

# AZ ESŐSZERŰ ÖNTÖZÉS MINŐSÉGÉNEK JAVÍTÁSA A CSEPPENERGIA FIGYELEMBEVÉTELÉVEL\*

CSEKÓ GÉZA

Agrártudományi Egyetem, Gödöllő

## Bevezetés

Az esőszerű öntözésnél kiadott öntözővíz „esőcseppjei” méretüktől és sebességüktől függően különböző mértékű változást okoznak az öntözött talaj szerkezetében. Ez a változás elsősorban a beszivárgási sebesség csökkenésében nyilvánul meg. A beszivárgási sebesség csökkenésének okául a legtöbb kutató a cseppek ütőhatásának következtében létrejövő talajtömörödést jelöli meg. A talaj felszínére becsapódó cseppek ui. mozgási energiájuk révén a felszíni talajrögöket szétrombolva elősegítik a felső réteg elizapolódását, tömörödését, kérgesedését. Az így kialakult talajrétegen pedig lassabban szivárog át a víz, tócsák keletkeznek, lejtős területen lefolyás indul meg, ami talajelsodrást eredményez.

Ezek a jelenségek vetették fel az esőszerű öntözés minősége ilyen értelmű vizsgálatának szükségességét.

## Az esőszerű öntözés esőminőségét befolyásoló tényezők

A kérdéssel foglalkozó egyes kutatók a cseppek mechanikai jellemzőit hozzák összefüggésbe a talajjellemzőkkel.

LEVINE (1952) modell-kísérlete a cseppátmérő és a beszivárgási sebesség közötti összefüggés megállapítására irányult, különböző kötöttségű talajok esetén. Kísérletében 4 mm és 5,5 mm-es fúvókaátmérőjű szórófejjel, 1,4 atm. — 4,2 atm. változtatva a nyomást, végezte az öntözést, 6-féle monolit-talajon. Megállapította, hogy a laza szerkezetű talajban kisebb, a kötött talajban jelentős mértékű a beszivárgási sebesség csökkenése, ha a cseppátmérő növekszik. Azonos intenzitás  $\sim 25$  mm/ó és  $\sim 25$  mm vízadag mellett a beszivárgási sebességre ( $V_p$ )

$$V_p = \frac{C}{\delta^n}$$

alakú összefüggést kapott. Kísérletében a becsapódási sebességet nem vette figyelembe.

\* Az MTA 1975. évi pályázatán díjat nyert tanulmány



ABRAMOV (1954) szabadföldi kísérletei során a cseppátmérőt és az intenzitást is változtatta. Mérési eredményei alapján, ha a cseppátmérőt állandó értéken tartotta ( $\sim 0,5$  mm, csernozjom talajon)

$$V_p \geq I = \sqrt[3]{\frac{k}{t}}$$

alakú összefüggésre jutott, ahol „ $t$ ” a tócsák fellépése nélküli öntözés időtartama, „ $k$ ” a talajtól függő állandó, „ $I$ ” pedig az az intenzitás, amely egyenlő az öntözés végére kialakuló beszivárgási sebességgel ( $V_p$ ).

A cseppátmérőt 0,5 mm—2,6 mm-ig változtatva, megállapította, hogy a cseppátmérő a  $k$  értékkel közelítőleg fordítottan arányos (0,5 mm—2,9 mm átmérőjű cseppek esetén). Ez azt jelenti, hogy a cseppek méretének növelésével az alkalmazható intenzitás csökken

$$V_p \geq I = \sqrt[3]{\frac{c}{t \cdot \delta}}$$

ahol „ $c$ ” konstans, és „ $\delta$ ” a cseppek átmérője.

Vizsgálatában a becsapódási sebesség nagyságát nem vette figyelembe.

MANTELL-GOLDBERG (1966) laboratóriumi vizsgálatot végzett jó morzsálékonyaságú agyagtalajon, annak megállapítására, hogy milyen hatása van a növekvő intenzitásnak a talaj szerkezetére. 2,6 mm átmérőjű cseppekkel 2 m magasból öntözték a talajmintákat, 1,7—20,7 mm/ó intenzitással, összesen 5,6 mm vízadaggal.

A talajszerkezet változását a talaj 5 mm-es felső rétegének mechanikai ellenállás-változásával és a talaj légjárhatósága változásával jellemezték. Megállapították, hogy az intenzitás növekedésével,  $\sim 15$  mm/ó intenzitásig a mechanikai ellenállás lineárisan növekedett, a légjárhatóság pedig csökkent. A kísérlet során még a legnagyobb intenzitás mellett (20 mm/óra) sem keletkezett a talaj felszínén tócsa (5,6 mm vízadag!).

Mivel a különböző méretű cseppek különböző sebességgel érnek a talajra, így ütőhatásuk a sebességtől is függ. A beszivárgási sebesség csökkenésének okait vizsgálva, SCHLADERBUSCH-CZERATZKY (1957) feltételezték, hogy a felszíni talajmorzsák szétrombolásához szükséges munkát a becsapódó cseppek mozgási energiája szolgáltatja. Emiatt (fényképező módszerrel) meghatározták néhány szórófej (2,5 mm, 7 mm, 14 mm, 20 mm-es fúvókával) szórási sugármenti cseppenergia eloszlását, s így ismert cseppenergiájú esővel öntözték homokos-agyagosvályog talajmorzsákat.

Megállapították, hogy egy talajmorzsa eliszapolódáshoz meghatározott nagyságú energia kell, függetlenül a szóróeső fajtájától, s ez az energia a talajmorzsa nagyságától függ.



A beszivárgás sebességének csökkenése (ill. a talaj tömörödésének növekedése), a hivatkozott kutatók szerint, függ az esőszerű öntözés intenzitásától; a becsapódó cseppek méretétől, pontosabban mozgási energiájától; az öntözővíz mennyiségétől; a talaj fajtájától; a talajfelszín állapotától (talajművelés, talajnedvesség); és a növényállománytól. Egy adott területen végzett esőztetés esetén tehát a beszivárgási sebesség csökkenése az *intenzitásnak, a cseppenergiának* és az öntözővíz mennyiségnek a függvénye. Ebből következik, hogy valamely öntözővíz mennyiség gazdaságos kiadagolásához meg kell határozni az intenzitásnak és a cseppenergiának az adott körülményeknek megfelelő értékét, azaz tervezni kell az esőszerű öntözés esőminőségét. Ehhez viszont ismerni kell a szórófejek sugármenti cseppeloszlását, minősíteni kell a szórófejeket.

### Szórófejek esőminősége

TANDA (1958) a szórófejek minősítésére bevezette a porlasztási együtt-ható fogalmát, amelynek meghatározott értékeihez tartozó cseppminőséget finom, közepes, ill. durva minőségűnek nevezi. Megadja a porlasztási együtt-ható és a szórófej egyéb hidraulikai jellemzőit (fúvóka átmérője, üzemi nyomás, vízhozam, szórási sugár) közötti összefüggéseket, amelyek alapján az együtt-ható számítható. Egy szórófej esőminőségét egyetlen számadattal jelzi, így ez a mutató nem érzékeny a szórási sugár mentén is változó esőminőségre.

A szórófej pontosabb minősítése érdekében a szórófej szórási sugár-menti cseppeloszlásának ismerete is szükséges, hiszen a szórófej közelében sokkal „finomabb” minőségű eső hull, mint a szórási sugár végén, így egyetlen szórófej hatásterületén is egyenlőtlen a talajszerkezet változása.

A *szórási sugár mentén változó cseppeloszlás* meghatározására vonatkozó vizsgálatok egy része mozdulatlan szórófejjel, ideális körülményeket feltételezve, modell-vizsgálatokkal közelíti a kérdést. SCHLADERBUSCH—CZERATZKY (1957), PERNES (1967), OKAMURA (1968), MALKODANSZKI (1968) számolt be az irodalomban ilyen vizsgálatokról, míg pl. OKAMURA (1971) körbenforgó szórófejekre vonatkozó vizsgálatokat is végzett.

A cseppeloszlás vizsgálatok a cseppek átmérőjének és sebességének meghatározására irányultak. Az idézett szerzők a cseppátmérő meghatározására többféle módszert használtak:

- a) szűrőpapírra becsapódó cseppek nyomának nagyságát mérték (Malkodanszki);
- b) olajrétegben lefékeződött cseppekről készítettek fényképfelvételt (Pernes), s a fényképekről mérték a cseppátmérőt;
- c) a cseppek becsapódása előtt a talaj felszíne közelében készített fényképekről mérték a cseppátmérőt (Schladerbusch, Okamura).

A cseppenergia meghatározásához számított, vagy külön a sebesség-meghatározás céljára készített fényképekről mért cseppsebességeket használ-



tak. Ugyanazon csepp átmérőjének és sebességének meghatározására Schladerbusch—Czeratzky egy megszakító tárcsás berendezés közbeiktatásával készítették fényképfelvételeket a mozgó cseppekről. Így lehetőségük nyílt a csepp-átmérő és cseppsebesség, szórási sugár-menti eloszlását megmérve, a csepp-energia eloszlásának mérésére is.

### *Szórófej-modell cseppeloszlása*

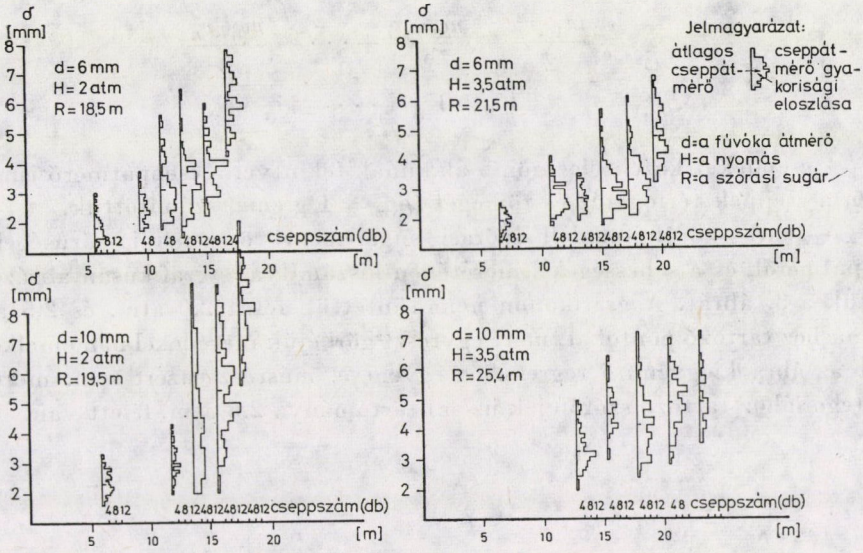
Ahhoz, hogy egy adott célra megfelelő öntözőberendezést, illetve megfelelő szórófejet kiválaszthassunk, ismernünk kell a szórófej üzemi jellemzőit és szórási sugara mentén kialakuló cseppeloszlás-jellemzőinek összefüggését. E kérdésre keresve a választ, évek óta folynak vizsgálatok a gödöllői Agrártudományi Egyetemen.

A kísérletek elsősorban egy féllaboratóriumi körülmények között működő (szabadtéren elhelyezett) szórófejmodell (sugárzavarás nélküli, mozdulatlan sugara) cseppeloszlásának vizsgálatára vonatkoznak. A modellben a változtatható nyomást elektromotorral meghajtott szivattyú biztosítja. A szórófejet 6 és 10 mm átmérőjű, 22,3° kúposágú, éles szélű fúvókával működtetjük. A szórási sugár mentén hulló cseppek átmérőjének és sebességének egyidejű meghatározására időlassító filmfelvételeket készítettünk a vízcseppek halmozairól, úgy, hogy a fúvóka a mérés síkja felett 1 m magasságban volt (CSEKŐ 1972).

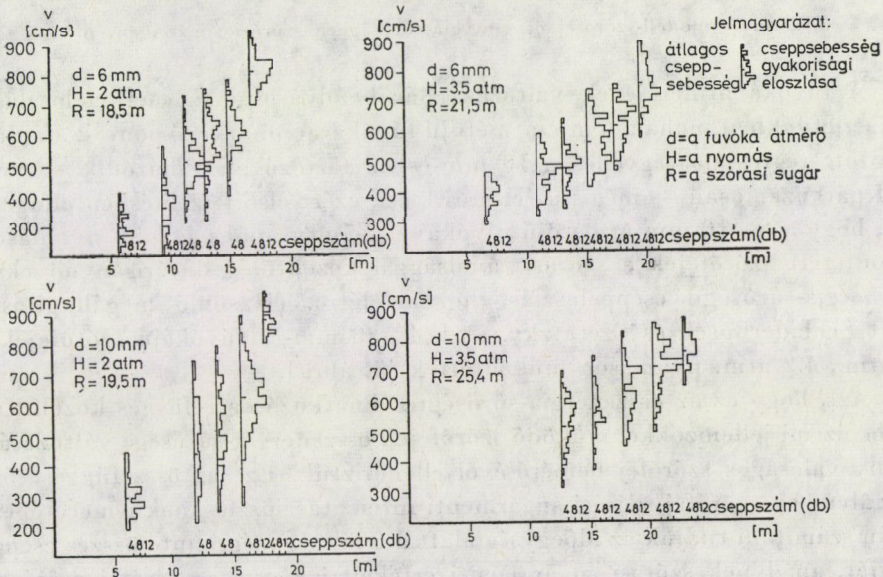
Az időlassító filmfelvételekről kimért cseppjellemzők (cseppátmérő, cseppsebesség) szórási sugár ( $R$ ) menti eloszlását mutatja az 1. és 2. ábra. A szórási sugár meghatározott (0,9  $R$ ; 0,8  $R$ ; 0,7  $R$ ; ...) helyein készített egy-egy filmfelvételtől nyert cseppjellemzők hisztogrammjairól leolvasható, hogy egyetlen helyen is mennyire változékony a cseppméret és cseppsebesség. Ezt figyelembe véve indokolt az a törekvés, hogy az esőminőséget ne csak egy statisztikai mutatóval (pl. az egy helyen hulló cseppek átmérő-átlagával), hanem az összhatást figyelembevevő mutatóval jellemezzük. Tekintve, hogy a talajtömörítést — amely a beszívárgással szoros kapcsolatban van — a cseppek munkavégzőképességük arányában végzik, ezért kézenfekvő, hogy az esőminőséget egy munka jellegű mennyiséggel, a cseppenergia összeggel jellemezzük. E mennyiség meghatározásához ismernünk kell a szórási sugár mentén kialakuló cseppeloszlást jellemző egységnyi térfogatú öntözővíz cseppenergia összegének (röviden összenergia-sűrűségének) eloszlását, és az intenzitás eloszlását, amelyekből az összenergia eloszlása számítható.

Jelölje az egy filmről kimért  $n$  db csepp tömegét  $m_1, m_2, \dots, m_n$ ; sebességét  $v_1, v_2, \dots, v_n$ ; térfogatát pedig  $V_1, V_2, \dots, V_n$ , akkor az összenergia-sűrűség  $\left( \frac{\sum E}{\sum V} \right)$





1. ábra. A modell-szórófej cseppátmérő-eloszlása a szórási sugár mentén



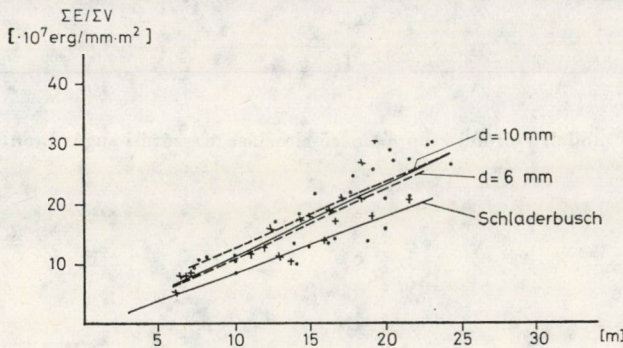
2. ábra. A modell-szórófej cseppsebesség-eloszlása a szórási sugár mentén



$$\frac{\Sigma E}{\Sigma V} = \frac{\frac{m_1 \cdot v_1^2}{2} + \frac{m_2 \cdot v_2^2}{2} + \dots + \frac{m_n \cdot v_n^2}{2}}{V_1 + V_2 + \dots + V_n}$$

A cseppeket közelítőleg gömb alakúnak tekintve, a cseppátmérő ismeretében a cseppek térfogatát és tömegét ( $\rho_{\text{víz}} = 1 \text{ g/cm}^3$ ) számítottuk.

A fenti szórófej-modell szórási sugár-menti összenergia-sűrűségeit a cseppátmérők és a sebességek ismeretében kiszámítva, s grafikusán ábrázolva kaptuk a 3. ábrát. A grafikonon nem tüntettük fel a 2,0 atm. és 2,5 atm. nyomáshoz tartozó pontokat, mert egyrészt görbéjük meredekebben emelkedő, mint az ábra kiegyenlítő regressziós egyenese, másrészt azért sem, mert az e kategóriához tartozó szórófejek üzemi tartománya 2,5 atm. felett van.



3. ábra. A modell-szórófej összenergia-sűrűsége a szórási sugár mentén

A fúvóka átmérőjének változása bár befolyásolja az energiaceloszlást, de kísérletünkben, noha a 6 mm átmérőjű fúvókára vonatkozó pontok alapján számított regressziós egyenes a 10 mm-eshez tartozó alatt húzódik — vele közel párhuzamosan — mégis az eltérés kicsi, ezért első közelítésben elfogadható, hogy a 6–10 mm átmérőjű fúvókával 2,5 atm.-nál nagyobb nyomáson működtetett szórófejek a szórási távolsággal közelítőleg lineárisan növekvő összenergia-sűrűségű cseppeloszlást hoznak létre. (Hasonló megállapításra jutott Schladerbusch és Czeratzky, akik 4–20 mm-es fúvókájú szórófejeket 2,5 atm., 4,2 atm. nyomáson működtettek [3. ábra].)

Azt, hogy ez az összenergia-sűrűségre vonatkozó összefüggés közelíti az azonos üzemi jellemzőkkel működő szórófejek összenergia-sűrűsége változását, néhány valóságos szórófej bemérésével ellenőriztük. Ezt az összefüggést felhasználva egy szórófej szórási sugármenti intenzitáseloszlásának ismeretében, ezután számítani tudjuk az időegység alatt a felületegységre jutó összes cseppenergiát, amelynek szórási sugár menti értékeit ismerve a szórófej esőjének minőségét a cseppenergia szempontjából is elbírálhadjuk.

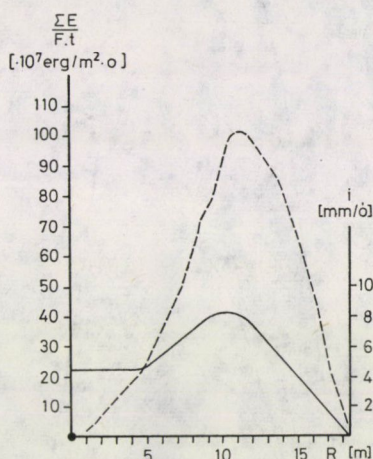


### T-22 típusú szórófej esőminősége

Példaként bemutatjuk egy szórófej (T-22 típusú) szórási sugár menti intenzitáseloszlásának és a fentiek szerint számított összenergia eloszlásának (1 m<sup>2</sup>-en, 1 óra alatt) grafikóját (4. ábra).

Az összenergia-eloszlás (1 m<sup>2</sup>-en, 1 óra alatt) egyenlőtlenségét a kötésben működő szórófejek sugármenti eloszlásábrái csak egy-egy metszetben mutatják.

A T-22 szórófej 24 m × 24 m-es kötésben az alábbi eloszlásábrát eredményezte (5. ábra A-A metszet). Szembetűnő, hogy a szórófejek környezetében az összenergia értékei igen alacsonyok.



4. ábra. T-22 szórófej eloszlásgörbéi (intenzitás *Lipták* nyomán)

Jelmagyarázat:  $i$  — intenzitás,  $\frac{\Sigma E}{F \cdot t}$  ---- Összenergia 1 m<sup>2</sup>-en, 1 óra alatt

- Szórófej, Fúvókapár átmérője 7 és 6 mm Nyomás: 3,5 atm

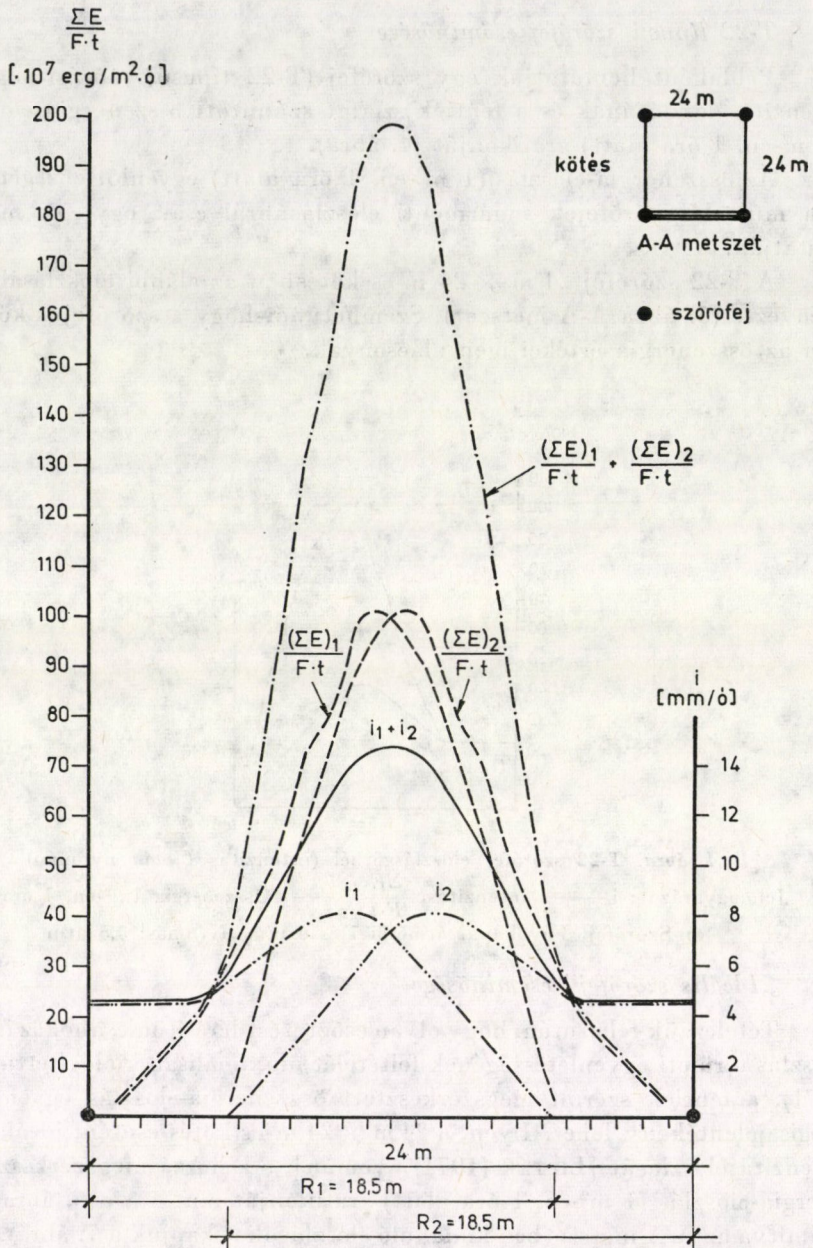
### „Ideális szórófej” esőminősége

Tételezzük fel ezután, hogy olyan esőztetést létesítünk, ahol az intenzitás-eloszlás területi egyenletességének feltételét maximálisan kielégítettük (*Lipták* 1971), a fentiek szerint megszerkesztett összenergia-eloszlás egyenlőtlensége mégis jelentékeny lehet. Ilyen, a 24 m × 24 m-es kötés esetén, ideális szórófej intenzitáseloszlását [*LIPTÁK* (1971) nyomán], s a hozzá megszerkesztett összenergia-eloszlás (1 m<sup>2</sup>-en, 1 óra alatt) grafikóját mutatja a 6. ábra. Erre kiszámítva az A-A metszetben kialakuló eloszlásokat kapjuk a 7. ábrát. Látható, hogy az összenergia egyenletessége itt sem optimális.

### Az eltűrhető talajszerkezet rombolást okozó esőminőség közelítése

Az intenzitás-eloszlás egyenlőtlensége mellett az összenergia-eloszlás egyenlőtlensége magyarázhatja azt a bevezetőben említett jelenséget, amit az esőszerű öntözéseknél a gyakorlatban tapasztalnak, hogy a kis és közepes

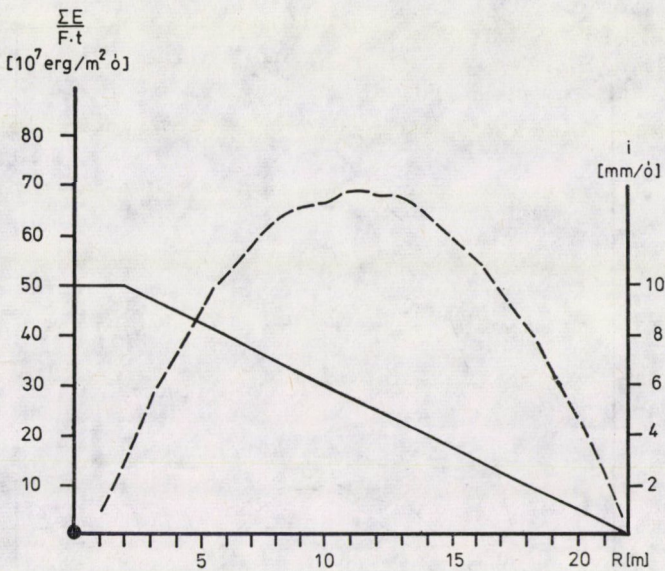




5. ábra. Kötésben működő T-22-es szórófejek eloszlásgörbéi, A-A metszet (intenzitás *Lipták* nyomán)

hatósugarú szórófejekkel működtetett öntözőberendezéseknél már 20–30 mm-es vízadag kiöntözése után fellép a tócsásodás jelensége. E jelenséget vizsgálva, Oroszlány–Gábrriel (1960) megállapították, hogy a szórófej szórási





6. ábra. Az ideális szórófej eloszlásgörbéi (intenzitás *Lipták* nyomán)

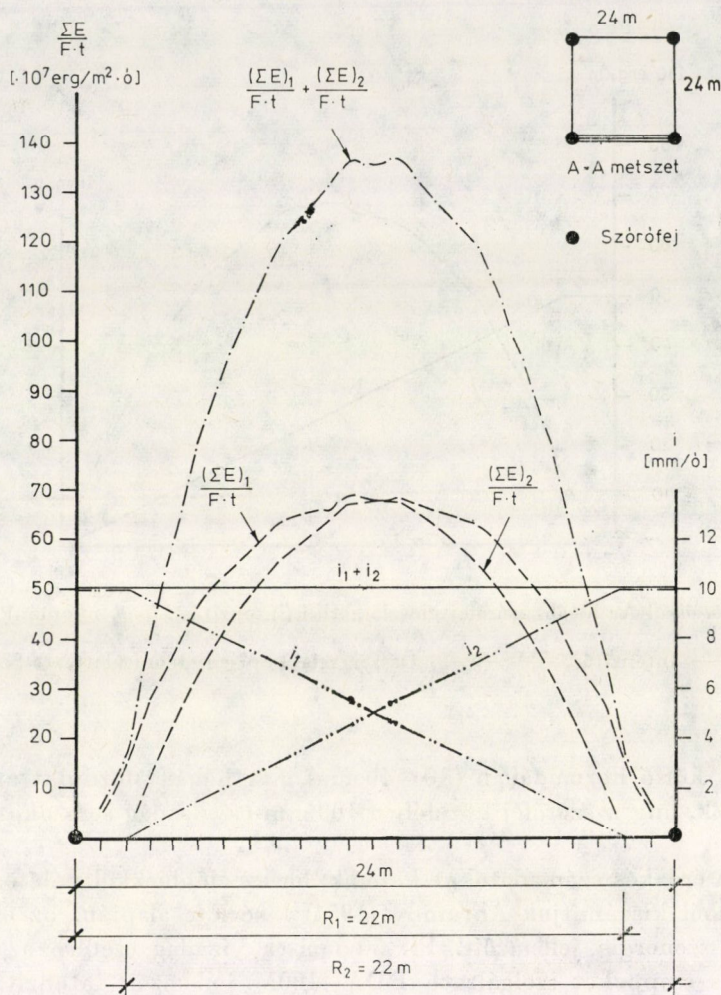
$i$  — Intenzitás,  $\frac{\Sigma E}{F \cdot t}$  - - - - - Összenergia 1 m<sup>2</sup>-en, 1 óra alatt, ● Szórófej

sugarának külső harmadában (30–40 mm) már néhány fordulat után tócsák keletkeznek, míg a szórófej közelében 100 mm-es vízadag sem okozott tócsásodást.

Igen érdekes számadatokat kapunk, ha az előbbiekkal való összehasonlítás céljából kiszámítjuk Abramov (1954) kísérlete alapján, az ott végzett öntözés összenergia jellemzőit. Pl. 50 mm-es vízadag esetére az átlagosan 0,5 mm-es cseppeket szolgáltatató DDA–100M jellemzői: intenzitás,  $i = 31$  mm/ó; öntözési idő,  $t = 1,6$  ó,  $\frac{\Sigma E}{\Sigma V} = 1,62 \cdot 10^7$  erg/mm · m<sup>2</sup>;  $\frac{\Sigma E}{F \cdot t} = 50 \cdot 10^7$  erg/m<sup>2</sup> · ó;  $\frac{\Sigma E}{F} = 8 \cdot 10^8$  erg/m<sup>2</sup>. A cseppsebességet Okamura nyomán 1,8 m/s-nak választottuk, s ezzel számítottuk a cseppenergiát.

Ez az öntözés növény nélküli, közepes agyagos csernozjom talajon nem okozott tócsásodást. (Az öntözés előtti talajnedvesség a vízkapacitás 75%-a volt, és adagolás előtt 2–3 mm-es vízadaggal a felületi réteget (esőszerűen) benedvesítették.) Ha az itt adódó  $50 \cdot 10^7$  erg/m<sup>2</sup> · ó összenergia (1 m<sup>2</sup>-en, 1 óra alatt) értéket összevetjük az 5. és 6. ábra  $\frac{\Sigma E}{F \cdot t}$  értékeivel, magyarázat adhatjuk a gyakorlatban megfigyelt tócsásodás jelenségének. (Az A-A metszetben 4-szeres értékeket találunk!) Továbbá úgy tűnik, hogy a szórófej





7. ábra. Az ideális szórófej eloszlásgörbéi, A-A metszet (intenzitás *Lipták* nyomán)

közeliében nem tapasztalható tócsásodás, ott ui. a  $\frac{\Sigma E}{F \cdot t}$  értékek kisebbek, mint  $50 \cdot 10^7 \text{ erg/m}^2 \cdot \text{ó}$ .

A 7. ábrát szemlélve, ugyanilyen szempontok alapján, azt a következtetést kell levonnunk, hogy a tócsásodás fellépését még az optimális intenzitás-eloszlás feltételezése esetén sem kerülhetjük el, hiszen a megöntözött terület jelentős része a kritikusnál nagyobb energiájú tartományba esik. A jó minőségű esőtetéshez meg kell határozni az adott körülményeknek megfelelő összenergia határértékét.



*Kötésben működő szórófejek esőjének területi összenergia-eloszlása*

Az, hogy kötésben működő szórófejek esetén milyen a területi összenergia-eloszlás, a fentiek felhasználásával kiszámítható.

**I. táblázat**

Intenzitáseloszlás (mm/ó)

T-22 (7/6; 3,5)

Elrendezés: négyzetkötés 24 m × 24 m

5	5	6	10	13	15	13	10	6	5	5	5
5	6	7	11	12	13	12	11	7	6	5	5
6	7	7	10	11	13	11	10	7	7	6	6
10	11	10	9	9	10	9	9	10	11	10	10
13	12	11	9	8	6	8	9	11	12	13	13
15	13	13	10	6	6	6	10	13	13	15	15
13	12	11	9	8	6	8	9	11	12	13	13
10	11	10	9	9	10	9	9	10	11	10	10
6	7	7	10	11	13	11	10	7	7	6	6
5	6	7	11	12	13	12	11	7	6	5	5
5	5	6	10	13	15	13	10	6	5	5	5
5	5	6	10	13	15	13	10	6	5	5	5

A számok a rácshálózat csúcspontjain adódó intenzitás értékek mm/ó-ban.

Tételezzük fel például, hogy az előbbi T-22 szórófejekkel 24 m × 24 m-es négyzetkötésben végzünk öntözést. Számítsuk ki az intenzitás és összenergia értékeit egy 2 m × 2 m-es rácshálózat csúcspontjain. A számítást számítógéppel elvégeztetve (GATE—MASZI; Algol program alapján) az alábbi területi eloszlásokat kaptuk (I. és II. táblázat).

A számok a rácshálózat csúcspontjaira kapott összenergia (1 m<sup>2</sup>-en, 1 óra alatt) értékei 10<sup>8</sup> erg/m<sup>2</sup> · ó-ban.

A II. táblázat alapján kiszámítható az azonos intenzitással, ill. energiával öntözött területek hányada, a 24 m × 24 m-es terület százalékában. Az intenzitás értékekre 2 mm/ó lépésközt választva az egyes osztályközökbe eső inten-

**II. táblázat**Összenergia eloszlás (10<sup>8</sup> erg/m<sup>2</sup>·ó)

T-22 (7/6; 3,5)

Elrendezés: négyzetkötés 24 m × 24 m

1	2	5	11	18	20	18	11	5	2	1	1
2	4	6	13	17	19	17	13	6	4	2	2
5	6	6	12	17	19	17	12	6	6	5	5
11	13	12	12	14	17	14	12	12	13	11	11
18	17	17	14	14	12	14	14	17	17	18	18
20	19	19	17	12	12	12	17	19	19	20	20
18	17	17	14	14	12	14	14	17	17	18	18
11	13	12	12	14	17	14	12	12	13	11	11
5	6	6	12	17	19	17	12	6	6	5	5
2	4	6	13	17	19	17	13	6	4	2	2
1	2	5	11	18	20	18	11	5	2	1	1
1	2	5	11	18	20	18	11	5	2	1	0



## III. táblázat

## Intenzitás értékek gyakorisága

Oszt. közép (mm/ó)	Absz. gyak. db	Rel. gyak. %	Eloszlás %
4	21	14,6	14,6
6	29	20,1	34,7
8	16	11,1	45,8
10	36	25,0	70,8
12	24	16,7	87,5
14	18	12,5	100,0

zítások gyakoriságát (abszolút és relatív), valamint empirikus eloszlását mutatja a III. táblázat. Hasonlóan adódnak az összenergia gyakoriságai és eloszlása (IV. táblázat).

A III. és IV. táblázatból megállapítható, hogy a T-22-vel 24 m × 24 m-es kötésben végzett öntözés esetén a terület fele (45, 83%-a) 3–9 mm/ó intenzitással kapja az öntözővizet, a másik fele pedig 9–15 mm/ó-val. Az eltérés átlagos aránya  $\sim 1 : 2 = 6 \text{ mm/ó} : 12 \text{ mm/ó}$ , a szélsőértékek eltérése  $\sim 1 : 5$ . Az összenergiát tekintve a terület két felén az átlagos eltérés  $\sim 1 : 3$ , de a szélsőértékek eltéréseinek aránya  $1 : 20$ !

Ha kiszámítjuk ezután a *Christiansen*-féle egyenletességi tényező értékét erre az elrendezésre,

$$C_{ui} = 100/1 - \frac{\sum(\bar{h} - h_i)}{n \cdot \bar{b}} /,$$

ahol  $\bar{h} = \frac{\sum h_i}{n}$  és  $h_i$  az  $i$ -edik csapadékmérőben mért intenzitás és  $n$  a csapadékmérők száma, akkor a fenti elrendezés esetén  $C_{ui} = 70,94\%$  adódik. Alakilag azonosan értelmezve az összenergia-eloszlás egyenletességi tényezőjét:

$$C_{uE} = 100 \left( 1 - \frac{\sum(\bar{E} - E_i)}{n \cdot \bar{E}} \right),$$

## IV. táblázat

## Összenergia értékek gyakorisága

Oszt. közép ( $\cdot 10^8 \text{ erg/m}^2 \cdot \text{ó}$ )	Absz. gyak. db	Rel. gyak. %	Eloszlás %
2,5	37	25,7	25,7
7,5	12	8,3	34,0
12,5	49	34,0	68,1
17,5	40	27,8	95,8
22,5	6	4,1	100,0



## V. táblázat

A T-22 szórófej intenzitás és összenergia-eloszlása

Szórófej típusa	Fúvóka átmérő (mm)	Nyomás (atm.)	Elrendezés		Intenzitás átlag (mm/ó) Összenergia átlag ( $\cdot 10^8$ erg/m <sup>2</sup> · ó)	$C_{uE}$ (%)	$C_{ui} \times C_{uE}$ (%)
			kötés	(m)			
T-22	7/6	3,5	négyzet	24 × 24	9,06 11,27	70,94 53,96	38,00
T-22	7/6	3,5	négyzet	30 × 30	5,80 7,22	68,66 55,37	38,01
T-22	7/6	3,5	háromszög	30 × 24	7,24 8,99	82,50 60,64	50,02
T-22	7/6	3,5	háromszög	24 × 18	12,08 15,03	65,49 52,18	34,17
T-22	7/6	3,5	háromszög	24 × 24	9,06 11,27	70,67 48,00	33,92
T-22	7/6	3,5	négyzet	18 × 30	9,65 11,99	72,32 72,10	52,14
T-22	7/6	3,5	négyzet	18 × 18	16,05 19,92	75,07 65,84	49,42

ahol  $\bar{E} = \frac{\sum E_i}{n}$ ,  $E_i$  a 2 m × 2 m-es rácshálózat  $i$ -edik csúcspontján számított összenergia érték,  $n$  a hálózat csúcspontjainak száma, akkor  $C_{uE} = 53,96\%$  adódik az egyenletes összenergiával öntözött terület hányadára. Az intenzitás egyenlőtlenességét összehasonlítva az összenergia egyenlőtlenességgel, láthatjuk, hogy az összenergia eloszlása lényegesen rosszabb!

Változtassuk ezután a T-22 szórófejjel tervezett öntözéseknél a kötés-elrendezést. A fenti számítási eljárás szerint kiszámítva a Christiansen-féle intenzitás- és összenergia-egyenletességi tényezőket az alábbi értékeket kapjuk (V. táblázat).

Az V. táblázatból látható, hogy a vizsgált kötések esetén az intenzitás-eloszlás egyenletessége 65–82%-os értékek között mozog, míg az összenergia eloszlás egyenletessége 48–72%-os határok között változik. Az igen alacsony intenzitás (5,8 mm/ó) és a viszonylag alacsony összenergia (7,22 · 10<sup>8</sup> erg/m<sup>2</sup> · ó) átlagok esetén 30 m × 30 m-es négyzetkötésnél, mind az intenzitás, mind az összenergia-eloszlás egyenletessége rossz (68,66% és 55,36%). A legjobbnak adódik a 18 m × 30 m-es téglalap kötés „összetett egyenletességi tényezője” ( $C_{ui} \times C_{uE}$ ), ahol az intenzitás egyenletesség  $\sim 72\%$  és az összenergiaeloszlás egyenletessége is  $\sim 72\%$ -os.

Ennél a kötésnél az intenzitás értékek eloszlása a VI. táblázat szerint alakul.



## VI. táblázat

Intenzitáseloszlás (mm/ó)  
T-22 (7/6; 3,5)  
Elrendezés: téglalap kötés 18 m × 30 m

7	10	13	15	15	13	10	7	5
7	10	13	16	16	13	10	7	5
7	10	13	16	16	13	10	7	6
8	11	13	14	14	13	11	8	7
8	10	10	12	12	10	10	8	8
8	7	8	8	8	8	7	8	8
8	7	6	5	5	6	7	8	8
8	7	6	5	5	6	7	8	8
8	7	8	8	8	8	7	8	8
8	10	10	12	12	10	10	8	8
8	11	13	14	14	13	11	8	7
7	10	13	16	16	13	10	7	6
7	10	13	16	16	13	10	7	5
7	10	13	15	15	13	10	7	5
7	10	13	15	15	13	10	7	5

A terület fele itt is 3—9 mm/ó intenzitással kapja a zöntözővizet, a másik fele pedig 9—17 mm/ó-val. Az eltérés átlagos aránya: 6 : 13 ~ 1 : 2, a szélső értékek eltérése 3 : 17, kisebb, mint 1 : 5.

Az összenergiát tekintve (VII. táblázat) az átlagos eltérés itt ~ 1 : 2 (7 : 15), a szélsőértékek eltérése szintén 1 : 20, de a terület ~ 70%-án (pontosan 22,22% + 47,41% = 69,63%-án)  $7,5 \cdot 10^8$  erg/m<sup>2</sup> · ó —  $12,5 \cdot 10^8$  erg/m<sup>2</sup> · ó között változik az összenergia.

Összehasonlítva ezt a 24 m × 24 m-es négyzetkötés összenergia értékeinek területi eloszlásával látszik, hogy itt valamivel egyenletesebb eloszlást

## VII. táblázat

Összenergia-eloszlás ( $\cdot 10^8$  erg/m<sup>2</sup> · ó)  
T-22 (7/6; 3,5)  
Elrendezés: téglalap kötés 18 m × 30 m

6	10	14	16	16	14	10	6	2
7	11	14	18	18	14	11	7	3
7	12	16	19	19	16	12	7	4
7	13	18	20	20	18	13	7	6
9	13	15	18	18	15	13	9	9
11	12	12	13	13	12	12	11	11
13	12	11	9	9	11	12	13	13
13	12	11	9	9	11	12	13	13
11	12	12	13	13	12	12	11	11
9	13	15	18	18	15	13	9	9
7	13	18	20	20	18	13	7	6
7	12	16	19	19	16	12	7	4
7	11	14	18	18	14	11	7	3
6	10	14	16	16	14	10	6	2
6	10	14	16	16	14	10	6	1



kaptunk. Ennek alapján arra következtethetünk, hogy a T-22-es szórófejjel tervezett öntözéseknél a 18 m × 30 m-es kötés esetén kisebb a valószínűsége a tócsásodásnak, az egyenlőtlen beázásnak, mint a 24 m × 24 m-es kötésnél.

### Összefoglalás

Az esőszerű öntözés minőségének javítása érdekében modell-vizsgálatokat végeztünk a kis- és közepes hatótávolságú szórófejek szórási sugár menti cseppeloszlásának meghatározására. E vizsgálat eredményei alapján megállapítottuk, hogy a 6 mm és 10 mm fúvókaátmérőjű szórófejek, 3,0 atm.—4,5 atm. nyomásokon működtetve, közelítőleg a szórási sugárral lineárisan növekvő összenergia-sűrűségű esőt hoznak létre. Ennek az összfüggésnek a birtokában kimutattuk, hogy a kötésben működő szórófejek cseppenergiájának területi eloszlása igen egyenlőtlen, amely egyenlőtlenység magyarázhatja az esőszerű öntözések egyes hibáit (pl. növényállomány egyenlőtlen vízellátottságát), valamint kártételeit (pangó vizek létrejöttét, lejtős területeken elfolyást, talajelsodrást). Javaslatot tettünk az esőszerű öntözés minőségének a cseppenergia-eloszlást is figyelembe vevő elbírálására.