

## KUIVENDUSSÜSTEEMIDE ARVUTUSE HÜDROLOOGILISTEST ALUSTEST

K. HOMMIK,

tehniliste teaduste kandidaat

NLKP XX kongressi otsustes on ette nähtud korraldada Eesti NSV-s kuuenda viisaastaku jooksul ümber kuivendussüsteeme 194 tuhande hektarisel maa-alal ja ehitada uusi kuivendussüsteeme 38 tuhandel hektaril, kusjuures 100 tuhat hektarit peab olema kuivendatud drenaaži abil.

Nii ulatuslik kuivendustööde teostamine drenaaži abil eeldab hästiorganiseeritud ning täpset tööd. Tööde kvaliteet on eelkõige projekti otsustatavusest, mis omakorda eeldab teaduslikult põhjendatud projekteerimisaluste kasutamist.

Eesti NSV Teaduste Akadeemia Maaparanduse ja Sookultuuri Instituudis on lähemalt uuritud kuivendussüsteemide projekteerimise aluseid. Käesolevas artiklis esitatakse kokkuvõtte nimetatud uurimuste tulemustest.

Taimekasvatuse seisukohalt on hüdro-melioratiivsete abinõudega võimalik kindlustada õigeaegset külvi, hoida kasvuajal optimaalset põhjaveetaset, kõrvaldada uputuste kahjustused ja võimaldada õigeaegset saagi koristamist. Võttes arvesse nimetatud nõudeid, on kuivendussüsteemide arvutamiseks tuletatud äravooluvalemid kevadise maksimumi, suvise maksimumi, külviaegse, suvise keskmise ja sügise keskmise äravoolu suuruse arvutamiseks.

### I. Kuivendussüsteemide arvutuseks vajalikud äravooluvalemid

#### 1. Kevadise maksimaalse äravoolu valem

Kevadise suurvee reguleerimisel ja sildade ning truupeide avade määramisel võib kasutada järgmist maksimaalse äravoolu valemit:

$$k_{\text{kev. max } P\%} = a\alpha\delta\varphi\rho\varepsilon, \quad (1)$$

kus  $k_{\text{kev. max } P\%}$  — kevadise maksimaalse äravoolu moodulkoeffitsient tõenäosusega  $P$  protsenti (1—10%);

$a$  — kliimategurite mõju hindav koeffitsient (Eesti NSV oludes  $a = 100$ );

$\alpha$  — äravoolu reguleerivate veetagavarade mõju hindav koeffitsient;  $\alpha = 10^{-1,4 k_{95\%}}$ , kus  $k_{95\%}$  — keskmise minimaalse äravoolu (95%-lise tõenäosusega päeva keskmise äravoolu) moodulkoeffitsient (määratakse kartogrammi  $q_{95\%}$  alusel);

$\delta$  — vesikonna soode ja soostunud maa-alade ning metsade mõju hindav koeffitsient;  $\delta = 10^{-1,4r}$ , kus  $r = 0,0045 A + 0,0051 B - 0,285$ , milles  $A$  — soode ja soostunud maa-alade protsent vesikonnas,  $B$  — metsade protsent vesikonna pindalast;

$\varphi$  — vesikonna pindala suuruse mõju hindav koeffitsient;

$\varphi = (F + 1)^{-0,144}$ , kus  $F$  — vesikonna pindala  $km^2$ . Päeva keskmiste maksimumide arvutamisel väikestest vesikondadest ( $F \leq 100 km^2$ ) võetakse  $\varphi = 0,52$ ;

$\rho$  — maksimaalse äravoolu tõenäosust hindav koeffitsient;

$\rho = P^{-0,22}$ , kus  $P$  — tõenäosus protsentides (1—10%);

$\varepsilon$  — vesikonna kanaliseerimise mõju hindav koeffitsient, kusjuures soostunud kanaliseerimata vesikonnas  $\varepsilon = 0,80$ , kanaliseeritud vesikonnas  $k_{\text{kev. max } 10\%}$  puhul  $\varepsilon = 1,23$  ja  $k_{\text{kev. max } 2-5\%}$  juures  $\varepsilon = 1,63$ .

## 2. Suvise maksimaalse äravoolu valem

Suvise suurvee reguleerimisel kasutatav äravoolu valem on analoogiline kevadise maksimaalse äravoolu valemile, erinevad on vaid koeffitsientide väärtused.

$$k_{\text{suv. max } P\%} = a\alpha\delta\varphi\rho\varepsilon, \quad (2)$$

kus  $k_{\text{suv. max } P\%}$  — suvise maksimaalse äravoolu moodulkoeffitsient tõenäosusega  $P$  protsenti (2—30%);

$a$  — kliimaatiline koeffitsient, Eesti NSV oludes 24;

$\alpha = 10^{-k_{95\%}}$ ;

$\delta = 10^{-r}$ ;  $r$  — sama, mis valemis (1);

$\varphi = (F + 1)^{-0,11}$ ;

$\rho = P^{-0,22}$ ;

$\varepsilon$  — soostunud kanaliseerimata vesikonnas  $\varepsilon = 0,80$ , kanaliseeritud vesikonnas  $\varepsilon = 1$ .

## 3. Külviaegse äravoolu valem

Kuivendussüsteemide tegevuse hindamiseks külviajal on tuletatud järgmine valem kevadise külviaegse äravoolu arvutamiseks:

$$k_{\text{kül. } P + 20\%} = k_{\text{kev. max } P\%} \left( \frac{t_c + z}{t_c} \right)^{3,7} + k_p, \quad (3)$$

kus  $k_{\text{kül.v. } P + 20\%}$  — kevadise külviaegse äravoolu moodulkoeffitsient tõenäosusega  $P + 20$  protsenti;

$k_{\text{kev. max } P\%}$  — arvutatakse valemi (1) alusel;

$t_c$  — kevadise suurvee kestus ööpäevades

$$t_c = \frac{132}{3 \sqrt{k_{\text{kev. max } P\%} P^{0,21}}};$$

$z$  — päevade arv kevadise suurvee tipust kuni külviajani;

$$z = 0,16 k_{\text{kev. max } P\%} + 12,5$$

$k_p$  — põhjavee äravoolu moodulkoeffitsient kevadise suurvee lõpul.

Mõõduandmete puudumisel võib kasutada  $k_p$  arvutamiseks keskmist miinimum-äravoolu  $k_{95\%}$ , korrutades seda koeffitsiendiga 2,5 ( $k_p = 2,5 k_{95\%}$ ).

Soostunud vesikondades, kus soode ja soostunud maade protsent on üle 50%, võib kasutada lihtsustatud valemit järgmisel kujul:

$$k_{\text{kül.v. } P\%} = \frac{13,8}{P^{0,185}} - 5, \quad (4)$$

kus  $k_{\text{kül.v. } P\%}$  — külviaegse äravoolu moodulkoeffitsient tõenäosusega  $P$  protsenti.

#### 4. Suvise keskmise äravoolu valem

Suvise keskmise põhjaveetaseme projekteerimiseks on vaja teada suvise keskmise äravoolu suurus, mida võib arvutada järgmise valemi alusel:

$$k_{\text{suv. keskm. V-X } P\%} = \frac{2,95}{P^{0,22}} - 0,5, \quad (5)$$

kus  $k_{\text{suv. keskm. V-X } P\%}$  — suvise 6 kuu (V—X) keskmise äravoolu moodulkoeffitsient tõenäosusega  $P$  protsenti (1—50%);

#### 5. Sügise keskmise äravoolu valem

Kuivendatud maa-alal õigeaegse saagi koristamistööde kindlustamiseks tuleb põhjaveetaseme projekteerida selliselt, et see võimaldab põllutöomasinatel koristusajal takistuseta liiklemise. Sügise keskmise (september-oktoober) äravoolu arvutamiseks on tuletatud järgmine valem:

$$k_{\text{süg. keskm. } P\%} = \frac{2,29}{P^{0,38}} \left[ \frac{6,03}{(k_{95\%} + 0,1)^{0,07}} - 5 \right], \quad (6)$$

kus  $k_{\text{süg. keskm. } P\%}$  — sügise keskmise (IX—X) äravoolu moodulkoeffitsient tõenäosusega  $P$  protsenti (1—40%);  $k_{95\%}$  — keskmise minimaalse äravoolu moodulkoeffitsient, mis määratakse, nagu maksimaalse äravoolu valemites, vastava äravoolu kartogrammi alusel (kartogramm  $q_{95\%}$  ja  $k_{95\%} = \frac{q_{95\%}}{q + \Delta q}$ ).

Eeltoodud valemite abil arvutatavate äravoolu moodulkoeffitsientide üleviimiseks äravoolu moodulitele tuleb kasutada vastavat pikaajalise aasta-keskmise äravoolu mooduli kartogrammi (kartogramm  $q$ ). Kartogrammi alusel määratud nn. kliimaatilisele äravoolule tuleb tegeliku vesikonna aastakeskmise äravoolu mooduli saamiseks liita parandus, mis arvutatakse järgmise valemi alusel:

$$\Delta \bar{q} = 0,025 c + 0,50 q_{95\%} - 1,63,$$

kus  $\Delta \bar{q}$  — aastakeskmise äravoolu mooduli parandus 1/sek. km<sup>2</sup>;  
 $c$  — võsa ja metsaga kaetud soode ja soostunud maade protsent vesikonnas;  
 $q_{95\%}$  — keskmine minimaalse äravoolu moodul 1/sek. km<sup>2</sup> (kartogrammi  $q_{95\%}$  alusel).

## II. Kuivendussüsteemide arvutuse alused

Äravoolu moodulite alusel on võimalik arvutada kuivendataval alal põhjaveetasel vastavalt valitud kuivenduse intensiivsusele. Küsimus seisneb vaid selles, missuguse perioodi äravoolu suurust tuleb võtta kuivendussüsteemide projekteerimisel arvutuse aluseks ja missuguse korduvusega võivad esineda aastad, millal ettenähtud abinõud ei kindlusta nõutavat veerežiimi.

Majanduslikust seisukohast ei ole põhjendatud arvutada kuivendussüsteeme mingisuguse taimekasvuaegse faasi maksimaalse äravoolu suuruse kohaselt. Valides aga arvutuse aluseks sagedasti korduvaid äravoolu suurusi, võib oodata suuri saagikadusid mitteküllaldase kuivenduse tagajärjel. Seepärast tuleb kuivendussüsteemide arvutuse normide valikul lähtuda seisukohast, et kuivendussüsteemide eksploatatsiooni ja amortisatsiooni aastaste kulude summa pluss liigniiskusest tingitud saagikadude keskmine aastane summa pärast kuivendust oleks minimaalne. Teisiti väljendades: vahe saakide suuruse ja kuivenduskulude vahel peab olema maksimaalne.

Kuivendussüsteemide aastasi eksploatatsioonikulud (vastavalt mitmesugusele kuivenduse intensiivsusele) on võimalik arvutada süsteemide ehituse maksumuse alusel mitmesuguste kuivendajate vahekauguste juures. Ehituse maksumuse ja дренаaži ea järgi on võimalik arvutada iga-aastasi kuivendussüsteemide amortisatsioonikulud. Amortisatsioonikuludele on vaja liita veel iga-aastased korrashoiukulud.

Palju keerulisem on hinnata kultuuride saagi vähenemist vastavalt kuivenduse intensiivsusele. Käesoleval ajal on veel vähe katseandmeid põllumajanduslike kultuuride saakide suurenemise või vähendamise kohta olenevalt pinnase veerežiimist mitmesugustel kasvuaegadel ja erinevatest mullastiku- ning kliimatingimustest. Küsimuse keerulisuse tõttu osutub võimalikuks teostada arvutusi esialgsel kujul ainult erijuhtu kohta, kui kuivendajate (dreenide) sügavus on 1 m ja kuivendajad (dreenid) on asetatud vett pidavale kihile. Sel juhul on äravoolu suurus dreenidest väljendatav pinnase veējuhtivuse, põhjavee survekõrguse ja dreenide vahekauguse kaudu lihtsa valemi abil:

$$q = \frac{4kH^2}{E^2} \text{ ehk } E = 2H \sqrt{\frac{k}{q}} \text{ ja } H = \frac{E}{2} \sqrt{\frac{q}{k}},$$

kus  $q$  — äravoolu moodul  $m^3/\text{sek. m}^2$ ;

$k$  — pinnase filtratsiooni koefitsient  $m/\text{sek.}$ ;

$H$  — põhjaveepinna survekõrgus ehk veepindade vahe drenide vahekauguse keskel oleva põhjavee ja drenis asuva veepinna taseme vahel meetrites;

$E$  — drenide vahekaugus meetrites.

Kui vaadelda ühte antud kuivendussüsteemi, kus  $E$  ja  $k$  on kindlad suurused, siis sel juhul

$$\frac{k}{E^2} = \frac{q}{4H^2} = A = \text{const. ja } E = \sqrt{\frac{1}{A} k} \text{ ning } q = 4AH^2. \quad (7)$$

Eeltoodud äravoolu valemite alusel on võimalik arvutada äravoolu suurusi vastavalt mitmesugustele taimekasvu perioodidele ja saagi koristamise ajale. Valemite abil on võimalik arvutada ka mitmesuguste äravoolu suuruste esinemise korduvust ehk tõenäosust vastaval perioodil.

Teades äravoolu suurusi, võib drenaaži äravoolu võrrandi (7) abil arvutada põhjaveetasel kuivendussüsteemides vastavalt mitmesugustele kuivendudrenide vahekaugustele ehk vastavalt mitmesugusele kuivenduse intensiivsusele. Kui nimetatud arvutuste alusel on teada põhjaveetasemed ja nende esinemise sagedused mitmesuguste taimekasvu faaside ja saagi koristamise aegadel, võib teostada liigniiskusest tingitud saagikadude määramist vastavalt mitmesuguse intensiivsusega kuivendatud aladel. Nende kadude hindamiseks on omakorda vaja teada mitmesuguste kultuuride saakide suuruse olenevust külviast, põhjavee tasemest vegetatsiooni ajal ja saakide vähenemist olenevalt uputuste kestusest.

### 1. Kuivendussüsteemide arvutus põllumaade kuivendamiseks

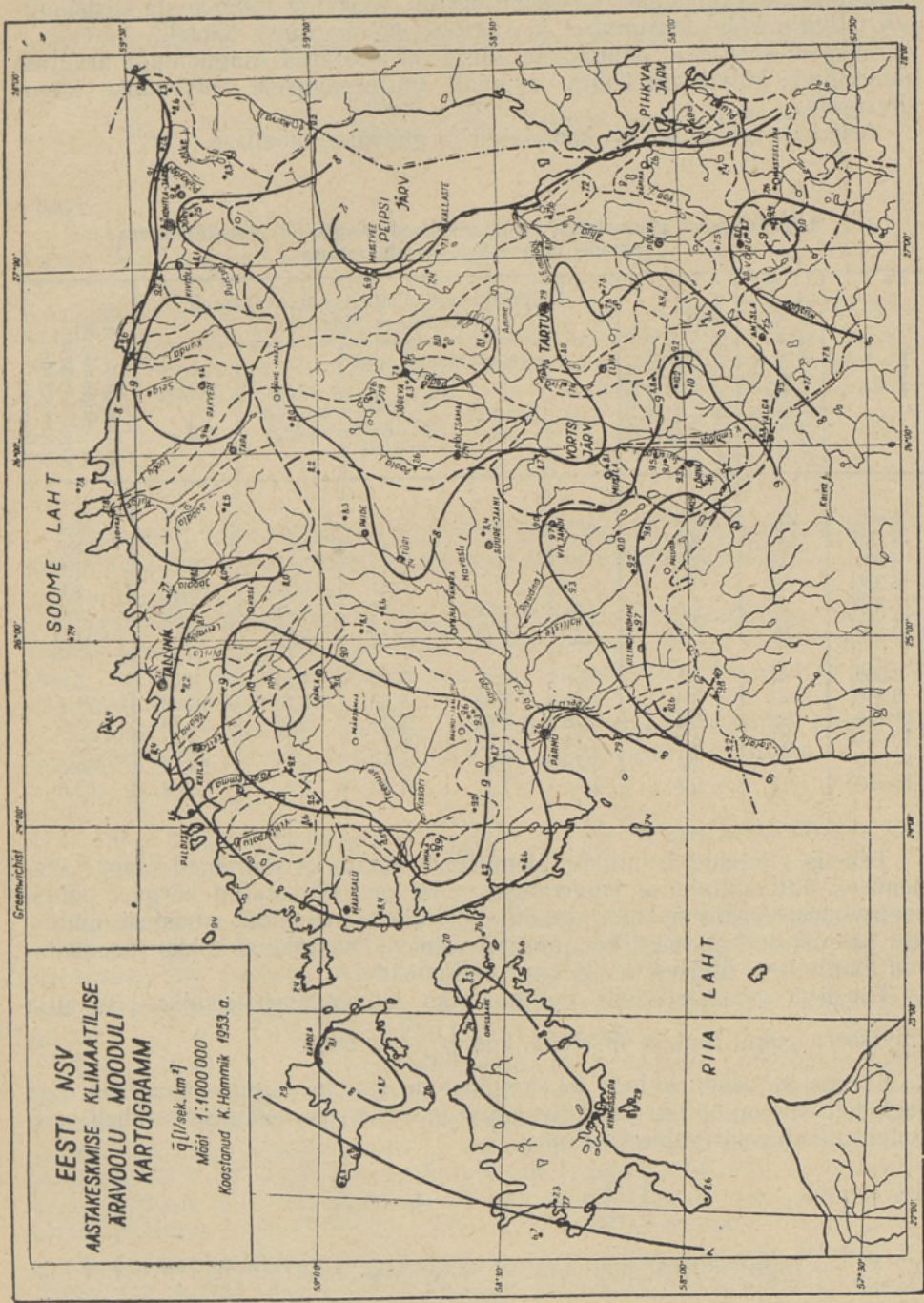
Kui kuivendatav maa-ala on planeeritud põllukultuuride alla võtmiseks, siis on tavaliselt ette planeeritud ka külvikord, kus mitmesugused kultuurid esinevad teatavas vahekorras. Arvutuse aluseks on soovitatav võtta kogu külvikorra kõikide kultuuride üheaastane saak kokku, ilma liigniiskusest tingitud kadudeta, mis moodustab 100%. Kõik liigniiskusest põhjustatud saagikaod mitmesugusel ajal tuleks arvutada protsentides üldsaagi suurusest. Et aga liigniiskuse kahjustused esinevad teatava kordumisega, siis kadude arvutamiseks võetakse saja aasta keskmine.

Liigniiskusest tingitud saagikadude arvutamiseks tuleb kasutada vastavaid uurimisandmeid. Näiteks on suviteraviljade külviast kohta Eesti NSV Teaduste Akadeemia Taimekasvatuse Instituudi teadusliku töötaja E. Halleri (1) poolt avaldatud uurimuse andmed. Nende andmete põhjal on võimalik tuletada saakide vähenemise suurust, kui liigniiskuse tagajärjel külvi ei ole võimalik teostada õigel ajal.

Põllukultuuride saakide suuruse olenevust põhjaveetasemest on uuritud Eesti NSV Teaduste Akadeemia Maaparanduse ja Sookultuuri Instituudis I. Eiseni poolt (2). Nende andmete alusel väheneb saagi suurus põhjaveetaseme iga sentimeetri kohta, mis on üle kuivenduse normi, ligikaudu 1,7—2,0%.

Suviste suurvete kahjustuste hindamiseks on andmeid vähe, kuid tegelik kogemused näitavad, et kartulisaaiki võib lügeda hävinuks, kui liigvee kestus künnikihis ületab 3 päeva.





**EESTI NSV**  
**AASTAKESKMISE KLIMAATILISE**  
**ÄRÄVOOLU MOODULI**  
**KARTOGRAMM**  
 q [ /sek. km<sup>2</sup> ]  
 Mõõt 1 : 1000 000  
 Koostanud K. Hommik 1933. a.

Kevadise liigvee tõttu võib lugeda talivilja orast hävinuks, kui vesi seisab maapinnal üle 10 päeva.

Sügiseseid kahjustused esinevad kartuli, juurvilja ning ädala koristamisel, talivilja külvi teostamisel ja sügisese maaharimise töödel.

Eespool käsitletud põhimõtete alusel on teostatud saagikadude arvutusi põlluviljade külvikorra kohta vastavalt mitmesugusele kuivenduse intensiivsusele.

Arvutuse tulemused on koondatud järgnevasse tabelisse.

Tabel 1

Liigniiskusest põhjustatud aastakeskmised saagikaod põllukülvikorra maadel olenevalt kuivendusastmest

$\sqrt{\frac{1}{A_p}}$	Maksimaalse ära- voolu moodsul $q_{\max}$ 1/sek. km <sup>2</sup>	Kuivendussüsteemi ekspluatatsiooni kulud aastas (protsentides üldsaagist)	Liigniiskusest põhjustatud saagikaod (protsentides üldsaagist)					Kuivenduskulude ja saagikadude summa aastas (protsentides üldsaagist)
			külvi ajal	vegetatsiooni ajal		saagi korista- misel	kokku $Y_p$	
				uputus- test	kõrgest põhja- vee seisust			
4 000	225	10,1	—	—	—	—	—	10,1
5 000	144	8,5	—	—	—	—	—	8,5
5 600	115	7,8	—	—	—	—	—	7,8
6 330	90	7,2	—	—	0,61	0,30	0,91	8,1
6 950	75	6,8	0,36	0,20	1,64	0,49	2,69	9,5
7 790	60	6,3	0,44	0,71	2,78	0,80	4,73	11,0
9 000	45	5,7	0,68	1,64	6,10	1,51	9,93	15,6
9 840	37	5,4	1,56	2,80	9,55	2,31	16,22	21,6
11 170	29	5,1	2,13	3,64	17,7	3,29	26,76	31,9
13 000	21	4,7	2,84	5,00	26,7	4,4	38,94	43,6
14 500	17	4,4	3,78	6,4	34,6	5,4	50,18	54,6
15 580	15	4,3	4,5	7,4	41,3	6,0	59,2	63,5

Tabelis 1 toodud arvutuste tulemustest nähtub, et suuremad saagi vähenemised mitteküllaldase kuivenduse puhul on põhjustatud kõrgest põhja-veetasemest vegetatsiooni ajal, kuna külviaja hilinemisest, suvistest uputus-est põhjustatud ja saagi koristamisel esinevad saagikaod kokku moodustavad ainult 40% üldisest saagikaost põllumaadel.

Tabeli 1 kohaselt tuleks optimaalseks kuivendussüsteemiks põlluvilja külvikorra puhul lugeda süsteemi, kus  $\sqrt{\frac{1}{A_p}} = 5600$ .

Et aga kuivenduskulude ja saagikadude summa alguses suureneb õige aeglaselt, siis on optimaalse kuivenduse intensiivsuse leidmiseks tabeli andmetel tuletatud järgmine võrrand:

$$\sqrt{\frac{1}{A_p}} = 130 Y_p + 7800,$$

kus  $Y_p$  — liigniiskusest põhjustatud saagikaod põllu külvikorra puhul kuivendusastme  $\sqrt{\frac{1}{A_p}}$  juures.

Kui  $Y_p = 0$ , siis  $\sqrt{\frac{1}{A_p}} = 7800$ ; sellest kuivendusastmest alates algab kuivenduse intensiivsuse vähenemisega saagikadude järsk suurenemine.



Sellele punktile vastav kuivendusaste ongi valitud arvutuste aluseks põllumaade kuivendusel.

Vastavalt valitud kuivendusastmele kujuneb maksimaalseks dreanaži äravoolumooduliks dreanaži sügavuse juures 1 m ja  $H = 1,0 - 0,05 = 0,95$  m

$$q_{\max} = 4A_p H^2 = \frac{4 \cdot 0,95^2}{7800^2} = \frac{60}{10^9} \text{ m}^3/\text{sek} \cdot \text{m}^2 = 60 \text{ l/sek} \cdot \text{km}^2.$$

Selle äravoolumooduli suuruse alusel tuleb arvutada kollektorite põiklõige põllukülvikorra juures. Olenevalt sademete ja auramise suurusest tuleb seda äravoolunormi suurendada või vähendada. Üldiselt on soovitatav kollektorite põiklõiked arvutada põllumaade alla kuivendusel äravoolumooduli alusel, mille suurus vastab 6,7-kordsele pikaajalisele aastakeskmisele äravoolumoodulile ( $\frac{60}{9} = 6,7$ ).

Nimetatud äravoolu suurusele vastab 5%-lise tõenäosusega suvine maksimaalne äravool vesikonnast, mille soostumise protsent on 100,  $k_{95\%} = 0,1$  ja  $F = 10 \text{ km}^2$ .

Oigeaegsete külvitööde ja saagi koristamise tööde teostamise võimaldamiseks peab põhjaveepind põldudel olema vähemalt 45 cm maapinnast allpool. Sel ajal tuleb kuivenduse alal kindlustada täielik veesurve kõrgus ehk paisutusvaba äravool.

Käesolevas arvutuse aluseks valitud kuivendussüsteemis kujunevad survekõrgus ja äravoolu suurus külvi- ja koristusajal järgmiseks:

$$H = 1,0 - 0,45 = 0,55 \text{ m ja } q = \frac{4 \cdot 0,55^2}{7800^2} = \frac{20}{10^9} \text{ m}^3/\text{sek} \cdot \text{m}^2 = 20 \text{ l/sek} \cdot \text{km}^2.$$

Äravoolu moodulile 20 l/sek.km<sup>2</sup> vastab külviaegne äravool tõenäosusega 33% (valemi (4) alusel) ja sügisene keskmine äravool tõenäosusega 9% (valemi (6) alusel, kui  $k_{95\%} = 0,0$ ) ning suvine keskmine äravool tõenäosusega ligikaudu 1,5% (valemi (5) alusel) ehk 2,2-kordne pikaajaline aastakeskmine äravool.

Sellest järedub, et magistraalkraavide ja eesvoolude põiklõigete suurus, kui nende läheduses asuvad põllumaad, tuleb arvutada väikeste vesikondade ( $F \leq 5 \text{ km}^2$ ) puhul 2,2-kordse pikaajalise aastakeskmise äravoolu alusel. Suuremate vesikondade ( $F > 5 \text{ km}^2$ ) puhul tuleb magistraalkraavid arvutada 33%-lise tõenäosusega külviaegse äravoolu ehk 9%-lise tõenäosusega sügisese keskmise äravoolu alusel. Sealjuures ei ole lubatav veepinna paisutus kollektorite või kuivendusdreenide suudmeis.

Magistraalkraavide kontrollarvutust on soovitatav teostada 5%-lise tõenäosusega suvise maksimaalse äravoolu alusel, et oleks võimalik hinnata piirkonda, kus on takistatud põhjavee alanemine suurvee ajal.

Eespool oli märgitud, et arvutuse aluseks valitud kuivenduse süsteemis põllumaade puhul on põhjaveetaseme juures 0,45 m allpool maapinda äravool dreenidest võrdne 2,2-kordse aastakeskmise äravoolu suurusega. Asetades need suurused valemisse

$E = 2H \sqrt{\frac{k}{q}}$ , kus  $k$  on antud m/sek. ja  $q$  — m<sup>3</sup>/sek. m<sup>2</sup>, saame

$$E = 2(h - 0,45) \sqrt{\frac{k}{2,2q}} = 1,35 (h - 0,45) \sqrt{\frac{k}{q}}.$$

Kui  $\bar{q}$  on antud l/sek. km<sup>2</sup> ja  $k$  — cm/sek.,

$$\text{siis } E = 4260 (h - 0,45) \sqrt{\frac{k}{q}}, \quad (8)$$

kus  $h$  — dreenide sügavus m-tes;

$k$  — filtratsiooni koefitsient cm/sek.;

$\bar{q}$  — pikaajaline aastakeskmise äravoolumoodul l/sek. km<sup>2</sup>.

Valemi (8) alusel on võimalik arvutada dreenide vahekaugust, põllukülvikorra jaoks kuivendatavatel maadel juhul, kui dreenid asuvad vettpidaval kihil.

Kui vettpidav kiht asub dreenidest küllalt sügaval, võib äravool dreenidest tunduvalt suureneada, sest surve all olev põhjavesi tungib dreenidesse ka allpool dreene asuvaist kihtidest. Seetõttu väheneb vooluhulk ülalpool dreene asuvas kihis, mille arvel võib suurendada dreenide vahekaugust.

Kasutades A. N. Kostjakovi dreenaži äravoolu võrrandit (<sup>3</sup>), mis on kehtiv sel juhul, kui vettpidav kiht asub allpool dreene ja eespool toodud arvutusi, kus dreenid asuvad vettpidaval kihil, on dreenide vahekauguse arvutamiseks põllumaade jaoks tuletatud järgmine üldvalem, mis on kehtiv, kui dreenid asuvad ülalpool vettpidavat kihti:

$$E = 4260 \sqrt{\frac{k_1(h - 0,45)^2 + 0,86 ak_2 (h - 0,45)}{q}}, \quad (9)$$

kus  $k_1$  — ülalpool dreene asuva pinnase kihi kaalutud keskmine filtratsiooni koefitsient cm/sek.;

$k_2$  — allpool dreene asuva pinnase kihi kaalutud keskmine filtratsiooni koefitsient cm/sek.;

$a$  — allpool dreene asuva vettjuhtiva kihi tusedus m-tes;  $h$  ja  $q$  tähendused on endised.

## 2. Niitude kuivendamine

Niitude puhul on liigniiskusest tingitud saagikaod mõnevõrra vähemad kui põlluvilja külvikorra juures. Näiteks külviaja hilinemisest tingitud saagikadudega ei tule siin arvestada, sest niidu kamara uuendamist teostatakse mitmeaastaste vaheaegade järel.

Heintaimed on vähem tundlikud uputuskahjustuste suhtes ja nendes kohtades, mis asuvad väljaspool eesvoolude uputuspiirkondi, ei ole vaja arvestada suurvete uputuste kahjustusi. Uputuste piirkonnas asuvaltel niitudel tuleb arvestada peamiselt heinakoristamisega seotud uputuste kahjusid.

Peamised liigniiskusest tingitud kahjustused niidumaadel on põhjustatud liialt kõrgest põhjavee seisust vegetatsiooni ajal ja saagikadudest ädala koristamise ajal vihmasel sügisel, kui masinate ja veokite liiklemine on takistatud.

Uurimiste põhjal, mis on teostatud Eesti NSV Teaduste Akadeemia Maa- ja Sookultuuri Instituudis (<sup>2</sup>) ja Valgevene NSV-s (<sup>4</sup>), võib otsustada, et põhjaveetaseme tõusu iga sentimeetri kohta üle kuivendusnormi on oodata saagi vähenemist 2% ulatuses.

Sügisest liigniiskusest põhjustatud saagikadude arvutamisel niitudel on lähtunud oletusest, et sügisene ädalasaak moodustab 25% üldsaagist ja juhul, kui põhjaveetase drenide keskel sügiskuudel keskmiselt on 35 cm või vähem allpool maapinda, siis jääb 50% ädalast koristamata. Seega moodustavad saagikaod ühe juhu kohta ligikaudu 12% aastasaagist. Kui on teada sügisese keskmise äravoolu tõenäosus, mille puhul on võimalikud sellised kaod, siis iga sügisese äravoolu tõenäosuse protsendi kohta moodustavad saagikaod 0,12% üldsaagist.

Saagikadude arvutuse tulemused kulturniitude kohta juhul, kui drenid asuvad vettpidaval kihil ja nende sügavus on 1 m vastavalt mitmesugusele kuivendusastmele, on koondatud tabelisse 2.

Tabel 2  
Liigniiskusest põhjustatud aastakeskmised saagikaod olenevalt kuivendusastmest (niidukülvikorra puhul)

$\sqrt{\frac{1}{A_n}}$	Maksimaalse äravoolu moodul $q_{\max}$ 1/sek.km <sup>2</sup>	Kuivendus-süsteemi eksploatat-sioonikulud (aastas prot-sentides üldsaagist)	Liigniiskusest põhjustatud saagi-kaod (protsentides üldsaagist)			Kuivenduse kulude ja saagikadude summa (protsenti-des üld-saagist)
			kõrgest põhjavee seisust	saagi korista-misel	kokku $Y_n$	
6 000	100	8,1	0	0,1	0,1	8,2
7 000	74	7,2	0,1	0,3	0,4	7,6
8 000	56	6,6	0,5	0,7	1,2	7,8
8 980	45	6,1	1,1	1,2	2,3	8,4
9 800	37	5,8	2,0	1,8	3,8	9,6
11 000	30	5,4	5,3	2,8	8,1	13,5
12 000	25	5,2	8,5	3,6	12,1	17,3
13 000	21	5,0	12,7	4,6	17,3	22,3
14 000	18	4,8	18,4	5,5	23,9	28,7
16 000	14	4,5	30,7	7,1	37,8	42,3
17 500	12	4,3	39,5	7,8	47,3	51,6
19 680	9	4,1	52,4	8,7	61,1	65,2

Tabelist nähtub, et kasulikumaks kuivendussüsteemiks kulturniitude puhul tuleks lugeda süsteemi, kus  $\sqrt{\frac{1}{A_n}} = 7000$ . Et saakide kaod kuiven-duse intensiivsuse vähenemisega alguses õige aeglaselt suurenevad, siis on optimaalse kuivenduse intensiivsuse leidmiseks tuletatud tabeli andmetel järgmine võrrand:

$$\sqrt{\frac{1}{A_n}} = 180 Y_n + 9120,$$

kus  $Y_n$  — liigniiskusest tingitud saagikaod kulturniitudel. Kui  $Y_n = 0$ , siis  $\sqrt{\frac{1}{A_n}} = 9120$ . Sellest kuivendusastmest alates algab kuivenduse inten-siivsuse vähenemisega saagikadude järsk suurenemine. Seepärast on vali-tud kulturniitude kuivendussüsteemide arvutuse aluseks süsteem, kus

$$\sqrt{\frac{1}{A_n}} = 9120 \text{ ehk } A_n = \frac{1}{9120^2}.$$

Selles süsteemis on maksimaalseks äravoolumooduli suuruseks valemi

$q_{\max} = 4A_n H_{\max}^2$  alusel, kui maksimaalseks põhjaveepindade vaheks võtta  $H_{\max} = 0,95$  m, 43 l/sek. km<sup>2</sup>. Äravoolu suurusele 43 l/sek. km<sup>2</sup> vastab ligikaudu 4,8-kordne pikaajaline aastakeskmise äravool.

Sellest järeldub, et kollektorite põiklõiked tuleb arvutada kultuurniidu alla kuivendataval maa-alal 4,8-kordse pikaajalise aastakeskmise äravoolu suuruse alusel.

Saagi koristamise tööde võimaldamiseks peab põhjaveepind kultuurniidul olema vähemalt 0,40 m allpool maapinda. Sel ajal tuleb kindlustada paisutusvaba vee äravool. Arvutuse aluseks valitud kuivendussüsteemis moodustab äravoolu mooduli suurus põhjavee survekõrguse juures  $H = 1,00 - 0,40 = 0,60$  m,

$$q = \frac{4 \cdot 0,60^2}{9120^2} = \frac{17,4}{10^9} \text{ m}^3/\text{sek.m}^2 = 17,4 \text{ l/sek.km}^2.$$

Sellele äravoolumoodulile vastab eeltoodud äravooluvalemite alusel sügisene keskmine äravool tõenäosusega ligikaudu 13% (valemi (6) alusel, kui  $k_{p5\%} = 0$ ) ja suvine keskmine äravool tõenäosusega ligikaudu 2,5% (valemi (5) alusel) ehk 1,9-kordne pikaajaline aastakeskmise äravool.

Selleks, et detailkuivenduse võrk võiks takistuseta töötada ajal, millal on võimalik kuivendusala masinatega liikuda, peab veepind magistraalkraavis olema vähemalt samal kõrgusel või madalamal kui kuivendusvõrgus. Siit järeldub, et magistraalkraavide ja eelvoolude põiklõigete suurus, kui nende mõju piirkonnas asuvad kultuurniidud, tuleb arvutada vähemate vesikondade ( $F \leq 5$  km<sup>2</sup>) puhul 1,9-kordse pikaajalise aastakeskmise äravoolu alusel. Suuremate vesikondade ( $F \geq 5$  km<sup>2</sup>) puhul tuleb magistraalkraavid arvutada 13%-lise tõenäosusega sügisese keskmise äravoolu alusel, mille juures ei ole lubatav veepinna paisutus kollektorites.

Magistraalkraavide kontrollarvutust on soovitav teostada 5%-lise tõenäosusega suvise maksimaalse äravoolu alusel, mille juures veepind peaks jääma kraavi kallastest allapoole. Sellega välditakse suviste uputuste kahjustused, mille kestus ei ületa 3 päeva, nagu see selgub andmetest tabelis 3, kus on näha, et 5%-lise tõenäosusega suvisele maksimaalsele äravoolule vastava vooluhulga kestus on suvekuudel (Leivajõe vesikonnas) vähem kui 3 päeva.

Tabel 3

Suviste ja kevadiste uputuste korduvus ja nendest põhjustatud saagikaod protsentides külvikorra üldsaagist

Suvine maksimaalne äravool Leivajõel — Pajubas		Suviste uputuste arv kestusega üle 3 päeva	Kevadiste uputuste arv kestusega üle 10 päeva	Saagikaod protsentides külvikorra üldsaagist		
Tõenäosus protsentides	moodul 1/sek.km <sup>2</sup>	periood 1928—1948		kartul	talivilil	kokku
5	57	—	1	—	0,18	0,18
10	54	1	1	0,55	0,18	0,73
15	48	2	3	1,10	0,54	1,64
25	41	2	5	1,10	0,90	2,00
35	35	4	8	2,20	1,44	3,64

Dreenide vahekauguse arvutamiseks kultuurniidu alla kuivendataval maa-alal, kui dreenid asuvad vettpidaval kihil, võib kasutada, samuti kui

põllumaade puhul, valemil  $E = 2H \sqrt{\frac{k}{q}}$ . Põhjaveetaseme juures 0,40 m

allpool maapinda esineb arvutuse aluseks valitud kuivendussüsteemides 1,9-kordne aastakeskmise äravool, seega

$$E = 2(h - 0,40) \sqrt{\frac{k}{1,9q}} = 1,45 (h - 0,40) \sqrt{\frac{k}{q}},$$

kus  $h$  on kuivendusdreenide sügavus m-tes,  $k$  — filtratsiooni koefitsient m/sek. ja  $\bar{q}$  — aastakeskmise äravoolu moodul m<sup>3</sup>/sek.m<sup>2</sup>. Kui  $k$  on antud cm/sek. ja  $\bar{q}$  — l/sek.km<sup>2</sup>, siis saame drenide vahekauguse arvutamiseks kultuurniidu allakuivendataval maa-alal järgmise valemi:

$$E = 4580 (h - 0,40) \sqrt{\frac{k}{q}}. \quad (10)$$

Juhul, kui drenid paiknevad vettpidavast kihist kõrgemal, nagu näiteks tüseda turbakihiiga soodes, siis analoogiliselt põllumaade jaoks tuletatud valemile saame kultuurniitude puhul järgmise drenide vahekauguse valemi:

$$E = 4580 \sqrt{\frac{k_1(h - 0,40)^2 + 0,86 k_2(h - 0,40)}{q}}. \quad (11)$$

Kui võrrelda viimast valemil põllumaade jaoks tuletatud valemiga, siis selgub, et drenide vahekaugused kultuurniitude juures tuleb võtta ligikaudu 17% võrra suuremad kui põllumaade puhul. Kui kultuurniitude uuendamisel kavatakse vahepeal maa-ala kasutada põllumaana, siis tuleb drenide vahekauguse arvutada kaalitud keskmisena põllu ja niidu vahel, võttes kaalude suuruseks ühe või teise külvikorra kestuse aastad.

Eeltoodud drenide vahekauguse valemil vajalik filtratsiooni koefitsient  $k$  määratakse põhjavee taseme taastumise kiiruse järgi puur-augus pärast vee väljapumpamist. Filtratsiooni koefitsiendi  $k$  cm/sek. leidmiseks tuleb mineraalmaades kasutada Põhja Hüdrotehnika ja Melioratsiooni Teadusliku Uurimise Instituudi (СНИИГНМ) poolt soovitatud järgmist valemil:

$$k = 32,6 \frac{r^2}{Ht} \lg \frac{Y_0}{Y},$$

kus  $t$  on põhjaveepinna tõusuaeg sekundites.

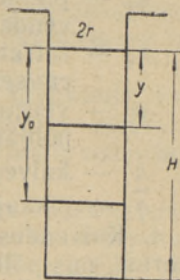
Teiste suuruste tähendused sentimeetrites on näha joonisel.

Ühes puur-augus tehakse kaks mõõtmist ja arvesse võetakse keskmine filtratsiooni koefitsient.

Filtratsiooni koefitsiendi määramiseks turbapinnastes tuleb kasutada G. D. Erkini valemil järgmisel kujul:

$$k = 3,5 \frac{r^2}{t(H + 2r)} \lg \frac{Y_0}{Y},$$

kus tähistused on endised.



Turbapinnase kuivendamisel tuleb arvestada turbalasundi vajumisega. Vajumise määr on turba füüsikalistest omadustest, turbalasundi tusedusest ja kuivenduse sügavusest. Esialgsete arvutuste juures võib hinnata, et vähemlagunenud madalsoode kuivendamisel drenide esialgse sügavuse puhul 1,2—1,4 m toimub drenide (kraavide) põhja vajumine kuni 10% ulatuses arvates lasundi tusedusest, mis asub allpool dreene. Dreenide (kraavide) sügavus väheneb 30—35% ulatuses drenide (kraavide) asetuse sügavusest.

Arvestades nimetatud vajumisega, tuleb kuivendajate sügavuseks turbapinnases valida enne vajumist vähemalt 1,4 m, et pärast vajumist nende sügavuseks jääks ligikaudu 1,0 m.

Turbapinnase filtratsiooni koefitsiendi määramisel tuleb pidada silmas, et soo kuivenduse ja vajumise tõttu väheneb turbalasundi veejuhtivus. See vähenemine on seda suurem, mida intensiivsem on kuivendus ja mida suurem on vajumine. Kui võrrelda turbapinnase filtratsiooni koefitsiendi suurus kuivendatud ja kuivendamata aladel, siis võib leida, et kuivenduse tõttu on need koefitsiendid vähenenud kuni 10 korda.

Turbapinnase veejuhtivus väheneb harilikult veel väga tunduvalt lasundi sügavuse suunas.

Kõigi nimetatud asjaoludega tuleb arvestada turbapinnase kuivendamisel.

### Kokkuvõte

1. Kuivendussüsteemide arvutamisel tuleb lähtuda põhimõttest, et kuivendussüsteemi eksploatatsiooni kulude ja kuivendamise järel esinevate liigniiskusest põhjustatud saagikadude summa oleks minimaalne.

2. Põllumajanduslike kultuuride saagikaod puuduliku kuivenduse juures on põhjustatud peamiselt külviaja hilinemisest, kõrgest põhjaveepinna seisust vegetatsiooni ajal, suvistest suurvee uputustest ja kadudest saagi koristamisel. Seejuures kõrgest põhjaveepinna seisust tingitud kaod on kõige suuremad.

3. Kuivendajate vahekauguse arvutamiseks võib kasutada järgmisi valemeid:

põllu- ja kultuurkarjamaade puhul

$$E = 4260 \sqrt{\frac{k_1(h - 0,45)^2 + 0,86 a k_2(h - 0,45)}{q}}$$

ja kultuurniitude puhul

$$E = 4580 \sqrt{\frac{k_1(h - 0,40)^2 + 0,86 a k_2(h - 0,40)}{q}}$$

kus  $E$  — kuivendajate vahekaugus m-tes;

$k_1$  — pinnase filtratsiooni koefitsient kihtides, mis asuvad ülalpool kuivendajate põhjakõrgust cm/sek.;

$k_2$  — filtratsiooni koefitsient allpool kuivendajate põhjakõrgust cm/sek.;

$a$  — vettjuhtiva pinnasekihi tusedus, mis asub allpool kuivendajate põhjakõrgust ( $a_{\max} = 2$  m);

$h$  — kuivendajate sügavus meetrites;

$\bar{q}$  — pikaajaline aastakeskmise äravoolumoodul 1/sek.km<sup>2</sup>.

4. Kuivendussüsteemide kollektorite arvutamisel tuleb kasutada äravoolu suurust, mis põllumaade puhul vastab 6,7-kordsele ja kultuurniitude juures 4,8-kordsele pikaajalisele aastakeskmisele äravoolule.

5. Magistraalkraavide arvutamiseks võib kasutada vähemate vesikondade ( $F \leq 5 \text{ km}^2$ ) puhul äravoolu suurust, mis põllumaade puhul vastab 2,2-kordsele ja kultuurniitude juures 1,9-kordsele pikaajalisele keskmisele äravoolule, mille juures ei ole lubatud veepinna paisutust kollektorites. Suuremate vesikondade ( $F \geq 5 \text{ km}^2$ ) juures tuleb kasutada külviaegset (3) ehk sügise keskmise äravoolu valemist (6).

6. Magistraalkraavide kontrollarvutust on soovitatav teostada 5%-lise tõenäosusega suvise maksimaalse äravoolu alusel, mille juures veepind peab jääma kraavi kallastest allapoole.

Eesti NSV Teaduste Akadeemia  
Maaparanduse ja Sookultuuri Instituut

Saabus toimetusse  
3. III 1956

#### KIRJANDUS

1. Haller, E., Suvi-teraviljade külviaegade valikust. Tallinn 1947.
2. Eisen, I., Põhjavee sügavuse mõju soomulla viljakusele. «Eesti NSV Teaduste Akadeemia Toimetised» 1954, III kd., nr. 2.
3. Костяков А. Н., Основы мелиорации. Сельхозгиз. Москва 1951.
4. Ивицкий А. Н., Исследования вопросов степени осушения болот. Труды Института болотного хозяйства. Минск 1939.

### ГИДРОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ РАСЧЕТА ОСУШИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ

К. Т. ХОММИК,

кандидат технических наук

#### Резюме

Для расчета осушительных систем в условиях Эстонской ССР выведены формулы, дающие размеры весеннего максимального (1), летнего максимального (2), посевного (3) и (4), среднего летнего (5) и среднего осеннего (6) стока.

При расчете расстояний между осушителями за основу принят принцип, предусматривающий минимальное значение суммы годовых амортизационных и эксплуатационных расходов на осушение, а также годовых потерь урожая от избытка влаги после осушения.

Потери урожая сельскохозяйственных культур при недостаточном осушении имеют место, главным образом, вследствие следующих причин: запоздания сроков сева, высокого уровня грунтовых вод в вегетационный период, затопления и подтопления летними паводками и затягивания сроков уборки урожая.

Наибольшие потери обусловлены высоким стоянием грунтовых вод.

Для расчета расстояний между осушительными дренами выведены формулы (9) и (11), соответственно для полевого и лугового севооборотов.

Расчет коллекторов целесообразно производить — для полевого севооборота на пропуск расхода равного  $6,7 \sqrt{q}F$  и для лугового севооборота —  $4,8 \sqrt{q}F$ , где  $q$  — средний многолетний модуль годового стока и  $F$  — площадь водосбора.

Магистральные каналы, обслуживающие поля с полевыми севооборотами следует рассчитывать на пропуск  $2,2 \bar{q}F$  при площади водосбора меньше  $5 \text{ км}^2$ , а при площади водосборов более  $5 \text{ км}^2$  — на посевной сток с обеспеченностью 33% (по формуле (3)) или же на средний осенний сток с обеспеченностью 9% (по формуле (6)), при котором не следует допускать подпора в устьях коллекторов.

Магистральные каналы для полей с луговым севооборотом следует рассчитывать на пропуск  $1,9 \bar{q}F$  при водосборах до  $5 \text{ км}^2$ , а при площади водосбора более  $5 \text{ км}^2$  — на средний сток с обеспеченностью 13% при пропуске которого не должно создаваться подпора в осушительной сети.

*Институт мелиорации и освоения осушенных земель  
Академии наук Эстонской ССР*

Поступила в редакцию  
3 III 1956

## HYDROLOGISCHE GRUNDLAGEN ZUR BERECHNUNG DER ENTWÄSSERUNGSSYSTEME

K. HOMMIK

### *Zusammenfassung*

Zur Berechnung der Entwässerungssysteme sind Formeln für Frühjahrshochwasser (1), Sommerhochwasser (2), Frühjahrssaatzeit (3), (4), Sommermittel- (5) und Herbstmittelwasser (6) gefunden.

Die Berechnungen sind ausgeführt nach den Grundprinzipien, dass die Summe der jährlichen Instandhaltungskosten der Entwässerungssysteme und der Ernteverluste, bedingt von der ungenügenden Entwässerung, minimal sein müssten.

Für die Berechnung der Entfernung der Dräns in Acker- und Wiesenbau sind entsprechende Formeln (9), (11) gegeben.

Die Querschnitte der Sammler müssen beim Ackerbau nach der 6,7fachen und beim Wiesenbau nach der 4,8fachen Jahresmittelwassermenge berechnet werden.

Die Vorfluter und Hauptgräben müssen beim Ackerbau nach der Frühjahrssaatzeit-Wassermenge mit der Wahrscheinlichkeit von 33 v. H. oder nach den Herbstmittelwassermenge mit der Wahrscheinlichkeit von 9 v. H. berechnet werden.

Beim Wiesenbau berechnet man die Hauptgräben nach den Herbstmittelwassermengen mit der Wahrscheinlichkeit von 13 v. H.

Die gegebenen Wassermengen dürften in den Mündungen der Entwässerungssysteme nicht gestaut werden.

*Institut für Kulturtechnik und Moorkultur  
der Akademie der Wissenschaften der Estnischen SSR*

Eingegangen  
am 3. März 1956