



wydział  
mechatroniki



***„Innowacyjny system monitoringu i prognozowania  
agrometeorologicznego oraz operacyjnego planowania  
nawodnień w gospodarstwach rolnych na Kujawach”  
Minikowo, 14 czerwca 2022***

*Projekt dofinansowany w ramach Programu Rozwoju Obszarów  
Wiejskich na lata 2014-2020, Działanie 16 Współpraca*



Europejski Fundusz Rolny na rzecz  
Rozwoju Obszarów Wiejskich



Agencja Restrukturyzacji  
i Modernizacji Rolnictwa



Program  
Rozwoju  
Obszarów  
Wiejskich  
na lata 2014-2020

# **MODEL MATEMATYCZNY NAWADNIANIA**

## **PODSTAWY NAUKOWE**

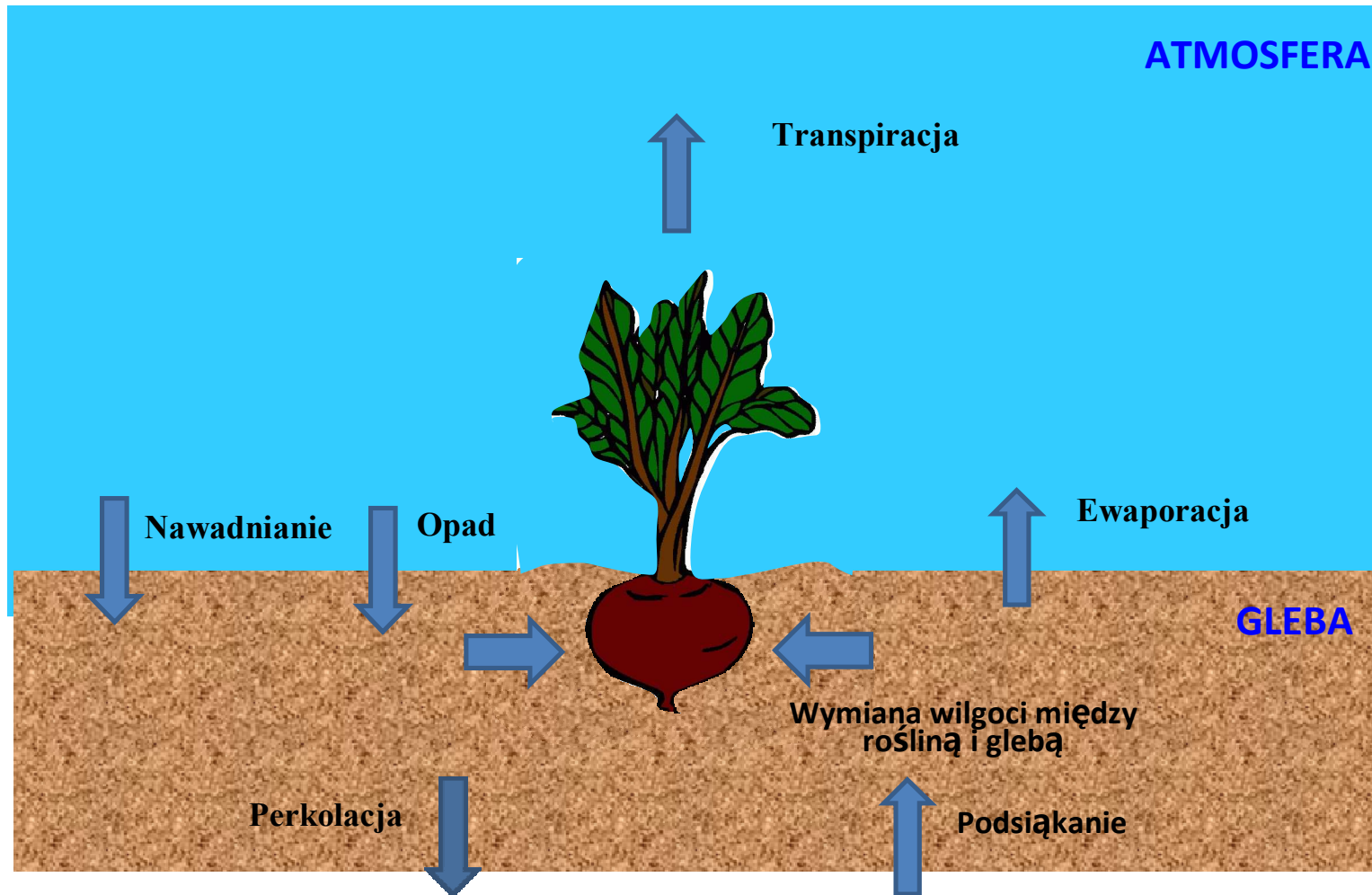
Mariusz Kaczmarek, Mieczysław Cieszko, Katarzyna Kazimierska-Drobny

Zespół UKW:

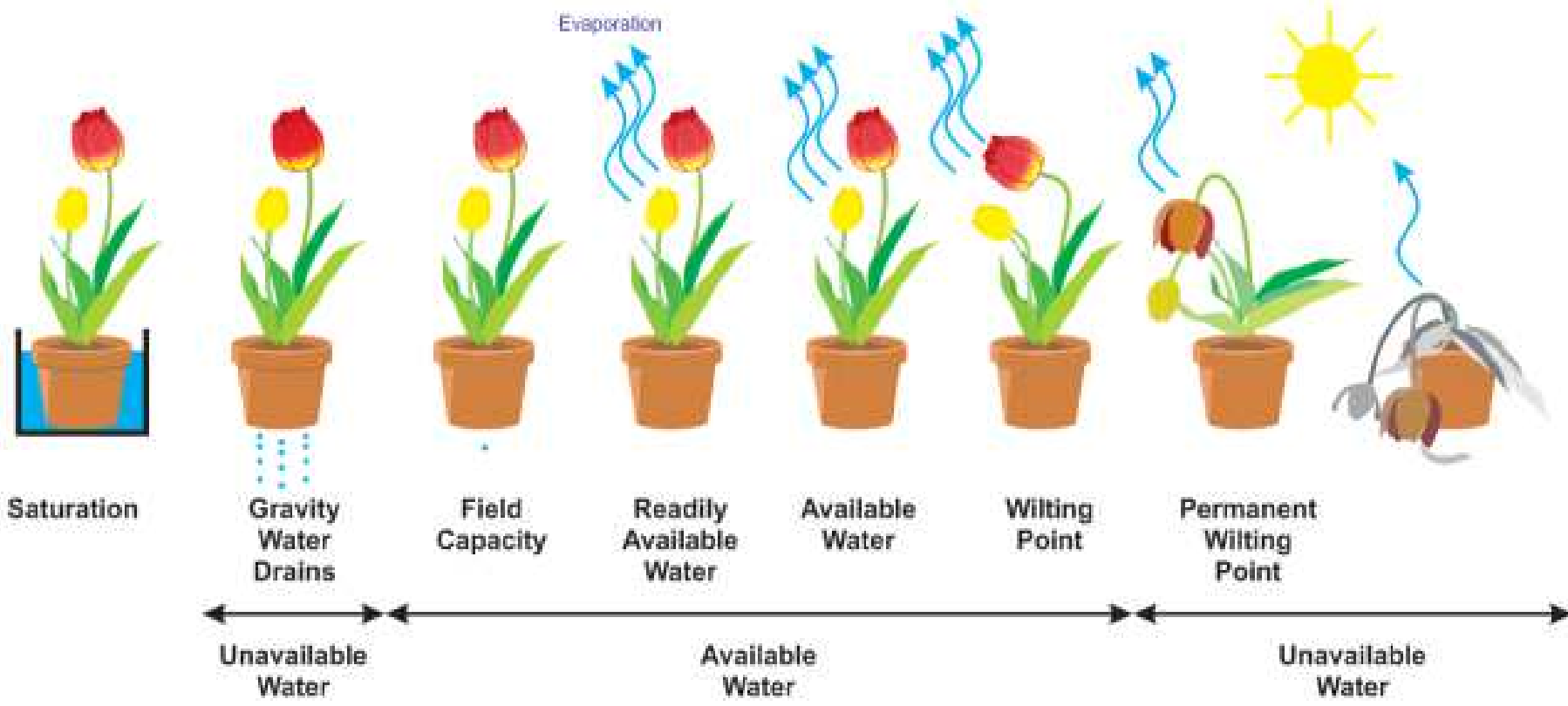
K. Kazimierska-Drobny, M. Cieszko, M. Kempieński, M. Kaczmarek (WM)

I. Rojek, P. Kotlarz, M. Piechowiak (II),

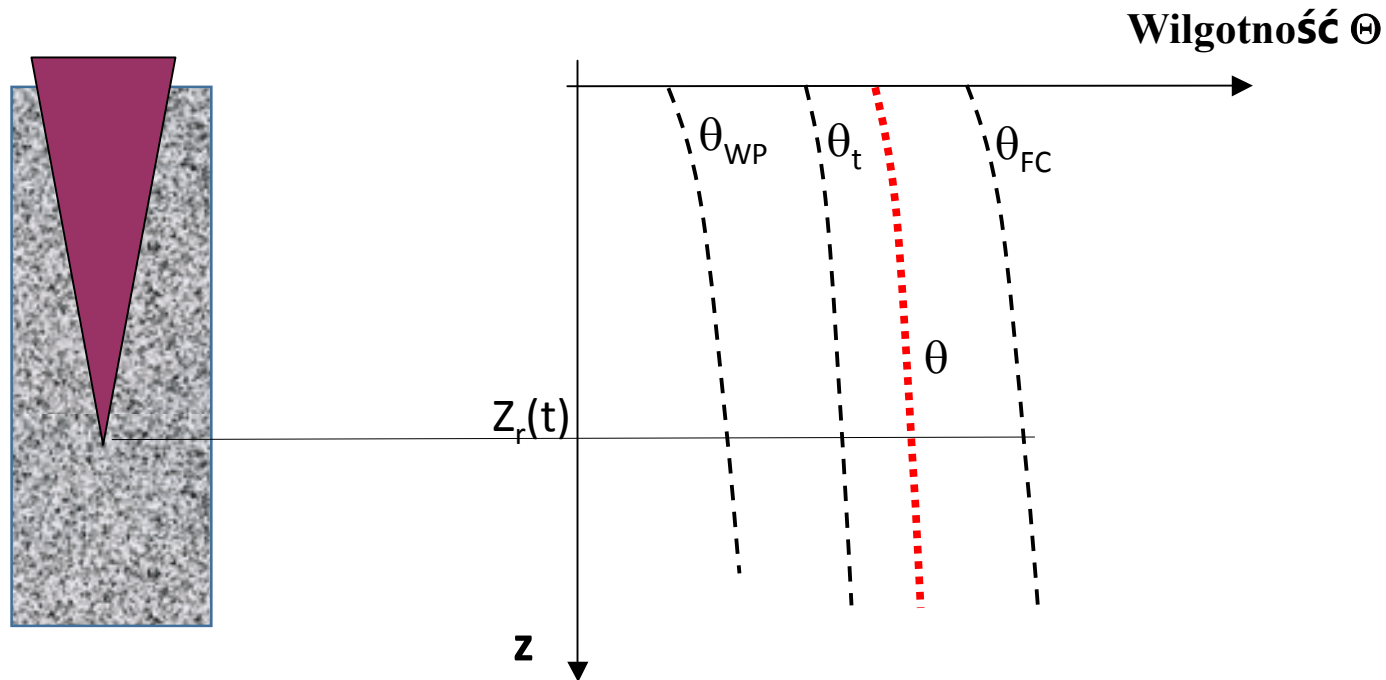
## Model bilansu wodnego uprawy



Allen, R.G.; Pereira, L.S.; Raes, D.; Smith, M. Crop Evapotranspiration: Guidelines for Computing Crop Water Requirements; Irrigation and Drainage Paper 56; Food and Agricultural Organization of the United Nations: Rome, Italy, 1998.



## Wilgotność gleby



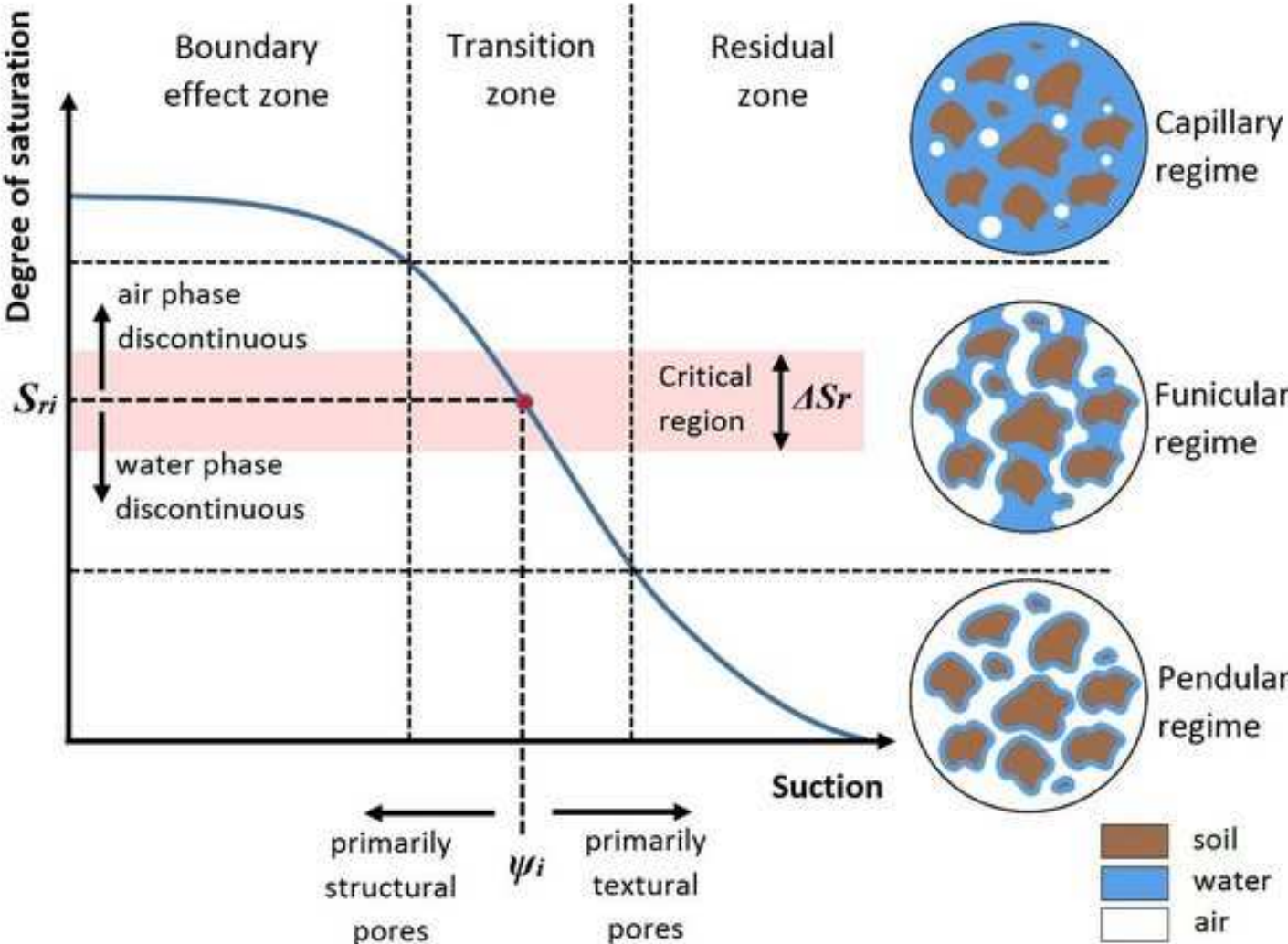
WILGOTNOŚCI GLEBY:

$\theta_{WP}$  – wilgotność trwałego więdnięcia,

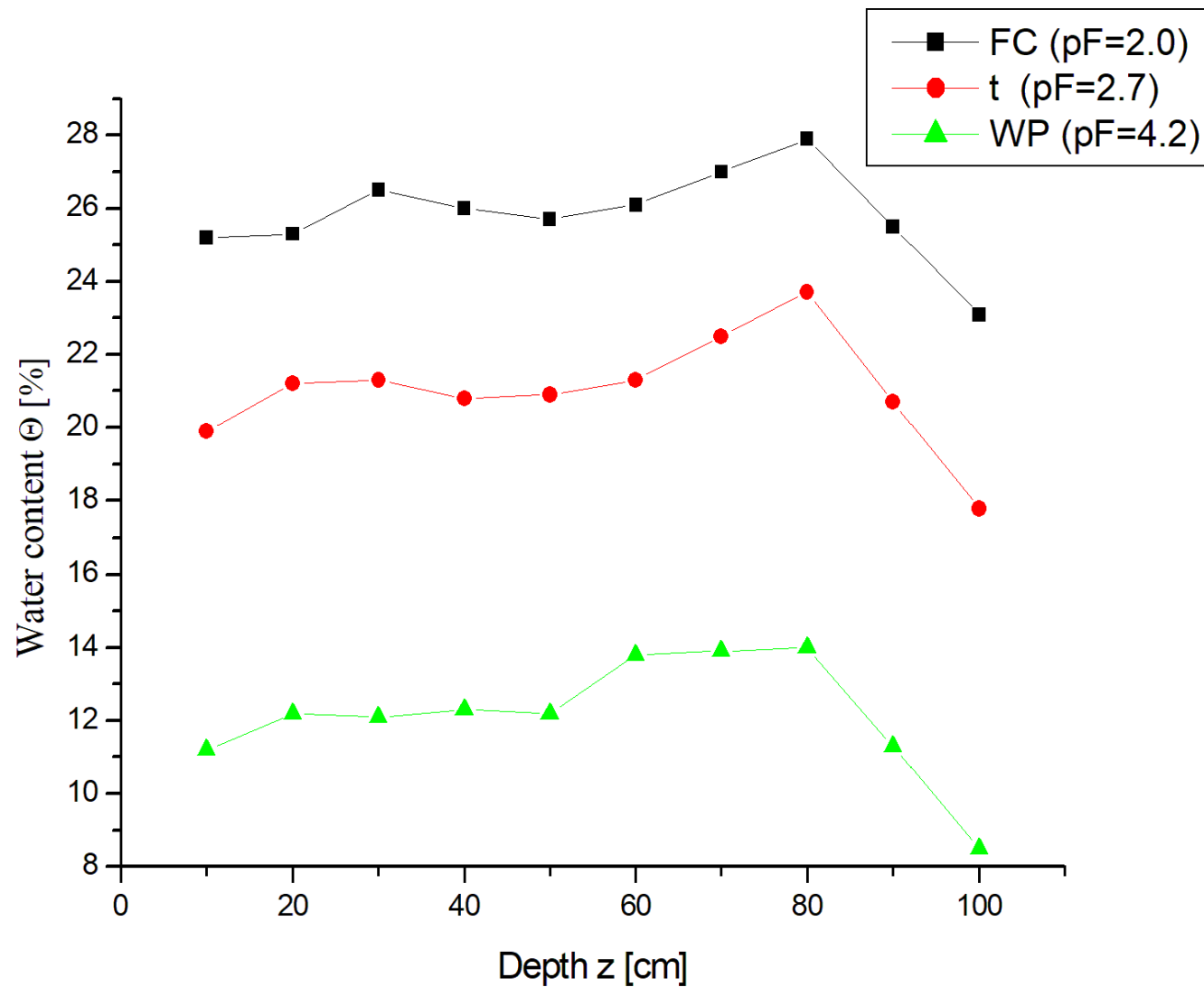
$\theta_t$  – wilgotność progowa (krytyczna) stresu wodnego,

$\theta_{FC}$  – wilgotność maksymalna - pojemność polowa,

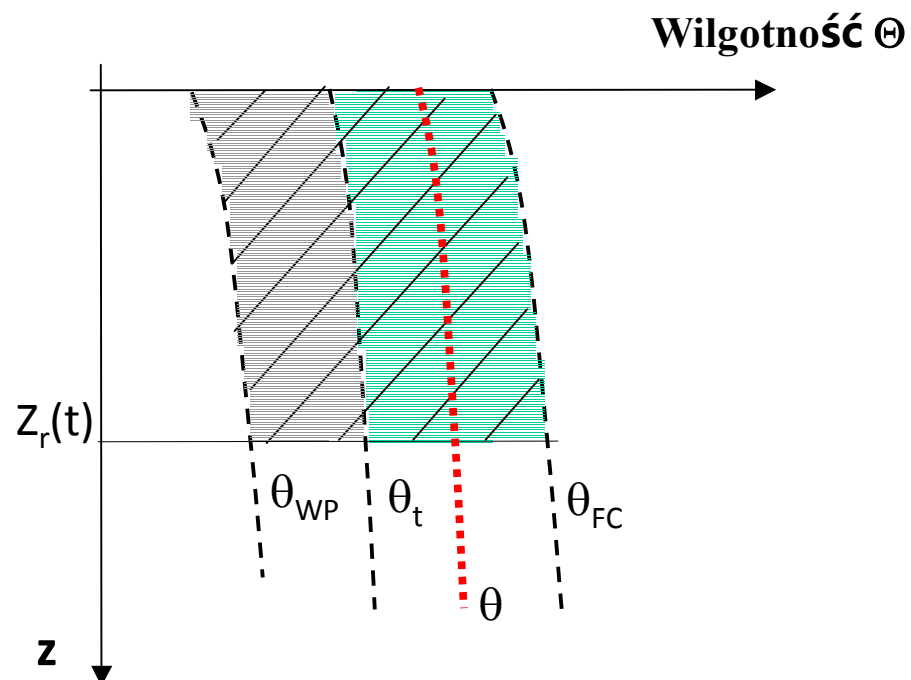
# Krzywe retencji gleby



## Przykładowy rozkład wilgotności w glebie z Kujaw



## Woda dostępna dla roślin



WODA W GLEBIE:

$$RAW(t) = \sum_{k=1}^{N(t)} (\theta_{FC}^k - \theta_t^k) \Delta z$$

$$TAW(t) = \sum_{k=1}^{N(t)} (\theta_{FC}^k - \theta_{WP}^k) \Delta z$$

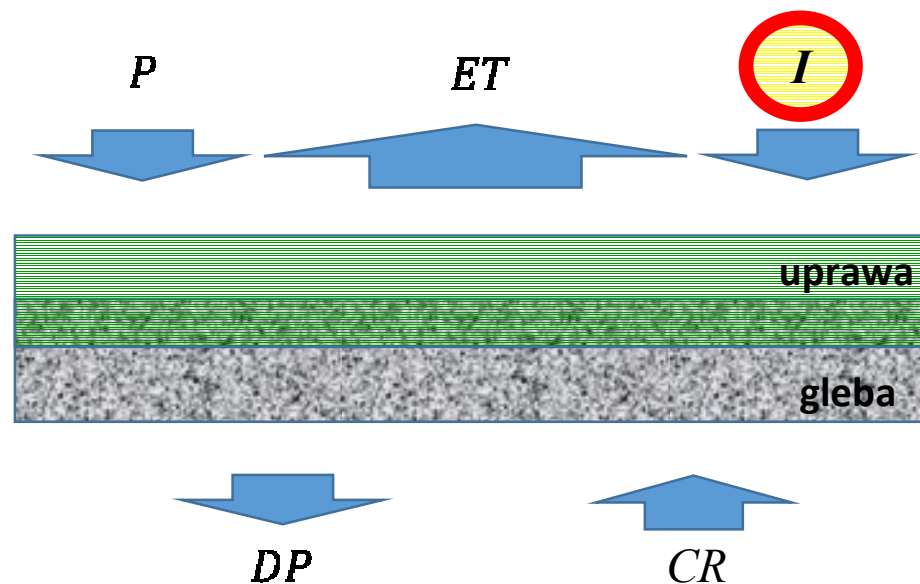
 - łatwo dostępna woda (RAW),

 - zakres stresu wodnego,

 - całkowita dostępna woda (TAW).



## Predykcja nawadniania ( $I$ ) na podstawie uproszczonego modelu bilansu wodnego uprawy



### STRUMIENIE POWIERZCHNIOWE:

$P$  – opad,

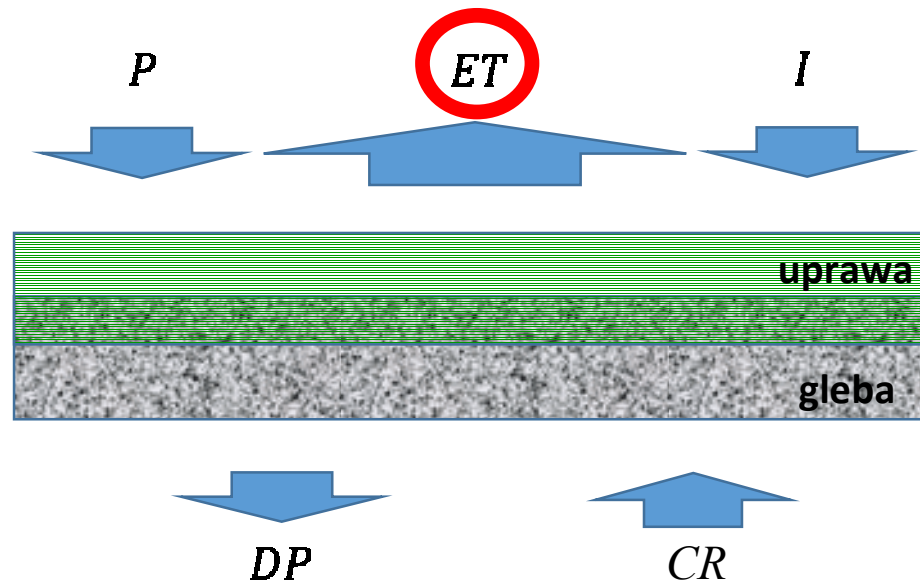
$ET$  – ewapotraspiracja,

$I$  – nawadnianie,

$DP$  – perkolacja (odpływ do głębszych warstw),

$CR$  – podsiąkanie kapilarne.

## Obliczanie ewapotranspiracji



## Wyznaczanie ewapotranspiracji wskaźnikowej (referencyjnej)

Dane METEO:  $T(t)$ ,  $R_sW(t)$ ,  $RH(t)$ ,  $V(t)$ ,  $R_a(t)$ ,  $P(t)$ ,

$$ET_0 = \frac{0.408\Delta R_N + 0.067V \frac{900VPD}{T + 237}}{\Delta + 0.067(1 + 0.34V)} \quad \text{Penman-Monteith method}$$

gdzie

$$R_N = R_{NS} - R_{NL} \quad R_{NS} = 0.77R_s \quad R_s = 0.0864R_{sW}$$

$$R_{NL} = 4.903 \times 10^{-9} (T + 237.16)^4 \left( 0.34 - 0.14 \sqrt{e_a} \right) \left( 1.35 \frac{R_s}{R_{s0}} \right) \quad R_{s0} = 0.75R_a$$

$$VPD = e_s - e_a \quad e_s = 0.6108 \exp\left(\frac{17.27T}{T + 237.3}\right) \quad e_a = RH e_s / 100 \quad \Delta = \frac{4098 e_s}{(T + 237.3)^2}$$

## Wyznaczanie ewapotranspiracji potencjalnej (uprawy)

**Ewapotranspiracja uprawy  $ET_c$**  jest wyznaczana **dla standardowych warunków**. Zakłada się, że uprawa rośnie:

- na dużym polu,
- w optymalnych warunkach agronomicznych,
- w optymalnych warunkach glebowych ( $K_s = 1$ ) (nie występuje stres wodny).

$$ET_c = K_c ET_o$$

gdzie  $K_c$  jest współczynnikiem roślinnym

Ewapotranspiracja uprawy różni się wyraźnie od ewapotranspiracji referencyjnej, ponieważ pokrycie gruntu, właściwości części zielonej uprawy i opór aerodynamiczny uprawy różnią się od takich właściwości trawy.

Wpływ cech odróżniających uprawę polową od trawy jest wyrażony przez współczynnik uprawy  $K_c$ .

## Wyznaczanie ewapotranspiracji rzeczywistej

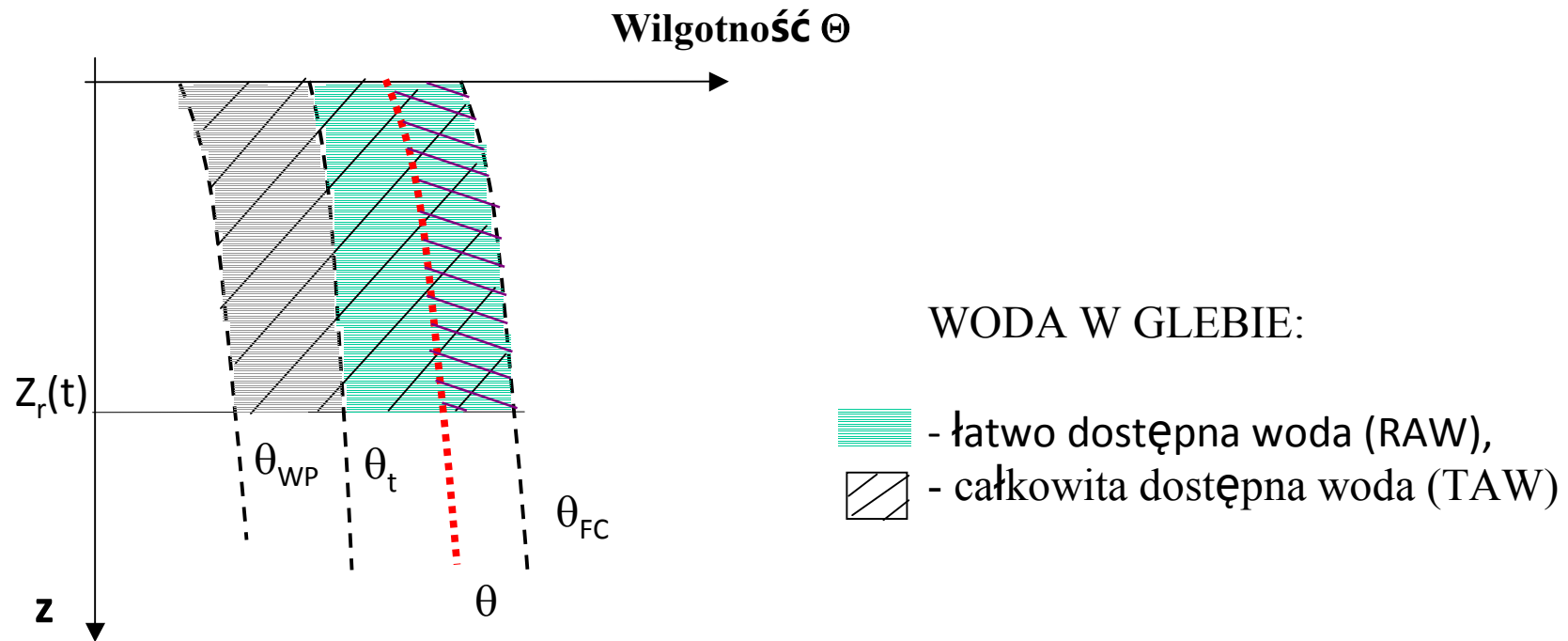
$$ET = K_s K_c ET_o$$

gdzie  $K_s$  jest współczynnikiem stresu wodnego

$$K_s = \frac{TAW - D_r}{TAW - RAW}$$

a  $D_r$  oznacza wyczerpanie wody w strefie korzeni

## Wyczerpanie wody w dobie $i$



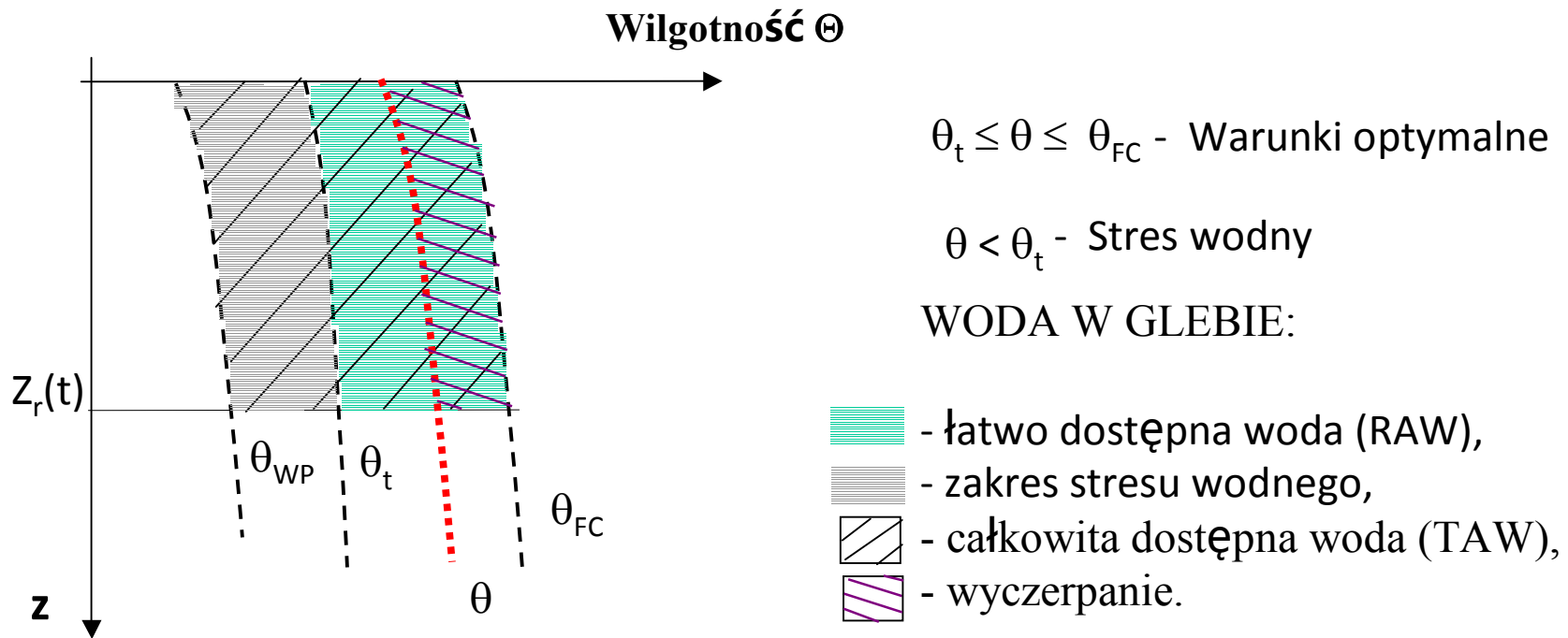
Całkowita dostępna woda TAW:

$$TAW_i = \sum_{j=1}^{j=J_i} (\theta_{FCj} - \theta_{WPj}) \Delta z$$

Łatwo dostępna woda RAW:

$$RAW_i = \sum_{j=1}^{j=J_i} (\theta_{FCj} - \theta_{ij}) \Delta z$$

## Wyczerpanie wody w dobie $i$



Wyczerpanie wody w strefie korzeni:

$$D_r(t) = \sum_{k=1}^{N(t)} (\theta_{FC}^k - \theta^k) \Delta z$$

Dobowe wyczerpanie wody z bilansu wody:

$$D_{ri} = D_{ri-1} - (P - RO)_i - I_i - CR_i + ET_i + DP_i$$

## Wyznaczanie dobowego (*i*) wyczerpania $D_r$

$$\text{dla } 0 \leq D_{ri} \leq RAW_i, \quad K_s = 1$$

$$D_{ri} = D_{ri-1} + ET_{ci} - (P - RO)_i - I_i - CR_i + DP_i, \quad ,$$

---

$$\text{dla } RAW_i \leq D_{ri} \leq TAW_i, \quad K_s < 1$$

$$D_{ri} = D_{ri-1} + ET_i - (P - RO)_i - I_i - CR_i + DP_i, \quad ,$$

$$ET_i = K_{si} K_{ci} ET_{0i},$$

$$K_{si} = \frac{TAW_i - D_{ri}}{TAW_i - RAW_i}$$



## Wyczerpanie ( $D_r$ ) dla warunków stresu wodnego

dla  $RAW_i \leq D_{ri} \leq TAW_i$ ,

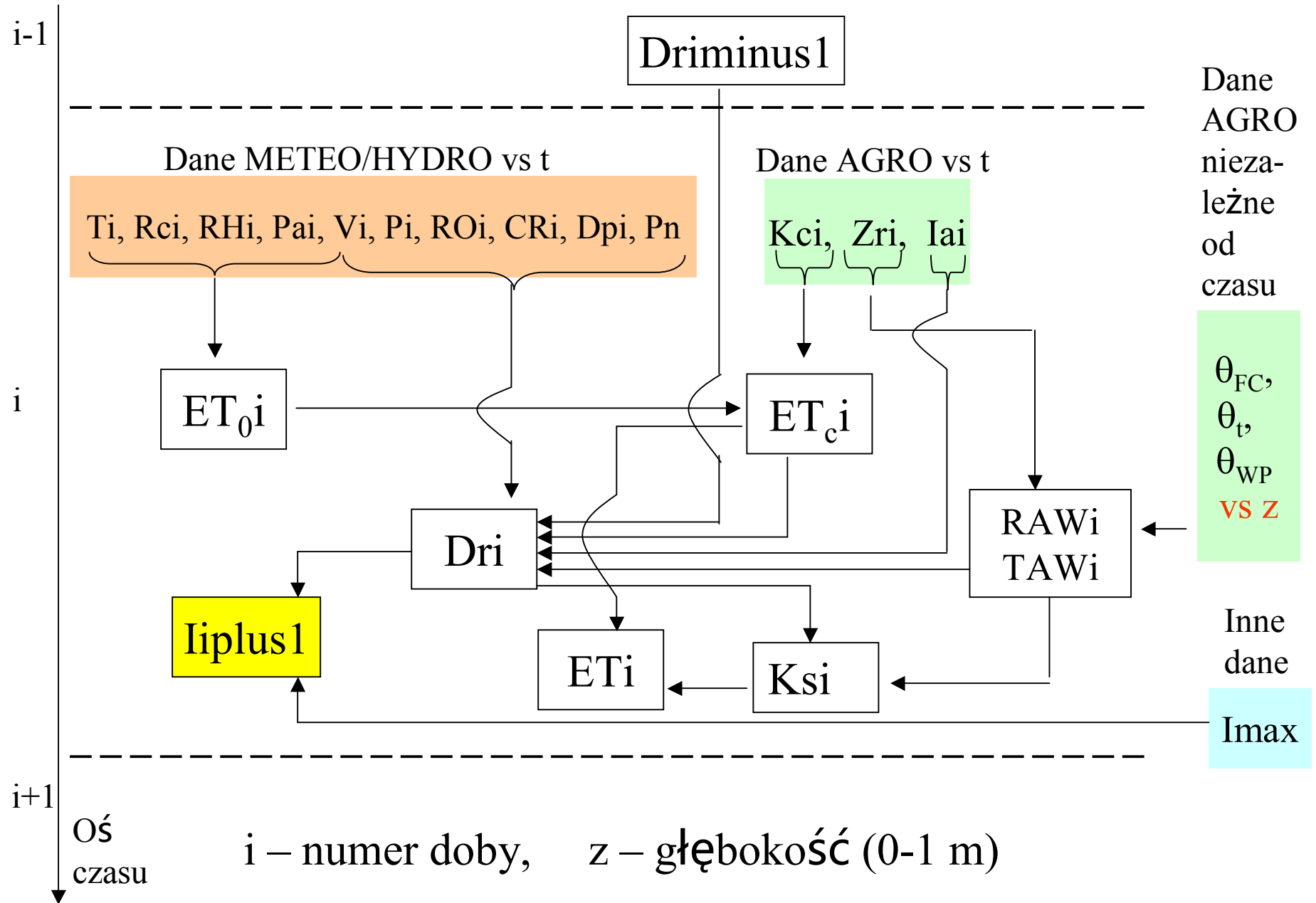
$$D_{ri} = \frac{[D_{ri-1} - (P - RO)_i - I_i - CR_i + DP_i](TAW_i - RAW_i) + ET_{ci}TAW_i}{TAW_i - RAW_i + ET_{ci}},$$

Predykcja dawki nawodnienia:

$$D_{ri} < RAW_i, \quad I_{i+1} = 0$$

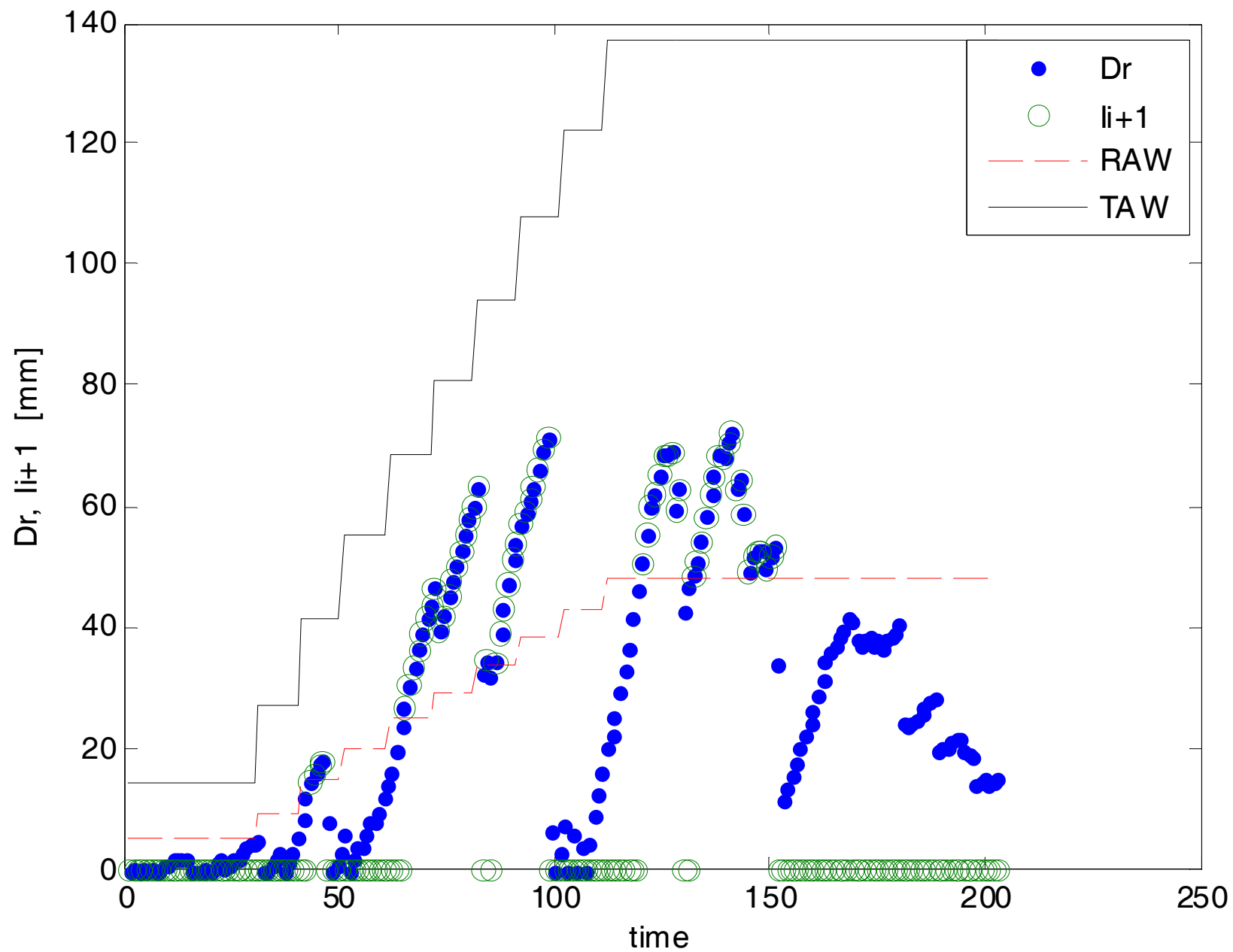
$$D_{ri} \geq RAW_i, \quad I_{i+1} = \alpha D_{ri}$$

# Algorytm predykcji nawadniania

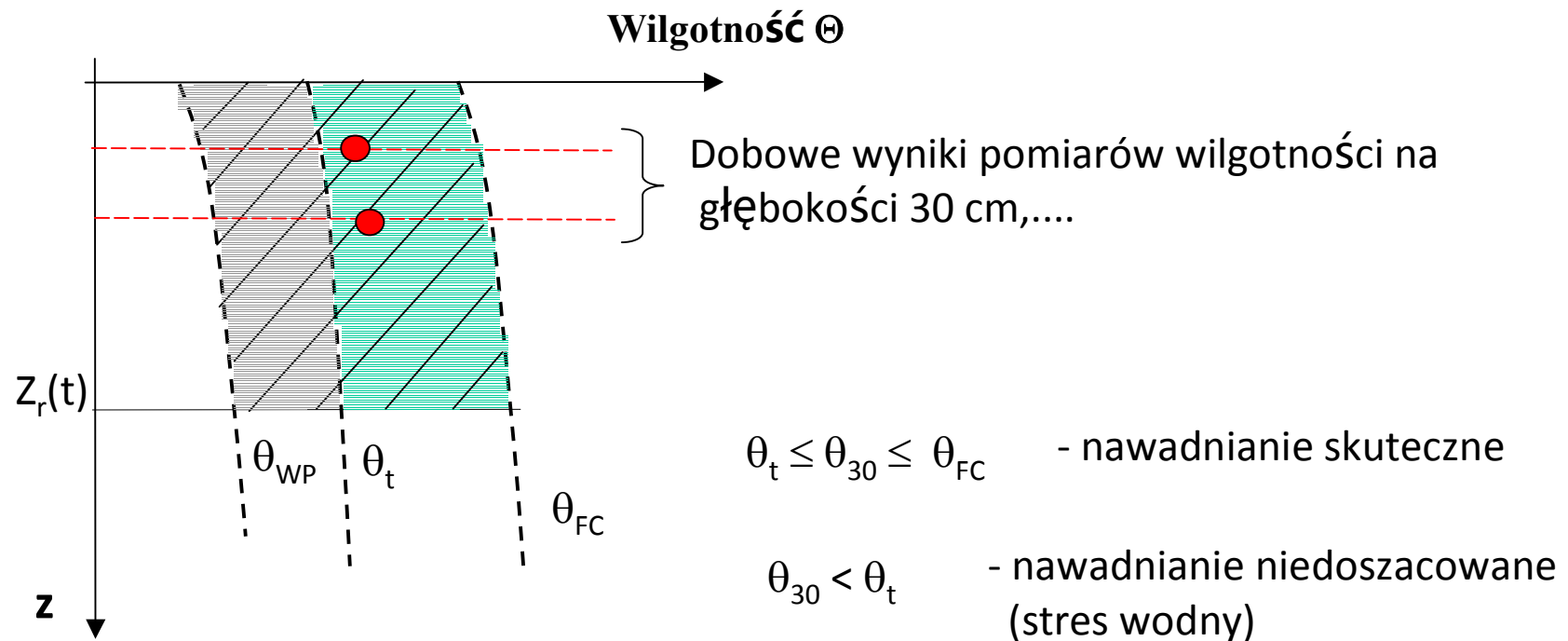


# Wyniki dla buraka cukrowego, 2021 rok, Kujawy;

$$I_{i+1} = D_{ri}$$



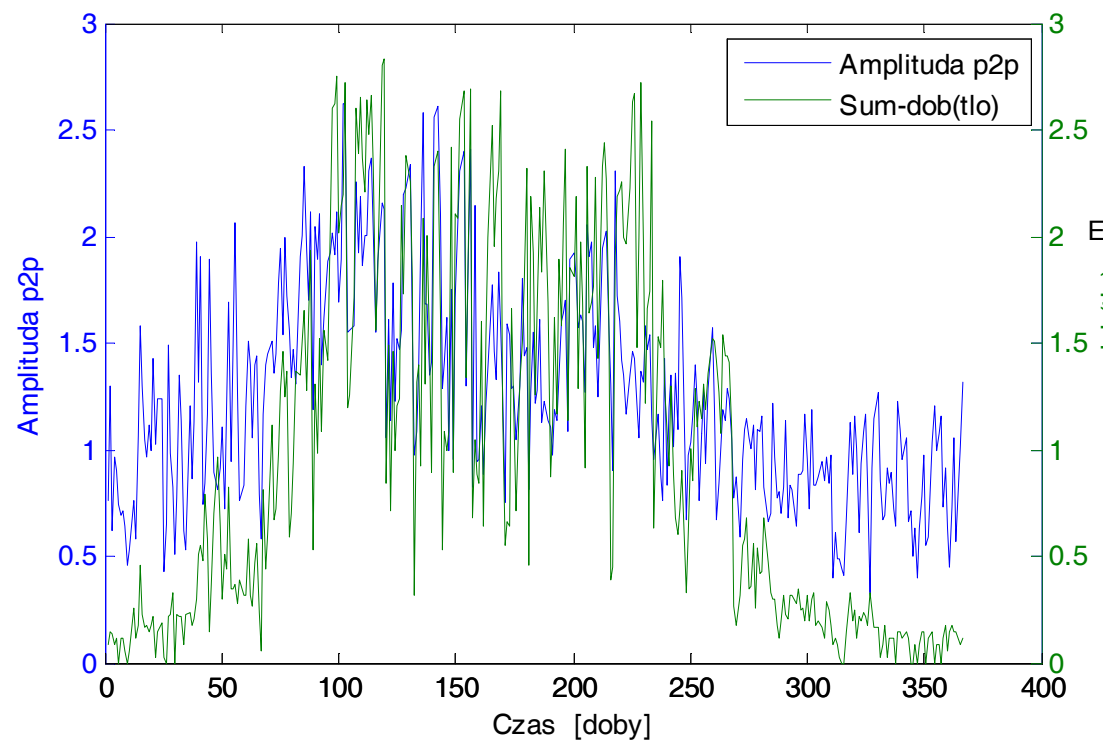
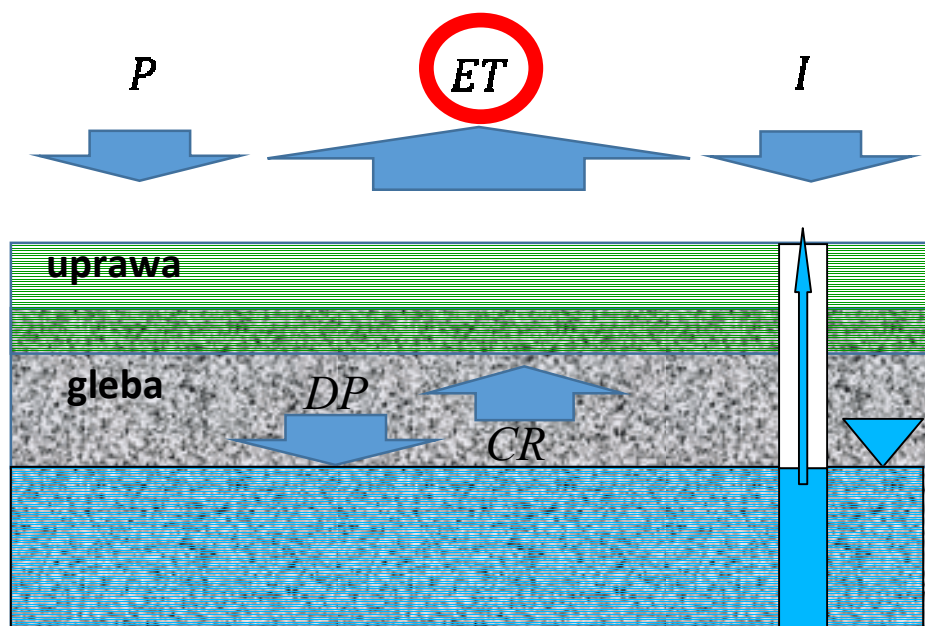
## Walidacja predykcji



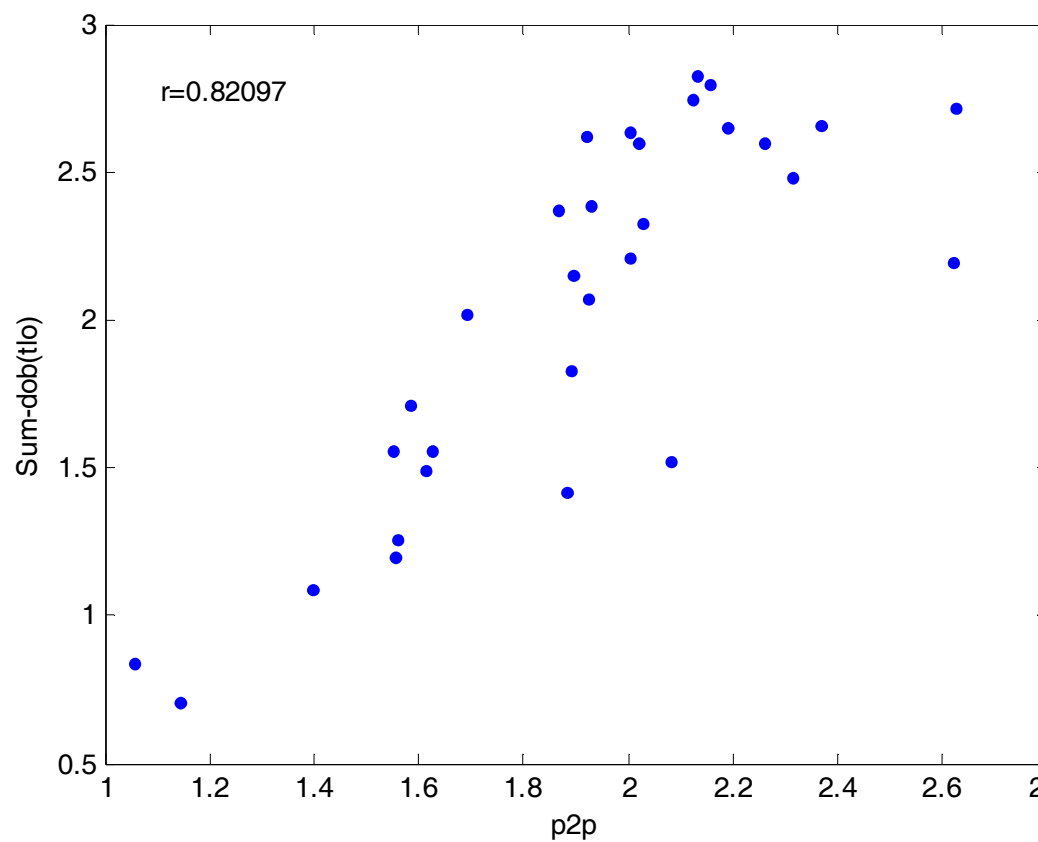
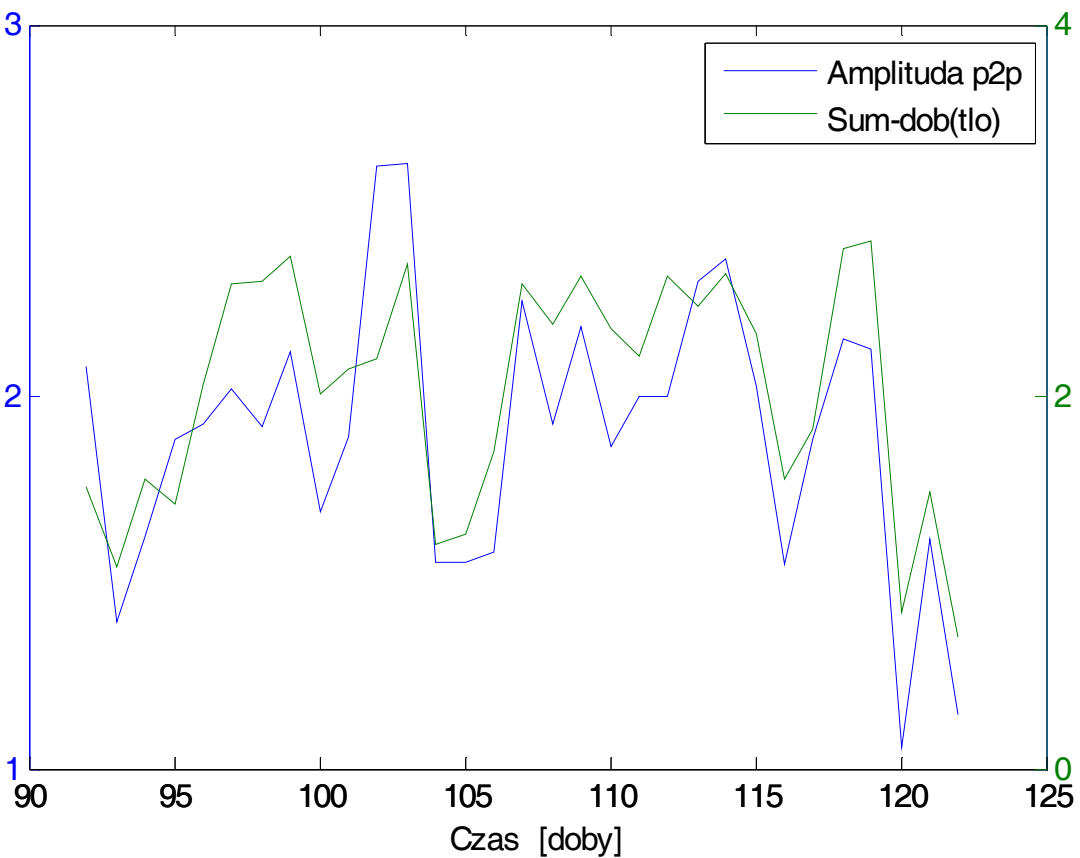
## Podsumowanie

1. Opracowano i przetestowano algorytm obliczeń ewapotranspiracji referencyjnej, potencjalnej i rzeczywistej,
2. Opracowano algorytm predykcji nawadniania,
3. Opracowano koncepcję walidacji modelu nawadniania.
4. Przygotowano procedury do aplikacji sieciowej.

# Ewapotranspirancja a poziom wody gruntowej



# Ewapotranspirancja a poziom wody gruntowej







Dziękuję za uwagę  
[www.wodadlakujaw.pl](http://www.wodadlakujaw.pl)

