

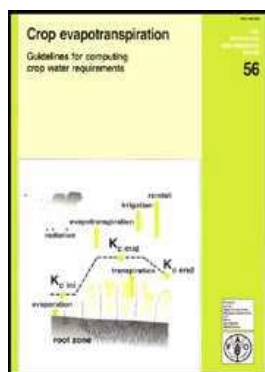


Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, v.v.i.

Oddělení hydrologie a ochrany vod

METODIKA ŘÍZENÍ ZÁVLAHOVÉHO REŽIMU PLODIN VÝPOČETNÍM PROGRAMEM IRRIPROG (S PŘÍLOHAMÍ A, B, C na CD-ROM)

Pavel Spitz, Josef Zavadil, Renata Duffková,
Svatopluk Korsuň, Marek Nechvátal, Ivo Hemerka



Praha 2011



Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, v.v.i.

Oddělení hydrologie a ochrany vod

**METODIKA
ŘÍZENÍ ZÁVLAHOVÉHO REŽIMU PLODIN
VÝPOČETNÍM PROGRAMEM IRRIPROG
(S PŘÍLOHAMÍ A, B, C na CD-ROM)**

**Pavel Spitz
Josef Zavadil
Renata Duffková
Svatopluk Korsuň
Marek Nechvátal
Ivo Hemerka**

Praha 2011

„Metodika řízení závlahového režimu plodin výpočetním programem IRRIPROG (s přílohami A, B, C na CD-ROM)“ byla vypracována v rámci řešení výzkumného záměru VÚMOP, v.v.i., MZE0002704902 „Integrované systémy ochrany a využití půdy, vody a krajiny v zemědělství a rozvoji venkova“, etapy 05 „**Výzkum evapotranspirace na zavlažovaných pozemcích a vytvoření postupů pro racionalizaci závlah v procesu narůstajícího zemědělského sucha**“. Publikace je určena provozovatelům a uživatelům závlah i ostatní odborné veřejnosti. Výstup je doporučen k publikování Ministerstvem zemědělství MZE č.j..... ze dne

Odpovědný řešitel etapy: Ing. Marek Nechvátal

Autorský kolektiv: Ing. Pavel Spitz, CSc.
Ing. Josef Zavadil, CSc.
Ing. Renata Dufková, Ph.D.
Doc. Ing. Svatopluk Korsuň, Ph.D.
Ing. Marek Nechvátal
Ing. Ivo Hemerka

Recenzenti: Doc. Ing. Jiří Filip, CSc.
Ing. Jaroslava Tůmová

© Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, v.v.i.
oddělení hydrologie a ochrany vod

Ředitel ústavu: Ing. Jiří Hladík, Ph.D.

ISBN 978-80-87361-11-5

PŘEDMLUVA

Nejúčinnějším opatřením proti zemědělskému suchu jsou závlahy. Řadou pokusů provedených v ČR i v zahraničí bylo jednoznačně prokázáno, že správným řízením závlahového režimu lze dosáhnout značných úspor závlahové vody i elektrické energie a přitom dosáhnout optimálních, kvalitních výnosů tržního produktu plodin. Důležitost úspor závlahové vody může významně narůst v důsledku probíhajících klimatických změn.

V roce 2007 byl ve Výzkumném ústavu meliorací a ochrany půdy (VÚMOP) vyvinut výpočetní závlahový program ZAPROG 1 (Spitz et al., 2007), který je určen především uživatelům závlahy (samostatně hospodařícím zemědělcům i podnikům) a umožňuje jim pomocí vlastního PC, tedy vlastním bilancováním, exaktně stanovit potřebu doplňkové závlahy pro pěstované plodiny na jejich pozemku ve vegetačním období.

V trendu, co nejvíce pomoci uživatelům závlahy v řízení zavlažování, VÚMOP, v.v.i. nadále pokračuje. Dalším vyvinutým produktem je proto předložený výpočetní program IRRIPROG. Program umožňuje uživatelům závlahy pomocí vlastní výpočetní techniky, tedy opět vlastním bilancováním, exaktně stanovit potřebu doplňkové závlahy pro pěstované plodiny na jejich pozemku ve vegetačním období. Jedná se o program jednoduchý na obsluhu, založený na bilanci obsahu vody v půdě. Program je možné využívat pro řízení závlah plodin postřikem nebo mikrozávlahou na pozemcích o jakékoliv výměře. Jen pokud má pozemek značně heterogenní půdu, je vhodné jej rozdělit na dílčí části. Program pracuje pod operačním systémem Windows XP a vyžaduje, aby zájemce o něj měl na svém počítači nainstalován tabulkový editor Excel a editor Word ze softwarového produktu Microsoft Office.

Předložený program IRRIPROG pro řízení závlahového režimu plodin je zpracován v editoru Excel, výpočet evapotranspirace plodin je založen na tzv. Metodě FAO 56 uveřejněné v roce 1998 v publikaci FAO Irrigation and drainage paper - 56 vydané v Římě (Allen et al., 1998). Metoda FAO 56 je dosti složitou metodou koncipovanou tak, aby ji bylo možno použít celosvětově pro různé klimatické oblasti i půdní poměry.

Metoda FAO 56 je založena na stanovení tzv. referenční evapotranspirace ET_o , která se vypočítává pomocí rovnice sestavené autory Penman-Monteith. Přepočet referenční evapotranspirace na evapotranspiraci plodiny dobře zásobované vodou ET_c se uskutečňuje nasobením ET_o koeficientem plodiny K_c . V případě, že množství vody v půdě poklesne pod určitou hranici, tzv. mez zavlažování dochází k vodnímu stresu plodiny, při kterém se snižuje evapotranspirace plodiny, která nabude hodnoty $ET_{c\ adj}$, a která se vypočte vynásobením evapotranspirace plodiny ET_c koeficientem stresu plodiny K_s , který může nabýt hodnot mezi 0 až 1. Je ještě třeba poznamenat, že referenční evapotranspirace ET_o je definovaná jako evapotranspirace referenčního povrchu hypotetického trávnicku výšky 0,12 m, fixního povrchového odporu $70\text{ s}\cdot\text{m}^{-1}$ a albeda 0,23.

Je rovněž třeba dodat, že základní matematické vztahy v Metodě FAO 56 byly odvozeny pro semihumidní klima ($RH_{min} \approx 45\%$, $u_2 \approx 2\text{ m/s}$), tedy jsou vhodné i pro výpočty v ČR.

Pro předložený perspektivní způsob řízení závlahy hovoří nejen masové rozšíření osobní výpočetní techniky, ale také masové rozšíření moderních informačních technologií, kterými lze získat aktuální denní vstupní meteorologické údaje do programu IRRIPROG, tj. pomocí e-mailu a mobilních telefonů (s možností zasílání SMS zpráv), umožňujících operativní písemný kontakt mezi komunikujícími účastníky a perspektivně také pomocí Internetu. V neposlední řadě pro navrhovaný způsob řízení závlahy hovoří i neustále se zdokonalující a zlevňující potřebná přístrojová technika, ze které lze získat naměřené údaje pochůzkou vizuálně nebo přímo do počítače anebo také dálkovým přenosem.

V říjnu 2011

Autoři

OBSAH	strana
1. PŘEHLED POUŽITÝCH HLAVNÍCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	6
2. ÚVOD.....	8
3. VELIČINY A MATEMATICKÉ VZTAHY UŽITÉ V PROGRAMU IRRIPROG.....	9
3.1. Bilanční rovnice pro výpočet zásoby vody v půdě	9
3.2. Analýza členů bilanční rovnice pro výpočet zásoby vody v půdě	9
3.2.1. Zásoba vody v půdě v předchozím dni W_{i-1}	9
3.2.2. Využitelná denní srážka $\alpha_S \cdot S_i$	9
3.2.3. Závlahová dávka M_{di}	10
3.2.4. Přírůstek obsahu vody v půdě dW_{hi}	15
3.2.5. Průsak odtokem vody do spodiny W_{oi}	15
3.2.6. Denní evapotranspirace ET_i	15
3.2.6.1. Referenční evapotranspirace ET_o	15
3.2.6.2. Evapotranspirace vodou dobře zásobované plodiny ET_c	19
3.2.6.3. Evapotranspirace v případě vodního stresu plodiny $ET_{c\ adj}$	24
4. METODY STANOVENÍ ZÁKLADNÍCH VSTUPNÍCH VELIČIN DO PROGRAMU.....	26
4.1. Geografie.....	26
4.2. Meteorologie.....	26
4.2.1. Stanovení vstupních meteorologických dat vlastním měřením.....	26
4.2.2. Získávání vstupních meteorologických dat naměřených ČHMÚ.....	27
4.3. Hydropedologie.....	27
4.3.1. Polní vodní kapacita Θ_{PK}	27
4.3.2. Bod vadnutí Θ_V	28
4.3.3. Minimální zásoba půdní vláhy $Z_{v,min}$	29
4.4. Agronomie.....	29
4.5. Závlaha.....	30
5. POPIS PROGRAMU.....	31
5.1. Návod na práci se soubory a podsoubory.....	31
5.1.1. Vytvoření souborů v paměti PC uživatele.....	32
5.1.2. Vytvoření nového souboru pro bilancování půdní vlhkosti plodin programem IRRIPROG.....	32
5.1.3. Instrukce k vyplnění části obsahující základní vstupní údaje o pozemku a plodině.....	33
5.1.4. Instrukce k výpočetní tab. 6 Bilance půdní vlhkosti.....	35
5.1.5. Komentář k výpočetní tab. 7 Sumární bilanční tabulka za období od III. do X. měsíce.....	37
5.1.6. Komentář k ukázkovým příkladům A1,A2, A2a, A3 v přílozeA.....	37
5.1.7. Tisk výsledků.....	38
5.2. Souhrn hlavních zásad pro práci s programem.....	40
6. LITERATURA.....	42

PŘÍLOŽENÝ CD-ROM se složkou „IRRIPROG s přílohami A, B, C“ obsahuje:

PŘÍLOHA A: ŠABLONA S PROGRAMEM IRRIPROG, ŠABLONY PRO TISK VÝSLEDKŮ
A UKÁZKOVÉ PŘÍKLADY A1, A2, A2a, A3

PŘÍLOHA B: TABULKY S DOPORUČENÝMI PODKLADY PRO VSTUPNÍ ÚDAJE
PLODIN DO PROGRAMU

PŘÍLOHA C: TABULKY S DOPORUČENÝMI DÉLKAMI VÝVOJOVÝCH STÁDIÍ
PLODIN L , KOEFICIENTY PLODIN K_c A DATY SADBY A ZAČÁTKU
SKLIZNĚ (DOZRÁNÍ) PLODIN

1. PŘEHLED POUŽITÝCH HLAVNÍCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

AMS	— automatická meteorologická stanice
ČHMÚ	— Český hydrometeorologický ústav
c_p	— specifické (měrné) teplo [$\text{MJ kg}^{-1} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$]
dh_z	— přírůstek hloubky zavlažování [cm]
d_p	— počet dní od zasetí do začátku sklizně plodiny [den]
d_r	— inverzní hodnota relativní vzdálenosti Země – Slunce [-]
dW_h	— přírůstek obsahu vody v půdě [mm]
ET_c	— evapotranspirace vodou dobře zásobované plodiny [$\text{mm} \cdot \text{den}^{-1}$]
$ET_{c \text{ adj}}$	— evapotranspirace v případě vodního stresu plodiny [$\text{mm} \cdot \text{den}^{-1}$]
ET_o	— evapotranspirace referenční [$\text{mm} \cdot \text{den}^{-1}$]
$e^o(T_{\max})$	— tlak nasycené vodní páry při maximální denní teplotě vzduchu [kPa]
$e^o(T_{\min})$	— tlak nasycené vodní páry při minimální denní teplotě vzduchu [kPa]
e_a	— průměrný denní tlak vodní páry [kPa]
FAO	Food and Agriculture Organization of the United Nations
G	— tok tepla v půdě [$\text{MJ m}^{-2} \text{ den}^{-1}$]
G_{sc}	— solární konstanta [$0,0820 \text{ MJ m}^{-2} \text{ min}^{-1}$]
$h_{pl, \max}$	— maximální výška plodiny [m]
h_z	— hloubka zavlažování [cm]
$h_{z, \max}$	— hloubka zavlažování maximální [cm]
$h_{z, \min}$	— hloubka zavlažování minimální [cm]
IRRIPROG	— závlahový program (irrigation program)
J	— počet dní v roce od prvního ledna [-]
K_c	— koeficient plodiny [-]
$K_{c \text{ ini}}$	— koeficient plodiny pro její počáteční vývojové stádium [-]
$K_{c \text{ dev}}$	— koeficient plodiny pro její rozvojové stádium [-]
$K_{c \text{ mid}}$	— koeficient plodiny pro její střední vývojové stádium [-]
$K_{c \text{ late}}$	— koeficient plodiny pro její pozdní vývojové stádium [-]
$K_{c \text{ end}}$	— koeficient plodiny pro její vegetační konec, nebo začátek sklizně [-]
K_s	— koeficient stresu plodiny [-]
k_z	— ztrátový součinitel závlahové vody [-]
L_{ini}	— délka počátečního vývojového stádia plodiny [počet dní]
L_{dev}	— délka rozvojového stádia plodiny [počet dní]
L_{mid}	— délka středního vývojového stádia plodiny [počet dní]
L_{late}	— délka pozdního vývojového stádia plodiny [počet dní]
M'_d	— závlahová dávka brutto [mm]
M_d	— závlahová dávka netto [mm]
P	— atmosférický tlak [kPa]
$RH_{\max}$	— denní maximum relativní vlhkosti vzduchu [%]
$RH_{\min}$	— denní minimum relativní vlhkosti vzduchu [%]
R_a	— denní mimozemská radiace [$\text{MJ m}^{-2} \text{ den}^{-1}$]

R_n	— čistá radiace povrchem půdy pokrytém plodinou [$\text{MJ m}^{-2} \text{den}^{-1}$]
R_{nl}	— dlouhovlnná radiace [$\text{MJ m}^{-2} \text{den}^{-1}$]
R_{ns}	— čistá sluneční krátkovlnná radiace [$\text{MJ m}^{-2} \text{den}^{-1}$]
R_s	— globální radiace [$\text{MJ m}^{-2} \text{den}^{-1}$]
R'_s	— globální radiace [$\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$]
R_{so}	— vypočtená radiace při jasné obloze [$\text{MJ m}^{-2} \text{den}^{-1}$]
S	— denní srážka [$\text{mm} \cdot \text{den}^{-1}$]
T_{max}	— denní teplota vzduchu maximální [$^{\circ}\text{C}$]
T_{min}	— denní teplota vzduchu minimální [$^{\circ}\text{C}$]
$T_{stř}$	— denní teplota vzduchu průměrná [$^{\circ}\text{C}$]
u_z	— rychlost větru měřená ve výšce z m nad zemí [$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$]
u_2	— rychlost větru měřená ve výšce 2 m nad zemí [$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$]
TP	— teplotní pásmo [číslice 1 až 3]
VÚMOP	— Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy
W	— okamžitý obsah vody v půdě [mm]
W_o	— ztráta vody průsakem do spodiny [mm]
W_v	— využitelná vodní kapacita [mm]
$W_{\theta V}$	— bod vadnutí [mm]
$W_{\theta PK}$	— polní vodní kapacita [mm]
$W_{\theta Z}$	— dolní hranice zásoby vody v půdě [mm]
z	— geodetická výška místa nad mořem [m]
z_m	— výška měření rychlosti větru nad zemí [m]
$Z_{v,min}$	— minimální zásoba půdní vláhy [$\% \theta_P$]
α	— albedo (koeficient odrazu porostu) [-]
α_s	— koeficient využití srážky [%]
γ	— psychrometrická konstanta [$\text{kPa } ^{\circ}\text{C}^{-1}$]
δ	— solární deklinace [rad]
Δ	— sklon křivky tlaku nasycené vodní páry [$\text{kPa } ^{\circ}\text{C}^{-1}$]
ε	— poměr molekulárních hmotností vodní páry/suchý vzduch [0,622]
λ	— skupenské (latentní) teplo výparné [MJ kg^{-1}]
θ_P	— množství kapilární vody v půdě fyziologicky využitelné rostlinou [% obj.]
θ_{PK}	— polní vodní kapacita [% obj.]
θ_V	— bod vadnutí [% obj.]
θ_Z	— dolní hranice obsahu vody v půdě [% obj.]
σ	— Stefan-Boltzmannova konstanta [$4,903 \cdot 10^{-9} \text{ MJ K}^{-4} \text{ m}^{-2} \text{den}^{-1}$],
φ	— zeměpisná šířka [rad]
φ_s	— zeměpisná šířka [úhlové stupně]
ω_s	— úhel paprsků v hodině západu slunce [rad]

2. ÚVOD

V roce 2007 byla vydána „Metodika pro řízení závlahového režimu plodin výpočetním programem ZAPROG 1 s přílohami A, až E na CD-ROM“, (Spitz et al., 2007) obsahující nejen metodiku, ale i v editoru Excel vytvořený výpočetní program s ukázkovými příklady v příloze A a také obsahující hodnoty potřebných vstupních údajů do programu na přílohách B až E. Výpočet evapotranspirace plodin, tj. jedné z nejdůležitějších složek pro bilanci aktuální denní zásoby vody v půdě, je v programu založen na koeficientech biologické křivky plodin.

Předložený program IRRIPROG pro řízení závlahového režimu plodin je zpracován v editoru Excel, výpočet evapotranspirace plodin je založen na metodě FAO 56 publikované v roce 1998 (Allen et al., 1998). Metoda FAO 56 je dosti složitou metodou koncipovanou tak, aby ji bylo možno použít celosvětově pro různé klimatické oblasti i půdní poměry. Program IRRIPROG je sestaven z veličin, vypočítávajících denní evapotranspiraci plodin metodou FAO 56 a lze jej použít pro řízení závlahy postřikem i mikrozávlahou. Ačkoliv výpočty vycházejí ze značně složité metody FAO 56 s rozsáhlou řadou vzorců s mnoha veličinami, jejich využití v praxi v rámci vytvořeného programu IRRIPROG pro PC je velmi jednoduché.

Výpočetní závlahový program IRRIPROG je určen především uživatelům závlahy (samostatně hospodařícím zemědělcům i podnikům) a umožňuje jim pomocí vlastního PC, tedy vlastním bilancováním, exaktně stanovit potřebu doplňkové závlahy pro pěstované plodiny na jejich pozemku ve vegetačním období. Předpokládá se rovněž, že program může sloužit i zájemcům z řad ostatní odborné veřejnosti. Jedná se o program jednoduchý na obsluhu, založený na bilanci zásoby vody v půdě. Program pracuje pod operačním systémem Windows XP a vyžaduje, aby zájemce o něj měl na svém počítači nainstalován tabulkový editor Excel a editor Word ze softwarového produktu Microsoft Office.

Předložená metodika seznamuje zájemce s použitými veličinami, jejich kvantifikací a možnostmi pořízení, principy výpočtu, seznamuje s činností programu, obsahuje návod na práci s programem. Součástí metodiky je také CD-ROM, obsahující přílohy A, B, C. Přílohy A a C jsou vytvořeny v editoru Excel, příloha B v editoru Word. Příloha A obsahuje šablonu programu, šablony pro tisk a slouží také k vysvětlení použití programu IRRIPROG na ukázkových příkladech A1, A2, A2a, A3. Příloha B: obsahuje tabulky s doporučenými podklady pro vstupní údaje plodin do programu, v příloze C jsou uvedeny tabulky s doporučenými délkami vývojových stádií plodin L , koeficienty plodin K_c a daty sadby a začátku sklizně (dozrání) plodin. Blíže je náplň uvedených příloh zřejmá z jejich nadpisů, které jsou prezentovány v obsahu metodiky, jejich použití je vysvětleno na příslušném místě v textu metodiky.

V textu metodiky jsou obsaženy tabulky, převzaté z programu IRRIPROG a nejsou vždy systematicky řazeny za sebou podle jejich čísla. Buňky těchto tabulek, které je třeba v programu vyplnit textovými nebo číselnými údaji jsou vybarveny azurově, nebarevné mají buď fixně zapsané údaje, anebo se v buňkách automaticky zobrazují vypočítávané údaje. Bezbarvé buňky jsou chráněny proti zápisu, tzn. že uživatel je nemůže přepisovat, a tak je program chráněn proti chybám, které by mohly nastat zápisem do nesprávné buňky. Výjimku tvoří buňky v tab. 5a (Doporučené hodnoty koeficientů využitelnosti denních srážek α_s v závislosti na velikosti denní srážky a průměrné sklonitosti zavlažovaného pozemku), které jsou vybarveny azurově a přitom mají fixně zapsané údaje. Je to proto, že při možném zavádění uvedených údajů po sloupcích do vstupních dat programu je potřeba, aby tato data zůstala vybarvena azurově.

3. VELIČINY A MATEMATICKÉ VZTAHY UŽITÉ V PROGRAMU IRRIPROG

V následujícím jsou uvedeny matematické vztahy a veličiny použité v programu IRRIPROG.

3.1. Bilanční rovnice pro výpočet zásoby vody v půdě

Program vypočítává s denním krokem aktuální zásobu vody v půdě bilancované plodiny ve vegetačním období od 1. března do 31. října sledovaného roku. Pro výpočet aktuální zásoby vody v půdě v *i-tém* dni W_i je v programu zabudována rekurentní bilanční rovnice:

$$W_i = W_{i-1} + \alpha_S \cdot S_i + M_{di} - ET_i + dW_{hi} - W_{oi} \quad [\text{mm}], \quad (1)$$

kde W_{i-1} je zásoba vody v půdě v předchozím dni *i-1* [mm],

$\alpha_S \cdot S_i$ – využitelná denní srážka v *i-tém* dni [mm],

M_{di} – dodaná netto závlahová dávka v *i-tém* dni [mm],

ET_i – aktuální evapotranspirace v *i-tém* dni [mm],

dW_{hi} – přírůstek zásoby vody v půdě v *i-tém* dni v důsledku prohlubování aktivní vrstvy půdy [mm], stanoví se podle vztahu (7),

W_{oi} – průsak odtokem vody do spodiny v *i-tém* dni [mm].

V každém bilancovaném dni *i* nemusí být všechny členy bilanční rovnice (1) nenulové. Nulovými mohou být využitelná denní srážka $\alpha_S \cdot S_i$, závlahová dávka M_{di} a průsak odtokem vody do spodiny W_{oi} .

V dalším textu je stručně pojednáno o všech členech vyskytujících se na pravé straně bilanční rovnice (1) pro stanovení zásoby vody v půdě, pro zvětšení srozumitelnosti výkladu jsou v textu uvedeny i tabulky, které jsou součástí programu IRRIPROG.

3.2. Analýza členů bilanční rovnice pro výpočet zásoby vody v půdě

3.2.1. Zásoba vody v půdě v předchozím dni W_{i-1}

se stanovuje vztahem (1), aplikovaným rekurentně v předchozím dni.

3.2.2. Využitelná denní srážka $\alpha_S \cdot S_i$

se stanoví pomocí zjištěné velikosti denní srážky a koeficientu využitelnosti denní srážky α_S , který je závislý na velikosti srážky a průměrné sklonitosti pozemku. Jeho hodnoty jsou uvedeny v programu na tab. 5a. Pro konkrétní pozemek se vybrané hodnoty zapíše do tab. 5, kde je v její ukázce uveden i konkrétní příklad pro pozemek o nulové sklonitosti.

Tab. 5 Koeficienty využitelnosti denních srážek α_s (s uvedeným příkladem)

Denní srážka S		Koeficient
od	do	využitelnosti denní srážky α_s
[mm]	[mm]	[%]
0,0	4,9	100
5,0	9,9	100
10,0	19,9	100
20,0	29,9	100
30,0	39,9	100
39,9		100

Tab. 5a Doporučené hodnoty koeficientů využitelnosti denních srážek α_s [%] v závislosti na velikosti denní srážky S a průměrné sklonitosti zavlažovaného pozemku

Denní srážka S		Rozmezí průměrné sklonitosti pozemku [%]		
		0 až 4	4 až 10	nad 10
od	do	Koeficient využitelnosti denních srážek α_s [%]		
[mm]	[mm]			
0,0	4,9	100	100	80
5,0	9,9	100	95	67
10,0	19,9	100	90	60
20,0	29,9	100	80	50
30,0	39,9	100	70	40
39,9		100	60	35

Poznámka: průměrná sklonitost pozemku 0 až 4% se považuje za rovinu.

3.2.3. Závlahová dávka M_{di}

Potřeba dodání závlahové dávky plodině M_{di} je v programu avizována, jestliže aktuální zásoba vody v půdě je na dolní hranici půdní vláhy (mezi zavlažování) Θ_z , nebo pod ni poklesne, což je vyjádřeno splněním vztahu:

$$W_{i-1} + \alpha_s \cdot S - ET_i + dW_{hi} \leq \frac{\Theta_z \cdot h_{zi}}{10} \quad [\text{mm}], \quad (2)$$

kde W_{i-1} , α_s , ET_i , dW_{hi} viz vztah (1),

Θ_z je hranice vlhkosti, při jejíž podkročení je výzva k závlaze; stanoví se podle vztahu:

$$\Theta_z = \Theta_v + \frac{Z_{v,min}}{100} \cdot \Theta_p \quad [\% \text{ obj.}], \quad (2a)$$

kde Θ_p je množství kapilární vody v půdě fyziologicky využitelné rostlinou, které je rozdílem mezi polní vodní kapacitou Θ_{PK} a bodem vadnutí Θ_v :

$$\Theta_p = \Theta_{PK} - \Theta_v \quad [\% \text{ obj.}]. \quad (2b)$$

$Z_{v,min}$ je minimální zásoba půdní vláhy v % Θ_p .

Výpočet hodnot Θ_v , Θ_{PK} , $Z_{v,min}$ je uveden v poznámce na konci tohoto odstavce.

h_{zi} je hloubka zavlažování v i -tém dni [cm] vypočtená podle vztahu:

$$h_{zi} = h_{zi-1} + dh_{zi} \quad [\text{cm}], \quad (2c)$$

kde h_{zi-1} je hloubka zavlažování v $i-1$ *tém* dni [cm],

dh_{zi} přírůstek hloubky zavlažování v i -*tém* dni [cm] vypočtený podle vztahu:

$$dh_{zi} = \frac{(h_{z,max} - h_{z,min})}{d_p} d_i \quad [\text{cm}], \quad (2d)$$

kde $h_{z,max}$ je maximální hloubka zavlažování plodiny [cm] je v programu zapisována ve vstupní tab. 3

$h_{z,min}$ – minimální počáteční hloubka zavlažování plodiny [cm] je v programu zapisována ve vstupní tab. 3,

d_p – počet dnů od zasetí do sklizně plodiny, tj. do maximální hloubky zavlažování, stanoví se pomocí vstupní tab. 3 v programu,

d_i – počet dnů od zasetí plodiny, stanoví se pomocí tab. 3 v programu.

Závlahovou dávku M_{di} je třeba v programu zapsat jako dodanou ve sloupci 41 tab. 6 (Bilance půdní vlhkosti) v den, kdy je zahájena závlaha pozemku. Aby nenastala ztráta vody průsakem do spodiny, je třeba dodat závlahovou dávku o velikosti, která nepřekročí polní vodní kapacitu půdy Θ_{PK} . Návrh rozmezí pro dodání velikosti závlahové dávky M_{di} program sděluje uživateli v závlahovém alarmu, který je ve sloupci 40 tab. 6. Rozmezí velikosti M_{di} program stanovuje pomocí vztahu:

$$\frac{\Theta_Z \cdot h_{zi}}{10} - W_i \leq M_{di} \leq \frac{\Theta_{PK} \cdot h_{zi}}{10} - W_i \quad [\text{mm}], \quad (3)$$

kde Θ_Z viz vztah (2a),

h_{zi} viz vztah (2c)

W_i viz vztah (1),

Θ_{PK} [% obj.] viz poznámka.

Je zřejmé, že dolní hranice ve vztahu (3) pro stanovení M_{di} nebude v praxi využívána, neboť při její aplikaci by obvykle docházelo k nedostatečné zásobě vody v půdě dodanou závlahou, která by se proto musela často opakovat. Dolní hranici pro stanovení velikosti M_{di} je proto třeba uvažovat pouze jako teoretickou.

Stanovená velikost závlahové dávky M_{di} podle vztahu (3) je tzv. netto dávka, která se dostane do půdy. Vlivem ztrát závlahové vody, které např. u postřiku nastávají výparem vody z paprsku postřikovače do ovzduší, je třeba na pozemek dodávat tzv. brutto závlahovou dávku M'_{di} , která je zvětšena o ztráty vody. Podle normy ČSN 75 0434 se ztráty vody ohodnocují ztrátovým součinitelem závlahové vody k_z , jímž se násobí netto závlahová dávka M_{di} , a tak se stanoví brutto závlahová dávka M'_{di} :

$$M'_{di} = k_z \cdot M_{di} \quad [\text{mm}] \quad (4)$$

Např. pro dodání netto závlahové dávky $M_{di} = 30$ mm je třeba při $k_z = 1,20$ dodat na pozemek brutto dávku $M'_{di} = 36$ mm.

Součinitelé k_z pro některé způsoby závlahy jsou v uvedené normě stanoveny. Pro postřik norma uvádí k_z v rozmezí hodnot 1,15 až 1,25.

Velikost dodané netto závlahové dávky M_{di} se v bilanční tabulce tab. 6. zapisuje do azurového sloupce 41.

Tab. 6 Balance půdní vlhkosti (výřez tabulky se sloupci 40 až 43 s příkladem)

Závlahový alarm	Velikost dodané závlahy M_d [mm]	Momentální zásoba vody v půdě W [mm]	Průsak vody odtokem do spodiny W_o [mm]
(40)	(41)	(42)	(43)
		61,9	
		61,5	
		66	
		67,5	
		66,9	
		66,4	
		93,1	
		93	
		92,5	
		91,5	
		105,3	
DODEJ ZÁVLAHU v rozmezí mm od 4,2 do 58,6		100	
		106,1	
DODEJ ZÁVLAHU v rozmezí mm od 3 do 58,1		102,6	
	30	130,6	
		126,8	
		122,3	
		118,7	
		114,9	
		110,4	
DODEJ ZÁVLAHU v rozmezí mm od 5,1 do 62,7		105,4	
	30	131,2	
		126,2	

Poznámka:

Ke stanovení polní vodní kapacity Θ_{PK} pomocí zjištěných hodnot I. zrnitostní kategorie program IRRIPROG obsahuje převodní tab. 2a, do které se zavede obsah I. zrnitostní kategorie (v azurovém poli) a podle naprogramovaného vztahu (Novotný et al., 1990):

$$\Theta_{PK} = 6,66 + 1,03I - 0,008I^2 \quad [\% \text{ obj.}] \quad (5)$$

se automaticky vypočte Θ_{PK} . Příklad takového výpočtu je uveden v následující ukázce tab. 2a. Grafický průběh funkčního vztahu (5) je uveden v grafu na obr. 1.

Tab. 2a Výpočet půdních hydrolimitů Θ_{PK} a Θ_V v závislosti na obsahu zrn I. kategorie

Obsah zrn I. kat. [%]	Polní vodní kapacita (Θ_{PK}) [% obj.]	Bod vadnutí (Θ_V) [% obj.]
30	30,4	11,8

Pro orientační stanovení obsahu I. zrnitostní kategorie v závislosti na druhu půdy program obsahuje tab. 2b.

Tab. 2b Orientační hodnoty I. zrnitostní kategorie v závislosti na druhu půdy

Druhy půd		Obsah I. zrnitostní kategorie		
		od	do	střední hodnota
		[%]		[%]
lehké	písčité	0	10	5
	hlinito-písčité	10	20	15
střední	písčito-hlinité	20	30	25
	hlinité	30	45	37,5
těžké	jílovito-hlinité	45	60	52,5
	jílovité	60	70	65

Hodnota polní vodní kapacity Θ_{PK} se v programu zapíše do tab. 2, kde je také uveden příklad zápisu.

Tab.2 Půdní charakteristiky (s příkladem zápisu)

Polní vodní kapacita - Θ_{PK} [% obj.]:	35		
Bod vadnutí - Θ_V [% obj.]:	15		
Min. zásoba půdní vláhy $Z_{v,min}$ [měsíc, den, % Θ_P]:	6	30	40
	10	31	50

Ke stanovení bodu vadnutí Θ_V pomocí zjištěných hodnot I. zrnitostní kategorie slouží v programu IRRIPROG rovněž dříve uvedená převodní tab. 2a, do které se zavede obsah I. zrnitostní kategorie (v azurovém poli) a podle naprogramovaného vztahu (Novotný et al., 1990):

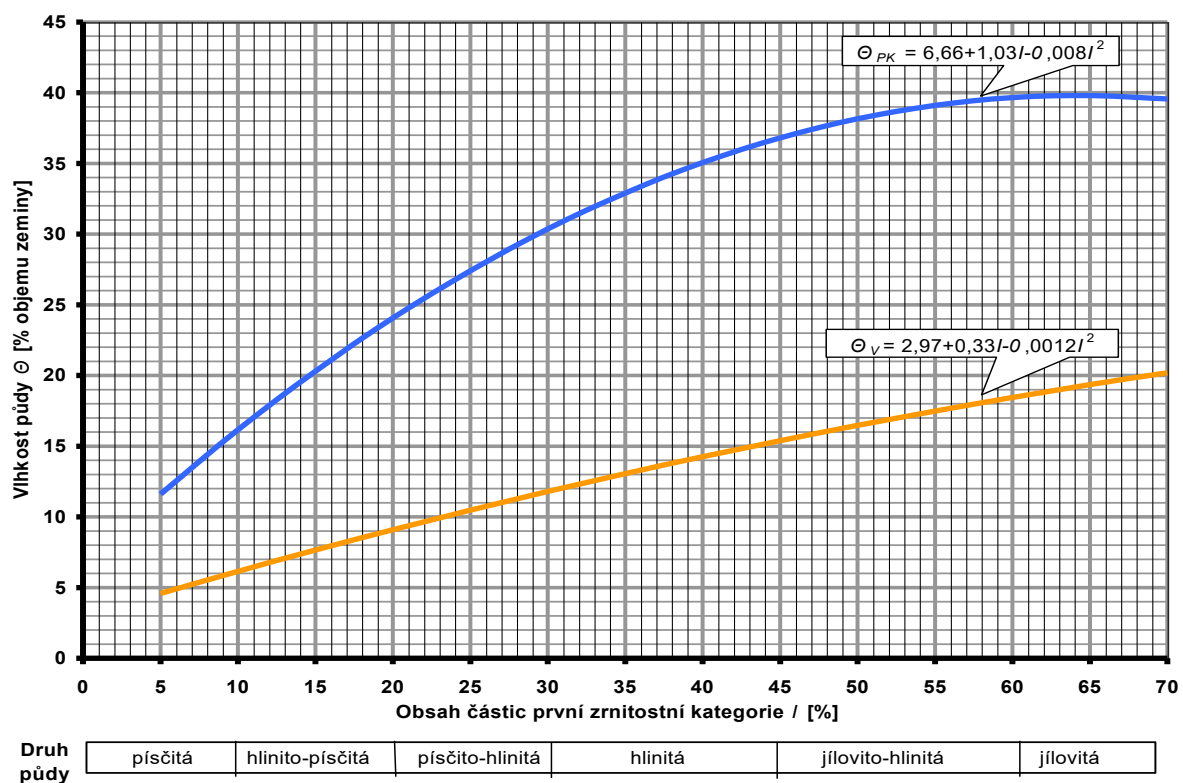
$$\Theta_V = 2,97 + 0,33I - 0,0012I^2 \quad [\% \text{ obj.}] \quad (6)$$

se automaticky rovněž vypočte i bod vadnutí Θ_V . Příklad takového výpočtu je rovněž prezentován v dříve uvedené tab. 2a. Grafický průběh funkčního vztahu (6) je rovněž uveden na obr. 1.

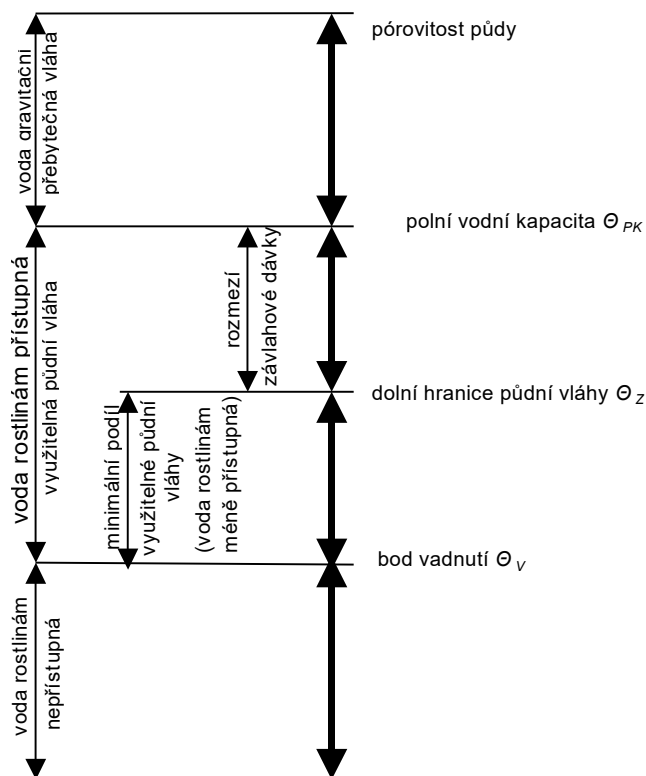
Hodnota bodu vadnutí Θ_V se v programu zapíše do předchozí uvedené tab. 2, kde je také uveden příklad zápisu.

Hodnoty minimální zásoby půdní vláhy $Z_{v,min}$ se v programu zapisují v pořadí měsíc, den a $Z_{v,min}$ v % Θ_P do tab. 2, přičemž se vždy uvádějí údaje pro dvě hodnoty $Z_{v,min}$. V případě, že po celé vegetační období plodiny má platit pouze jedna hodnota $Z_{v,min}$ (vyskytující se hlavně u zelenin), pak příslušná časová data a $Z_{v,min}$ z prvního řádku je třeba zopakovat ve druhém řádku.

V předchozím uvedené hydrologické veličiny, které se vyskytují v programu, tj. půdní hydrolimity a jimi vymezené druhy půdní vody jsou ukázány v následujícím názorném schematickém diagramu na obr. 2.



Obr. 1 Závislost polní vodní kapacity Θ_{PK} a bodu vadnutí Θ_V na obsahu částic I. zrnitostní kategorie (podle Novotného, 1990)



Obr. 2 Schematické znázornění druhů půdní vody a hydrolimitů (podle Slámy)

3.2.4. Přírůstek obsahu vody v půdě dW_{hi}

Přírůstek obsahu vody v půdě dW_{hi} závisí na postupném zvětšování hloubky zavlažování v důsledku zvětšování hloubky uložení kořenů plodiny. Program vypočítává dW_{hi} podle vztahu:

$$dW_{hi} = \frac{dh_{zi}}{h_{z,i-1}} \cdot W_{i-1} \quad [\text{mm}], \quad (7)$$

kde dh_{zi} viz vztah (2d),

W_{i-1} viz vztah (1).

3.2.5. Průsak odtokem vody do spodiny W_{oi}

Průsak odtokem vody do spodiny W_{oi} nastává v případě velkých srážek nebo nesprávné závlahy, kdy aktuální obsah vody v půdě W_i překročí polní vodní kapacitu půdy $W_{\Theta PKi}$, tj. je-li splněn vztah:

$$W_i > W_{\Theta PK} \quad [\text{mm}], \quad (8)$$

kde $W_{\Theta PKi}$ je polní vodní kapacita v i -tém dni [mm] vypočtená podle vztahu:

$$W_{\Theta PKi} = \frac{\Theta_{PK} \cdot h_{zi}}{10} \quad [\text{mm}], \quad (9)$$

kde Θ_{PK} [% obj.] viz vztah (5)

h_{zi} viz vztah (2c),

pak pro stanovení velikosti průsaku odtokem vody do spodiny W_{oi} platí vztah:

$$W_{oi} = W_i - W_{\Theta PKi} \quad [\text{mm}]. \quad (10)$$

Pokud W_{oi} nastane, program jej zapisuje v bilanční tab. 6 do sloupce 43.

3.2.6. Denní evapotranspirace ET_i

Základem výpočtu evapotranspirace plodiny pomocí metody FAO 56 je výpočet tzv. referenční evapotranspirace ET_o , jejíž násobením koeficientem plodiny K_c se získá evapotranspirace plodiny dobře zásobované vodou. V případě, že množství vody v půdě poklesne pod tzv. mez zavlažování (tj. je třeba dodat závlahovou dávku), dochází ke stresu plodiny, při kterém dochází zároveň ke snížení evapotranspirace plodiny, které je vyjádřeno tím, že se ET_o násobí nejen koeficientem K_c , ale ještě koeficient vodního stresu plodiny K_s , jehož hodnota se pohybuje v mezích 0 až 1. Následující text je věnován uvedeným výpočetním fázím.

3.2.6.1. Referenční evapotranspirace ET_o

$$ET_o = \frac{0,408 \Delta (R_n - G) + \gamma \frac{900}{T_{stř} + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma (1 + 0,34 u_2)} \quad [\text{mm den}^{-1}], \quad (11)$$

kde:

ET_o referenční evapotranspirace [$\text{mm} \cdot \text{den}^{-1}$],

R_n čistá radiace povrchem půdy pokrytém plodinou [$\text{MJ m}^{-2} \text{den}^{-1}$],

G tok tepla v půdě [$\text{MJ m}^{-2} \text{den}^{-1}$],

$T_{stř}$ průměrná denní teplota vzduchu ve výšce 2 m [°C],
 u_2 rychlost větru ve výšce 2 m [m·s⁻¹],
 e_s průměrný denní tlak nasycené vodní páry při průměrné denní teplotě $T_{stř}$ [kPa],
 e_a průměrný denní tlak vodní páry zjištěný při průměrné denní teplotě $T_{stř}$ [kPa],
 $e_s - e_a$ sytostní doplněk [kPa],
 Δ sklon křivky tlaku nasycené vodní páry v závislosti na průměrné denní teplotě $T_{stř}$ [kPa °C⁻¹],
 γ psychrometrická konstanta [kPa °C⁻¹].

Rovnice (11) ukazuje, že referenční evapotranspirace ET_o je závislá jen na meteorologických prvcích, tj. vyžaduje znát standardní klimatologická data -v našem případě denní o sluneční radiaci, teplotě vzduchu, vlhkosti vzduchu a rychlosti větru. V rovnici (11) jsou použity následující vztahy:

Průměrná denní teplota vzduchu $T_{stř}$ ve výšce 2 m nad zemí

Stanoví se podle vztahu (12):

$$T_{stř} = \frac{T_{max} + T_{min}}{2} \quad [^{\circ}\text{C}], \quad (12)$$

kde: T_{max} maximální denní teplota vzduchu [°C],

T_{min} minimální denní teplota vzduchu [°C],

nebo s menší přesností podle vztahu (12a):

$$T_{stř} = \frac{T_7 + T_{14} + 2T_{21}}{4} \quad [^{\circ}\text{C}], \quad (12a)$$

kde: T_7 , T_{14} , T_{21} jsou denní teploty vzduchu ve °C zjištěné v 7, 14 a 21 h,

eventuálně vztahu (12b):

$$T_{stř} = \frac{\sum T}{n} \quad [^{\circ}\text{C}]. \quad (12b)$$

kde: T denní teplota vzduchu v době měření [°C],

n počet měření.

Psychrometrická konstanta γ

$$\gamma = \frac{c_p P}{\varepsilon \lambda} = 0,665 \cdot 10^{-3} P \quad [\text{kPa } ^{\circ}\text{C}^{-1}]. \quad (13)$$

kde: γ psychrometrická konstanta [kPa °C⁻¹],

P atmosferický tlak [kPa] podle vztahu:

$$P = 101,3 \left(\frac{293 - 0,0065z}{293} \right)^{5,26} \quad [\text{kPa}], \quad (13a)$$

kde:

z geodetická výška místa nad mořem [m],

λ skupenské (latentní) teplo výparné při teplotě 20 °C, 2,45 [MJ kg⁻¹],

c_p specifické (měrné) teplo vzduchu při konstantním barometrickém tlaku 1,013 10⁻³ [MJ kg⁻¹ °C⁻¹],

ε poměr molekulárních hmotností vodní páry/suchý vzduch = 0,622.

Průměrný denní tlak nasycené vodní páry e_s

$$e_s = \frac{e^o(T_{\max}) + e^o(T_{\min})}{2} \quad [\text{kPa}], \quad (14)$$

kde:

$e^o(T_{\max})$ tlak nasycené vodní páry při maximální denní teplotě vzduchu [kPa],
 $e^o(T_{\min})$ tlak nasycené vodní páry při minimální denní teplotě vzduchu [kPa],
 přičemž tlak nasycené vodní páry v závislosti na teplotě vzduchu $e^o(T)$ se zjistí ze vztahu (podle Magnuse):

$$e^o(T) = 0,6108 \exp\left[\frac{17,27T}{T + 237,3}\right] \quad [\text{kPa}]. \quad (14a)$$

V případě, že se pro výpočet e_s místo teplot vzduchu $T_{\max}$ a $T_{\min}$ použije průměrná denní teplota, pak vypočtená hodnota e_s bude nižší než hodnota vypočtená z rovnice (14), což má za následek podhodnocení referenční evapotranspirace. Doporučuje se použít výpočet pomocí rovnice (14).

Průměrný denní tlak vodní páry e_a

$$e_a = \frac{e^o(T_{\min}) \frac{RH_{\max}}{100} + e^o(T_{\max}) \frac{RH_{\min}}{100}}{2} \quad [\text{kPa}], \quad (15)$$

kde: $e^o(T_{\min})$ tlak nasycené vodní páry při minimální denní teplotě [kPa],
 $e^o(T_{\max})$ tlak nasycené vodní páry při maximální denní teplotě [kPa],
 $RH_{\max}$ denní maximum relativní vlhkosti vzduchu [%],
 $RH_{\min}$ denní minimum relativní vlhkosti vzduchu [%].

V případě, že není k dispozici spolehlivá hodnota $RH_{\min}$, pak je vhodné použít vztah pouze s hodnotou $RH_{\max}$:

$$e_a = e^o(T_{\min}) \frac{RH_{\max}}{100} \quad [\text{kPa}]. \quad (15a)$$

V případě, že nejsou k dispozici hodnoty $RH_{\max}$ i $RH_{\min}$, lze užít i výpočet podle rovnice:

$$e_a = e^o \frac{RH_{stř}}{100} \left[\frac{e^o(T_{\max}) + e^o(T_{\min})}{2} \right] \quad [\text{kPa}], \quad (15b)$$

kde $RH_{stř}$ je průměrná relativní vlhkost zjištěná jako průměr z hodnot $RH_{\min}$ a $RH_{\max}$. Rovnice (15b) je však méně vhodná než rovnice (15) a (15a).

Sytostní doplněk ($e_s - e_a$)

stanoví se pomocí hodnoty e_s zjištěné z rovnice (14) na základě znalosti denní hodnoty $T_{\max}$ a $T_{\min}$ a hodnoty e_a stanovené z rovnice (15), event. (15a).

Sklon křivky tlaku nasycené vodní páry v závislosti na $T_{stř}$ vzduchu Δ

$$\Delta = \frac{4098 \left[0,6108 \exp\left(\frac{17,27T_{stř}}{T_{stř} + 237,3}\right) \right]}{(T_{stř} + 237,3)^2} \quad [\text{kPa } ^\circ\text{C}^{-1}], \quad (16)$$

kde:

$T_{stř}$ viz vztahy (12), (12a), (12b),
 $\exp (\dots)$ 2,7183 (základ přirozených logaritmů zvýšený na mocnitele (..).

Rychlost větru u_2

$$u_2 = u_z \frac{4,87}{\ln(67,8z_m - 5,42)} \quad [\text{m s}^{-1}]. \quad (17)$$

kde:

u_2 rychlost větru ve výšce 2 metrů nad zemí $[\text{m s}^{-1}]$,
 u_z rychlost větru měřená ve výšce z metrů nad zemí $[\text{m s}^{-1}]$,
 z_m výška měření nad zemí $[\text{m}]$.

Tok tepla v půdě G

Velikost denního toku tepla G v půdě pod referenčním povrchem trávníku je relativně malá, takže se může tok tepla zanedbat a proto:

$$G \approx 0 \quad [\text{MJ m}^{-2} \text{ den}^{-1}]. \quad (18)$$

Čistá radiace povrchem půdy pokrytém plodinou R_n

$$R_n = R_{ns} - R_{nl} \quad [\text{MJ m}^{-2} \text{ den}^{-1}], \quad (19)$$

kde: R_{ns} čistá sluneční krátkovlnná radiace $[\text{MJ m}^{-2} \text{ den}^{-1}]$, vypočítá se ze vztahu:

$$R_{ns} = (1 - \alpha)R_s \quad [\text{MJ m}^{-2} \text{ den}^{-1}], \quad (19a)$$

kde:

R_s dopadající krátkovlnná sluneční radiace $[\text{MJ m}^{-2} \text{ den}^{-1}]$, která se vypočítá ze změřené hodnoty R'_s ve W m^{-2} podle vztahu:

$$R_s = (R'_s / 1000000) \cdot 86400 \quad [\text{MJ m}^{-2} \text{ den}^{-1}], \quad (19a_1)$$

α albedo, koeficient odrazu porostu, který je 0,23 pro hypotetický referenční trávník [bez rozměru].

R_{nl} dlouhovlnná radiace:

$$R_{nl} = \sigma \left[\frac{T_{\max K^4} + T_{\min K^4}}{2} \right] (0,34 - 0,14 \sqrt{e_a}) \cdot (1,35 \frac{R_s}{R_{so}} - 0,35) \quad [\text{MJ m}^{-2} \text{ den}^{-1}], \quad (19b)$$

kde:

σ Stefan-Boltzmannova konstanta $[4,903 \cdot 10^{-9} \text{ MJ K}^{-4} \text{ m}^{-2} \text{ den}^{-1}]$,
 $T_{\max, K^4}$ maximální absolutní teplota během 24 hodin $[\text{K} = ^\circ\text{C} + 273,16]$,
 $T_{\min, K^4}$ minimální absolutní teplota během 24 hodin $[\text{K} = ^\circ\text{C} + 273,16]$,
 e_a aktuální tlak par $[\text{kPa}]$,
 R_s/R_{so} relativní krátkovlnná radiace (limitována do $\leq 1,0$),
 R_s sluneční radiace měřená nebo vypočtená podle rovnice (19a)
 $[\text{MJ m}^{-2} \text{ den}^{-1}]$,
 R_{so} vypočtená radiace při jasné obloze $[\text{MJ m}^{-2} \text{ den}^{-1}]$:

$$R_{so} = (0,75 + 2 \cdot 10^{-5} z) R_a \quad [\text{MJ m}^{-2} \text{ den}^{-1}], \quad (19c)$$

kde:

z viz vztah (13a),

R_a denní mimozemská radiace [$\text{MJ m}^{-2} \text{den}^{-1}$]:

$$R_a = \frac{24(60)}{\pi} G_{sc} d_r [\omega_s \sin(\varphi) \sin(\delta) + \cos(\varphi) \cos(\delta) \sin(\omega_s)] \quad [\text{MJ m}^{-2} \text{den}^{-1}], \quad (19d)$$

kde:

G_{sc} solární konstanta = $0.0820 \text{ MJ m}^{-2} \text{min}^{-1}$,

d_r inverzní hodnota relativní vzdálenosti Země – Slunce podle vztahu:

$$d_r = 1 + 0,033 \cos\left(\frac{2\pi}{365} J\right) \quad [-], \quad (19e)$$

kde:

J počet dní v roce od prvního ledna, stanoví se postupem pro každý den (D) z měsíce (M):

$$J = \text{INTEGER}(275 M/9 - 30 + D) - 2$$

$$\text{IF } (M < 3) \text{ THEN } J = J + 2$$

$$\text{also, IF (přestupný rok and } (M > 2)) \text{ THEN } J = J + 1$$

φ zeměpisná šířka [rad], vypočte se podle vztahu:

$$[\text{Radiany}] = \frac{\pi}{180} \times [\text{zeměpisná} \cdot \text{šířka} \cdot v \cdot \text{desetinném} \cdot \text{čísle}] \quad (19f)$$

δ solární deklinace [rad] podle vztahu:

$$\delta = 0,409 \sin\left(\frac{2\pi}{365} J - 1,39\right) \quad [\text{rad}], \quad (19g)$$

kde: J viz vztah (19e),

ω_s úhel paprsků v hodině západu slunce [rad] podle vztahu,

$$\omega_s = \arccos[-\tan(\varphi) \cdot \tan(\delta)] \quad [\text{rad}] \quad (19h)$$

kde:

φ viz vztah (19f),

δ viz vztah (19g).

$$\text{Ekvivalent evaporace } [\text{mm den}^{-1}] = 0,408 \cdot R_a \quad [\text{MJ m}^{-2} \text{den}^{-1}]. \quad (19i)$$

3.2.6.2. Evapotranspirace vodou dobře zásobované plodiny ET_c

Plodina je dobře zásobovaná vodou, když aktuální zásoba vody v půdě je v intervalu od meze zavlažování Θ_z do polní vodní kapacity Θ_{PK} . Pak výpočet evapotranspirace plodiny ET_c se stanoví z rovnice:

$$ET_c = K_c \cdot ET_o \quad [\text{mm den}^{-1}], \quad (20)$$

kde: K_c koeficient plodiny [-],

ET_o referenční evapotranspirace [mm den^{-1}] stanovená z rovnice (11).

Koeficient K_c se mění v závislosti na vývojových stádiích plodiny. Jak se plodina vyvíjí, mění se její pokryv půdy, hmotnost a listová plocha. O růstových stádiích plodiny je podrobněji pojednáno v následujícím textu.

Typický všeobecný průběh koeficientu K_c je schematicky znázorněn na obr. 3. Pro výpočet ET_c v jednotlivých vývojových stádiích plodiny je třeba pro každou sledovanou

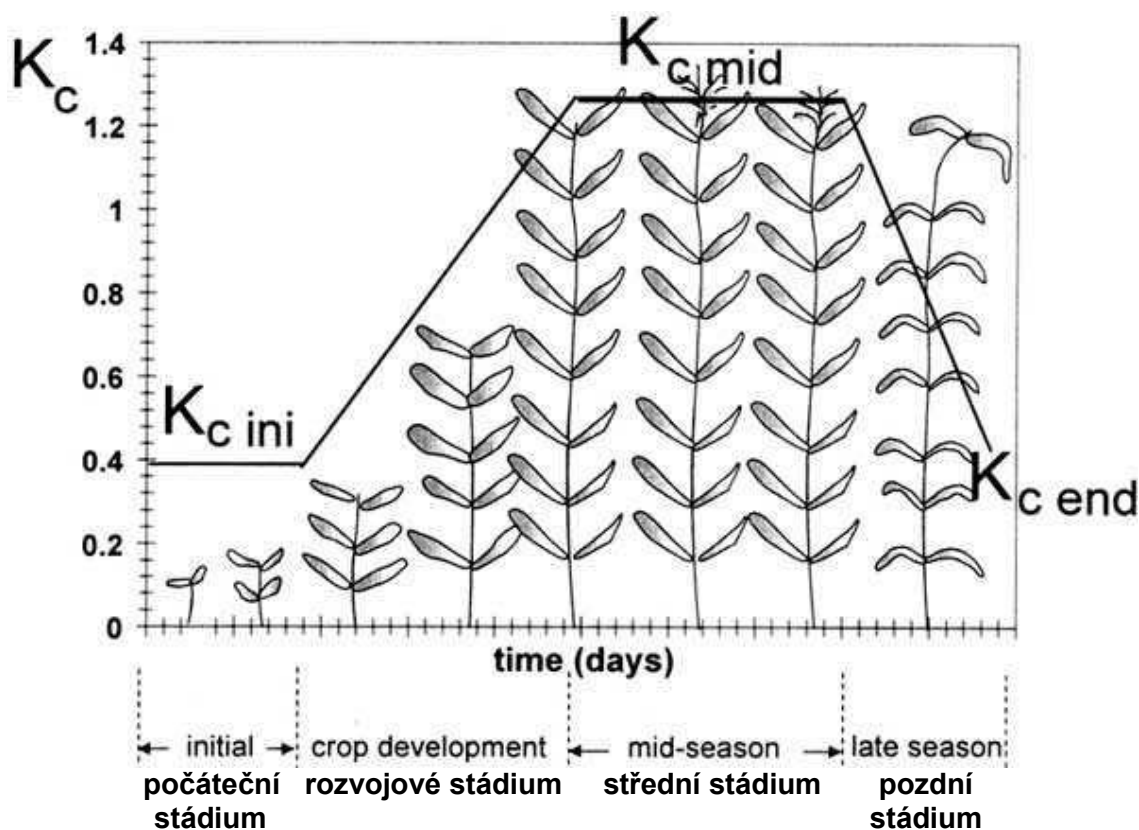
plodinu znát tři koeficienty K_c včetně délek (počet dnů) stádií, ve kterých se uplatňují. Jedná se o tyto koeficienty K_c :

koeficient počáteční $K_{c\ ini}$ o délce vývojového stádia L_{ini} ,
 koeficient střední $K_{c\ mid}$ o délce vývojového stádia L_{mid} ,
 koeficient pozdní $K_{c\ end}$ o délce vývojového stádia L_{late} .

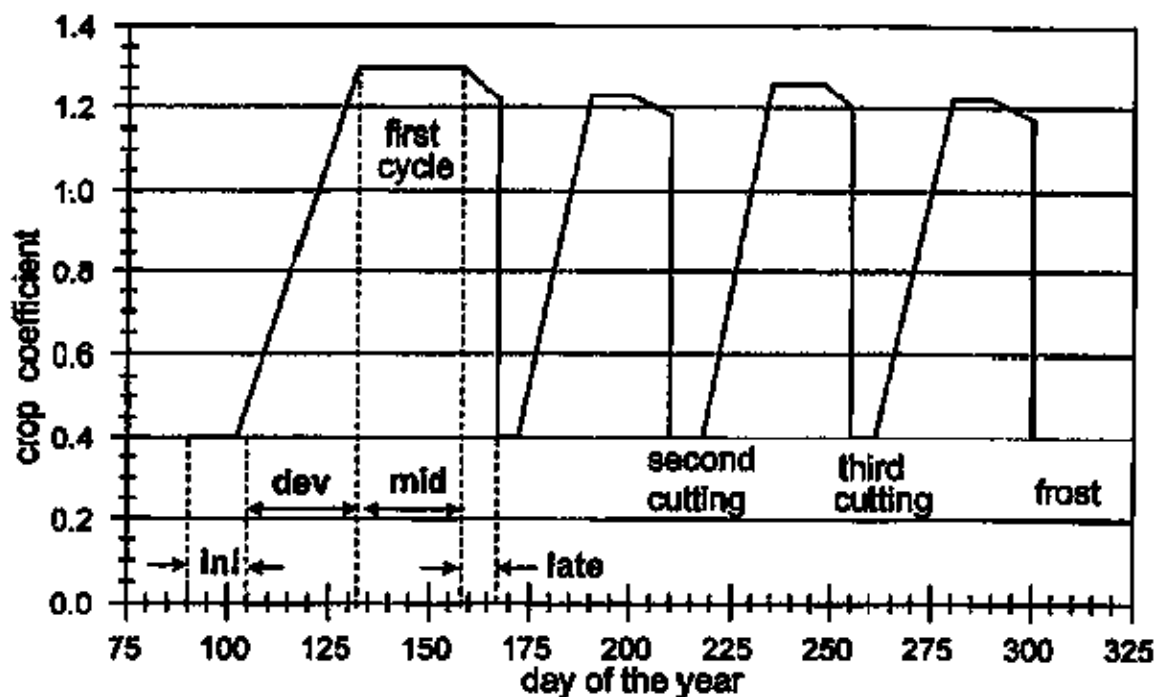
Z obr. 3 je zřejmé, že v rozvojovém a pozdním stádiu plodiny o délkách L_{dev} a L_{late} se hodnota koeficientu K_c mění lineárně v závislosti na počtu dnů od začátku nástupu těchto stádií.

Pro víceleté píce (vojtěška, jetel, tráva), s více sečmi v roce, je schéma průběhu K_c uvedeno na konkrétním příkladě v obr. 4.

V programu IRRIPROG se potřebné údaje zavádí do tab. 4, která je uvedena s příkladem v následujícím textu. Tab. 4 umožňuje v záhlaví zadávat číslicemi 1 až 3 tři typy plodin, které jsou uvedeny v tab. 4a. Jsou to: hlavní plodina, následná plodina nebo podsev po sklizni předchozí plodiny, víceletá pícnina s více sečmi v roce. Z tab. 4 je zřejmé, že v případě typu plodiny s číselným označením 1, nebo 2 se hodnotami L a K_c vyplní pouze první dílčí tab. 4, zbývající tři dílčí části se nevyplňují, program na ně nebere při výpočtu zřetel. Naopak v případě označení typu plodiny číslicí 3 (vícesečná plodina v roce), je třeba vyplnit hodnotami L a K_c všechny čtyři dílčí tabulky obsažené v tab. 4, což umožňuje takto zadat do výpočtu až čtyři seče. Pokud je třeba zadat výpočet pouze s menším počtem sečí než 4, pak se hodnoty L a K_c v příslušných dílčích tabulkách neuvedou, ale zavede se v nich mezník.



Obr. 3 Schéma všeobecného průběhu koeficientu plodiny K_c v závislosti na vývojovém stádiu plodiny (podle Allen et al., 1998)



Obr. 4 Průběh křivky koeficientu plodiny K_c pro vojtěšku s třemi sečmi sklizenými na seno v jižní oblasti státu Idaho v USA (podle Allen et al., 1998)

crop coefficient = koeficient plodiny, day of the year = den v roce, first cycle = první cyklus, ini = počáteční stádium, dev = rozvojové stádium, mid = střední stádium, late = pozdní stádium, second cutting = druhá seč, third cutting = třetí seč, frost = mráz

Tab. 4. Číslo typu plodiny, délky vývojových stádií plodiny L a koeficienty plodinové křivky K_c :

Číslo typu plodiny:		1	Seč jen u typu 3: N	
Vývojové stádium plodiny	Délka vývojového stádia L		Koeficient plodiny K_c	
	označení	počet dnů	označení	hodnota bez rozměru
počáteční	L_{ini}	61	$K_{c\ ini}$	0,35
rozvojové	L_{dev}	50	$K_{c\ dev}$	
střední	L_{mid}	61	$K_{c\ mid}$	1,20
pozdní	L_{late}	49	$K_{c\ end}$	0,70

Číslo typu plodiny:		N	Seč jen u typu 3: N	
Vývojové stádium plodiny	Délka vývojového stádia L		Koeficient plodiny K_c	
	označení	počet dnů	označení	hodnota bez rozměru
počáteční	L_{ini}		$K_{c\ ini}$	
rozvojové	L_{dev}		$K_{c\ dev}$	
střední	L_{mid}		$K_{c\ mid}$	
pozdní	L_{late}		$K_{c\ end}$	

Číslo typu plodiny:		N	Seč jen u typu 3: N	
Vývojové stádium plodiny	Délka vývojového stádia L		Koeficient plodiny K_c	
	označení	počet dnů	označení	hodnota bez rozměru
počáteční	L_{ini}		$K_{c\ ini}$	
rozvojové	L_{dev}		$K_{c\ dev}$	
střední	L_{mid}		$K_{c\ mid}$	
pozdní	L_{late}		$K_{c\ end}$	

Číslo typu plodiny:		N	Seč jen u typu 3: N	
Vývojové stádium plodiny	Délka vývojového stádia L		Koeficient plodiny K_c	
	počet dnů		označení	hodnota bez rozměru
počáteční	L_{ini}		$K_{c\ ini}$	
rozvojové	L_{dev}		$K_{c\ dev}$	
střední	L_{mid}		$K_{c\ mid}$	
pozdní	L_{late}		$K_{c\ end}$	

Tab. 4a Typ plodiny a její číselné označení

Typ plodiny	Číselné označení
hlavní plodina (např. cukrová řepa)	1
následná plodina nebo podsev po sklizni předchozí plodiny (např. pšenice ozimá po raných bramborách)	2
pícnina víceletá (vojtěška, jetel, tráva s více sečemi v roce)	3

O vývojových stádiích plodiny je podrobněji pojednáno v následujících odstavcích.

Vývojová stádia plodiny

Růstová stádia plodiny mohou být rozdělena do čtyř typických vývojových stádií, a to počátečního, rozvojového, středního a pozdního stádia. Délky růstových stádií různých typů plodin jsou schematicky uvedeny na následujícím obr. 5.

Počáteční stádium

Počáteční stádium probíhá od zasetí plodiny do období, kdy plodina přibližně zakrývá 10 % půdy, tj. kdy povrch půdy je asi na 10 % pokryt zelení vegetace. Délka počátečního stádia je velice závislá na plodině, její odrůdě, době zasetí a podnebí. U víceletých kultur je období zasetí nahrazeno dobou, kdy dojde k jejich zazelenění, tj. době, kdy se začínají objevovat nové listy. Během počátečního stádia je listová plocha plodiny malá a evapotranspirace je převážně hrazena evaporací z půdy.

Rozvojové stádium plodiny

Rozvojové stádium probíhá od doby, kdy plodina zakrývá 10% povrchu půdy do efektivního plného pokryvu půdy plodinou. Pro mnoho plodin nastává efektivní plný pokryv v počátku kvetení. Pro řádkové plodiny, kde se obvykle listy prolínají, jako u fazole, cukrové řepy, brambor a obilí, může být efektivní plný pokryv definován jako čas, kdy některé listy rostlin v přilehlých řádcích se začínají prolínat, takže zastínění půdy se stává téměř úplné, nebo když rostliny dosáhnou skoro úplné velikosti v případě, že prolínání rostlin nenastane.

Pro hustě seté rostliny jako ozimé a jarní obiloviny a některé trávy se doporučuje stanovit efektivní plné pokrytí půdy pomocí dříve uvedeného počátku kvetení.

Pro hustě seté trávy efektivní plný pokryv nastává při jejich výšce asi 0,10-0,15 m. Pro řídce seté trávy (suché pastviny) se výška může přiblížit k hodnotě 0,3-0,5 m předtím než nastane efektivní plné pokrytí. Hustě seté pícniny jako je vojtěška a jetel dosahují efektivního plného pokryvu při výšce 0,3-0,4 m.

Při svém vývoji plodina čím dále více zakrývá půdu, evaporace se snižuje a transpirace se postupně stává významnější. Během rozvojového stádia hodnota K_c koresponduje velikosti jejímu zakrytí půdy a rozvoji rostliny. Typicky, jestliže povrch půdy je suchý, hodnota $K_c = 0,5$ koresponduje 25-40 % pokrytí povrchu půdy vegetací, což způsobují účinky zakrytí půdy a také mikrotransportu tepla z půdy do vegetace. Hodnota $K_c = 0,7$ často koresponduje 40-60 % zakrytí povrchu. Uvedené hodnoty se mohou měnit, a to v závislosti na plodině, frekvenci vlhčení (deštěm, závlahou) a zda plodina využívá více vody než referenční plodina, která plně zakrývá půdu (např. závisující na architektuře tvaru vrchní plochy plodin a relativní výšce plodiny k zastřiženému trávniku).

Střední stádium

Střední stádium probíhá od efektivního plného pokrytí půdy plodinou do začátku její zralosti. Zralost je často indikována začátkem stárnutí, tj. žloutnutím nebo stárnutím listů, uvadáním listů, nebo hnědnutím ovoce do stupně, kdy evapotranspirace plodiny je relativně redukována k referenční hodnotě ET_0 . Střední stádium je nejdelším stádiem pro víceleté plodiny a také mnohé jednoleté plodiny, ale může být relativně krátké pro zeleniny, které se sklízí v čerstvém stavu.

Ve středním stádiu hodnota K_c dosahuje maximální velikosti. Hodnota K_c ($K_{c\ mid}$) je relativně konstantní pro většinu růstových a obdělávacích podmínek. Odchylna hodnoty $K_{c\ mid}$ od referenční hodnoty '1' je primárně způsobena rozdíly ve výšce plodiny a odporu mezi travnatým referenčním povrchem a povrchem zemědělské plodiny a také v rozdílu klimatických poměrů.

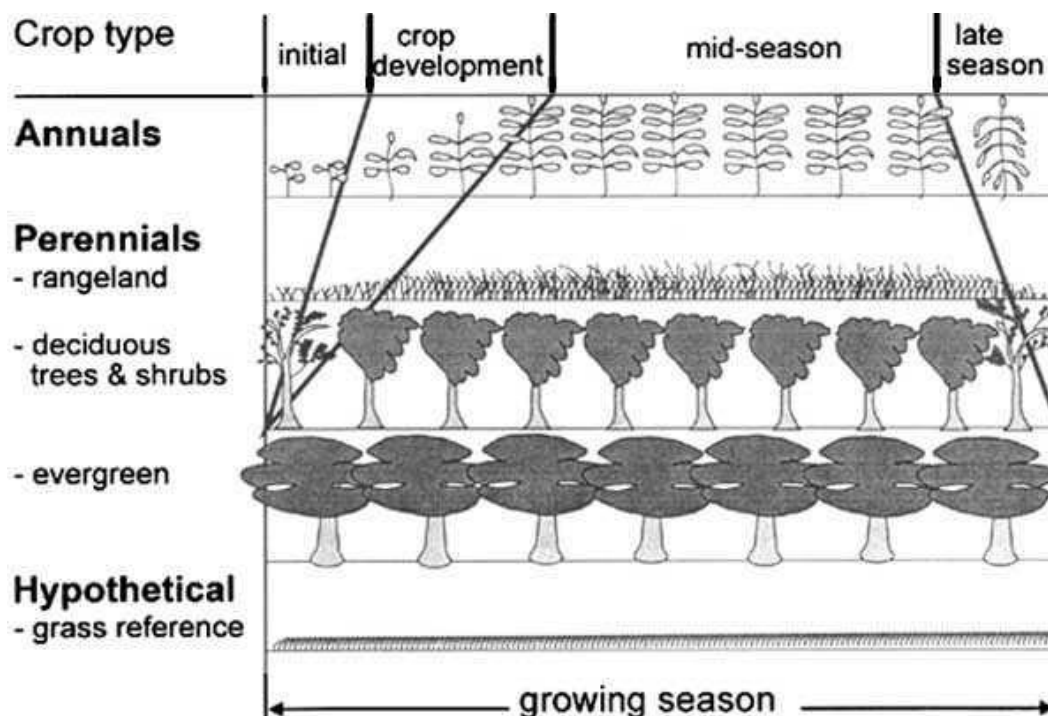
Pozdní stádium

Pozdní stádium probíhá od začátku zralosti do začátku sklizně plodiny nebo jejího plného stárání. Výpočet K_c a ET_c je předpokládán do konce, kdy plodina se sklízí, je přirozeně uschlá, dosáhne plného stárání, nebo jí začnou padat listy.

Pro některé víceleté kultury v bezmrazových klimatech plodiny mohou růst po celý rok, takže datum jejich ukončení může být vzato jako datum 'sázení'.

Koncová hodnota pozdního stádia $K_{c\ end}$ je závislá na plodině a praxi v řízení vodního režimu. Hodnota $K_{c\ end}$ je vysoká pro plodiny často zavlažované a svěží až do sklizně. Jestliže však plodina může zestárnout anebo na poli před sklizní vyschnout, hodnota $K_{c\ end}$ bude nízká.

Stárnutí je obvykle spojeno s menší účinností vodivosti stomat na povrchu listů způsobeném jejich stárnutím, čímž dochází k redukci K_c .



Obr. 5 Růstová stádia pro různé typy plodin (podle Allen et al., 1998)

crop type = typ plodiny, initial = počáteční stádium, crop development = rozvojové stádium plodiny, mid-season = střední období, late season = pozdní období, annuals = jednoleté plodiny, perennials (rangeland) = víceleté plodiny (pastvina), deciduous trees & shrubs = opadavé stromy a keře, evergreen = stále zelené stromy a keře, hypothetical grass reference = hypotetický referenční trávník, growing season = růstové období

Rozdíly v hodnotách K_c pro různé plodiny v závislosti na faktorech počasí a vývoji plodin jsou uvedeny na obr. 6.

3.2.6.3. Evapotranspirace v případě vodního stresu plodiny $ET_{c,adj}$

V případě, že množství vody v půdě poklesne pod tzv. mez zavlažování (tj. je třeba dodat závlahovou dávku) Θ_z , dochází k vodnímu stresu plodiny, při kterém se snižuje evapotranspirace plodiny, což je vyjádřeno rovnicí:

$$ET_{c,adj} = K_s \cdot K_c \cdot ET_o \quad [\text{mm den}^{-1}], \quad (21)$$

kde:

$ET_{c,adj}$ evapotranspirace plodiny při snížené dostupnosti půdní vody $[\text{mm} \cdot \text{den}^{-1}]$,
 K_s koeficient vodního stresu plodiny, jehož hodnota se pohybuje v mezích 0 až 1,
 K_c koeficient plodiny [-].

Koeficient vodního stresu plodiny K_s se vypočte ze vztahu:

$$K_s = \frac{W_i - W_{\Theta_{Vi}}}{W_{\Theta_{Zi}} - W_{\Theta_{Vi}}} \quad [-] \quad (22)$$

kde:

W_i okamžitá půdní vlhkost v i-tém dni, která poklesla pod mez zavlažování [mm]
 $W_{\Theta_{Zi}}$ mez zavlažování [mm] vypočte se podle vztahu:

$$W_{\Theta_{zi}} = \Theta_z \cdot \frac{h_{zi}}{10} \quad [\text{mm}], \quad (23)$$

kde:

Θ_z viz vztah (2a),

h_{zi} viz vztah (2c).

$W_{\Theta_{vi}}$ bod vadnutí [mm] vypočte se podle vztahu:

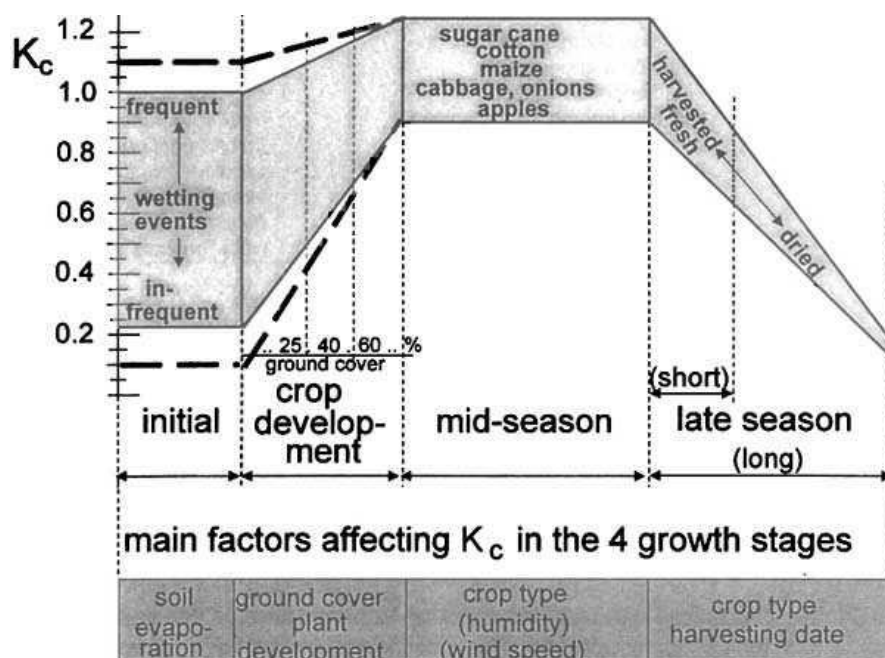
$$W_{\Theta_{vi}} = \Theta_v \cdot \frac{h_{zi}}{10} \quad [\text{mm}], \quad (24)$$

kde:

Θ_v viz vztah (6),

h_{zi} viz vztah (2c).

V případě, že množství vody v půdě je větší než mez zavlažování $W_{\Theta_{zi}}$, pak hodnota koeficientu stresu $K_s = 1$.



Obr. 6 Typické rozmezí hodnot koeficientu plodiny K_c pro čtyři vývojová stádia plodiny (podle Allen et al., 1998)

wetting events = případy vlhčení, frequent = častý, in frequent = nepříliš častý, sugar cane = cukrová třtina, cotton = bavlna, maize = kukuřice, cabbage = zelí, kapusta, onions = cibule, apples = jabloně, harvested fresh = sklizeň svěží plodiny, harvested dried = sklizeň suché plodiny, initial = počáteční stádium, crop development = rozvojové stádium plodiny, mid-season = střední stádium, late season (short, long) = pozdní stádium (krátké, dlouhé), main factors affecting K_c in 4 growth stages = hlavní faktory ovlivňující K_c ve 4 vývojových stádiích, soil evaporation = výpar z půdy, ground cover plant development = zakrytí povrchu půdy plodinou při jejím rozvoji, crop type = typ plodiny, humidity = vlhkost vzduchu, wind speed = rychlost větru, harvesting date = datum začátku sklizně.

4. METODY STANOVENÍ ZÁKLADNÍCH VSTUPNÍCH VELIČIN DO PROGRAMU

I když možné způsoby zavedení některých základních vstupních veličin do programu byly uvedeny v předchozí kapitole 3, je třeba se jimi zabývat z hlediska jejich pořízení v širším pojetí. Jedná se o veličiny z oborů geografie, meteorologie, hydropedologie, agronomie a závlah. V programu IRRIPROG jsou požadované vstupní veličiny uvedeny v buňkách vybarvených azurově.

4.1. Geografie

Program vyžaduje zapsat do tab. 1 tyto místopisné údaje o pozemku:

- sklon pozemku [%],
- nadmořskou výšku [m n. m.],
- zeměpisnou šířku [desetinné číslo],
- teplotní pásmo [TP a číslo 1, 2, nebo 3].

První dva údaje zjistí uživatel programu obvykle z vlastních mapových podkladů o pozemku. Zeměpisnou šířku je možné zjistit na internetu obvykle pro obec, na jejímž území se pozemek nachází, nebo přímo na obecním úřadě. Teplotní pásmo TP se stanoví součtem průměrných dlouhodobých měsíčních teplot za měsíce březen až říjen z nejbližší klimatické stanice, které je možné získat od Českého hydrometeorologického ústavu (ČHMÚ). Obecně platí, že na území závlah v Polabí se vyskytuje teplotní pásmo TP1, na jižní Moravě TP2, nebo TP3.

4.2. Meteorologie

Program vyžaduje zapsat do tab. 6 tato denní meteorologická data:

- ovzdušnou srážku S [mm],
- minimální denní teplotu vzduchu T_{min} [°C],
- maximální denní teplotu vzduchu T_{max} [°C],
- minimální denní relativní vlhkost vzduchu RH_{min} [%],
- maximální denní relativní vlhkost vzduchu RH_{max} [%],
- průměrnou denní rychlost větru 2 m nad zemí u_{2m} [m·s⁻¹],
- průměrnou denní globální radiaci $R's$ [W·m⁻²].

Uvedená data mohou být získávána dvěma základními způsoby: buď vlastním měřením, nebo od ČHMÚ. Na způsobu získávání vstupních dat závisí jejich přesnost pro danou lokalitu. Platí, čím vyšší přesnost získaných vstupních dat, tím je obvykle vyšší jejich pořizovací cena.

4.2.1. Stanovení vstupních meteorologických dat vlastním měřením

Optimálním řešením, odpovídajícím současnému technickému pokroku, je zřízení automatické meteorologické stanice (AMS) vybavené kvalitními kalibrovanými přístroji. Tato stanice umožňuje získávat kvalitní data ve zvoleném kroku (až 1 minuta) a ukládat je v registrační jednotce (dataloggeru). Přenos dat na sběrný a řídicí počítač je možné uskutečnit pomocí pevného kabelu, veřejné telefonní sítě, rádiové sítě, sítě mobilních telefonů (GSM - Groupe Speciale Mobile) nebo i využitím satelitního přenosu dat. Návrh a realizaci by měl provést odborník, nejlépe meteorolog. Důležité je zejména umístění AMS a výběr jejího

dodavatele s ohledem na potřebnou přesnost měření a cenu stanice. Cena AMS je poměrně vysoká. Při vybavení čidly na měření teploty vzduchu a jeho relativní vlhkosti, rychlosti větru, globální radiace, srážkoměrem a dataloggerem se v současné době pohybuje mezi 50 000 – 60 000 Kč bez DPH. Se zařízením pro bezdrátové propojení s PC by byla asi o 5 000 – 7 000 Kč vyšší. Tyto náklady jsou ve srovnání s náklady na pořízení manuální meteorologické stanice podstatně větší. Při osazení kvalitními kalibrovanými přístroji poskytuje AMS spolehlivě kvalitní data, vyžaduje minimální údržbu a obsluhu.

AMS vyrábí a dodává řada firem. Z českých firem např. Environmental Measuring Systems Brno, Meteoservis v.o.s. Vodňany aj.

Klasické manuální meteorologické stanice s pozorovatelem nejsou vhodné a nedoporučují se.

4.2.2. Získávání vstupních meteorologických dat naměřených ČHMÚ

Možný je nákup dat od ČHMÚ z nejbližší meteorologické stanice. Tímto způsobem lze získávat potřebné meteorologické údaje pouze v případě, kdy jsou naměřené údaje pro závlahovou lokalitu do značné míry reprezentativní. Zpravidla tomu tak bude v případech, kdy je od meteorologické stanice vzdálena nejvýše několik desítek kilometrů a nachází se zhruba ve stejné nadmořské výšce. Srážky je třeba vždy měřit, protože zejména pokud jsou konvektivní (přeháňky, bouřky), mohou být velké rozdíly v jejich spadlém množství i na malých vzdálenostech (přívalový déšť z bouřky, o několik kilometrů dál může být území i beze srážek).

Proti předchozímu způsobu získávání meteorologických dat je tento způsob získávání dat jednodušší, avšak i tak vyžaduje určité finanční náklady. Způsob zasílání údajů lze domluvit např. e-mailem, SMS zprávou aj.

4.3. Hydropedologie

Program vyžaduje zapsat do tab. 2 tyto půdní hydrolimity:

- polní vodní kapacitu Θ_{PK} [% obj.],
 - bod vadnutí Θ_V [% obj.]
- a také
- minimální zásobu půdní vody $Z_{v, min}$ [% Θ_P]

Následují podrobnější údaje k uvedeným půdním hydrolimitům.

4.3.1. Polní vodní kapacita Θ_{PK}

je maximální množství vody, které může půda zadržet po delší dobu kapilárními póry (tj. póry o průměru menším než 0,2 mm). Tento stav půdní vlhkosti může nastat jen po vydatných deštích nebo při závlahách a obvykle také po zimě. Její hodnota závisí především na fyzikálních vlastnostech půdy. Podle Kutílka (1978) se jako vlhkost při polní vodní kapacitě uvažuje sací tlak půdní vody na lehkých písčitých půdách zhruba 10 kPa, na hlinitých kolem 30 kPa a na těžkých jílovitých půdách 50 kPa.

Polní vodní kapacitu Θ_{PK} lze stanovit dvěma hlavními způsoby.

Metoda polního měření

Na pozemku se ohraničí plocha 2x2 m plechovými nebo dřevěnými deskami vysokými 20 až 30 cm, které se zapustí zčásti do země a utěsní. Na plošku se pak napustí voda v takovém množství, aby byla záruka, že všechny půdní póry budou naplněny vodou do maximální hloubky zavlažování. Po zasáknutí veškeré vody se ploška přikryje igelitovou plachtou přesahující přes okraje. V intervalech 24 hodin se pak určuje vlhkost zeminy odběrem půdních vzorků a jakmile se vlhkost půdy u dvou po sobě následujících odběrů neliší, odpovídá stav zásoby půdní vláhy hodnotě polní vodní kapacity Θ_{PK} . Po zjištění stabilizaci půdní vláhy je třeba stanovit zásobu půdní vláhy po vrstvách 10 cm až do uvažované hloubky půdního profilu. Z takto zjištěné Θ_{PK} v jednotlivých vrstvách se stanoví celková Θ_{PK} uvažovaného půdního profilu. Stanovenou hodnotu Θ_{PK} je nutno zpřesňovat v intervalech 5 až 6 roků nebo při radikálnějších změnách vlastností půdy.

Detailně uvedenou metodu popisuje Sláma (1966, 1969), na kterou se v podrobnostech odkazuje.

Metoda pedotransferové funkce

Pedotransferové funkce jsou souborem matematických vztahů umožňujících pomocí regresních rovnic stanovit Θ_{PK} , Θ_V , ale i jiné hydrofyzikální vlastnosti půdy z běžně dostupných či stanovitelných půdních vlastností, jakými jsou zrnitost, objemová hmotnost, obsah humusu a případně další. Používají se proto, že přímé pořízení hydrofyzikálních charakteristik půdy polními a laboratorními zkouškami je časově i finančně náročné. S ohledem na složitost procesů a ovlivnění řadou vlivů poskytují tyto výpočtové metody zpravidla pouze orientační hodnoty.

Z výsledků dlouholetých komplexních pedologických rozborů byla zjištěna dostatečně těsná závislost polní vodní kapacity Θ_{PK} na obsahu půdních částic I. kategorie (zrna pod 0,01 mm). Tento způsob stanovení Θ_{PK} předpokládá znalost obsahu půdních částic I. kategorie v určené hloubce zavlažovaného půdního profilu, např. po vrstvách 10 cm a ze zjištěných hodnot se v každé vrstvě určí dílčí Θ_{PK} a pomocí nich se stanoví Θ_{PK} pro celou hloubku uvažovaného půdního profilu.

Jednodušeji je možno přímo určit hodnotu Θ_{PK} pro celý zavlažovaný půdní profil podle průměrného obsahu I. zrnitostní kategorie, což je méně přesné, zejména u půd se značně odlišným charakterem jednotlivých vrstev, jaké se v našich poměrech nejčastěji vyskytují.

Hodnoty I. zrnitostní kategorie lze určit jednak vlastním rozbořem, ale také ze sond Komplexního průzkumu půd uskutečněného v letech 1961 až 1972, pokud se sonda nacházela na vyšetřovaném pozemku a nedošlo na něm ke změně vlastností půdy hlavně vlivem výrazné eroze půdy, nebo antropogenní činností. Erozi půdy je možné zanedbat u pozemků na sklonech do 4 %.

Ke stanovení polní vodní kapacity Θ_{PK} pomocí zjištěných hodnot I. zrnitostní kategorie program IRRIPROG má převodní tab. 2a, do které se zavede obsah I. zrnitostní kategorie (v azurovém poli) a podle naprogramovaného vztahu (5) z publikace Novotný et al. (1990) se stanoví Θ_{PK} . Průběh závislosti Θ_{PK} na obsahu I. zrnitostní kategorie je zachycen i v grafu na obr. 1.

4.3.2. Bod vadnutí Θ_V

je vlhkost půdy, při které jsou rostliny trvale nedostatečně zásobeny půdní vodou a začínají vadnout. Vlhkost půdy, při které se projevuje trvalé vadnutí, je různá pro různé druhy rostlin. U stejného druhu rostlin závisí na jejich vývojovém stadiu, meteorologických podmínkách

(teplotě vzduchu, sytostním doplňku) a osmotickým tlaku půdního roztoku. Pro bod vadnutí byla proto zvolena průměrná hodnota, která je směrodatná především pro kulturní rostliny. Je to vlhkost při sacím tlaku 1,5 MPa.

Bod vadnutí Θ_V lze stanovit dvěma hlavními způsoby.

Technická metoda podle Dolgova

Technický způsob stanovení bodu vadnutí Θ_V umožňuje sériové zpracování vzorků zeminy v laboratoři. Pro stanovení bodu vadnutí Θ_V pro celou hloubku uvažovaného půdního profilu je opět třeba zpracovávat vzorky zeminy z jednotlivých půdních vrstev. Popis metody přesahuje rámec této metodiky, a proto pro zájemce o podrobnější informace se odkazuje na publikaci Sláma (1969).

Metoda pedotransferové funkce

Metoda je založena na stejném principu, jaký je uveden v předchozí podkapitole 4.3.1 u metody stanovení polní vodní kapacity Θ_{PK} . Pro stanovení obsahu I. zrnitostní kategorie rovněž platí stejné zásady, jaké jsou tam prezentovány.

Ke stanovení bodu vadnutí Θ_V pomocí zjištěných hodnot I. zrnitostní kategorie slouží v programu IRRIPROG rovněž dříve uvedená převodní tab. 2a, do které se zavede obsah I. zrnitostní kategorie (v azurovém poli) a podle naprogramovaného vztahu (6) z publikace Novotný et al. (1990) se stanoví Θ_V . Průběh závislosti Θ_V na obsahu I. zrnitostní kategorie je zachycen rovněž v grafu na obr. 1.

4.3.3. Minimální zásoba půdní vláhy $Z_{v,min}$

vyjadřuje podíl využitelné půdní vody, který je potřeba v půdě zachovat, aby se nesnížily výnosy. Udává se v % množství kapilární vody v půdě fyziologicky využitelné rostlinou Θ_P . Podle druhu plodin a jejich vývojového stadia se pohybuje v mezích 40 až 75 % z využitelné vodní kapacity Θ_P , která je rozdílem mezi polní vodní kapacitou Θ_{PK} a bodem vadnutí Θ_V , jak je zřejmé ze vztahu (2b). $Z_{v,min}$ je rozhodujícím podkladem pro správnou závlahu a tím i hlavním podkladem pro stanovení závlahových režimů. Doporučené hodnoty $Z_{v,min}$ pro jednotlivé plodiny a jejich růstové fáze jsou uvedeny v tab. I v příloze B na přiloženém CD-ROM.

Schematické znázornění druhů půdní vody a hydrolimitů podle Slámy (1966) je uvedeno na obr. 2.

4.4. Agronomie

Program vyžaduje zapsat do tab. 3 a 4 tyto agronomické vstupní údaje:

- termín setí nebo výsadby plodiny [měsíc, den],
- časový interval pro předseťovou závlahu plodiny [počet dní před vysetím], zapisuje se v buňce do druhého řádku,
- termín sklizně nebo zralosti plodiny [měsíc, den],
- minimální hloubku zavlažování plodiny $h_{z,min}$ [cm],
- maximální hloubku zavlažování plodiny $h_{z,max}$ [cm],
- číslo typu plodiny [číslice 1, 2 nebo 3],
- délku vývojového stadia plodiny L :
 - počátečního L_{ini} [počet dnů],

- středního L_{mid} [počet dnů],
- pozdního L_{late} [počet dnů],
- koeficienty plodiny K_c pro její vývojové stádium:
 - počáteční $K_{c\ ini}$ [-],
 - střední $K_{c\ mid}$ [-],
 - vegetačního konce nebo začátku sklizně $K_{c\ end}$ [-].

Údaje o hloubce zavlažování minimální $h_{z,min}$ a maximální $h_{z,max}$ se zjistí z tab. II v příloze B na CD-ROM. Termíny setí nebo výsadby plodin a termíny sklizně nebo zralosti plodin, délky vývojových stádií plodin L a koeficienty plodin K_c pro jejich vývojová stadia se zjistí z přílohy C na CD-ROM. Přitom údaje v příloze C je možné měnit podle zkušeností uživatele programu a rovněž zjistit vstupní údaje neuvedených nových plodin.

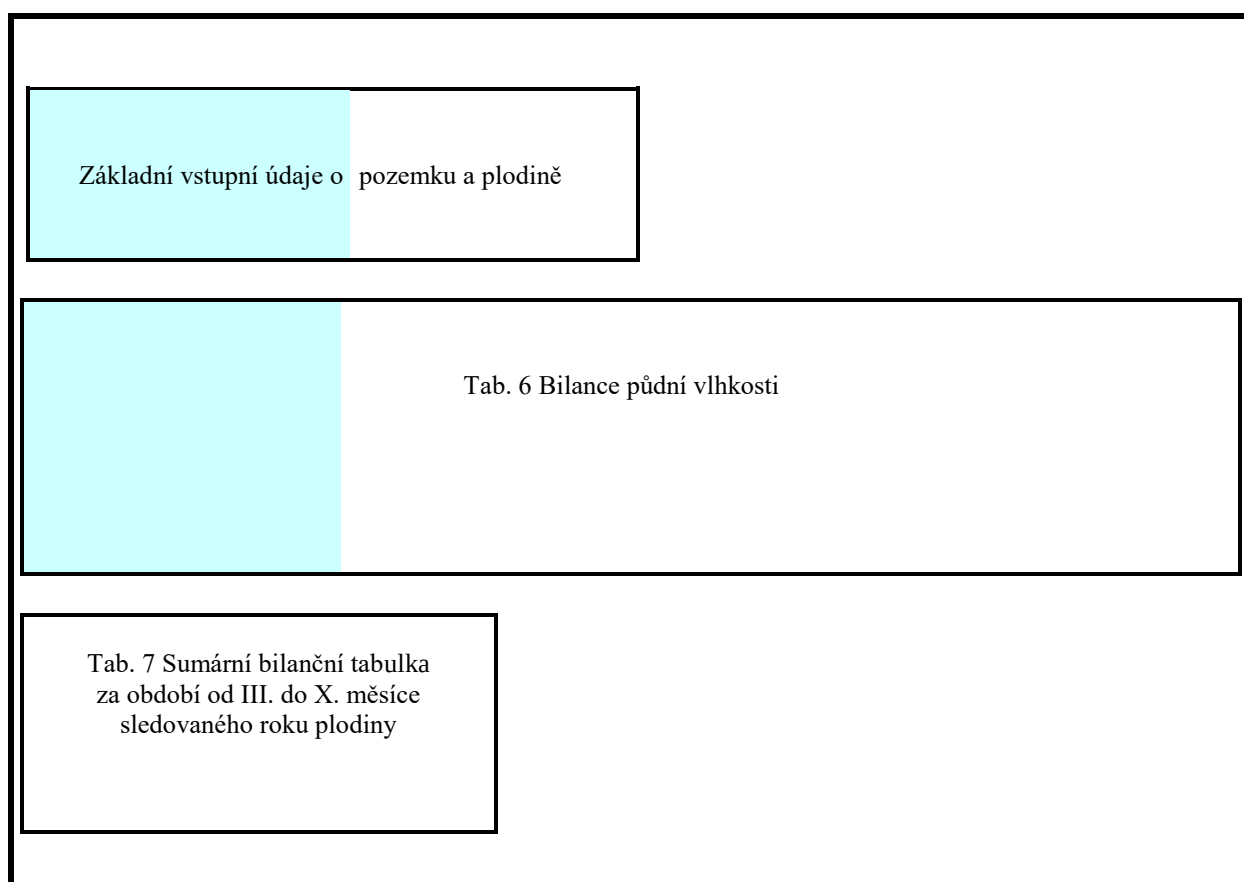
4.5. Závlaha

O uplatnění závlahy a její zápis v programu je podrobně pojednáno v podkap. 3.2.3., na kterou se proto odkazuje.

5. POPIS PROGRAMU

Program IRRIPROG je zpracován v tabulkovém editoru Excel do šablony, jejíž kopie přenesená na list Excel souboru příslušného uživatele slouží jako formulář pro vláhovou bilanci plodin. Šablona programu, šablony pro tisk výsledků a ukázkové příklady A1, A2, A2a, A3 jsou uvedeny na přiloženém CD-ROM v příloze A.

Uspořádání šablony je zřejmé i ze schématu na obr. 7. Jsou to tyto části: část s tabulkami základních vstupních údajů o pozemku a plodině na něm pěstované, část s tabulkou 6, ve které je bilancován obsah vody v půdě a část obsahující sumární bilanční tabulku 7 za období od III. do X. měsíce sledovaného roku. Buňky, které je třeba v obou částech vyplnit, jsou vybarveny azurově. Buňky, které jsou nebarevné mají buď fixně zapsané údaje, anebo se v buňkách automaticky zobrazují vypočítávané údaje. Bezbarvé buňky jsou chráněny proti zápisu, tzn. že uživatel je nemůže přepisovat, a tak je program chráněn proti chybám, které by mohly nastat zápisem do nesprávné buňky.



Obr. 7 Schematické uspořádání tabulek (sestavajících ze tří částí) v šabloně programu IRRIPROG na jednom Excel listu v příloze A,

5.1. Návod na práci se soubory a podsoubory

V následující podkap. 5.1.1. je nejprve popsáno, jak uživatel programu zavede soubory uložené na CD-ROM do paměti svého PC. V podkap. 5.1.2. uživatel vytvoří vlastní podsoubory pro bilancování půdní vlhkosti svých pěstovaných plodin. Podkap. 5.1.3. je věnována instrukcím pro zavádění vstupních údajů do programu IRRIPROG, podkap. 5.1.4.

pak instrukcím k výpočetní tabulce 6 a podkap. 5.1.5. komentáři k tab. 7 v programu, podkap.5.1.6. obsahuje komentář k ukázkovým příkladům A1, A2, A2a, A3, podkap. 5.1.7 je věnována tisku výsledků a v kap. 5.2 je uveden souhrn hlavních zásad pro práci s programem.

5.1.1. Vytvoření souborů v paměti PC uživatele

Program IRRIPROG spolu s dalšími soubory uloženými na CD-ROM se překopírují do paměti PC uživatele:

- Vytvoří se složka s názvem např. ZÁVLAHA, do které se překopírují soubory (v Excelu nazývané sešity):
 - Příloha A: šablona s programem IRRIPROG, šablona pro tisk výsledků a ukázkové příklady A1, A2, A2a, A3.
 - Příloha B: tabulky s doporučenými podklady pro vstupní údaje plodin do programu.
 - Příloha C: tabulky se vstupními údaji plodin, tj. s doporučenými délkami vývojových stádií plodin L , koeficientů plodin K_c a daty sadby a začátku sklizně (dozrání) plodin, šablona pro vytvoření vstupních údajů plodin.

Úkon se obvykle uskuteční před prvním použitím programu IRRIPROG.

5.1.2. Vytvoření nového souboru pro bilancování půdní vlhkosti plodin programem IRRIPROG

Je třeba uskutečnit tyto činnosti.

1. Otevřít Excel soubor Příloha A zavedený do složky ZÁVLAHA v paměti PC uživatele.
2. Kliknout levým tlačítkem na příkaz Soubor na hlavní liště.
Rozbalí se menu.
3. Kliknout levým tlačítkem myši na nabídku menu „Uložit jako...“.
4. Napsat název nového souboru např. ZÁVLAHA rok 2012 do otevřeného menu „Uložit jako“, ve kterém bude uživatel bilancovat půdní vlhkost plodin, které hodlá v daném roce zavlažovat.
5. Kliknout levým tlačítkem na příkaz „Uložit“.
Soubor zvoleného jména se uloží na požadované místo v paměti počítače. Přitom přejmenovaný soubor zůstává na monitoru otevřený.
6. Zkopírovat list IRRIPROG_ŠABLONA v rámci otevřeného souboru do nových listů.
 - a) Kliknout pravým tlačítkem na list IRRIPROG_ŠABLONA.
Rozbalí se menu, ve kterém se kliknutím levým tlačítkem myši označí možnost „Přesunout nebo zkopírovat“. Objeví se panel „Přesunout nebo zkopíro.“ a v něm se rozbalí okno s názvem „Přesunout vybrané listy do sešitu:“, z rozbaleného menu se vybere název otevřeného listu (souboru), v okně „před list“ se označí možnost „(přesunout na konec)“ a v levém dolním rohu se označí čtvereček s názvem „Vytvořit kopii“ kliknutím levým tlačítkem myši na něj.
 - b) Kliknout levým tlačítkem v rozbaleném menu na příkaz OK.
Zkopíruje se IRRIPROG_ŠABLONA do vytvořeného nového listu s názvem IRRIPROG_ŠABLONA (1).
Postup uvedený pod body 6a), 6b) se opakuje tolikrát, kolik plodin je navrhováno pro bilanci jejich vlhkosti půdy, přičemž se kopii listu IRRIPROG_ŠABLONA postupně vytvářejí nové listy s názvy IRRIPROG_ŠABLONA (1), IRRIPROG_ŠABLONA (2), IRRIPROG_ŠABLONA (3) atd.

7. Vytvořit název plodiny přejmenováním listů s označením IRRIPROG_ŠABLONA (x).
 - a) Kliknout pravým tlačítkem na list IRRIPROG_ŠABLONA (x).
 Rozbalí se menu, ve kterém se kliknutím levým tlačítkem myši označí možnost „Přejmenovat“. Tím se černě podbarví název listu **IRRIPROG_ŠABLONA (x)** a lze jej přejmenovat názvem plodiny např. ŘEPA CUKROVÁ.
 Uvedeným postupem 7a) se vytvoří všechny listy požadovaných plodin, ve kterých je zkopírována IRRIPROG_ŠABLONA programu. Listy plodin jsou tak připraveny k vyplnění a k výpočtům podle podkap. 5.1.3. a 5.1.4. List s názvem IRRIPROG_ŠABLONA se doporučuje nepřejmenovávat a ponechat jej k možnému dalšímu využití v daném souboru pro případné rozšiřování sledovaných plodin.
8. Zavřít nově vytvořený soubor pro bilancování půdní vlhkosti plodin.
 Počet sledovaných plodin ve vytvořeném souboru lze kdykoliv doplňovat použitím úkonů uvedených pod body 6 a 7.

Následující popis jednotlivých částí programu uvedených v podkap. 5.1.3. až 5.1.7. lze sledovat v příloze A na přiloženém CD-ROM.

5.1.3. Instrukce k vyplnění části obsahující základní vstupní údaje o pozemku a plodině

Název uživatele závlahy:

Plodina: název plodiny.

Pozemek: místní název pozemku.

Rok: označení kalendářního roku.

Tab. 1 Údaje o pozemku a jeho umístění, výška měření rychlosti větru nad terénem atmosferický tlak, teplotní pásmo:

Zemědělský subjekt: název zemědělského podniku.

Meteorologická stanice: v případě užití dat ze stanice ČHMÚ, název pod kterým je v této instituci vedena, v případě užití dat z vlastní stanice, název místa, ve kterém se nachází.

Výměra pozemku [ha]: výměra skutečně zavlažované plochy.

Sklon pozemku [%]: převládající sklon.

Nadmořská výška z [m n. m.]: místa pozemku.

Zeměpisná šířka φ_s [úhlové stupně]: místa pozemku

Zeměpisná šířka φ [desetinné číslo]: k převodu úhlových stupňů na desetinné číslo slouží tab. 1a.

Výška měření rychlosti větru nad povrchem terénu z_m [m].

Atmosférický tlak P [kPa]: program vypočítává podle nadmořské výšky pozemku pomocí vztahu (13a).

Tab.2 Půdní charakteristiky:

Polní vodní kapacita Θ_{PK} [% obj.]: naměřená hodnota, nebo hodnota vypočtená ze závislosti polní vodní kapacity na obsahu zrn I. kategorie podle Kopeckého, tj. zrn menších než 0,01 mm (tab. 2a). Pokud není znám obsah zrn I. kategorie, je možné jej orientačně stanovit z tabulky 2b.

Bod vadnutí Θ_v [% obj.]: dtto polní vodní kapacita.

Minimální zásoba půdní vláhy $Z_{v,min}$ [měsíc, den, % Θ_p]: kalendářní měsíc konce období, kalendářní den konce období, přípustné % využitelné vodní kapacity půdy v daném období (je třeba vždy uvažovat dvě období – růstové fáze). V případě, že po celé vegetační období plodiny má platit pouze jedna růstová fáze (vyskytuje se hlavně u zelenin), pak příslušná časová data a $Z_{v,min}$ z prvního řádku je třeba zopakovat i ve druhém řádku.

Tab. 3 Agronomické charakteristiky:

Agrotechnický termín sázení [měsíc, den, počet dnů od 1.I.]: číslo kalendářního měsíce a kalendářní den setí, resp. výsadby, k tomu program vypočte počet dnů od 1. ledna počínaje.

Časový interval pro předseťovou závlahu plodiny [počet dní před vysetím]: v případě, že plodina vyžaduje vhodnou vlhkost půdy před jejím setím nebo výsadbou, zadá se počet dnů před jejím vysetím (výsadbou), kdy je možné dodat závlahu. V případě, že se s předseťovou závlahou neuvažuje, napíše se do řádku tabulky nula.

Agr. termín začátku sklizně [měsíc, den, počet dnů od 1. I.]: kalendářní měsíc a kalendářní den, ve kterém plodina dosáhla fyziologické zralosti, k tomu program vypočte počet dnů od 1. ledna počínaje.

Počet dnů od zasetí do sklizně: počet dnů od zasetí do sklizně vypočítává program.

Min. hloubka zavlažování $h_{z,min}$ [cm]: určí se s ohledem na druh plodiny, neměla by být menší než 10 cm, doporučené hodnoty jsou v tab. II na příl. B.

Max. hloubka zavlažování $h_{z,max}$ [cm]: účinná hloubka navlažení na začátku sklizně, doporučené hodnoty jsou v tab. II na příl. B.

Tab. 4 Číslo typu plodiny, délky vývojových stádií plodiny a koeficienty plodinové křivky K_c :

Číslo typu plodiny [číslice 1, 2 nebo 3]: podle tab. 4a.

Následující údaje se zadávají podle vývojových stádií plodiny takto:

Stádium: počáteční: délka L_{ini} [počet dnů], koeficient plodiny $K_{c,ini}$ [bez rozměru],
rozvojové: délka L_{dev} [počet dnů], koeficient plodiny $K_{c,dev}$ neuvádí se,
střední: délka L_{mid} [počet dnů], koeficient plodiny $K_{c,mid}$ [bez rozměru],
pozdní: délka L_{late} [počet dnů], koeficient plodiny $K_{c,end}$ [bez rozměru].

Tabulka má čtyři části.

První část se vyplňuje u plodin s číselným označením 1 nebo 2 (hlavní nebo následná plodina), ve zbývajících třech částech se místo čísel zapisuje mezerník.

Čtyři nebo tři části tabulky se vyplňují u víceletých píceň (např. vojtěšky) se čtyřmi nebo třemi sečmi v užitkovém roce, přičemž vstupní údaje každé seče se zapisují do příslušné části tabulky, např. 1. seč do 1. části tabulky atd.

Tab. 5 Koeficienty využitelnosti srážek α_s :

Koeficienty využitelnosti srážek α_s [%]: zapisí se podle tab. 5a, tzn. v závislosti na velikosti srážky a převážném sklonu pozemku.

Uvedené údaje je třeba všechny zadat na začátku práce programu pro bilancovanou plodinu. Údaje, které nelze stanovit přesně, se zadávají podle předchozích zkušeností zemědělce a po nástupu skutečného termínu se zpřesněný údaj zápisem do příslušného místa

opraví. Program však podle zapsané změny může upravit předchozí původně vypočtená data v bilanční tab. 6: Bilance půdní vlhkosti.

5.1.4. Instrukce k výpočetní tab. 6 Bilance půdní vlhkosti

Sloupce tabulky 6 jsou v záhlaví označeny čísly v závorkách, podle nich je zpracován následující komentář.

- (1) *Měsíc*: bilance půdní vlhkosti se počítá ve vegetačním období, které je pevně ohraničeno měsíci březen až říjen.
- (2) *Den*: pevně jsou označeny kalendářní dny od 1. března do 31. října.
- (3) *Počet dní v roce od 1. ledna*: program údaj vypočítává podle zadaného roku.
- (4) *Denní srážka S [mm]*: zapíše se hodnota denního úhrnu srážek, která se stanovuje v 7 hodin za předchozí den, doporučuje se měřit denní srážky v místě blízkém zavlažovaného pozemku.
- (5) *Minimální denní teplota vzduchu T_{min} [°C]*: zadává se.
- (6) *Maximální denní teplota vzduchu T_{max} [°C]*: zadává se.
- (7) *Průměrná denní teplota vzduchu T_{str} [°C]*: program vypočítává podle vztahu (12).
- (8) *Minimální denní relativní vlhkost vzduchu RH_{min} [%]*: zadává se.
- (9) *Maximální denní relativní vlhkost vzduchu RH_{max} [%]*: zadává se.
- (10) *Průměrný denní tlak nasycené vodní páry vzduchu e_s [kPa]*: program vypočítává podle vztahů (14) a (14a).
- (11) *Průměrný aktuální denní tlak vodní páry vzduchu e_a [kPa]*: program vypočítává podle vztahu (15).
- (12) *Sytostní doplněk $e_s - e_a$ [kPa]*: program vypočítává pomocí vztahů (14) (14a) a (15).
- (13) *Sklon křivky tlaku nasycené vodní páry vzduchu Δ [kPa °C⁻¹]*: program vypočítává podle vztahu (16).
- (14) *Psychrometrická konstanta γ [kPa °C⁻¹]*: program vypočítává podle vztahu (13).
- (15) *Průměrná denní rychlost větru z_m m metrů nad zemí u_{zm} [m·s⁻¹]*: zadává se.
- (16) *Průměrná denní rychlost větru 2 metry nad zemí u_{2m} [m·s⁻¹]*: program vypočítává podle vztahu (17).
- (17) *Solární deklinace δ [rad]*: program vypočítává podle vztahu (19g).
- (18) *Úhel paprsků v hodině západu slunce ω_s [rad]*: program vypočítává podle vztahu (19h).
- (19) *Denní mimozemská radiace R_a [MJ.m⁻².den⁻¹]*: program vypočítává podle vztahu (19d).
- (20) *Globální radiace R'_s [W.m⁻²]*: zadává se.
- (21) *Globální radiace R_s [MJ.m⁻².den⁻¹]*: program vypočítává na zvolenou jednotku pomocí vztahu (19a₁)
- (22) *Radiace při jasné obloze R_{so} [MJ.m⁻².den⁻¹]*: program vypočítává podle vztahu (19c).

- (23) *Relativní krátkovlnná radiace* R_s/R_{so} [bez rozměru]: program vypočítává pomocí vztahů (19a₁) a (19c).
- (24) *Čistá krátkovlnná radiace* R_{ns} [MJ.m⁻².den⁻¹]: program vypočítává podle vztahu (19a).
- (25) *Čistá dlouhovlnná radiace* R_{nl} [MJ.m⁻².den⁻¹]: program vypočítává podle vztahu (19b).
- (26) *Čistá radiace povrchu půdy s plodinou* R_n [MJ.m⁻².den⁻¹]: program vypočítává podle vztahu (19).
- (27) *Referenční evapotranspirace* ET_o [mm]: program vypočítává podle vztahu (11).
- (28) *Agrotechnický termín sázení a sklizně, u víceletých píceň seče*: vypisuje program v termínech podle zadání v tab. 3 a 4.
- (29) *Koeficient plodiny* K_c [popis]: program vypisuje podle údajů zadaných v tab. 4.
- (30) *Koeficient plodiny* K_c [bez rozměru]: program vypisuje podle hodnot zadaných v tab. 4.
- (31) *Koeficient stresu plodiny* K_s [bez rozměru]: program vypočítává v případě poklesu zásoby vody v půdě pod mez zavlažování Θ_z podle vztahu (22), jinak je roven 1.
- (32) *Evapotranspirace plodiny* ET_c event. $ET_{c, adj}$ [mm]: program vypočítává podle vztahu (20) event (21).
- (33) *Využitelná denní srážka* $\alpha_s \cdot S \cdot 100^{-1}$ [mm]: program vypočítává podle zadané velikosti srážky ve sloupci 4 s ohledem na velikost koeficientu využitelnosti srážky α_s podle zadání v tab. 5.
- (34) *Aktualizovaná hloubka zavlažování* h_z [cm]: zadává se pokud se zjistí, že programem vypočtená hloubka kořenů plodiny se odchyluje od skutečně zjištěné hodnoty v dané době vývoje plodiny.
- (35) *Průběžná hloubka zavlažování* h_z [cm]: vypočítává program pomocí vztahů (2c) a (2d).
- (36) *Zásoba vody v půdě při bodu vadnutí* $W_{\theta V}$ [mm]: vypočítává program v závislosti na hodnotě θ_V zadané v tab. 2 a hloubce kořenů plodiny.
- (37) *Zásoba vody v půdě při polní vodní kapacitě* $W_{\theta PK}$ [mm]: vypočítává program v závislosti na hodnotě θ_{PK} zadané v tab. 2 a hloubce kořenů plodiny.
- (38) *Dolní hranice zásoby vody v půdě* $W_{\theta Z}$ [mm]: vypočítává program v závislosti na hodnotě minimální zásoby vody v půdě $Z_{v min}$ zadané v tab. 2 a hloubce kořenů plodiny.
- (39) *Počáteční nebo aktualizovaný obsah vody v půdě* W [mm]: zadává se jako počáteční obsah buď měřením stanovená hodnota, nebo při bilancování od 1.3. se doporučuje hodnota 85 % polní vodní kapacity ve sloupci (37), aktualizovaný obsah je měřením stanovená hodnota.
- (40) *Závlahový alarm*: program vypočítává a aktivuje, jestliže hodnota okamžitého obsahu vody v půdě ve sloupci (42) poklesne pod dolní hranici obsahu vody v půdě. θ_z ve sloupci (38). Závlahový alarm navrhne rozmezí, ve kterém je vhodné dodat velikost závlahové dávky M_d ve sloupci (41).

- (41) *Velikost dodané závlahy M_d [mm]*: zadává se a její velikost závisí především na druhu použitého závlahového detailu. Její velikost by neměla překročit množství vody potřebné na doplnění obsahu vody v půdě na polní vodní kapacitu. Dodanou velikost netto závlahové dávky je potřeba zapsat v první den začátku závlahy pozemku plodiny.
- (42) *Momentální obsah vody v půdě W [mm]*: vypočítává program bilancováním půdní vody v závislosti na hloubce zavlažování plodiny.
- (43) *Průsak vody odtokem do spodiny W_o [mm]*: vypočítává program a zapisuje jej překročí-li množství vody v půdě v bilancované hloubce polní vodní kapacitu.
- (44) *Oznámení ukončení bilancování a poznámky*: program jej aktivuje jednak po dosažení agrotechnického termínu zralosti plodiny, kdy se červeně napíše oznámení o ukončení bilance půdní vlhkosti **KONEC BILANCE** a také v případě že 1. 3. nebyl u plodiny vložen údaj o počátečním obsahu vody v půdě, kdy se objeví chybové hlášení červeným nápisem: **ZADEJ POČÁTEČNÍ obsah vody v půdě ve sloupci (39)**.
- (45) *Datum [den, měsíc]*: pro lepší komfort k rozhodování zda dodat závlahovou dávku M_d , program vypisuje denní datum.
- (46) *Koeficienty plodiny [popis]*: pro lepší komfort k rozhodování zda dodat závlahovou dávku M_d , program opisuje denní koeficienty plodiny K_c ze sloupce (29).

5.1.5. Komentář k výpočetní tab. 7 Sumární bilanční tabulka za období od III. do X. měsíce

Za celé bilancované období od 1.3 do 31. 10. se automaticky vypočítávají a do tab. 7 vkládají měsíční a roční hodnoty bilančních prvků a jejich sumární kontrolní bilance. Je třeba poznamenat, že roční bilance obvykle nemusí být uzavřená (tj. nebude mít nulovou hodnotu) především vlivem skutečnosti, že na začátku a na konci bilancovaného období může být jiná uvažovaná hloubka bilancovaného půdního profilu. V tom případě není možné porovnat zásobu vody v půdě na začátku a na konci bilancovaného období.

5.1.6. Komentář k ukázkovým příkladům A1, A2, A2a, A3 v příloze A

Ukázkové příklady v editoru Excel, které zároveň sloužily k odladění programu, jsou uvedeny na samostatných Excel listech v příloze A spolu se šablonou programu IRRIPROG a šablonami pro tisk výsledků. Příklad A1 ukazuje postup při bilancování hlavní plodiny, konkrétně cukrové řepy, příklady A2 a A2a jsou věnovány bilančnímu postupu na pozemku, na kterém byla pěstována hlavní plodina – brambory rané (příklad A2) a po ní byla vyseta následná plodina pšenice ozimá (příklad A2a). Příklad A3 je věnován víceleté víceřečné pícnině – vojtěšce v užitkovém roce. Meteorologická data v příkladech jsou převzata ze záznamů automatické meteorologické stanice zaznamenaných v roce 2010. Stanice je umístěna na experimentální ploše VÚMOP v Cítově, nacházející se v blízkosti Mělníka ve Středočeském kraji. Příklady jsou zpracovány pro hlinitou půdu, tj. střední druh půdy. Vstupní údaje plodin byly převzaty z přílohy C: Tabulky s doporučenými délkami vývojových stádií plodin L , koeficienty K_c plodin a daty začátku sadby a sklizně (dozrání) plodin. Jelikož se jedná o pozemky v Polabí, teplotní pásmo je TP1.

Ukázkový příklad A1

Příklad je zpracován pro cukrovou řepu. Za pozornost stojí vysvětlit datum uskutečněního termínu začátku sklizně 31.10. v tab. 6 (ve sl. 28). Toto datum se uskutečnilo proto, že

uvedený termín stanovený v tab. 3 je dřívější než termín, který by vznikl pomocí součtu hodnoty sázení (v tab. 3) a součtu hodnot vývojových stádií cukrové řepy L v tab. 4, který činí datum 1. 11. Z toho vyplývá obecný poznatek, že začátek sklizně (dozrání) se uskuteční v nižším datu z uvedených dvou možností.

Ukázkový příklad A2

V příkladě je bilancována půdní vlhkost brambor raných. Část vstupních údajů byla převzata z podkladů uvedených v předchozím příkladě A1. Datum začátku sklizně (dozrání) 28. 6. se uskutečnilo pomocí součtu hodnoty sázení (v tab. 3) a součtu hodnot vývojových stádií raných brambor L v tab. 4. Po raných bramborech se na pozemku vysela pšenice ozimá, jejíž bilance jako následné plodiny je uvedena v příkladě A2a.

Ukázkový příklad A2a

Bilance následné plodiny (v tab. 6) - pšenice ozimé v roce výsevu se začala v den začátku sklizně (dozrání) hlavní plodiny, tj. raných brambor. Počáteční vlhkost půdy pšenice se zjistila tak, že v datu dozrání 28. 6. raných brambor zjištěném v příkladě A2, se zadala v sloupci (34) - *Aktualizovaná hloubka zavlažování h_z [cm]* - počáteční hloubka zavlažování pšenice 20 cm. Tím ve sloupci (20) - *Momentální zásoba vody v půdě W [mm]* - se získala hodnota zásoby vody v půdě 46,1 mm pro počáteční hloubku. V příkladě A2 zadaný údaj 20 cm ve sl. (34) v uvedeném datu a k tomu programem stanovená hodnota ve sl. (42) jsou pro názornost podbarveny žlutě. Zjištěná hodnota 46,1 mm se ručně přenesla na list příkladu A2a do sloupce (39) - *Počáteční nebo aktualizovaná zásoba vody v půdě W* , tj. do dne kdy byla zjištěna, tj. 28. 6. Předmětná buňka je pro názornost také podbarvena žlutě. Pak se zadaly v den 28. 6. počáteční meteorologické údaje ve sl. (4), (5), (6), (8), (9), (15) a (20) příslušné buňky jsou rovněž podbarveny žlutě.

V příkladě se uvažovalo i s možností předseťové závlahy 28 dnů před setím pšenice jak je zapsáno ve vstupní tab. 3 příkladu A2a. Zasetí se realizovalo dne 20. 9. Vzhledem k dostatečné vlhkosti půdy v uvedeném předseťovém období se závlaha neuskutečnila.

Ukázkový příklad A3

Příklad je uveden jako vzor pro bilancování víceletých vícesečných pícnin v užitkovém roce. V příkladě je bilancována půdní vlhkost vojtěšky v užitkovém roce. Část vstupních údajů byla převzata z podkladů uvedených v příkladě A1. Je třeba upozornit, že plodinu je třeba označit číslem typu plodiny 3 v tab. 4 a vstupní údaje plodiny vypsát pro všechny uvažované seče plodiny (max. 4 seče). V popisu agrotechnických termínů ve sl. (28) program vypisuje jednotlivé seče od jejich začátku do dozrání (začátku sklizně). Ve sl. (29) vypisuje, stejně jako v předchozích příkladech A1, A2, A2a, koeficienty jejich vývojových stádií $K_{c\ ini}$, $K_{c\ dev}$, $K_{c\ mid}$, $K_{c\ late}$, $K_{c\ end}$. Pozdní vývojové stádium je vypisováno koeficientem označeným $K_{c\ late}$, ukončení stádia je označeno symbolem $K_{c\ end}$. Sklizeň se uskutečňuje vždy na začátku počátečního vývojového stádia následující seče. Jinak je bilancování stejné jako u hlavní plodiny.

5.1.7. Tisk výsledků

Pro tisk výsledků je v příloze A rovněž zpracováno 5 listů s těmito šablonami:

- A Pomocný list_k tisku
- B K tisku_Vstupní data (pro tisk základních vstupních údajů o pozemku a plodině)
- C K tisku_Bilance ve formátu A4 (pro tisk tab. 6 Bilance půdní vlhkosti – denní údaje postupně v měsících III až X sledovaného roku a sledovanou plodinu)

- D K tisku_Bilance ve formátu A3 (pro tisk tab. 6 Bilance půdní vlhkosti – denní údaje postupně v měsících III až X sledovaného roku a sledovanou plodinu)
- E K tisku_Sumární bilanční tab. (pro tisk tab. 7 za období od III. do X. měsíce sledovaného roku plodiny).

Šablonami pod písmeny B, C, E se tisknou údaje ve formátu A4, šablonou pod písmenem D ve formátu A3. Šablonou pod písmeny C a D se tisknou jen vybrané nejdůležitější sloupce bilanční tab. 6. K tisku ve formátu A3 je třeba, aby použitá tiskárna mohla tisknout ve formátu A3.

Pro přípravu tisku výsledků a jejich tisk je třeba postupovat po těchto krocích:

1. Překopírovat soubor vybrané plodiny, u které se požaduje tisk výsledků bilance do souboru s názvem „Pomocný list_k tisku“, k tomu uskutečnit tyto činnosti:
 - a) otevřít soubor vybrané plodiny a kliknout levým tlačítkem myši na neoznačenou buňku v levém horním rohu Excel tabulky, ležící v průsečíku názvů řádků a sloupců, nebo lze použít klávesovou zkratku Ctrl + A; tím se podbarvením označí celá Excel tabulka - list ke kopírování,
 - b) uložit kopírovaný soubor do schránky,
 - c) otevřít soubor „Pomocný list_k tisku“, stejným způsobem jako v bodě a), tj. podbarvením označit celou jeho Excel tabulku a ze schránky vložit soubor vybrané plodiny, čímž se automaticky naplní daty od vybrané plodiny všechny čtyři soubory pro tisk výsledků:
 - K tisku_Vstupní data
 - K tisku_Bilance ve formátu A4
 - K tisku_Bilance ve formátu A3
 - K tisku_Sumární bilanční tab.
2. Kliknout levým tlačítkem myši na příkaz „Soubor“ na hlavní liště postupně u všech tří souborů pro tisk výsledků.
Rozbalí se menu.
3. Kliknout levým tlačítkem myši v rozbaleném menu na příkaz Tisk postupně u všech tří souborů pro tisk výsledků.
Vytisknou se na tiskárně postupně všechny údaje ze souboru vybrané plodiny. U tisku ze šablon B, C, E je třeba zvolit tisk ve formátu A4, u tisku ze šablony D zvolit tisk ve formátu A3.

Poznámky:

- a. Při přípravě tisku a vlastním tisku další zpracované plodiny se opět postupuje podle předchozích kroků 1 až 3. Do souboru-listu „Pomocný list_k tisku“ překopírujete soubor vybrané plodiny. Vkopírováním nového souboru vybrané plodiny do „Pomocný list_k tisku“ se automaticky přepíše data v šablonách B, C, D a E.
- b. Je třeba se vyvarovat ručního zásahu do souboru „Pomocný list_k tisku“, není chráněn proti ručnímu přepisu dat. V opačném případě hrozí nebezpečí, že údaje v šablonách B, C, D a E budou chybné.
- c. V případě potřeby vynulovat soubor „Pomocný list_k tisku“, překopíruje se do něj soubor IRRIPROG_ŠABLONA, přičemž se přiměřeně použije návod uvedený pod bodem 1.

5.2. Souhrn hlavních zásad pro práci s programem

Na základě předchozích informací uvedených v podkap. 5.1.1. až 5.1.7. lze pokyny pro práci uživatele s programem IRRIPROG stručně shrnout do těchto hlavních zásad:

1. Před prvním použitím programu IRRIPROG zkopírovat do vlastního PC: CD-ROM se složkou „IRRIPROG s přílohami A, B, C“, ve kterém jsou uloženy program a potřebné přílohy.
Úkon se obvykle uskuteční před prvním použitím programu IRRIPROG.
2. Otevřít přílohu A a vytvořit soubor pro bilancování půdní vlhkosti plodin uživatele programu podle instrukcí uvedených v podkap. 5.1.2.
3. Vyplnit pro každou bilancovanou plodinu všechny požadované základní vstupní údaje podle instrukcí v podkap. 5.1.3.
Údaje, které nelze stanovit přesně, se zadávají podle předchozích zkušeností zemědělce, event. podle tab. I a II na příl. B a tab. na příl. C a po nástupu skutečného termínu se zpřesněný údaj zápisem do příslušného místa opraví. Program však podle zapsané změny může upravit předchozí původně vypočtená data v bilanční tab. 6 Bilance půdní vlhkosti.
4. Zahájit práci na bilancování půdní vlhkosti plodin v tab. 6.
U hlavních plodin bilance začíná od 1. 3. sledovaného roku s tím, že je potřeba ve sloupci (39) *Počáteční nebo aktualizovaná zásoba vody v půdě* W [mm] zadat počáteční zásobu vody v půdě buď měřením stanovenou hodnotu, v případě že měření není k dispozici doporučuje se hodnota 85 až 100 % polní vodní kapacity $W_{\theta PK}$ [mm], kterou program vypisuje ve sloupci (37) *Zásoba vody v půdě při polní vodní kapacitě* $W_{\theta PK}$ [mm].
U následných plodin, které se bilancují na samostatném Excel listu, např. pšenice ozimá v roce výsevu, se zjistí počáteční vlhkost půdy tak, že v den konečné bilance hlavní plodiny se zadá v sloupci (34) - *Aktualizovaná hloubka zavlažování* h_z [cm] - počáteční hloubka zavlažování následné plodiny např. 20 cm. Tím se ve sloupci (42) - *Momentální zásoba vody v půdě* W [mm] - získá hodnota zásoby vody v půdě pro počáteční hloubku, která se ručně přenese do listu následné plodiny do sloupce (39) na den, kdy byla zjištěna. V případě, že uživatel programu zapomene zadat počáteční hodnotu zásoby půdní vody, objeví se červeně chybové hlášení **ZADEJ zásobu vody v půdě**.
5. Zapisovat do sloupců (4), (5) (6), (8), (9), (15) a (20) tab. 6 postupně zjištěné denní údaje o srážce S [mm], minimální a maximální denní teplotě vzduchu T_{min} a T_{max} , minimální a maximální relativní vlhkosti vzduchu RH_{min} a RH_{max} a průměrné denní globální radiaci R'_s .
U hlavních plodin se zadávají uvedené meteorologické údaje od 1. 3. sledovaného roku do dne zralosti plodiny, tj. ve sloupci (28) *Agrotechnický termín sázení a sklizně, u vícelet. píce se objeví název sklizeň (agrotechnický termín zralosti)*.
U následných plodin se zadávají požadované meteorologické údaje ode dne dozrání hlavní plodiny až do zrání následné plodiny v případě, že plodina dozraje ještě ve sledovaném roce, nebo do fiktivního dozrání (s datem 31. 10.), když plodina má dozrát až v následujícím roce.
6. Dodat závlahovou dávku M_d [mm] plodině v případě inicializace závlahového alarmu ve sloupci (40), tj. jestliže hodnota okamžité zásoby vody v půdě W ve sloupci (42) poklesne pod dolní hranici zásoby vody v půdě $W_{\theta Z}$ ve sloupci (38). Závlahový alarm navrhuje rozmezí, ve kterém je vhodné dodat velikost závlahové dávky ve sloupci (41). *Velikost netto dodané závlahy* M_d [mm] se zapisuje do sloupce (41) a závisí především na druhu použitého závlahového detailu. Její velikost by neměla překročit množství vody

potřebné na doplnění zásoby vody v půdě nad polní vodní kapacitu $W_{\theta PK}$. Dodanou velikost závlahové dávky je potřeba zapsat v první den začátku závlahy pozemku plodiny.

7. Aktualizovat hloubku zavlažování plodiny h_z [cm] zápisem do sl. (34), v případě, že uživatel programu zjistí, že hloubka vypočtená programem se podstatně liší od skutečné.
8. Aktualizovat zásobu vody v půdě plodiny W [mm] zápisem do sl. (34), v případě že uživatel programu zjistí, že zásoba vody v půdě vypočtená programem se podstatně liší od skutečné.
9. Zálohovat soubor bilancovaných plodin každého ukončeného sledovaného roku na médiu, zachovávající trvalý zápis, např. na CD-ROM, aby v případě potřeby bylo možné získané výsledky dále zpracovávat bez nebezpečí, že by mohly být vymazány např. poruchou PC.
10. Vytisknout v případě potřeby výsledky podle zásad uvedených v pokap. 5.1.7.

6. LITERATURA

ALLEN, R. G., PEREIRA, L., S., RAES, D., SMITH, M. (1998) *Crop evapotranspiration - Guidelines for computing crop water requirements*. FAO Irrigation and drainage paper – 56: Food and agriculture organization of the United Nations, Rome.

COUFAL, L. et al. (2004) *Fenologický atlas*. 1. vyd. Praha: Nakladatelství ČHMÚ, 264 s. ISBN 80-86690-21-0.

ČSN 75 0434 Potřeba vody pro doplňkovou závlahu.

ČVANČARA, F. (1962) *Zemědělská výroba v číslech (první díl)*. Praha: SZN, 1172 s.

KUTÍLEK, M. (1978) *Vodohospodářská pedologie*. Praha: SNTL Praha, 295 s.

MALÝ, I. et al. (1998) *Polní zelinářství*. Praha: AGROSPÓJ, 196 s.

NOVOTNÝ, M. et al. (1990) *Závlaha polních a speciálních plodin*. Bratislava: Příroda, 312 s.

SLÁMA V. (1966) *Stanovení závlahových režimů zemědělských plodin*. Část II. Metodika č. 8. Praha: ÚVTI MZLVH Praha., 17 s.

SLÁMA, V. (1969): *Stanovení závlahových režimů zemědělských plodin*. Část III. Grafická metoda. Metodika ÚVTIZ 1/1969: 79 s.

SPITZ, P., HEMERKA, I. (2008) Výskyt vláhových deficitů u hlavních druhů plodin v jejich kritických vývojových stádiích v nejsušších oblastech ČR v letech 1961-2000. *Acta MZLU Brno*, LVI, č. 2, s. 157-166. ISSN 1211-8516.

SPITZ, P., ZAVADIL, J., DUFFKOVÁ, R. (2011) Výzkum evapotranspirace na zavlažovaných pozemcích a vytvoření postupů pro racionalizaci závlah v procesu narůstajícího zemědělského sucha. Redakčně upravená výzk. zpráva projektu 02 (etapa 05) výzk. záměru MZE0002704902 „Integrované systémy ochrany a využití půdy, vody a krajiny v zemědělství a rozvoji venkova“. VÚMOP Praha, 57 s., 4 přílohy.

SPITZ, P., ZAVADIL, J., HEMERKA, I. (2007) *Metodika řízení závlahového režimu plodin výpočetním programem ZAPROG 1 (s přílohami A až E na CD-ROM)*. Uživatelský výstup výzk. projektu NAZV ČR č. QF3100 Posouzení nárůstu klimatického sucha v zemědělství a zmírňování jeho důsledků závlahami. Praha: VÚMOP, 32 s. ISBN 978-80-254-0626-7.

TOLASZ, R. et al. (2007) *Atlas podnebí Česka*. 1. vyd. Praha – Olomouc: ČHMÚ, Univerzita Palackého, 256 s. ISBN 978-80-86690-26-1 (ČHMÚ), 978-80-244-1626-7 (UP).

Název	Metodika řízení závlahového režimu plodin výpočetním programem IRRIPROG s přílohami A, B, C na CD-ROM
Autoři	Ing. Pavel Spitz, CSc., Ing. Josef Zavadil, CSc., Ing. Renata Duffková, Ph.D., Doc. Ing. Svatopluk Korsuň, Ph.D., Ing. Marek Nechvátal, Ing. Ivo Hemerka
Recenzenti	Doc. Ing. Jiří Filip, CSc., Ing. Jaroslava Tůmová
Doporučeno	
Redakce	Ing. Květa Královcová
Kontaktní adresa	VÚMOP, v.v.i., Žabovřeská 250, 156 27 Praha 5
Určeno	provozovatelům a uživatelům závlah a ostatní odborné veřejnosti
Vydal	Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, v.v.i.
Vydání	první
Rozsah stran	43
Počet výtisků	200
Vytiskl	Powerprint s.r.o., Kamýcká 751, 165 00 Praha 6-Suchbát, www.powerprint.cz
Distribuce	Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, v.v.i., Žabovřeská 250, 156 27 Praha, tel. 257 027 264, knihovna
ISBN	978-80-87361-11-5