



Получена: 20.12.2019 г.

Приета: 22.01.2020 г.

## ВОДОСПЕСТЯВАЩИ И ЕКОЛОГОСЪОБРАЗНИ ТЕХНОЛОГИИ И ПОЛИВНИ РЕЖИМИ ПРИ НАПОЯВАНЕТО ПО БРАЗДИ

З. Попова<sup>1</sup>

*Ключови думи:* климатични промени, напояване по бразди, неравномерност на водата, водоспестяващи методи, моделни симулации, „Водна” директива на ЕС

### РЕЗЮМЕ

В контекста на промените на климата проблемът с водните ресурси и пестенето на вода в земеделието става все по-остър. Известен факт е, че за мащабите на ЕС земеделието е отговорно за около 25% от общата консумация на вода, като варирането между страните членки е в широки граници. Европейският земеделски фонд за развитие на селското стопанство (EAFRD; E. Reg. № 1306/2013, член 46, точка 4) има за цел да подкрепи финансово устойчивото управление и пестенето на вода. Напояването по бразди е особено благоприятно за условията на България, а именно влагоемки почви и наклони на терена от 0,3 до 3%. Поради това през периода 1970 – 1991 г. то се практикуваше на 6 – 7 млн. декара от поливните площи в страната и беше предмет на задълбочени научни изследвания. В резултат бяха оценени равномерността на разпределение и ефективността на използване на поливната вода, водната ерозия на почвата и измиването на нитрати към подземните води в няколко района на страната. Бяха предложени и собствени подобрени водоспестяващи и екологосъобразни техники и методологии за напояване и торене по бразди, вкл. импулсно напояване, напояване през бразда и торене в сухите и др. През годините на прехода, поради настъпилата дълбока криза в земеделието и загубените традиционни връзки между науката и практиката, значителна част от натрупаните знания, опит и потенциал не намериха практическо приложение. В контекста на възможностите за инвестиране в пестенето на вода в земеделието, настоящата статия цели да насочи вниманието към комплексно осъвременяване на методите за управление на напояването у нас чрез приложение на концепциите за:

---

<sup>1</sup> Зорница Попова, проф. д-н инж., кат. „Физика, ерозия, почвена биота”, ИПАЗР „Н. Пушкиров“, ул. „Банско шосе“ № 7, 1331 София, e-mail: zornitsa\_popova@abv.bg

а) икономически оптимална равномерност на напояването, при която сумата на всички разходи и загуби от неравномерност на разпределение на водата е минимална;

б) водоспестяващи и екологосъобразни технологии на импулсно напояване по бразди (*surge irrigation*), поливане с оттичане в следващия пояс (*multi-set furrow irrigation*); поливане с променливи струи (*cutback irrigation*) за намаляване и избягване на оттока; поливане през бразда с прехвърляне на струите от браздите с четни към браздите с нечетни номера (*alternative furrow irrigation*) за подобряване на „напречната” равномерност в придвижването на струите по повърхността и избягване на ерозията на почвата; импулси с намаляваща продължителност от 30 до 3 min през фазата на оттока за анулирането му в най-ниската позиция бразди и др.;

в) сценариеен анализ чрез моделни симулации за оптимизиране на водния баланс, поливния режим и добивите от културата при отчитане на т.нар. „глобална неравномерност” (напречно и надлъжно на позиция едновременно напоявани бразди) и на колебанията и промените на съвременния климат.

## 1. Въведение

Повърхностното напояване е най-древната и все още най-широко разпространената техника за напояване [1, 2]. Понастоящем то се прилага на около 90% от поливните площи в света, от които основната част се напояват по бразди. Основното му предимство са ниските капиталовложения и разход на енергия. Поради това то е популярно и в най-развитите страни, стига почвените и теренните условия да позволяват приложението му. В САЩ например площите, напоявани по бразди, са около 60%, а в страни с не особено подходящи условия за повърхностно напояване, като Франция и Словакия, те са около 10% [3]. Често техниката на напояване по бразди се счита за ниско ефективна. Според световната наука обаче при подходящи почвени и теренни условия тази техника може да бъде достатъчно ефективна [3, 4, 5].

У нас условията за напояване по бразди, а именно влагоемки почви и наклони на терена от 0,3 до 3%, са особено благоприятни (6). Поради това през 70-те, 80-те и началото на 90-те години то се практикуваше на 6 – 7 млн. декара от поливните площи в страната. На няколко обекта беше изградена и експлоатирана стационарна система за напояване по бразди с хидравлични стойки [7, 8, 9]. През този период повърхностното напояване беше предмет на задълбочени научни изследвания и мащабно внедряване от екипи в Института по почвознание „Н. Пушкарков“, София и Опитната станция по поливно земеделие, Стара Загора, които оцениха равномерността на разпределение и ефективността на използване на поливната вода, водната ерозия на почвата и измиването на нитрати към подземните води в няколко района на страната, като предложиха собствени водоспестяващи и екологосъобразни подобрени техники и технологии за напояване и торене по бразди [10 ÷ 15]. Резултатите от тези изследвания доказаха, че напояването по бразди може да се реализира по един ефективен начин с високи технически и икономически показатели [1, 10, 16 ÷ 20]. През годините на прехода обаче, поради настъпилата дълбока криза в земеделието и загубените традиционни връзки между науката и практиката, значителна част от натрупаните знания, опит и потенциал, вкл. и от участие в международни проекти [3, 21, 22], не намери практическо приложение.

В контекста на възможностите за инвестиране в пестенето на вода в земеделието от Европейския фонд за развитие [Е. Рег. № 1306/2013, член 46], настоящата статия цели да насочи вниманието към комплексно осъвременяване на методите за управление на напояването у нас, като предостави нови концепции за подобрена равномерност, ефек-

тивност и качество на напояването чрез ограничаване на загубите на вода и почва от повърхностен отток, дренаж и измиване на азот и др. чрез приложение на:

- а) икономически оптимална равномерност на напояването;
- б) водоспестяващи технологии, като импулсно напояване по бразди, поливане с оттичане в следващия пояс, поливане с променливи струи, уплътняване на браздите през една преди първата поливка и др.;
- в) Сценариеен анализ чрез моделни симулации на водния баланс, поливния режим и добивите на културата при отчитане на т.нар. „глобална” неравномерност на напояването (надлъжно и напречно на браздите) за условията на колебанията и промените на климата и конкретните водно-физични свойства на почвата.

## 2. Материал и методи

### 2.1. Неравномерност на водата върху напояваната площ и последствията от нея

Ефективността на напояването по бразди зависи от хетерогенността на едновременно напояваните 30 – 100 бразди. Различни са източниците на хетерогенност (вариабилност) и съответните коефициенти, които обуславят и характеризират неравномерността на разпределение на поливната норма напречно ( $K_{\text{нер}}$ , ур. 1) и надлъжно ( $L$ , ур. 2) на браздите:

- 1) разлика в пропускливостта на браздите, дължаща се на отгъпкването на някои от тях от колелата на машините (фиг. 1 и фиг. 2а);
- 2) неравномерност на подаваните струи в началото на браздите;
- 3) променлив наклон по дължина на браздите;
- 4) неподравнени поливни участъци и др. [1].

Известно е, че рискът от загуби на вода и от замърсяване на подпочвените води е най-голям при първата поливка, когато повърхността на браздите е разрохкана и разликата в пропускливостта им е съществена [10, 18, 23, 25 и др.].

В тази връзка, практиките за икономически оптималната равномерност са тези, при които сумата от всички разходи и загуби от неравномерност на разпределение на водата е минимална [1, 24 и др.].

Водоспестяващите техники, технологии и методологии на напояване се основават най-често на намаляване на източниците на неравномерност в мащаба на полето, в случая чрез отгъпкване на всяка втора бразда от позицията преди първата поливка (вж. фиг. 1 и фиг. 2а).

Дълбоката филтрация на вода и нитрати е максимална в т.нар. „бавни” силно пропускливи бразди, докато при „бързите” отгъпкани бразди съществува риск от повърхностен отток [3, 4, 23, 25] (вж. фиг. 1 и фиг. 2а).

Достигнатите от струите дължини  $L$  са подредени в низходящ ред и апроксимирани с права на фиг. 2б с коефициент на т.нар. „напречна” неравномерност  $K_{\text{нер}} = 0,67$ , изчислен по ур. 1:

$$K_{\text{нер}} = \frac{(L_{\text{max}} - L_{\text{min}})}{L_{\text{med}}}, \quad (1)$$

където  $L_{\text{max}}$  и  $L_{\text{min}}$  са намокрените дължини в най-непропускливата (№ 22) и в най-пропускливата (№ 5) бразди, отчетени от апроксимираната права на достигане на струи-

те, когато струята в „средната“ бразда № 12 е достигнала края на позицията  $l = L_{med}$  (фиг. 2б).

Продължителността на поливане е дефинирана като относително удължаване на времето за напояване  $I$  (ур. 2), което представлява отношението на допълнителното време  $t_{ad}$  (s) след като струята в т.нар. „средна“ бразда е достигнала края  $l$  към времето  $t_l$  (s):

$$I = \frac{t_{ad}}{t_l}. \quad (2)$$

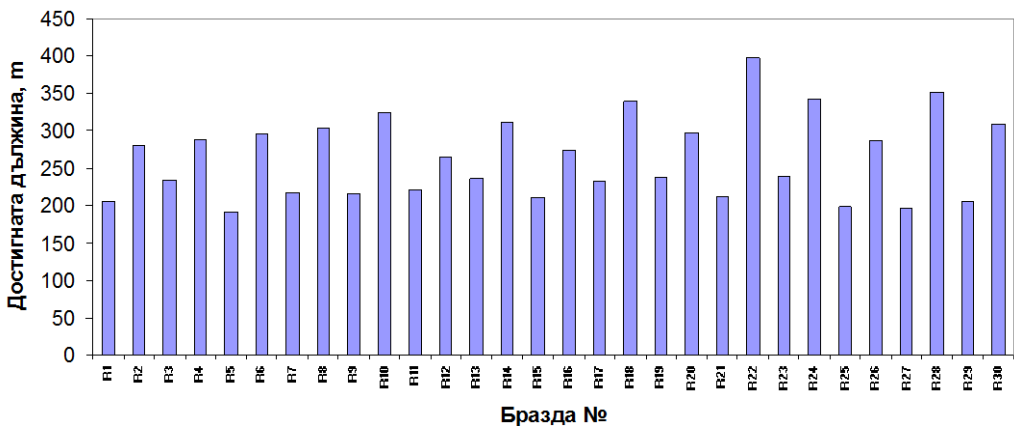
Относителното удължаване на времето за напояване  $I$  (ур. 2) характеризира т.нар. „надлъжна“ равномерност при напояването на браздите (вж. фиг. 3 и фиг. 4).

С намаляване на предполивната влажност на почвата разликата във водопропускливостта на браздите и рисковете от неравномерност се увеличават [11, 23, 24].

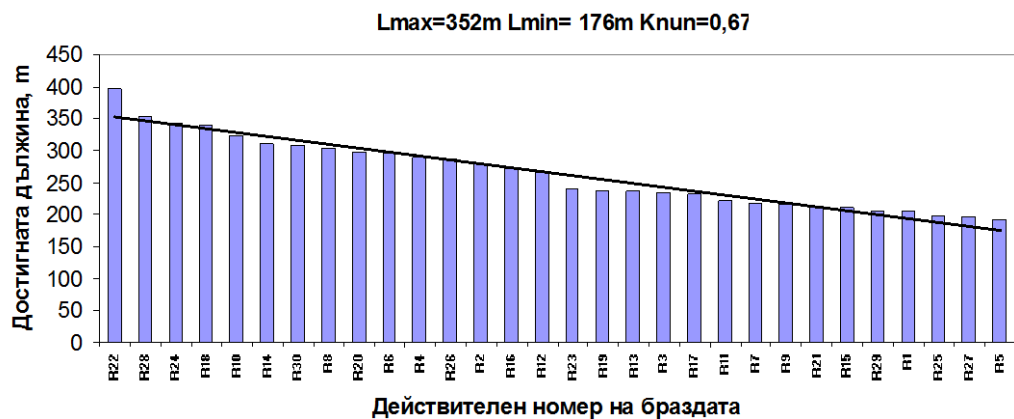


**Фиг. 1. Неравномерност на придвижване на поливните струи в едновременно напояваните бразди, 1989, Тараскон, Южна Франция**

Резултатите от проведените от нас експериментални и моделни изследвания за производствените поливни участъци в с. Горни Лозен, Софийско, и на ОП с. Пъстрен, Старозагорско, показват, че когато влажността спадне под границата на напукване на почвата, загубите от дълбока филтрация надвишават 40 – 50% от подаденото количество вода [10, 23, 25]. Ето защо за нуждите на практиката се препоръчва първата поливка да се планира при влажност на почвата над 80 – 82% ППВ при леко-глинестите (смолници и др.) и над 75% ППВ при средно пясъкливо-глинестите почви (излужена канелена горска, делувиялна ливадна и др.), с което дълбоката филтрация намалява до незначителни размери (до 10%). Този праг на пред-поливната влажност е желателно да се запази и при следващите поливки [5, 10, 24, 26].



а)



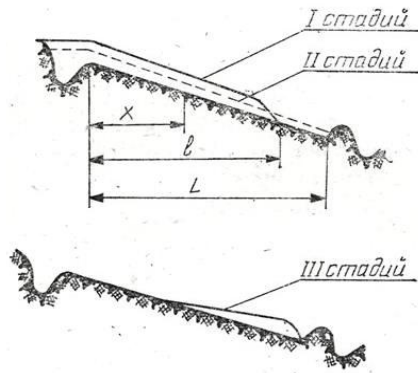
б)

**Фиг. 2. Достигната дължина от струите в позиция бразди: а) при действителния им ред в позицията; б) след подреждане по отношение на достигнатите от струите дължини за време  $t_1 = 382 \text{ min}$ , необходимо за достигане на струята в „средната“ бразда № 12 до края на браздите, Тараскон, Първа поливка, 3/07/89**

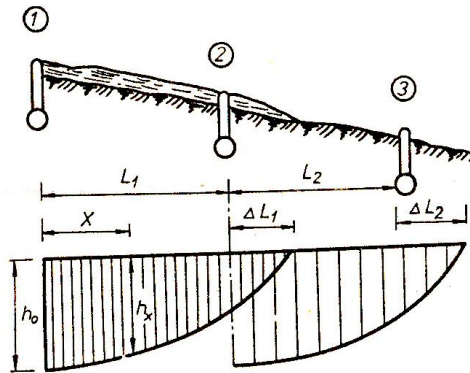
Други възможности за намаляване на рисковете при напояването по бразди се основават на инвестирането и приложението на т.нар. изпитани „водоспестяващи“ методологии, техники и технологии на напояване, които понастоящем се подкрепят от политиката на ЕС съгласно директива № 1305/2013 член 4. В тази връзка приложението на т.нар. „импулсно“ напояване през отделните стадии от напояването по бразди, както и на техниките на „поливане с оттичане в следващия пояс“ и „поливане с променливи струи“ в поливната практика е изключително актуално (вж. фиг. 3, 4 и 5).

## 2.2. Стадии на движение и попиване на водата при напояването по бразди

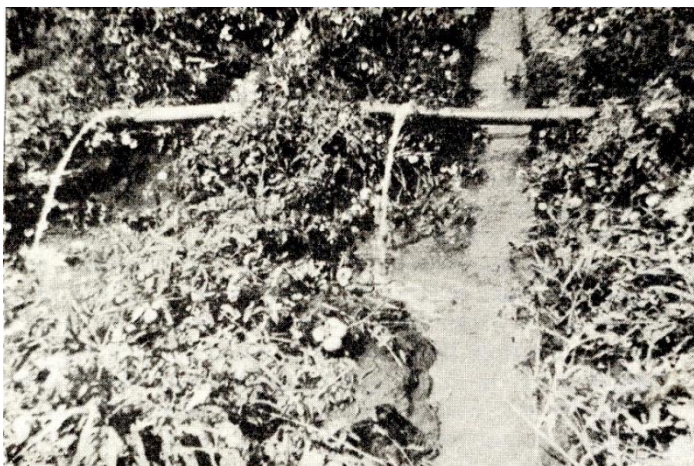
За да се установи разпределението на поливната норма по дължината на браздите и върху цялата напоявана площ, е необходимо да се познаят преди всичко отделните стадии (фази), през които се осъществява повърхностното напояване (фиг. 3).



Фиг. 3. Стадии на движение и попиване на водата при напояването по бразди (Върлев, 2011)



Фиг. 4. Разпределение на поливната норма по дължина на браздите при „поливане с оттичане в следващия пояс бразди” [1]



Фиг. 5. Реализиране на поливане с оттичане в следващия пояс бразди

Първият стадий от движението и попиването на водата в почвата се осъществява от началото на пускането ѝ докато челата на струите се придвижват по сухото легло на браздите до достигне към края  $l < L$  (фиг. 3а). През него различните точки от дължината на браздите са били различно време в контакт с водата.

През втория стадий се поддържа непрекъснат воден пласт по цялата дължина на браздите (фиг. 3а, пунктираната линия), което се постига чрез: 1) поливане с оттичане в следващия пояс или поливане с променливи струи (фиг. 4 и фиг. 5). През този стадий цялата дължина на браздите е покрита с вода и времето за контакт на водата с почвата е постоянно по дължината. Времетраенето на втория стадий се означава с  $t_{\text{доп}}$ .

Третият стадий на поливането по бразди започва след спиране на водата в началото (фиг. 3б). През него набраната вода се оттича, като образува т.нар. „задан край“. През този стадий се осъществява също попиване на вода в почвата, което е от съществено значение при импулсното напояване, поради значителния брой на импулсите [1].

### 2.3. Моделиране и сценарии на „глобална“ неравномерност на напояването при колебанията и промените на климата

За оптимизиране на водния баланс, поливния режим и добивите на системата „почва-растение (царевича) – атмосфера“ в дългосрочен план са използвани и резултати от симулации на варианти на т.нар. „глобална“ неравномерност на напояване (напречно и надлъжно на браздите) в рамките на позиция едновременно поливани бразди при условията на излужена канелено-горска почва, Софийско поле [10]. Приложени са следните валидирани математически симулационни модели:

а) *FURMOD* [10, 23, 25] е модел за изчисляване в относителни величини на пространственото разпределение на водата, загубите от дълбока филтрация и отток за широк кръг от условия в поливната практика, като продължителност на напояване  $I$  (ур. 2) и относителна попита поливна норма  $m$  (ур. 3), необходима за допълването на почвения резервоар до ППВ:

$$m = \frac{m_{\text{def}}}{m_0}, \quad (3)$$

където  $m_{\text{def}}$  (mm) е дефицит на вода в коренообитаемата зона, а  $m_0$  (mm) е попитата норма в началото на т.нар. „средна“ бразда за времето на достигане на струята до края ѝ  $t_l$  (h); Параметрите на попиването на водата в почвата, ако се използва функцията на Костяков  $K_t$  (mm.h<sup>-1</sup>) (27):

$$K_t = \frac{K_1}{t^\alpha} \quad (4)$$

са  $K_t$  скорост на попиване на водата в почвата във функция на времето  $t$  (mm.h<sup>-1</sup>) и  $K_1$  скорост на попиване на водата в почвата в края на първия час от поливката (mm.h<sup>-1</sup>).

С  $X$  и  $L_1$  са отбелязани достигнатите от струята дължини (m) в „средната“ бразда, съответно за време  $t_x$  (h) и за първия час от началото на поливката, изчислени по ур. 5:

$$X = L_1 t_x^n. \quad (5)$$

С  $K_{\text{неп}}$  (ур. 1) е означена „напречната“ неравномерност на разпределение на водата в позиция нехомогенни бразди. Независимо от това, че степенните показатели  $\alpha$  и  $n$  (ур. 4 и 5) не са постоянни през поливния сезон, в настоящото изследване те са приети за

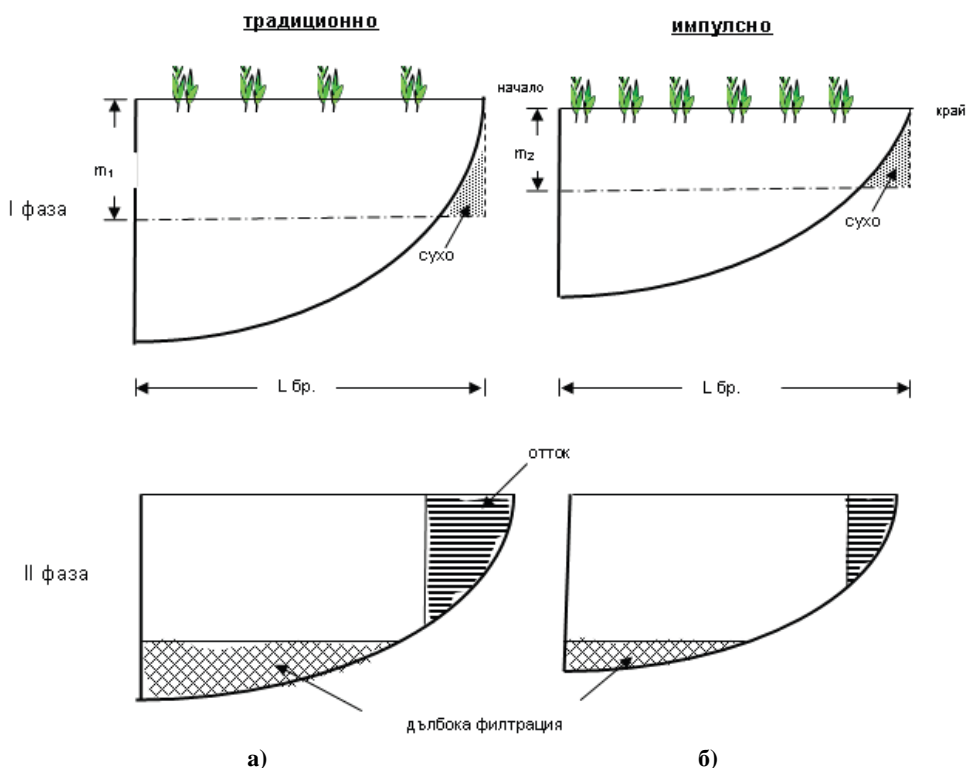
постоянни ( $\alpha = 0,7$  и  $n = 0,8$ ) в „средната“ бразда. Приетите стойности са в диапазона на често наблюдаваните на полето [10, 23].

б) *CROPWAT* [28] е компютърна програма за планиране и управление на поливния режим по методологията на ФАО. Осъществено е прецизно планиране на поливките при царевича, отглеждана на излужена канелена горска почва в Софийско поле за периода 1960 – 1987 г., определено от Popova&Kercheva [29, 30, 31].

в) модифицираният *CERES-NC-maize* [32, 33] е едно-дименсионален модел за симулиране на развитието на растението и за оценка на цикъла на водата и азотния цикъл при нехомогенна система от различни комбинации „климат - неравноменост на напояването“. Моделът е предварително подробно калибриран и валидиран на основата на данни от наблюдения на водата и азота от 3-годишен полски експеримент, проведен на средно-пропусклива излужена канелена горска почва в поливни и неполивни площадки и лизиметри в ОП Челопечене, Софийско [22, 26, 29, 30]. Приложен е в 30 представителни точки за позиция едновременно напоявани бразди при различни сценарии за неравномерност на напояването и торенето с азот при условията на колебанията и промените на климата през периода 1960 – 1987 г. [34, 35].

### 3. Резултати и дискусия

#### 3.1. Разпределение на водата по дължината на браздите



Фиг. 6. Загуби на вода от дълбока филтрация и повърхностен отток през I и II фаза при:  
а) традиционно; б) импулсно напояване по бразди (Върлев, 2011 [1])



При традиционното напояване с непрекъснати струи движението на челата през първата фаза зависи от скоростта на попиване на водата в почвата, наклона и грапавината на браздите и големината на поливната струя. Разпределението на водата по дължината на браздите е показано на фиг. 6а [1].

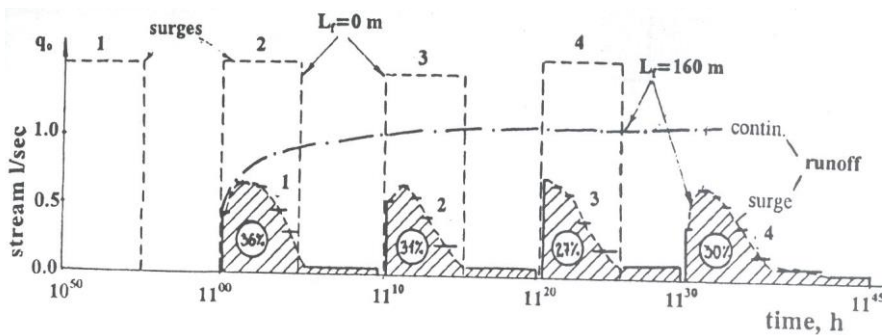
При импулсното напояване (фиг. 6б) разликата се състои основно в намалената скорост на попиване на водата в почвата, което се дължи на колматиране на почвата през време на паузите, т.е. на увличането на почвени частици с движението на водата, които запълват част от порите в намокрената част от браздата.

Следва да се подчертае, че намалението на скоростта на попиване зависи основно от вида на почвата и предполивната ѝ влажност. При по-леките пясъкливи почви ефектът от импулсното напояване е значително по-малък (до около 10%). Поради намалената скорост на попиване на водата при импулсно подаване, попитата средна поливна норма –  $m_2$  (фиг. 6б) е по-малка от тази при традиционното непрекъснато напояване  $m_1$  (фиг. 6а). По-малката поливна норма, попита в началото на браздите при импулсното напояване (фиг. 6б) е предпоставка за значително намаление или избягване на загубите от дълбока филтрация.

При импулсно напояване през втората фаза (браздите са навлажнени до края) цялата дължина на браздите вече е намокрена (фиг. 6б) и се цели постигне на по-висока равномерност в разпределение на поливната норма по дължина за получаването на максимален добив. В този случай е особено подходящо поливането със застъпващи се в долната част на браздите струи, т.нар. “overlapping short surges” [14].

При напояване с непрекъснати струи също може да се постигне задоволителна равномерност, като през втората фаза това обаче става за сметка на значителни загуби от оттичане от края на браздите и от дълбока филтрация в горната им половина (фиг. 6а).

В тази връзка импулсното напояване по бразди има подчертани предимства, особено през втората фаза на поливането. Поради прекъснатото подаване на струите (с паузи), оттокът от края им е значително по-малък. Резултати от наши експерименти, проведени край Стара Загора, са показани на фиг. 7.



Фиг. 7. Диаграма на подаваните струи в началото на браздите и на измерения отток от края им при импулсно напояване [16]

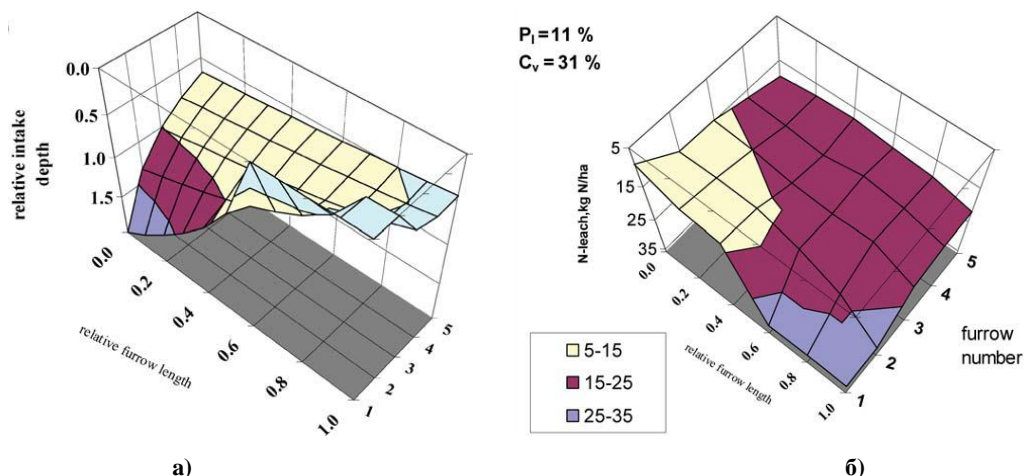
Продължителността на импулсите и паузите е по 5 min, като втората фаза от поливането е започнала в 10:50 ч. и е завършила в 11:45 ч. (по хоризонталната ос), а на вертикалната ос на графиката е нанесена постъпващата водна струя (около 1,5  $\ell/s$ ), а с „точка–тире“ е дадена диаграмата на оттока, когато се полива непрекъснато. Със заштриховани диаграми на фиг. 7 са показани оттичащите се водни струи от края на браздите поотделно за всеки от четирите импулса. Вижда се, че процентът на оттока в сравнение с

обема на водата, подаден в началото, е средно 30% по отношение на постъпилото водно количество само през втората фаза. Ако обаче този отток се сравни с подадената вода общо през първата и втора фаза, посоченият по-горе отток (30% на фиг. 7) ще се редуцира на по-малко от 5 – 10%, т.е. загубите от оттичане са напълно приемливи [16].

### 3.2. Технически резултати от „варианти в напояването”

В общи линии, резултатите от редица наши изследвания показват, че икономии на вода при импулсното напояване по бразди са от порядъка на 25 – 35% в сравнение с традиционното напояване с непрекъснати струи [12, 14, 15, 17, 20].

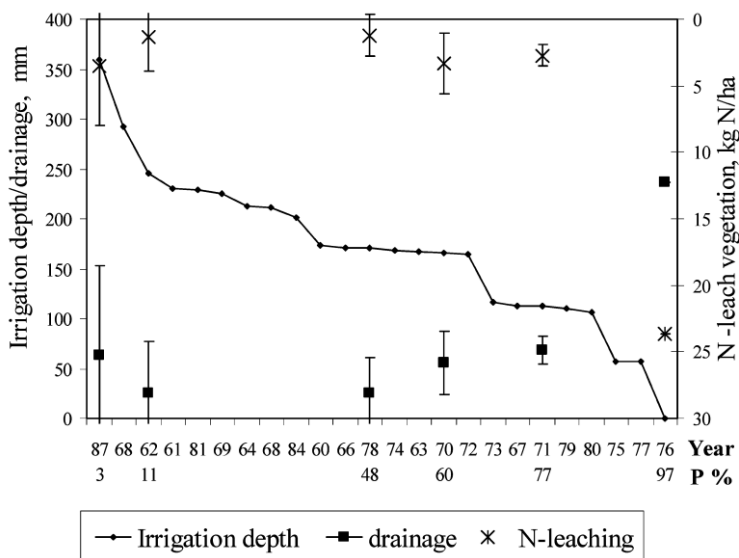
Попитите поливни норми по принцип са изчислени по дължина на едновременно напояваните бразди за 6 сценария на неравномерност [34]. В настоящата статия ще бъдат разгледани само резултатите от приложението на най-неравномерния сценарий за разпределение на поливната норма, при който относителното удължаване на времето за напояване  $I = 0$  (ур. 2) при максимална напречна неравномерност  $K_{\text{неп}} = 1$  (ур. 1) и коефициент на вариация на попитите поливни норми  $C_V = 66\%$  (фиг. 8а). Резултатите относно измиването на азота през екстремно сухия вегетационен период на 1962 г. ( $P_I = 11\%$ ) са показани на фиг. 8б.



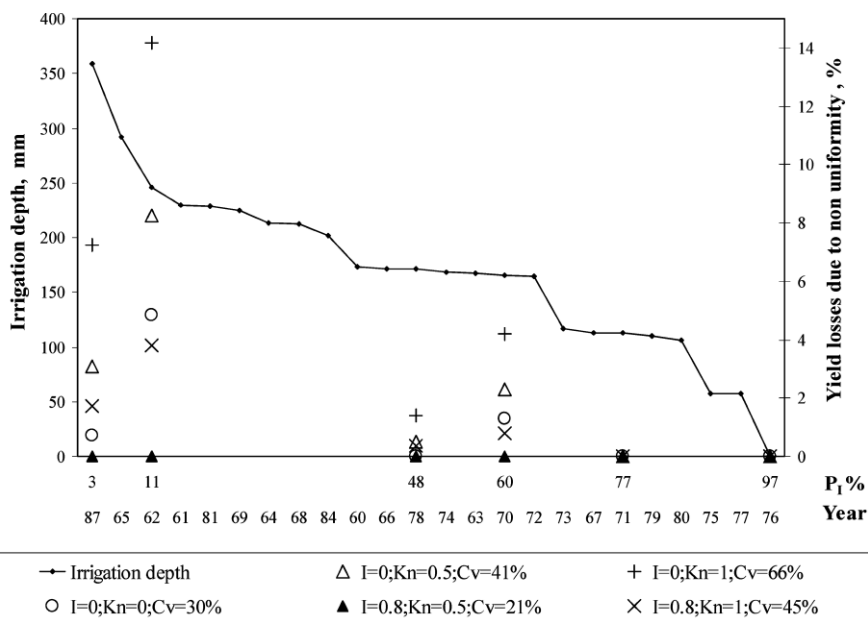
**Фиг. 8.** Екстремно измиване на азот (б), предизвикано от „висока” неравномерност на напояването ( $I = 0$ ,  $K_{\text{неп}} = 1$ ,  $C_V = 66\%$ ) през сух поливен сезон 1962 г. (обезпеченост на напоятната норма  $P_I = 11\%$ ) (а) и екстремните валежи през есенно-зимния период

При варианта с „най-висока” неравномерност на навлажняване на производствената площ в ОП край с. Челопечене резултатите показват, че най-голяма опасност от замърсяване на подземните води с нитрати (до 25 – 35  $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$  азот) съществува в долния недополят край на силно пропускливите „бавни” бразди (№ 1 и № 2 на фиг. 8а и 8б), където в резултат на преовлажняване през есенно-зимния период 1962/1963 г. се измива неефективно използваният от растенията азотен тор.

Екологичният ефект от „високата” неравномерност на разпределение на поливната норма ( $I = 0$ ,  $K_{\text{неп}} = 1$ ,  $C_V = 66\%$ , фиг. 8) по отношение на пространствената вариация на дълбоката филтрация и измиването на азота при царевица за условията на позиция едновременно напоявани бразди в ОП Челопечене през периода 1960 – 1987 г. е онагледен със следващата фиг. 9.



Фиг. 9. Въздействие на варианта на напояване с „висока неравномерност” ( $I = 0, K_{nep} = 1, C_V = 66\%$ ) и на обезпечеността на напоителната норма ( $P_I$ ) върху средната стойност и стандартното отклонение  $STDEV$  на дълбоката филтрация и измиването на азота за позиция бразди, излужена канелено-горска почва, Софийско поле, 1960 – 1987 г.



Фиг. 10. Загуби на добив в резултат на неравномерност на напояването ( $C_V$ ) и обезпечеността на напоителната норма ( $P_I$ ), излужена канелено-горска почва, Софийско поле, 1960 – 1987 г.

Както се вижда от фиг. 9, колебанията и промените на климата към засушаване през екстремно сухите години с обезпеченост на напоителната норма  $P_I < 11\%$  оказват съществено влияние върху последствията от т.нар. „глобална” неравномерност. Чрез

приложението на валидирания симулационен модел *CERES-NC-maize* [22, 26, 29, 32, 33] се установява, че в случай на „висока” неравномерност на напояване,  $C_V = 66\%$  (фиг. 8а), пространствената вариация на дренажния отток и измиването на азота зависят от влажността на сезона. От получените резултати следва, че колкото по-сух е поливният сезон ( $P_I < 11\%$ ), толкова по-високи са загубите на вода и азот от неравномерност на разпределение на поливната норма (фиг. 9).

През сухите поливни сезони в Софийско неравномерното разпределение на водата (фиг. 8а:  $I = 0$ ,  $K_{\text{нер}} = 1$ ,  $C_V = 66\%$ ) води също и до загуби на добив до 14% (фиг. 10) при значителните колебания на дълбоката филтрация и ефективността на използване на азота (фиг. 9). За сравнение при средиземноморския климат загубите на добив от неравномерност достигат 15 – 28% [3].

Следователно с настъпване на глобалните промени на климата и повишаване на нуждите от напояване източниците на неравномерност следва да се намаляват.

### 3.3. Практически съвети за водоспестяващо повърхностно напояване с непрекъснати струи

1. Реализиране на напояване с икономически оптимална равномерност, при която сумата от всички разходи и загуби от неравномерност е минимална [24]. За целта след достигане на струята в средно пропускливата бразда до края на позицията за време  $t_i$ , поливката се удължава с време за допълнително поливане  $t_{\text{доп}}$ . Времето  $t_i$  се измерва от началото на поливката до достигане на 50% от струите до края на браздите (№ 12 от фиг. 2b). За условията на България оптималното удължаване на времето за поливане  $I = t_{\text{доп}}/t_i$  е в граници 0,4 – 0,9 при повечето култури [1].

2. Поливане преди напукване на почвата, т.е. при по-висока предполивна влажност над 75% от ППВ при средно-песъкливо глинестите почви и над 80% от ППВ при леко-глинестите почви, т.е. реализиране на по-чести поливки.

3. Уплътняване на браздите през една преди първата поливка за намаляване на „напречната” неравномерност  $K_{\text{нер}}$  (ур. 1) в придвижване на струите в едновременно напояваните бразди (фиг. 2а) [4].

4. Качествено подравняване на поливните площи (с булдозер или др. техника).

5. Поливане с оттичане на струите в по-ниско разположения пояс бразди (*a multi set furrow irrigation*) (фиг. 4, фиг. 5).

6. Поливане с намалени струи през фазата на „оттока” – т.нар. ”Cutback irrigation”.

7. При напояване на най-ниско лежащия пояс бразди спиране на струите в тези от тях, в които водата е достигнала до края.

8. При малки наклони (около 0,03%) и дължина на браздите (до 200 m) подприщване на долния им край.

## 4. Изводи

1. Изследвано е въздействието на неравномерното разпределение на водата в позиция от едновременно напоявани бразди върху загубите на добив, вода и азот през вегетационния сезон на царевица с контрастни нужди от напояване ( $3\% < P_I < 97\%$ ). В случай на „значителна” неравномерност на напояването ( $I = 0$ ,  $K_{\text{нер}} = 1$ ,  $C_V = 66\%$ , фиг. 8а) загубите на добив, в сравнение с добива при равномерно напояване, са практически 0% след влажен поливен сезон ( $P_I = 77 - 97\%$ ), нарастват до 2 – 7% след „среден“ поливен сезон ( $P_I = 48 - 60\%$ ) и достигат 7 – 14% през „сухите“ ( $P_I = 3 - 11\%$ ) сезони (фиг. 10).

2. „Високата“ неравномерност на напояване ( $I = 0$ ,  $K_{\text{неп}} = 1$ ,  $C_V = 66\%$ ) е възможно да доведе и до замърсяване на подпочвените води. През „умерено-влажния“ период ( $P_I = 77 - 97\%$ ) дренажът и измиването на азот за сезона „май-септември“ са равномерно разпределени в рамките на позицията едновременно напоявани бразди при  $STDEV = 0$  (фиг. 9). През сухите години ( $P_I < 11\%$ ) дренажът, средно за разглежданата позиция бразди, е от 30 до 70 mm и отговаря на измиване на азот в граници от 4 до 5  $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ , с изключение на годината с екстремна стойност на сезонните валежи (1976 г.,  $P_I = 97\%$ ). Колкото е по-сух сезонът, толкова по-голям е рискът от неравномерно напояване за околната среда (фиг. 9). През най-сухия сезон ( $P_I = 3\%$ )  $STDEV$  за сезонния дренаж е максимален (98 mm) при измиване на азот (*N-leaching*) (5  $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ ) и остатъчен нитратен азот  $\text{N-NO}_3$  в почвата (60  $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ ). Такова значително измиване на азот може да се случи и по време на екстремен валеж през есенно-зимния следвегетационен период (фиг. 9).

3. В контекста на климатичните колебания и промени, високата цена на водата за напояване и натиска върху разпределението на водните ресурси, възможностите за пестене на вода в земеделието стават все по-актуални. Представеният материал убедително доказва, че разгледаните водоспестяващи и екологосъобразни техники на напояване, в това число и най-вече технологията на импулсното напояване по бразди, са доказани съвременни технологии за пестене на вода, като редуцират или предотвратяват ерозията на почвата и измиването на азот в земеделието.

4. Разработените сценарии за неравномерност на разпределение на водата за напояване в нехомогенна позиция бразди са приложими на всички почви. По отношение на загубите на добив и влияние върху околната среда от неравномерност на напояването получените резултати са валидни при приетите при анализите предпоставки.

5. Резултатите от нашите дългогодишни изследвания върху импулсното напояване показват, че още през първата фаза на поливане, когато не е навлажнена цялата дължина на браздата, неколкочкратното спиране и пускане на водата води до намаляване на попитата вода с 10 – 20%.

През втората фаза, когато дължината на браздата вече е намокрена, обемът на оттичащата се от края на браздите вода е под два пъти по-малък, отколкото при традиционното напояване с постоянни струи.

Друго съществено предимство на импулсното напояване е бързото постигане на необходимата равномерност на навлажняване, което води до намаляване на загубите на вода и добив.

По отношение на водната ерозия на почвата, нашите дългогодишни изследвания доказват, че ерозията от края на браздите при импулсно напояване е около два пъти по-малко, отколкото при традиционното напояване [13].

## ЛИТЕРАТУРА

1. *Varlev, I.* Импулсно и традиционно напояване по бразди. *Surge and Traditional furrow irrigation. Practical Guide. SSA.* (2011). 44 p. (Bg) SBN: 978-954-8045-30-8.
2. *Kolcheva, K.* Distribution of water resources and climate change – sense and adaptation, *Water affairs* (2019) (1/2), 2-10. ISSN 0861-30036 (Print) (Bg).
3. *Popova, Z., Mailhol, J. C., Ruelle, P., Varlev, I., Gospodinov, I.* Maintaining environmental and productivity sustainability of a nonhomogenous furrow set in different agrolandscapes. *Irrigation and Drainage.* (2005) 54:321-337. ISSN: 1531-0353.
4. *Mailhol, J. C., Gonzalez, G.* Furrow irrigation model for real-time applications on cracking soils. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering ASCE*, (1993) 119(5), 768–783.

5. Popova, Z., Pereira, L. S. Irrigation scheduling for furrow irrigated maize under climate uncertainties in the Thrace plain, Bulgaria, *Journal of Biosystems engineering*. (2008) 99(4): 587-597. SW-Soil and Water ISSN: 15375110.
6. Varlev, I. State of irrigation in Bulgaria in 2011 and measures to overcome the crises. In Z. Popova (Ed). *Risk Evaluation of Drought in Agriculture and irrigation management through simulation models* (2012). 40-50, ISBN 978-954-394-080-6, ISSAPP N. Poushkarov, Sofia (Bg).
7. Varlev, I. Improvement of wetness uniformity along the furrows' length under continuous irrigation. *Scientific Transactions of IHM*, 1971, 12, 5-11. Sofia (Bg).
8. Varlev, I., Kolev, N. Method and device in furrow irrigation atomization. Authorship Certificate, № 19 814. State Register of Inventions. № 24 780, Sofia (Bg) (1973).
9. Varlev, I. United states Patent H № 4 009 830. Hydrant Construction for a Soil Irrigation System, USA. (1977).
10. Popova, Z. Furrow irrigation efficiency, Dissertation PhD, (1990). Sofia (Bg).
11. Popova, Z., Petrova, I. Impact of Modelling in Furrow Irrigation Erosion. In S. Wicherek (Editor) *Farm Lands erosion: In Temperate Plains Environment and Hills*, Elsevier Science Publishers V.P., (1993). pp. 347-355. ISSN: 9780444814661.
12. Varlev, I., Popova, Z., Gospodinov, I. Optimization of uniformity of successive flows in surge irrigation by "crop-water" relationship. *Transactions of Regional European Conference of ICID*, Varna, (1994). 1.47, 361-368.
13. Popova, Z., Varlev, I., Kutev, V. Soil erosion in continuous and surge furrow irrigation, *Transactions of 15th International Congress of ISSS*, Acapulco, Mexico, commission I, (1994). 2b, 25-26.
14. Popova, Z., Varlev, I. & Gospodinov, I. Surge irrigation as an environment friendly technology. *Transactions of Regional European Conference of ICID*, Varna, (1994). 3.48, 341-350.
15. Popova, Z., Gospodinov, I. Effect of surge irrigation during the first stage of furrow irrigation, *Soil science, Agro-chemistry and Ecology*, (1995) 30 (1-6), 45-50. (Bg).
16. Varlev, I. Popova, Z. Gospodinov, I. Furrow surge irrigation as water saving technique. In L.S.Pereira and J.Gowing (Eds.) "Water and the environment: Innovative Issues in Irrigation and Drainage", Selected papers of the 1st Inter-Regional Conference "Environment - Water", Lisbon, (1998), 131-140 (E&FN Spon-Routledge).
17. Popova, Z., Varlev, I., Kutev, V., Ikonomova, E. Irrigation and cropping techniques to prevent natural water pollution. *Papers of the 1st Inter-Regional Conference Environment - Water: Innovative Issues in Irrigation and Drainage*, Lisbon, (1998) pp. 6-13.
18. Gospodinov, I. Comparative studies between continuous and surge furrow irrigation. *Disertation*, Sofia (Bg). (2009). 175 pp.
19. Mailhol, J. C., Ruelle, P., Popova, Z. SOFIP: A field scale modeling of water management and crop yield for furrow irrigation. *Irrigation science*. (2005) 24 (I), 37-48. ISSN: 0342-7188 (print) 1432-1319 (online).
20. Varlev, I., Gospodinov, I. Popova, Z. Advantages of short surges under furrow irrigation. In *Agricultural Science*, (2011). XLIV, № 2, 39-44, Sofia (Bg).

21. Popova, Z., Kercheva, M. Integrated strategies for maize irrigation and fertilisation under water scarcity and environmental pressure in Bulgaria. *Irrigation and Drainage*. Journal of the International Commission on Irrigation and Drainage, (2004) 53 (1):105-113. (Wiley Inter Science Publisher).
22. Popova, Z., Kercheva, M. Ceres model application for increasing preparedness to climate variability in agricultural planning-calibration and validation test. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, (2005) 30 (1-3):125-133. Elsevier Science Publisher.
23. Popova, Z. Modeling in furrow irrigation performance evaluation and interface between simulation and experimental data, Transactions of International Conference of EWRA 4 "Advances in Planning, Design and Management of Irrigation Systems as related to Sustainable Land Use", Leuven, (1992) Vol. 2, 563-572.
24. Popova, Z. Optimization for Uniformity and Efficiency in Applying Water for Furrow Irrigation, *ICID Bulletin*, (1991) 40 (2), 45-55.
25. Popova, Z., Kuncheva, R. Modeling in Water Losses Evaluation for Nonhomogeneous Furrow Set. American Society of Civil Engineering (ASCE) *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, (1996) 122 (1), 1-6.
26. Popova, Z. Optimization of irrigation scheduling, yields and their impact on environment. Dissertation for DSc, Institute of Soil Science, (2008) София, (Bg).
27. Kostiaikov, A. N. On the dynamics of the coefficient of water percolation and the necessity for studying it from a dynamic point of view for purposes of amelioration. *Trans. 6th Com.Intern. on Soil Sci* (1932) Part A: 17–21.
28. Smith, M. CROPWAT – a computer program for irrigation planning and management. (1992). Irrigation and Drainage Paper 46, FAO, Rome.
29. Popova, Z., Leviel, B., Kercheva, M., Varlev, I., Gosse, G. Linking water in N-dynamics of cropped soil into risk of ground water pollution. In: Musy A, Pereira L.S, Fritsch M. (Eds.) *Proceedings of 2nd Inter-Regional Conference on Environment-Water “Emerging Technologies for Sustainable Land Use and Water Management”*, Lausanne, PPUR, (1999) 41-42.
30. Popova, Z., Gabrielle, B., Leviel, B., Kercheva, M. Test of biological module of CERES-maize model in lysimeters on Chromic Luvisol. *Soil science agrochemistry and ecology*. (2001a) 36 (4-6): 105-110.
31. Popova, Z., Kercheva, M., Leviel, B., Gabrielle, B. Consequence of heavy precipitation and droughts in Bulgarian agroecosystems and ways of mitigating their impacts. *Proceedings of the 19th European Regional Conference of ICID*. Burno-Prague (2001b) paper № 132 (CD-ROM).
32. Jones, C. A., Kiniry, J. R. CERES-Maize: A simulation model of maize growth and development, Texas A& M University Press, College Station (1986).
33. Gabrielle, B., Menasseri, S. & Houot, S. Analysis and field-evaluation of the Ceres models water balance component. *Soil Science Society America Journal*, (1995). 59:1403-1412.
34. Popova, Z. Water, nitrogen and yield losses for a non homogeneous furrow set. *Irrigation and Drainage Systems*. (2006) 20 (1): 1-21, Springer Science+Business Media B.V., Formerly Kluwer Academic Publishers.

35. Popova, Z. Risk assessment of non-uniformity in irrigation and fertilization under climate uncertainties in the Sofia field. Bulgarian Journal of Soil Science. BJSS. (2016) 1(2):170-186.

## WATER-SAVING AND ENVIRONMENT-FRIENDLY TECHNOLOGIES AND IRRIGATION SCHEDULING UNDER FURROW IRRIGATION

Z. Popova<sup>1</sup>

**Keywords:** *climate change, furrow irrigation efficiency, irrigation non-uniformity, water saving methodologies, model simulations, EU water regulations*

### ABSTRACT

In the context of climate change and pressure on water resource, the issue of water savings is becoming increasingly acute in agriculture. Due to the dominated **soils of large water holding capacity** and **favourable terrain slopes of 0,3 to 3%**, furrow irrigation is exceptionally favourable for application under Bulgarian conditions. Considering the chance of investment in a water saving agriculture, the aim of the present study is to pay attention to some contemporary methods of improved irrigation management and efficiency by limiting water and soil losses due to surface runoff, drainage and nitrogen leaching through application of the following concepts of:

a) Economically optimal irrigation uniformity when the sum of all costs and losses due to nonuniformity of irrigation water distribution is minimal;

b) Application of water saving technologies, such as: *surge irrigation; multi-set furrow irrigation; cutback irrigation aiming at decrease and elimination of runoff; **alternative furrow irrigation that improves lateral water distribution uniformity and avoids soil erosion; surges of diminishing on-time from 30 to 3 min during “run-off” stage at the lowest furrow set.***

c) Scenario analyses through model simulations aiming at optimization of water balance, irrigation scheduling and crop yield, considering the “down-field” and “inter-row” nonuniformity of irrigation, or so called “global” nonuniformity, under the conditions of climate variability and change in Sofia field.

---

<sup>1</sup> Zornitsa Popova, Prof. DSc. Eng., Dept. “Physics, Erosion, Soil Biota“, ISSAPP “N. Poushkarov“, 7 Shosse Bankya St., Sofia 1331, e-mail: zornitsa\_popova@abv.bg