzési eljárásokat.

Végezetül a 8. ábrán mutatjuk be az SM-1 (A) és az SM-2 (B) reflexiós spektrofotométer fényképét, mivel a fent ismertetett eredmények ezzel a mérőrendszerrel kapott mérésekből származnak.

Összefoglaló megállapítások

1. Az agrometeorológia területén a távérzékelési eljárások alkalmazása új információforrások feltárását teszi lehetővé.
2. A talajra vonatkozó távérzékelési vizsgálatok eredményei jól egészítik ki a hagyományos éghajlati és agrometeorológiai megfigyeléseket.
3. A növénytakaróra vonatkozó földi megfigyelések eredményei jelentős mértékű gyarapítást igényelnek egyrészt az űr- és légi felvételek interpretációjának szélesebb körű megvalósítása érdekében.
4. A referenciafelületek tematikus vizsgálata a jelenleginél gazdagabb országos műszerparkot követel meg.

IRODALOM

- Al Abbas, A. H. and Swain, P. H. and Baumgardner, M. F.: 1972: Relating organic matter and clay content to the multispectral radiance of soils. *Soil sci.* Vol. 114. 477–485.
- Bunnik, J. J. 1981: Fundamentals of remote-sensing relations between spectral signatures and physical properties of crops. in: Berg, A. (Ed.): *Application of Remote Sensing to Agricultural Production Forecasting*. Balkema, Rotterdam, 47–81.
- Fedcsenko, P. P. – Kondrat'ev, K. Ja., 1981: *Spektralnaja otrazsatelnaja szposzobroszt nekotorüh pocsv.* Hidrometeoizdat. Leningrad, 1–230.
- Heilman, J. L. and Boyd, W. E., 1986: Soil background effects on the spektral response of a three-component rangeland scene. *Rem. Sens. Envir.*, 19. 127–137.
- Kondrat'ev, K. Ja. and Fedcsenko, P. P., 1982: *Opredelenie sztepeni zasorennoszti zlakovüh kultur po dannüm spektralnüh izmerenij.* Iszszl. Zemli iz Kosmosza. 3. 59–68.
- Lukács Gy., 1978: Bevezetés a műszeres színmérésbe. *Kolorisztikai Ért.* 6. 322–342.
- Lukács Gy., 1982: *Színmérés.* Műszaki Könyvkiadó, Budapest. 1–339.
- Mack, A. R., Brach, E. J. and Rao, C. R., 1984: Appraisal of multispectral scanner system from analysis high-resolution plant spectra. *Int. Journ. Rem. Sens.*, No. 5. 279–288.
- Nilszon, T. A. et al., 1982: Ob ocenke sztepeni szozrevanija zernovüh kultur disztancioniümi opticeszskimi metodami. *Iszszl. Zemli iz Koszm.* No. 1. 41–47.
- Ross, J., 1981: *The radiation regime and archüecture of plant stands.* Junk Publ., Hague – Boston – London, 1–391.
- Szász G., 1981: A távérzékelési eljárások hasznosítása a növénytermesztés, növényvédelem és meliorációs tevékenység irányításában. MÉM – MÜFA Jelentés, Debrecen.
- Szász, G., 1986: Die Bedeutung der Fernerkundung in der grossräumigen phänologischen Beobachtung. *Arb. Phaenologica*, Offenbach, 111–119.

IDŐJÁRÁS

Az Országos Meteorológiai Szolgálat folyóirata. 91. évf. 2–3. szám. 1987. március–június
Journal of the Hungarian Meteorological Service. Vol. 91. No. 2–3 March–June 1987 Budapest

A tápanyag- és vízellátás kapcsolata

DEBRECZENI BÉLA *Agrártudományi Egyetem, H–8361 Keszthely*

Relationship between nutrient and water supply. It's a well-known rule that the plant isn't able to utilize the nutrient if water deficit is in the soil despite the presence of sufficient nutritive material. The water supply of the plant (precipitation or irrigation) depends on nutrient supply (nutrient content in the soil, fertilization). The better nutrient supply produces the more economical water utilization. The productivity of the soil namely the water and nutrient economy determines the efficiency of the irrigation and fertilization considerably. According to our results and data of other research workers a unit of yield was reached by saving of considerable irrigated water and artificial fertilizer on a good quality soil. Results of the experiments and practical uses are the efficiency of the irrigation is lower but the efficiency of the artificial fertilization is higher on soil having moderate production potential because more water and less nutrient are required for producing of yield-unit, and vice versa on the soil having good water balance. All these are related to the regularity that the water supply and mobilization of the available nutrient are more favourable on the soils having good water economy (optimum water-air ratio). So the irrigation or the precipitation fallen in proper time improve not only the water supply but the nutrient supply as well opening up the nutrient of the soil. Its influence is the more effective utilization of the artificial fertilizers.

*

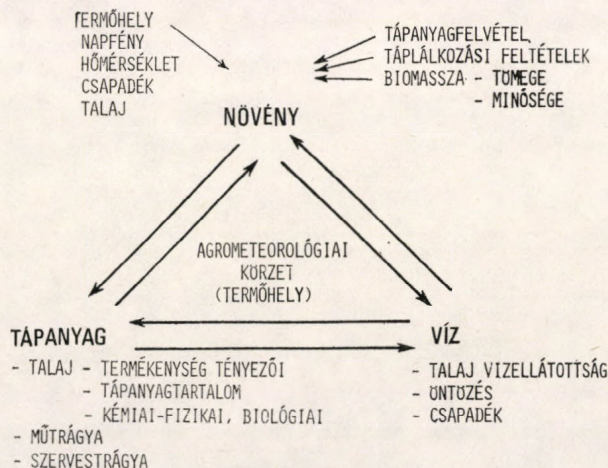
A tápanyag- és vízellátás kapcsolata. Rég ismert törvényszerűség, hogy lehet bármennyi tápanyag is jelen a talajban, ha vízhiány van, a növény a tápanyagokat nem tudja hasznosítani. A növény vízfelhasználása (csapadékból vagy öntözővízből) viszont a tápanyag-ellátottság (a talaj tápanyagtartalma, trágyázás) mértékétől is függ, kedvező tápanyagellátás-kor a növény vízfelhasználása is gazdaságosabb. A talaj termékenysége – azaz víz- és tápanyag-gazdálkodási tulajdonsága az öntözés és a trágyázás hatását is jelentős mértékben meghatározza. Irodalmi adatok alapján és saját tapasztalataink szerint is a jó termékenységtű talajokon az egységnyi termés elérése öntözővíz- és műtrágya-megtakarítással jár. Kísérleti és gyakorlati tapasztalat az, hogy kevésbé termékeny talajon az öntözés hatékonysága általában kisebb, a műtrágyázás hatékonysága viszont nagyobb, mivel itt az egységnyi termés kialakításához több vízre és kevesebb tápanyagra van szükség, a jó termékenységtű talajokon ugyanez fordítva érvényes. Mindezek összefüggnek azzal a törvényszerű jelenséggel is, miszerint a jó vízgazdálkodású talajokon (optimális víz – levegő arány) a növények számára nemcsak a víz felvétele, hanem a talaj felvehető tápanyagainak mobilizációja is kedvezőbb. Tehát az öntözés, vagy a megfelelő időben és mennyiségben hullott csapadék nemcsak a növények vízellátását, hanem a talajok tápanyagainak fokozottabb feltárodása révén tápanyag-ellátását is kedvezőbbé teszi. Rendszerint a nagyobb mennyiségben használt szerves és műtrágyák jobb hasznosulását is ezáltal javítja.

*

A növények természetesen az elérhető termés mennyisége és minősége a környezet klimatikus viszonyainak, a talaj termékenységének, továbbá az agro-és kemotechnikai tényezőknek szoros függvénye. A tudományos kutatás (növényélettani, agrokémiai, talajtani, növénytermesztéstani), de a termesztési gya-

korlat is szüntelenül arra törekszik, hogy mind teljesebben ismerje meg a termést növelő vagy korlátozó tényezők hatását és azok kölcsönhatásait. Megismerve például a növények ásványianyag- és vízfelvételének mechanizmusát és az erre ható tényezőket, konkrét klimatikus és talajviszonyok között minden egyes természetű növény számára kidolgozható a nagy és jó minőségű termést nagyobb valószínűséggel biztosító tápanyag- és vízellátási rendszer.

A táplálkozási és vízháztartási viszonyok kölcsönhatásainak vizsgálatára – sajnos – mind a külföldi, mind a hazai irodalom tanúsága szerint az utóbbi évekig kevés figyelmet fordítottak. Magyarországon a tápanyagellátás és a vízfogyasztás közötti egyeztetés összefüggések tanulmányozása az 1951–54-es években



1. ábra: Növény-tápanyag és -vízellátás összefüggése

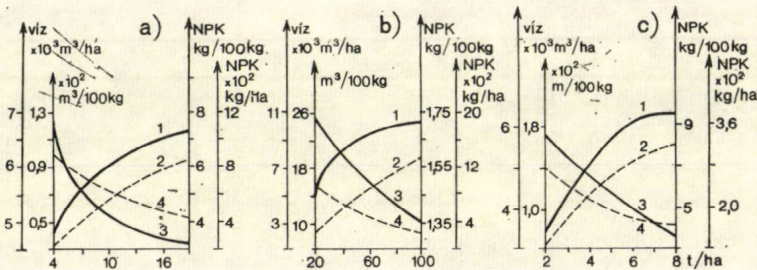
Hank O., Frank M. és Fehér D. nevéhez fűződik. A téma újbóli felvetése és vizsgálata korszerűbb agrokémiai módszerekkel 1962-ben általunk folytatódott a Szarvasi Öntözési és Rizstermesztési Kutatóintézetben (ma Öntözési Kutatóintézet), majd később a Gödöllői, illetve a Debreceni Agrártudományi Egyetemen.

A témát, amelyről szó van, az 1. ábra szemlélteti. A tápanyag- és vízellátás kapcsolatát a növény érdekében, a növényen keresztül vizsgáljuk. A tápanyagok a talajban származhatnak a talaj természetes tápanyagtartalmából és a talajba vitt szerves- és műtrágyákból; a vízellátottsága csapadékból, ill. öntözésből. A növény a tápanyag- és vízfelvételében nem tesz különbséget aszerint, hogy milyen eredetű az, amihez hozzájut gyökerei által. A nyilak világosan jelzik a növény és a víz, a növény és a tápanyag, valamint a tápanyag és a víz kölcsönhatását, és e három tényező elválaszthatatlan egységét. A témakör részletes összefoglalását tartalmazza az 1983-ban megjelent könyvünk (Debreczeni Béla – Debreczeni Béláné). Előadásomban a téma összefoglalójában megfogalmazott néhány fontos tézist – könyvünk segítségével – szeretném elvi és gyakorlati oldalról részletezni és bizonyítani.

A növények által elpárologtatott víz mennyisége, a szárazanyaggal kivont összes tápanyagmennyiség, valamint a felhalmozódott összes szárazanyag-mennyiség összefüggésbe hozható. Az egységnyi szárazanyagtermés létrehozásához

felhasznált víz mennyisége, vagyis a transpirációs koefficiens és az összes szárazanyag között szoros, de fordított az összefüggés. Minél nagyobb a létrehozott szárazanyag-termék, annál kisebb a transpirációs együttható. A megfelelő tápanyagellátás – aminek hatékonysága terméstöbbletben is kifejezésre jut – a növények gazdaságosabb vízfelhasználását vonja maga után.

Az általunk is legtöbbször vizsgált szántóföldi növények tényleges és fajlagos víz- és tápanyagfelhasználását vizsgálta Kolpakov is (1966) (2. ábra). Ez mindezekelőtt arra figyelmeztet, hogy a növekvő termést (vízszintes tengelyen) fokozódó összes víz- és NPK-igénye (1–2. görbén) és csökkenő fajlagos igénye (3–4. görbén) követi. De ezek üteme növényfajtól és ezen belül a már elért termésszinttől is függ. Kezdetben, vagyis alacsonyabb termésszinten a görbék meredekebben



2. ábra: A víz- és tápanyag-felhasználás és a termés közötti összefüggés (Kolpakov, 1966).

emelkednek vagy lejtjenek, mint nagyobb termésszinteknél. Ugyanakkor különbség tapasztalható a víz és tápanyagok felhasználásának üteme között is. A fajlagos vízfogyasztás a termés növekedésével nagyobb mértékben csökken – főleg a búzánál és a kukoricánál –, mint az egységnyi NPK-felhasználás. Mindez mégsem lineáris kapcsolatra utal a víz- és tápanyagfelvétel menetében, mechanizmusában.

Az ásványi táplálkozás és a transpiráció kapcsolatára általában az jellemző, hogy a talaj vízellátása és a növény vízfelvétele csak annyira befolyásolja az ionfelvételt, amennyire az ionellátásra a transpirációs áram hatással van. Ismert jelenség, hogy a gyökerek vízfelvétele és a föld feletti részek vízleadása folytán a talajban a gyökerek irányába indul meg a vízáramlás. Ezért az ionokat részben a tömegáramlás mechanizmusa juttatja el a gyökér felszínéhez.

A számítások azt mutatták, hogy a gyökerekig való tömegáramlásnak főleg a kalcium- és a magnéziumionok, kisebb mértékben a kálium, ammónium, nitrát és még kevésbé a foszfátionok esetében van jelentősége. Megállapították, hogy a nagyobb mértékben mobilizálható tápanyagoknál a víz mozgása nagyobb szerepet játszik, mint az egyéb ionoknál, ahol is a diffúzió mechanizmusa a jelentősebb tényező. Ez azt jelenti, hogy a talaj-gyökér érintkezési helyén – az ionfelvétel következtében – koncentrációesés jön létre a gyökerekkel kontaktusban levő talaj és a távolabbi talajrészecskék között. Ezek az ionok a gradiens mentén diffundálnak a gyökerek felé mindaddig, amíg ez a koncentrációgradiens fennáll. Hogy ez a mechanizmus milyen tápanyagmennyiséget szállít a növények gyökérfelületére, az a transpirációtól, a talaj nedvességtartalmától és a talajoldat koncentrációjától függ. A transpiráció tehát főleg közvetett hatással van a tápanyagok felvételére, mert sem a tápionok, sem a víz felvétele nem valami mecha-

nikus folyamat, hanem a növényi szervezet és a környezet közötti aktív kölcsönhatás egyik megnyilvánulása.

Felvetődik a kérdés, hogy milyen mutatóval jellemezhető ez a kapcsolat. Úgy véljük, hogy ehhez leginkább az ion- és vízfelvétel mechanizmusát vizsgáló fiziológiai módszerek (növényélettani vizsgálatok, csiranövény-kísérletek, vízkultúrák eljárások stb.) nyújthatnak megbízható támpontot. Növényélettani méréseket ugyan nem végeztünk, hanem a talajkultúrák növénytáplálkozási jellegű tenyészedény-kísérletek tápanyag- és vízforgalmi adatait használtuk fel a jelzett kapcsolat vizsgálatára.

A növények által felvett összes N és ásványi anyagok, továbbá a növények által elpárologtatott összes víz mennyisége megfelelő összehasonlításban, mutatója lehet a két fiziológiai folyamat kapcsolatának. A növények által a talajból felvett vízmennyiség és a szárazanyagterméssel kivont tápanyagtartalom, közvetlenül a növények termésének (szárazanyag-mennyiségnek) és relatív tápanyag-tartalmának a függvénye. Ily módon a vízfogyasztás és a tápanyagtartalom között közvetlen és közvetett kapcsolat kereshető.

A környezet befolyásoló hatása közül két tényező — a műtrágyázás és a vízellátás — szerepével foglalkoztunk. Az ásványi táplálkozás és a transpiráció kapcsolatát tenyészedény-kísérletben — egyrészt az 1 liter elpárologtatott vízre jutó felvett tápanyaggal, másrészt ennek reciprokéval, a felvett 1 mg tápanyagra jutó elpárologtatott vízmennyiséggel jellemeztük.

Megállapítottuk, hogy az egységnyi elpárologtatott vízre jutó felvett tápanyagok mennyisége minden kísérletben nőtt a műtrágyázás hatására (a PK-kezelés kivételével), pedig a transpirációs együttható csökkent, és a szárazabb talajnedvesség-viszonyokon általában ez a növekedés nagyobb mértékű volt, mint optimális talajnedvességen. A legfontosabb tény azonban az, hogy annak ellenére, hogy a növények optimális talajnedvesség-ellátáskor mintegy 3-szor többet párologtattak el a szárazabb viszonyokhoz képest, a felvett tápanyagok mennyisége nem követte azt sem mennyiségében, sem arányaiban.

A műtrágyázás eredményeként létrejött nagyobb növényi zöldtömeg arányosan több víz felvételére, illetve elpárologtatására képes. Ugyanakkor a fajlagos vízfogyasztás, vagyis az egységnyi szárazanyagra jutó elpárologtatott víz mennyisége nitrogén-, illetve nitrogént is tartalmazó műtrágyázás (NP, NPK) hatására csökken. A PK-műtrágyázás nem volt kedvező hatással a növények fajlagos vízfogyasztására.

Szász (1973) is utal arra, hogy az optimális vízigény alakulásában rendkívül fontos szerepet játszik a tápanyagellátás. Kísérletei szerint (hasonlóan a mieinkhez (*Debreczeni – Debreczeniné*, 1983) az ásványi tápanyagok közül a nitrogén fokozza a legnagyobb mértékben a vízfelhasználást. Ez a hatás annak tulajdonítható, hogy a nitrogén fokozza a vízfelhasználást növelő transpirációs felületet, vagyis a levélfelületnek a területegységre vonatkoztatott értékét.

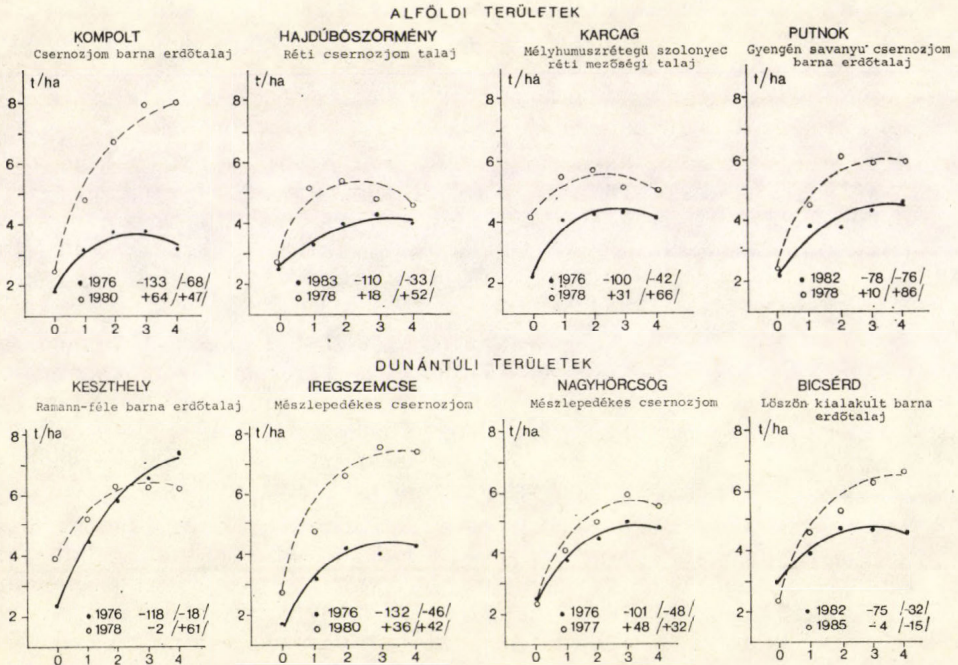
Számos irodalmi adat, de saját kísérleti eredményeink is arról tanúskodnak, hogy a műtrágyák és talajok tápanyagainak *hasznosulása* optimális talajnedvesség esetén kedvezőbb, mint száraz viszonyok között. Tenyészedény-kísérleteinkben a megfelelő tápanyag- és műtrágyaarány is a vízfelhasználás hatékonyságának növelését mutatta, a transpiráció produktívitasának egyidejű növekedésével. *Olson* (1972) is rámutatott arra, hogy megfelelő műtrágyázással a vízfelhasználás hatékonyságát növelni lehet, de a műtrágyázás nem helyettesíti a vízellátást.

Ezzel összefüggésben állást lehet és kell is foglalnunk abban a kérdésben, hogy milyen kapcsolatban van egymással a természetes csapadék és a felhasznált műtrágya mennyisége? Más szóval nagyobb-e a tűróképessége a növényeknek a szárazsággal szemben a jobb tápanyag-ellátottságú talajon vagy nem?

Ismertes, hogy szinte valamennyi jellegzetesen eltérő ökológiai körzetben létezik egy-egy meghatározott, leggyakrabban ismétlődő időjárási sajátosság, ami miatt szenved a növényzet, csökken a termés (szárazság, túl bő csapadék stb.). Ezek ellensúlyozására pl. a trágyázási tanácsadásban is korrekcióra lenne szükség. Ismert, hogy az optimumtól való jelentős eltérés az időjárási tényezőben, korlátozza a növények tápanyagfelvételét, csökkenti a fotoszintézist vagy növeli a légzést, más szóval csökkenti a szárazanyag-termelést. A termés-csökkenés leggyakoribb oka, hogy rosszabbodnak a növénytáplálkozás feltételei a talajból, vagy a csapadékhiány, vagy a talaj túlnedvesedése miatt, esetleg az időszakos lehűlés következtében a vegetáció kezdetén stb. Ez utóbbi esetén a növények főleg P-hiányban szenvednek.

A gyakorlatban tapasztaljuk, hogy a különböző időjárású években eltérő a műtrágyázás termésmenvelő vagy termésmegsínítő okozó hatása, még azonos talajviszonyok között is. Antal (1981) szerint elsősorban a csapadék, a talajnedvesedés és a talajhőmérséklet, azaz a termőtalaj hő- és vízháztartási rendszere segítheti vagy hátráltathatja a talaj és az oda juttatott trágyafélések tápanyagainak oldódását, vándorlását, felvételét, vagyis érvényesülését.

Különböző talajokon a természetes csapadék hasznosulásának mértéke is eltérő. A talajok eltérő tápanyag-ellátottsága az a tényező, ami elsősorban a csap-

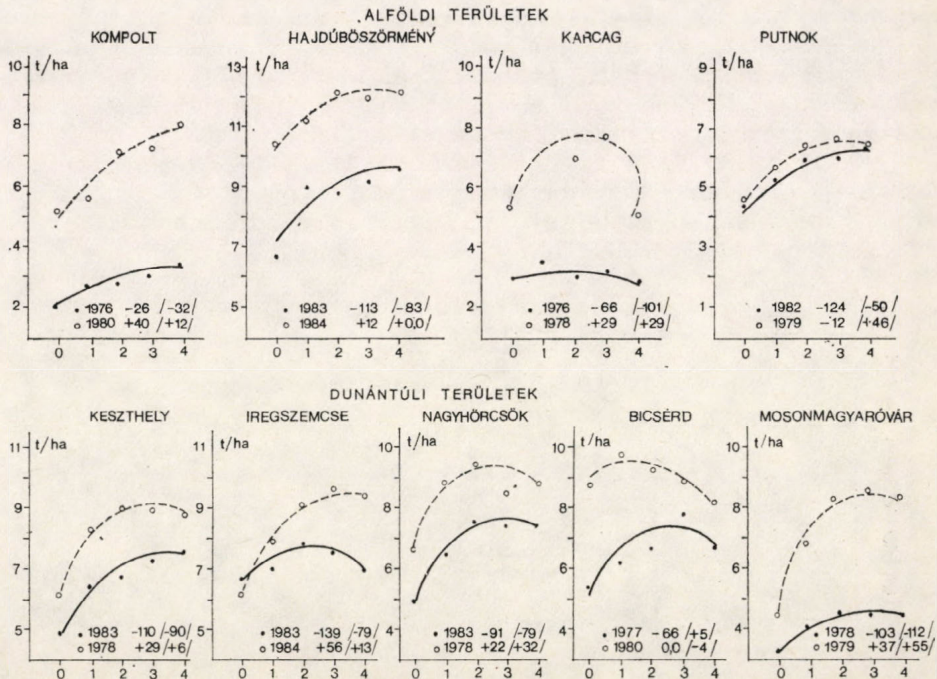


3. ábra: Az őszi búza szemtermése az alföldi s a dunántúli területeken (Kezelések: \emptyset trágyázatlan 1 = 200; 2 = 300; 3 = 400, 4 = 500 kg NPK/ha)

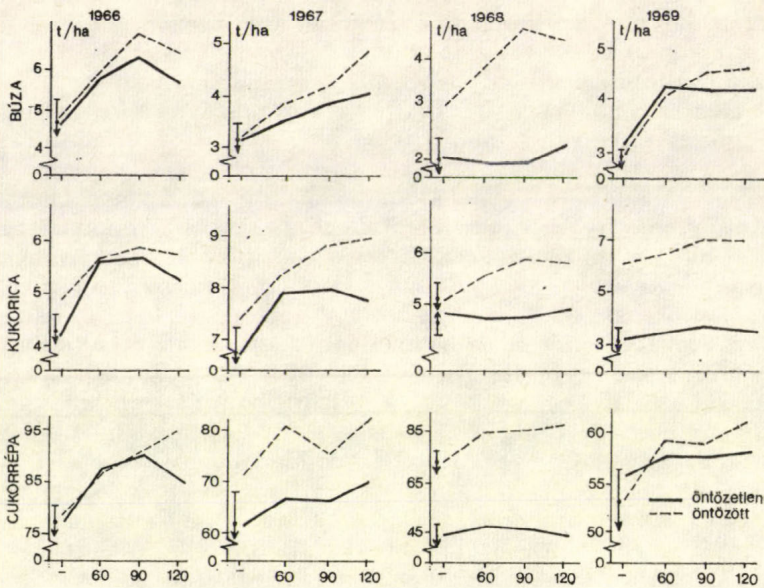
padék hasznosulását befolyásolja. Bocz és Szász korábbi vizsgálatai egyértelműen bizonyították, hogy a táplálóanyag-ellátottság fokozásával mérséklődött a csapadékhiány nyomán bekövetkezett termésingadozás (Szász, 1971). Még inkább igaz lehet e megállapítás napjainkban, amikor még intenzívebbé vált a tápanyag-ellátás és ennek eredményeként pozitívvá vált az országos NPK-mérleg, más szóval a felhasznált tápanyagok mennyisége meghaladja a természellel kivontat és egyéb módon elvesztett.

Ismerősként hangzik ez a megállapítás is, hogy a tápanyagellátás egy magasabb szintjén már a csapadék mennyisége hamarabb minimumba kerülhet más, természet meghatározó tényezőknél, vagyis előbb előtérbe kerülhet a mesterséges vízutánpótlás szükségessége, amire az ország mezőgazdaságilag hasznosított területének 6–8%-án van, vagy lenne lehetőség. A fenti megállapítás egyaránt megerősíti azt a tételt, hogy a táplálóanyag fokozásával a termésnek a csapadéktól való függése egyre határozottabbá válik. Ma még nincs olyan időjárási előrejelzés, ami lehetővé tenné a műtrágyák időben differenciált mennyiségi és minőségi felhasználását. Reméljük, eljön az az idő, ami által takarékosabb és hatékonyabb tápanyag- és vízgazdálkodást valósíthatunk majd meg.

A következőkben bemutatok néhány ábrát, amelyen az őszi búza (3. ábra) és a kukorica (4. ábra) termésgörbéit rajzoltuk meg, ami a műtrágyázás hatása és a csapadékelátottság kapcsolatára vonatkozik, különböző termőhelyeken. Az adatok a KATE által koordinált egységes országos műtrágyázási kísérletekből származnak. Az ábrákon alföldi és dunántúli kísérleti helyek szerint csoportosítva egy-egy száraz és kedvező csapadék-ellátottságú évet emeltünk ki, amit a növé-



4. ábra: A kukorica szemtermése az alföldi és a dunántúli területeken (Kezelések: \emptyset trágyázatlan, 1 = 200; 2 = 300; 3 = 400; 4 = 500 kg NPK/ha)

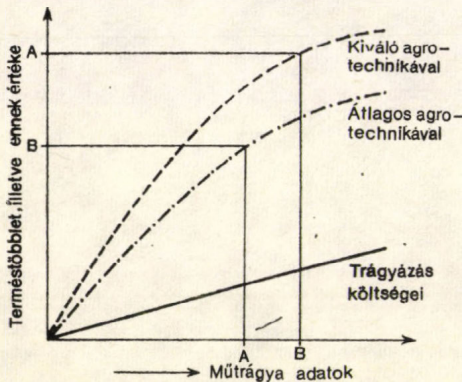


5. ábra: Az öntözés és az N-műtrágyázás hatása eltérő időjárású években (Szarvas).

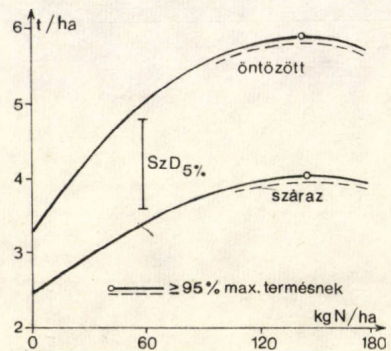
nyeknek megfelelő tenyészidőre, ill. kritikus hónapokra vonatkoztatott (zárójelben) 50 éves átlagtól való eltéréssel jellemeztünk mm-ben.

Az eredmények szerint valamennyi esetben kedvező években általában nagyobb átlagtermések mellett, jobb volt a műtrágya terménynövelő hatása, mint száraz években. Ugyanakkor a talajviszonyok, az egyéb természetes ökológiai adottságok ezt a kapcsolatot bizonyos mértékig befolyásolták.

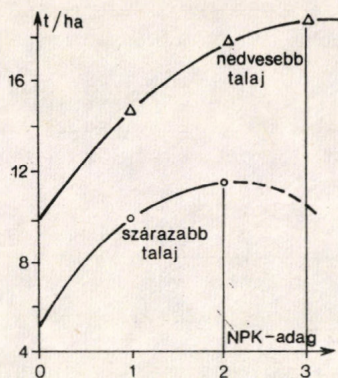
Az öntözés és az N-műtrágyázás hatását eltérő időjárású években mutatja a következő 5. ábra. Minél távolabb fut egymástól az öntözött és öntözés nélküli termésgörbe, annál szárazabb volt az adott év, és az öntözés hatása, valamint a N hatása is nagyobb mértékű volt.



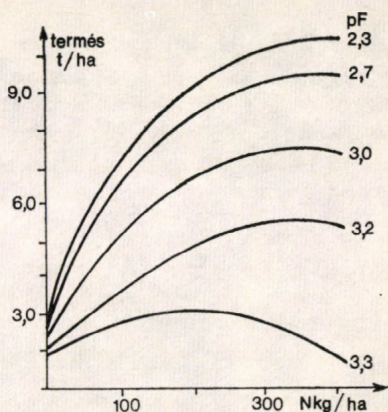
6. ábra: Agrotechnika színvonala és a termés összefüggése (Tisdale - Nelson nyomán).



7. ábra: A kukorica szemtermése (86% szá.) nitrogénműtrágyázás és öntözés hatására (Mühle, 1975 in Mengel és Kírky 1979)



8. ábra: A burgonya termése különböző NPK-trágyázási szinten szárazabb és nedvesebb körülmények között (Holliday, in Mengel és Kirkby, 1979)



9. ábra: A növekvő adagú nitrogénműtrágya hatása a kukorica szemtermésére, különböző talajnedvességszinten (Shims, in Mengel és Kirkby, 1979).

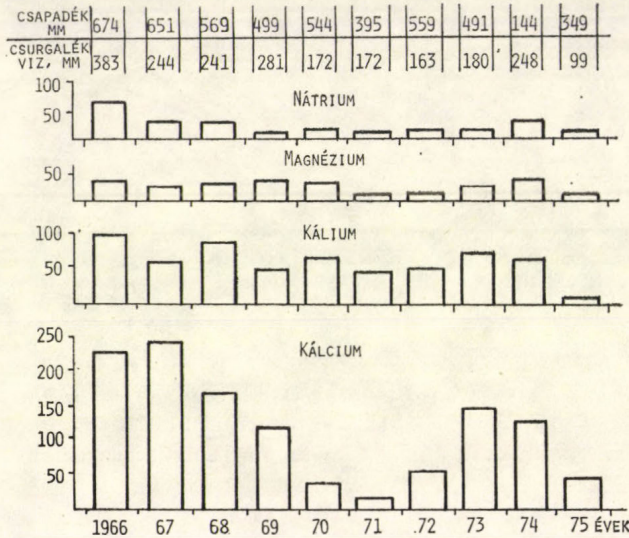
Az agrotechnikai színvonal és az optimális műtrágyaadag kapcsolatát jól mutatja a Tisdale–Nelson-féle 6. ábra. A kiváló agrotechnika – amiben a tényezők (öntözés, fajta, művelés stb.) optimuma biztosított nagyobb többletjövedelmet csak magasabb műtrágyaadaggal párosulva biztosíthatja.

I. TÁBLÁZAT

A nitrogénműtrágyázás és a vízellátás hatása a tavaszi búza föld feletti részeinek N-tartalmára (Campbell és Paul, 1978)

Vízellátás	Felhasznált N, kg/ha				SzD ₅ %	
	Ø	41	82	164	vízellátás	N
<i>műtrágyából eredő N, kg/ha</i>						
Száraz	–	21,8	49,6	47,2	4,9	13,1
Öntözött	–	25,3	64,8	97,9		
<i>talajból eredő N, kg/ha</i>						
Száraz	52,5	45,0	31,6	43,6	5,4	13,7
Öntözött	83,7	107,8	79,2	63,8		
<i>a növényben található, műtrágyából származó N, %</i>						
Száraz	–	55	63	31	6	15
Öntözött	–	67	83	63		
<i>a talajban található, műtrágyából származó N, %</i>						
Száraz	–	31	26	57	2	4
Öntözött	–	15	14	21		

Az előbbi általános törvényszerűség bizonyításaként nézzük meg az öntözés és műtrágyázás kapcsolatát jól szemléltető következő ábrákon a kukorica, a burgonya termésgörbéit (7–9. ábrák). Ezek tipikus és törvényszerű összefüggéseket bizonyítanak a műtrágya optimum és a vízellátottság, ill. öntözés között. E kapcsolatban jelentős tényező lehet a műtrágya adagjának, ill. a talaj tápanyagtartalmának a szerepe. *Campbell és Paul (1978)* adatait mutatja be az I. táblázat.



10. ábra: Többéves tápanyag-kimosódás, kg/ha homokos rozsdabarna erdőtalajon, fű alatt (*Weise, 1979*).

E szerint a műtrágyából és a talajból eredő N öntözésnél nagyobb volt, mint anélkül minden adag esetén. A növényben talált műtrágyából származó arány is nagyobb, ugyanakkor a talajban visszamaradó rész kisebb öntözéskor, mint száraz termesztés esetén.

Végül nézzük meg a 10. ábrát *Weise (1979)* nyomán. A szerző 10 éven át vizsgálta négy tápelem kimosódását füves-liziméteres kísérletben. Megállapítható, hogy 10 év átlagában 20 kg N, 30 kg Mg, 65 kg K és 150 kg Ca mosódott ki hektáronként. A foszfor vízzel vertikálisan gyakorlatilag alig mérhető mennyiségben mozdul el. A tápanyagok kimosódásának ez a sorrendje és körülbelüli mértéke számos más kutató által is bizonyított.

Összefoglalásul megismételhető, hogy lehet bármennyi tápanyag is jelen a talajban, ha vízhiány van, a növény a tápanyagokat nem tudja hasznosítani. A növény vízfelhasználása (csapadékból vagy öntözővízből) viszont a tápanyag-ellátottság (a talaj tápanyagtartalma, trágyázás) mértékétől is függ; kedvező tápanyag-ellátáskor a növény vízfelhasználása gazdaságosabb, mint kedvezőtlen esetben, amikor is a növény egységnyi szárazanyag létrehozásához sokkal több vizet párologtat. A tápanyag- és vízellátás kapcsolatát a talaj termékenysége, ill. víz- és tápanyag-gazdálkodása is befolyásolja. Irodalmi adatok alapján és saját kísérleti tapasztalataink szerint is a jó termékenyséű talajokon – a gyenge termékenyséű talajokkal szemben – az egységnyi termés elérése bizonyos mértékű öntözővíz- és műtrágya-megtakarítással jár.

Az első esetben mind a vízfogyasztási, mind a műtrágya-érvényesülési együtttható kisebb, mint a második esetben. A kevésbé termékeny talaj kisebb termést ad, mert rendszerint kevesebb a felvehető víz- és tápanyagkészlete. Ilyen talajon ezért az öntözéssel javított vízellátás csak intenzív trágyázással együtt vezethet jelentős termésmenöveléshez. A kísérleti és gyakorlati tapasztalat is azt mutatja, hogy kevésbé termékeny talajon az öntözés hatékonysága általában kisebb, a műtrágyázás hatékonysága viszont nagyobb, mivel itt az egységnyi termés kialakításához több vízre és kevesebb tápanyagra van szükség, a jó termékenységű — jó víz- és tápanyaggazdálkodású — talajokon viszont ugyanez fordítva érvényes.

Mindezek összefüggnek azzal a törvényszerű jelenséggel is, miszerint a jó vízgazdálkodású talajokon (optimális víz-levegő arányon) a növények számára nemcsak a víz felvétele, hanem a talaj felvehető tápanyagainak mobilizációja is kedvezőbb. Tehát az öntözés vagy a megfelelő időben és mennyiségben hullott csapadék nemcsak a növények vízellátását, hanem a talajok tápanyagainak fokozottabb feltáródása révén tápanyag-ellátását is kedvezőbbé teszi. Rendszerint a nagyobb mennyiségben használt szerves és műtrágyák jobb hasznosulását is ezáltal javítja.

IRODALOM

- Antal E.*, 1981: Az időjárás és az éghajlat hatása a műtrágya érvényesülésére. Kutatási zárójelentés, OMI.
- Bocz E.*, 1976: *Trágyázási útmutató*. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest.
- Campbell, Ca. A. and Paul, E. A.*: Effects of fertilizer N and soil moisture on mineralization N recovery and A-values, under spring wheat grown in small lysimeters. *Can. J. Soil Sci.*, Ottawa, 68. No 1. 39—51. p.
- Debreczeni B. és Debreczeni B.-né*, 1983: *A tápanyag- és vízellátás kapcsolata*, Mezőgazdasági Kiadó, Budapest
- Fehér D.*, 1941: A talaj vízgazdálkodásának befolyása a műtrágyák fiziológiai hatásfokára. *Öntözésiügyi Közlemények*. 41. III. évf. 4. sz. 255—274. p.
- Hank O. — Frank M.*, 1952: Összefüggés a tápanyagellátás és vízfogyasztás között egyes mezőgazdasági növényeknél. ÖTKI évkönyve. Szarvas, Mg. Kiadó, 1952. Vol. II. 28—51.
- Kolpakov, V. V.*, 1966: Effectivnoszt' orosenija i udobrenij v razlicsnüh zonah Evropejszkoj csaszti SZSZSZR. Biologiceszkije osznovü orosaemogo zemledelija. Izd. Nauki, Moszkva, 69—77. p.
- Mengel, K. and Kirkby, E. A.*, 1979. *Principles of plant Nutrition*. Internat. Potash. Inst., Bern.
- Olson, R.*, 1972: Maximizing the utilization efficiency of fertilizer N by soil and crop management. *Soils Bulletin* 16. Effects of intensive fertilizer use on the human environment, FAO, Roma, 34—52. p.
- Szász G.*, 1973: A termesztett növények vízigényének és az öntözés gyakoriságának meteorológiai vizsgálata *Növénytermelés*, Budapest, 22. No 3. 241—258. p.
- Tisdale, S. L. — Nelson, W. L.*, 1966: *A talaj termékenysége és a trágyázás*. Budapest, Mezőgazdasági Kiadó.
- Weise, K.*, 1979: Nährstoffauswaschungsverluste auf unterschiedlichen Standorten. *Arc. Acker-Pflbau. Bodenk.*, Berlin. 23. No 3. 163—171. p.

IDŐJÁRÁS

Az Országos Meteorológiai Szolgálat folyóirata. 91. évf. 2–3. szám. 1987. március–június
Journal of the Hungarian Meteorological Service. Vol. 91. No. 2–3 March–June 1987 Budapest

A műtrágyázás hatékonyságának időjárási feltételei

DÁVID ARANKA, Központi Meteorológiai Intézet, H–1525 Budapest, Pf. 38

Weather conditions of efficiency of fertilization. There is a close connection between efficiency of fertilizers and change of meteorological elements. So the purpose of agrometeorological researches is to explore the influence of weather and climate on efficiency of fertilization. Dose of fertilizers have an average maximum value which is determined by the climate, many years' average precipitation, soil moisture, air-temperature, soil-temperature, net radiation, etc. Moreover there is an actual maximum value of fertilizer doses, too, which changes as a function of weather from year to year. Basic connections between weather and efficiency of fertilization have had to be explored executing agrometeorological attempts under field circumstances to give maximum and optimum value of fertilizer dose determined by weather conditions. Connections between phenological (date and interval of phases), phenometric (leaf area, number of leaves, height of plant, wet mass growth, dry matter content, yield) parameters and temperature and moisture conditions were examined in stands with various doses of fertilizers. The experimental areas was chosen in a warm and dry part of the country, in Szarvas, in a wet and cool area, in Keszthely, and in Martonvásár, with a moderate climate. Temperature and precipitation have the biggest influence on efficiency or fertilization applied in fields. Results of researches and use in practice are presented in our paper.

*

A műtrágyázás hatékonyságának időjárási feltételei. Általános elv szerint a műtrágyák hasznosulása jelentősen az éghajlati elemek alakulásától függ; ezért az agrometeorológiai kutatások során vizsgáltuk az időjárás és az éghajlat hatását a műtrágya érvényesülésére. A műtrágya kijuttatandó mennyiségének van egy átlagos felső határa, amelyet az éghajlat, azaz a sokévi átlagos csapadék, talajnedvesség-készlet, lég- és talajhőmérséklet, sugárzásforgalom stb. alapján határoztak meg. Van emellett a műtrágyadózisnak egy tényleges felső határa amely évről évre változik az időjárás függvényében. Az időjárás által megszabott maximális és optimális műtrágyadózis meghatározása céljából mindenekelőtt szántóföldi agrometeorológiai kísérletekkel tisztáznunk kellett az időjárás és a műtrágya érvényesülés közötti alapösszefüggéseket. Ezért vizsgáltuk a fenológiai (fázisok bekövetkezése és hossza) és fenometriai paraméterek (levélfelület, levélszám, növénymagasság, nedves súlyváltozás, szárazanyag-tartalom, terméseredmény), valamint a hő- és nedvességellátottság kapcsolatát a különböző szinten műtrágyázott állományokban. Kedvező, hogy a kísérleti területeket úgy választottuk ki, hogy az egyik az ország legmelegebb, legszárazabb vidékén, Szarvason, a másik a nedvesebb, hűvösebb Keszthelyen, a harmadik az egyenletesebb éghajlatú Martonvásáron volt. Az eredmények szerint a hőmérséklet és a csapadék azaz időjárási elem, amely a leginkább hatással van a kijuttatott műtrágya hasznosulására. Tanulmányunk e katasztrófák eredményeiről, valamint az operatív gyakorlatban történő alkalmazásukról számol be.

*

Napjainkban a mezőgazdaság fejlődésének egyik feltétele, hogy minél többet hasznosítsa a korszerű technikát és a természetben ma már nélkülözhetetlen kemikáliákat. A kémiai anyagok tömeges felhasználása sok előny mellett kétségkívül jelentős hátrányokat és veszélyeket is hozott magával. Az ok-

szerű felhasználás sikere és eredményessége döntően függ attól, hogy helyesen alkalmazzuk, vagy befolyásoljuk azokat a tényezőket, amelyek a műtrágyák érvényesülését és ezzel egyidőben a növény kedvező növekedését és termését elősegítik. Ezek a tényezők: a talaj, az agrotechnika és az időjárás, s ebből az agrometeorológusok az időjárásnak és az éghajlatnak a műtrágya érvényesülésére gyakorolt hatását vizsgálják.

A műtrágya hatékonysága ugyanis még azonos talajon és azonos agrotechnika mellett is függ az időjárás alakulásától. Közvetlenül csak azok a tápanyagok vehetők fel a növény számára, amelyek talajoldatban vannak jelen. A gyökérhez történő tápanyagszállítás a tápion-koncentráción kívül nagymértékben függ a talaj nedvességétől. Minél szárazabb a talaj, annál hosszabbak a közbeeső diffúziós utak a gyökérig, és annál csekélyebb a tápanyagszállítás. Egyes kutatók szerint a tápanyagfelvétel a talajból szoros kapcsolatban van a légzéssel is, ezért a sugárzás- és hőviszonyok a műtrágya hasznosulásában is fontos szerepet játszanak. Mindezekből az következik, hogy bizonyos termikus faktorok (a napfénytartam, sugárzás, lég- és talajhőmérséklet) és higrikus tényezők (csapadék, talajnedvesség), azaz a termőtalaj hő- és vízháztartási rendszere segítheti, vagy hátráltathatja a talajba juttatott tápanyag oldódását, vándorlását, felvételét, vagyis érvényesülését.

Létezik a kijuttatandó műtrágyának egy *átlagos felső határa*, amit az *éghajlat* limitál. Értékét a sokévi csapadék és talajnedvesség-készlet, az átlagos lég- és talajhőmérséklet, a sugárzásforgalom befolyásolja. Ez a számérték felhasználható a tervezésben. Van azonban a kijuttatandó műtrágyának egy *tényleges felső határa*, amelyet az adott tenyészidőszak *időjárási viszonyai* szabnak meg. Ennek értéke száraz években kisebb, csapadékos esztendőben nagyobb az átlagos felső határnál. Az optimális hő- és csapadékellátottságú év időjárási rendszere definiálja azt a maximális felső határt, amelynél többet már nem érdemes kijuttatni az adott talajfajtán a gazdaságosság csökkenésének veszélye nélkül.

A témával kapcsolatos kutatásokat 1970-ben indítottuk el a *martonvásári* és a *szarvasi* obszervatóriumokban, majd 1972-ben létrehoztuk a tápanyaghasznosulás-időjárás kapcsolatának feltárása céljából a *keszthelyi* kutatóállomást, együttműködve a Keszthelyi Agrártudományi Egyetemmel. A kísérleti helyek megválasztása éghajlati szempontból szerencsésnek bizonyult: Szarvas hazánk egyik legmelegebb, aszályra hajlamos táján helyezkedik el, Keszthely a kevésbé meleg, csapadékosabb nyugati országrészeket képviseli, Martonvásár pedig éghajlati szempontból közepes helyet foglal el.

A kísérleti parcellák mérete a következő volt: Szarvason 200–300 m²-es, Keszthelyen 4000 m²-es kiscellák, Martonvásáron 49 m²-es mikroparcellák álltak rendelkezésünkre. Martonvásáron elsősorban a hőmérséklet befolyását vizsgáltuk, Szarvason és Keszthelyen a termikus tényezők mellett a higrikus faktorok: a csapadék, talajnedvesség és evapotranspiráció hatásának tanulmányozására is lehetőség nyílt.

Jelzőnövényünk mindhárom állomáson az MvSc 580-as hibridkukorica volt. A kísérletben alkalmazott, — a Keszthelyi Agráregyetem javaslata szerinti — műtrágyadózist — az *I. táblázatban* ismertetjük. Itt megjegyezzük, hogy a kísérletek megindulása előtt a dózisok megállapítása a Magyarországon várható műtrágya-felhasználás előrejelzésén alapult. Az általunk használt 480 kg/ha-os, ún. „nagy” dózis ugyan valamivel magasabb a tervezettnél, a megduplázott tápanyagoktól viszont azt vártuk, hogy az időjárás által előidézett különbségek szembetűnőbbek lesznek.

I. TÁBLÁZAT

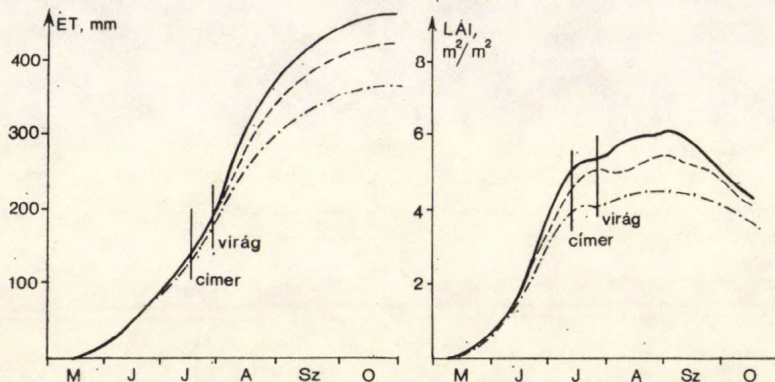
A kisparcellás kísérletekben alkalmazott műtrágyadózisok

Műtrágya	Adag, kg/ha		
	kis	közepes	nagy
Nitrogén (N)	50	100	200
Foszfor (P)	30	60	120
Kálium (K)	40	80	160
Összesen	120	240	480

Állomásainkon az *adatgyűjtés* részletes éghajlati, valamint fenológiai és fenometriai megfigyelésekre és mérésekre terjedt ki. A szabványos *meteorológiai* állomás észlelési feladatán kívül mértük a sugárzás- és hőháztartást, a talaj nedvességtartalmát, a párolgást és az evapotranspirációt. A parcellákon elhelyezett evapotranspirométerek (Keszthelyen pl. 24 darab állt a rendelkezésünkre) kiváloan alkalmasak arra, hogy a kukorica vízigényét a tápanyag- és csapadékellátottság függvényében vizsgáljuk. A *fenológiai* megfigyelésekkel a kukoricafejlődés különböző fázisainak a bekövetkezését kísértük figyelemmel, a *fenometriai* mérések pedig a növénymagasság, levélfelület, valamint a kukorica tömeggyarapodásának, majd termésének mérésére terjedtek ki. A talaj hőmérsékletét és nedvességét egyrészt talajfestéssel, illetve fehér és fekete fóliatakarással, másrészt különféle vízádagolással: vízszinttartással és öntözéssel befolyásoltuk. Ezekkel az eljárásokkal tulajdonképpen a különböző hőellátású és csapadékjárású éveket szimuláltuk.

A tapasztalatok szerint a melegebb, nedvesebb talajokon általában meg rövidült a fenológiai fázisok hossza. Ám azonos hő- és nedvességellátottságú, de különbözőképpen műtrágyázott állományok fenofázis hossza között az évek folyamán nem mutatkoztak egyirányú eltérések. Ebből azt a következtetést vontuk le, hogy *műtrágyázással a fenológiai fázisok hossza számottevően nem befolyásolható*.

Nagymértékben befolyásolja azonban a műtrágya mennyisége a lombzat növekedését és ezen keresztül az *evapotranspirációt*. A műtrágya növekvő szintjei



1. ábra: Különböző szinten műtrágyázott állományok evapotranspirációjának halmozott összegei (ET) és a levélfelület index (LAI). Keszthely 1973. (Folytonos vonal: nagy műtrágyaadag, szaggatott: közepes adag, pontozott vonal: műtrágyázatlan).

az évek többségében növelték a párologtató felület nagyságát, és ez a vízfogyasztás növekedését vonta maga után. Ezt példázzuk az 1973. évi keszthelyi adatokkal (1. ábra), ahol a különböző szinten műtrágyázott állományok evapotranspirációjának halmozott összegeit a relatív levélfelület tenyészidőszakbeli változásával vetettük össze. Az évek többségéhez hasonlóan a nagy műtrágyaadaggal kezelt kukorica fejlesztett nagyobb levélfelületet, ennek megfelelően az evapotranspirációja is nagyobb volt, mint a közepes tápanyagellátású állományé. A műtrágyázatlan kontroll evapotranspirométerekben a levélfelület alig haladta meg a $4 \text{ m}^2/\text{m}^2\text{-t}$, következésképpen vízfogyasztása is alatta maradt az előző kétőnek. A műtrágyázás okozta levélfelület-különbségek átlagosan két héttel címerhánnyás előtt kezdenek mutatkozni, a vízfogyasztásban pedig címerhánnyás előtt kb. egy héttel mérhető az eltérések a különböző szinten műtrágyázottak között.

Az evapotranspiráció tenyészidőszakbeli összegei a kísérleti évek átlagában az egyes műtrágyakezelésekben a következőképpen alakultak (II. táblázat).

II. TÁBLÁZAT

Az evapotranspiráció tenyészidőszakbeli összegei (mm) és a vízfogyasztástöbblet (%) különböző műtrágyadózisok esetén a kísérleti évek átlagában

Átlagos	Műtrágyadózisok			
	Ø	kis	közepes	nagy
Evapotranspiráció	405	425	460	486
Vízfogyasztástöbblet	—	5	12	17

A műtrágyázatlan állomány vízfogyasztása átlagosan 405 mm, a nagy adaggal kezelté 486 mm volt a kísérleti évek átlagában. A kontrollhoz viszonyított vízfogyasztás-többlet kis műtrágyaadagnál még csupán 5%, ám a nagy adaggal kezeltnél már 17%-nak adódott.

Az evapotranspiráció halmozott összegeit bemutató görbék (1. ábra) azt tanúsítják, hogy a növény vízfogyasztása a tenyészidőszak különböző szakaszaiban eltérő: amikor a görbe meredekebb, több vizet párologtat a kukorica, amikor laposabb, kevesebb a vízfogyasztás. A III. táblázatban a vízfogyasztás átlagos

III. TÁBLÁZAT

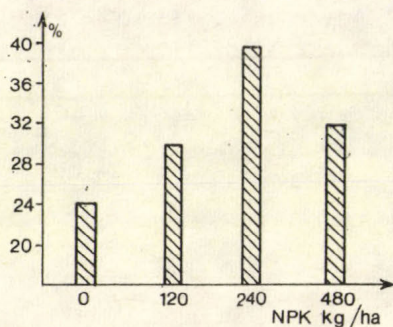
Az evapotranspiráció átlagos napi összegei fenofázisonként és műtrágyakezelésként mm/nap

Fenofázis	Műtrágyadózisok			
	Ø	kis	közepes	nagy
Kelés – címerhánnyás	2,5	2,6	2,7	2,7
Címerhánnyás – virágzás	3,3	4,0	4,6	5,2
Virágzás – érés	2,8	3,0	3,3	3,7

napi összegeit tüntették fel fenofázisonként és különböző műtrágyakezelésenként. Már a kezdeti fejlődés szakaszában (kelés-címerhánnyás) is mutatkozik bizonyos fokú vízigényeltérés a különböző szinten műtrágyázottak között. Legnagyobbak azonban a különbségek címerhánnyás-virágzás fázisában. Ebben a fázisban fogyaszt leg több vizet a kukorica egyrészt azért, mert ekkor legnagyobb a

levélfelülete, másrészt ez az időszak a növény fokozott életműködésének kritikus szakasza, amelyben általában több vizet igényel, mint életének más szakaszaiban. Nem utolsó sorban pedig ilyenkor júliusban rendszerint az időjárási körülmények is a fokozott vízfogyasztást segítik elő (magasabb hőmérséklet, nagyobb telítési hiány stb.). A levelek elszáradásával (a párologtató felület csökkenésével) azután az evapotranspiráció ismét csökken, átlagos napi összegei egyik műtrágyakezelésben sem érték el a 4 mm/napot.

Az evapotranspiráció műtrágyakezelésenkénti alakulása jól mutatja a *műtrágya vízigénynövelő hatását*. Tekintettel azonban a műtrágyázás és az öntözés nem csekély költségeire, a nagyobb műtrágyaszintet csak ott és akkor szabad alkalmazni, ahol és amikor ez kifizetődik, azaz megtérül a szemtermésben.



2. ábra: Különbözőképpen műtrágyázott kukorica szemtermése összes szárazanyag százalékában kifejezve (az adatok 15%-os nedvességtartalomra vonatkoznak)

A megnövelt asszimilációs felület hat a termés mennyiségére. A *termés-eredmények* összehasonlító vizsgálatakor szembevetendő az, hogy a műtrágya növekvő szintjei általában termésmenökedést eredményeznek. E termésmenökemény azonban évről évre változik az azonos fajta és agrotechnika ellenére. Figyelemreméltó az is, hogy jobb tápanyagellátás esetén az időjárás befolyása csökken, nő a termésbiztonság. Ennek ellenére a nagyobb műtrágyaadag nem volt minden esztendőben gazdaságos, sőt bizonyos esetekben depresszíven hatott; olyankor például, amikor a tenyészidőszak csapadéká 80–100 mm-rel kevesebb volt az átlagosnál. Csapadékos tenyészidejű években a tápanyag növelése minden esetben növelte a termésmennyiséget, de a növekedés üteme a magasabb NPK szintek felé mérséklődött.

A műtrágyaadagok felső határát tehát döntően befolyásolja a csapadékellátottság. A kísérleti adatokból arra lehet következtetni, hogy a hőmérséklet emelkedése nálunk csak akkor lehet akadály a műtrágyák hatékonyságának, ha a magas hőmérséklet elégtelen csapadékkal párosul.

Az alacsony hőmérséklet azonban már lehet korlátozó tényező is, különösen a kezdeti fejlődés szakaszán. A hideg időjárás késlelteti a talaj felmelegedését, és ezzel együtt a növény fejlődésének és a mikroorganizmusok tevékenységének megindulását.

Méréseink szerint a nagyobb műtrágyadózis a kukorica lombzatát a szemtermésnél nagyobb arányban növelte. A szemtermés kedvezőbb arányú növelésében jobbnak bizonyult a közepes dózis. Ezt igazolja a 2. ábra, ahol a szemter-

mést a kukorica összes szárazanyagának %-ában adtuk meg. Jól látható, hogy a közepesen műtrágyázott kukorica biológiai termésének közel 40%-a a hasznos szemtermés, ugyanakkor a nagy adaggal műtrágyázotté csupán 32%, a kis adagúé 30%, a műtrágyázatlan állományban pedig az összes szárazanyagának mindössze 24%-a a szemtermés. A felsorolt számadatok olyan állományokra vonatkoztak, amelyek csak a természetes csapadékot kapták. Amennyiben az állományokat öntöztük, a nagy adaggal kezelt kukoricában a szemtermés 35%-a lett az összes szárazanyagának, tehát még öntözéssel is kevesebb lett, mint az öntözetlen, közepesen műtrágyázott állomány szemtermése.

A következőkben egy olyan vizsgálat eredményeit ismertetjük, amely rávilágít a különböző műtrágyadózissal elért terméseredmények és a legfontosabb időjárási elemek kapcsolatára. E vizsgálat során Szarvason és Keszthelyen a nagy és közepes műtrágyaadaggal kezelt parcellákon öntözetlen viszonyok között elért terméseredményeket összevetettük a legfontosabb termikus és higrikus tényezőkkal: a vetést megelőző időszak, valamint a tenyészidőszak hőviszonyaival, a tenyészidőszak és az azt megelőző őszi és téli csapadékkal, valamint az érési időszak besugárzásával. A vizsgálat során a nagy és a közepes dózissal elért terméseredményeket nagyság szerint sorbaállítottuk, majd melléjük rendeltük a felsorolt éghajlati elemeket. Ezután bizonyos osztályközöket állapítottunk meg, amelyekben belül a termés kedvezően, vagy kevésbé kedvezően alakult az adott műtrágyaszinten.

A vetést megelőző időszak hőviszonyait március és április minimumhőmérsékletének számtani közepével jellemeztük. Ugyanis — mint már megjegyeztük —, a kezdeti fejlődés idején az alacsony hőmérséklet korlátozó tényező lehet a növény fejlődésében és a műtrágya hasznosulásában (IV. táblázat). Amikor e két hónap minimumhőmérsékletének közepe (T_{min}) meghaladta a 4 fokot, mind a nagy, mind a közepes műtrágyaadaggal kiemelkedően jó szemtermést kaptunk. Azokban az esztendőkből, amikor a vetést megelőző két hónap minimumainak átlaga 2 fok alatt maradt, ugyanezekkel a dózissal rendkívül alacsony termést kaptunk.

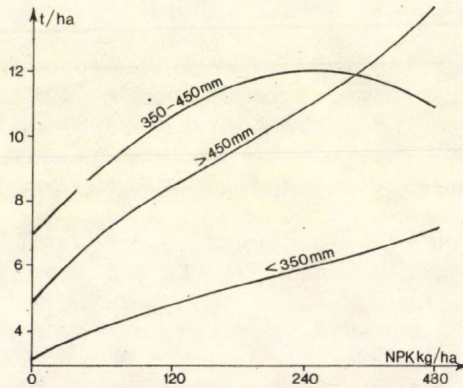
IV. TÁBLÁZAT

A legfontosabb időjárási elemek és a kukoricatermés kapcsolata kétféle műtrágyakezelés esetén

Időjárási elemek	Műtrágyadózis	
	480 kg/ha nagy	240 kg/ha közepes
\bar{T}_{min}	> 4 °C	14
	< 2 °C	7
\bar{T}	> 4 °C	14
	< 16 °C	9
Csapadék	> 450 mm	14
	> 350 mm	11
	< 350 mm	7
Csapadékösszeg	> 700 mm	14
	> 600 mm	10
	> 550 mm	8
	> 500 mm	6

A kukorica hőigényes növény, ezért minél melegebb a tenyészidőszak (\bar{T}), annál kedvezőbben fejlődik, és annál jobb a műtrágya érvényesülése. Mind a nagy, mind pedig a közepes műtrágyadózis akkor érvényesül a legjobban, amikor a tenyészidőszak hőmérséklete elérte, vagy meghaladta a 16 fokot. Kivételek az olyan esztendők, amikor a tenyészidőszak hőmérséklete meghaladta ugyan a 16 fokot, a műtrágyák mégsem érvényesültek megfelelően a talaj elégtelen nedvességtartalma miatt.

A talaj nedvességtartalma éghajlatunkon döntő tényezője a műtrágyák hasznosulásának. Keszthely és Szarvas térségében a tenyészidőszak 80 évi (1901–1980) csapadékatlaga között több, mint 100 mm az eltérés. Ez a 100 mm-es csapadéktöbblet Keszthelyen jelentősen megnöveli a nagyobb adagú műtrágyák hasznosulásának lehetőségét.



3. ábra: A tenyészidőszak csapadékanak hatása a különböző szinten műtrágyázot kukorica terméseredményére

Kísérleteinkben a nagy műtrágyaadag érvényesüléséhez legalább 450 mm/tenyészidőszak csapadékra volt szükség. Keszthelyen a csapadék 80 évi átlaga 479 mm, ott tehát a nagy műtrágyaadag alkalmazása éghajlati szempontból indokolt.

Azokban az esztendőkből, amikor a csapadék tenyészidőszakbeli összege 450 mm-nél kisebb volt, de még elérte a 350 mm-t, a közepes műtrágyaszint adta a legjobb termést. Ennek értelmében Szarvas térségében a 354 mm-es sokévi csapadék a közepes műtrágyaszintet jelöli az éghajlati szempontból optimális dózissnak. Természetesen az időjárás által meghatározott optimum ettől jelentősen eltérhet. Ha a tenyészidőszak csapadéka 350 mm-nél kevesebb, a műtrágya növekvő szintjei emelik ugyan valamivel a termés mennyiségét, ám a közepes és a nagy műtrágyadózis ilyen kevés csapadék mellett már nem gazdaságos. Ebben az esetben – az alkalmas időpontban kiadott – 100–120 mm öntözés segítheti a már kiszórt műtrágyák érvényesülését.

A műtrágyaadag-csapadék-termés kapcsolatot megkíséreltük grafikusán szemléltetni (3. ábra). A függőleges tengelyre a szemtermést vettük fel, a vízszintes tengelyen pedig a műtrágyaszintek szerepelnek. A görbék különböző csapadékosztályokat jelentenek. 350 mm-nél kevesebb csapadék esetén a műtrágya növekvő szintjei emelték ugyan a termés mennyiségét, de csak kis mértékben, így sem a közepes, sem pedig a nagy műtrágyaadag nem térült meg. 350–450 mm

közötti csapadékmennyiség a közepes műtrágyaszint érvényesülésének kedvezett, a 450 mm feletti csapadék pedig a nagy műtrágyaadag hasznosulását segítette elő. Figyelemreméltó az, hogy a 450 mm-nél bővebb csapadékok görbéje közepes helyet foglal el az ábránkon. Ez a csapadékösszeg ugyanis gyakran hűvösebb, napfényben szegényebb időjárással párosul, ami nem kedvez a növény fejlődésének és a műtrágya hasznosulásának. Itt tehát az alacsony hőmérséklet, a csökkent besugárzás a korlátozó tényező. Az ábra szerint az alacsony hőmérséklet kedvezőtlen hatása nagy műtrágyadózissal jelentősen javítható. Túlságosan nagy csapadékok esetén kedvezőtlen a nitrogénműtrágya fokozottabb kimosódása a gyökérszintből, ez a körülmény azután a kis és közepes műtrágyaszinteken már kedvezőtlen nitrogénkoncentrációt eredményez. Ebben az esetben csupán a nagy műtrágyaadag biztosítja a megfelelő tápanyagmennyiséget.

Visszatérve a IV. táblázathoz: a kísérleti évek során előfordult, hogy a tenyészidőszak csapadéka nem érte el az optimális 450 mm-t, mégis jól termett a nagy műtrágyadózissal kezelt állomány. Erre akkor kapunk magyarázatot, ha a téli csapadék mennyiségét is figyelembe vesszük. Kísérleti eredményeink szerint, ha a téli és a tenyészidőszakbeli csapadék összege elérte a 700 mm-t, a nagy műtrágyaadag jó termést adott. A közepes műtrágyaszint optimális érvényesüléséhez már 600 mm téli és nyári csapadékösszeg is elegendő volt.

A kukorica a kezdeti fejlődés szakaszában különösen hőérzékeny. Később, főként virágzás idején nagy a nedvesség igény. Virágzás után, amikor az érés megindul, a napfényes időjárás a kedvezőbb. Ezért a terméseredményeket az érési időszak (virágzás-érés fázis) besugárzásával is kapcsolatba hoztuk. Mind a nagy, mind a közepes szinten műtrágyázott állomány szemtermése akkor lett a legmagasabb, amikor az érési időszak globálsugárzása elérte, vagy meghaladta a 125 KJ/cm^2 -t.

Elmondhatjuk tehát, hogy a 480 kg/ha-os nagy műtrágyaadag megtérülésének feltételei:

- a vetés előtti két hónap minimumhőmérséklete elérje a 4 fokot,
- a tenyészidőszak középhőmérséklete legalább 16 fokos legyen,
- a tenyészidőszak csapadéka legkevesebb 450 mm legyen, vagy ha ez nem teljesül,
- a tenyészidőszak és az előző tél csapadékösszege meghaladja a 700 mm-t, és végül
- az érési időszakban megközelítőleg 125 KJ energia érkezzék az állomány egységnyi felszínére.

A közepes műtrágyaszint olyan körülmények között lesz gazdaságos, ahol és amikor a csapadék összege legfeljebb 100 mm-rel marad az optimális (450, illetve 700 mm) alatt. A közepes műtrágyadózis hő- és sugárzásigénye a nagyadagéhoz hasonló.

Az 1901–1980-as éghajlati adatsorból számított valószínűségi értékek szerint 450 mm-t meghaladó csapadéokra a tenyészidőszak folyamán Keszthelyen 56, Szarvason csupán 18%-os valószínűséggel számíthatunk. Ezzel szemben a tenyészidőszak hőmérséklete csak az évek 10%-ában korlátozó tényező Szarvason, Keszthelyen viszont az évek 28%-ában nem volt kielégítő.

Ha ehhez még számításba vesszük azt is, hogy a kísérleti évek átlagában a megduplázott hatóanyag csupán 12%-os terméstöbbletet eredményezett, akkor arra a következtetésre jutunk, hogy éghajlati feltételeink között a 240 kg/ha-os, ún. közepes műtrágya térül meg biztonságosan, a 480 kg/ha-os nagy műtrágyaadag az évek többségében nem volt gazdaságos.

IDŐJÁRÁS

Az Országos Meteorológiai Szolgálat folyóirata. 91. évf. 2–3. szám. 1987. március–június
Journal of the Hungarian Meteorological Service. Vol. 91. No. 2–3 March–June 1987 Budapest

A szőlő hazai sík-, hegy- és dombvidéki termőhelyeinek agroklimatológiai értékelése

CSAPÓ PIROSKA és KOZMA FERENC, Központi Meteorológiai Intézet,
H–1525 Budapest, Pf. 38

Agroclimatological evaluation of the Hungarian vineyards are situated on the plains in hilly country and in mountainous region. All the Hungarian vineyards are situated in the north boundary zone of the vine growth, so the lower and upper frontier of the economical growth are determined by the site's height above sea level. The absolute value of the upper frontier is modified by slope angle and exposition. The lower frontier can be found on the plains and on the foothills, where the length of the frost-free period and winter frost damage don't restrict the economical growth. The vineyards on the plains belong to the warm and moderate warm region according to the Hungarian climate regions. The vineyards are situated in the hilly and mountainous country belong to the moderate warm region in part in bulk to the moderate cool region. According to this the best sites would be situated on the plains because of the optimum temperature and radiation supply in the vegetation period unless the frequent early autumn and late spring frost and critical winter temperature reduced the yield and the quality. The slope exposition modifies the temperature and radiation conditions and moderates the temperature extremities in many cases. The security of the production is better in vineyards of good slope exposition are situated in hilly and mountainous country so they are the so called optimum growth site. It is demonstrated by earlier and present agroclimatological investigations.

*

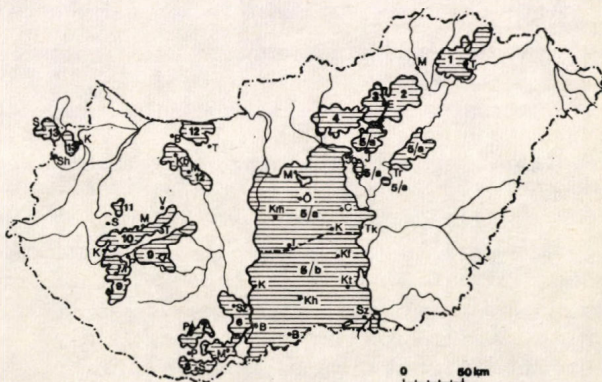
A szőlő hazai sík-, hegy- és dombvidéki termőhelyeinek agroklimatológiai értékelése. Szőlőültetvényeink teljes egészükben a természetesség északi határzónájába esnek, itt a természet gazdaságosságának alsó és felső határát a termőhely tengerszint feletti magassága szabja meg. Hegy-dombvidéki területeinken a felső határ abszolút magasságát a lejtőirány és a lejtőszög módosítja. Az alsó határ az alföldi és a hegylábi ültetvények mélyenfekvő területein húzódik, vagyis ott, ahol a fagymentes időszakok hossza és a téli fagykárak a gazdaságos termesztést még nem teszik kétségesé. Éghajlati övezeteinket figyelembe véve az alföldi és síkvidéki szőlőterületeink szinte kivétel nélkül a meleg és mérsékelt meleg körzetekbe tartoznak. A hegy-dombvidéki szőlőtermesztés kisebb részben a mérsékelt meleg, nagyobb részben a mérsékelt hűvös körzetekben folyik. Ennek megfelelően a vegetációs időszak optimális hőmérsékleti és sugárzási ellátottsága miatt az alföldi területeken alakulnának ki a legjobb termőhelyek, ha a gyakoribb tavaszi-őszi fagyok és kritikus téli hőmérsékletek gyakorta nem csökkentenék a termés mennyiségét és nem rontanák a minőséget. Az expozíció módosítja a hőmérsékleti és sugárzási viszonyokat, valamint sok esetben csökkenti a hőmérsékleti szélsőségeket. Éppen ezért a hegy-dombvidéken levő, jó expozíciójú ültetvényekben nagyobb a termelésbiztonság, ezért elsősorban ezek az optimálisnak nevezhető termőhelyek. A korábbi és legújabb agroklimatológiai vizsgálataink is ezt bizonyítják.

*

Magyarországon 16 történelmi borvidék található. Ezek közül mindössze egy van síkvidéken, vagyis az Alföldön, mégis az összes szőlőültetvényünknek mintegy 40–45%-a itt, – jórészt a Duna–Tisza közén – található. A többi, vagyis 15 borvidék az ország különböző éghajlati körzetében a hegy- és dombvi-

dékekhez kötődik. Ez azonban nem jelenti azt, hogy hegy- és dombvidéki ültetvényeink mindegyike hegyoldalakon, lankás domboldalakon díszlène. Egy részük, — sajnos jelentős részük —, a heglýábi sík, vagy közel sík területeken található (1. ábra). A térképen csak 13 borvidéket tüntettünk föl, mert a Balatonfüred — Csopak és a Badacsony — Balatonmellék, valamint a Bársonyos — Császár és a Mór borvidéket összevontuk.

1. ábra: Magyarország történelmi borvidékei: 1. Tokaj-Hegyalja, 2. Bükkalja, 3. Eger, 4. Mátraalja, 5/a. Észak-Alföld, 5/b. Dél-Alföld, 6. Szekszárd, 7. Mecsek, 8. Villány — Siklós, 9. Dél-Balaton, 10. Badacsony — Balatonfüred — Csopak, 11. Somló, 12. Bársonyos — Császár — Mór, 13. Sopron.



Az egyes borvidékekhez tartozó meteorológiai állomások felsorolását az I. táblázat tartalmazza.

Borvidékeink, szőlőültetvényeink az ország majd mindegyik éghajlati körzetében — a meleg-száraztól, a mérsékeltén hűvös-nedvesig — megtalálhatók, de közös jellemzőjük, hogy klimatikus szempontból valamennyi a természetesség északi határzónájába esik. Éppen ezért az időjárás szélősége miatt gyakorta kritikussá válik a természetesség, s kétségesse a természetesség gazdaságossága. Megközelítõen kiegyenlített termés, és évrõl évre elfogadható minõség csak a jó termõhelyeken történõ természetességgel érhetõ el. (Nem a meteorológusok feladata, de semmiképp nem hagyható figyelmen kívül a fajta és a mûvelésmód szerepe sem.)

A mi éghajlatunk alatt a szõlõtermesztésben fokozott jelentõséget kell tulajdonítani a termelésbiztonságnak és az évjárathatás kialakításának. A termelésbiztonságot jórészt, míg az évjárathatást kizárólag a meteorológiai tényezõk, vagy a meteorológiai paraméterekre közvetlenül ható egyéb tényezõk (pl. expozíció) alakítják ki. Amennyiben a természeti csapásnak számító idõjárás je-

I. TÁBLÁZAT

A borvidékekhez tartozó meteorológiai állomások

- | | |
|---|--|
| 1. Tokajhegyalja: Tokaj | 6. Szekszárd: Szekszárd |
| 2. Bükkalja: Miskolc | 7. Mecsek: Pécs, Árpádtető, Mohács |
| 3. Eger: Eger, Kompolt | 8. Villány — Siklós: Siklós |
| 4. Mátraalja: Eger, Kompolt | 9. Dél-Balaton: Marcali, Siófok, Fonyód |
| 5/a. Észak-Alföld: Monor, Kunszentmiklós, Örkény, Kecskemét, Tiszakécske, Jászberény, Jászapáti, Tiszaroff, Cegléd, Izsák | 10. Badacsony, Balatonfüred — Csopak: Veszprém, Tihany, Mencshely, Keszthely |
| 5/b. Dél-Alföld: Kiskunfélegyháza, Kiskunhalas, Kalocsa, Kistelek, Bácsalmás, Baja | 11. Somló: Sümeg |
| | 12. Bársonyos — Császár — Mór: Komárom, Kisbér, Mór, Tatabánya, Bábolna |
| | 13. Sopron: Sopron, Sopronhorpács, Kapuvár |

lenségeket (pl. jégeső, szélvihar, belvív) nem vesszük figyelembe, akkor a termelésbiztonságot a következő főbb meteorológiai tényezők befolyásolják:

- a nyugalmi időszak hőmérsékleti viszonyai (téli erős felmelegedések és lehülések, és ezek gyors egymásutánisága),
- a tenyészidőszak fagyviszonyai (tavaszi – őszi fagyok),
- csapadékviszonyok.

Az évjáráthatást kialakító legfontosabb meteorológiai tényezők:

- a tenyészidőszak hőmérsékleti, sugárzási viszonyai, és e két tényező időbeli alakulása,
- a csapadékviszonyok, és a csapadék időbeli eloszlása.

Mind a termelésbiztonságot, mind az évjáráthatást kialakító meteorológiai tényezőkre közvetlenül hat a lejtők iránya és dőlése, vagyis az expozíció.

A korábban már említett elemi csapásnak számító időjárási jelenségeket, az optimális termőhelyek kijelölésénél nem, vagy csak másodlagosan vehetjük figyelembe. Ugyancsak másodlagosan képezheti az optimális termőhelyek kijelölésének alapját a csapadékviszonyok és a csapadékkellátottság vizsgálata, hiszen a csapadék a meteorológiai elemek közül az egyik legszélsőségesebb tér- és időbeli eloszlású. Ez azonban nem jelenti azt, hogy a csapadékkellátottságra vonatkozó vizsgálatokat teljes mértékben el kell hagyni. Adott esetben előfordulhat, hogy éppen a csapadékviszonyok elemzése szolgáltatja a legfontosabb kiegészítő információt ahhoz, hogy eldönthessük, egy terület valóban optimális termőhelynek nevezhetünk-e. A termelésbiztonság szempontjából kritikus időszak a teljes nyugalmi periódus. A téli erős lehülések, különösen, ha viszonylag enyhe hőmérsékleteket követően hirtelen lépnek fel, jelentősen károsíthatják a rügyeket.

Ugyancsak kritikus a rügyfakadás utáni és a szüret előtti időszak. A tenyészidőszak elején és végén a 0 °C alatti hőmérsékletek fellépésének tanulmányozása és elemzése segíthet bennünket abban, hogy a biztonságos, jó termőhelyeket megtaláljuk.

Az évjáráthatás elemzésénél négy olyan időszak vizsgálata szükséges, amelynek meteorológiai viszonyai a kiegyenlítettten jó termés mellett a minőségi paramétereket elsődlegesen befolyásolják:

- rügyfakadás utáni (április),
- virágzás és kötődés alatti (június),
- zsendülés és érés közötti (augusztus – szeptember),
- szüret előtti (szeptember vége október eleje).

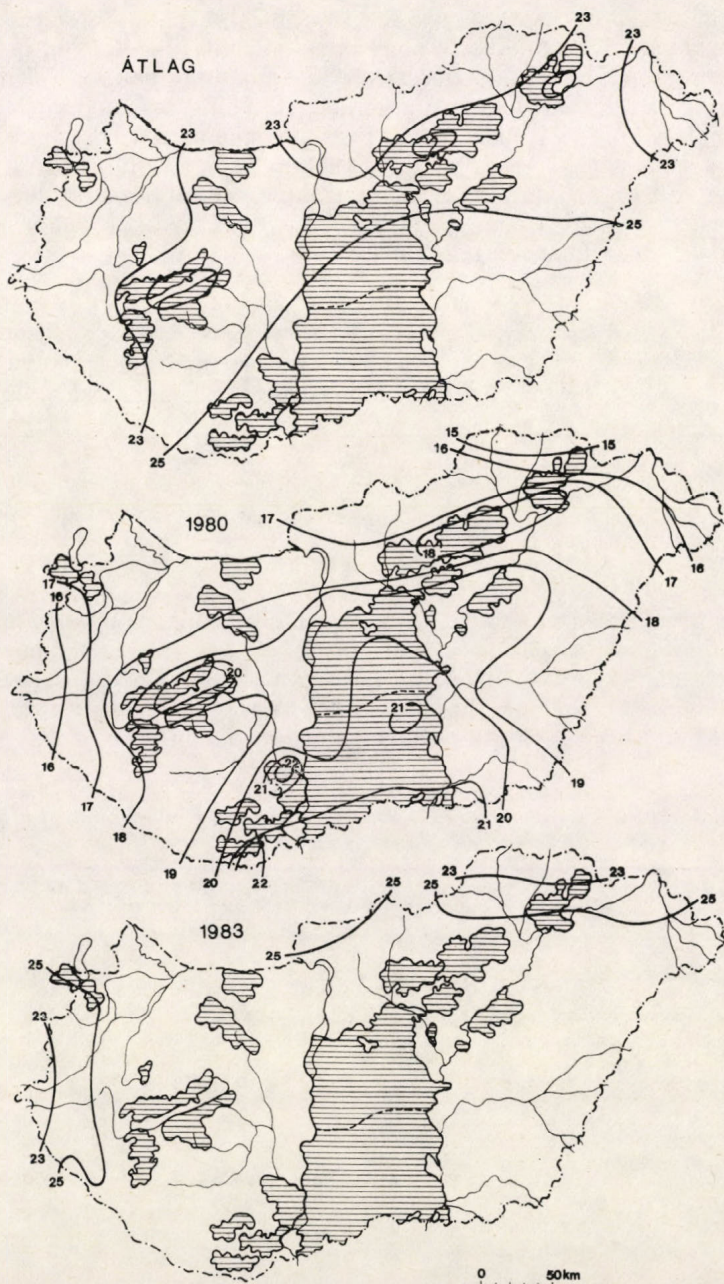
Tanulmányunkban nem vállalkozhatunk teljes és részletes elemzésre, de mindazokat a meteorológiai paramétereket kiemeljük, amelyek elsődlegesen meghatározói a termelésbiztonságnak és az évjáráthatásnak, vagyis az optimális termőhelyek kijelölésének.

Az évjáráthatást kialakító meteorológiai tényezők közül először a tenyészidőszak hőmérsékleti és sugárzási viszonyait vizsgáljuk meg. A szőlőültetvények és a borvidékek hőmérséklet-, és sugárzás-ellátottságának jellemzésére az ún. *radiotermikus* (R) indexet használjuk:

$$R = A \cdot G \cdot 10^{-2} / n,$$

ahol A -aktív hőmérsékleti összeg (°C), G -globálsugárzás (MJ/m²), n -napok száma. Tapasztalataink szerint az R -index megbízható klimatikus jellemzőszám.

1950-től a tenyészidőszak (április 1 – szeptember 30) R -indexét folyamatosan kiszámítottuk, így lehetőségünk nyílt a 30 évi átlag (1951–80) előállítására (2a. ábra).



2. ábra: Az R -index 30 évi (1951–1980) átlagai, valamint értékei a szőlőtermesztés szempontjából nagyon rossz 1980. év és a nagyon kedvező 1983. év tenyészidőszakában.

R értékei három kategóriába sorolhatók: $R > 25,0$; $23,0 \leq R \leq 25,0$; és $R < 23,0$.

Amennyiben a tenyészidőszakra vonatkozóan a radiotermikus index értéke nagyobb mint 25,0, a hőmérséklet és sugárzásellátottság kiváló és így tovább, ha R értéke 23,0–25,0 között van jó, ha kisebb mint 23,0, akkor rossz. Térképünk alapján tehát jól szemlélhető, hogy borvidégeink hőmérséklet és sugárzásellátottság szempontjából szőlőtermesztésre általában hogyan minősíthetők.

Az egyes évek tenyészidőszakaira vonatkozó R -index értékek jelentős mértékben eltérnek a 30 évi átlagértéktől. Erre példaként a 80-as évekből választottunk ki két szélsőséges évet, 1980-at és 1983-at (2/b, c ábra).

1980-ban volt az utóbbi évtizedek egyik legrosszabb hőmérsékleti és sugárzásellátottságú tenyészidőszaka. A síkra vonatkozó R értékek ekkor sehol nem érték el még a 23,0-as küszöbértéket sem.

II. TÁBLÁZAT

A különböző lejtőszögek R-indexet módosító hatása

Állomás	30 évi átlag	Délies lejtő	
		5° (9%)	20° (36%)
Kiskunfélegyháza	27,4	—	—
Kiskunhalas	27,4	—	—
Kecskemét	26,0	—	—
Badacsony	25,2	27,0	30,7
Eger	24,7	26,4	30,1

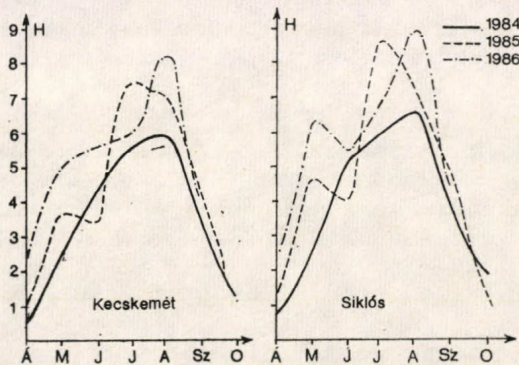
A másik kiválasztott év az 1983-as. Már a sík területre vonatkozó R -index értékek is mindenütt magasak, s több borvidégeink majdnem mindegyikén meghaladják a 25,0-as küszöbértéket. Ha még a lejtőhatást is figyelembe vesszük, akkor megállapíthatjuk, hogy az 1983-as tenyészidőszak az összes borvidékünkön kiváló hőmérsékletű és sugárzás ellátottságú volt.

III. TÁBLÁZAT

Az R radiotermikus index 30 évi (1951–1980) átlagai és az 1980-ra kiszámított értékei síkra és 15°-os délies lejtőre a magyarországi borvidégeken

Borvidékek	\bar{R} , 30 évi átlag		R 1980	
	Sík	Délies lejtő (15%)	Sík	Délies lejtő (15%)
Tokaj-Hegyalja	25,4	28,4	18,0	20,2
Mátraalja	25,4	28,4	17,9	20,1
Eger	24,3	27,2	17,2	19,3
Bükkalja	22,1	24,8	16,4	18,4
Észak-Alföld	25,5	—	19,9	—
Dél-Alföld	27,0	—	20,8	—
Szekszárd	26,3	29,5	22,2	24,6
Mecsek	24,7	27,7	19,9	22,3
Villány-Siklós	27,2	30,5	22,0	24,6
Dél-Balaton	25,4	28,4	20,3	22,7
Badacsony-Balatonfüred-Csopak	25,3	28,3	20,4	22,9
Somló	—	—	19,9	22,3
Bársonyos-Császárs-Mór	23,0	25,8	17,7	19,8
Sopron	20,8	23,3	17,2	19,3

Közismert, hogy az expozíció, azaz a különböző lejtőszögek a hőmérséklet- és sugárzásellátottságot – amit mi az R index értékeivel fejezünk ki – valamely területen jelentősen módosítják. E módosító hatás mértékét két dombvidéki borvidékünkön (Badacsony, Eger) a II. táblázat mutatja be, ebben összehasonlításként közöljük három alföldi állomás R -indexét is. Látható, hogy Badacsony esetében egy 5 fokos délies irányítottságú lejtőn már közel olyan ellátottságot kapunk, mint a legjobb síkvidéki állomásokon (Kiskunhalas, Kiskunfélegyháza: 27,4), közepes (20 fokos) délies lejtővel számolva pedig a legjobb síkvidéki értéket meghaladó R -index átlagot kapunk.



3. ábra: A szőlő virágzásának és kötődésének időszakára jellemző H heliothermikus index menete 1984., 1985., 1986., tenyészidőszakában.

III. táblázatunk az R index tenyészidőszakra vonatkozó 30 évi (1951 – 1980) átlagait és az 1980-as értéket tartalmazza a borvidékeken, síkfelszínre és 15%-os délies irányítottságú lejtőkre.

Ami az átlagokat illeti a délies irányítottságú lejtőkön elhelyezkedő ültetvények hőmérsékleti és sugárzási ellátottsága néhány kivételt nem tekintve (Bársonyos – Császár – Mór, Bükkalja, Sopron) jobb, mint az Alföld déli részén levő ültetvényeké.

Az 1980-as év tenyészidőszakában pedig látható, hogy az expozíció módosító hatásának eredményeként a Szekszárd és a Villány – Siklós környéki borvidéken, valamint a Balaton környékén még jó, ill. közel jó hőmérséklet- és sugárzásellátottság mutatkozott.

Eddig ismertetett példáinkban a tenyészidőszak egészének hőmérsékleti és sugárzásellátottságára vonatkozó megállapításokat tettünk. Ismeretes, hogy e két tényező időbeli alakulásának is fontos szerepe van az évjárathatás kialakításában. Az R -index értékek havi, ill. kéthavi felbontása nem bizonyult teljes mértékben elegendőnek a kritikus – a bevezetőben is említett – időszakok vizsgálatához. Legújabb vizsgálataink szerint az ún. heliothermikus index (H) alkalmasabb a szőlőtermesztés számára kritikus időszakok tanulmányozására:

$$H = A \cdot rN/n$$

ahol A -aktív hőmérsékleti összeg, rN – relatív napfény (tényleges napfénytartam és a csillagászatilag lehetséges napfénytartam hányadosa), n -napok száma az adott hónapban.

3. ábrákon a legutóbbi három tenyészidőszak havonkénti H értékét szemléltetjük. Az 1984 évi H értékek átlagos menetet mutatnak, Siklóson és Kecske-méten is. Az alacsony értékek jelzik, hogy napfényben szegény, kissé hűvös időjárás volt ebben a tenyészidőszakban. Az 1985-ös és 1986-os H -menetnél a júniusi alacsony értékek érdemelnek figyelmet. Mindkét évben a hűvös június miatt a szőlőfajták egy része rosszul kötődött. A H -index tehát alkalmasnak látszik a virágzás és kötődés időszakának jellemzésére. A H érték alakulásának vizsgálata még részletes és hasznos információt ad a kritikus időszakokról, de ennek teljes kifejtésére ez alkalommal nem térünk ki.

Az évjáráthatást kialakító meteorológiai tényezők közül még a csapadékviszonyokról és a csapadék időbeli leoszlásáról kell röviden szólnunk. A *Szeljaninov* (1930) által bevezetett hidrotermikus koeficiens (HTK) segítségével egy-egy terület csapadék- és hőviszonyainak együttes hatása mérhető fel.

$$HTK = 10 \cdot \sum P / \sum t_0,$$

ahol $\sum P$ – a csapadék havi összege, $\sum t_0$ – hőmérsékletösszeg.

A szőlő szempontjából optimális termőhelyek kijelölése során azonban nem elegendő az ha a tenyészidőszak hónapjainak HTK értékeit csak külön-külön vizsgáljuk. A májustól szeptemberig terjedő időszakban fontos szerepe van annak is, hogy hány ún. száraz hónap követi egymást. Feldolgozásainkban a szőlőtermesztés irodalmából jól ismert két kritikus HTK értékkel dolgoztunk:

- $HTK \leq 0,6$ – nagyon száraz hónap
- $HTK < 1,0$ – száraz hónap.

Megállapítottuk, hogy Alföldünkön gyakrabban követi egymást több száraz, sőt nagyon száraz hónap. Dombvidéki ültetvényeinken több egymásutáni száraz hónapnak is kisebb a valószínűsége, több egymásutáni nagyon száraz hónap pedig alig várható.

A továbbiakban még a termelésbiztonságot érintő igen fontos, kérdéssel kell foglalkoznunk részletesebben, nevezetesen a nyugalmi időszak hőmérsékleti viszonyainak elemzésével.

A nyugalmi periódusban a szőlővesszők- és rügyek jól tűrik a fagypon alatti hőmérsékletet, de bizonyos kritikus érték alatt már a rügyek jelentősen károsodhatnak, sőt el is pusztulhatnak. Erős, tartós lehülés esetén nemcsak a rügyek, hanem a vesszők, karok, sőt a törzsek is károsodhatnak. 1984/85 tele például, – ennek részletesebb elemzésére még visszatérünk – szomorú példát szolgáltatott erre.

Először borvidékeinket fagyveszélyesség szerint osztályoztuk. Erre a célra korábban az éghajlati adatok területi eloszlását használtuk fel (–17 és –21 °C alatti hőmérséklet-eloszlás a nyugalmi időszakban, külön a mély- és külön a kényszernyugalom idején). 1983-ban új módszert dolgoztunk ki a borvidékek fagyveszélyességének jellemzésére. A *fagyindex* (F) kidolgozásakor abból indultunk ki, hogy a szőlő számára a nyugalmi időszakban mi kedvező és mi kedvezőtlen. Közismert, hogy kedvezőtlen hatása van az igen erős, tartós lehüléseknek, de ugyanígy zavart okoznak a nyugalmi időszakban bekövetkező meleg szakaszok, és különösen veszélyes, ha egy viszonylag meleg időszakot hirtelen, minden átmenet nélkül erős lehülés vált fel. El kellett döntenünk, hogy mit nevezünk meleg szakasznak, és mit hidegnek. A választott két küszöbérték a +10 °C és a –10 °C. (+10 °C köztudottan a szőlő biológiai nullafoka.)

Az F -index számítása a következőképpen történt: 1979/80, 1980/81 és 1981/82 nyugalmi időszakának napi maximum- és minimum-hőmérsékleteit áttekintve, kiválasztottunk minden olyan napot, amikor a maximumhőmérséklet meghaladta a $+10\text{ }^\circ\text{C}$ -ot és minden olyan napot, amikor a minimum hőmérséklet $-10\text{ }^\circ\text{C}$ alá süllyedt. Mindhárom télen találtunk egy-egy olyan periódust, amikor a meleg időszakot hirtelen erős lehűlés váltotta fel. Erre a három periódusra számítottuk ki az F értékeket, majd ezek alapján az átlagos F -indexet.

$$F = \frac{\sum_{i=1}^j t_{\max_i}}{j} - \frac{\sum_{i=1}^k t_{\min_i}}{k} \left(1 - \frac{\sum_{i=1}^m v_i}{m} \right),$$

ahol t_{\max_i} napi hőmérsékleti maximum a felmelegedési szakaszban, t_{\min_i} = napi hőmérsékleti minimum a lehűlési szakaszban,

$$v_i = \begin{cases} 0, & \text{ha } t_{\min_i} \geq -10^\circ\text{C}, \\ (t_{\min_i} + 10)/10, & \text{ha } t_{\min_i} < -10^\circ\text{C}, \end{cases}$$

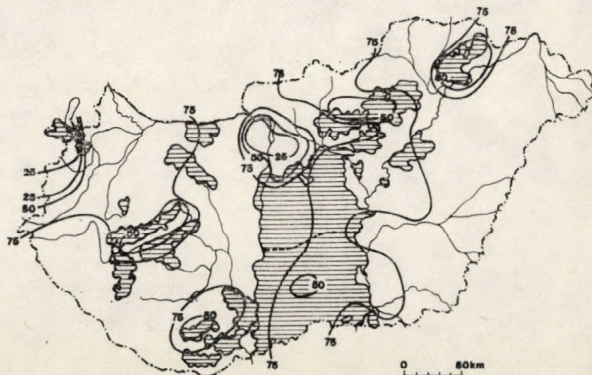
j, k, m = a napok száma. Az \bar{F} alapján borvidégeink a *IV. táblázat* szerinti

IV. TÁBLÁZAT

*Magyarország borvidégeinek rangsorolása fagyveszélyességük szerint
(Az F -index 1979/80., 1980/81. és 1981/82. évi értékei alapján)*

Fagykár				
nem várható	szórványos	közepes	erős	igen erős
Badacsony – Balatonfüred – Csupak Dél-Balaton	Tokaj-Hegyalja Sopron Somló Mecsek Szekszárd	Bársonyos – Császárszár – Mór Villány – Siklós Dél-Alföld Eger	Észak-Alföld Mátraalja	Bükkalja

módon rangsorolhatók fagyveszélyesség szempontjából. A dunántúli ültetvények nagy részében és a Tokaj-Hegyalján nem, vagy csak szórványosan várható fagykár. Erősen fagyveszélyes az Alföld középső és északi része. Hasonló kategóriába



4. ábra: Az F_m -index alapján becsült rügykárok mértéke (%)
1984/85 telén.

esik a Mátraalja. Jól kitűnik környezetéből Tokaj-Hegyalja borvidék kedvező helyzete. Ezzel szemben a Bükkalján levő borvidék igen erősen fagyveszélyeztetett. Meg kell azonban jegyeznünk, hogy a borvidék területén egyetlen meteorológiai állomás sincs, legközelebb a miskolci főállomás van, ennek adatai azonban nem tekinthető az egész borvidékre reprezentatívnak.

A téli fagyveszélyesség- vizsgálat során okvetlenül meg kell említenünk az 1984/85-ös téli nyugalmi periódusban bekövetkezett, súlyos fagykárokat. A téli zord időjárás rendkívül súlyos károkat okozott nemcsak a rügyekben, hanem a termővesszőkben is, sőt a törzsek és karok egy része is elpusztult. Ez a természeti csapás olyan területeket (Baranya, Tolna, Somogy, Zala megye) is érintett, amelyek egyébként nem erősen fagyveszélyeztetettek. 4. ábránkon a hőmérsékleti adatok alapján becsült rügykárértékeket mutatjuk be. Fagykárbecslő indexünk F_m annyiban különbözik a korábban már említett F indextől, hogy a téli erős felmelegedések és erős lehűlések mellett figyelembe veszi a két időszak között eltelt semleges hőmérsékletű napok számát is. A fagykárbecslést 1979/80 telétől folyamatosan végezzük. A szőlő termőhelyeinek agroklimatológiai értékelésében végzett sokévi munkánk eredményei különösen a síkvidéki ültetvények szempontjából jók, de a hegy- dombvidéki ültetvényekre is kielégítő pontosságúak.

IDŐJÁRÁS

Az Országos Meteorológiai Szolgálat folyóirata. 91. évf. 2–3. szám. 1987. március–június
Journal of the Hungarian Meteorological Service. Vol. 91. No. 2–3 March–June 1987 Budapest

Energiaháztartás-mérések tölgyerdőben*

JUSTYÁK JÁNOS, Kossuth Lajos Tudományegyetem, Meteorológiai Tanszék
H-4010 Debrecen, Nagyerdei krt.

Energy balance measurements in a forest of oak (Síkfőkút project) An increased emphasis has been laid on energy balance measurements above surfaces of various kind in micrometeorology over last decade. Few elements of energy balance have been measured in natural forest of oak are presented in Hungary the first time. The investigation of energy balance of forests completing with ecological, pedological and plant community examinations are indispensable to forestry. The importance of investigations are increased by great role of forests paying in determination of surface energy and water balance (27% of our planet dry land surface is covered by forest). Samples are shown change of net radiation balance and its elements, about albedo and annual variability of intercepted and transmitted radiation in this paper. Not only the daily range of the thermal stratification but the dependence of the temperature and the wind profile on phenological state of forest and weather situation are discussed as well. Some values of friction velocity, turbulent heat exchange and evapotranspiration have been computed based on our measurements are presented. A comparison of results in other countries with ones of own finishes the paper.

*

Energiaháztartás-mérések tölgyerdőben. A különböző felszínek energiaháztartásának mérése az utóbbi évtizedben mind jobban előtérbe került a mikroklimatológiában. Hazánkban most először mutatjuk be az energiaháztartás egyes összetevőinek természetes tölgyerdőben mért adatait. Az erdők energiaháztartásának vizsgálata – ökológiai, talajtani és növény-társulási vizsgálatokkal kiegészítve – az erdőgazdálkodás számára nélkülözhetetlen. A vizsgálatok jelentőségét fokozza, hogy az erdő fontos szerepet tölt be a felszín energia- és vízháztartásának kialakításában (földünk szárazföldi felületének 27%-át erdőfelületek borítják). Tanulmányunkban szemelvényeket mutatunk be a teljes sugárzási egyenleg és összetevőinek szezonális változásairól, valamint az albedó és elnyelt és átbocsájtott sugárzás évi menetéről. Ismertetjük a termikus rétegződés napi menetének, a hőmérsékleti- és szélprofiloknak az erdő fenológiai állapotától, az időjárás alakulásától függő változását. Méréseink alapján közöljük a surlódási sebesség, a turbulens hőforgalom és az evapotranspiráció számításainak néhány eredményét. Végül a saját és a külföldi eredmények összehasonlítását is.

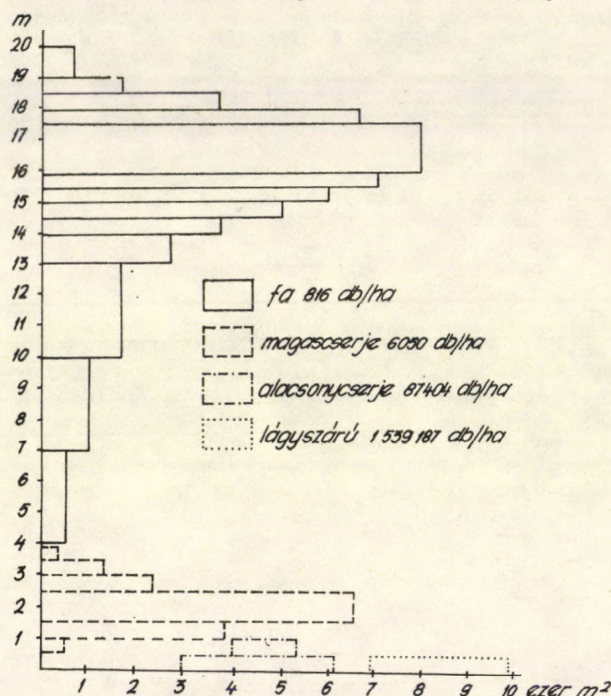
*

A különböző felszínek energiaháztartásának mérése az utóbbi évtizedekben mind jobban előtérbe került a mikroklimatológiában. Hazánkban viszont először mutatunk be olyan mérési eredményeket természetes tölgyerdőben, amelyek az energiaháztartás egyes összetevőinek alakulására vonatkoznak.

Az erdők energiaháztartásának vizsgálata – ökológiai, talajtani és növény-társulási vizsgálatokkal kiegészítve – az erdőgazdálkodás számára nélkülözhetetlen. A vizsgálatok jelentőségét fokozza még az a körülmény is, hogy az erdő fontos szerepet tölt be a felszín energia- és vízháztartásának kialakításában (földünk szárazföldi területének 27%-át erdőterületek borítják).

* Síkfőkút Project, No. 106

1. Az erdőklíma-vizsgálatok helye, leírása. A mikrometeorológiai megfigyeléseket Síkfőkúton – a Bükk hegységben – 1972-ben kezdtük meg és azóta is folynak. A vizsgálatok kapcsolódnak hazánkban „Az ember és természeti környezetének védelme (bioszféra)” című országos távlati tudományos kutatási tervhez.



1. ábra: A síkfőkúti erdő függőleges és vízszintes szerkezete, lombborítása, Jakucs után (1973, 1985).

E nagy keretben szervezte meg a KLTE Ökológiai Tanszéke azt az interdiszciplináris, komplex környezetbiológiai kutatási témát, amelynek megnevezése: „Domsági tájakra jellemző tölgyes ökoszisztéma időbeni komplex kutatása a természetestől a kultúrállapotig”, röviden „Síkfőkút Project” (Jakucs, 1973).

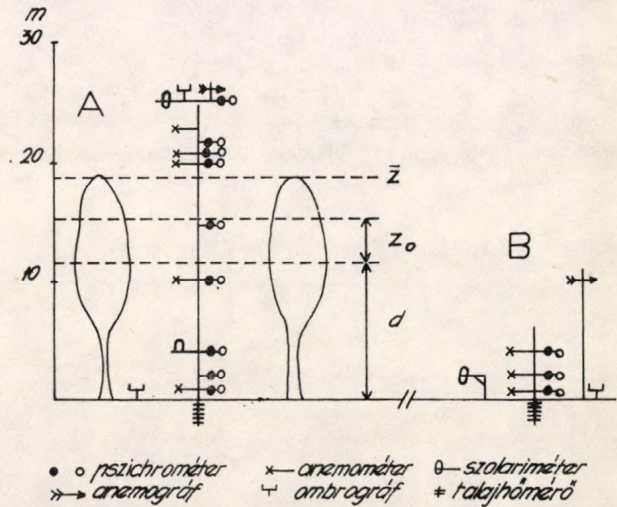
A síkfőkúti modellterület 270–300 m magas dombidék a Bükk hegységben. A vizsgálatok kezdetén (1972) az erdő 65 éves volt, sarjeredetű, homogén cseres-tölgyes (*Quercetum petraeae-cerris*) társulás. A hektáronkénti törzsszám 816 db, a falomb borítás 80,0%. A fák átlagos magassága 19,5 m. A cserjeszint 16 fajból tevődik össze és egy magasabb (1–3 m) és egy alacsonyabb (1 m-ig) szintre tagolódik. A magasabb cserjeszintnél a borítás 66%, az alacsony cserjeszintnél pedig 43%. A lágyszárúak becsült borítása kb. 30–40%. Az erdő függőleges és vízszintes szerkezetének, lombborításának vázlatát az 1. ábrán mutatjuk be. Ha az ábrán a fákra vonatkozó lombborítás területét 100-nak vesszük, a függőleges mentén a lombtömeg eloszlása a következő:

Famagasság (m)	20–18	18–16	16–14	14–10	10–4
Lombtömeg (%)	8,0	36,8	26,8	18,4	10,8

Látható, hogy a lombsűrűség 16–18 m között a legnagyobb, majd a 14–16 m közötti réteg következik. E két – 4 m-es vastagságú – rétegben helyezkedik

el a lombtömeg 62,8%-a. Az erdőbe érkező sugárzás és csapadék tekintélyes részét ez a réteg nyeli el, ill. tartja vissza. Az erdő levélterületi indexe = 8,2 ha/ha (Jakucs, 1985).

A síkfőkúti erdőben (1977 óta) egy 80 csatornás digitális adatgyűjtő áll rendelkezésünkre. Ez a műszer írja ki, illetve adja lyukszalagra óránként – meg-



2. ábra: A mérőműszerek elhelyezése és a mérési szintek az erdőben (A), illetve a szabadterületen (B).

szakítás nélkül, jelenleg is – az erdő egész vertikumában és a szabadterületen mért meteorológiai adatokat (sugárzás, szélesebesség, levegő- talaj- és fahőmérséklet, nedvesség stb.). A mérési szinteket, a műszerek elhelyezését a 2. ábra



3. ábra: A 25 m-es mérőtorony a síkfőkúti tölgyerdőben.



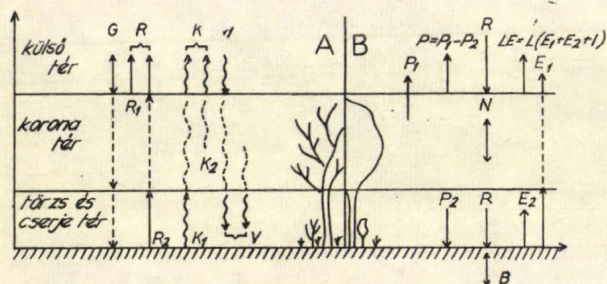
4. ábra: Meteorológiai állomás a szabadterületen.

szemlélteti. A 3. ábrán a műszertorony, míg a 4. ábrán a szabadterületen levő meteorológiai állomás látható.

2. Adatok a síkfőkúti tölgyerdő sugárzásforgalmához. A természetes és mesterséges ökoszisztémák energiabevitelét teljes sugárzásegyenlegük (S) nagyságaszabja meg. Bármely ökoszisztéma, illetve felszín sugárzás háztartása az alábbi egyenlettel írható le:

$$S = (G - R) - (K - V) \quad \text{J} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{min}^{-1}$$

ahol G a rövidhullámú globálsugárzás, R a rövidhullámú visszavert (reflex) sugárzás, K a felszín hosszuhullámú kisugárzása, V a légkör hosszuhullámú saját kisugárzása (a légköri visszasugárzás).



5. ábra: Az erdő sugárzási forgalmának és hőháztartási összetevőinek vázlatos bemutatása (magyarát a szövegben).

Az 5. ábra baloldali részén az erdő sugárzási egyenlegének összetevőit vázlatoszerűen mutatjuk be; ahol G az erdő lombkoronájára érkező, illetve a lombosaton, törzstéren keresztül (a talajra vagy) az avartakaróra, illetve a felszínre jutó globálsugárzást jelenti; az R összetevői: az R_1 és az R_2 , ahol az R_1 az erdő felszínéről az állomány feletti légtérbe, R_2 pedig az avar-, ill. talajfelszínről vissza-

I. TÁBLÁZAT

A sugárzási egyenleg és összetevői ($\text{MJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{nap}^{-1}$) tölgyerdőben derült napokon

Összetevők	Lombtalan		Lombos állapot	
	1978. ápr. 6-9	1980. ápr. 13-16	1978. júl. 27-31	1980. júl. 12-15
	Erdő felett (25 m)		Erdő felett (25 m)	
G	18,4	18,1	24,9	22,1
R	2,1	2,0	3,0	2,7
A %	11,4	11,0	12,1	12,2
Sr	16,3	16,1	21,9	19,4
K _{eff}	7,5	7,2	7,9	6,1
S	8,8	8,9	14,0	13,3
	Erdőben (2 m)		Erdőben (2 m)	
Sr	6,3	5,8	1,2	1,4
K _{eff}	3,7	2,9	0,7	0,5
S	2,6	2,9	0,5	0,9

A G a globálsugárzást, R a visszavert (reflex) sugárzást, A az albedót, Sr a rövidhullámú sugárzásmérleget, K_{eff} a hosszuhullámú sugárzásmérleget, S a teljes sugárzásmérleget jelenti.

vert sugárzás; a K összetevői: K_1 és K_2 , ahol K_1 az erdőállomány alatti talajfelszín, ill. a külső aktív lombfelszín kisugárzása, K_2 az erdő tömegének (biomasszájának), mint energiaforrásnak a kisugárzása az állomány feletti térben; a V összetevői: a V_1 és a V_2 , ahol V_1 az erdő felszínére, ill. a lombzaton, törzstéren keresztül az erdő talajára érkező légköri visszasugárzás, V_2 az erdő lombtömegének (biomasszájának), mint energiaforrásnak a visszasugárzása a törzstérbe, ill. a talajfelszínre.

Az erdők sugárzás-forgalmát, hőháztartását – különböző szempontok alapján – többen modellezték (Miller 1969, Gay és Knoerr 1970, Rauner 1960, 1962, Reifsnyder 1967, Halldin et al., 1979 stb.) Helyszűke miatt ismertetésüket viszont mellőzzük.

A teljes sugárzási egyenleget és az egyenleg összetevőit lombtalan és lombos állapotban az I. táblázatban mutatjuk be.

Mivel a táblázatban közölt adatok derült napokra vonatkoznak, így az összetevők a két év között különbséget alig mutatnak. Sajátosan alakulnak viszont a sugárzási összetevők az erdő belső terében a cserjeszintben, az erdő külső, aktív felszínéhez képest. Lombos állapotban a törzstérben, cserjeszintben a felső szinthez viszonyítva a teljes sugárzási mérlegnek csak 3,6, ill. 6,8%-a van jelen, vagyis a belső térben forgalmazott energiamennyiségek igen kicsinyek. Ebből következik, hogy az erdő levegője – az alsó szinten – nem a lombzaton keresztül lejutó sugárzási energiától melegszik fel. Nem folytat önálló energiagazdálkodást. *Függő mikroklímát* képvisel, amely oldalról, de főként felülről kap hőt, advekción formájában. Lombtalan állapotban az erdő alsó szintjében a felsőszint teljes sugárzási mérlegének viszont 29,5–32,5% van jelen. Ez már lehetőséget adhat arra, hogy az erdő talajmenti rétegében *független* energiagazdálkodás menjen végbe a lombos állapotban kialakult függővel szemben (Justyák, 1981).

II. TÁBLÁZAT

A sugárzási egyenleg és összetevői ($\text{MJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{hónap}^{-1}$) tölgyerdő felett

Összetevők	1979			1980			1981
	IV.	VI.	X.	IV.	VI.	X.	VI.
G	237	628	279	303	462	202	514
R	-35	-102	-42	-42	-73	-31	-82
A (%)	14,8	16,2	15,0	13,9	15,8	15,4	16,0
Sr	202	506	237	261	389	171	432
K_{eff}	-96	-160	-149	-131	-134	108	-147
S	106	346	98	130	255	63	285

Összetevők	1982	1983	1984	Átlag		
	VI.	VI.	VI.	IV.	VI.	X.
G	564	493	513	270	529	241
R	-87	-78	-80	-39	-84	-37
A (%)	15,5	15,8	15,6	14,4	15,8	15,2
Sr	467	415	433	232	440	204
K_{eff}	-157	-138	-137	-114	-146	-129
S	310	277	296	118	295	81

Jelölések: G a globálisugárzás, R a reflexugárzás, A az albedó, Sr a rövidhullámú sugárzásmérleg, K_{eff} a hosszuhullámú sugárzásmérleg, S a sugárzási mérleg.

A hosszúhullámú egyenleg az erdő alsó szintjében lombos állapotban – a lombkorona kisugárzást gátló hatása miatt – csekély, a külső aktív felszín egyenlegének 8–9%-a. Lombtalan állapotban a fatörzsek, ágak kb. 40–50%-kal csökkentik az effektív kisugárzást az erdő talajmenti rétegében, a felső aktív zónához képest, míg lombos állapotban kb. 90%-kal.

A rügybontás idején (április), mint fentebb láttuk, az erdőállomány talajmenti rétegében a még viszonylagos fény-, ill. sugárzásbőség alakul ki. Ennek hatására az aljnövényzet növekedése még gyors s ehhez az intenzív szerves anyag lebomlásából származó gazdag CO₂ készlet is hozzájárul, sőt egyes lágyszárú növények virágzása is megindul.

A következőkben a sugárzási egyenleg összetevőinek alakulását adjuk közre havi bontásban (II. táblázat).

A vizsgált öt év közül lombos állapotban 1979 júniusában volt a legtöbb, 1980 júniusában a legkevesebb a globálsugárzás. Ennek megfelelően alakult a teljes sugárzási mérleg is. Átlagosan júniusban a sugárzási egyenleg a globálsugárzásnak 56, áprilisban 43, októberben 34%-át teszi ki. Nyáron a lombos állapotú erdő albedója alig változik, 15,5–16,2%, tavasszal (14,4%) kisebb, mint ősszel (15,2%), feltehetően a levelek elszíneződése miatt.

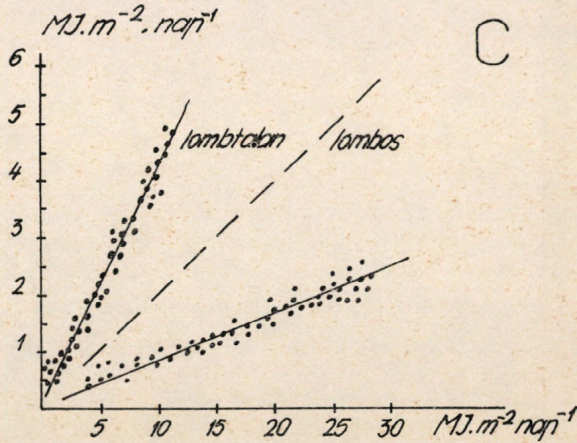
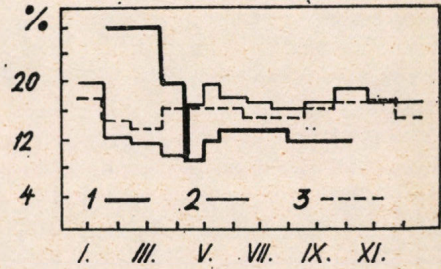
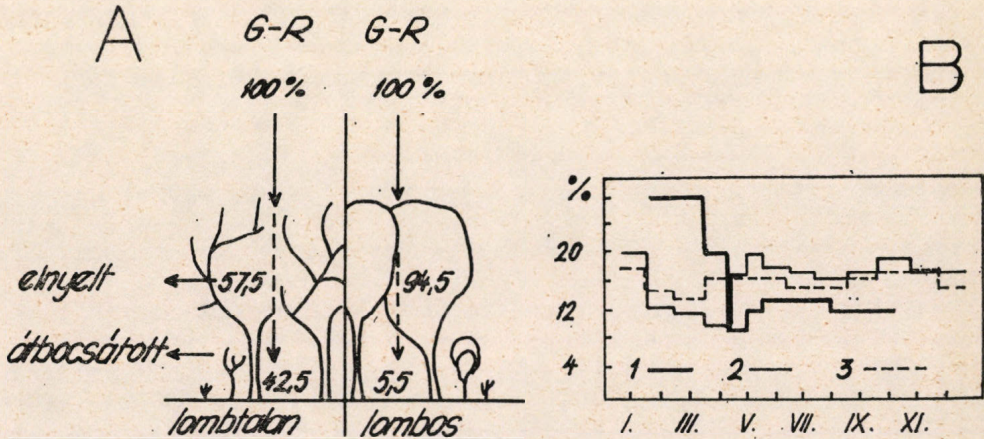
Az erdők felszíne által visszavert sugárzást, ill. a reflexió képességet, az albedót többen vizsgálták. A III. táblázatban erről adunk tájékoztatást.

III. TÁBLÁZAT
Erdőfelszínek albedója

Szerző		Erdő jellege	Albedó (%)
Bauer, L. – Dutton J. A.	1962	tülevelű	10,0–16,0
Baumgartner, A. (id.)	1967	tülevelű	4,8
Baumgartner, A.	1971	tülevelű	9,0–10,0
Budiko, M. J.	1956	tülevelű	10,0–15,0
Budiko, M. J.	1956	lomblevelű	15,0–20,0
Berglund, E., R. – Mace, A. C.	1972	tülevelű	6,0–8,0
Conover, J. H.	1965	tülevelű	12,0
Denmead, O. T.	1969	tülevelű	10,0
DeWaller, D. R. – McGuire S. G.	1973	tölgyes	16,0–18,0
Federer, C. A.	1968	tülevelű	13,0–15,0
Galoux, A.	1973	tölgyes	11,2–18,2
Gay, L. W. – Knoerr, R. K.	1970	tülevelű	11,0
Gay, L. W. et al.	1971	tülevelű	9,0
Grulois, J.	1968	bükkös-tölgyes	15,4
Ivanov, L. A. – Szilina A. A.	1951	tülevelű	8,0
Kessler, A.	1985	tülevelű	8,3–10,5
Kiese, O.	1972	bükkös	13,0
Kisenko, I. T.	1984	tülevelű	9,6–9,9
Kung, E. C. et al.	1964	tülevelű	12,0–14,0
Lützke, R.	1966	kevert erdő	13,2
Miller, D. H.	1955	tülevelű	8,0
Privovarova, Z. J.	1958	nyíres	16,0–17,0
Reifsnyder, W. E.	1967	tülevelű	11,0
Stanhill, G. et al.	1966	tülevelű	12,0–13,0
Stewart, J. B.	1971	tülevelű	9,1
Tajchman, S. J.	1967	tülevelű	4,3
Nagy, L.	1985	cseres-tölgyes	16,1–16,7

Az albedó értékek 4,3 és 20,0% között váltakoznak nyári időszakban. A sötétebb színű tűlevelű erdők albedója a legkisebb, a lomblevelűeké a legnagyobb. Ősszel – levélszíneződéskor – lombos erdőknél a nyári időszakhoz képest az albedó értéke megnő. *Stanhill* (1966) vizsgálatai szerint a tölgyerdőben az albedó ősszel 11%-ról 13–14%-ra növekedett. *Federer* (1968) eredményei is azt mutatják, hogy az albedó 16–19%-os nyári értékről ősszel 18–22%-ra emelkedett. Más kutatók viszont – levélszíneződéskor – nem észleltek lényeges albedó növekedést (*DeWaller és McGuire* 1973). Az albedó értéke – közismerten – számos tényezőtől függ, (az erdő zártságától, magasságától, színétől, a fafajától, korától, az évszaktól, a levélfelületi indextől, de változik a napmagassággal is stb.).

Az erdőbe jutó napsugárzást is az erdő szerkezeti tulajdonságai befolyásolják. Az áthatolás folyamatában a napsugárzás mennyiségi és minőségi változása ismerhető fel. A mennyiségi változást az okozza, hogy az erdő – főként lombos állapotban – jelentős mennyiségű sugárzási energiát nyel el. A síkfőkúti tölgyerdőben lombos állapotban átlagosan 95, lombtalan állapotban 58%-ot. Az átbocsátott sugárzás pedig 5,5, ill. 42,5% (6. ábra A része).



6. ábra: A) Az elnyelt és átbocsátott rövidhullámú sugárzás alakulása lombtalan és lombos állapotú tölgyerdőben. B) Az albedó évi menete nyíres és rezgőnyárállomány felett *Rauner* (1976) után (1), tölgyerdő felett *Grulois* (1968) után (2) és Síkfőkúton tölgyerdő felett (3). C) Az erdőállomány felett és alatt mért globálsugárzás közötti összefüggés Síkfőkúton.

Kiese (1972) a sollingi bükkerdőben, lombos állapotban, derült időben 81,5, borult időben 82,0, lombtalan állapotban pedig 58,0, ill. 52,6%-os sugárzás elnyelést mért. Nyári félévben a derült és a borult napok között számottevő különbség nem alakult ki (az átbocsátás ugyanis derült napon 6,90, borult napon 9,53% volt). *Vezina* (1964) fenyőerdőben, derült napon 6,6, borult napon 10,0%-os átbocsátást mért, míg *Mitscherlich* et al. (1965) ugyancsak fenyőállományban, derült napokon 3,5, ill. 1,6%-ot, borult napokon 7,2, ill. 4,4%-ot. *Galoux* (1973) tölgyerdőben nyáron 6,1, ill. 5,7%-os, *Nagy* (1972) szintén tölgyerdőben 4,9%-os átbocsátást mért.

Grulois (1968) tölgyerdőben végzett vizsgálata alapján az erdő lombos állapotban 78,9, ill. 72,4, lombnélkülben 68,8, ill. 44,4%-ot nyelt el. Egy nyíresállomány sugárzás elnyelése pedig lombos állapotban 83, lombnélkül 41% (*Schomaker* 1968).

Ivanov és *Szilina* (1951) szerint fenyőerdőben – 16 ponton végzett mérések alapján – átlag 16,3% volt az átbocsátott és 8% a visszavert sugárzás. A koronater elnyelt 75,7%-ot. Eltávolítva a túleveleket, az áthatolt sugárzás 46, az elnyelt 54%-lett. A nyírfaerdő (záródása 0,65) lombozata a bejutó sugárzás 30%-át engedte át, s mivel az albedó 7,5% volt, az állomány 62,5%-ot nyelt el. A tavaszi és őszi mérések alkalmával az ágak 46%-ot eresztettek át és 54%-ot tartottak vissza: Így a 62,5% átérésztett sugárzásnak 28,7%-át nyelte el a levélzet.

Érdekes sajátosságokat mutat Európa három klímaterületén (Belgium, Magyarország, Szovjetunió) elhelyezkedő lombhullató erdők albedóinak évi menete (6. ábra B része).

Moszkva környékén februárban, márciusban az albedó értéke nagyobb, mint Közép-, ill. Nyugat-Európában, a tovább tartó tél miatt. Az albedó évi menete tölgyerdőben hazánkban és Belgiumban közel hasonló, kivéve áprilist, amikor Sikkfőkúton kb. 5%-kal nagyobb az albedó az erdő felett. Magyarázata feltehetően az, hogy hazánkban – tavasszal – jobban érvényesül a sugárzás hatása, mint az óceáni klímájú Belgiumban. Hazánkban tavasszal a lombtalan erdőben – a bőségesebb besugárzás és a kevesebb csapadék következtében – az erdő alatti talaj felszíne szárazabb, mint Belgiumban, és ez az albedó megnövekedésével jár együtt. E feltételezést alátámasztja az, hogy a lombzat teljes záródásakor – a két terület klímájában ekkor is fennálló eltérések ellenére – az albedó értékek között a különbségek jelentősen csökkennek.

A lombkorona feletti és alatti globálsugárzás közötti összefüggést – lombtalan, ill. lombos állapotban – a 6. ábra C része szemlélteti.

Az egyenes egyenlete lombnélküli tölgyerdő esetében:

$$y = 0,063 + 0,464x$$

ahol y = globálsugárzás az erdőben (2 m-en)

x = a globálsugárzás az erdő felső szintjén.

Az egyenes egyenlete lombos állapotban:

$$y = 0,049 + 0,081x$$

A korrelációs együttható értéke $r = 0,98$, ill. $r = 0,95$.

Az egyenletek felhasználásával az erdő alsó rétegében a sugárzás mennyisége mérés nélkül becsülhető.

3. *A meteorológiai elemek és a hőháztartás egyes összetevőinek alakulása.* Az erdő hőháztartásának – mint felszínnek – alapegyenletét a következőképpen írhatjuk:

$$R = LE + P + N + B \quad (1)$$

ahol az R az erdő teljes sugárzási egyenlege, LE az evapotranspirációra fordított hő, P a szabadhő vertikális áramlása, N a növényi tömeg (biomassza) által forgalmazott hő, B az erdőállomány alatti avartakaró és a talaj által forgalmazott hő.

Az evapotranspirációra fordított hő az alábbi:

$$LE = L(E_1 + E_2 + I) \quad (2)$$

ahol E_1 az erdőállomány transpirációja, I az erdő által visszatartott csapadék (intercepció) elpárolgása, E_2 az avartakaró és a talaj párolgása.

A P nagyságát, vagyis a levegő által forgalmazott hőt – két komponens összege adja:

$$P = P_1 + P_2 \quad (3)$$

ahol P_1 a légkör és az erdőállomány külső aktív felszíne közötti hőforgalom, P_2 az erdő törzsterének hőforgalma (lásd 5. ábra B részét).

Az R és összetevőinek meghatározása mérésekkel és számításokkal történt. A P és LE kiszámítására – a 20,0 és 21,5 mm-es magassági szintekben – erdő felett – végzett hőmérséklet, párányomás, szélesebesség megfigyelései alapján – az alábbi összefüggéseket alkalmaztuk (*Monyin – Obuhov, 1954, Brogmus 1959*).

$$P = f^2 \frac{\rho c_p k^2 (T_1 - T_2)(u_2 - u_1)}{\left[\ln \frac{z_2 - d}{z_1 - d} \right]^2} \quad (4)$$

és

$$E = 1,251 f^2 \frac{(e_1 - e_2)(u_2 - u_1)}{T \left[\ln \frac{z_2 - d}{z_1 - d} \right]^2} \quad (5)$$

egyenletek, ahol

$$f = \left[1 - \beta \frac{g}{T_0} \frac{(T_2 - T_1)}{(u_2 - u_1)^2} (z_2 - z_1) \right] \quad (6)$$

a felszínközeli légréteg egyensúlyi állapotát figyelembe vevő korrekciós tényező, az ismert konstansokon kívül a hőmérséklet, párányomás és szélesebesség gradienseit tartalmazzák.

A d értékét, – vagyis azt a magasságot, amelytől a meteorológiai elemek változását a magassággal logaritmikusként tekinthetjük – három különböző magasságban végzett szélesebesség méréseiből határoztuk meg, az ismert

$$\frac{u_3 - u_1}{u_2 - u_1} = \frac{\ln(z_3 - d) - \ln(z_1 - d)}{\ln(z_2 - d) - \ln(z_1 - d)} \quad (7)$$

matematikai közelítő eljárással. Esetünkben a d értéke júniusban (lombosodás-

kor) 12,8 m-nek adódott, az erdő 19,5 m átlagos magassága mellett, a szélesebesség pedig 20 m-en átlagosan 1,5 m/sec.

Az erdőfelszín érdességét tekintetbevevő z_0 értéke az erdőállományt tekintve, az 1 m-től 23 m magasságig végrehajtott szélprofilmérések alapján 3,7 m-nek adódott. Az érdességi paraméter (z_0) kiszámítására a

$$z_0 = z_1 \left(\frac{z_1}{z_2} \right)^{u_1/(u_2-u_1)} \quad (8)$$

formulát használtuk fel, ahol u_1 és u_2 a z_1 és z_2 szinten mért szélesebességet jelenti. A z_0 -ra és d_0 -re a IV. táblázatban közlünk szakirodalmi adatokat az erdő jellegétől függően.

IV. TÁBLÁZAT

Aerodinamikus jellemzők (z_0 , d) átlagos értékei a vegetációs periódus alatt

Szerző	Erdő jellege	(m)	z_0 (m)	d (m)
Baumgartner, A. 1956	fenyő	(6)	2,9	3,0
Rauner, Ju. L. 1962	nyír- és nyár	(17)	0,5	12,0
Konsztantinov, A. R. 1960	lucfenyő	(26)	5,0	21,5
Burger, cit. Tajchman 1967	fenyő	(27)	4,0	20,0
Mayer, H. 1978	fenyő	(31)	6,2	21,1
Dolman, A. J. 1986	tölgy	(9,6)	1,0	7,2

A kiszorítási réteg (d) értéke szoros összefüggésben van a szélesebességgel. Rauner (1962) szerint 17 m-es nyírfa és rezgőnyár erdőben – nyáron – 1–3 m/s szélesebességnél a $z_0 = 0,5$ m, a $d = 12,0$ m, 3,5 m/s-nál a $z_0 = 2,0$ m, a $d = 7,0$ m, 5,7 m/s-nál a $z_0 = 4,0$ m, a $d = 5,0$ m volt. Vagyis a szélesebesség növekedésével az érdességi paraméter (z_0) nő, a kiszorítási réteg magassága (d) pedig csökken, és fordítva.

Viszonylag gyenge szél esetén a levegő áramlása szinte az erdő koronájának felső határára szorul, azonban a szél erősödésével az erdő strukturális felépítésétől függően behatolhat a törzstérbe, egészen az aljnövényzetig. A kiszorítási réteg magassága ilyenkor csaknem a két és félszeresére csökkenhet.

Növényállományokban a kiszorítási réteg magasságát nem mindig határozzák meg, hanem a megfigyelés időpontjában a növényzet átlagos magasságának kb. kétharmadát tekintik annak. (Rauner, 1962).

A z_0 és d -re vonatkozó külföldi eredményeket fenyőerdőkben Jarvis et al. (1976) ismerteti részletesebben.

A súrlódási sebesség (u_*) kiszámítását hőmérsékleti és szélesebességi gradiens méréseink tették lehetővé. Az u_* értékeket a vizsgált időszak minden órájára az

$$u_* = \chi \frac{(u_2 - u_1) + \beta \frac{g}{T_0} \frac{(T_1 - T_2)(z_2 - z_1)}{u_2 - u_1}}{\ln \frac{z_2 - d}{z_1 - d}} \quad \frac{\text{cm}}{\text{sec}}$$

formulát alkalmaztuk. A β értékét 3,67-nek vettük a χ a Kármán konstans (0,43), $u_2 - u_1$ és $T_1 - T_2$ a z_1 és z_2 (20,0 és 21,5 m) közötti szélesebesség és hőmérsékleti gradiens, g a nehézségi gyorsulás.

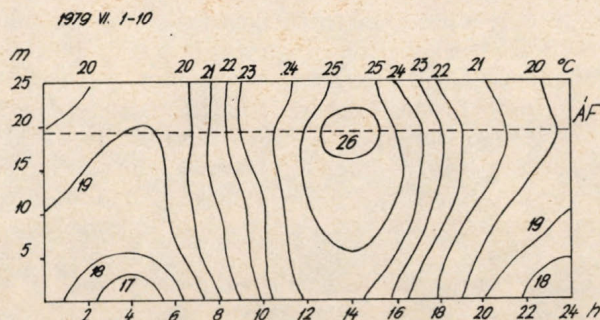
Mielőtt rátérnénk a hőmérséklet, szélsébség, a sűrűdési sebesség, a turbulens hőforgalom és a tényleges evapotranspiráció alakulásának – nem részletes – értékelésére, közöljük, a vizsgált időszakra vonatkozó időjárási adatokat. Ugyanakkor megadjuk Síkfőkútra vonatkozó 10 évi átlagokat (K_{10}) is (V. táblázat).

V. TÁBLÁZAT

A meteorológiai elemek havi középértékei és a 10 évi átlagok

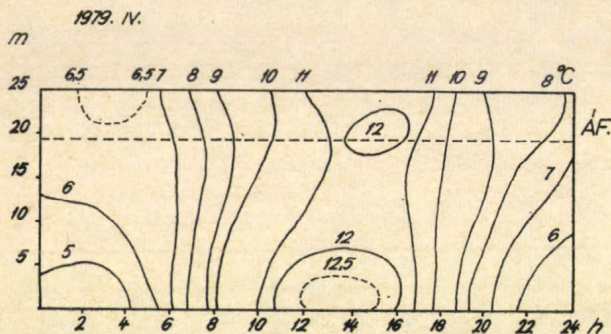
Év, hónap	Globálisug. MJ·m ⁻²	Középhőm. °C		Csapadék mm	Csapadék, erdő mm		Intercep.	
	Met. áll.	Met. áll.	Erdő	Met. áll.	Vissza- tartott	Áteresztett	%	
1979. IV.	327	9,6	8,6	67	18	49	27,0	
1979. VI.	628	21,7	19,5	65	29	36	44,4	
1979. X.	279	9,4	8,5	32	10	22	24,9	
1980. IV.	303	8,5	7,6	48	10	38	20,1	
1980. VI.	462	17,4	15,7	93	39	54	42,4	
1980. X.	202	10,3	9,5	81	19	62	23,1	
1981. VI.	514	20,0	17,8	61	20	41	33,2	
1982. VI.	564	19,3	17,5	83	28	55	33,5	
1983. VI.	493	18,9	17,0	61	38	23	37,7	
1984. VI.	513	17,2	14,3	47	17	30	35,3	
Átlag	IV.	315	9,1	8,1	58	14	44	23,5
	VI.	529	19,0	17,0	68	28	40	37,8
	X.	241	9,9	9,0	57	15	42	24,0
K_{10}	IV.	—	7,8	—	44	—	—	
	VI.	—	18,8	—	76	—	—	
	X.	—	10,4	—	59	—	—	

A hőmérsékletnek júniusban, 1979-ben 2,9, 1981-ben 1,2, 1982-ben 0,5, 1983-ban 0,1 °C pozitív anomáliája volt, 1980 és 1984-ben viszont a hónap középhőmérséklete a 10 évi átlag alatt maradt. Az erdő középhőmérséklete a 0,5 – 20,0 mm-es rétegre vonatkozóan (hat mérési szint középhőmérséklete) júniusban négy évi átlagban 17,0 °C volt. Ennél melegebb volt 1979-ben (19,5 °C) és

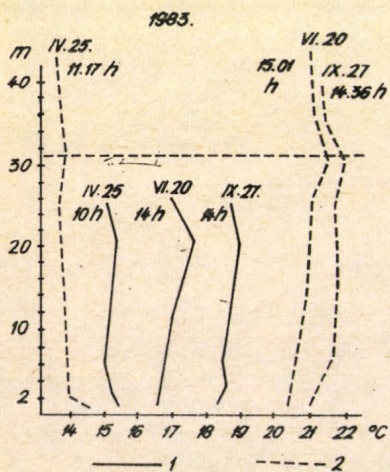


7. ábra: A levegő hőmérsékletének alakulása lombos állapotú tölgyerdőben Síkfőkúton.

1982-ben (17,5 °C). 1983 és 1984-ben az erdő középhőmérséklete júniusban a négyévi átlag alatt maradt. A fátlan, szabad területen a legtöbb csapadék mind júniusban (93 mm), mind októberben (81 mm) 1980-ban, a legkevesebb 1984 júniusában (47 mm) hullott. Átlagosan lombos állapotban az erdő a csapadék 38, lombtalan állapotban 24%-át tartotta vissza.



8. ábra: A levegő hőmérsékletének alakulása lombtalan állapotú tölgyerdőben Sikkfőkúton.



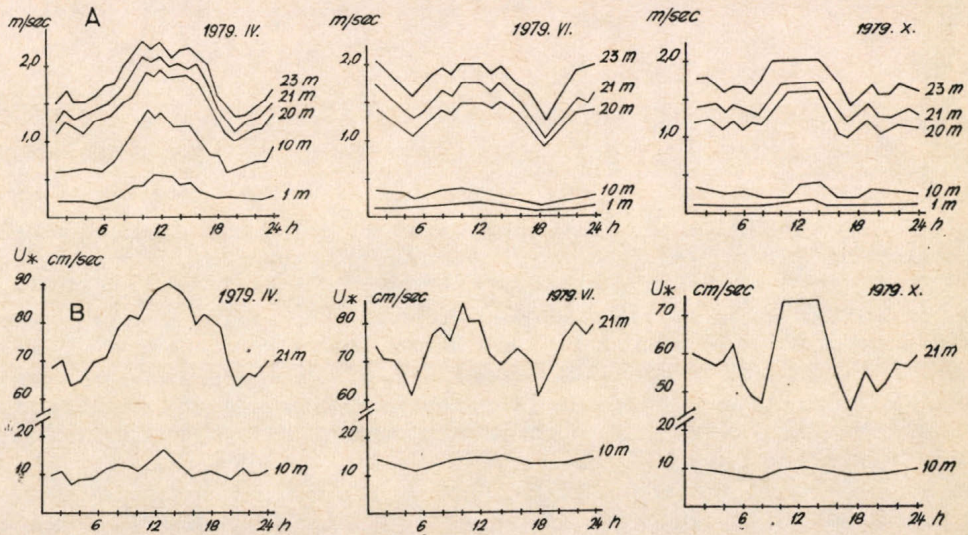
9. ábra: Hőmérsékleti profilok alakulása a síkfőkúti tölgyerdőben (1) és bükkállományban Göttingen közelében, van Eimern (1986) után (2).

A levegő hőmérséklete a lombborította erdő fái alatt hűvösebb, mint az erdő felszíne felett, mert a fák lombozata felfogja s az erdő talajfelszínétől visszatartja a napsugárzást és annak melegítő hatását. A besugárzott meleg közvetítője — az ún. *aktív felszín* — a lombkorona. Vagyis a földfelszín szerepét a besugárzott meleg közvetítésében a levegő számára a lombkorona felső 20,0 — 21,5 mm-es rétege veszi át és onnan terjed tovább a hő mind az erdő feletti légtérbe, mind az erdő belsejében levő levegőbe. Ezért nappal — nyáron — az erdő belsejében a lombkorona árnyékában hűvösebb a levegő, mint a lombkorona felső szintjén, ill. a fátlan területen (7. ábra).

Lombtalan állapotban (április) a lombos állomány (június) *egy aktív felületével* szemben — *kettős aktív felület* alakul ki. Egy a *koronák szintjén* és egy az *erdő talaján*. Lombtalan állapotban a Nap sugarai jobban behatolnak az erdő légtérébe és az erdő talajának legalább egy részét felmelegítik (8. ábra).

A 9. ábrán bemutatjuk a hőmérsékleti profilok alakulását egy göttingeni bükkerdőben, valamint a síkfőkúti tölgyerdőben. A bükkállomány 115 éves, a fák átlagos magassága 31–32 (van *Eimern* 1986).

Az azonos időben történt mérések alapján, de eltérő szerkezetű és fajtájú erdőben látható, hogy *lombtalan* állapotban (április) az erdőkben két *aktív felszín*



10. ábra. A szélesség (A) és a súrlódási sebesség (B) átlagos napi menete, tavasszal, nyáron és ősszel.

alakul ki. Az egyik a lombkorona szintjén (büknél kb. 31 m-en, tölgyerdőnél kb. 20 m-en), a másik az erdő talajmenti rétegében. Gyenge hőmérsékleti inverziós állapot tapasztalható a bükkerdőben 25 és 31 m, a tölgyerdőben 6,0 és 20 m között. Lombos állapotban – nyáron – mindkét erdőben, az erdő felszíne a legmelegebb (egy aktív felszín alakul ki), a talajmenti légréteg a leghűvösebb. Bükkerdőben 25 és 31, tölgyerdőben 0,5 és 20 m között erősebb inverzió lép fel a tavaszi állapothoz képest. A kialakult erősebb inverzió lényegében a törzsterben és lombkoronában gyengíti a turbulencia fejlődését. Közvetlen az erdőállományok felett nagyobbak a hőmérsékleti gradiensek, amelyek viszont fokozzák a turbulens folyamatokat.

Az erdőben a *légáramlás* két úton hatolhat be, felülről és oldalról. A szél oldalról a síkfőkúti erdő belsejébe igen kismértékben juthat be, részben az erdőszegélyt alkotó igen sűrű cserjeszint miatt, részben mert a mérések kb. 180 m-re történtek az erdőszegélytől az erdő belsejében. Ezért az erdő belsejébe – főleg nyáron – a légmozgás nem oldalról, hanem felülről, kicserélődés útján hatol le a cserjeszintig, az erdő talajáig.

A szélesség az erdő belsejében a mélységgel rohamosan csökken. Az erdőállomány talajmenti rétegében (1 m-en), *lombos* állapotban alig van légmozgás. *Lombtalan* állapotban is tetemes a korona ágainak, a fatörzseknek fékező hatása, de a légmozgás ilyenkor többszörte nagyobb, mint lombos állapotkor (10. ábra A része), A 10. ábra B részén a súrlódási sebesség (u_*) napi menete látható, mely szerint a u_* követi a sebesség menetét.

Az alábbiakban az u_* alakulására vonatkozóan összehasonlítjuk eredményeinket Mayer-nak (1978) az ebersbergi fenyőerdőben (München mellett) végzett vizsgálataival.

Fenyőerdő (33 m, 80 éves) u_* (cm/s)			Tölgyerdő (19,5 m, 79 éves) u_* (cm/s)		
1972	5 m	40 m	1979	10 m	21 m
április	10,0	70,1	április	10,5	76,0
június	11,5	61,3	június	13,5	9,5
október	8,2	56,9	október	8,4	54,3

Bár eltérő struktúrájú és jellegű a két erdő, s a mérési szintek sem egyeznek, mégis az u_* értékei mindkét helyen tavasszal (április) nagyobbak, mint ősszel (október), mivel áprilisban nagyobb, októberben pedig kisebb volt a szélesebség. A törzsterben az u_* értékei fenyő- és tölgyerdőben kb. hasonlóak, s ez arra utal, hogy ebben a régióban a fatörzsek fékező hatása miatt a légmozgás igen csekély, különösen a tölgyerdő cserjeszintjében. E jelenség igen fontos, mert a szél, ill. a légmozgás útján keletkező turbulencia szállítja a szén-dioxidot a szto-matikus terekbe. A 20 és 21,5 m-es szintekben végzett hőmérséklet, párányomás és szélesebség megfigyelések alapján, a (4) és (5) formulák segítségével a havi átlagos napi menet minden órájára meghatároztuk a P és E (párolgás) értékeket. A kapott adatokat összegezve megkaptuk, hogy az adott hónap során turbulencia útján mennyi hőt forgalmazott a levegő, illetve, hogy az erdővel borított felszín 1 m^2 -ének mennyi volt a tényleges evapotranspirációja (VI. táblázat).

Az (1) formula LE tagját úgy kaptuk meg, hogy az (5) formulával számított E értékeket rendre besoroztuk az illető idő intervallum hőmérsékletének megfelelő latens hővel (L).

VI. TÁBLÁZAT

A hő- és vízháztartási összetevők havi átlagértékei tölgyerdőfelelt

Össze- tevéők	1979			1980			1981	1982	1983	1984	Átlag		
	IV.	VI.	X.	IV.	VI.	X.	VI.	VI.	VI.	VI.	IV.	VI.	X.
R	106	346	98	130	255	63	285	310	277	296	118	295	81
LE	78	271	75	97	235	51	235	261	229	231	88	244	63
P	21	66	17	19	17	9	49	47	45	56	20	47	13
LE/R	74	78	77	75	92	81	82	84	83	78	75	83	78
P/R	20	19	17	15	7	14	17	15	16	19	17	16	16
E	31	108	30	39	94	21	94	104	92	92	35	97	26
Cs	67	65	32	48	93	81	61	83	61	47	58	68	57
I	18	29	10	10	39	19	20	28	38	17	14	29	15
E/Cs	46	166	94	81	101	26	154	125	151	196	60	143	46
I/E	58	27	33	26	41	90	21	27	41	18	40	30	58
IE	45	73	25	25	98	48	50	70	95	45	35	155	37

Jelölések: R a teljes sugárzási egyenleg ($\text{MJ} \cdot \text{m}^{-2}$); LE az evapotranspirációra fordított hő, ($\text{MJ} \cdot \text{m}^{-2}$); P a levegő hőforgalma ($\text{MJ} \cdot \text{m}^{-2}$); E a párolgás, (mm) Cs a csapadék (mm); I az intercepció (mm); IE az erdő által visszatartott csapadék (intercepció) elpárologtatására fordított hő ($\text{MJ} \cdot \text{m}^{-2}$).

A táblázatból látható, hogy annak az energiamennyiségnek, amellyel a sugárzás révén az aktív felszín gazdálkodik, jelentős része – átlagosan 75–83%-a párolgásra fordítódik, s a levegő felmelegítésére csak 14–17% jut. Ha az (1) formulában szereplő N és B tagot együttesen $(N+B)$ maradéktagként kezeljük, akkor a növényi biomassa (N) és a talajhőforgalma (B) áprilisban 7–8, júniusban 1–2, októberben 5–6%-ot tesz ki. Erdőállománynál különösen fontos lenne az N tag külön meghatározása, mivel az erdő a legnagyobb méretű növényi biomassa és egyben a leghatásosabb szerves anyagot produkáló ökoszisztéma. Alacsony növésű mezőgazdasági kultúráknál az N tag kiszámítását mellőzhetjük.

A tényleges evapotranspiráció átlagos értéke, amikor az erdő lombos – júniusban – 97 mm, lombtalan állapotban – áprilisban – 35 mm négyzetméterenként. Ez egy hektárra vonatkoztatva júniusban 97×10^4 mm (97 m^3), áprilisban 35×10^4 mm (35 m^3), októberben 26×10^4 mm (26 m^3) elpárolgott (E) mennyiséget jelent, az erdő által visszatartott csapadékvíz (I) elpárolgásával együtt. Az I/E áprilisban 40, júniusban 30, októberben 57%. Az egy hektárra eső havi párolgásértékek a következő hőösszegeket (energiát) vonták el a sugárzás útján nyert energiából: LE áprilisban 88×10^4 , júniusban 244×10^4 , októberben 63×10^4 MJ-t. A fenti energiamennyiségeknek áprilisban 30, júniusban 64, októberben 59%-a fordítódott az intercepció víz elpárolgására.

Az évenkénti, illetve a havonkénti hőháztartási összetevők százalékos eloszlását is feltüntető VI. táblázat adataiból kitűnik, hogy 1980 júniusában volt a legtöbb csapadék (93 mm). Ez az erdőállomány hőháztartási rendszerében azt jelentette, hogy – mivel bőven volt nedvesség – tetemes hőmennyiség használódott fel a párolgásra (92%) és csak kevés hő fordítódott (7%) a levegő felmelegítésére. A fátlan szabad területen mérve a júniusi középhőmérséklet $17,4 \text{ }^\circ\text{C}$ volt, az erdőben $15,7 \text{ }^\circ\text{C}$ (a 0,5–20 m-es réteg középhőmérséklete) a 10 évi $18,8 \text{ }^\circ\text{C}$ -os szabadterületi átlaggal szemben. Megjegyezzük, hogy az időjárásbeli különbség hatása jobban követhető lenne, ha a hőháztartási összetevők pentadértékeit adjuk meg.

Eredményeinket – a hőháztartási összetevők alakulására vonatkozóan – összehasonlítottuk néhány külföldi eredménnyel, s ezt VII. táblázatban közöljük.

VII. TÁBLÁZAT

A hőháztartási összetevők alakulása

Hónap	R/MJ · m ⁻²			LE/MJ · m ⁻²			E (mm)			LE/R (%)		
	Ra	T	S	Ra	T	S	Ra	T	S	Ra	T	S
Ápr.	–	–	118	–	–	88	–	–	35	–	–	75
Máj.	369	258	–	260	178	–	103	71	–	70	69	–
Jún.	335	393	295	276	279	244	110	112	97	82	71	83
Júl.	419	365	–	410	235	–	163	94	–	97	64	–
Aug.	318	338	–	318	207	–	127	83	–	100	61	–
Szept.	117	224	–	127	151	–	40	60	–	85	67	–
Okt.	–	–	81	–	–	63	–	–	26	–	–	78

Jelölések: Ra – Rauner (1976) természetes tölgyerdő (*Quercus robur*), 40 éves. T – Tajchman (1967) lucfenyő, 70 éves, S – saját (1986) cseres-tölgyes (*Quercetumpetracae* – *cerris*), 73–79 éves erdőállományokban végzett mérési adatokat tartalmazza a fenti táblázat. Rauner szeptemberi adatai a hónap első felére vonatkoznak, vizsgálatait a kurszki, Tajchman a München melletti erdőben végezte.

Látható, hogy a párolgásra fordított hő, (LE/R) a lucerdőben kisebb, mint a tölgyerdőben, ami a fafaj eltérő jellegére utal. A kurszki, ill. a síkfőkúti tölgyerdőkben az evapotranspirációra fordított hő (LE/R) szinte egyező (82, ill. 83%), de az egy napra eső átlagos párolgás már a kurszki erdőben négyzetméterenként 0,5 mm-el több (3,7, ill. 3,2 mm). Megemlítjük, hogy az erdők esetében az evapotranspirált víz mennyisége a fa- és cserjefajtáktól, azok korától, leveleik, tűik alakjától és a mindenkori időjárási viszonyoktól függ, sőt jelentős különbségek alakulhatnak ki a sík- és hegyvidéki erdők párolgása között is.

Közismert Európában, hazánkban, így Síkfőkúton is az utóbbi években felépítő tölgypusztulás, emiatt módosult az erdő eddigi mikroklimatikus állapota is. Az, hogy a faritkulás milyen irányban és mértékben változtatja meg az erdőállomány mikroklimáját, hő- és vízháztartás összetevőit, s ezen keresztül milyen hatást fejt ki az egész társulás strukturális és anyagcirkuláltatási szervezetségére, csak az utóbbi, a jelenlegi és a későbbi évek – interdiszciplináris kutatási együttműködésben – vizsgált anyagnak célirányos feldolgozása fogja eldönteni.

IRODALOM

- Bauer, K. G. – Dutton, J. A., 1962: Albedo variation from an airplain over several types of surface. – J. Geophys. Res. 67, 2367–2376.
- Baumgartner, A., 1956: Untersuchungen über den Wärme- und Wasserhaushalt eines junges Waldes. – Ber. DWD, Vol. 5, Nr. 28. 1–59.
- Baumgartner, A., 1967: The balance of radiation in the forest and its biological function – in TROMP, S. W. – Weihe, W. H.: Biometeorology 2. 2. 743–754.
- Baumgartner, A., 1971: Wald als Austauschfaktor in der Grenzschicht. Erde/Atmosphäre-Fortsch. Cbl. 90. 3. 174–182.
- Berglung, E. R. – Mace JR: A. C., 1972: Seasonal albedo variation of black spruce and spagnum-sedge bog cover types. – J. App. Meteor. 11. 5. 806–812.
- Brogmus, W., 1959: Zur Theorie der Verdunstung der natürlichen Oberfläche. – Deutscher Wetterdienst, Seewetteramt, No. 21.
- Budíko, M. I., 1956: Teplovoj balans zemnoj poverhnoszti. Leningrad, 258.
- Burgess, R. L. – O'Neil, R. V., 1975: Eastern Deciduous Forest Biome Progress Report, Sept. 1. 1973. 31, 1974. Environmental Sciences Division, Oak Ridge National Laboratory EDFB/IBP-75 11. Oak Ridge, Tenn., 252.
- Conover, J. H., 1965: Cloud and Terrestrial Albedo Determinations from TIROS Satellite Pictures. – J. App. Met. 4.3. 378–386.
- Dennead, O. T., 1969: Comparative Micrometeorology of Wheat Field and a Forest of Pinus Radiata. – Agric. Meteorol. 6. 357–371.
- DeWaller, D. R. – McGuire, S. G. 1973: Albedo variation of an oak forest in Pennsylvania – Agric. Meteorol. 11. 107–113.
- Dolman, A. J., 1986: Estimates of roughness length zero plane displacement for a foliated and non-foliated oak Canopy-Agric. and Forest Meteorol. 36. 241–248.
- van Eimern, J., 1986: Oberflächen- und Lufttemperatur in einem Buchenwald. – Meteorol. Rdsch. 39, 13–24.
- Erhard, O., van Eimern, J., 1983: Strahlungshaushalt eines Buchenwaldes an 5 ausgewählten Strahlungstagen. – Wetter u. Leben 35, 230–234.
- Federer, C. A., 1968: Spatial Variation of Net Radiation, Albedo and Surface Temperature of Forest – J. Appl. Meteor. 5. 789–795.
- Galoux, A., 1973: Flux d'énergie radiante, conversion et transferts dans l'écosystème (1964–1967) – Station de Recherches des Eaux et Forest Groenendaal – Hellaart Belgique – Travaux – Série A. 14. 124.
- Gay, L. W. – Knoerr, K. R., 1970: Radiation budget of a forest canopy – Arch. Meteorol. Geophys. Bioklimatol. Ser. B. 118. 2. 187–196.
- Gay, L. W. – Knoerr, K. R. – Braaten, O., 1971: Solar radiation variability on the floor of Pine plantation. – Agric Meteorol. 8. 39–50.
- Grulois, J., 1967: La chenaise de Virelles – Blaimont. Extinction du rayonnement global, tropiques et paramètres foliaires. Bull. Soc. Roy. Bot. Belg. 100. 139–151.
- Grulois, J., 1968: La Variation Anuelle du Coefficient d'Albedo des Surfaces Supérieures du Peuplement. – Bull. Soc. Roy. Bot. Belgique 101. 139–153.
- Halldín, S. – Grip, H. – Pertta, K., 1979: Model for Energy Exchange of Pine Forest Canopy – In: Halldín (Ed.) Comparison of Forest Water and Energy Exchange Models. ISEM. Copenhagen, 59–75.
- Ivanov, L. A. – Szilina, A. A., 1951: Ob aktinometričeszkom metode opredelenija transpiracii lesza. K energetike transpiracii lesza. Botan. Zsurn. 36. 5. 517–522.
- Jakucs, P., 1973: „Síkfőkút Project”. Egy tölgyes ökoszisztéma környezetbiológiai kutatása a bioszféra-program keretén belül. – MTA. Biol. Oszt. Közl. 16. 11–25.
- Jakucs, P., 1978: A környezetbiológiai kutatások néhány kérdéséről. MTA Biol. Oszt. Közl. 24. 61–77.
- Jakucs, P., 1985: Higher Plants. – (Structure of the forest). Ecology of an oak forest in Hungary – Results of „Síkfőkút Project” 1. 108–137. Editor: P. Jakucs, Akad. Kiadó Bpest.
- Jarvis, P. G. – James, G. B. – Landsberg, J. J., 1976: Coniferous Forest. – Vegetation and the Atmosphere 2. (Edited by J. L. Monteith) 171–240.
- Justyák, J., 1981: Az erdők sugárzásforgalma. Acta Geographica Debrecina. Tomus XVIII–XIX. 209–235. Debrecen.
- Kesster, A., 1985: Über die kurzwellige Albedo eines Kiefernwaldes. – Meteorol. Rdsch. 38, 82–91.
- Kiese, O., 1972: Bestandmeteorologische Untersuchungen zur Bestimmung des Wärmehaushalts eines Buchenwaldes – Berichte des Instituts für Heterologie u. Klimatologie Univ. Hannover, 6. 132.
- Konstantinov, A. R. – Fedorov, Sz. F., 1960: Opit primennija gradientnüh maost dlja opredelenija iszparenija i teploobmena v leszu – Tr. Gosz. gidrol. in-ta, vüp. 81.
- Kung, E. C. – Bryson, R. A. – Lenschov, D. H., 1964: Study of a continental surface albedo on the basis of flight measurements and structure of the earth's surface cover over North America. – Mon. Weath. Rev. 92. 543–564.
- Ljilke, R., 1966: Vergleichende Energieumsatzmessungen im Walde und auf einer Weise – Arch. Forstwes. 15. 995–1015.

- Mayer, H.*, 1978: Kenngrossen des vertikalen Windprofils in und über einem Fichtenwald. — *Agric. Meteorol.* 19. No. 4. 275–293.
- Müller, D. H.*, 1955: The heat and water budget of the earth's surface. — *Advanc. Geophys.* 11. 175–302.
- Müller, P. C.*, 1969: Tests of solar radiation models in three forest canopies — *Ecol.* 50. 5. 878–888.
- Müscherlich, C.*—*Möll, W.*—*Könstle, E.*—*Maurer, P.*, 1965: Ertragskundlichökologischen Untersuchungen in Rein- und Mischbestand. — *Allg. Forst. Jagdz.* 136.
- Monyin, A. Sz.*—*Obuhov, A. M.*, 1954: Osznovnije zakonomernosztyi peremesivanyija v prizemnom szloje atmoszferi. — *Tr. Geofiz. AN. SZSZSZR*, No. 24 (151).
- Nagy, L.*, 1972: Sugárzás és hőmérsékletvizsgálatok az újszentmargitali erdőben. — *MTA. Biol. Oszt. Közl.* 15. 51–60.
- Nagy, L.*, 1985: Weather conditions in the sample area during the research period. Ecology of an oak forest in Hungary — Results of „Silvökult Project” 1. 58–103. (Editor: P. Jakucs). Akad. Kiadó Budapest.
- Privozarova, Z. J.*—*Guljaev, B. J.*, 1958: Aktinometri-cseszkije nabljudanija v leszu. GGO. Vüp 86. 25–37.
- Rauner, Ju. L.*, 1960: O teplovoj balansz lesza. — *Izv. Akad. Nauk. SZSZSZR. Ser Georg.* 1. 49–59.
- Rauner, Ju. L.*, 1962: K metodike opredelenija szosztavl-jajuscsh teplovogo balansza lesza. — *Teplovoj balansz lesza i polja. Akad. Nauk. SZSZSZR.* 104–130.
- Rauner, Ju. L.*, 1976: Deciduous Forest. Vegetation and the Atmosphere 2. (Edited by J. L. Monteith) 241–284.
- Reifenyder, W. E.*, 1967: Forest meteorology: the forest energy balance. — *Int. Rev. Forestry Res.* 2. 127–179.
- Schomaker, G. E.*, 1968: Solar radiation under a spruce and birch canopy during May and June. — *Forest Sci.* 14. 1. 31–38.
- Stanhill, G.*—*Hofstede, G. J.*—*Kalma, J. D.*, 1966: Radiation balance of natural and agricultural vegetation. *Quart. J. Meteor. Soc.* 92. 128–140.
- Stewart, J. B.* 1971: The albedo of a pine forest — *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.* 97. 414. 561–564.
- Tajchmann, S. J.*, 1967: Energie un Wasserhaushalt verschiedener Pflanzenbestände bei München. — *Univ. München, Meteor. Inst. wiss. Mitt.* 12. 94.
- Tajchmann, S. J.*, 1972: The radiation and energy balances of coniferous and deciduous forest. — *J. appl. ecology.* Vol. 9. No. 2, 359–377.
- Vezina P. E.*, 1964: Solar radiation available over snow pack in a dense pine forest. — *Agric. Meteorol.* 1. 54–65.

IDŐJÁRÁS

Az Országos Meteorológiai Szolgálat folyóirata. 91. évf. 2–3. szám. 1987. március–június
Journal of the Hungarian Meteorological Service. Vol. 91. No. 2–3 March–June 1987 Budapest

A tényleges evapotranspiráció átlagos területi értékének becslése*

KOVÁCS GYÖRGY, *Vizgazdálkodási Tudományos Kutatóközpont,*
H–1453 Budapest, Pf. 27

The estimation of the areal average of the effective evapotranspiration. The potential evapotranspiration is considered as a summarized character of climat and surface circumstances by traditional methods using for estimation of effective evapotranspiration the give the whole amount of water is able to evaporate from a surface provided there is no kind of obstacles which limits consumption of all available energy during the evaporation. The investigations dealing with the limiting factors first of all with the water available on the surface and in the soil moisture zone and with the transport processes working in roofs, stalks and leaves were in the centre of the researches. ET_A values are expressed as a function of ET_P using variables regarding limiting factors mentioned above (such are plant resistance, water potential or soil moisture deficit). The equations determining the potential evapotranspiration as function of meteorological elements give the wanted value as sum of two terms – radiation and ventilation. The second term is proportional to multiplication of the wind speed and the vapour pressure deficit. The base of the approach using its additional feature is that recognition the potential evapotranspiration – especially its second term of ventilation – decreases considerably when the evaporation increases on windward side of the area because the increased evaporation causes temperature fall and vapour content rise. Its effect is sensible in rapid decrease of vapour pressure deficit. The potential evapotranspiration isn't allowed to regard as independent factor during the estimation of effective evaporation but quite the contrary ET_P value depends on the effective evaporation on the windward side of an area. So these variables ET_A and ET_P complete each other. The earlier models derived on the basis of the additional feature are useful in practice of the variables used in the equations are interpreted correctly. We have to examine how large is the area if which evaporation influences the value of potential evapotranspiration at a well-determined point, how we can estimate the mean energy of the incident radiation onto the area and the ratio of momentary potential evapotranspiration to its maximum possible value. Analyzing these questions we intend to help becoming acquainted with method on the basis of the additional feature and is suggested for estimation of effective areal evapotranspiration.

*

A tényleges evapotranspiráció átlagos területi értékének becslése. A tényleges evapotranspiráció becslésére szolgáló hagyományos módszerek a potenciális evapotranspiráció értékét az éghajlati és felületi adottságok olyan összegzett jellemzőjének tekintik, amely megadja egy területről elpárologható összes vízmennyiségnek felső határát, feltételezve, hogy semmiféle akadály nem korlátozza a rendelkezésre álló energia teljes felhasználását a párolgási folyamatban. A kutatás központjában ezért azok a vizsgálatok álltak, amelyek a korlátozó tényezőknek – elsősorban a felszínen és a talajnedvesség zónájában elérhető víznek, valamint a növények gyökérzetében, szárában és levélzetében kialakuló transzport folyamatoknak – hatását voltak hivatottak feltárni. Ezek eredményeként az ET_A értéket az ET_P függvényében fejezik ki bevezetve olyan változókat, amelyek az említett korlátozó tényezőket veszik figyelembe (ilyenek a növényi ellenállás, a növények vízpotenciálja, a talajnedvesség-hiány).

* A tényleges és a potenciális párolgás kiegészítő jellegén alapuló Morton-féle modell értékelése.

Az összefüggések, amelyek a potenciális evapotranspirációt meteorológiai változók függvényében határozza meg, a keresett értéket általában két tagnak — a radiációs és a ventilációs összetevőnek — az összegeként adják meg. Az utóbbi a szélesség és a párányomáshiány szorzatával arányos. A kiegészítő jelleget felhasználó megközelítés alapja az a felismerés, hogy a potenciális párolgás — különösen annak második ventilációs tagja — lényegesen csökken, amikor a szél felüli területen a tényleges párolgás növekszik, mert a nagyobb párolgás következménye a hőmérséklet csökkenése és a páratartalom növekedése. Ennek hatása pedig a párányomáshiány gyors csökkésében mutatkozik. A tényleges párolgás becslésekor tehát nem tekinthetjük a potenciális párolgást független változónak, hanem éppen ellenkezően az ET_P érték függ a szél felüli terület tényleges párolgásától. Így a két változó — az ET_A és ET_P — egymást kiegészítő érték. A kiegészítő jelleg alapján levezetett korábbi modellek gyakorlati alkalmazásának előfeltétele az összefüggésekben szereplő változók helyes értelmezése. Ennek során vizsgálunk kell, milyen kiterjedésű az a terület, amelynek tényleges párolgása befolyásolja egy megadott ponton mért potenciális párolgás értékét, milyen módon becsülhetjük a területre érkező átlagos sugárzás energiáját és hogyan becsülhetjük a pillanatnyi potenciális párolgásnak a lehetséges legnagyobb értékhez viszonyított arányát. Ezeket a kérdéseket elemezve arra törekszünk, hogy elősegítsük a tényleges területi párolgás becslésére javasolt, kiegészítő jellegen alapuló módszer megismerését és széles körű alkalmazását.

*

A kiegészítő jellegen alapuló megközelítés alapelve. A potenciális és a tényleges párolgás kiegészítő jellegének gondolatát *Bouchet* (1963) vetette fel és *Morton* (1965) közölte az első ilyen alapon kidolgozott modellt. Az ezt követő vita (*Christiansen*, 1966; *Solomon*, 1966; 1967; *Fortin* és *Seguin*, 1975; *Seguin*, 1975) néhány elemét és adatát, valamint az új megközelítési mód alkalmazhatóságának igazolására szolgáló újabb kutatások eredményeit (*Morton*, 1975; 1976; 1978) felhasználva *Morton* két tanulmányban ismertette az evapotranspirációnak (*Crae* és *Morton*, 1983a), illetőleg a szabad vízfelszín párolgásának (*Crae* és *Morton*, 1983b) számítására javasolt eljárást.

A tényleges párolgás (ET_A) becslésére szolgáló hagyományos módszerek a potenciális evapotranspiráció (ET_P) értékét olyan összevont jellemzőnek tekintik, amely a klíma és a felszín állapotát kifejezve megadja a párolgás lehetséges felső határát, feltételezve, hogy semmi sem korlátozza a rendelkezésre álló energiának felhasználását a párolgási folyamatban. A kutatás központi feladatának tekintették ezért, hogy felderítsék azokat a korlátozó tényezőket, amelyek gátolják ennek a felső határnak elérését. Ezek sorában elsősorban a felszínen és a felső talajzónában rendelkezésre álló víz mennyisége, valamint a növényen belül a vizet a gyökértől a levelekig szállító fiziológiai folyamatok az uralkodók. Ezeknek a kutatásoknak eredményeként az ET_A értéket az ET_P függvényeként adják meg, bevezetve egy egység nélküli kisebb szorzó tényezőt, amely ezeknek a korlátozó tényezőknek a hatását hivatott kifejezésre juttatni. Ilyen tényezők a növényzet belső ellenállása (*Monteith*, 1965; *Thom* és *Oliver*, 1977) a növény vízpotenciálja (*Federer*, 1975), vagy a talajnedvesség-hiány (*Antal*, 1968; 1972; *Antal* és *Kozmáné*, 1980).

Az energiamérleg és a transzport egyenletek elméleti alapjait felhasználva születtek meg a ET_P érték számítására szolgáló ún. összevont módszerek, amelyek közül a legismertebb *Penman* (1948) egyenlete. Ez, és a hasonló, módosított, javított összefüggések (pl. *Monteith*, 1965; *Rijtema*, 1965; *Doorenbos* és *Pruitt*, 1977) a potenciális evapotranspirációt a radiációs (ET_R) és a ventilációs (ET_V) összetevő összegeként adják meg:

$$ET_P = ET_R + ET_V \quad (1)$$

Az összeg első tagja arányos a látens és az érzékelhető hőfluxus fenntartásához közvetlenül rendelkezésre álló energiával:

$$ET_R = A \frac{R}{\lambda}; \quad R = \lambda E + H = Q + G - \frac{\partial S}{\partial t}; \quad (2)$$

ahol Q a radiáció eredője, G a föld belsejéből érkező hőfluxus, — ami általában elhanyagolható, mert nem éri el a sugárzási mérleg 3%-át (*Shuttleworth et al*, 1984) —, $\partial S/\partial t$ jelképezi a felszín alatt és a növényzet tömegében tárolt hó változását, λE a látens, H az érzékelhető hőfluxus és λ a víz elpárologtatásához szükséges fajhő. A ventilációs term az u szélsébség és a párányomás hiány szorzatának függvényeként adható meg

$$ET_V = B \frac{u(e_{0A} - e)}{\lambda}; \quad (3)$$

ahol e_{0A} az észlelt T_A léghőmérséklethez tartozó telítési párányomás, e pedig a ténylegesen mért párányomás. A potenciális párolgás modelljének ez a szerkezete általában elfogadott az irodalomban. A különböző javasolt módszerek eltérése általában csak a két arányossági tényezőnek (A és B) értelmezéséből és számszerűsítéséből fakad.

A kiegészítő jellegű felhasználó módszer alapja az a tény, hogy az 1–3. egyenletek szerint az ET_P érték függvénye a levegő páratartalmának és hőmérsékletének: a hőmérséklet növekedésével növekszik (mivel nagyobb e_{0A} tartozik a magasabb hőmérséklethez) és csökken, amikor a tényleges páratartalom növekszik. Figyelembe kell venni azonban, hogy mind a léghőmérsékletet, mind a páratartalmat befolyásolja az ET_P megfigyelésre szolgáló állomás szélfelőli oldalán levő terület tényleges párolgása. A nagyobb ET_A következménye a hőmérséklet csökkenése és a páratartalom növekedése, tehát az közvetetten az ET_P érték csökkenését okozza. Nem tekinthetjük ezért a potenciális párolgást független változónak az ET_A érték becslésekor, hanem a hagyományos megközelítési móddal ellentétben azt kell figyelembe vennünk, hogy az ET_P mint ok kapcsolódik a megfigyelési ponton észlelt klímajellemzőket befolyásoló terület tényleges párolgásához, mint okozathoz.

Morton modelljének ismertetése

Az előzőkben kifejtett ok és okozati kapcsolat alapján *Morton* modelljének kiinduló hipotézise szerint az ET_A érték növekedése az ET_P csökkenésével egyenlő:

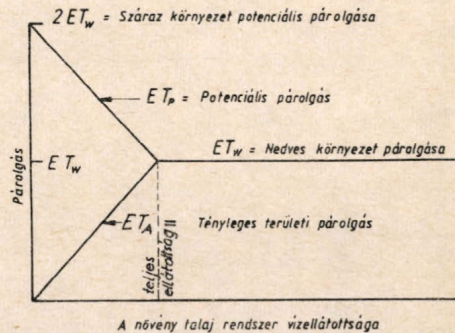
$$\partial ET_P = -\partial ET_A \quad (4)$$

A differenciálegyenlet integrálásakor határfeltételként figyelembe veszi, hogy az ET_P maximuma akkor alakul ki, amikor ET_A zérus, míg az ET_A maximumát akkor éri el, ha a vízellátás a növényzet és a talaj rendszerében nem korlátozott, és ezért a levegő párával telített ($e = e_{0A}$). Ennek a feltételnek következménye, hogy az ET_P minimuma a radiációs összetevővel egyenlő és ebben az esetben a tényleges és potenciális párolgás egyenlő ($ET_{P\text{MIN}} = ET_{A\text{MAX}} = ET_R$) (*Morton* a potenciális párolgásnak ezt a minimumát a nedves környezet evapotranspirációjának nevezte, és ET_W vel jelölte, tehát $ET_W = ET_R$).

Az említett határok között végrehajtott integrálás eredménye azt mutatja, hogy az $ET_{W \text{ MAX}}$ érték az ET_W kétszerese. Minthogy ebben az esetben $ET_A = 0$, ebből következik, hogy a potenciális és a tényleges párolás összege ezen a határon ugyancsak a nedves környezet evapotranspirációjának kétszerese. A másik szélső esetben, amikor az ET_P minimumához, az ET_A maximumához tart – és mindkettő az ET_W -vel egyenlővé válik – ugyanez az egyenlőség fennáll. A modell levezetéséhez felhasznált második munkahipotézis szerint a két határhelyzetet jellemző egyenlőség a teljes tartományra érvényes (1. ábra):

$$ET_A + ET_P = 2ET_W = 2ET_R \quad (5)$$

A két feltételezés megbízhatóságát Morton számos megfigyelési adat elemzésével igazolja különböző publikációiban. Összeveti két állomás kádpárolgási

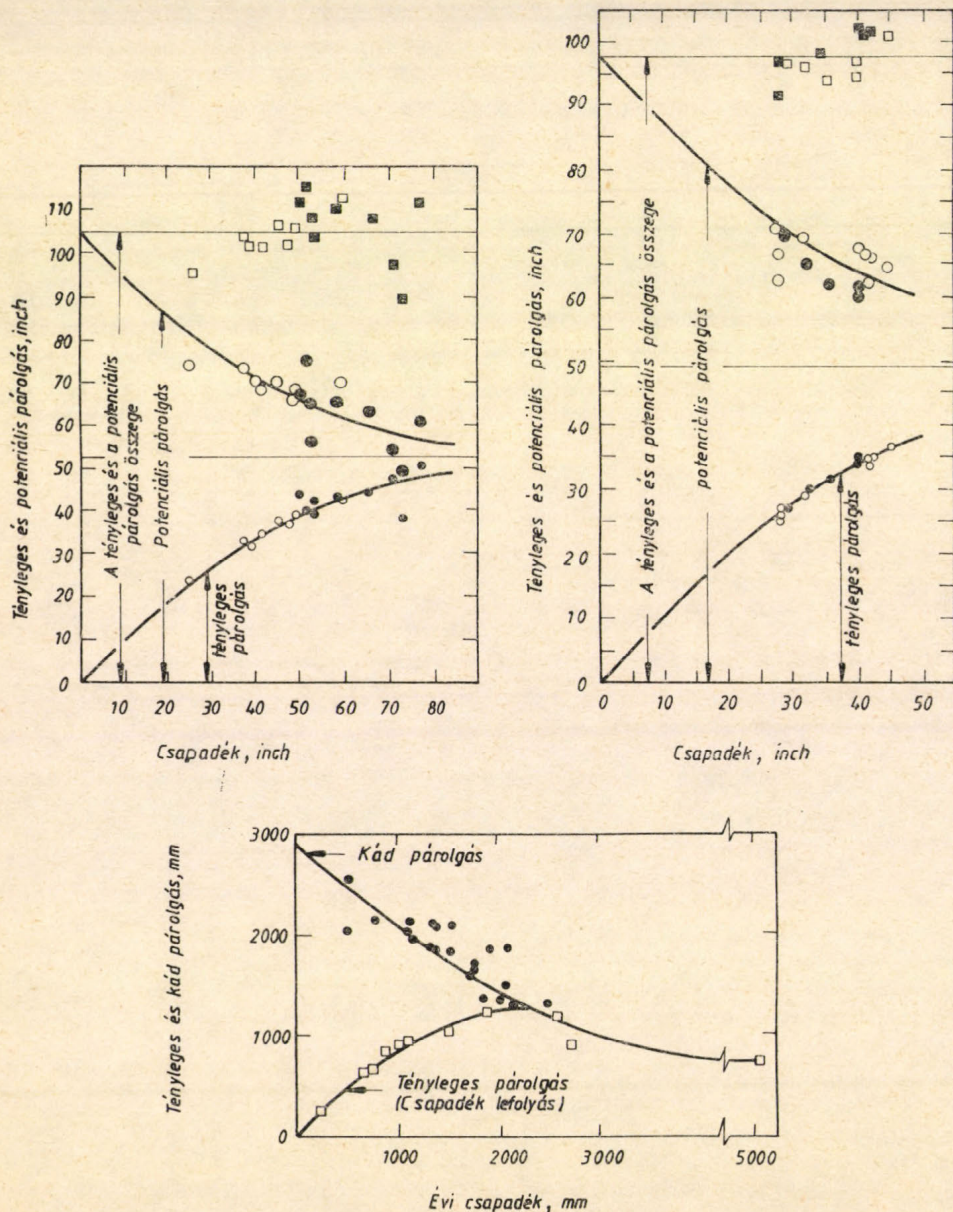


1. ábra: A területi és a potenciális párolgás kiegészítő kapcsolatának elvi vázlata

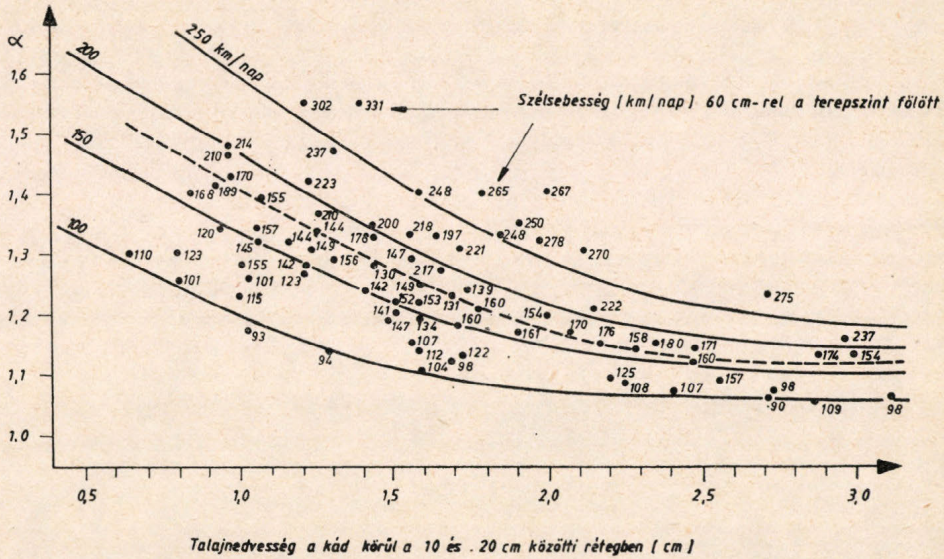
adatait (a két állomás azonos klímazónában helyezkedik el, a sugárzás tehát csaknem egyező, azonban az egyik sivatagi környezetben helyezkedik el, a másik körül a talaj és a növényzet vízzel jól ellátott) megállapítva, hogy a párolgás aránya az első félévben 1,75, július és december között pedig 1,92. Egy másik mérés adatai szerint – amelyet evaporációs tálakkal hajtottak végre és így ezek eredményei is az $E_P T$ értékre jellemzők, – mért párolgás gyorsan csökkent, amint a szélirányban mért távolság növekedett egy olyan öntözött terület peremétől, amelyet sivatag vett körül. A 300 m-en belül mért csökkenés függött az öntözött talaj nedvességállapotától is: száraz talaj fölött volt a legkisebb (1,45), a viszonylag nedves állapotot 1,67-es arány jellemezte és a legnagyobb csökkenést (1,89) teljesen átnedvesedett talaj fölött észlelték (Davenport és Hudson, 1967). Talán a legmeggyőzőbbek azok a példák, amelyek az ET_P és ET_A összetartozó mért értékeit szemléltetik az évi átlagos csapadék függvényében (amely változót a párat szolgáltató rendszer vízellátottságát közvetlen jellemző értéknek tekinthetjük). Az ábrákat Solomon (1967), illetve Giusti (1978) szerkesztette és itt Morton (1983a) közleménye alapján mutatjuk be (2. ábra). A kapcsolatok szerkezete gyakorlatilag megegyezik Morton modelljének az 1. ábrán bemutatott elvi vázlatával. Morton példái kiegészíthetők Mukammal és Neumann (1977) méréseivel. Ők azt vizsgálták, hogy a Priestley–Taylor egyenlet (1972) a tényezője miként függ a szárelbességtől és az A típusú kádat körülvéző talaj nedvességtartamától (ugyanis az α értéket A típusú kádat értékeiből számították, 3. ábra). A legnagyobb mért érték ($\alpha_{\text{max}} = 1,57$) 1,25-ször volt nagyobb az eredetileg javasolt átlagos jellemzőnél ($\bar{\alpha} = 1,26$) és 1,48-szorosan haladta meg a megfigyelt

legkisebb értéket ($\alpha_{\min} = 1,06$). A görbék azt is jelzik, hogy a legkisebb és a legnagyobb érték aránya még nagyobb lehet, ha a megfigyelés során kialakult helyzeteknél szélsőségesebb állapotok (250 km/d értéket meghaladó szélsőesség és 0,5 cm-nél kevesebb víztartalom a felső talajrétegben) befolyásolják a párolgást.

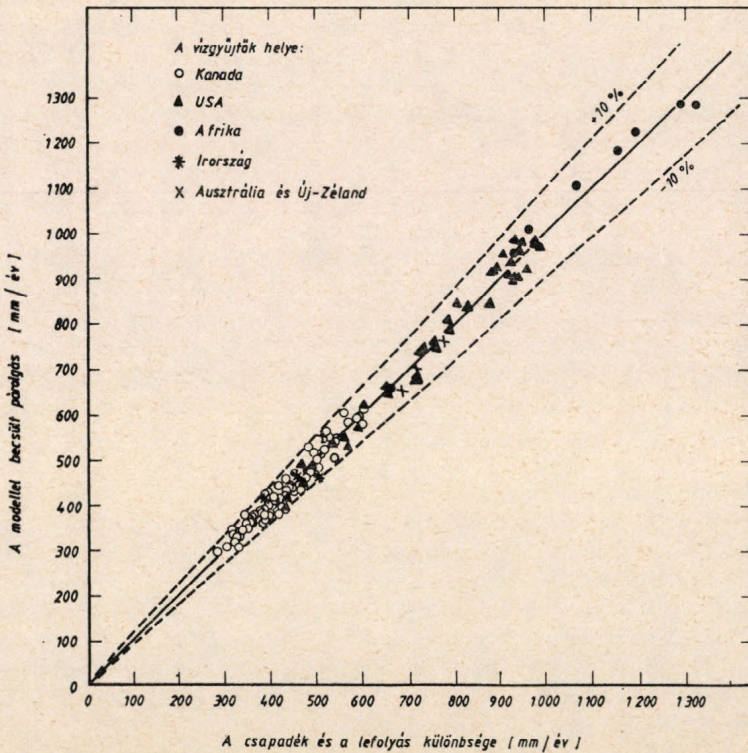
Amint ezt dolgozataiban rögzítette, Morton fő törekvése az volt, hogy könnyen kezelhető és a meglévő rendszeres meteorológiai észlelésekre alapozott bec-



2. ábra: A potenciális és a tényleges párolgás a csapadék függvényében



3. ábra: A Priestley-Taylor egyenlet α tényezőjének változása a szélességgel és a nedvességtartalom függvényében



4. ábra: Számított és mért értékek összehasonlítása (143 vízgyűjtő alapján)

lési módszert találjon a tényleges párolgás meghatározására mindaddig, amíg a talaj-víz-növényzet rendszerben lezajló bonyolult folyamatok jobb megismerése lehetővé nem teszi a tényleges okozati összefüggések megbízható leírását. Ezért folytatta kutatásait az 5. egyenletben szereplő független változók (ET_P , ET_W) meghatározása érdekében. Ennek során fokozatosan javította a javasolt modell szerkezetét, amelynek részleteit számos dolgozatban ismertette (Morton, 1965; 1968; 1970; 1971; 1975; 1976; 1978; 1983a; 1983b). A rendszeres észlelések adatainak felhasználásán kívül az is előnye módszerének, hogy nem kell a paramétereket optimalizálni a helyi adottságok szerint. Egyértelmű fizikai értelmezésük lehetővé teszi a gyűjtött adatok közvetlen használatát és ez biztosítja az összefüggés egyetemes alkalmazhatóságát. Ezt a 4. ábrán bemutatott grafikon igazolja, ahol a javasolt módszerrel hónapról hónapra számított értékekből képzett átlagos évi párolgást hasonlította a vízgyűjtők lefolyási hiányaként meghatározott átlagos évi párolgáshoz. A világ különböző régióiból gyűjtött nagyszámú adat szerint a kétféle módon számított érték eltérése 10%-nál kisebb.

Morton modelljének javasolt módosítása

Egyik tanulmányában Morton (1978) felhívja a figyelmet arra, hogy néhány korábban javasolt közelítése esetleg ellentmondásra vezethet (pl. a Priestley – Taylor egyenlet használata a radiációs összetevő számítására egyenértékű annak feltételezésével, hogy a páranomáshiány arányos a sugárzási egyenleggel, írja – ami talán nem is olyan ellentmondásos legújabb vizsgálataink szerint, amennyiben szabad vízfelület párolgását vizsgáljuk amire az említett egyenlet valóban vonatkozik). Az ilyen ellentmondások kiküszöbölése érdekében néhány további változót vezet be, talán kissé mesterkéltnek tűnően (pl. a sugárzási egyenleg növelése érdekében egy állandóval növeli a 2. egyenlet A tényezőjét mondván, hogy ezzel a hőtározás és az advekciót igyekszik figyelembe venni).

Úgy véltük, hogy Morton kiindulási feltételének (4. egyenlet) kis módosításával nemcsak ezek az ellentmondások kiküszöbölhetők ki új változók bevezetése nélkül, hanem az egész közelítésmód értelmezését és gyakorlati alkalmazását is segíthetjük. Ugyanakkor az új közelítés végeredménye nem lényegesen tér el az eredeti javaslatától, így mindazok a gyakorlati igazolások, amelyekről már említett tettünk, a módosított eljárás megbízhatóságát is alátámasztják.

Feltételezhetjük, hogy a hőmérséklet és a páratartalom változása a potenciális párolgás két összetevője közül lényegesen csak az ET_V értéket módosítja, az ET_R változása ehhez képest elhanyagolható. Ennek az állításnak az igazolására közelítő számítást végeztünk, ami azt mutatta, hogy – a gyakorlatban előforduló hőmérséklet-tartományban – a radiációs összetevő változása a felület hőmérsékletének és a léghőmérsékletnek változása következtében ellentétes, és így részben kompenzálja egymást, az eredő értéke pedig a ventilációs taghoz viszonyítva mindössze néhány százalék.

Elfogadhatjuk tehát a hipotézis leszűkítését az ET_A és az ET_V kapcsolatára és azt sem kell megkívánnunk, hogy ezek változása azonos, csupán arányos legyen (hiszen két folyamat, a hőmérséklet és a páratartalom-változás együtt teremti kapcsolatot a két változó között és ezért a differenciális értékek azonossága nem feltétlenül bizonyítható):

$$\partial ET_V = -C \partial ET_A \quad (6)$$

és integrálás után

$$ET_V = -CET_A + D \quad (7)$$

A D integrálási állandót abból a feltételből határozhatjuk meg, mely szerint a ventilációs tag zérus, amikor a levegő párával telített. Ez a körülmény akkor következhet be, ha a szélfelőli befolyásoló terület egészen a felület vízellátottsága korlátlan, kialakulhat az ET_A maximuma, ami egyben azonos az ET_P -vel, ami viszont ebben az esetben a minimális értékre csökken és a radiációs összetevővel válik egyenlővé:

$$D = C \cdot ET_R; \quad \text{mert } ET_P = ET_A = ET_R, \quad \text{amikor } ET_V = 0 \quad (8)$$

Megjegyezzük, hogy kérdéses, vajon ilyen teljes telítődés a természetben bekövetkezik-e, vagy számolnunk kell esetleg az $ET_{V \text{ MIN}}$ véges alsó korlátjával. Erre választ nagy, szabad vízfelületek szélfelőli és átellenes oldalán egyidejűleg megfigyelt adatok feldolgozásával adhatunk. A vizsgálathoz a Balaton jó feltételeket kínál és az elemzéseket a közeljövőben ilyen irányban folytatni kívánjuk. A zérustól eltérő alsó korlát bevezetése is figyelembe vehető egyébként az integrálási állandó meghatározása során. Ez jellegében a végső összefüggést (11. egyenlet) nem módosítja, csupán szerkezetét teszi bonyolultabbá.

A C szorzó tényező meghatározására a másik határfeltételt kell felhasználnunk, amely szerint az ET_A érték akkor növekszik a maximumig, amikor a befolyásoló területen a tényleges párolgás zérus. Minthogy feltételeztük, hogy a sugárzási összetevő független az ET_P -tól az utóbbi zérus volta a ventilációs összetevő maximumát ($ET_{A \text{ MAX}}$) biztosítja. Ebből következik, hogy

$$C = \frac{ET_{V \text{ MAX}}}{ET_R}; \quad \text{mert } ET_P = ET_R + ET_{V \text{ MAX}}, \quad \text{amikor } ET_A = 0 \quad (9)$$

A 9. egyenlet világosan mutatja, hogy eszerint a ventilációs összetevő maximuma és a sugárzási egyenleg között kell feltételeznünk arányosságot. Az ilyen kapcsolat léte pedig nem tűnik ésszerűtlen hipotézisnek. Az is igazolható, hogy $C = 1$ feltétel esetén az eredeti modellt kapjuk vissza, míg különböző C érték használata egyben megszabja a maximális potenciális párolgás és a nedves környezet evapotranspirációjának arányát:

$$ET_{P \text{ MAX}} = ET_R + ET_{V \text{ MAX}} = ET_R(1 + C)$$

$$\frac{ET_{P \text{ MAX}}}{ET_W} = 1 + C; \quad \text{mert } ET_W = ET_R \quad (10)$$

Minthogy a korábban idézett gyakorlati példák csupán azt jelezték, hogy ez az arányszám kettő körül alakulhat, és nem azt, hogy pontosan kettő, a C tényezőnek az egységtől való kis eltérése nem mond ellent ezeknek a megfigyeléseknek.

A keresett végeredmény elérése érdekében össze kell vonnunk a 7. a 8. és a 9. egyenletet. Eszerint

$$ET_A = ET_R \left(1 - \frac{ET_V}{ET_{V \text{ MAX}}} \right); \quad (11)$$

azaz a megfigyelési helyet befolyásoló területen kialakuló átlagos tényleges evapotranspiráció arányos a potenciális párolgás sugárzási összetevőjével. Az ará-

nyossági tényező a kérdéses terület széllel átellenes oldalán mért ventillációs összetevőnek a lehetséges maximális ventillációs értékhez viszonyított arányából számítható.

A modellben szereplő független változók értelmezése

A 11. egyenletben a tényleges párolgás becsléséhez szükséges független változók két csoportra osztva jelennek meg éppen úgy, mint az ET_P számítására javasolt összefüggésekben. A radiációs összetevő a 3. egyenletben adott értelmezéssel szerepel itt is, míg a ventillációs összetevőt viszonyítanunk kell annak várható legnagyobb értékéhez. (Amennyiben a további kísérletek a ventilláció véges alsó korlátját igazolnák, ennek a tényezőnek a szerkezete változik és megjelenik az $ET_{V \text{ MIN}}$ érték is.) Mielőtt azonban rátérnénk annak elemzésére, hogy a két összetevő számításához milyen megfigyelési adatok szükségesek, vizsgálunk kell a 11. egyenlet felhasználásakor alkalmazandó idő- és térléptéket, azt tehát, hogy milyen időlépésekre integrálva kapunk elfogadható pontosságú becslést és melyik az a terület, amit az így számított átlagos ET_A valóban jellemez.

Minden esetben, amikor a radiációs összetevőt nem a hőmérség összetevőinek részletes mérése alapján számítjuk, hanem rendszeresen megfigyelt meteorológiai adatokból, a legkisebb alkalmazható időegység egy nap. Ilyenkor ugyanis a tárolt hőkészlet $\partial S/\partial t$ változását elhanyagolhatjuk a második egyenletben, mert ugyan a napközi ingadozás jelentős, a 24 órás időközökre számított érték azonban csak kivételesen ritka helyzetekben éri el a többi adat lehetőségűs hibahatárát. Napi átlagos adatokat használva a számítás véletlen jellegű hibája még jelentős lehet a napi tényleges területi párolgáshoz viszonyítva, amikor azonban hosszabb időszakra összegezzük a napi értékeket, a véletlen hibák egymást kompenzálják. A meteorológiai helyzet hirtelen változásainak hatása (pl. esős és száraz napok váltakozása, a felhőborítottság különbségei, hideg vagy meleg légtömegek mozgása) ugyancsak kiegyenlítődik. Minthogy a vízmérség elemzésekben általában kielégítő, ha az időbeli felbontást havi egységekben vizsgáljuk, a havi párolgási összegnek — illetve a hónapok különböző hosszát kiküszöbölendő a vizsgált hónapot jellemző napi átlagos párolgásnak — a számítása tanácsolható. Ehhez a megfigyelt meteorológiai adatok napi átlagos értékeit használhatjuk, bár szükséges olyan érzékenységi vizsgálatok végzése, hogy okoz-e szabályos hibát, ha ezt az átlagot nem folyamatos regisztrátumok alapján határozzuk meg, hanem terminus értékekből. (Pl. milyen eltérés következik abból, hogy a léghőmérséklet napi átlagának számításához általában négy, a vízhőmérséklet esetében három leolvasás áll rendelkezésünkre).

Amint már említettük, a 11. egyenletben a radiációs és a ventillációs összetevő területi értelmezése különböző. Az ET_R a vizsgált terület átlagos állapotát jellemzi, az ET_V , illetve az $ET_{V \text{ MAX}}$ értéket a terület széllel átellenes premén kell meghatározni, mert ezek a területen belül változó felszíni feltételeknek összegezett hatását képviselik. Hidrológiai hasonlatot használva, a ventillációs összetevő a vízszintes transzport folyamatot méri, mint a vízgyűjtő zárószelvényében mért vízhozamot, míg a radiációs összetevő a területen elosztottan jelentkező mennyiségek területi átlagát adja, aminek megfelelője a vízgyűjtőn például az átlagos csapadék. Ezt az értelmezést szem előtt tartva megállapíthatjuk, hogy az ET_R érték számítása nem befolyásolja a területi méret felvételét, az ET_V érték azonban megszaabhatja annak a területnek a kiterjedését, amelyet egy megfigyelő állomással jellemezhetünk (a hidrológiai hasonlatot folytatva, meg kell

határozzunk a megfigyelési ponthoz tartozó vízgyűjtő – most a tényleges evapotranspirációból származó párárt gyűjtő – terület határát). Ennek a kapcsolatnak a feltárásához még további kutatások szükségesek.

Az ET_R érték meghatározásához az átlagos havi sugárzási egyenleg ismerete elégséges, hiszen a földi hőfluxus általában elhanyagolható és – a választott nagy időlépcső esetén – a tárolt hőkészlet változásának hatása sem számottevő. Néhány meteorológiai állomáson közvetlen sugárzásmérések állnak rendelkezésünkre, másutt az egyenleget általános klímajellemzők alapján becsülhetjük, amint ezt *Morton* (1983a) is javasolta. Folyamatban levő kutatásaink föltételezni engedik, hogy a párolgásmérő kádak vízhőmérséklet-adatait is felhasználhatjuk a sugárzási egyenleg pontszerű értékének közelítésére. Bármelyik módszert alkalmazzuk is, azt feltétlenül figyelembe kell vennünk, hogy a radiációs összetevő a vizsgált terület átlagos jellemzője, ezért a felületi adottságok változékonyságát – például az albedó függőségét a felszín borítottságától és állapotától – be kell vonnunk a számításainkba. Egy másik megoldandó feladat a 2. egyenlet A szorzótényezőjének meghatározása. Az irodalomból számos erre vonatkozó javaslat ismert. Ki kell azonban választanunk közülük azt, ami egyszerű és megbízhatósága arányban van az egész modellel elérhető pontossággal.

A ventillációs összetevő számításakor a 3. egyenlet B szorzótényezőjének számítása nem okoz hasonló gondot, jöllehet annak értelmezése az irodalomban lényegesen bizonytalanabb, mint az A tényezőé. Ebben az esetben azonban nem közvetlenül helyettesítjük a ventillációs összetevőt, hanem azt viszonyítjuk a valószínű maximumához. Ezért elégséges, ha az ET_V érték helyett csak a szélsőbesség és a páranomáshiány szorzatát használjuk:

$$\frac{ET_V}{ET_{V\text{MAX}}} = \frac{u(e_{0A} - e)}{[u(e_{0A} - e)]_{\text{MAX}}} \quad (12)$$

A szélsőbesség és a páranomáshiány számításához szükséges hőmérséklet-értékeket rendszeresen mérik a meteorológiai állomásokon. A legtöbb esetben hosszú adatsorok állnak rendelkezésünkre ahhoz, hogy meghatározzuk a szorzat valószínűségi eloszlását és becsüljük adott valószínűséggel bekövetkező értékét. Megoldásra váró feladat azonban a szorzat valószínű maximumának értelmezése. Nedves környezetben – pl. nagy tó közelében – a megfigyelt legnagyobb páranomáshiány is még lényegesen kisebb lehet, mint a zérus tényleges párolgáshoz tartozó érték. Az $[u(e_{0A} - e)]_{\text{MAX}}$ érték elfogadható becsülésének módszere hasonló lehet a lehetséges legnagyobb csapadék meghatározásához: összegyűjtjük az éghajlatilag homogén régió minden állomásának adatát (ebben az esetben a homogenitás a közel azonos sugárzási adottságokat jelenti) és azokat egy halmazba vonjuk össze. Feltételezhető, hogy ennek a halmaznak elemeihez illesztett valószínűségi eloszlás az $ET_{V\text{MAX}}$ elfogadható becsülését adja, ha száraz területet jellemző állomás aszályos időszakokra vonatkozó adatait is tartalmazza a halmaz. A vázolt elemzés pontos módszertanának kidolgozása még további kutatást igényel.

Következtetések

Elemzésünk végső következtetéseként megállapíthatjuk, hogy a potenciális és a tényleges párolgás kiegészítő jellegén alapuló megközelítés az ET_A becsülésének ígéretes módszere, ami a talaj-víz-növényzet rendszer folyamatainak jobb

megismeréséig a tényleges folyamatok leírásán alapuló modelleket helyettesítheti. Morton javasolt eljárása a kiindulási feltétel kis módosításával tovább egyszerűsíthető és az adatigény a rendszeres meteorológiai megfigyelések által szolgáltatott információra szűkíthető.

Az így levezetett összefüggés fontos jellemzője az, hogy a radiációs, illetve a ventilációs összetevő térmérete különböző módon értelmezett. ET_R egy átlagos változó, ami a tényleges — területileg elosztott és a felületfajtajától, állapotától függő — energiakészletet jellemzi, míg az ET_V érték a felületi adottságoknak a széllel átellenes peremen összegezett hatását írja le. Amikor a modellbe helyettesítendő adatokat gyűjtjük, ezt az eltérést feltétlenül szem előtt kell tartanunk.

Van azonban néhány megoldatlan kérdés, amelyeknek tisztázása feltétlenül szükséges ahhoz, hogy az eljárás a gyakorlatba általánosan bevezethető legyen. Ezek közül a következők említhetők mint legfontosabb tényezők:

— A modell egyszerűsítése érdekében bevezetett új feltételezések helytálló-e (pl. a ventilációs összetevő alsó korlátja zérus-e, vagy ettől eltérő véges érték), és ha nem, milyen további módosításokkal alakítható ki az a megbízható egyszerű módszer, amelyet a gyakorlatban a tényleges párolgás területi átlagának becslésére használhatunk?

— Hogyan jelölhető ki annak a területnek a nagysága és határa, amelynek átlagos párolgását a meghatározott ponton levő meteorológiai állomás adataiból számított ET_V értékkel jellemezhetünk?

— Melyik a legmegfelelőbb (egyszerű és mégis kielégítő pontosságot nyújtó) módszer, amelyet a radiációs összetevő becslésére felhasználhatunk?

— Milyen módon vehetjük figyelembe a felszín egyes szakaszainak eltérő állapotát akkor, amikor a terület átlagos sugárzási egyenlegét kívánjuk meghatározni?

— Hogyan vonhatjuk össze egy régió több állomásának adatait egyetlen halmazzá az ET_V érték valószínű maximumának számítása érdekében?

Kutatásainkat folytatjuk, remélve, hogy a felsorolt kérdésekre mielőbb választ adhatunk. Abban is bízunk, hogy ezek a vizsgálatok egyben további példákat szolgáltatnak majd a kiegészítő jellegű alapuló megközelítési mód alkalmazhatóságának és általános — helyi adottságtól független — jellegének igazolásához.

IRODALOM

- Antal E., 1968: Új módszer a potenciális evapotranspiráció számítására. Beszámoló az 1967-ben végzett tudományos kutatásokról. OMSZ. Vol. 34. Budapest.
- Antal E., 1972: Meteorológiai modell az öntözési időpont előrejelzésére. Beszámoló az 1969-ben végzett tudományos kutatásokról. OMSZ Vol. 36. Budapest.
- Antal E. és Kozmáné Tóth, E., 1980: Klimatológiai módosítás a területi párolgás számítására. *Időjárás*. Vol. 84. No. 2.
- Bouchet, R. J., 1963: Evapotranspiration réelle et potentielle, signification climatique. Proceedings of IAHS General Assembly, Berkley, IAHS Publications No. 62.
- Christiansen, J. E., 1966: Discussion of Potential Evaporation and River Basin Evaporation. Journal of Hydraulic Division, Proceedings of ASCE. No. 92. (HY 5).
- Crae and Morton, F. J., 1983a: Operational Estimates of Areal Evapotranspiration and their Significance to the Science and Practice of Hydrology. Journal of Hydrology, Vol. 66.
- Crae and Morton, F. J., 1983b: Operational Estimates of Lake Evaporation. Journal of Hydrology. Vol. 66.
- Davenport, D. C. and Hudson, J. P., 1967: Changes in Evaporation Rates Along a 17 km Transect in the Sudan Gezira. *Agricultural Meteorology*, No. 4.
- Doorenbos, J. and Pruitt, W. O., 1977: Guidelines for Predicting Crop Water Requirements. FAO Irrigation and Drainage Paper, No. 24. Rome.
- Federer, C. A., 1979: A Soil-plant-atmosphere Model for Transpiration and the Availability of Soil Water. Water Resources Research, No. 18 (3).

- Fortin, J. P. and Sequin, B.*, 1975: Estimation de l'ETR régional a partir de l'ETP local: utilisation de la relation de Bouchet a différentes échelles de temps. *Annales Agronomiques* No. 26 (5).
- Giusti, E. V.*, 1978: Hydrology of the karst of Puerto Rico. USGS Professional Papers No. 1012.
- Monteith, J. L.*, 1965: Evaporation and Environment. In the State and Movements of Water in Living Organisms. Proceedings of 19th Symposium of SEB. Cambridge University Press, London.
- Morton, F. J.*, 1965: Potential Evaporation and River Basin Evaporation. Journal of Hydraulic Division, Proceedings of ASCE, No. 91. (HY 6).
- Morton, F. J.*, 1970: Catchment Evaporation as Manifested in Climatologic Observations. Proceedings of IAHS Symposium, Reading, IAHS Publications No. 93.
- Morton, F. J.*, 1971: Catchment Evaporation and Potential Evaporation - Further Development of a Climatic Relationship. Journal of Hydrology. No. 12.
- Morton, F. J.*, 1975: Estimating Evaporation and Transpiration from Climatological Observations. Journal of Applied Meteorology, No. 14 (4).
- Morton, F. J.*, 1976: Climatological Estimates of Evapotranspiration, Journal of Hydraulic Division, Proceedings of ASCE, No. 102. (HY 3).
- Morton, F. J.*, 1978: Estimating Evapotranspiration from Potential Evaporation: Practicability of an Iconoclastic Approach. Journal of Hydrology, No. 38.
- Mukammal, E. and Neumann, H. H.*, 1977: Advective Effects Influencing the Evaporation of a Class A Pan. WMO Seminar on Areal Evapotranspiration, Budapest.
- Penman, H. L.*, 1948: Natural Evaporation from Open Water, Bare Soil and Grass. Proceedings of Royal Society, London, Ser. A. No.193.
- Priestley, C. H. B. and Taylor, R. J.*, 1972: On the Assessment of the Surface Heat Flux and Evaporation Using Large-scale Parameters. Monthly Weather Review, No. 100.
- Rijtema, P. E.*, 1965: An Analysis of Actual Evapotranspiration. Agricultural Research Report, No. 659. Wageningen.
- Sequin, B.*, 1975: Influence de l'évapotranspiration régionale sur la mesure locale d'évapotranspiration potentielle. Agricultural Meteorology, No. 15.
- Shuttleworth, W. J. et al.*, 1984: Eddy Correlation Measurements of Energy Partition for Amazonian Forest. Quarterly Journal of Royal Meteorological Society. No. 110.
- Solomon, S.*, 1966: Discussion of Potential Evaporation and River Basin Evaporation. Journal of Hydraulic Division, Proceedings of ASCE, No. 92 (HY 5).
- Solomon, S.*, 1967: Relationship between Precipitation, Evaporation and Runoff in Tropical Equatorial Regions. Water Resources Research, No. 3 (1).
- Thom, A. S. and Oliver, H. R.*, 1977: On Pennan's Equation for Estimating Regional Evaporation. Quarterly Journal of Royal Meteorological Society, No. 103.

IDŐJÁRÁS

Az Országos Meteorológiai Szolgálat folyóirata. 91. évf. 2–3. szám. 1987. március–június
Journal of the Hungarian Meteorological Service, Vol. 91. No. 2–3 March–June 1987 Budapest

Vízgazdálkodás, melioráció, agrometeorológia

PETRASOVITS IMRE, Agrártudományi Egyetem, H–2103 Gödöllő,
Páter Károly u. 1

Water economy, melioration, agricultural meteorology. The agroecological potential is the integrated index of social standard of value of an area used in agriculture. The maximum yield value has been produced by a concrete plant under a well-defined weather conditions means the practical agroecological potential of an agricultural area. This record yield is limited by the nature of the site and not by the biological potential of species nor the level of the agrotechnics. The restricting factors of the site are the climate (yearly weather) and the elements of soil and the agro-hydropotential as sub-systems. The task of the melioration and the water economy intervention is preventing and reducing their restrictive influence. The purpose of the water economy and water balance regulation in the fields is prepare of a relative equilibrium between maximum income (precipitation) and maximum loss (evapotranspiration) of water balance equation. The melioration is the system of complex measures causes permanent growth of agroecological potential. The melioration wants and means efficient combination of areal and temporal measures of climate-soil-hydro-improvement. The development and practical use of water economy and melioration as science put some new questions to the science and service of (agricultural) meteorology and ask for interdisciplinary useful answers.

*

Vízgazdálkodás, melioráció, agrometeorológia. A mezőgazdasági hasznosítású földterületek társadalmi értékmérő tulajdonságának integrált mutatója: agroökológiai potenciáljuk. Egy mezőgazdasági terület gyakorlati agroökológiai potenciálja alatt valamilyen valószínűségi időjárási feltételek között, üzemi méretekben, konkrét referencia növény már elért maximális terméshozamát értjük. Ezt a rekordtermést nem a fajta biológiai képessége és nem az alkalmazott termesztéstechnológia színvonala, hanem a termőhelyi adottságok limitálják. A termőhelyi korlátozó tényezők az éghajlati (az egyes évek szintjén időjárási), nemkülönben a talaj- és agro-hidro-potenciálok, mint alrendszerek keretében jelentkezhetnek. Korlátozó hatásuk tartós megelőzése, mérséklése a vízgazdálkodási és a meliorációs beavatkozások feladata. A táblaszintű vízgazdálkodás-vízháztartás szabályozás célja a klíma-időjárás érzékeny vízháztartási egyenlet legnagyobb beviteli (csapadék) és legnagyobb kiadási (evapotranspiráció) tételei közötti viszonylagos egyensúlyának előkészítése. A melioráció az (agro) ökológiai potenciál tartós növelését eredményező komplex beavatkozások rendszere. A melioráció a klíma-talaj és hidromeliorációs beavatkozások hatékony tér- és időbeli kombinációját igényli és jelenti. A vízgazdálkodás és melioráció mint tudomány fejlődése és gyakorlati fejlesztése az (agro-) meteorológia mint tudomány és mint szolgáltatás felé számos új kérdést vet fel és kéri azok interdiszciplinárisan felhasználható megválaszolását.

*

A mezőgazdasági termelés lényege, az adott földterületek természeti erőforrásaival való ésszerű gazdálkodás. Ez a tevékenység fokozatosan kinő a korábban kialakult paraszti tradicionális empiria kereteiből. Jelentős mértékben meg-

haladja azt. A mezőgazdasági termelés jellegétől — helyétől függően azonban, még korszerűsödés esetén is, ezeket a hagyományos ismereteket a jövőben is szükséges ötvözni a modern tudománnyal.

A természeti erőforrások rendszere

A mezőgazdasági természeti forrásokat olyan anyagenergia- és feltételrendszernek tekintjük, amelyben az alábbi, egymással kölcsönhatásban álló alrendszerek működnek. Ezek a következők:

- légkör,
- földfelszín, különösképpen a talaj és a domborzat,
- a kettőt összekötő és kölcsönhatásban levő hidrológiai ciklus.

Ezek megítélését illetően, főként pedig kvantifikálásukat, kvalifikálásukat és gyakorlati felhasználhatóságukat tekintve, mind a túlkomplikálás, mind pedig a leegyszerűsítés veszélye fenyegethet.

A *légkörben* a mezőgazdasági termelést leginkább meghatározó tényezőnek a sugárzást és hőmérsékletet tekinthetjük. Jelentős szerepe van még a levegő páratelítettségének és a szélviszonyoknak is. Az éghajlat és időjárás lassabban, illetve gyorsabban változó, dinamikus elemei a rendszernek. Eltérő mértékben ugyan, de mindkettőnek szerepe van a többi tényező befolyásolásában és érvényre jutásában.

A *felszíni* alrendszerben a talajok legfontosabb kémiai, fizikai tulajdonságain belül, főként azok vízgazdálkodási sajátosságait emeljük ki, hangsúlyozva a talajok diszponibilis víztartókéességét.

A felszíni erőforrás alrendszer nagyon lényeges összetevője a domborzat. Nemcsak a lejtő nagysága, alakja és hossza, hanem annak kitettsége. Ez utóbbi a légkör előbb említett, főként sugárzási és hőmérsékleti lehetőségeit realizálja mezo- és mikro szinten is. Ismeretes ezekkel kapcsolatosan a déli fekvésű területek mezőgazdasági szempontból előnyös ökológiai hatása.

A *hidrológiai ciklusban* mezőgazdasági szempontból a legdöntőbb a növényállományok vízigényét lehetőleg kielégítő sajátos vízháztartási egyenlet egyensúlyban tartása, ill. az ezt befolyásoló bevételi és kiadási tételek nagyságának, tér- és időbeni változásának ismerete. Leglényegesebb bevétel a csapadék, és a talajvízből történő vízbevétel, legnagyobb kiadási tétel pedig a növényállományok evapotranspirációja.

Mindezeknek a mennyiségi és minőségi eredője az adott terület *agroökológiai potenciálja*.

Az agroökológiai potenciál értelmezése, gazdálkodási rendszere

A természeti erőforrásoknak, mint rendszernek legfontosabb társadalmi tulajdonsága — a terméshozamban megnyilvánuló — teljesítőképessége, amely az adott táj (régió) agroökológiai potenciálja (AÖP).

Egy mezőgazdasági terület *gyakorlati* agroökológiai potenciálja alatt valamilyen valószínűségű időjárási feltételek között, üzemi méretekben, konkrét referencia növény már elért maximális terméshozamát értjük. Ezt a legnagyobb termést már nem a fajta biológiai képessége, nem is az alkalmazott termesztéstechnológia színvonala, hanem a táblaszintű termőhelyi adottságok határozzák meg.

A termőhelyi korlátozó tényezők a természeti források rendszerstruktúrájának megfelelően lehetnek:

- klimatikusak,
- talaj és domborzatiak,
- hidrológiai jellegűek.

Egyik elméleti és módszertani ellentmondás, hogy a klimatikus tényezők táblaszintű számszerűsítése rendszerint makro adatokról történik.

Az agroökológiai potenciál elsősorban a növényállományok környezeti igényének valamilyen mértékű kielégítőkéességét, másrészt azonban ugyancsak a növényállomány mikro környezeti igényeit kielégíteni hivatott valamilyen szintű természetéstechnológia fogadóképességét foglalja magában. Az agroökológiai potenciál, mint elérhető maximális termés, nem örök és nem abszolút. Jelentős mértékben függ bizonyos időtávon olyan tényezőktől mint a:

- fajtaváltás,
- természetéstechnológia egyes elemeiben bekövetkezett változások pl. gépesítés, kemizálás színvonalának a megváltozása
- és nem utolsó sorban a terület teljesítőkéességét tartósan növelő meliorációs beavatkozások.

A tudomány és a gyakorlat egyaránt felismerte, hogy a természeti erőforrások is végesek. Ez ösztönöz arra, hogy az agroökológiai potenciállal is szükséges tudatosan gazdálkodni. Ez a gazdálkodás az alábbi tevékenységi köröket foglalja magába:

Mindenek előtt a meglévő agroökológiai potenciál *ésszerű használatát*. Kihasználását azoknak a természeti lehetőségeknek, adottságoknak, amelyekkel az adott termőhely rendelkezik. Hangsúlyozni kell, hogy ez ésszerű földhasználat keretében valósuljon meg, vagyis az ökológiai és ökonómiai adottságok, igények és lehetőségek viszonylagos egyensúlyban legyenek. Nem lehet ésszerű földhasználatról beszélni ott, ahol az adott terület ökológiai egyensúlyát szétrombolják, súlyosan vagy tartósan károsítják. Ennek a legjobb mutatója a teljesítőkéesség gyors és nagyfokú csökkenése. Olyan földhasználatot sem tekinthetünk, sem vállalati, sem népgazdasági szinten ésszerűnek, amely hosszú ideig jelentős ökonómiai veszteségekkel veszi igénybe, vagy használja ki az agroökológiai potenciál valamilyen szintjét.

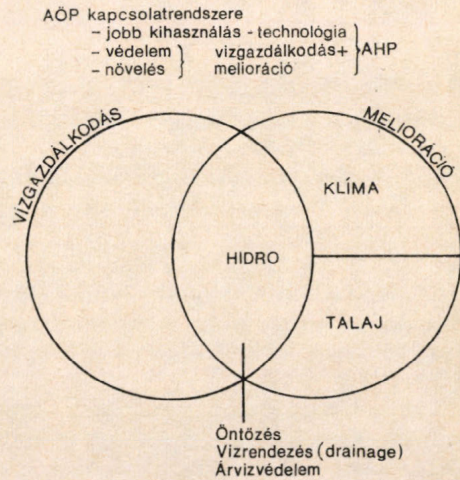
A másik fontos tevékenységi kör az *agroökológiai potenciál védelem*. Ez a feladat különösképpen ott kerül előtérbe, ahol az intenzív természetéstechnológia már csaknem teljes mértékben kihasználja a meglévő potenciált, és ennek során az alkalmazott földhasználat és technológiával túlzottan megterheli a természeti környezetet. A veszélyeztetettség kialakulásában jelentős szerepet játszanak a földhasználat során alkalmazott nehéz gépek és művelőeszközök, a helytelen időpontban végzett talajművelési beavatkozások, a monokultúrás természet. Ide tartozik a gépesítés okozta talajtömörödés, a túlzott műtrágyázás miatt bekövetkező kedvezőtlen talajkémhatás- változás, de olyan természeti tényezők hatása is, mint pl. a defláció, erózió, savas esők. Mindezek esetenként az agroökológiai potenciál nagymértékű, tartós vagy végleges csökkentését okozhatják.

Azokon a területeken, ahol az ökonómiai feltételek is ezt indokolják, jelentkezik az agroökológiai potenciállal való gazdálkodás harmadik mozzanata az agroökopotenciál tartós növelése: *a melioráció*.

Az agroökológiai potenciál jobb kihasználásában az *intenzívebb természetstechnológiáié* a főszerep. Az agroökológiai potenciál védelme és növelése viszont leginkább a vízgazdálkodás és melioráció speciális eszközeit és eljárásait igényli. A kettő közötti sajátos funkció kapcsolatát az 1. ábra vázolja.

Napjainkban sok szó esik a melioráció komplexitásáról. Szükséges e fogalom pontosítása is. A komplexitás két dimenzióját célszerű hangsúlyozni.

Egyik, a környezeti korlátozó tényezők hatását mérséklő és kizáró meliorációs beavatkozások viszonylag optimális tér- és időbeni kombinációja. Pl. ahol öntözni akarunk ott a vízrendezésre is szükség van, vagy ahol megoldják a táblák drénezését, biztosítani kell azok főcsatornába való bekötését is stb.



1. ábra:
A vízgazdálkodás és a melioráció kapcsolata

A másik dimenzió azt jelenti, hogy a meliorációs beavatkozásokkal összhangoltan valósuljon meg azok hasznosításának földhasználati — természetési feltétele is. A komplexitás lényege tehát a meliorációs beavatkozások ökonómiai és ökológiai szempontból legkedvezőbb tér- és időbeni kombinációja. A vízgazdálkodás és a melioráció között nagyon szoros kapcsolat és kölcsönhatás van. Egyik azonban lényegében nem azonos a másikkal, de vannak azonos rendszer tagjai. A vízgazdálkodás és melioráció táblára vonatkoztatott alrendszere a hidromelioráció, amely főként:

- az öntözést,
- a vízrendezést,
- a lecsapolást és árvédelmet foglalja magában.

A vízgazdálkodási, ill. a meliorációs beavatkozások közül mindig annak kell prioritást biztosítani, amely az egész agroökológiai potenciál nagyságát, veszélyeztetettségét vagy növelését a leginkább meghatározza. Ez együttesen, ökológiai és ökonómiai megközelítést igényel.

Az agrohidropotenciál fogalma és rendszere

A dolgozat címbeli összefüggéseiben közös jelenség és új fogalom az *agrohidropotenciál (AHP)*. A hazai tapasztalatok és vizsgálatok, egybevégyően a nemzetköziekkel, azt igazolták, hogy minden vízgazdálkodási és a meliorációs be-

avatkozás túlnyomó többsége a talaj, illetve az adott terület vízigénykielégítő-képességének a fenntartására, őrzésére vagy fokozására irányul. Egy terület vízigénykielégítő-képességét neveztük el *agrohidropotenciálnak*, ami tehát azt jelenti, hogy egy meghatározott termőhely növényállományának vízigényét mikor és milyen mértékben képes az adott földterület biztosítani.

Az agrohidropotenciál olyan integrált mutatóval számszerűsíthető, amely magában foglalja mindazoknak a főbb klimatikus és hidrológiai tényezőknek a hatásait, amelyek akár a természettől származnak, akár a természetstechnológia következtében keletkeztek. Számítására az alábbi egyszerű képlet alkalmas:

$$\frac{\text{vízfogyasztás}}{\text{vízigény}} = \frac{V_f, \text{ mm}}{V_i, \text{ mm}}$$

Az összefüggés értelmezéséhez definiálnunk kell, hogy mit értünk *növényállományok vízigénye* alatt? A növényállomány talajának és légkörének olyan víztelítettségét, ami szükséges ahhoz, hogy ne a víz legyen a természetést (termelést) korlátozó természeti tényező.

A növényállományok vízigényének van egy *statikus* és egy *dinamikus* oldala. A statikus oldal az állománynak a levegő relatív nedvesség-tartalmával, ill. a talaj mértékadó gyökérszónájának *talajnedvesség-készletével* szemben támasztott igényét jelenti. A statikus igénynek megfelelően ellátott állományról történő gőzalakú vízleadás az evapotranspiráció, melynek mértéke viszont azonos a növényállományok dinamikus vízigény nagyságával, a továbbiakban a növényállományok vízigényével fejezzük ki. A vízigény tehát dinamikus fogalom, és relatíve változó érték.

A második fontos fogalom a *vízfogyasztás*, amely a gyakorlatban mindig kisebb mint a vízigény. Ennek oka rendszerint az, hogy a növényállományok vízellátottsága (talaj- és légnedvesség) kisebb mint az optimális igény. Egy ilyen állományból elpárologtatható vízmennyiség különböző fizikai-fiziológiai mechanizmusok miatt kevesebb evapotranspirációt tesz lehetővé, mint a vízigény (dinamikus) nagysága. Mind az igényt, mind a fogyasztást mm-ben mérjük, vagy számítjuk.

I. TÁBLÁZAT

Az AHP – 10 évi adatokból számított – maximális, minimális és átlagos értékei

Ökotípus helye	AHP értékei					
	Maximális		Minimális		Átlagos	
	%	mm	%	mm	%	mm
Csemő	0,73	441	0,30	186	0,43	249
Szigetszentmiklós	0,86	494	0,24	160	0,52	276
Kiskunság	0,74	396	0,21	137	0,47	202
Vácszentlászló	0,67	394	0,20	150	0,50	205
Tápiógyörgye	0,71	274	0,26	160	0,51	254

Az I. táblázat tájékoztatásul bemutatja néhány Pest megyei termőhely 10 évi adatsorából tenyészidőre számított AHP értékét.

Az agroökológiai potenciál és az agrohidropotenciál ugyanazon erőforrásrendszernek más-más tulajdonságát fejezi ki, amelyben az agroökológiai potenciál az egészet, és ennek egy központi alrendszerét pedig az agrohidropotenciál jellemzi.

Magyarországon, de a Föld nagy részén is az agroökológiai potenciált a víz-háztartási helyzet korlátozza. Ez a magyarázata annak, hogy az agrohidropotenciál növelése egyben az agroökológiai potenciál növelését, illetve fordítva az előbbi csökkenése az utóbbi csökkenését vonja maga után.

Adott termőhelyen valamely növény vízfogyasztási és vízigény értékei alkalmasak lehetnek az agroökológiai potenciál becslésére, ahol az utóbbit a víz korlátozza. Ehhez alapul szolgál a fogyasztott víz ökológiai hasznosulását mutató *evapotranspirációs koefficiens*, az ET víz-mm egységére jutó termésmennyiség (mm/kg/ha). Ez utóbbi természetesen erősen függ a termesztéstechnológia színvonalától. Kukoricára vonatkozó adatainkat a *II. táblázat* mutatja.

II. TÁBLÁZAT

ET produktivitás kukoricánál a termesztéstechnológiai színvonal függvényében

Az alkalmazott termesztéstechnika színvonala	ET produktivitás kg (mm) ha
Gyenge	< 10
Közepes	10 – 15
Jó	15 – 20
Kiváló	> 20

Kutatási feladatok, célkitűzések

A dolgozatban közölt tudományos eredmények és ismeretanyag továbbfejlesztésének igénye felveti annak szükségességét, hogy megkeressük azokat a közös pontokat, érintkezési felületeket, melyek az agrometeorológia, mint tudomány és szolgáltatás, valamint a vízgazdálkodás és melioráció között az agroökológiai potenciállal való gazdálkodás, ill. az agrohidropotenciál értékének stabilitása vagy növelése érdekében szükségesek lehetnek, vagy lehetségesek.

Az agroökológiai potenciál és agrohidropotenciál gyakorlati értelmezése első sorban táblaméretekre vonatkozóan történik. Természetesen az egyes táblákra vonatkoztatott adatokból lehet különböző számítási módszerekkel jellemezni egy adott táj, vízgyűjtő vagy egy egész gazdaság agroökológiai potenciálját, ill. már nehezebb, de körülírható az agrohidropotenciál értékelés is. Ezek a fogalmak egy területet és nem egy pontot minősítenek, időben pedig változik az értékük. Közismert, hogy egyes erőforrásrendszer tagjai pontszerűen vagy nem pontszerűen hatnak, gyorsan vagy lassan változnak. Az azonban már kevésbé feltárt, hogy a rendszer tagjainak eredőjeként megfogalmazott AÖP vagy részben az AHP – hol – mikor, milyen mértékben függenek az egyes tagok változásaitól, amelyek az időjáráshoz kötötten térben és időben is nagyfokú változékonyságot mutatnak.

Az erőforrás energia bázisának döntő része az *időjárás* helyzethez kötődik, a tervezés szempontjából pedig a *klímához*. Ezért indokolt felvetni néhány olyan problémát, amelyekkel a táblaszintű agroökológiai potenciállal, illetve potenciálkészletekkel való gazdálkodás nehezen tud boldogulni. Az AÖP jobb kihasználás érdekében alkalmazott termesztéstechnológia és az AÖP védelmét és növelését szolgáló környezetvédelmi és meliorációs beavatkozások *klímaérzékenyek*. Ezeknek a beavatkozásoknak a klíma és időjárás érzékenysége viszont *táblaszintre pontosabban alkalmazható meteorológiai információt igényelne*. Milyen jellegűek

lehetnek ezek az újabb információk és kutatási igények a földhasználat, vízrendezés és a melioráció oldaláról? Tézisszerű megfogalmazásuk az alábbi lehet:

1. az agroökológiai potenciálhoz, ill. agrohidropotenciálhoz szükséges meteorológiai tényezők mérése, számíthatósága, modellezése,
2. a klímamelioráció fogalma és tartalma, kapcsolódása a másik két meliorációs alrendszerhez,
3. a makro-, mező és mikroszintű időjárási és éghajlati prognózisok lehetőségei, tartalma és alkalmazási feltételei a földhasználatban, vízgazdálkodásban, környezetvédelemben és a meliorációban.

Ezekre a kérdésekre adandó válaszok, mind a vízgazdálkodás – melioráció – növénytermesztés, mind pedig a meteorológiai tudomány részéről *interdiszciplináris* gondolkodást és megközelítést igényel.

Az egyes tudományok törvényszerűségeit olyan sajátos módon kell rendszerbe illeszteni, hogy annak eredményeképpen egy átfogóbb elméleti tudományos koncepció, vagy műveleti rendszer szülessék meg, ill. a gyakorlati cselekvésnek egy átfogóbb szélesebb rendszerét alkossa, akár a földhasználatról, vízgazdálkodásról, környezetvédelemtől vagy meliorációról van is szó. Ezt szolgálhatná a két tudományterület művelői közötti fokozottabb együttműködés, mind az elméleti alap kutatás jellegű munkaterületeken, mind pedig a gyakorlati feladatokat megoldó témakörökben.

A tudományközi és a gyakorlati kapcsolatok tartalmi fejlődése szempontjából alapvető; hogyan lehet, lehet-e, meddig lehet az agrometeorológia makroszintű és pontszerű információ rendszerét a vízgazdálkodás és melioráció, nem pontszerű és nem makroszintű (jelenségek és folyamatok) törvényszerűségeinek jobb megismerése érdekében, ill. a gyakorlati tevékenység érdekében felhasználni.

IRODALOM

- Láng, I., 1980: A magyar mezőgazdaság és a természeti erőforrások. *MTA Közlemények*, 1980. 3–4. p.
- Petrasovits, I., 1985: Erhöhung der Wassernutzung der Ausgewählten Kulturpflanzen. Tag. Ber. Akad. Landwirtsch. – Wiss. DDR Berlin. 231. S. 75–80. p.
- Petrasovits, I., 1983: Az agroökopotenciál felhasználása, védelme és növelése. *Agrokémia és Talajtan*, Tom. 32. No. 3–4. 297–310. p.
- Petrasovits, I., 1984: Agrohidropotenciál. *Tudomány és Mezőgazdaság*, XXII. évf. 1. 25–32 p.
- Petrasovits, I. – Rácz, T., 1984: Theoretical and methodological questions of the agroecopotential in Hungary. Computer – Aided Land Use Planning and Management Research Bulletin, Number 693/July, 6–25. p.
- Petrasovits, I., 1984: La relation entre les besoins et la consommation d'eau des plantes. Les Besoins en eau des Cultures. (Conference Internationale Paris 11/14. Septembre) 235–246. p.
- Varga-Haszonits, Z., 1977: Agrometeorológia. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest. 224 p.

IDŐJÁRÁS

Az Országos Meteorológiai Szolgálat folyóirata. 91. évf. 2–3. szám. 1987. március – június.
Journal of the Hungarian Meteorological Service. Vol. 91. No. 2–3 March–June 1987 Budapest

Az öntözés agrometeorológiai alapjai

POSZA ISTVÁN, Agrometeorológiai Observatórium H—5540 Szarvas

The meteorological bases of the irrigation. The precipitation and the moisture stored in the soil don't satisfy water-demand of the plants in Hungary in the most years, so it is necessary to irrigate from time to time. Field experiments related to the irrigation with extended meteorological observations co-operating with Irrigation Research Institute were begun by Hungarian Meteorological Service in the sixties. An evapotranspiration pan network was founded in co-operation with Agricultural University of Gödöllő and Water Economy Scientific Research Institute (VITUKI). The measurements have been gone on with variable number of stations since then. Nowadays about the evapotranspirometers supply data to researches related to the irrigation beside other duties. This paper gives a full account of researches related to the agrometeorological problems of the irrigation lasting more than twenty years. The water demand of the most important species and their computation using only the meteorological data are presented. The simple equations computing the evapotranspiration are shown. Well-oriented statistical data processing is emphasized by the author that is necessary during the construction of an irrigation project. The problems of the experimental and operative information bulletins are discussed at last. The informations given in bulletins have got mostly meteorological character but considering soil and economical properties of the farm are useful in the practice.

*

Az öntözés agrometeorológiai alapjai. Hazánk területének nagy részén a lehulló csapadék és a talajban tárolt nedvesség az évek többségében nem elégíti ki a növények vízigényét, ezért van szükség időnként öntözésre. Az Országos Meteorológiai Szolgálatnál az 1960-as években kezdődtek az öntözéssel kapcsolatos szántóföldi kísérletek és kiterjedt meteorológiai mérések Szarvason, az Öntözési Kutatóintézetrel együttműködve. A későbbiek során a VITUKI-val és a Gödöllői Agrártudományi Egyetemen közösen evapotranspirométeres hálózatot létesítettünk. A mérések változó állomás-számmal azóta is folynak, jelenleg mintegy tíz evapotranspirométer szolgáltat adatokat egyéb feladatok ellátása mellett öntözéssel kapcsolatos kutatások érdekében is. A továbbiakban a több, mint húsz éve tartó, az öntözés agrometeorológiai megalapozását célzó kutatások eredményeiről számolunk be. Ismertetjük a főbb növényállományok vízigényét, ennek meteorológiai adatokból történő meghatározását. Bemutatjuk azokat az egyszerű összefüggéseket, amelyeket az evapotranspiráció különféle számításai során tártunk fel. Rámutatunk a célirányos statisztikai feldolgozások szükségességére az öntöző-rendszerek tervezéséhez. Végezetül a kísérleti és szolgáltatás jellegű öntözési tájékoztatók problémakörével foglalkozunk. Az ennek keretében adott információk ugyan jórészt meteorológiai jellegűek, de a konkrét talaj- és gazdasági adottságok figyelembevételével a mezőgazdasági üzemek jól hasznosíthatják.

*

Hazánk a feltételes öntözés zónájába tartozik, vagyis az öntözés szükségességét elsősorban — bár nem kizárólagosan — az időjárás határozza meg. Hazai klímadottságaink lehetővé teszik az ország egész területén az öntözés nélküli

gazdaságos mezőgazdasági termelést, kivéve néhány különösen vízigényes kultúrát, mint pl. a rizs, vagy egyes zöldség- és gyümölcsnövények termelése.

A tényleges csapadékot valamilyen gyakorisággal és valamilyen mennyiségben öntözéssel ki kell egészíteni, s így az öntözetlen termelésre, — mint alapra — rá rakódik az öntözés költsége, annak többlethozama, és egyéb következményei. Ebből adódik, hogy sokkal bonyolultabbak az öntözéssel kapcsolatos tényleges számítások, valamint az öntözés gazdaságosságának vizsgálata.

Hazánkban így az öntözéses gazdálkodás kezdettől fogva kampányszerű előretörések és visszafejlődések láncolata. Ennek fő oka az ismert csapadékviszonyok rapszódikus volta, a gazdasági viszonyok, a műszaki színvonal, az érdekeltségi rendszer stb.

A természetes csapadék

A csapadék a meteorológiai elemek közül a legismertebb, legalaposabban vizsgált mind a területi eloszlás, mind az idősorok tekintetében. Átlagos és különböző valószínűséggel előforduló értékei táblázatos és térképes formában hivatalos kiadványokban szerepelnek. Ezek közül utalunk a most készülő új Éghajlati Atlasz 1951–80. évi időszakot felölelő adataira. Mindezek ismeretében mégis előfordulnak „félrevezető” periódusok, amelyekből téves következtetéseket vonnak le. Ilyen volt, hogy csak a közelmúltat említsük, az 1965–1975 közötti 11 éves időszak. Ebben a periódusban a kedvező csapadékviszonyok hatására a természet-technológiákból teljesen kiiktatták az öntözést. Ámde a következő 11 éves időszak ennek éles ellentéte lett, mivel 1976–1986 között hat aszályos esztendő fordult elő a Dél-Alföldön, s most már igyekszünk mindent megmozgatni az öntözés érdekében. Sajnos, az időjárási elemek — így a csapadék — hosszú megfigyelési sorozatból levont törvényszerűségeit még mindig nem kellő súllyal veszik figyelembe, sem az irányító szervek, sem a termelő üzemek.

A csapadékatatok feldolgozásakor a szabvány csapadékmérővel ténylegesen mért, nyers adatok kerültek összegezésre, különböző küszöbértékek kiválasztására, gyakorisági sorok előállítására stb. A valóságban azonban a lehullott csapadéknak — mint a vízháztartás bevételi tagjának — csak egy része jelent valószínűségi bevételt, s növeli a talaj nedvességkészletét. A kisebb esők javarészt már a beszivárgás előtt elpárolognak, egy részük pedig a növényeken fennmaradva intercepciós veszteségként csökkenti a bevétel mennyiségét. Hasonló csökkentő tényező a domborzattól és a csapadék intenzitásától függő felszíni lefolyás, de jelenleg ezzel nem foglalkozunk.

A veszteségek miatt a mezőgazdasági szakemberek ún. *hasznosulási értékkel*, azaz a meteorológiai szakkönyvekben szereplő adatoknak 0,7–0,9-szeresével, vagy még ennél is kisebb hányadával számolnak. Felmerülhet esetleg annak szükségessége, hogy eleve ilyen, vagy hasonló súlyozású csapadékatadatokat adjunk közre a felhasználók részére. A sokféle szempontot és esetet azonban egyrészt nagyon nehezen lehetne figyelembe venni, másrészt — amint a későbbiekből kiderül — korrekciózásra nincs is szükség.

A csapadék mérése az 1940-es évektől a jelenleg használt műszerekkel az egész országban ugyan egységes, de nem mentes különböző hibáktól. Nevezetesen nem azt a mennyiséget méri, ami a talaj felszínére leérkezik, hanem kevesebbet. Elsőnek említendő a feltapadás hibája, ami a csapadékhullás kezdetén fordul elő, ekkor ugyanis a műszer a csapadék fajtájától függően 0,2–0,3 mm-rel mér kevesebbet, vagyis ennyi a csapadékmérő indulási küszöbértéke. Ennek követke-

tében tehát eleve néhány százalékkal kevesebbet mér, mint amennyi behullik. Ehhez járul a szél turbulens hatása, ami az 1 m magasan álló műszerből a csapadék fajtájától függően több-kevesebb mennyiségeket kisodor. Ennek a veszteségnek mértékére tíz év mérési sorozatával igyekszünk választ adni.

Szarvason az Agrometeorológiai Observatóriumban a talajba süllyesztett, 3000 cm² felfogó felületű, ún. GGI méretű és parolgásmérő kádakkal párhuzamosan a felszín közelében elhelyezett, szabvány csapadékmérőt is üzemeltetünk. Ezeknek a műszereknek az adatai már jól megközelítik a felszínre jutó mennyiséget, bár a feltapadási hiba itt is fennáll és az előbb említetthez hasonló nagyságrendű. A mérésekből kitűnt, hogy a szél hatására a havi csapadékösszeg csökkenése esetenként eléri a 15%-ot is, de a tenyészidőszakban átlagosan 10%-nak vehető.

A téli hócsapadék mérési hibája még ennél is nagyobb lehet; sőt hófúvásos időszakokban a mért értékek még nagyobb területekre sem tekinthetők reprezentatívnak.

A hagyományos csapadékmérők nem mérik az ún. mikrocsapadékot sem, s ez a becslések szerint az évi csapadékösszeg 5%-a. Ez a mennyiség bár általában nem növeli a talaj vízkészletét közvetlenül, de elpárolgása idejére csökken a talaj vízvesztése.

Végül is a mérési hibák a tenyészidőszakban együttesen, s átlagosan elérhetik a 15–20%-os értéket, vagyis ennyivel kevesebb csapadékot mérünk, mint amennyi a felszínre lejut. Azt mondhatjuk, hogy a ma használatos szabvány csapadékmérők nagyságrendileg az evaporációs és intercepciós veszteségeket „eleve bekalkulálva” működnek, és mérik a *kvázi hasznosuló* csapadékot. Így fölösleges lenne újabb csökkentő tényezőket bevinnünk a csapadék adatok értékelésébe. Természetesen konkrét esetben, a helyszíni ismeretek birtokában és pontossági kívánalmaknak megfelelően szükséges lehet a korrekciózás, különösen a lefolyás miatt. Ha mindezekhez hozzávesszük azt is hogy a csapadék területi eloszlása nem egyenletes, kis területeken belül is jelentős eltérések adódnak, akkor a további finomítást joggal véljük fölöslegesnek.

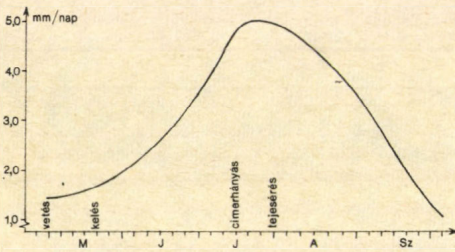
A vízigény

Kétségtelen, hogy az öntözés egyik lényeges meteorológiai alapja a csapadék; adatai feldolgozott formában az ország számos állomásáról és hosszú megfigyelési periódusokra rendelkezésre is állanak. Nem ez a helyzet a növényállományok vízigényével, ami e témában a következő fontos fogalomkör. A víz az egyik domináns meteorológiai elem, amely a növények életműködéséhez alapvetően fontos, de ilyen elem a fény és a hő is. A fejlődésük során eltérő mennyiségben igénylik ezen elemeket, s az igény kielégítésének mértéke megszabja a növényi produktumot: a termést, ennek mennyiségét és minőségét.

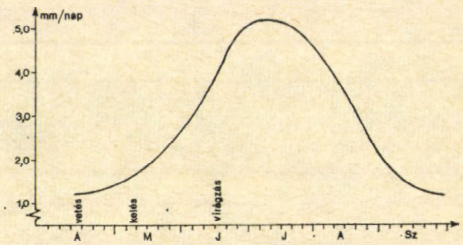
Vízigényen azt a vízmennyiséget értjük, amelyet az adott növények az adott viszonyok között, az evaporáción felül, testük felépítéséhez és a transpirációjuk révén leadott vízmennyiség folyamatos pótlásához igényelnek. Gyakorlatilag ez azonosnak vehető a jó vízellátottságú növényállományok evapotranspirációjával, pl. bő csapadékú években, vagy öntözött körülmények között, vagy az evapotranspirométerekben tenyésztett növények vízfogyasztásával.

A vízigény meghatározásának különböző módszerei közül az Országos Meteorológiai Szolgálat 1963-ban Szarvason a Thornthwaite-rendszerű kompenzációs evapotranspirométerekkel kezdett méréseket az Öntözési Kutatóintézet terüle-

tén, vele együttműködve. A szántóföldi környezetben elhelyezett nagyméretű tenyészედényekben az alulról történő vízpótlás (altalajöntözés) automatikus volta miatt a transpiráció általában potenciális volt, de az evaporáció közel tényleges mértékű. A terméseredmények kiemelkedő volta, valamint az egyéb módon az egész tenyészidőszakra meghatározott vízigényértékekkel összehasonlítva a mért adatokat, kimondhattuk a következőt: Az általunk mért evapotranspiráció értékek – az oázis és egyéb hibák kiküszöbölése után – jó közelítéssel a növényállományok vízigényét adják, de most már rövidebb időszakokra is: hónap, dekád és pentád intervallumokra.



1. ábra: A kukorica vízigénye Szarvason (1963 – 1981. évi átlag)



2. ábra: A burgonya vízigénye Szarvason (1964 – 1981. évi átlag)

Ugyancsak Szarvason kiterjedt hő- és vízháztartás-mérések is folytak. A szabad vízfelszín párolgásának meghatározására többféle típusú párolgásmérő kádat is működtettünk, valamint minden lehetséges meteorológiai elemet mértünk a legkorszerűbb eszközökkel.

A célunk az volt, hogy a ténylegesen mért hazai párolgásadatokat és a meteorológiai elemek ismeretében olyan egyszerű számítási formulákat állapítsunk meg, amelyek segítségével többek között a növényállományok vízigényét ki lehet számítani visszamenőleg is, a többi meteorológiai elemhez hasonló éghajlati számértékek előállítására céljából. Eddig ugyanis más éghajlati körzetekből származó külföldi párolgás-számítási formulákat használtak hasonló célokra.

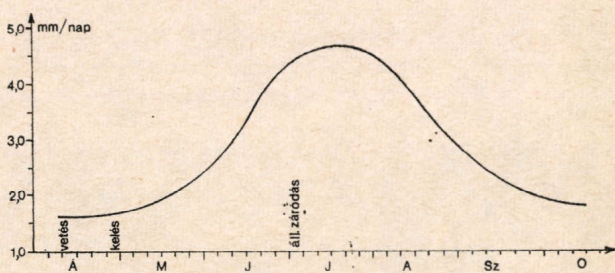
Az első öt év mérési eredményei után meg is születtek ezek a formulák, nevezetesen a potenciális evapotranspiráció számítására alkalmas Antal (1968) féle formula, amelyik a léghőmérséklet és telítési hiány kombinációját használja. Az „A” típusú párolgásmérő kád adatait használó Dunay – Posza – Varga (1968) féle összefüggés, amely a léghőmérsékletet és relatív nedvességet veszi alapul.

Közben elkezdtük a szabad vízfelszín párolgásának mérését éghajlatunk főbb körzeteiben. Ugyanakkor a VITUKI-val és a Gödöllői Agrártudományi Egyetemmel közösen evapotranspirométeres hálózatot létesítettünk; ez először hat állomásból állott. Jelenleg meteorológiai szolgálatunk kezelésében mintegy tíz evapotranspirométeres mérőhelyünk van, ahol egyéb feladatok ellátása mellett öntözéssel kapcsolatos kutatások is folynak.

1963 óta napjainkig közel 20 növényféléssel végeztünk kísérleteket: mértük az evapotranspirométerekben a vízfogyasztást, a környező parcellákon a talaj nedvességtartalmát, fenológiai és terméseredmény megfigyelésekkel egybekapcsolva.

A sok mérési adat és számítási eredmény közül elsőként néhány növény-állomány vízigényének alakulását mutatjuk be. Ismertetjük a tenyészidőszak összegeit és az átlagos pentád értékek alakulását a Szarvason 10–15–20 év alatt mért vízfogyasztások alapján.

A *kukorica vízigénye* átlagosan 500 mm, a legkisebb érték 400 mm, a legnagyobb 650 mm volt. A vetés-kelés fázisban a vízigény naponként mintegy 1,5 mm, majd utána erőteljesen emelkedik (1. ábra) az 5 mm napi maximumát címerhányáskor éri el. A szemképződés után a vízigény csökkenő tendenciájú.

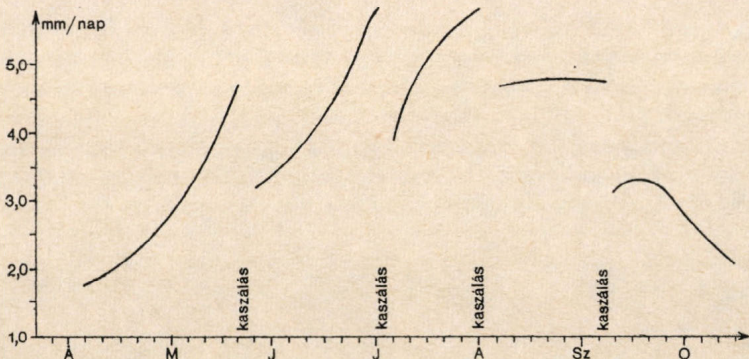


3. ábra: A cukorrépa vízigénye Szarvason (1964–1980. évi átlag)

A *burgonya* átlagos vízigénye az egész tenyészidőszakra 470 mm, a legkisebb mért érték 380 mm, a legnagyobb 620 mm volt. Az időbeli lefolyásra (2. ábra) jellemző a kezdeti 1,2–1,5 mm/nap értékről a gyors emelkedés, amely a teljes virágzás idején s a gumóképződés időszakában eléri a napi 5 mm-t.

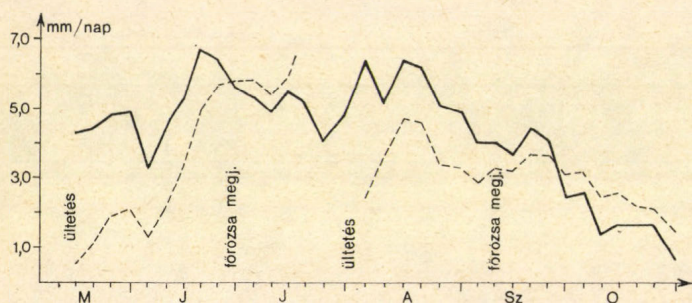
A *cukorrépa* vízigénye is hasonló alakulású, ám a hosszabb tenyészidőszak következtében átlagos értéke 550 mm, viszont a kezdeti 1,5 mm/nap értékről csak 4,5 mm/nap értékig nő (3. ábra) tehát a tenyészidőszakbeli ingás az előbbieknél némileg kisebb amplitúdójú.

A *lucerna* átlagos vízigénye az április 1-jétől október 31-ig tartó tenyészidőszakban 750 mm; a legkevesebb 600 mm, a legtöbb 900 mm volt az 1963–1982 időszakon belül. A 4. ábránk bizonyossága szerint az általános menetre ráépülnek a kaszálások okozta törések. A júniusi és júliusi legmagasabb értékek a napi 6 mm-t is elérik.



4. ábra: A lucerna vízigénye Szarvason (1963–1979. évi átlag)

A szántóföldi növények hasonló jellegű vizsgálatát 1983-ban be is fejeztük, s jelenleg a konzerv hasznosítású kertészeti növényekkel (paradicsom, uborka, zöldborsó, zöldbab, számoça, fűszerpaprika és brokkoli) folytatunk méréseket. A vízigénymérések közül itt csupán a legújabban vizsgált növényről, a *brokkoli*-ról számolunk be, mégpedig a középérésű Skiff-fajtáról. A brokkoli a karfiolhoz hasonló, a káposztafélékhez tartozó, elsősorban köretként fogyasztott zöldség-növény. Hazánkban ma még inkább csak export célokra termelik. E növény érdekessége, hogy tavaszi és nyári telepítésű is lehet, így egy évben két tenyészidőszak vízigénymérés adatait mutatjuk be. A mindössze két hónapig tartó tavaszi tenyészidő (V. 13 – VII. 17.) alatt 1986-ban 244 mm volt a vízigény. A nyárból az őszbe nyúló három hónapos (VIII. 4 – XI. 4.) tenyészidőben pedig 283 mm.



5. ábra: A brokkoli vízigénye (szaggatott vonal) és az A-kád párolgása (folyamatos vonal) Szarvason, 1986-ban

Vízigényének alakulása (5. ábra) a tavaszi 1–2 naponkénti értéktől a főrzsa megjelölésének idejére napi 6 mm értékre növekedett, amikor is a főrzsa lezsedések befejezte tenyészidőszakát. A nyári menet ezzel ellentétes: a napi 4 mm körüli értékekről október végére a vízigény fokozatosan csökkent napi 1–2 mm-re, az időjárás alakulásának megfelelően. A vízigény-dinamika tehát teljes egészében követi az időjárást jellemző A-típusú párolgásmérő kád menetét, mind a tavaszi felszálló, mind az őszi leszálló ágban. Ez a növény tenyészidőszakát a fejlődés csúcspontján fejezi be, amikor is nyáron, pentádátlagban 6 mm/nap, őszszel pedig csak 1 mm/nap volt a vízigénye.

A vízigény számítása

A tapasztalat és a mérések eredményei szerint tehát a vízigényt alapvetően két tényezőcsoport határozza meg. Egyrészt a meteorológiai viszonyok, pontosabban a párolgásra döntően ható elemek és elem-kombinációk, vagyis az ún. potenciális evapotranspiráció, párolgatóképesség, szabad vízfelszín párolgása stb. Másrészt döntő szerepű maga a növényállomány, annak tulajdonságai, vagyis a faj, fejlődési fázis, állományszerkezet stb., amit mi együttesen az ún. növényfaktor vagy *növénykonstans* (k) értékével fejezünk ki:

$$k = \frac{V_i}{f(\text{met})}$$

Hasonló növénykonstansokat használt Penman (1949) és Turc (1961). Megjegyezzük, hogy ezek a növénykonstansok csak ott használhatók, ahol értékeit meghatározták.

A többi évi, általunk mért vízigényértékeket összevetettük a párolgásra ható meteorológiai elemek értékeivel; nevezetesen a *Dunay-Posza-Varga-féle* párolgatóképesség E_0 , az *Antal-féle PE* potenciális evapotranspiráció, valamint a hazánkban használatos *A-típusú* és a 3 m²-es párolgásmérő kád párolgás-értékeivel (P_A és P_3).

A tényleges számítást a következő módon végeztük: az egyes növényállományok pentádonként mért vízigényét sorra elosztottuk a hasonló pentád E_0 , PE , és P_3 értékeivel. Az évenként így meghatározott konstansokat a növény fenológiai fázisai alapján illesztettük, s az 5, 10, 15 és 20 évi mérés alapján kiszámítottuk az átlagos k értékeket. Mivel 1966 óta Kisvárdá, Kecskemét, Érd-Elviramajor, Kapuvár, Keszthely térségében is működtek evapotranspirométerek, mód volt az eltérő talaj és éghajlati körzet hatásának vizsgálatára is.

Az összehasonlító vizsgálatok alapján kitűnt, hogy a területi és talajbeli különbségek mértéke sokkal kisebb, mint az azonos helyen évenként meglévő változékonyság. Így a túlnyomórészt egy ponton meghatározott növénykonstansok az egész ország területére, minden talajtípusra használhatók. Ez várható is az azonos mérési mód és az időjárási viszonyok nem túl nagy változékonysága miatt.

A növénykonstansoknak évenként és esetenként elég nagy a szórásuk, különösen a tenyészidőszak elején. Ez következik a mérési hibák esetleges halmozódásából, a vízellátástól független hatások miatt bekövetkező növényfejlődési rendellenességekből, valamint abból a tényből, hogy a növény mint élő szervezet, eltérő időjárási hatásokra eltérő módon reagál, ezeket kivédeni igyekvő biológiai lény.

I. táblázatunkban példaként bemutatjuk a kukorica átlagos k értékeit a négyféle alapmenyiségre, pentád bontásban. Amint látható, a növényfaktor-nak (ill. növénykonstansnak) is hasonló évi menete van, mint magának a vízigénynek, részleteiben azonban ettől eltérő, mivel abba az E_0 , PE , P_A és P_3 évi menete is beépül.

I. TÁBLÁZAT
A kukorica növénykonstansai

Pentád					Pentád						
	k_0	k_{PE}	k_A	k_U		k_0	k_{PE}	k_A	k_U		
Ápr.	4 vetés	0,47	0,46	0,40	0,48	Júl.	2	0,95	0,95	0,91	1,06
	5	0,48	0,47	0,41	0,49		3 címerh.	0,97	0,97	0,93	1,08
	6 kelés	0,49	0,48	0,42	0,51		4	0,97	0,97	0,94	1,10
Máj.	1	0,51	0,49	0,44	0,52		5	0,96	0,96	0,94	1,10
	2	0,53	0,51	0,46	0,54		6	0,94	0,95	0,94	1,09
	3	0,55	0,53	0,48	0,57		Aug.	1 tejes é.	0,92	0,93	0,93
	4	0,57	0,55	0,51	0,59	2		0,89	0,91	0,91	1,06
	5	0,60	0,58	0,54	0,63	3		0,86	0,88	0,89	1,04
	6	0,64	0,62	0,57	0,68	4		0,82	0,84	0,86	1,01
Jún.	1	0,68	0,66	0,61	0,73	5	0,78	0,80	0,82	0,98	
	2	0,73	0,73	0,65	0,79	6	0,74	0,76	0,78	0,93	
	3	0,77	0,78	0,69	0,85	Szept.	1	0,68	0,71	0,73	0,87
	4	0,82	0,83	0,73	0,91		2	0,62	0,66	0,67	0,79
	5	0,87	0,86	0,78	0,95		3	0,56	0,60	0,60	0,70
	6	0,90	0,90	0,82	0,99		4	0,50	0,50	0,50	0,60
Júl.	1	0,93	0,93	0,87	1,03						

A táblázatunkban bemutatott növényfaktorok átlagos időjárás és átlagos fejlettségű növényállomány esetén fennálló viszonyokat reprezentálnak, így alkalmasak arra, hogy sokévi átlagos meteorológiai adatokból átlagos vízigényt számítsunk. Hasonlóan alkalmasak ezek visszamenőleges számítások elvégzésére, vagyis a hosszú sorozatú meteorológiai adatokból statisztikai feldolgozások készítésére. Az így kapott átlagos, szélső és különböző valószínűséggel előforduló vízigényértékek felhasználhatók tervezésekhez és vízháztartás-vizsgálatokhoz. Ugyancsak alkalmasak e faktorok a napi gyakorlatban az öntözési tájékoztatók készítéséhez is.

Öntözési tájékoztatók

A napi öntözési gyakorlatban alapvetően kétféle tájékoztatási forma ismeretes. Az egyik a vízügyi irányító szervek részére, tehát az egész országra vagy országrészekre kiterjedő általános tájékoztatás. A másik az adott helyre, konkrét növényállományra és adott táblára szóló tájékoztató, amely messzemenően figyelembe veszi az illető mezőgazdasági üzem lehetőségeit is. Mindkettőre bőven van példa a hazai gyakorlatban, amint azt *Posza és Szalóki* (1982) ismertette. Most röviden csak két tájékoztatóra utalunk, amelyek az Országos Meteorológiai Szolgálat keretében kerültek kiadásra több éven keresztül. Az egyik az adott helyre, adott táblára, konkrét növényállományra szóló tájékoztató, amelyiket a *dunaiújvárosi öntözőfürt térségére* készítettünk, s a számításokhoz a klímaállomások és csapadékmérő állomások adatait használtuk föl, kiegészítve a gazdaságok által szolgáltatott adatokkal. Általában ezzel az adatszolgáltatással volt a legtöbb nehézség, mivel igen nehéz volt pontos adatokat kapni az öntözés időpontjáról és mennyiségéről, valamint a növényi sajátosságokról.

Az ilyen jellegű, adott táblára adandó öntözési tájékoztatás mindkét irányban zavartalan információáramlást kívánna, a nagy területre történő kiterjesztése pedig komoly számítógép-kapacitás meglétét igényelné. Éppen ezek hiánya miatt ilyen típusú rendszeres öntözési tájékoztató jelenleg nincs is hazánkban, helyette általános jellegűek vannak, köztük a szarvasi Agrometeorológiai Observatórium és az Öntözési Kutatóintézet közös tájékoztatóját említjük. Itt öt megye: Békés, Csongrád, Bács-Kiskun, Szolnok és Hajdú-Bihar öntözőgazdaságai és vízügyi társulásai kapták az általában 10 naponként készített „Öntözési tanácsadó”-t. E terület 30 táviratózó meteorológiai állomásának adatait használtuk fel a talajnedvesség becslésére olyan formán, hogy bevételként a csapadék, kiadásnak a vízigény szerepelt. Ez utóbbit a növénykonstansok felhasználásával meteorológiai adatokból számítottuk. A csapadék- és vízigény adatai mellett *öntözési javaslat* szerepelt, növényfajokra és tájegységekre bontva: a kiöntözendő víz mennyisége és több növény öntözésének szükségessége esetén a fontossági sorrendet is megadtuk.

A mezőgazdasági üzemekben az utóbbi években sokat fejlődött az öntözési technika, amit az időjárás is elősegített. Így a terméshibiztonság egyes körzetekben parancsolóan megköveteli az öntözésnek, mint termesztés technológiának alkalmazását. A vízkészletekkel való ésszerű gazdálkodás, annak optimális hasznosítása egyre inkább sürgetik a minden igényt kielégítő öntözési tájékoztatók kidolgozását, és nagy területeken történő felhasználását. A termesztés igényeit messzemenően figyelembe vevő tájékoztatási rendszert a különböző kutatóhelyek eredményeinek szintetizálásával, az üzemi lehetőségek megteremtésével, a helyi ismeretek birtokában meg lehetne szervezni. Ezekhez jól felhasználhatók

lennének az itt bemutatott módszerek és eredmények, valamint a meglévő meteorológiai alrendszer és adatbázis.

Befejezésül elmondjuk, hogy az itt ismertetett módszerek saját, mért adatokra épültek. Arra törekedtünk, hogy minél egyszerűbb összefüggéseket vezessünk le a párolgás kiszámítására. Olyan alapadatok szerepeljenek bennük, amelyek könnyen hozzáférhetők, akár visszamenőleg is. A számítási képletek általában tapasztalati, statisztikai úton készültek, de bizonyos alapvető fizikai és biológiai törvényszerűségeket is magukba foglalnak. Természetesen dominál bennük a meteorológus szemlélet, elnagyoltak a növényi és talajtényezők figyelembevétele, hiányzik belőlük a termesztési tapasztalat, az öntözés szerteágazó problémáinak ismerete és figyelembevétele. Azonban a most már több mint húsz éves mérési sorozat birtokában, a technika várható fejlődése reményében a szükséges és lehetséges javításokat és finomításokat elvégezhetjük, ha azt a gyakorlati alkalmazás megkívánja.

IRODALOM

- Antal, E.*, 1968: Új módszer a potenciális evapotranspiráció számítására. OMSZ Hiv. Kiadv. XXXIV. köt. Budapest. 370–384.
- Dunay, S., Posza, I., Varga, H. Z.*, 1968: Egyszerű módszer a tényleges evapotranspiráció és a talaj vízkészletének meghatározására. I. rész. A párolgás meteorológiája. *Öntözéses Gazdálkodás*, VI. köt. 2. sz. Szarvas
- Penman, H. L.*, 1949: The dependence of transpiration on weather and soil condition. *J. Soil sci. I.*
- Posza, I., Szalóki, S.*, 1982: Öntözési tájékoztatók formái és kérdései. OMSZ Hiv. Kiadv. Beszámoló, 1980. 312–322.
- Turc, L.*, 1961: Evaluation des besoins en eau d'irrigation evapotranspiration potentielle. *Ann. Agrom.* 12.

IDŐJÁRÁS

Az Országos Meteorológiai Szolgálat folyóirata. 91. évf. 2–3. szám 1987. március–június
Journal of the Hungarian Meteorological Service. Vol. 91. No. 2–3 March–June 1987 Budapest

Az időjárás-növény modellek elvi-módszertani kérdései

VARGA-HASZONITS ZOLTÁN, Országos Meteorológiai Szolgálat
H-1525 Budapest, Pf. 38

Theoretical and methodological questions of the weather-plant models. The main types of agrometeorological models describing the influence of weather on life of the plants are discussed by the author. The purpose of the model-construction, the possibilities of resolution, available data and fundamental methods giving knowledge can be determined only using the given method are analysed. The efficiency of radiation and water use computed using empirical models are presented by way of example. The empirical models used for computation of both elements are the base of the estimation of climatic potential too. The physico-statistical models – the bases of the yield forecast methods – are discussed in detail. The construction of the model based on the system approach and effect-analysis made by the model various period are presented. First the complex weather-plant indices have determined then the form of model used for yield forecast is analysed. The emphasis is on the practical use in both situations. The dynamic models have been getting greater importance lately. The influence of the weather elements on the plants may be simulated by the help of them. First of all they are important from the view-point of the acquiring of knowledge. Their connection physico-statistical methods have been initiated in our days. An example of it is shown by the author.

*

Az időjárás-növény modellek elvi-módszertani kérdései. A szerző az időjárásnak a növények életére gyakorolt hatását leíró agrometeorológiai modellek fontosabb típusait és jellemzőit tárgyalja. Az időjárás-növény kapcsolatok rendszerszemléletű közelítéséből kiindulva elemzi a modellkészítés célját, lehetséges útjait, a rendelkezésre álló adatbázist és az alapvető módszereket, mely utóbbiak mindegyike szolgáltatót olyan ismereteket, amelyek csak az adott módszerrel állíthatók elő. Példaként az empirikus modellekkel számított sugárzáshasznosulást és vízfelhasználást mutatja be. Rámutat arra, hogy e két elem számítására vonatkozó empirikus modellek egyúttal alapját képezik az éghajlati potenciál becslésének is. Szerző a fizikai-statisztikai modelleket – amelyek ma is a termésbecslés alapvető módszerei – részletesen tárgyalja. Bemutatja a rendszerszemléleten alapuló modell felépítését, s a modellel különböző időszakokra végzett hatáselemzéseket. Meghatározza a komplex időjárás-növény indexeket, majd a modell termésbecslésre szolgáló formáját elemzi. A hangsúlyt mindegyik esetben a gyakorlati célú felhasználásra helyezi. Az utóbbi időben egyre nagyobb jelentőségre tesznek szert a dinamikus modellek. Segítségükkel a meteorológiai tényezők növényekre gyakorolt hatása szimulálható. Emiatt inkább az ismeretszerzés szempontjából fontosak. Megkezdődött azonban a fizikai-statisztikai módszerekkel történő egybekapcsolásuk is, amelyre a szerző példát mutat be.

*

A növények helyhez vannak kötve, s állandóan ki vannak téve az időjárás hatásainak, élettevékenységük ezért jól tükrözi a meteorológiai hatásokat. Ez az oka annak, hogy az agrometeorológia kezdettől fogva a növénytermesztéssel kapcsolatos kérdésekre fordította a fő figyelmet. Ma is a növénytermesztéssel kapcsolatos terület fejlődik a legdinamikusabban. Az elmúlt két évtizedben

főleg a talaj – növény – légkör rendszer modellezésében történt jelentős előrehaladás. Végeredményben e rendszer elemzése az agrometeorológia alapvető feladata.

A talaj-növény-légkör rendszer

A termesztett növények adott talajviszonyok és adott meteorológiai viszonyok között bonyolítják le élettevékenységüket, miközben hatással vannak rájuk más növények (pl. a gyomok), hatással vannak rájuk az állatok (pl. a kártevők), s az alkalmazott fajtán és agrotechnikán keresztül hatással van rájuk az ember. A meteorológiai elemzésnek tehát a talaj – növény – légkör rendszerre kell irányulnia, figyelembe véve, hogy ez a rendszer az ember állandó befolyásoló hatása alatt áll.

A rendszer elemei közül a talaj mutatja a viszonylag legnagyobb állandóságot. Az alkalmazott fajta, a talaj művelése és tápanyag-utánpótlása, s a növényvédelmi eljárások meghatározott időszakonként – az emberi beavatkozás eredményeként – jelentősen változhatnak. A beavatkozás mindig termésmenővelő célzatú, tehát meghatározott irányban ható. A meteorológiai viszonyok viszont évről évre bármely irányban változhatnak, jelentősen befolyásolva a növények növekedését, fejlődését és produktivitását. Ezek tehát a talaj – növény – légkör rendszer legváltozékonyabb elemei, tanulmányozásuk a korszerű növénytermesztés szempontjából elengedhetetlenül szükséges.

A talaj – növény – légkör rendszer sok tényezős, viselkedésének teljes matematikai leírása aligha lehetséges. Szükségesnek látszik egyszerűsítő feltételek meghatározása. A rendszer működésének egyszerűsítő feltételek melletti matematikai leírását nevezzük *időjárás – növény modell*nek. A modell jelentősége abban áll, hogy a növénytermesztés szempontjából legváltozékonyabb, s alapvető fontosságú meteorológiai tényezőkre épül.

A meteorológiai tényezők közül a sugárzás, a hőmérséklet és a víz a termesztett növények életfeltételei közé tartoznak. Ezért csak olyan növények termesztethetők egy adott területen, amelyek képesek az adott meteorológiai viszonyok között élni és termést hozni. E meteorológiai tényezőkhöz, ezek területi sajátosságaihoz a növénytermesztésnek mindig alkalmazkodnia kell. *A meteorológiai viszonyok tehát a növénytermesztés feltételrendszerét képezik.*

A növények szerves anyag termeléséhez energiára és szerves anyagokra van szükség. Az energiát a napsugárzás szolgáltatja, a szükséges szerves anyagok közül pedig a szén-dioxid és a víz, valamint a légzéshez nélkülözhetetlen oxigén- és a tápanyag-ellátottság szempontjából fontos nitrogén a légkörből kerülnek a növényekhez. Ezért *a légkört a növénytermesztés erőforrásának tekinthetjük.*

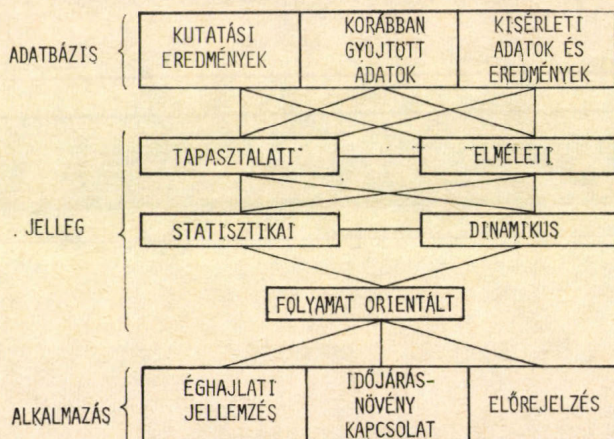
Ezenkívül a meteorológiai tényezők folyamatos időbeli változásaikkal hol gyorsabbá, hol lassabbá tehetik a növények növekedését és fejlődését, a produktivitásukat pedig egyszer növelhetik, máskor csökkenthetik. Így *a meteorológiai tényezők a növénytermesztés legváltozékonyabb hatótényező-rendszerét alkotják.*

A növénytermesztés sajátossága, hogy a megfelelő időpontban jó magágyba vetett, s gondosan nevelt növények sem biztos, hogy termést hoznak, vagy esetleg hoznak termést, de csak erősen csökkentett mennyiségben. Egyes légköri tényezők ugyanis meghatározott intenzitási szintet elérve (pl. fagy, aszály, vihar stb.) a termést nagymértékben károsíthatják, vagy teljesen el is pusztíthatják. Ezért *a meteorológiai tényezők egy csoportja a növénytermesztés szempontjából károsító tényezőrendszert alkot.*

A növénytermesztésnek tehát nélkülözhetetlen feltételrendszere és erőforrása a légkör, amelynek tényezői erősen befolyásolják a termelés eredményességét, a termelés tárgyait pedig károsíthatják, sőt el is pusztíthatják.

Az időjárás-növény modellek

A talaj-növény-légkör rendszer – amint az elmondottakból is kitűnik – összetett rendszer, amelynek tényezői térben és időben összekapcsolódva változnak. A rendszer működésének leírása csak meghatározott egyszerűsítések mellett lehetséges. Erre a célra szolgálnak az időjárás-növény modellek.



1. ábra: Az agrometeorológiai modellek elvi felépítése

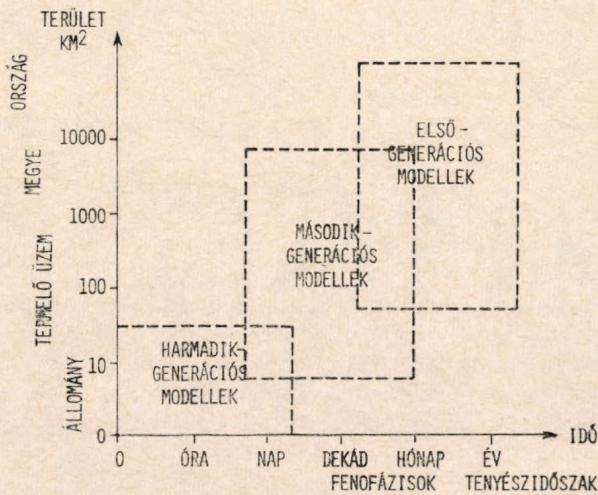
A modellek elvi felépítése. A modellek kidolgozásához mindenekelőtt megfelelő adatbázisra van szükség (1. ábra). Az adatok legfőbb forrásai: a korábban végzett meteorológiai és növényi megfigyelések, a kísérletek során gyűjtött adatok, valamint a korábbi kutatások.

Az adatanyag birtokában meghatározhatók tapasztalati összefüggések, illetve az elméleti ismeretek birtokában a tényleges adatokra olyan görbék illeszthetők, amelyek a kapcsolatokat az elméletnek megfelelő matematikai formában adják meg. Legcélszerűbb a legjobban illeszkedő görbét alkalmazni, több azonos értékű megoldás esetén pedig az egyszerűbbet kell választani (Jones, 1983). A meteorológiai és növényi adatok közötti kapcsolatot a matematikai-statisztika módszereivel is tanulmányozhatjuk. Ezt a kapcsolatot, mint időben változó folyamatot is vizsgálhatjuk, s a növények növekedését, fejlődését és produktivitását mint dinamikus folyamatot írhatjuk le. Napjainkban azonban nemcsak a dinamikus módszerek, hanem sok esetben a statisztikus módszerek is figyelembe veszik az időben egymásra épülő hatásokat (Baier, 1973; Frere és Popov, 1979), a dinamikus módszerek pedig összekapcsolódnak a statisztikus módszerekkel (Polevoj, 1983). Ezért azt mondhatjuk, hogy a korszerű modellek jellemzője a folyamat-orientáltság (Sakamoto, 1980).

Az időjárás-növény modellek felépítésekor fontos szerepet játszik az is, hogy milyen alkalmazási terület számára készülnek. Ha az a cél, hogy segítségükkel magát az időjárás-növény kapcsolatot minél jobban megismerjük, ak-

kor a talaj – növény – légkör rendszer lehető legrészletesebb leírására kell törekedni. Ez a szántóföldi kísérletek alapján kidolgozott modellek jellemzője. Amennyiben a modell éghajlati jellemzésre készül, akkor a rendszert csak jelentős leegyszerűsítéssel modellezhetjük. Az előrejelzési célt szolgáló modelleknél pedig az a legfontosabb, hogy azok az egyszerűsítő feltételek mellett még prediktor jellegű változókra is épüljenek.

A modellek tér- és időbeli reprezentativitása. Az egyes modellek nemcsak a felépítésüket tekintve különböznek egymástól, hanem abban is, hogy érvényüket mekkora területre és milyen időtartamra kívánjuk kiterjeszteni. Tér- és időbeli reprezentativitásuk alapján Sakamoto (1980) osztályozta a modelleket. Ennek az osztályozásnak a hazai viszonyokra módosított változatát a 2. ábrán mutatjuk be.



2. ábra: Az agrometeorológiai modellek tér- és időbeli osztályozása

Első generációs modellek közé soroljuk azokat a modelleket, amelyek 100 km²-nél nagyobb területre és dekádnál hosszabb időszakokra vonatkoznak. Ebbe a csoportba sorolhatók a sugárzáshasznosulást, a vízfelhasználást, a fejlődési ütemet stb. meghatározó modellek, valamint a káros jelenségek hatását kifejező vegetációs modellek.

A második generációs modellek a 10 km² és a 10 000 km² közötti területekre vonatkozó és a nap, dekádnál hosszabb időszakú modelleket foglalják magukba. Ide tartoznak a megyei termésátlagok előrejelzésére szolgáló modellek.

A harmadik generációs modellek közé az 50 km²-nél kisebb területre vonatkozó, óra, nap időtartamú modellek tartoznak. Elsősorban a szántóföldi kísérletek adataira épülnek, s a talaj – növény – légkör rendszernek az előbbi kettőnél jóval részletesebb leírását adják. Szinte kizárólag elméleti-megismerési célokat szolgálnak.

Főbb modell típusok. Az időjárás – növény modellek által jellemzett talaj – növény – légkör rendszer több tudomány határterületéhez tartozik. Az időjárás – növény modellekhez kapcsolódó fogalmak is ezt a sokszínűséget tükrözik.

Általában olyan fogalmakat használnak, amelyek egy-egy szakterület fogalomrendszeréhez viszont nehezebben kapcsolhatók. Ezért *Baier* (1979) kísérletet tett arra, hogy a fogalomrendszert egységesítse. A probléma azonban éppen az, hogy a fogalmaknak különböző tudományok fogalomrendszerébe kell beilleszkedniük, a modellek kidolgozói pedig arra törekednek, hogy az új elnevezésekkel modelljük sajátosságait emeljék ki. Emiatt *Hawn* (1983) szerint nagyon nehéz egységes fogalomrendszer kidolgozása, s a modellek néhány főbb típusba sorolása.

Általában a szerzők többsége mégis két nagy csoportot szokott egymástól elkülöníteni: a statisztikai és a dinamikus modelleket. Statisztikai modelleknek azokat a modelleket szokták nevezni, amelyek a meteorológiai tényezők és a növényi életjelenségek közötti kapcsolatot a matematikai-statisztika módszereivel elemzik. Ezen a csoporton belül meg szokták még különböztetni a tapasztalati-statisztikai modelleket és a fizikai-statisztikai modelleket (*Robertson*, 1983). A tapasztalati-statisztikai modellek az időjárás – növény kapcsolatát közvetlenül határozzák meg úgy, hogy egy vagy több meteorológiai és nem-meteorológiai tényezőt pedig többnyire állandónak tekintik. A fizikai-statisztikai modellek a tendenciózusan változó nem-meteorológiai tényezőket az időbeli trend segítségével külön számítják, s a meteorológiai és nem-meteorológiai hatásokat egymástól szétválasztva kezelik. Attól függően, hogy a trendtől való eltéréseket vagy a trendarányokat tekintik az időjárási hatás kifejezésének, beszélhetünk additív vagy multiplikatív jellegű fizikai-statisztikai modellekről.

A dinamikus modellek jellemzője, hogy az időben egymásután meteorológiai hatásokból határozzák meg a növényi biomasza felhalmozódását. Vannak olyan dinamikus modellek, amelyek részletesebben leírják a talaj – növény – légkör rendszerben lejátszódó folyamatokat, s vannak olyanok, amelyek jelentős egyszerűsítéseket tartalmaznak (*Baier*, 1981). A részletesebb leírást adó modelleket *Polevoj* (1983) dinamikus modelleknek, az egyszerűsítéseket tartalmazókat pedig dinamikus-statisztikai modelleknek nevezi. E modellek tehát csak a leírás részletességében térnek el egymástól, felépítésük szerkezete megegyezik (*Robertson*, 1983).

Statisztikai modell

A fizikai-statisztikai modellek – mint említettük – alapvetően a meteorológiai tényezők és a fajta, valamint az agrotechnika hatásának szétválasztására épülnek. Az utóbbiak hatását valamilyen trendfüggvénnyel szokták meghatározni. Célszerű az idősorba minél jobban illeszkedő függvényt választani. Előnyös tulajdonságai miatt az utóbbi időben erre a célra a harmonikus súlyozású trendet használtuk (*Varga – Haszonits*, 1983). Az időjárási hatásokat eleinte mint trendanomáliákat vettük figyelembe (*Varga – Haszonits*, 1979; *Szalai*, és *Varga-Haszonits*, 1980). Mivel azonban a terméshozamok növekedésével a trend körüli ingadozások is megnövekedtek, nyilvánvaló, hogy az időjárási hatásokat nem a trendanomáliák, hanem a trendarányok fejezik ki jobban.

Ezért olyan fizikai-statisztikai modellt fejlesztettünk ki, amely az időjárási hatásokat a trendarányokkal hozza kapcsolatba. A trendarányokat a vegetációs periódus egymást követő szakaszai alatti meteorológiai tényezőkkel hoztuk kapcsolatba. Becslő függvényként azokat az összefüggéseket választottuk ki, amelyeknek szignifikáns korrelációs indexük volt, s a modell átlagos hibáját az előző szakaszokéhoz képest fokozatosan csökkentették. Kiinduló alapbecslésnek a középértékkel történő becslést tekintettük. Ezt követi az agrotechnikai szintet ki-

fejező trendfüggvénnyel történő becslés, s erre épülnek a szakaszonkénti meteorológiai becslések. A módszer elvi felépítését az *I. táblázatban* mutatjuk be.

I. TÁBLÁZAT

A fizikai- statisztikai modell elvi felépítése

Függvény	Korreláció	Hiba
1. $\hat{Y}(t) = \bar{Y}$	—	$\sigma(Y)$
2. $\hat{Y}_0(t) = Y_0(t)$	r_0	$\delta_0(t)$
3. $\frac{Y(t)}{Y_0(t)} = f_1(m_1)$	r_1	—
4. $\hat{Y}_1(t) = Y_0(t) \cdot f_1(m_1)$	—	$\delta_1(m_1)$
5. $\frac{Y(t)}{Y_0(t) \cdot f_1(m_1)} = f_2(m_2)$	r_2	—
6. $\hat{Y}_2(t) = Y_0(t) \cdot f_1(m_1) \cdot f_2(m_2)$	—	$\delta_2(m_2)$
7. $\frac{Y(t)}{Y_0(t) \cdot f_1(m_1) \cdot f_2(m_2)}$	r_3	—
8. $\hat{Y}_3(t) = Y_0(t) \cdot f_1(m_1) \cdot f_2(m_2) \cdot f_3(m_3)$	—	$\delta_3(m_3)$
9. $\frac{Y(t)}{Y_0(t) \cdot f_1(m_1) \cdot f_2(m_2) \cdot f_3(m_3)} = f_4(m_4)$	r_4	—
10. $\hat{Y}_4(t) = Y_0(t) \cdot f_1(m_1) \cdot f_2(m_2) \cdot f_3(m_3) \cdot f_4(m_4)$	—	$\delta_4(m_4)$

A szakaszolást a növények a meteorológiai tényezők iránti változó igénye alapján végeztük el. Az őszi búza esetében ez a vetés és a hőmérséklet őszi 5 fok alá süllyedése közötti időszak, az őszi 5 fok alá süllyedéstől a tavaszi 5 fok fölé emelkedésig terjedő időszak, a tavaszi 5 fok fölé emelkedéstől a virágzásig és a virágzástól az érésig tartó időszak. Az egyszerűség kedvéért ezeket az időszakokat naptári időszakokkal közelítettük. A kapott eredményeket a *II. táblázatban* mutatjuk be.

Dinamikus modell

Az elmúlt időszakban foglalkoztunk olyan dinamikus modell kidolgozásával is, amely felhasználható a megyei és az országos termésátlagok becslésére. A modell elvi vázlatát a *3. ábrán* mutatjuk be. Az alapmodell a bemutatott talaj-növény-légkör rendszer olyan egyszerűsítését jelenti, amelyben csak a legfontosabb meteorológiai hatótényezőket (a sugárzást, a hőmérsékletet és a talajnedvességet) vesszük figyelembe, s azt vizsgáljuk, hogy a levélfelületen keresztül a fotoszintézis során végbemenő szervesanyag-gyarápodásra milyen hatással

vannak. Ezt követően meghatározzuk a légzés során végbemenő szervesanyag-vesztéséget, majd a fotoszintézis és a légzés különbségeként előálló szervesanyag-gyapadást. Az előző időszak végén kialakult szervesanyag-mennyiséghez hozzá-

II. TÁBLÁZAT

A szakaszos közelítés átlagos hibái (ősi búza megyei termésátlagok alapján)

	Megye	$\sigma(Y)$	$\delta_0(t)$	$\delta_1(m_1)$	$\delta_2(m_2)$	$\delta_3(m_3)$	$\delta_4(m_4)$
Dunántúl	Győr – Sopron	1092	277	255	227	201	–
	Vas	868	275	246	238	208	–
	Zala	863	269	229	221	201	176
	Somogy	923	283	253	247	230	221
	Veszprém	909	286	271	246	193	–
	Komárom	1045	348	291	247	200	–
	Fejér	1209	387	335	301	278	–
	Tolna	1247	382	328	315	306	280
	Baranya	1228	315	312	304	267	–
Alföld	Bács-Kiskun	1177	361	310	299	268	241
	Pest	1020	307	258	242	207	–
	Szolnok	1053	334	304	289	280	–
	Csongrád	991	349	268	252	228	–
	Békés	1127	327	264	218	207	–
	Hajdú-Bihar	1056	318	271	257	238	206
	Szabolcs-Szatmár	683	215	184	175	167	–
Észak-Magyarország	Borsod-Abaúj-Zemplén	818	248	243	208	192	–
	Heves	904	319	304	222	182	–
	Nógrád	922	308	286	251	229	200

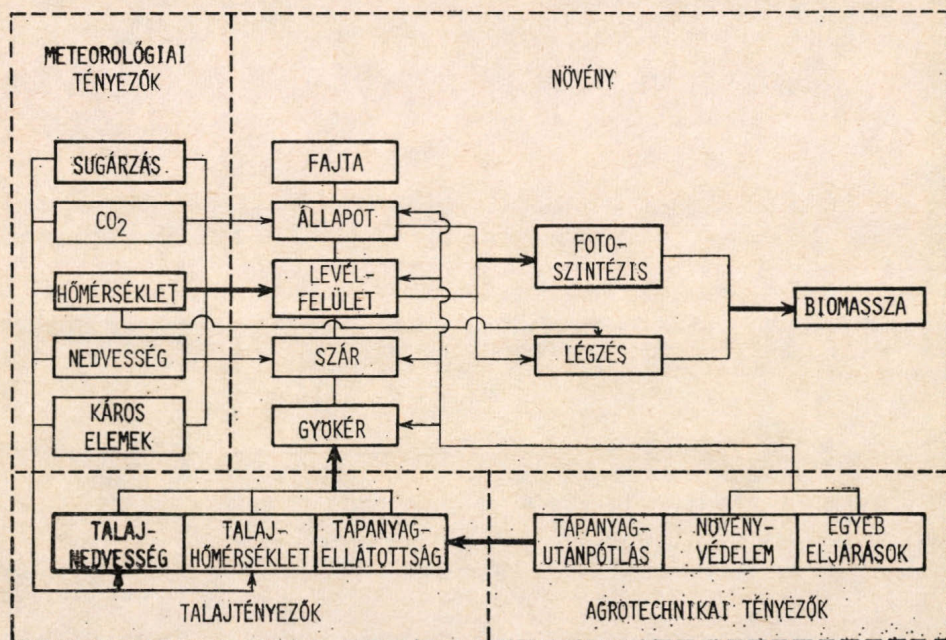
adva a következő időszak alatti gyapadást, megkapjuk az időszak végén a szervesanyag-mennyiséget. Folyamatosan elvégezve ezt a számítást a vetéstől az érésig, a meteorológiai adatok alapján követni tudjuk a termés alakulását.

A feladat megoldását a számításához szükséges adatok előállításával kell kezdeni. A hőmérsékleti adatok a rendszeres mérésekből rendelkezésünkre állnak. A talajnedvesség-adatok mérések vagy számítás útján ugyancsak előállíthatók. A fotoszintetikusan aktív sugárzást ugyancsak mérhetjük, vagy az Angström-formulával előállított globálsugárzásból számíthatjuk.

Az adatok segítségével először a levélfelületet határozzuk meg. Ehhez őszi búza esetében az 5 fok feletti aktív hőmérsékleti összegeket használjuk. Kompolti kísérleti adatok alapján a levélfelület alakulását a következő függvénnyel közelíthetjük:

$$LAI = MLAI \exp -a \left(\frac{ST - ST_0}{1000} \right)^2 \quad (1)$$

ahol LAI a levélfelület nagysága m^2/m^2 -ben, $MLAI$ a maximális levélfelület, ST a hőmérsékleti összeg és ST_0 az a hőmérsékleti összeg, amelynél a levélfelület eléri a maximumát. Az a érték 8,5, ha $ST \leq ST_0$ és 2,5, ha $ST > ST_0$.



3. ábra: A dinamikus modell elvi felépítése

A levélfelület nagyságának ismeretében a Hodges – Kanemasu (1977) egyenlet segítségével meghatározhatjuk, hogy az őszi búza mennyi fotoszintetikusán aktív sugárzást nyel el:

$$Q_{FA} = Q_{FFA} \cdot LAI^{0,3296} \quad (2)$$

ahol Q_{FA} az őszi búza által elnyelt fotoszintetikusán aktív sugárzás mennyisége, Q_{FFA} az őszi búzaállomány felszínére érkező fotoszintetikusán aktív sugárzás. Az őszi búzaállomány elnyelése a 4,6 LAI értéknél maximális. Az ennél nagyobb levélfelület esetén a levelek egymást árnyékoló hatása következtében a sugárzás-elnyelés nem növekszik tovább. A tapasztalatok szerint az elnyelt sugárzás ekkor az állomány felszínére érkező sugárzás 95%-át teszi ki.

Az őszi búzaállomány által elnyelt sugárzás mennyiségéből meghatározhatjuk a fotoszintézis intenzitásának óránkénti értékét a Davidson – Philip (1958) féle formula segítségével:

$$F_0 = F_{MAX} \frac{Q_{FA}}{Q_F + K_A} \quad (3)$$

A (3) formulában F_0 a fotoszintézis intenzitásának órás értéke, F_{MAX} a sugárzás-telítettséghez tartozó maximális fotoszintézis-érték, amely az őszi búzáknál Polevoj (1983) adatai szerint $2,5 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$ -nek tekinthető, K az $F_0/F_{MAX} = 0,5$ esetében adódó érték.

Ha a fotoszintézis intenzitását egész napra és teljes levélfelületre akarjuk számítani, akkor a (3) összefüggéssel kapott értéket meg kell még szorozni a nappal hosszával (H), a levélfelület nagyságával (LAI) és a fotoszintézis hasznosulásának együtthatójával ($\varepsilon = 0,68$):

$$F_{OPT} = \varepsilon \cdot F_0 \cdot H \cdot LAI \quad (4)$$

ahol F_{OPT} a fotoszintézis napi értéke teljes levélfelületre számítva abban az esetben, ha a levélfelület, a hőmérséklet és a talajnedvesség hatása is optimális.

Amennyiben a levélfelület, a hőmérséklet és a talajnedvesség értéke nem optimális, akkor még ezek fotoszintézisre vonatkoztatott hatásfüggvényét is meg kell határozni. A levélfelület, a hőmérséklet és a talajnedvesség hatásfüggvényét oly módon számítjuk, hogy a hatásfüggvény 0 és 1 között változzék, s értéke a vizsgált tényezők optimális értékénél legyen 1.

Az $f_L(LAI)$ levélfelületi hatásfüggvény *Davidson és Philip* (1958), valamint *Hodges és Kanemasu* (1977) munkáira támaszkodva a következő függvénnyel határozható meg:

$$f_L(LAI) = \exp -0,1(LAI - LAI_0)^2 \quad (5)$$

ahol LAI_0 az a levélfelületi érték, amelynél a fotoszintézis intenzitása maximális.

Az $f_T(T)$ hőmérsékleti hatásfüggvény *Sabanov* (1971) és *Polevoj* (1983) munkáinak figyelembe vételével a következőképpen adható meg:

$$f_T(T) = \exp -b \left(\frac{T - T_0}{10} \right)^2 \quad (6)$$

ahol T a tényleges hőmérséklet, T_0 az a hőmérsékleti érték, amelynél a fotoszintézis intenzitása maximális. A $b = 1$ ha $T \leq T_0$ és $b = 3,5$, ha $T > T_0$, mivel az optimális hőmérséklet feletti értékeknél a fotoszintézis intenzitása gyorsabban csökken, mint ahogyan az optimálisnál alacsonyabb értékek esetén növekszik.

Az $f_W(W)$ talajnedvesség-hatásfüggvény *Gojsza, Olejnyik és Rogacsenko* (1983) szerint a következő formában számítható:

$$f_W(W) = \exp -0,00035 (W - W_0)^2 \quad (7)$$

ahol W a felső 50 cm-es rétegben levő hasznos víztartalom tényleges értéke, W_0 pedig ugyanebben a rétegben az a hasznos víztartalom-érték, amelynél a fotoszintézis intenzitása maximális.

A bemutatott hatásfüggvények az optimális értéknél veszik fel az 1 értéket. Ha a vizsgált tényező értéke eltér az optimálistól, akkor a függvény értéke 0 és 1 között változik.

E függvények segítségével ki tudjuk számítani a fotoszintézis tényleges napi értékét (F_{REAL}) is:

$$F_{REAL} = G_{OPT} \cdot f_L(LAI) \cdot f_T(T) \cdot f_W(W) \quad (8)$$

A légzés (R) okozta szárazanyag-veszteség számítása a *McCree* (1971) féle függvénnyel történik:

$$R = cF_{REAL} + d \cdot M \quad (9)$$

ahol M a számítás időpontjáig felhalmozódott biomassa, a c és d konstansokat pedig *Hodges és Kanemasu* (1977) őszi búzára vonatkozó vizsgálatai alapján javasolt értékekkel ($c = 0,29$ és $d = 0,018$) számítottuk.

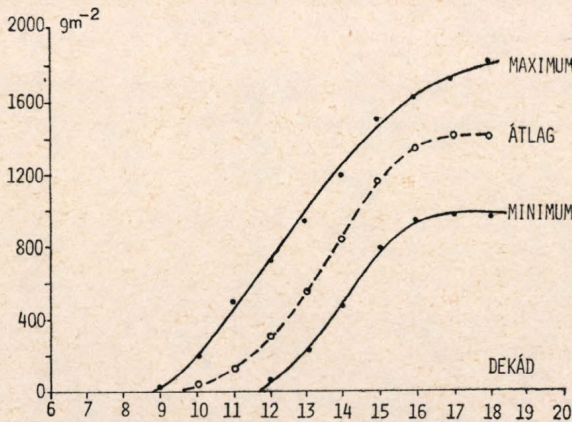
A fotoszintézis és légzés értékeinek ismeretében a biomassza-gyarapodás (dM) is számítható:

$$dM = F_{\text{REAL}} - R \quad (10)$$

Ezt az értéket hozzáadva az előző időszak végére kialakult biomassza-értékhez (M_{i-1}), megkapjuk az i -edik időszak végére létrejött biomassza-mennyiséget:

$$M_i = M_{i-1} + dM \quad (11)$$

Az összegezést az egész tenyészidőszak folyamán folyamatosan elvégezve megkapjuk a tenyészidőszak végére kialakuló biomassza-mennyiséget.



4. ábra: Őszi búza biomassza-növekedése (Kompolt 1951 – 1980)

A kompolti meteorológiai adatok alapján számított maximális és minimális biomassza-értékek (4. ábra) megadják, hogy az 1951 – 1980 közötti időszakban milyen határok között változott az őszi búza biomassza-termelése. A számítás dekádonként történt. Ha azt is szeretnénk tudni, hogy a vegetációs periódus egésze vagy egy-egy dekád agrometeorológiai szempontból kedvező, átlagos vagy kedvezőtlen volt-e, akkor ki kell számítani az agrometeorológiai indexet (AGI):

$$AGI = \frac{M_i}{M_k}, \quad (12)$$

ahol M_i a kérdéses időszak biomassza-mennyisége, M_k pedig az adott időszak biomassza-mennyiségének sokéves átlaga.

Az egész vegetációs periódusra kapott AGI értékeket összefüggésbe hozva az azonos évek trendarányaival az

$$\frac{Y(t)}{Y_0(t)} = f(AGI) \quad (13)$$

függvényt kapjuk, amelynek korrelációs indexe kompolti adatok alapján 0,63 volt. A (13) formula alapján a statisztikai modellnél megismert módon előállítható a becslőfüggvény:

$$Y(t) = Y_0(t) \cdot f(AGI) \quad (14)$$

A (14) becslőfüggvénnyel végzett előrejelzések esetén, az említett kompolti adatokra vonatkozóan az összes eset 72%-ában várható, hogy a hiba 10% alatt marad.

A dinamikus modell jelentősége abban áll, hogy akár naponta eldönthető, mely meteorológiai elemek és milyen mértékben befolyásolták a terméshozamokat. Ezenkívül a különböző meteorológiai hatások szimulálásával olyan kérdésekre is választ kaphatunk, amelyekre vonatkozóan a gyakorlatban még nem rendelkezünk adatokkal. Az elmondottak miatt a jövőben a dinamikus modellek további gyors fejlődése várható.

IRODALOM

- Baier, W., 1973: Crop-Weather Analysis Model: Review and Model Development. *Journal of Applied Meteorology*, 937-947.
- Baier, W., 1979: Note on the terminology of crop-weather models. *Agricultural Meteorology*, 20., 137-145.
- Baier, W., 1981: Crop-Weather Analysis Models, Application of Remote Sensing to Agricultural Production Forecasting, 108-118.
- Davidsen, J. L., Philip, J. R., 1958: Light and Pasture Growth Climatology and Microclimatology, Unesco, 181-187.
- Frère, M., Popov, G. F., 1979: Agrometeorological Crop Monitoring and Forecasting. Food and Agriculture Organization of the United Nations, 37.
- Gojsza, N. N., Olejnyk, R. N., Rogacsenko, A. D., 1983: Gidrometeorologicszkij rezsim i produktivnosztyi orosajemj kukuruzi. Gidrometeoizdat, Leningrad, 230 p.
- Haun, J. R., 1983: Mathematical Models in Agrometeorology. CAgM Report No. 14, 10 p.
- Hodges, T., Kanemasu, E. T., 1977: Modelling Daily Dry Matter Production of Winter Wheat *Agronomy Journal*, 974-978.
- Jones, H. G., 1983: Plants and Microclimate. Cambridge University Press, 323 p.
- Polevoj, A. N., 1983: Tyeorija i raszsot produktivnosztyi szelszkohozajsztvennih kultur. Gidrometeoizdat, Leningrad, 105 p.
- Robertson, G. W., 1983: Guidelines on Crop-Weather Models WMO, World Climate Programme, 115 p.
- Sabanov, V. V., 1973: Bioklimatycieszkoje obosznovanyije melloracij. Gidrometeoizdat, 165 p.
- Sakamoto, C. M., 1981: The Technology of Crop-Weather Modelling. Food-Climate Interactions, 383-398.
- Szalay Gy., Varga-Haszonits Z., 1980: Az őszi búza termés-átlagának előrejelzése csapadék- és hőmérséklet-adatok alapján. *Növénytermelés*, Tom. 29, No. 1, 37-43.
- Varga-Haszonits Z., 1979: Az őszi búza területi termésátlagának előrejelzése meteorológiai paraméterek alapján. *Időjárás*, 83, No. 6, 332-340.
- Varga-Haszonits Z., 1983: A multiplikatív időjárás-termes modellek elvi-módszertani alapjai. Beszámoló az 1983-ban végzett kutatásokról.

IDŐJÁRÁS

Az Országos Meteorológiai Szolgálat folyóirata. 91. évf. 2–3. szám. 1987. március–június
Journal of the Hungarian Meteorological Service. Vol. 91. No. 2–3 March–June 1987 Budapest

Modellek a fűszerpaprika festéktartalmának és termésátlagának előrejelzésére

ERDŐS LÁSZLÓ, ELTE Meteorológiai Tanszék, H–1083 Budapest, Kun Béla tér 2.
LAMBERT KÁROLY, Központi Meteorológiai Intézet, H–1525 Budapest, Pf. 38.

Models to forecast the colour stuff content and the yield of spice paprika. The authors introduced new models to forecast the colour stuff content and the yield. Both models belong to such type of forecasting which are only based on information of the past weather already known. In other respects the two models radically differ from each other. Two predictors (that of temperature and phenology) are needed in the model of forecasting the colour stuff content. The former (denoted by p) is represented by a negative temperature difference, $T - T_{opt}$ with showing T – actual air temperature and T_{opt} – estimated optimum temperature of the colour stuff formation. The values of p – predictor must be calculated for every half month period, but are used as a cumulative variable in the subsequent forecasts. The other, so-called predictor of phenology is expressed as an indicator of the speed in the development of the paprika plant (f_b – rapid; \bar{f} – mean; f_a – slow). Using both predictors altogether in the model repeated forecasts are permitted in a series, twice a month, from early July to the middle of September. A few theoretical considerations provide a primary basis for constructing a model of yield forecasting. A given set of yield data must be plotted against as many climatic factors (indices) as possible, one by one. Then the upper lines enveloping the scatter field of points (upper bound functions) can be determined. From this scheme however many upper bound values of an unknown yield can be computed, the lowest of which is approximately equal to the desired yield itself. Of great importance is the selection of the appropriate weather indices and the period providing weather data. Yield forecasts will be issued two times through the growing season, early August and September, respectively. Forecastings of colour stuff content have been continued since 1983, with quite good results. Forecastings of yield started only in 1985, for the time being, the results cannot still be evaluated.

*

Modellek a fűszerpaprika festéktartalmának és termésátlagának előrejelzésére. A szerzők új modelleket vezettek be a fűszerpaprika festéktartalom és a termésátlag előrejelzésére. Mindkét modell olyan típusú, amelyek csak a múlt időjárási információira támaszkodnak. Más vonatkozásokban a két modell gyökeresen különbözik egymástól. A festéktartalom előrejelző modellnek két prediktora van: a hőmérsékleti és a fenológiai prediktor. A hőmérsékleti, azaz a p – prediktor a középhőmérséklet és a festékképződés optimális hőmérsékletének negatív különbségeit ($T - T_{opt}$) jelenti. Ezeket kéthetes időszakokra számítjuk ki és összegezzük a tenyészidőszak folyamán. A fenológiai prediktor a paprika gyorsabb, átlagos vagy lassúbb fejlődési ütemét veszi figyelembe (f_a, \bar{f}, f_b). A kétféle prediktor együttes, többlépcsős alkalmazása lehetővé teszi a festéktartalom előrejelzését. Az előrejelzéseket július elejétől, kéthetenként szeptember közepéig folytatjuk. A termésátlag előrejelző modell néhány elméleti megfontoláson alapszik. A termésátlagok egy adott halmazát különböző, minél több időjárási tényező (indexek) függvényében külön-külön ábrázoljuk. Meghatározzuk a szórási mezők felső burkoló görbéit (felső korlát függvényeit). Ezekből egy keresett termésátlag akárhány felső korlátja kiszámítható, és közülük a legkisebb maga a keresett termésátlag. Fontos az időjárási indexek és az információk időszak megválasztása. Termésátlag előrejelzéseket két alkalommal, augusztus, ill. szeptember elején adunk. Festéktartalom előrejelzések 1983. óta folynak, egészen jó eredménnyel. A termésátlag előrejelzések 1985-ben kezdődtek, az eredmények még nem értékelhetők.

*

Kutatási célfeladatként a fűszerpaprika festéktartalmának és termésátlagainak az előrejelzését megoldó, tudományos módszerek kidolgozására és gyakorlati alkalmazására kaptunk megbízást. Eléggé hosszútávú és eléggé megbízható előrejelzések iránt a legkülönbözőbb termesztő, irányító és kereskedelmi szervek tanúsítanak élénk érdeklődést. Kellő időben, jó előrejelzések közvetlenül kimutatható, gazdasági értéket „termelhetnek”. Az utóbbi években több, más zöldségnövény (borsó, paradicsom, uborka stb.) hasonló vizsgálataira is sor került, közöttük a fűszerpaprikával 1982-ben kezdtünk foglalkozni. Az alábbiakban ismertetjük a kidolgozott előrejelző modelleket, valamint az operatív előrejelzések eddigi tapasztalatait.

A festéktartalom előrejelzése

Az agrometeorológiai termés-előrejelzések eléggé sajátosak a meteorológiai előrejelzések között. Egyik irányban a bonyolultságuk, másik irányban a viszonylagos egyszerűségük a szembetűnő. Általánosan fogalmazva: időjárás-folyamatoktól függő, a növényben realizálódott hatások, a növényválaszok előrejelzése a feladat. Valamilyen időben előremutató indikátorok létezése és felismerése szükséges ahhoz, hogy egy előrejelzési modell célszerű formában előállítható legyen. Lényegében háromféle közelítés lehetséges. A legegyszerűbb modell akkor alkalmazható, ha az input időben olyan hosszán előre meghatározza az outputot, amennyi a megkívánt előrejelzési időszakasz. Ekkor az előrejelzés időpontjában ismert inputból közvetlenül lehet előrejelezni. A másik lehetőség akkor adódik, amikor tudjuk, hogy az input az előrejelzési szakaszban végig hat a termésre, de maga az input változása előre ismert. A harmadik közelítés a legbonyolultabb: ha az előrejelzési szakaszban az input előre nem ismert, de tudjuk, hogy a termésre végig hatást gyakorol. Ekkor kétlépcsős előrejelzési modell szükséges: 1. az input előrejelzése; 2. a termés előrejelzése az input előrejelzések felhasználásával.

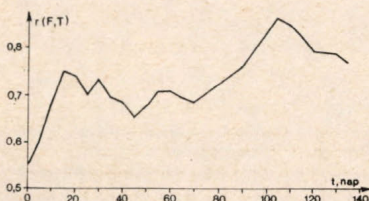
A gyakorlatban bármelyik közelítés előfordulhat. Az első közelítés akkor lehet eredményes, ha a termés fiziológiai előmeghatározottsága elég nagy. A fűszerpaprika festéktartalmáról ez kimutatható. Általánosan jellemző az is, hogy a növényekben integrálódnak és konzerválódnak a környezeti (időjárás) hatások, aminek következtében a várható hatáseredményt (a termést) egyre nagyobb mértékben, mégpedig a múlt, már ismert időjárásból lehet származtatni. Úgy is mondhatjuk, hogy a növényben a hatásmegmaradási hajlam többszörösen nagyobb, mint az időjárás-folyamatokban. Az eddig kidolgozott fűszerpaprika előrejelzési modellek ebbe a kategóriába tartoznak.

A második közelítés gyakorlati alkalmazása igen korlátozott. Fitotronban, üvegházakban és bizonyos szabadföldi kísérletekben lehet csak előre megtervezett és ezáltal ismert időjárást számításba venni. Lehet továbbá hipotézis szerint „megtervezett” időjárást (közepes, kedvező, kedvezőtlen stb.) feltételezve, arra vonatkoztatott előrejelzést készíteni. Lehet az első és második közelítés kombinációja: az időjárás a tenyészidőszak egyik szakaszára már tény (azaz ismert), a maradék szakaszára még hipotézis. A harmadik közelítéshez hosszútávú időjárás-előrejelzések szükségesek. Közismert, hogy ma még a hosszútávú időjárás-előrejelzéseknek sem a részletezése, sem a megbízhatósága nincsen olyan fokú, hogy a termés előrejelzéseket célszerű lehetne *kizárólag* reájuk alapozni.

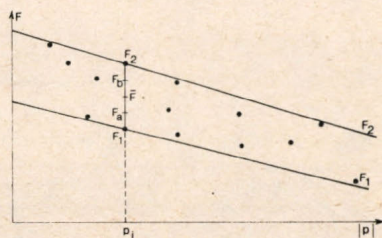
A fűszerpaprika festéktartalmának előrejelzési modellje

A festéktartalom a fűszerpaprika termésének minőségi mutatója, mennyiségileg a termésnek elhanyagolhatóan csekély hányada (néhány g/kg). Képződési mechanizmusa nem egyezik meg és időben sem esik szorosan egybe a termés-átlag fő tömegének a képződésével. Kézenfekvő a feltevés, hogy a fűszerpaprika termésátlaga és a festéktartalom képződésében az időjárás elemek más-más komplexuma játszik meghatározó szerepet.

A festéktartalom képződésének domináns időjárás tényezője a hőmérséklet. Mellőzni kellett minden más, számbajöhető időjárás tényezőt (napfénytartam, légnedvesség, csapadék stb.), mert nem lehetett velük erősíteni a kapcsolatot. A hőmérséklet változót legelőszőrűbben a napi középhőmérsékletből és a napi maximum hőmérsékletből tudtuk előállítani.



1. ábra: A festéktartalom és hőmérséklet kapcsolat időbeli menete.



2. ábra: A festéktartalom kifejezése a hőmérsékleti p -prediktor függvényeként, a tenyészidőszak adott időpontjában.

Mint minden hasonló kapcsolatra, a *festéktartalom-hőmérséklet kapcsolatára* is jellemző, hogy a tenyészidőszak folyamán többszörösen (fenofázisok szerint) változik. Van két súlyozott, szignifikáns időszak, amikor a kapcsolat a legszorosabb, azaz a hőmérséklet meghatározó szerepe a legkifejezettebb: először a fejlődés kezdeti szakaszában (a virágzás előtt) és másodszor az érési szakaszban (1. ábra). A korai szignifikáns szakasznak a létezése, ill. a felismerése különösen előnyös az előrejelzések szempontjából. Ez ugyanis azt jelenti, hogy a festéktartalom fiziológiai előmeghatározottsága elég nagyfokú, és már a júniusi időjárás kialakítja. A későbbi időjárás hatása is nagyon fontos, de a korai időjárásnak termést differenciáló hatása már az egész tenyészidőszak folyamán érvényesül. Véleményünk szerint ez a festéktartalomra gyakorolt, korai hatás csak közvetett jellegű lehet. A korai szakaszban az időjárás kedvező vagy kedvezőtlen voltára a növény gyorsabb vagy lassúbb ütemű fejlődéssel reagál. Ha a fejlődés lelassul, akkor az érési szakasz szükségképpen megrövidül és általában kedvezőtlenebb őszi időszakra toódik el, míg kedvező esetben éppen fordítva.

Az eltelt időjárás teljes hatását maga a növény jelzi a növekedés és fejlődés sebességével. Ezek adott időpontban észlelhetők. A hatások valamilyen módon összegeződnek, vagyis többé-kevésbé a későbbi fejlődést is meghatározzák. Minél későbbi időpontban értékeljük az eredményeket, ezek annál pontosabban tükrözik a végső eredményt (a termést) is. Az előrejelzésekben a fenofázisok hosszát (a fejlődés sebességét) használjuk fel másik előrejelző változóként. Az időjárás teljes hatását öt tartományra bontjuk: különösen kedvező, kedvező, közepes, kedvezőtlen, különösen kedvezőtlen. A tartományok elhatárolásához pontos kritériumokat kell megadni. Ezeket a kritériumokat a fenofázisok elemzéséből kapjuk.

Szükséges az időjárás tényezők optimumának a meghatározása. Az optimum nem egy statikus érték, hanem időbeli menete van a tenyészidőszak folyamán. A festékképződés közelítő hőmérsékleti optimumának a menetét a legjobb termésű évről az évről hőmérsékleti meneteinek a figyelembevételével interpoláltuk és extrapoláltuk. Köztudott, hogy elméletileg sokféle optimum értelmezhető. Kézenfekvő pontos és általános érvényű optimumot, sem elméleti, sem gyakorlati okok miatt, rövid úton nem lehet előállítani. Meg kell elégedni ún. referencia optimumokkal, amelyeket (közelítőleg) kevés kísérletből, vagy akár elméletileg is meghatározhatunk.

Összehasonlító vizsgálataink eredményei arra a következtetésre vezettek, hogy kb. azonos értékű festéktartalom-időjárás kapcsolatokat lehet akkor is előállítani, ha nem fenofázisok szerint, hanem egyszerű naptári szakaszok szerint bontjuk fel a tenyészidőszakot. A következő (félhavi) szakaszokat választjuk: V. 20 – 31., VI. 1 – 15., VI. 16 – 30., VII. 1 – 15., VII. 16 – 31., VIII. 1 – 15.,

I. TÁBLÁZAT

A hőmérsékleti prediktor kiszámításának módja, 1975. évi adatok alapján

j	k	1	2	3	4
		T_{otp}	T (1975)	$T - T_{\text{otp}}$	$\Sigma (T - T_{\text{otp}}) _{<0}$
1	.	18,0	17,4	-0,6	.
2	.	20,0	16,5	-3,5	.
3	1	20,0	20,5	0,5	-4,1
4	2	20,0	20,7	0,7	-4,1
5	3	21,0	20,3	-0,7	-4,8
6	4	21,0	19,9	-1,1	-5,9
7	5	19,0	19,2	0,2	-5,9
8	6	19,0	17,5	-1,5	-7,4

VIII. 16 – 31., IX. 1 – 15. ($j = 1, 2, \dots, 8$). Az egymást követő előrejelzések is ezekhez a naptári szakaszokhoz (a szakaszok végéhez) igazodnak, a virágzás kezdete után ($k = 1, 2, \dots, 6$).

A modellhez szükségesek: a festéktartalom-hőmérséklet kapcsolata; az időjárás általános, lehetőleg teljes hatásának a kifejezése; a hatások integrációjának valamilyen kifejezése.

A festéktartalom hőmérsékleti prediktorát az I. táblázat sémája szerint kell kiszámítani. Feltételezzük, hogy az előforduló a T_{opt} feletti, magas hőmérséklet-többletek nem ártanak a festékképződésnek, a T_{opt} alatti hőmérsékletek viszont arányosan korlátozzák a festékképződést. Ezért csak a negatív különbségeket vesszük tekintetbe. Először VI. 30-ig ($j = 3$) összegezzük a negatív különbségeket (-4,1) és ez lesz a tenyészidőszak első hőmérsékleti prediktora (4. oszlop). A további hőmérsékleti prediktorokat a megfelelő j -szakaszok negatív hőmérséklet különbségeinek az összegezésével kapjuk.

Elegendő adatból, adott időpontra ($k = 1, 2, \dots, 6$) megszerkeszthető a festéktartalom – hőmérsékleti prediktor kapcsolata (2. ábra). A kapcsolat határozottan lineáris, de az adatok bizonyos szélességű szórási mezőt jelölnek ki. A festéktartalom szórásának mezőjét alulról-felülről egy-egy legjobban illeszkedő burkoló görbével határoljuk (F_1, F_2). Egy adott p hőmérsékleti prediktor értékhez a festéktartalom szórási mezőnek egy megfelelő $F_2 - F_1$ metszete tartozik. Az $F_2 - F_1$ ingadozási tartományt az ötféle időjárás típusnak megfelelő, egyenlő résztartományokra osztjuk. Mindegyik résztartományt a középértéke reprezentálja. Ezek: $F_1, F_a, \bar{F}, F_b, F_2$.

II. TÁBLÁZAT

*A rendezett fenofázishosszak és a csoportosításukból előállított előrejelzési segédlet
(A, B, C, ... napok száma)*

Sor-rend	A	év	B	év	A+B	év	C	év	B+C	év	A+B+C	év	
	K - 504												
f_b	1.	32	79	23	77	73	76	30	79	81	71	116	79
	2.	35	76	25	71	74	71	46	82	81	77	128	81
	3.	35	82	33	81	77	81	49	78	84	79	130	71
	4.	40	73	36	72	78	72	51	81	84	81	131	76
	5.	42	72	37	80	79	77	56	71	87	82	132	82
	6.	44	81	38	76	83	73	58	75	96	76	137	77
\bar{f}	7.	45	74	41	75	84	80	58	76	97	72	139	72
	8.	47	75	43	73	86	79	58	77	99	75	146	75
	9.	47	80	43	82	88	75	61	72	99	78	148	73
	10.	49	71	44	74	88	82	62	74	101	80	148	80
	11.	53	78	50	78	89	74	64	80	106	74	151	74
	12.	56	77	54	79	103	78	65	73	108	73	152	78

A valódi festéktartalom az öt résztartomány valamelyikébe eshet. A megfelelő résztartományt az eltelt időjárás hatásának a minősítésével, egy *fenológiai prediktor* segítségével határozzuk meg (előrejelezzük). Az időjárás megfelelőségének a mértékét a növény „nyugtazza” a fejlődés sebességével, a fenofázisok meghosszabbodásával vagy megrövidülésével. Az egyszerűség kedvéért nem különböztetünk meg fenofázisokat és fázisközöket, mindig fenofázisokról beszélünk. Indikátorként a következő fenofázisokat, ill. fenofázis kombinációkat használjuk fel: A = kelés-ültetés, B = ültetés-virágzás kezdet, C = virágzás kezdet-érés kezdet, és $A+B$, $B+C$, $A+B+C$. Felírjuk a fenofázis hosszakat növekedő sorrendben (*II. táblázat*) és a növekedő oszlopokat két részre választjuk egy V választóérték segítségével. A V értéknél rövidebb fenofázisok kedvező, a hosszabb fenofázisok kedvezőtlen időjárásra utalnak. Nyilvánvaló, hogy a V hosszúságú, ill. attól kissé eltérő hosszúságú fenofázisok a közepes időjárásatást definiálják.

A *fenológiai prediktor* $f = f(A, B, C, t_v)$ a fenofázis hosszak és a fenofázis kombináció végződésének (t_v – a naptári időpontjának) a függvénye. Mindössze háromértékű változó (pl. $k = 1$ időpontjában):

$$f = \begin{cases} f_a & \text{ha } A, B, (A+B) > V \\ f_b & \text{ha } A, B, (A+B) < V \\ \bar{f} & \text{ha } A, B, (A+B) \geq V \end{cases}$$

Ha már ismert a C fenofázis hossza, akkor a többi kombináció is előállítható.

A fenológiai prediktor eredményes alkalmazásához a gyakorlati előrejelzésekben még számos bizonyos részleteket érintő megfontolásra és kikötésre van szükség. Ezeket itt nem részletezzük kimerítően. Pl. célszerű a fenofázis kombinációk súlyozása: így súlyozottabb B mint A , és $A+B$ mint B stb. Egyidejűleg több paprika fajtára határozzuk meg az f prediktort. Külön súlyt képeznek a szélsőséges ($\ll V$ vagy $V \ll$) értékek és így tovább.

A fenológiai prediktor (f_a, f_b, \bar{f}) jelöli ki a megfelelő F_a, F_b, \bar{F} festéktartalom értéket, mint prediktanduszt, az első előrejelzés ($k = 1$) időpontjában. A kiválasztott prediktanduszt (mint változót) használjuk fel a következő előrejelzésekben is, a C fenofázis végéig (kb. a 4-ik, 5-ik előrejelzésig). Amikor már a három fenofázis kombináció (A, B, C) ismert, újból meg kell határozni a fenológiai prediktort. A további előrejelzéseket már az új (az ún. utóbbi) fenológiai prediktor, ill. az előbbi és az utóbbi prediktor együtt determinálja, az alábbi szabályok szerint (előbbi $f_{a1}, f_{b1}, \bar{f}_1$, és utóbbi $f_{a2}, f_{b2}, \bar{f}_2$ prediktorok):

1. Ha az előbbi és az utóbbi prediktorok különböznek (pl. f_{a1} és f_{b2}), akkor az előbbi prediktanduszt fel kell cserélni, a példa szerint F_a helyett F_b , vagy fordítva.
2. Ha az előbbi és az utóbbi prediktorok azonosak (a nem közepes, egyértelmű, tartós állapot esete), akkor a szélsőséges prediktanduszt kell választani, azaz f_{a1} és f_{a2} esetén F_2 .
3. Ha az előbbi és az utóbbi prediktorok f_{a1} és f_2 vagy f_{b1} és f_2 (az \bar{f}_1 -et a gyakorlatban lehetőleg mellőzzük, mert vele az előrejelzések „hajlékonyságát” nem kívánt módon korlátoznánk), akkor megmarad az előbbi prediktandusz (F_a vagy F_b), de megadjuk hozzá \bar{F} -et mint valószínűbb prediktanduszt.

Az integráció elvét úgy érvényesítjük, hogy minden $k > 1$ előrejelzéskor az előrejelzett értéket közepeljük az összes korábbival és a közepelt értéket adjuk meg előrejelzésként. Ezáltal elérjük, hogy az előrejelzések idősora eléggé konzekvens, inkább tendenciát mutat, mint véletlen szóródást. Tény az is, hogy ezáltal a korábbi előrejelzések esetleges nagyobb hibája a későbbi előrejelzésekben, nem kívánt módon, súlyozottan öröklődik.

Minden előrejelzéskor két előrejelzési értéket közlünk, amelyek értelme: a közepesen valószínű festéktartalom $F = \bar{F}$ (tehát az $F_2 - F_1$ intervallum középő értéke) és a másik az érzékenyített (pontosított), a valószínűbb várható festéktartalom F_e , amely az F_1, F_a, F_b, F_2 közül valamelyik. Az F prediktandusz előnye, hogy kizárólag a p prediktorral meghatározható, mintegy regressziós érték-ként előállítható. Az F_e a várható eltérés irányában érzékenyített, tehát várhatóan a pontosabb prediktandusz. Ha kiegészítő támpontok alapján, valamelyik prediktandusz nyomatékosan valószínűbbnek minősíthetjük a másikkal szemben, azt aláhúzással jelöljük.

Bemutatjuk egy példán a teljes előrejelzési sémát a *III. táblázatban*. Mindegyik előrejelzés csak olyan információra támaszkodhat, amelyek az előrejelzés időpontjában már ismertek. A $k = 1$ előrejelzés időpontjában ismertek: a $j = 1, 2, 3$ szakaszban a középhőmérsékletei és az $A, B, A+B$ fenofázis kombinációk. A fenofázisok négy fajtára összesítve az f_b, f_a, f_b prediktorokat tehát eredőként az f_b prediktort (bár nem elég határozottan) határozzák meg. Ugyanakkor a hőmérsékleti prediktor $p = 0,0$. Ezeket a segédletekbe behelyettesítve kapjuk: $F_1 = 7,6$; $F_2 = 9,8$; $\bar{F} = 8,8$; $F_b = 9,3$. A megadott előrejelzések tehát $F = 8,8$ és $F_e = 9,3$. A f prediktor a C fenofázis végéig rögzített marad. Ezért a $k = 2, 3$ előrejelzések teljesen hasonló módon folytatódnak. A $k = 4$ időpont-

III. TÁBLÁZAT

*A festéktartalom előrejelzéseinek teljes sémája
(1979. évi részletei)*

a) Az f prediktorok előállítása (az adatok nem A, B stb. értékei, hanem ezek eltérései V értékétől)

Fajta	A	B	A+B	C	B+C	A+B+C	t_{v1}	t_{v2}
1	12	- 7	5	8	1	13	6.25	8.09
2	12	-15	-2	25	10	22	7.11	8.10
3	12	- 9	3	10	1	13	6.30	8.14
4	12	-14	- 3	20	6	18	7.07	8.08
	f_b	f_a	f_b	f_b	f_b	f_b		

b) a prediktorok és a prediktanduszok kiszámítása

j	k	T_{opt}	T'	$T' - T_{opt}$	F_1	F_2	\bar{F}	F_b	F_2	F	F_e
1	-	18,0	21,8	3,8							
2	-	20,0	22,8	2,8							
3	-	20,0	20,0	0,0							
4	1			0,0	7,6	9,9	8,8	9,3		8,8	9,3
4	2	20,0	17,4	-2,6	6,2	8,6	7,4	8,0		8,1	8,7
5	2	21,0	19,6	-1,4							
6	3			-4,0	5,9	8,1	7,0	7,5		7,7	8,3
6	4	21,0	20,7	-0,3							
7	4			-4,3	6,0	8,3	7,2		8,3	7,6	8,3
7	5	19,0	17,6	-1,4							
8	5			-5,7	6,1	8,1	7,1		8,1	7,5	8,2
8	6	19,0	17,3	-1,7							
	6			-7,4	6,2	8,0	7,1		8,0	7,4	8,1

IV. TÁBLÁZAT

A festéktartalom előrejelzésének eredményei, 1983-86 (g/kg)

Festéktartalom	Kalocsa (4 fajta átlagai)			Szeged (Sz-20)		
	\bar{F}	F_e	F_u	F	F_e	F_u
1983 előrejelzett	7,7	7,1	-	-	-	-
tény	-	7,8	-	-	-	-
1984 előrejelzett	5,8	6,2	-	6,0	6,6	-
tény	-	7,8*	-	-	6,5	9,1
1985 előrejelzett	5,9	6,8	(8,4)	6,5	7,5	9,7
tény	-	6,5	7,7	-	-	9,3
1986 előrejelzett	7,0	8,0	9,7	8,3	9,6	11,7
tény	-	7,9	-	-	-	-

* *Megjegyzés:* 1984-ben elmaradt az ún. első szedés, ezért a tényadat(7,8) bizonyos részleges utóírelt adatnak tekinthető. 1986-ban a tényadatok még csak részben ismertek.

ban már C is ismert, ezáltal az összes fenofázis kombináció kiértékelhető. A C -ben f_b igen határozott, azaz végig: $f_b, f_a, f_b, f_b, f_b, f_b$. Látható még az is, hogy kb. átlagos virágzáskezdet (t_{v1}) után az érés (t_{v2}) már korán kezdődik. Ezekből egyértelmű: F_1 -ről F_2 -re kell váltani. Így folytatódik az előrejelzések sorozata $k = 4, 5, 6$.

A példában a valódi festéktartalom 8,1 g/kg volt. Ezt összevetve az előrejelzett értékekkel, azt látjuk, hogy a kezdeti szakaszban (főleg $k = 1$ idején) az előrejelzés túlbecslés volt, a második szakaszban (már $k = 3$ -tól végig) viszont meglepően pontos.

A fenti modellben az ún. első szedésű, friss (kb. 18% szárazanyagra vonatkoztatott) festéktartalmat jelezzük előre. Elsőrendű gazdasági igények kielégítésére az utóérlelt festéktartalom (F_u) előrejelzését is meg kell oldani. Ezt egyelőre csak regressziós függvények segítségével tudjuk átszámítani az előrejelzett, első szedésű festéktartalom értékekből, $F_u = f(F, F_e)$. A függvények mindig lineárisak, de többnyire határozottan kétértékűek. Ezek szétválasztása és értelmezése még nincsen megnyugtatóan megoldva.

Kísérleti jellegű, gyakorlati előrejelzéseket 1983 óta folytatunk. Az eddigi előrejelzések eredményei a *IV. táblázatban* láthatók. Utóérlelt paprika festéktartalmát csak 1985-től kezdve tudunk előrejelezni. Úgy látszik, hogy az előrejelzések határozottan eredményesek és megfelelhetnek magasabb szintű igényeknek is. Az utóérlelt paprika festéktartalmának előrejelezhetőségének gyakorlati jelentőségét aligha lehet túlbecsülni.

A fűszerpaprika termésátlagának előrejelzése

A termésátlagok évenkénti ingadozásai tanúsítják, hogy a termésátlag képződése nagy mértékben függ az időjárástól. A termésátlag kialakulásában az időjárási hatásfolyamatot egy termést alapozó és termést halmozó folyamatra bonthatjuk. A termést halmozó folyamat a tenyészidőszak valamely szűkebb szakaszára korlátozódik. A fűszerpaprika esetében ez augusztusra esik. A két fő termésátlagképző hatótényező a hőmérséklet és a csapadék. Más időjárási tényező egyenrangú hatását nem sikerült kimutatnunk. A termés kötődésében a relatív nedvesség is determináló tényező. A virágzás idején az időjárás hatása a termés kötődésére stresszhatás jellegű. Ekkor kedvezőtlen a túl száraz vagy túl nedves, valamint a túl hűvös és túl meleg időjárás is. A kritikus időszak az augusztus. Magas termésátlag csak akkor képződhet, ha ekkor az átlagnál magasabb a hőmérséklet és legalább közepesen csapadékos az időjárás.

A termésátlag előrejelzése határozottan nehezebb feladat, mint a festéktartalomé. Ennek lehetséges okai: 1. a termésátlag képződésének fiziológiai előmeghatározottsága kisebb mértékű; 2. a termésátlag az időjárás összetettebb hatásaitól függ, amelyeket valószínűleg még nem ismerünk elég pontosan; 3. többféle stressz jellegű hatás is érvényesülhet egyes években, amelyekről nincsen pontos tudomásunk, és az előrejelzésekben nem számolhatunk velük (pl. koraőszi fagykár, betegségek fellépése stb.); 4. a fajták közötti differenciáltság a termésképződésben valószínűleg szeszélyesebb, mint a festékképződésben (determinált és folytonérő fajták).

A fűszerpaprika termésének előrejelzési modellje

Többféle próbálkozás után, egy elméleti, ill. gyakorlati kivitelében is újszerű modell megfogalmazására és bevezetésére kényszerültünk. Egyelőre *minimum tényező, felsőkortát modellnek* hívjuk. A legrövidebb leírása a következő. A termésátlagok egy adott halmazát különböző időjárási tényezők (indexek) függvényében külön-külön ábrázoljuk. Meghatározzuk a szórási mezők felső burkoló görbéit (felsőkortát függvényeit). Ezekből egy adott termésátlag akárhány felsőkortátja kiszámítható, és közülük a legkisebb maga a keresett termésátlag.

A modell részletes felépítéséhez szükségesek különböző elméleti megfontolások, időjárási változók megfelelő indexei, a modell ábrázolása stb.

Különösen támaszkodunk legalább három elméleti megfontolásra. Ezek: a termésképződés (Liebig-féle) minimum törvénye, az optimumok és a keresztthátások értelmezése. Szükség van továbbá megfelelő időjárási változók megfelelő indexeire. Az indexekben az időjárási változók és a növényigények együttesen fejeződnek ki. A felhasználtak közül bemutatunk néhány csapadék- és hőmérséklet-indexet.

A csapadék, mint termésképző hatótényező, legalább háromváltozós függvényként értelmezhető: Nevezetesen az időszak csapadék összege, a nagyság szerinti szórása és az időbeli eloszlása. Feltehető továbbá, hogy a csapadék hasznosulása alulról és felülről is korlátos, vagyis a túl kicsi és túl nagy csapadék nem tud pozitív szerepet játszani a termésátlag kialakításában. Az alábbi indexekkel ki tudunk fejezni ilyen hatásokat.

$$\text{Korlátos aktív csapadékösszeg: } I_{h1} = \sum h_{ab}$$

$$\text{Korlátos effektív csapadékösszeg: } I_{h2} = \sum (h - h_c)_b,$$

$$I_{h3} = \frac{1}{n} \sum (h - h_c)_b,$$

$$I_{h4} = \frac{1}{\sigma} \sum (h - h_c)_b.$$

$$\text{Csapadékeloszlás index: } D_k = \frac{N - (m_1 + \dots + m_k)}{N \left(1 - \frac{k}{n} \right)}$$

$$\text{Csapadék hatásindex: } I_{h5} = I_{h2} \cdot D_k$$

Előállíthatók különböző típusú hőmérséklet-indexek. Több index kiszámításához szükség van a növény hőmérsékleti optimumainak, az optimum-görbének az ismeretére ($T_{opt,i}$; $i = 1, 2, \dots$ a félhavi szakaszok a tenyészidőszakban). Máskor a szélsőséges hőmérsékletek (talaj- vagy léghőmérsékletek) felhasználása a célra vezet.

$$\text{Aktív hőmérséklet összeg: } I_{T1} = \sum T_a$$

$$\text{Effektív hőmérséklet összeg: } I_{T2} = \sum (T - T_c)$$

$$\text{Hőmérsékleti analógia index: } I_{T3} = \sqrt{\sum (T_i - T_{opt,i})^2}$$

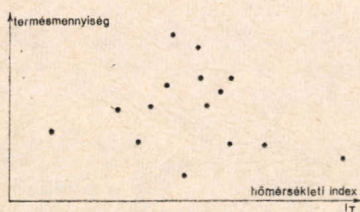
$$\text{Félhavi átlagokból: } I_{T4} = \sum (T_{max} - T_{min})$$

$$\text{Pozitív eltérésekre: } I_{T5} = \sum (T_i - T_{opt,i})$$

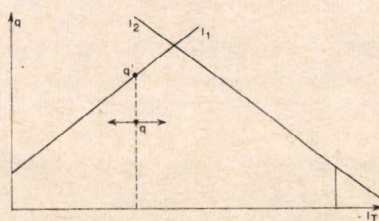
A fenti kifejezésekben használatos jelölések az alábbiak: $h_{ab} = 0$, ha $h \leq h_c$ vagy $h_{ab} = h_b$, ha $h \geq h_b$; $h_{ab} = h$ egyéb esetben, h - napi csapadékösszeg; h_c - minimális effektív csapadék, rögzített érték, legtöbbször $h_c = 3,0$ mm; h_b - választott felső korlát, legtöbbször $h_b = 40$ mm; n - a csapadékos napok száma; σ - a csapadékatatok szórása; N - a vizsgált időszak hossza (napok); m - a leghosszabb csapadékmentes időszak hossza, $m_1 > m_2 > \dots$; T_a - minden $T > T_c$; T - napi középhőmérséklet; T_c - min. effektív hőmérséklet.

Az indexeket a tenyészidőszak különböző szakaszaira lehet kiszámítani. Külön feladat annak az aktív vagy kritikus időszaknak a felismerése, amikor egy adott index a legnagyobb mértékben determinálja, illetve differenciálja a termésátlagokat.

A modellt ábrázolni lehet. Ha egy termésátlag adathalmazt adott időjárási változó indexének függvényében ábrázoljuk, hasonló szórási mezőt kapunk, mint a 3. ábrán. A felső, szélső pontok figyelembevételével, grafikusán vagy matematikai illesztéssel, meghatározzuk a szórási mező felső burkoló görbéit (itt



3. ábra: A termésátlagok ábrázolása egy hőmérsékleti index függvényeként.



4. ábra: A termésátlag előrejelző modell sémája.

I_1 , I_2 -egyenesek, amelyeket felső korlát függvényeknek hívunk a továbbiakban) amint ezek a 4. ábrán láthatók. Ezt a sémát, iteratív módon, minél többféle időjárási indexszel, tetszőleges számban előállítjuk.

Ebből a sémából egy ismeretlen termésátlag ismert időjárási indexével kiszámítható a termésátlag egy felső korlátja (4. ábrán a baloldali pont). A felső korlát érték akármennyire eltérhet a termésátlagétól. Ha azonban más időjárási indexek függvényében is kiszámítjuk (ábrázoljuk) a felső korlátokat, akkor a termésátlag jobbra is és balra is „elmozdulhat”, közelítheti, sőt elérheti a felső korlátot (pl. a 4. ábrán a jobboldali pont). Utóbbi eset akkor következhet be, amikor a független változó az adott termésátlag relatív minimumában levő hatótényezője. Ez a feltevés a termésképződés minimum törvényén alapszik. Elvben minden termésátlagnak van relatív minimumában levő hatótényezője, tehát mindig kiszámítható egy legkisebb felső korlát érték, amely legalább közelítőleg meg-egyezik a keresett termésátlag értékével.

A modell működése ezután rendkívül egyszerű. Ha a felső korlát függvények már ismertek, akkor a modell ábrázolása szükségtelen. Kiszámíthatjuk az ismeretlen termésátlag elegendően sok felső korlátját és kiválasztjuk a legkisebbet, amely egyenlő a keresett termésátlaggal.

Tapasztalatok szerint némely esetben nem kapunk elég pontos eredményt. Ennek többféle oka is lehet. Mindenekelőtt kudarcrá vezet a modell alkalmazása akkor, ha a keresett termésátlag relatív minimumában levő hatótényezője ki-marad a felhasznált hatótényezők közül. Az eredmények bizonyos mértékű szóródását azonban akkor sem lehet kiküszöbölni, ha az előbbi hiba nem áll fenn. Nem várható ugyanis, hogy azonos relatív minimum tényező azonos értékével kifejezett két termésátlag szigorúan megegyezzek egymással. A különbség nem-csak mintavételi hiba, véletlen hiba lehet, hanem legalább részben a termést alakító többi hatótényező kereszthatás kombinációinak a különbözőségével is magyarázható. A termésátlag mindig több hatótényező produktuma, és ezek végtelen sokféle kombinációs lehetősége voltaképpen minden termésátlagot szer-kezetileg egyedivé tesz. A lehetséges különbség nagy mértékben függhet attól,

hogy a közös relatív minimum tényező mennyire erősen domináns tényező a termésátlagokban. Ha kevésbé domináns a tényező, akkor a kereszthatás kombinációk jobban érvényesülhetnek, azaz nagyobb termésátlag különbségek jöhetnek létre, és megfordítva. Ha a relatív minimum tényező szélsőséges, akkor egyre inkább elnyom minden más hatást és a termésátlagokat közelíti egymáshoz.

A modell az operatív előrejelzési rendszerben kulcsszerepet tölt be. A termésátlag előrejelzési rendszer három részből áll: egy kvalitatív előbecslésből (július elején), amelyben a modellnek nincs szerepe; két kvantitatív előrejelzésből (aug. 1-jén és szept. 1-jén), amelyek teljes mértékben a modellre épülnek.

A kvalitatív becslés a korai fejlődés általános feltételeinek ismeretében és főleg a terméskötődés (virágzáskor) minősítése alapján történik. A minősítés inkább csak korlátozó jellegű: az ismert feltételek korlátozhatják-e és mennyiben a legkedvezőbb terméskilátásokat? Tapasztalatok szerint ez a becslés főleg a determinált fajtákra vonatkoztatható.

A mennyiségi előrejelzést a modell segítségével állítjuk elő. Az első és második előrejelzésben nagyjából, de nem teljesen ugyanazokat az időjárási indexeket számítjuk ki. Az indexek tényanyagát az első előrejelzéshez június – júliusból, a második előrejelzéshez pedig július augusztusból állítjuk össze. A regionális előrejelzésekhez (Kalocsa, Szeged) különálló, helyileg reprezentatív időjárási tényanyagot használunk fel. A modell parametrizációja is regionális bontású, külön-külön a kalocsai, ill. a szegedi körzetre. A regionális előrejelzések tehát függetlenek egymástól.

Főleg a csapadék szeszélyessége miatt indokolt lehet, tájkörzeten belül, az előrejelzések további területi bontása, pl. meteorológiai állomások vagy termelőegységek szerint. Egyelőre nem bocsátunk közre, de elvégezzünk ilyen előrejelzéseket is. Tulajdonképpen a helyi időjárási adatokból kiszámított indexeket helyettesítünk a regionálisan parametrizált, közös modellbe. Ezek az előrejelzések már nem függetlenek egymástól, de így is igen értékes, kiegészítő információkat szolgáltatnak.

A modellel egyelőre csak a részletezés nélkül értelmezett, tájkörzeti termésátlagok előrejelzésének megoldása áll szándékunkban, ami kétségtelenül a legfontosabb feladat. Minden további részletezés, fajták, kezelések (ültetett – helyrevetett), talajfajták stb. szerint csak akkor lehetséges, ha megfelelő növényi adatbázist lehet egybegyűjteni a modell parametrizálásához.

A modell szabatos verifikálására még nincsen lehetőség. Évek múlva az előrejelzések minősége alapján lehet majd megítélni a modell objektív értékét. 1986-ban már ezzel a modellel végeztük az előrejelzéseket, de a tényadatok még nem ismertek.

Mindkét előrejelzési modell (a festéktartalom és a termésátlag) logikai felépítésében sokkal általánosabb, semhogy csak a fűszerpaprika terméskomponensek előrejelzésére lehetne alkalmas. A jövőben mindkét modell szélesebb körű adaptációjára is sor kerülhet.

IDŐJÁRÁS

Az Országos Meteorológiai Szolgálat folyóirata. 91. évf. 2–3. szám. 1987. március–június.
Journal of the Hungarian Meteorological Service. Vol. 91. No. 2–3 March–June 1987 Budapest

A kukorica fejlődésének leírása dinamikus-szimulációs növénynövekedési modell segítségével

DUNKEL ZOLTÁN—HUNKÁR MÁRTA—ZÁRBOK ZSOLT, Központi Meteorológiai Intézet, H—1525 Budapest, Pf. 38

Description of the development of maize (Zea mays L.), using dynamic-simulation plant-growth model. The dynamic (simulation) model is the most complex method among methods used to describe soil-plant-atmosphere system. Processes in the atmosphere and the soil have to be described in independent submodel if the whole model is built up. Choosing of time unit allows neglecting of modelling of environment in this realization. Weather was considered given by data series. The connection determining photosynthesis and respiration is the central part of the model. Growth of biomass and yield wanted in the end of vegetation in kgm^{-2} unit are computed using this connection by the help of growing functions. The meteorological and mass-growth data were measured at Agrometeorological Research Station in Keszthely are the base of this model.

*

A kukorica (Zea mays L.) növekedésének és fejlődésének leírása dinamikus-szimulációs növénynövekedési modell segítségével A növény-talaj-időjárás rendszer leírására alkalmazott módszerek közül a legösszetettebb módszer a dinamikus (szimulációs) modell. Teljes kiépítése során külön al-modellben kell leírni a talajban és a levegőben lezajló folyamatokat. Jelen kísérletben az időegység választása lehetővé teszi, hogy a környezet modellezését mellőzzük. Az időjárást különböző idősorokkal leírva adottnak tekintjük. A modell központi része a fotoszintézist és a légzést meghatározó összefüggés. Ezekből kiindulva a növekedési függvények segítségével állítjuk elő a tömeggyarapodást, illetve az ebből a vegetáció végére várható, kgm^{-2} egységben megadott termést. A modell alapja a Keszthelyi Kutató Állomáson mért kukorica tömeggyarapodási értékek és klímaadatok.

*

A talaj – növény – időjárás (légkör) rendszer állandó kölcsönhatásban él és fejlődik. Ahhoz, hogy a rendszer elemeit, egymásra gyakorolt hatásukat megértjük és leírjuk, olyan vizsgálati módszerre van szükség, ahol a rendszer szabadon és zavartalanul létezik. Ilyen vizsgálati eljárásnak egyik kézenfekvő megvalósítása a szántóföldi kísérlet. Ennek során egyes jelenségek szinte tökéletesen nyomon követhetők, míg mások, elsősorban műszer- és mérés technikai okok miatt nem. E nehézségeken segíthet a modellezés. Modellen olyan anyagilag (fizikailag) megvalósított, vagy gondolatilag előállított (elképzel) rendszert értünk, amely a megismerés folyamatában a kutatás tárgyát *helyettesíti*, ezzel világosan kifejezett *hasonlósági* viszonyban van, s ennek következtében a modell tanulmányozása és a vele végzett műveletek a kutatás valódi tárgyáról *további információk* szerzését tessék lehetővé. A talaj – növény – időjárás (légkör) rendszer fizikai modelljének egyik lehetséges megvalósítása a fitotron (klímakamra). A klímakamra segítségével nagyon sok valós helyzetet reprodukálhatunk, de a tökéletes szimuláció lehetetlen, mivel a Nap spektrális eloszlását követő sugár-

forrás nem áll rendelkezésünkre. A klímakamra kísérletekben, a laboratóriumi vizsgálatokban és a szántóföldi megfigyelések során azonban felhalmozódott annyi ismeret, adatok és törvények, hogy segítségükkel megalkothatunk egy olyan képzeletbeli, gondolati rendszert, amely alkalmas arra, hogy (teljes kiépítés esetén) megfelelő mértékben tükrözze a valóságot. Ezt a gondolati felépítést (Curry 1971) a *talaj – növény – légkör rendszer modelljének* nevezzük. Az agrometeorológiai gyakorlatban ezt a modellt a növény-növekedés *dinamikus modelljének*, vagy a növény – időjárás rendszer *szimulációs modelljének* nevezzük.

A növény – talaj – légkör rendszert leíró modelleknek nagyon sokféle elnevezése létezik (Baier, 1979), mi a továbbiakban mindig a *dinamikus modell* elnevezést használjuk, megkülönböztetésül az agrometeorológiai gyakorlatban előforduló egyéb, analitikus és statisztikus termésbecslő modellektől. A dinamikus modell kiépítésének elsődleges célja a talaj – növény – légkör szimulálása további vizsgálatok végzésére. Haszna meteorológiai szempontból kettős. Egyrészt lehetőséget ad az időjárás – növény növekedésére és fejlődésére gyakorolt hatásának vizsgálatára, másrészt termésbecslő módszerként is alkalmazható (Dunkel és Zárbok 1980).

A dinamikus modell elvi felépítése

A modell központi része a növényi tömeggyarapodás leírása. Ez két elemből tevődik össze: a fotoszintézis során keletkező produktum és a légzés során eltávozó anyagmennyiség különbségéből. A modell mindig a szárazanyag változását adja meg úgy, hogy a fotoszintézis helyén (levél, szár, esetleg reproduktív szerveken) lejátszódó eseményeket követi nyomon, a környezeti (talaj, légkör), valamint a növény saját belső (mennyiségi, minőségi) változásai függvényeként. Dinamikus modell felépítésekor a következő logikai egységeket kell létrehozni:

- (1) meg kell határoznunk azt, hogy adott „szabad légköri viszonyok” esetén hogyan alakul a mikroklíma a növényállományban, elsősorban mi várható az aktív fotoszintézis szintjén;
- (2) meg kell adnunk azt, hogy az időjárás és a növényállomány hatására miként alakulnak a fotoszintézis és légzés időbeni menetét befolyásoló talajállapot-jellemzők;
- (3) elő kell állítani azokat a függvényeket, amelyek leírják a levélben, és általában a fotoszintetizáló és légző növényi részekben végbemenő eseményeket az idő és a környezet függvényeként;
- (4) a kapott tömeggyarapodás alapján kiszámítható az időben soron következő növényi állapot, meg kell adnunk a növény megváltozott paramétereit.

A dinamikus modell felépítése annyi, mint megadni a

$$\frac{dP}{dt} = f(P, S, A)$$

összefüggést, ahol P – a növény, S – a talaj és A – a légkör állapotát jellemzi. Ez itt csak egy elvi elképzelés, mert egyetlen összefüggéssel lehetetlen leírni az egész bonyolult növény – talaj – légkör rendszert. Az *I. ábrán* kísérreljük meg annak szemléltetését, milyen függvények ismerete szükséges ahhoz, hogy összeállítsunk egy dinamikus modellt. Meg kell jegyeznünk, hogy a *Shawcroft et al.*, (1974) nyomán összeállított ábra légkör- (időjárás) -centrikus, mivel elsősorban a meteorológiai elemek függvényeként előállítható paramétereket tünteti fel.

A dinamikus modell lehetséges megvalósítása

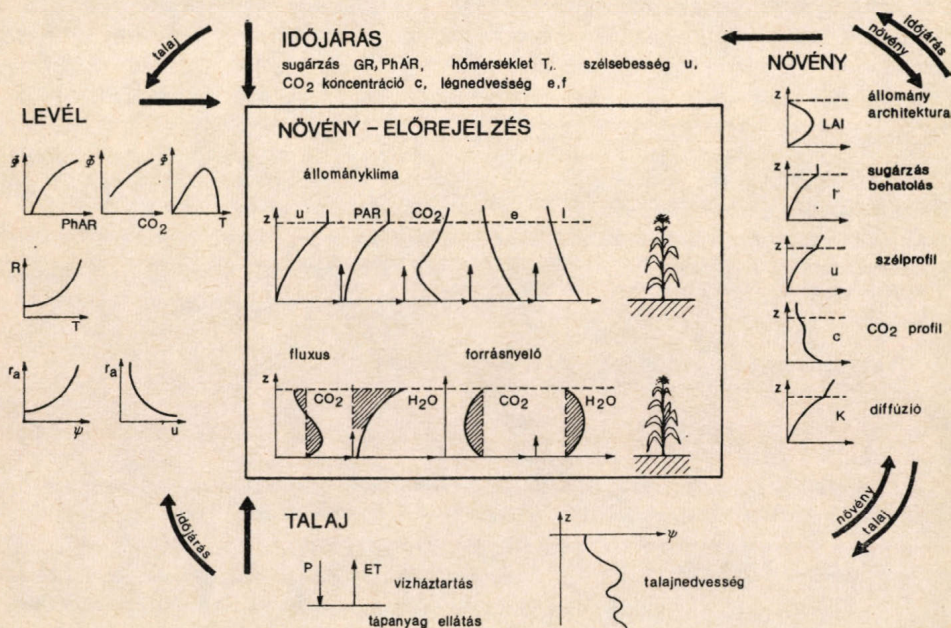
Legyen az i -edik időponthoz tartozó össz-száranyag-mennyiség, pontosabban a felületegységre eső tömeg M_i , kgm^{-2} . Az $i+1$ -edik időpontban várható növényi össz-tömeget az

$$M_{i+1} = M_i + \varepsilon_1 \Phi - \varepsilon_2 \varphi_T R \quad (1)$$

összefüggéssel határozzuk meg. Az (1) egyenletben Φ a fotoszintetikus tömeggyarapodás, a CO_2 asszimiláció, R – a légzés. ε_1 és ε_2 konstansok. φ_T a légzés hőmérséklet-függése, az agrometeorológiai gyakorlatban a Q10-es függvénnyel szokás megadni:

$$\varphi_T = 2^{(T-T_0)/10}, \quad (2)$$

ahol T a léghőmérséklet napi közepe, T_0 – légzés optimális hőmérséklete.



1. ábra: A dinamikus modell elvi felépítése. Jelölések: GR – globálsugárzás, $PhAR$ – fotoszintetikusan aktív sugárzás T – léghőmérséklet, u – szélesség, C – CO_2 koncentráció, e – párnnyomás, f – relatív nedvesség, Φ – fotoszintézis, R – sztómaellenállás, Ψ – vízpoteenciál, LAI – levélfelület-index, K – kicsérélődési együttható, P – csapadék, ET – párolgás,

A Φ meghatározására többféle összefüggés ismert (Peat 1970, Sirotenko and Boyko 1975, Galyamin and Syptich 1977). Jelen felépítésben a Chartier formulát használtuk Sirotenko (1978) által javasolt formában. Eszerint az egy nap alatt várható CO_2 asszimiláció,

$$\Phi = \frac{\tau_1 \psi_1 L}{2(r_i - r_c)} \left[C + \alpha I r_i - \sqrt{(\alpha I r_i - C)^2 + 4 r_c I_i C \alpha} \right] \quad (3)$$

ahol τ_1 , a nappal hossza, ψ_1 a fotoszintézis hőmérséklet függése, L a fotoszinteti-

záló felület, m^2/m^2 , csak nagyon durva közelítéssel vehetjük azonosnak a levélterület-indexszel, az ún. LAI-val. A kukorica esetében, különösen a már kifejtett állományban nem elhanyagolható a szár felülete és a csövet borító levelek felülete, mint fotoszintetizáló felület. A C a szén-dioxid koncentrációja a növényállományon belül, a maximális asszimiláció szintjén. I_i az ezen a szinten mért fotoszintetikusán aktív sugárzás ($PhAR$) értéke. α a fotoszintézis fénygörbéjének kezdő hajlásszöge, értéke C_3 típusú növényre $1,1 \cdot 10^{-8} \text{ kgJ}^{-1} (\text{kgW}^{-1}\text{s}^{-1})$, C_4 típusú növényre, a kukorica ilyen, $1,4 \cdot 10^{-8} \text{ kgJ}^{-1}$. Az r_i az adott napra vonatkozó átlagos diffúziós ellenállás, ez három tagból adódik össze:

$$r_i = r_{st} + r_{mes} + r_c \quad (4)$$

A (4) egyenletben a legfontosabb tag az r_{st} – sztóma-ellenállás. Ez teremt kapcsolatot a CO_2 asszimiláció és a környezeti tényezők változása között. Az r_{mes} a levélen belüli réteg, a mezofil réteg ellenállása. Ezt és a karboxilációs ellenállást, az r_c -t, a modellben konstansnak vettük. Értékük egy nagyságrenddel kisebb mint a sztóma-ellenállás értéke. *Sirotenko* (1981) szerint változásuk mértéke nem haladja meg a $\pm 10\%$ -ot, így jogosan tekinthetjük az r_{mes} és az r_c értékét konstansnak. A sztóma-ellenállás értékének *Anda* (1985, 1986) mérései szerint határozott napi és évszakos menete van.

Az itt bemutatásra kerülő modellben az időlépcsőt egy napnak vettük, így a sztóma-ellenállás napi változását, ami jelentős mértékben befolyásolja a napi fotoszintézist, átlagos napi értékkel helyettesítettük, s ez bizonyos pontatlanságot okoz. Ha napi átlagos értékkel számolunk, akkor az r_{st} változását döntő módon egy tényező határozza meg, és ez a talajnedvesség értékének alakulása (*Lee and Gate* 1964, *Lemon* 1967). A sztóma-ellenállás – talajnedvesség kapcsolatot egy negatív kitevőjű exponenciális függvénnyel írhatjuk le. Általánosan elfogadott alakja *Šesták et al.* (1971), valamint *Sirotenko* (1981) szerint:

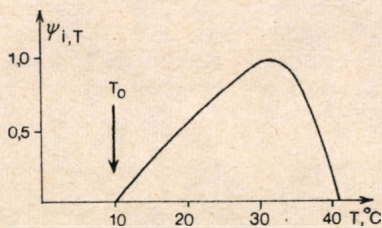
$$r_{st} = r_{min} \exp(a_1 \cdot \Psi_s^i), \quad (5)$$

ahol a_1 empirikus konstans, *Sirotenko* (1981) szerint $a_1 = -0,8$. Az (5) összefüggésben szereplő Ψ_s^i függvény a sztóma-ellenállást meghatározó talajréteg vízpotenciálja. Értékét rendszerint több talajrétegre vonatkozó vízpotenciál-érték összegeként határozzuk meg. Direkt mérése rendkívül bonyolult, rendszeres operatív mérése *Galló és Hunkár* (1984) szerint megvalósíthatatlan, ezért értékét meg kell adnunk az agrometeorológiai gyakorlatban mért talajnedvesség-paraméterek függvényeként. Az adott talajréteg vízpotenciálját a rétegre vonatkozó, vízszlop mm -ben kifejezett tényleges vízkészlet – W_i , az adott rétegre vonatkozó hervadáspont – W_i^{WP} valamint a réteg maximális vízkapacitása – W_i^{max} ismeretében *Michurin* (1975) képlete,

$$\Psi_s^i = -\Psi_0 \exp\left(-a_2 \frac{W_i - W_i^{WP}}{W_i^{max} - W_i^V}\right), \quad (6)$$

alapján számoltuk, Ψ_0 a hervadásponthoz tartozó vízpotenciál, általánosan elfogadott értéke $1,5 \cdot 10^6 \text{ Pa}$. A másik konstans, a_2 értéke *Sirotenko* (1981) szerint 7,76, empirikus állandó. A W_i mérhető érték. A jelenlegi agrometeorológiai gyakorlatban hetente mérjük, de a csapadék, és az evapotranspirációt meghatározó meteorológiai elemek birtokában naponként számíthatjuk. Modellszámításaink során a hetenként mért talajnedvesség-adatokat használtuk, a közöttes időszakban *Antal* (1968) formulájával számoltuk a talajnedvesség napi értékeit.

A Ψ_i a fotoszintézis – hőmérsékletfüggvény. Értéke egy adott t_{\min} -nél kisebb és egy adott t_{\max} -nál nagyobb hőmérséklet esetén nulla. A két határérték (t_{\min} , t_{\max}) között egy t_{opt} helyen veszi fel maximumát, a $\Psi(t) = 1$ -et. A t_{\min} , t_{\max} és t_{opt} értékek növényfajtára és földrajzi övezetre jellemző értékek. Esetünkben a Ψ_i függvény menetét a helyre (Keszthely) és fajtára (kukorica) érvényes adatokkal a 2. ábrán mutatjuk be.



2. ábra: A fotoszintézis-hőmérsékletfüggvény

A tömeggyarapodás másik meghatározó tényezőjét, a légzést valamivel egyszerűbben írhatjuk le. A légzést általában két tagra bontják (Šesták et al. 1971, Sirotenko 1981, Penning de Vries és van Laar 1982): egy fentartó és egy növekedési légzésre:

$$R = R_0 m_j + R_j \frac{dm_j}{dt}, \quad (7)$$

ahol m_j a megfelelő növényi rész, $j = 1, 2, 3, 4$ (gyökér, szár, levél, reproduktív szervek). Az R_0 Sirotenko (1981) szerint univerzális konstans, értéke 0,015, de a növekedési légzés-hányada részenként változó, ezért a növényi össztömeg-gyarapodást szét kell választani az egyes részeknek megfelelően. A levél és a szár esetében $R_j = 0,3$, míg a gyökérre nagyobb hányad esik, $R_1 = 0,7$ (Kulík et al., 1979).

A növekedési légzés-hányad meghatározásán kívül a fotoszintetizáló felület kiszámításához is meg kell adnunk azt, hogy az össztömeg-gyarapodásból mekkora rész jut egy-egy növényi részre, a gyökérre, szárra, levélre és a reproduktív szervekre. A dinamikus modell egyik legfontosabb bemenő paramétere a növekedési függvény. Ennek segítségével osztjuk szét az össztömeg-gyarapodást szervekre, illetve adjuk meg a növény fejlődését. Legyen m_j ($j = 1, 2, 3, 4$; gyökér, szár, levél, reproduktív szervek) a megfelelő növényi rész tömege. Nyilvánvalóan felírható az

$$M_i = \sum_{j=1}^4 m_{j,i} \quad (8)$$

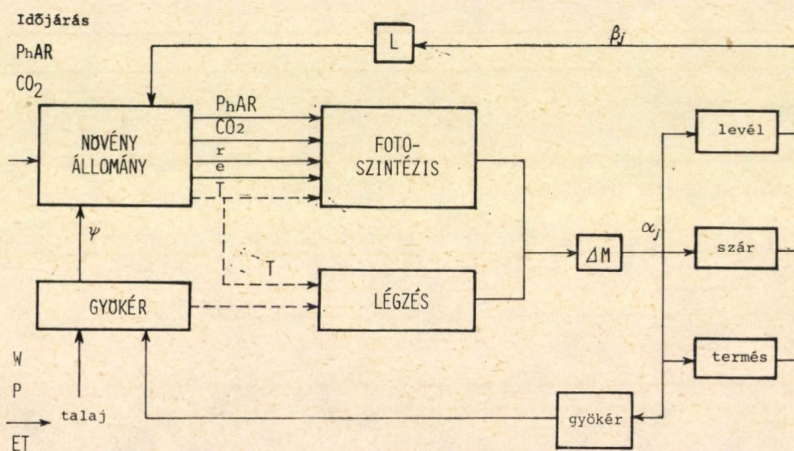
összefüggés. A (8) egyenletet megadhatjuk a növekedési függvények segítségével is:

$$M_i = \sum_{j=1}^4 \alpha_{j,i} M_i \quad (9)$$

A (9) összefüggésben szereplő $\alpha_{j,i}$ együtthatókra, a növekedési függvényekre, fennáll a

$$\sum_{j=1}^4 \alpha_{j,i} = 1 \quad (10)$$

összefüggés. Az α_j együtthatók meghatározása mérés technikailag elég körülményes, a kukorica esetében különösen a gyökértömeg meghatározása okoz gondot. Hunkár (1986) vizsgálatai megfelelő alapot nyújtanak arra, hogy a szükséges növekedési együtthatókat a modell számára előállítsuk. A (10) összefüggés alapján a gyökértömeget maradék tagként is előállíthatnánk, de mérési és számítási tapasztalataink szerint minden nehézsége ellenére, legalább kontrollként szükséges a gyökértömeg mérése.



3. ábra: A megvalósított dinamikus modell számítási vázlatja. Jelölések: C – CO_2 koncentráció, $PhAR$ – fotoszintetikus aktív sugárzás, T – léghőmérséklet, P – csapadék, ET – evapotranspiráció, L – a fotoszintetizáló felület, r – diffúziós ellenállás, W – talajnedvesség, Ψ – vízpotenciál, α – növekedési függvény, β_j – tömegfelület-függvény

A (3) összefüggésben szereplő L fotoszintetizáló felület értéket a szervek tömegéből lehet kiszámítani. A növekedési függvényhez hasonlóan a tömegfelület függvény előállítása is komoly gondokat okoz. A fotoszintetizáló felületet nem tekinthetjük egy az egyben azonosnak az agrometeorológiai gyakorlatban általánosan használt levélterület-indexszel, a LAI -val, a fotoszintetizáló felület nagyságát szervenként külön-külön meg kell adni. Az α_j növekedési függvényekhez hasonlóan bevezetünk egy β_j tömegfelület függvényt szervenként, s ezek segítségével állítjuk elő az L fotoszintetizáló felületet,

$$L = \beta_{2,i} m_{2,i} + \beta_{3,i} m_{3,i} + \begin{cases} \beta_{4,i} m_{4,i} \\ 0 \end{cases} \quad (11)$$

formában. A gyökér esetében ($j = 1$) nem kell számolnunk fotoszintetizáló felülettel, a reproduktív szervek esetében ez az érték a termésképződés megindulása előtt nyilvánvalóan nulla.

A bevezetett változók közötti összefüggést, a számítási lépések közötti logikai kapcsolatot a 3. ábrán mutatjuk be. Ezt a számítást kell minden időlép-

csőre, jelen megvalósításban naponként, elvégezni, a kiinduló állapottól a befejezésig, modellünkben a kelés utáni tömegeloszlástól az érésig.

A növény élete során nemcsak növekszik, hanem fejlődik is. A növény minőségi változásai nem adhatók meg egyszerűen a naptári idő függvényeként. Közismert, hogy például azonos kelési időpont esetén a virágzás különböző években nem ugyanannyi nap után indul meg. A növényben működik egy biológiai óra, ami ezeket a folyamatokat szabályozza. Ennek számszerű megfogására vezette be Robertson (1968) a *biometeorológiai idő* (ω) fogalmát. Modellünkben az α_j növekedési és a β_j tömeg-felület függvény független változója a biometeorológiai idő. Ennek előállítása az egyik legnagyobb probléma a modellezés során. A biometeorológiai idő számszerű, minden szempontból kielégítő megadása még nem született meg. Rendszerint az effektív hőmérséklet-összeggel adjuk meg:

$$\omega(k) = \sum_{i=1}^k t_{\text{eff}}, \quad t_{\text{eff}} = \begin{cases} t_k - t_0, & \text{ha } t_k > t_0 \\ 0, & \text{ha } t_k \leq t_0 \end{cases} \quad (12)$$

ahol $\omega(k)$ a k -adik naphoz tartozó effektív hőmérséklet-összeg. A (12) képletben szereplő t_0 , a biológiai minimumnak nevezett napi középhőmérséklet. Értéke növényfajtól függő érték. A kukorica esetében a $t_0 = 10^\circ\text{C}$ az elfogadott érték. Rendszerint az egész tenyészidőszakra vonatkozó univerzális konstansnak tekintjük.

A számításokhoz felhasznált adatok

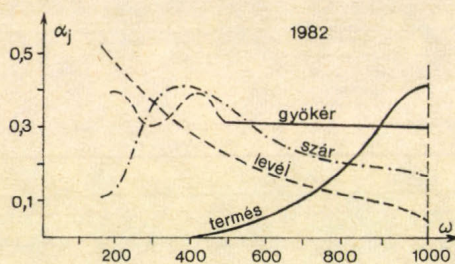
A bemutatott modell megvalósításához a keszthelyi agrometeorológiai kutató állomáson mért meteorológiai és fenológiai adatokat használtuk fel. Az 1. ábrán vázolt modell megvalósítása esetén külön al-modellben kell leírni a növényállományban kialakuló mikroklímát a „szabad légkörben” mért elemek függvényében. A keszthelyi állomáson sikerült megvalósítanunk olyan mérési együttest, amelynek során közvetlenül az aktív fotoszintézist végző rétegben mértük a meghatározó meteorológiai elemeket (Anda 1986a, Dunkel 1985, Dunkel 1986, Hunkár 1986). Az elvégzett mérések lehetővé tették, hogy a modell megvalósításához szükséges, a megfelelő szintre érvényes, napi adatsort előállítsuk. A meteorológiai elemek mérésével egy időben fenológiai és fenometriai mérésekre is sor

I. TÁBLÁZAT

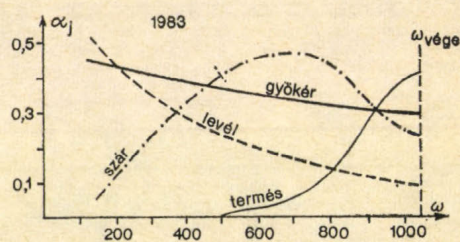
Adatbázis: A dinamikus modell parametrizálásához a keszthelyi agrometeorológiai kutató állomáson mért és felhasznált adatok

IDŐJÁRÁS	t_k napi mért C napi mért G napi mért W heti mért, napra számolt
NÖVÉNY	Δm_k heti mért LAI heti mért
TALAJ	W_{max} mért W_{max} mért

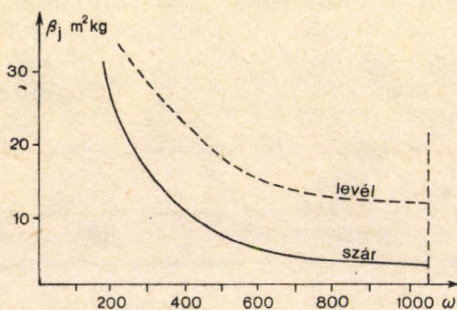
került. Ezeket a méréseket technikai okok miatt minden nap nem lehet végrehajtani, de az elmúlt években elegendő információ gyűlt össze ahhoz, hogy a 3. ábrán vázolt modell paramétereit összeállítsuk. A rendelkezésünkre álló műszerek segítségével mértük a diffúziós ellenállás (Anda 1985) értékeit, valamint az egyik legfontosabb fenometriai paramétert, a levélterület-indexet, az ún. LAI t (Anda és Hunkár 1984). A modell megvalósításához használt adategyüttest az I. táblázatban mutatjuk be. A vizsgálatainkban használt jelzőnövény SzTC-255 típusú, rövidtenyészidejű kukorica (*Zea mays* L.) volt.



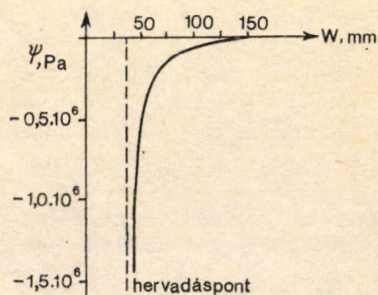
4. ábra: A növekedési függvények menete az 1982-es tenyészidőszakban; Keszthely, kukorica. Jelölések: ω effektív hőmérséklet-összeg, α_j növekedési függvény



5. ábra: A növekedési függvények menete az 1983-as tenyészidőszakban



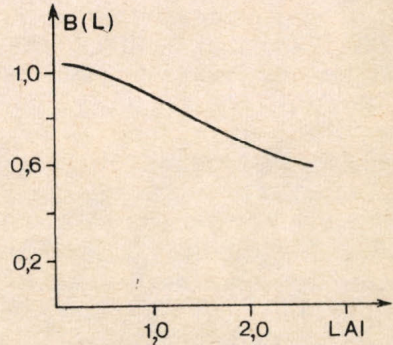
6. ábra: A szárra és a levélre vonatkozó tömegfelület (β_j) függvények. Keszthely, kukorica, 1982



7. ábra: A talajnedvesség-vízpotenciál függvény. Jelölések: W - mért talajnedvesség, mm, Ψ vízpotenciál, Pa

A 4. ábrán látható az α_j növekedési függvények menete az 1982-es tenyészidőszakra. A hetenként mért tömeggyarapodás-értékekre regresszióval illesztett Hunkár (1986) kiegyenlítő görbét, a naponkénti növekedési függvény értékeket ennek segítségével állítottuk elő. Az 5. ábrán az 1983-as tenyészidőszakra érvényes növekedési függvényeket mutatjuk be. A függvények független változója a (12) összefüggésben bevezetett effektív hőmérsékletösszeg (biometeorológiai idő). A keszthelyi vizsgálatok alapján induló értéknek $\omega_0 = 160$, érési küszöbnek $\omega_{\text{end}} = 1050$ tűnik elfogadhatónak. Ha összevetjük a 4. és az 5. ábrát, láthatjuk, hogy a fenofázisok bekövetkezésének időpontja évjárattól függő érték. E két ábra esetében szigorúan véve csak a reproduktív szervek növekedésének kezdetét tekinthetjük a hagyományosan elfogadott értelemben fenofázis kezdetnek.

A 6. ábrán a β_1 tömeg-felület függvényt mutatjuk be. A levélre vonatkozó β_3 függvény előállításához a levéltömeg mérésen kívül a levélfelület mérések szolgáltatottak alapot (Anda 1986b). A szár fotoszintetizáló felületét geometriai számításokkal határoztuk meg a hetenkénti fenológiai mérések során végzett növény-magasság mérésekből. A reproductív szervek fotoszintetizáló felülete közel egy nagyságrenddel kisebb, mint a szár fotoszintetizáló felülete, ami egyébként a tenyészidőszak átlagában mintegy harmada a LAI-nak, így a reproductív szervekre vonatkozó β_4 tömegfelület-függvény előállítását mellőztük.



8. ábra: Az állománysűrűség – fénygyengülés-függvény $B(L)$ LAI – levélfelület-index

A 7. ábrán a keszthelyi talajnedvesség adatokra érvényes mért talajnedvesség – vízpotenciál függvény menete látható a felső 50 cm-es talajrétegre. Ez a függvény tenyészidőszaktól független, de helyhez kötött. Menetét a (6) összefüggés alapján határoztuk meg. A (3) képletben megadott fotoszintézis-intenzitás függ az állományban felfogható fotoszintetikusan aktív sugárzástól. Ez az érték különösen fejlett állományban nem tekinthető azonosnak az állomány felett felfogható sugárzással, hanem bizonyos gyengüléssel kell számolni. Hunkár (1984)

II. TÁBLÁZAT

A naponkénti szén-dioxid koncentráció az aktív fotoszintézis szintjén
Keszthely 1982, kukorica állomány, $C \cdot 10^{-2} \text{ kgm}^{-3}$

Nap	Máj.	Jún.	Júl.	Aug.	Szept.	Nap	Máj.	Jún.	Júl.	Aug.	Szept.
1	475	544	509	443	464	16	465	525	479	426	563
2	480	548	510	447	447	17	500	438	483	422	551
3	440	529	479	446	417	18	515	530	412	354	537
4	445	530	495	409	464	19	535	545	421	483	426
5	540	480	527	418	436	20	480	545	476	443	423
6	495	500	528	482	434	21	500	510	539	374	416
7	420	435	494	496	437	22	495	500	463	399	469
8	540	435	427	413	376	23	505	445	433	441	459
9	535	485	432	400	378	24	500	525	464	497	396
10	535	510	433	447	398	25	430	510	459	430	426
11	470	495	407	440	461	26	495	485	424	459	404
12	445	421	404	505	486	27	530	490	416	408	425
13	465	525	423	485	457	28	505	527	448	465	429
14	435	410	471	465	524	29	395	520	480	388	497
15	475	525	515	443	548	30	435	475	448	451	492
						31	490		457	469	

vizsgálatai alapján meghatároztuk a kukoricára vonatkozó gyengítési függvényt, menetét a 8. ábrán láthatjuk. A szén-dioxid-koncentrációt az állományban és fellelte folyamatosan regisztráltuk (Dunkel 1985, 1986). A II. táblázatban megadtuk a fotoszintézis aktív szintjére érvényes CO₂ koncentráció napi értékeit a tenyészidőszak során. Ezeket részben azonosnak vettük a különböző szinteken (0,5 és 1 m a talaj felett) mért értékekkel, részben interpolációval határoztuk meg.

Számítások és következtetések

A modellszámításokat az 1982, 1983 és 1984-es évekre végeztük el, a keszthelyi adatok alapján. Induló tömegnek az elvetett vetőmag tömegét vettük. Ez az érték 0,002 és 0,003 kgm⁻² között változik, kísérleteinkben három lehetséges változattal dolgoztunk. Az induló tömeget (pontosabban tömeg/felület) 3:3:4 arányban osztottuk szét a szár, a levél és a gyökér között. Az egyik realizáció eredményeit a III. táblázatban mutatjuk be. (Az össztömeg és a LAI alakulását grafikusan is szemléltetjük a 9. ábra jobb oldalán. Ha összevetjük a mért tömeg- és levélfelület értékeket (9. ábra bal oldala) a számított értékekkel (9. ábra jobb oldala), látható, hogy a modellt a fejlődés dinamikáját mind a tömeggyarapodás, mind a levélfelület változása esetén jól követi, sőt az abszolút értékek alakulása is megfelelő (9. ábra jobb oldal, szaggatott vonal). Számításaink során több kísérletet végeztünk, amelyek során változtattuk a kezdő tömeget – M_0 -t, a biológiai minimum értékét – t_0 -t, valamint a β_j tömegfelület-függvény értékeire különböző közelítéssel éltünk. Egy ilyen kísérlet volt, amikor fotoszintetizáló felületként csak a LAI-val számoltunk. A 9. ábra jobb oldalán folytonos vonallal ábrázoltuk a kísérlet eredményét. A tömeggyarapodás dinamikája többé-kevésbé

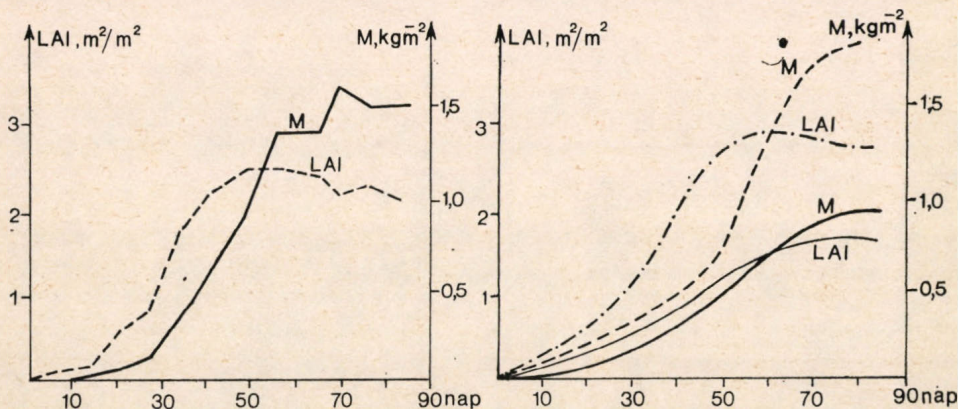
III. TÁBLÁZAT

Számított tömegek és levélfelület-index (Keszthely 1982)

Jelölések: 1 – időpont (numerikus kalendárium), 2 – diffúziós ellenállás sm⁻¹, 3 – levélfelület-index (LAI X · 10⁻²), 4 – fotoszintézis X · 10⁻³ kgm⁻², 5 – össztömeg, 6 – termés, 7 – szár, 8 – levél, 9 – gyökér X · 10⁻³ kgm⁻²

1	2	3	4	5	6	7	8	9
150	389	4	1	4	0	0	2	2
155	450	7	3	9	0	2	3	4
160	538	13	3	17	0	4	6	7
165	407	20	3	26	0	7	9	10
170	577	28	6	37	0	10	12	15
175	577	42	12	60	0	19	17	24
180	493	61	10	92	0	36	22	34
185	858	82	12	125	0	49	30	46
190	1718	93	6	147	3	65	28	51
195	402	108	35	195	4	86	37	68
200	378	148	56	311	16	143	50	102
205	397	205	66	475	38	214	67	156
210	355	225	59	561	67	241	73	180
215	361	238	77	749	135	285	90	239
220	346	261	72	928	232	306	102	288
225	393	255	96	1132	373	306	102	351
230	363	267	83	1323	503	318	106	396
235	393	254	41	1527	630	354	106	437

így is nyomon követhető, de az össztömeg-gyarapodás alatta marad a tényleges tömeggyarapodási értékeknek. A termés (ez nem azonos az általános értelemben vett terméssel, itt az ω_{end} biometeorológiai időponthoz tartozó reproduktív szervek tömegéről van szó) a folytonos vonallal ábrázolt esetben, $0,25 \text{ kgm}^{-2}$, a másik számításban (szaggatott vonal) $0,63 \text{ kgm}^{-2}$ szemben a ténylegesen mért $0,71 \text{ kgm}^{-2}$ -rel.



9. ábra: A tömeggyarapodás és a LAI mért (bal oldalon) és számított (jobb oldalon) értékei az 1982-es tenyészidőszakban

Méréseink és számításaink alapján a dinamikus modell megvalósításával kapcsolatban elmondhatjuk, hogy

- a modell nagyon érzékeny a benne használt biológiai függvényekre. Azok értéke és menete évenként változó érték, egyik évről a másikra nem vihető át, átlagos értékkel nem célszerű dolgozni.
- az induló tömeg nem tekinthető azonosnak az elvetett mag tömegével. Ezért a további felhasználás során célszerű a modellt egy olyan időponttól (biometeorológiai idő!) indítani, amelyre a szántóföldön levő tömeg, és annak szervenkénti eloszlása jól meghatározott.
- a fotoszintetizáló felületet nem szabad azonosnak venni a levélterület-indexszel, a LAI-val.
- a szén-dioxid-koncentráció *Sirotenko* (1978) javaslata ellenére nem tekinthető még ebben a felbontásban sem a tenyészidőszakra vonatkozó univerzális állandónak.

Az agrometeorológia gyakorlatban használt termésbecslő módszereket *Baier* (1973, 1977) nyomán három típusba szoktuk sorolni. E szerint a besorolás szerint a dinamikus modelltől, mint lehetséges termésbecslő modelltől beszélünk. Ahhoz, hogy segítségével termésbecslést adjunk, egyrészt legalább napi értékekre bontott időjárás-előrejelzésre van szükségünk, másrészt rendelkezniünk kell az ehhez tartozó biológiai függvényekkel. Ezek előállításában azonban elég költséges és érvényességük jelen ismereteink szerint meglehetősen helyhez kötött, így a dinamikus modell hatékonysága alatta marad az egyéb módszerek hatékonyságának (*Sakamoto* 1981). A dinamikus modell jelentőségét ma elsősorban az egyes különálló vizsgálatok integrálásában, valamint a más modellekhez való csatlakozás lehetőségében kell látnunk.

IRODALOM

- Anda, A., 1985: Szimulált cementszennyezés hatása a kukorica vízgazdálkodására. *Növénytermelés* 34, 320–336.
- Anda, A., 1986a: Effect of Cement Kiln Dust on the Radiation Balance and Yields of Plants. *Environ. Pollut. Ser. A.*, 40, 249–256.
- Anda, A., 1986b: A kukorica (*Zea mays* L.) levélfelületének meghatározására alkalmas módszerek összehasonlítása. *Növénytermelés* 35, 99–108.
- Anda, A., Hunkár, M., 1984: Fotoszintetikusan aktív sugárzás behatolása különböző sűrűségű őszi búzaállományokba. *Növénytermelés* 33, 305–311.
- Antal, E., 1968: Egyes mezőgazdasági növények potenciális evapotranspirációja. *Üntözéses gazdálkodás* 4, 69–6.
- Baier, W., 1973: Crop-Weather Analysis Model. *Int. J. Biometeor.*, 17, 313–320.
- Baier, W., 1977: Crop-Weather Models and their Use in Yield Assesments. WMO Technical Note 151 (WM No. 458). Genf.
- Baier, W., 1979: Note on the terminology of crop-weather models. *Agric. Meteorol.*, 20, 137–145.
- Curry, R. B., 1971: Dynamic Simulation of Plant Growth. Part II. ASAE. No. 71–541.
- Dunkel, Z., 1985: Szén-dioxid vertikális eloszlása kukoricaállományban. Beszámoló, 1982, 82–97. Budapest.
- Dunkel, Z., 1986: Measurements and estimates of CO₂ flux and photosynthetically active radiation in and above maize canopy. Vortratstagung Agrarmeteorologie (in print), Halle/Saale.
- Dunkel, Z., Zárbok, Zs., 1980: Agrometeorológiai modellek alkalmazása a növény fejlődésének előrejelzésében. *Időjárás* 84, 84–91.
- Galló, V., Hunkár, M., 1984: Korszerű műszerek az agrometeorológiában a vízpotenciál és más paraméterek mérésére. Beszámoló, 1984. (in print).
- Galyamin, E. P., Sytych, S. O., 1977: Dynamic model of growing of maize and its using for optimization of water balance (in Russian). Trudy IEM 8/67, 114–123f
- Hunkár, M., 1984: Simple calculation of the vertical profile of average PAR flux density within a maize stand. *Időjárás* 88, 139–144.
- Hunkár, M., 1986: A növénynövekedés fejlődés dinamikus modelljében alkalmazott növekedési függvények. Beszámoló, 1983, 11–121. Budapest.
- Kulík, M. S., Palevoj, A. N., Volnack, I. Ye., 1979: Modeling the process of winter wheat yield formation (in Russian). *Meteorologija i Gidrologija*, 98–106.
- Lee, R., Gate, D. M., 1964: Diffusion resistance in leaves as related to their stomatal anatomy and microstructure. *Am. J. Bot.*, 51, 963–975.
- Lemon, E. R., 1967: Aerodynamic studies of CO₂ exchange between the atmosphere and the plant. In: San Pietro (ed): *Harvesting the Sun*. Academic Press New York–London.
- Michurin, B. I., 1975: Energetics of Soil Moisture (in Russian) 295. p. Gidrometizdat, Leningrad.
- Peat, W. E., 1970: Relationship between photosynthesis and light intensity in the tomato. *Ann. Bot.* 34, 319–328.
- Penning de Vries, F. W., van Laar, H. H., 1982: Simulation of plant growth and crop production. 308 p. Wageningen.
- Robertson, G. W., 1968: A Biometeorological Time Scale for a Cereal Crop Involving Day and Night Temperatures and Photoperiod. *Int. J. Biometeor.*, 12, 191–223.
- Sakamoto, C. M., 1981: The Technology of Crop/Weather Modeling. In: Bach, W., Pankrath, J. (ed.): *Food-Climatic Interactions*, 383–398. Reidel, Columbia.
- Sesták, Z., Castky, J., Jarvis, P. E. (ed.), 1971: *Plant Photosynthetic Production* 836. p. Hague.
- Shawcroft, R. W., Lemon, E. R., Allen, J., Stewart, L. H., Jensen, S. E., 1974: The soil-plant-atmosphere model and some of its predictions. *Agric. Meteorol.* 14: 287–307.
- Sirotenko, O. D., Boyko, A. P., 1975: On construction of a closed system of equations describing energy and mass exchange aimed at calculating the biomass of crops; (in Russian). *Meteorologija i Gidrologija*, 78–87.
- Sirotenko, O. D., 1978: Physico-mathematical modeling in agrometeorology. (in Russian). *Meteorologija i Gidrologija*, 80–88.
- Sirotenko, O. D., 1981: Mathematical Modeling of Moisture and Heat Regime and Productivity of Agricultural Ecosystems. 176. p. Gidrometizdat, Leningrad.

SZERZŐINK FIGYELMÉBE

Az IDŐJÁRÁS célja az elméleti és alkalmazott meteorológia tárgykörébe tartozó tanulmányok publikálása. A tanulmányok új kutatási eredményeket tartalmazó beszámolóik, illetve adott szakterület időszerű kérdéseit szefoglaló kritikai szemleicikkek lehetnek. A közlés nyelve: magyar vagy angol. A kétfoldos írással gépeltek kéziratok két példányban kerülnek be a következő címre: **Időjárás Szerkesztősége 1525 Budapest, Pf. 38.**

A kéziratokat a szerkesztőbizottság lektorálja. A lektor nevét a szerzővel nem közöljük. A kéziratnak a következő formai igényeket kell kielégítenie:

Címzés: Tartalmazza a tanulmány címét, a szerző(k) nevét, munkahelyét és ez utóbbi pontos címét.

Összefoglalás: Külön oldalon, magyar és angol nyelven, tartalmazza a kutatás célját, módszerét és a kapott eredményeket.

Szövegrész: Alcímekkel értelemszerűen fejezetekre tagolandó.

Irodalmi hivatkozások: Szövegben a hivatkozás tartalmazza a szerző(k) nevét aláhúzással a publikálás évét. Pl. egyetlen szerző esetén: *Róna* (1909), vagy ha a szerző neve a szövegbe nem illeszthető be: (*Róna*, 1909); két szerző esetén: *Gamow és Cleveland* (1973); több szerző esetén: *Bacsó et al.*, (1953). Ha adott szerzők ugyanazon évben publikáltak több cikkre hivatkozunk, akkor az évszámhoz *a*, *b* stb. betűket rendelünk. Az irodalom felsorolása a cikk végén a szerző(k) neve szerinti betűrendben történik. A folyóirat esetén: szerző(k) neve, évszám, a cikk címe, a folyóirat neve, kötetszám, kezdő és befejező oldalszám. Pl.: *Dési, F.*, 1955: A meteorológiai kutatás időszerű kérdései. *Időjárás* 57, 65–70. Könyv esetén: Szerző(k) neve, évszám, könyvcím, kiadó, megjelenés helye. Pl. *Junge, C. E.*, 1963: *Air chemistry and radioactivity*. Academic Press, New York and London.

Ábrák: A kézirat első példányához az ábrákat pausz- vagy mm-papíron, a másodikhoz az eredeti ábrák másolatát kell csatolni. Az ábrák aláírásait külön lapon kell mellékelni. A fényképek fekete-fehér színben, fényes, kontrasztos minőségben nyújthatók be.

Táblázatok: A táblázatokat római számozással, szövegükkel együtt, külön lapon kell mellékelni.

Matematikai formulák és jelölések: A nem latin betűket és kézzel írott jeleket a margón keresztül írt magyarázattal kell ellátni.

A szerzők megjelent tanulmányukért tiszteletdíjat és térítésmentesen 30 db különlenyomatot kapnak. Több különlenyomat a szerző költségére a kézirat elküldésével egyidejűleg rendelhető.

NOTES TO THE AUTHORS

The purpose of IDŐJÁRÁS is to publish papers in the field of theoretical and applied meteorology. These may be reports on new results of scientific investigations or critical review articles summarizing current problems in certain subject. Authors may be of any nationality but papers are published only in Hungarian or English. Two copies of the manuscripts, typed with double space, should be sent to the Editorial Office of Időjárás. Address: **Budapest, P. O. B. 38. H-1525, Hungary.**

Papers will be subjected to constructive criticism by unidentified referees.

The manuscript should meet the following formal requirements:

Title: Should contain the title of the paper, the name(s) of the author(s) with indication of the name and address of employment.

Abstract: Should contain the aim, method and conclusions of the scientific investigation on a separate page.

References: The text citation should contain the name(s) of the author(s) underlined and the year of publication. In case of one author: *Róna* (1909), or of the name of the author cannot be fitted into the text: (*Róna*, 1909); in case of two authors: *Gamow and Cleveland* (1973); there are more than two authors: *Bacsó et al.* (1953). When referring to several papers published in the same year by the same author, the year of publication should be followed by letters, *a*, *b* etc. At the end of the paper the list of references should be arranged alphabetically. For an article: the name(s) of author(s), year, title of article, name of journal, volume number, pages. E. g. *Dési, F.* 1955: Current problems of meteorological research. *Időjárás* 57, 65–70. For a book: the name(s) of author(s), year, title of book, publisher, place of publication. E. g. *Junge, C. E.*, 1963: *Air chemistry and radioactivity*. Academic Press, New York and London.

Figures: Should be prepared entirely in black India ink upon transparent paper and be attached to the first copy of the manuscript; a copy of the original figures should be attached to the second manuscript copy. The legends of figures should be given on a separate sheet. Photographs of good quality may be provided in black and white.

Tables: Should be marked by Roman numbers and provided on separate sheets together with relevant captions.

Mathematical formulas and symbols: Non-Latin letters and hand-written marks should be explained by making marginal notes in pencil.

Authors are receiving 30 reprints free of charge. Additional reprints may be ordered at the authors expense when submitting the manuscript.

AZ ORSZÁGOS METEOROLÓGIAI SZOLGÁLAT FOLYÓIRATA

A szerkesztésért felel: dr. Szepesiné Lőrincz Anna

Szerkesztőség: 1024 Budapest, Kitaibel Pál utca 1.

Levél cím: 1525 Budapest, Pf. 38. tel.: 353-500

Kiadja a Lapkiadó Vállalat, Budapest VII., Lenin körút 9—11. Telefon: 221-285

Levél cím: 1906 Budapest, Pf. 223

Felelős kiadó: Siklósi Norbert vezérigazgató

87.347., Állami Nyomda, Budapest

Felelős vezető: Mihalek Sándor igazgató

INDEX: 26 361

HU ISSN 0324—6329