A photograph of a forest floor covered in brown leaves. Several young trees in the foreground have their trunks wrapped in silver reflective tape. The background shows a dense forest of taller trees with green foliage.

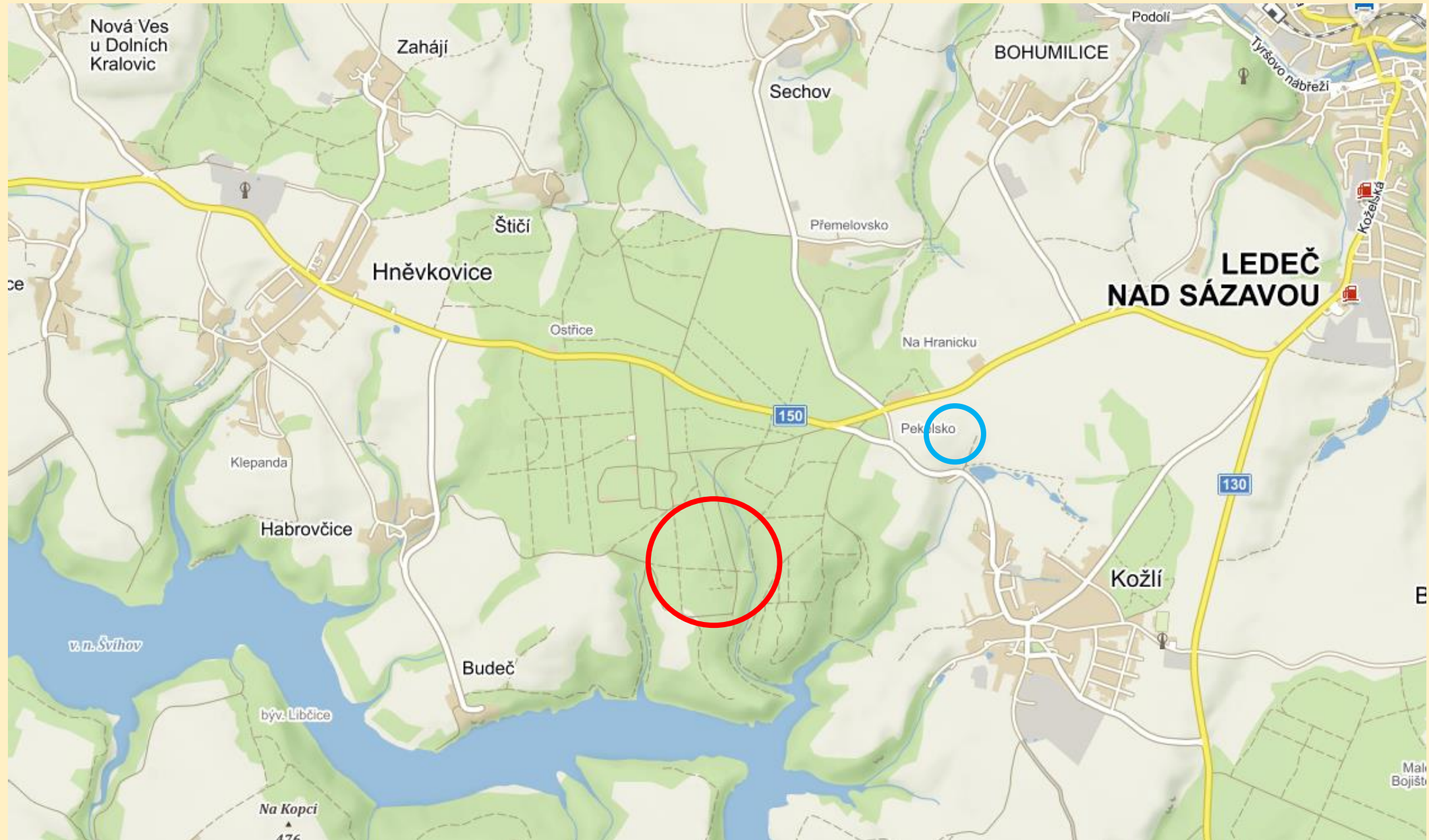
# **Srovnání transpirace smrkového a bukového porostu ve vlhkostně kontrastních letech 2021 a 2022**

*Jiří Kučera, EMS Brno*

*Vít Šrámek, VÚLHM*

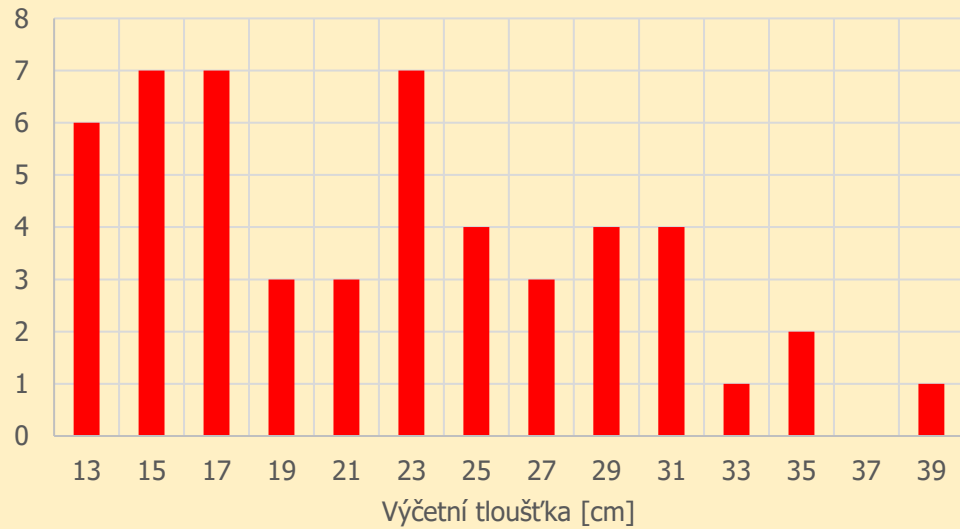


# Situace – porosty - meteostanice

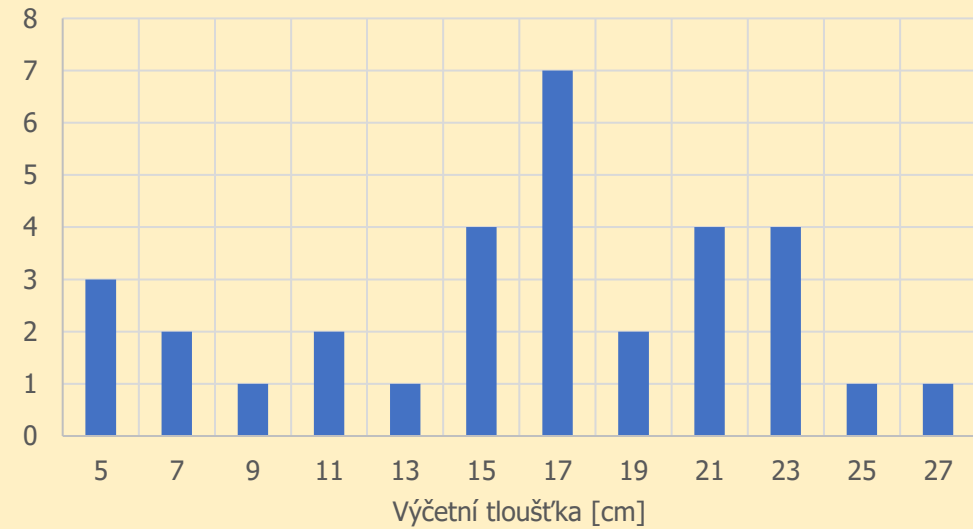


# Charakteristika porostů

Buk - počet jedinců tloušťkové třídy na ploše



Smrk - počet jedinců tloušťkové třídy na ploše



	Buk	Smrk
velikost plochy [m2]	1 257	200
počet stromů na plochu	52	21
počet stromů na [ha]	414	1 050

# Měřené veličiny:

## Meteorologie

- globální sluneční záření v 10 m
- teplota a relativní vlhkost vzduchu ve 2 m
- srážky ve 2 m
- směr a rychlost větru v 10 m

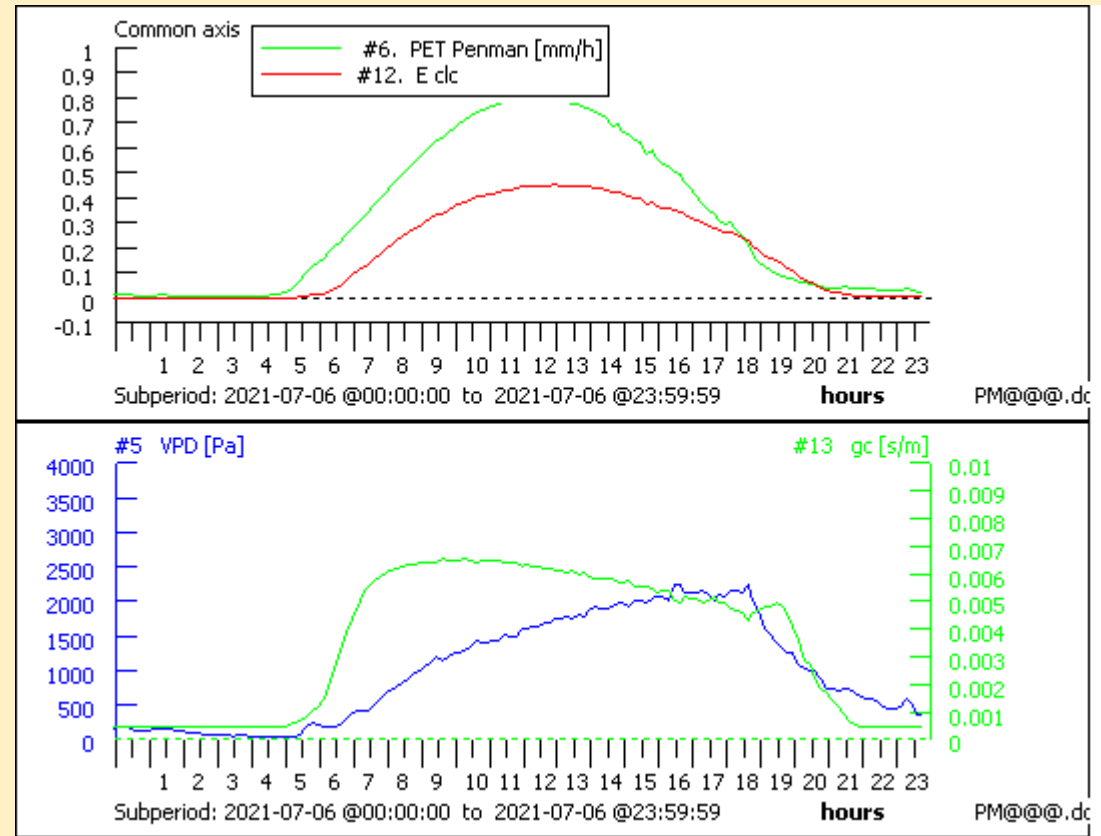
## Porosty:

- průtok vody v kmenech stromů (sap flow)  
po šesti vzornících v každém porostu
- přírůst na kmeni
- půdní objemová vlhkost v 10, 30, 50 a 80 cm
- půdní matriční sací potenciál v 10, 30, 50 a 80 cm
- půdní teplota v 10, 30, 50 a 80 cm



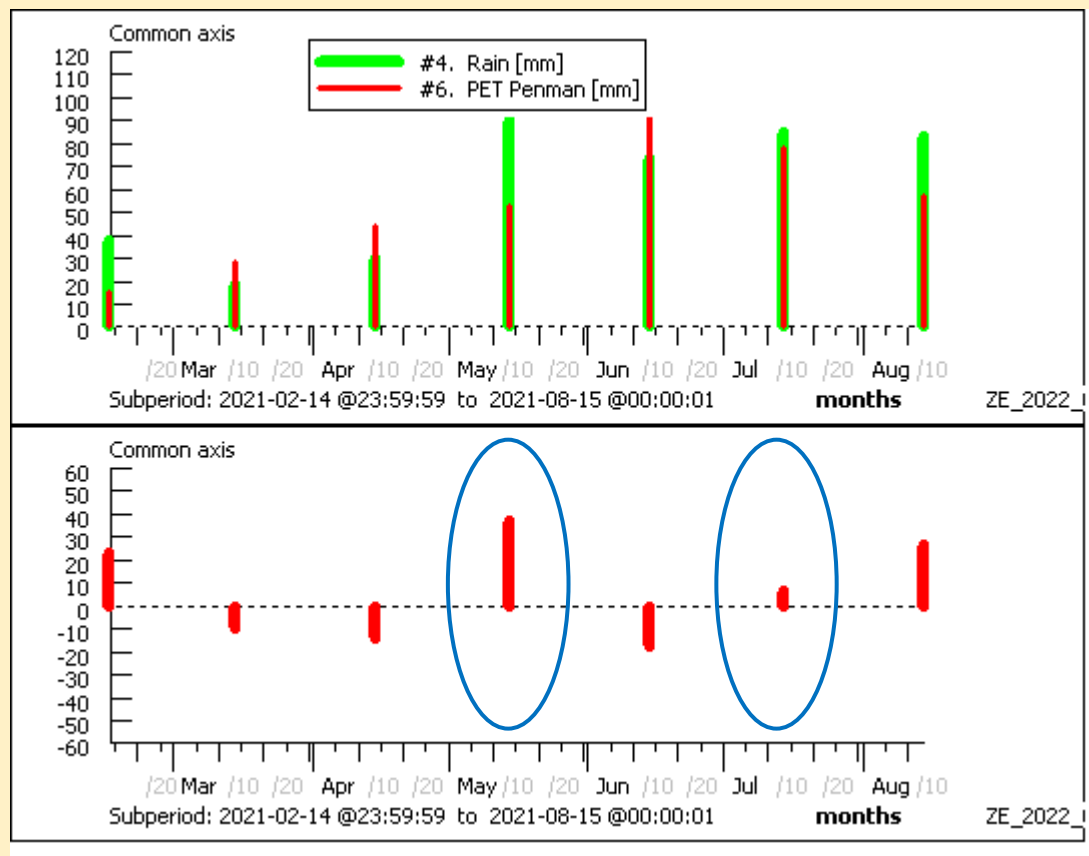
## Odvozené veličiny:

- sytostní doplněk VPD [Pa]
- referenční transpirace PET [mm]
- transpirace porostu E [mm]
- průduchová vodivost  $g_c$  [s/m]



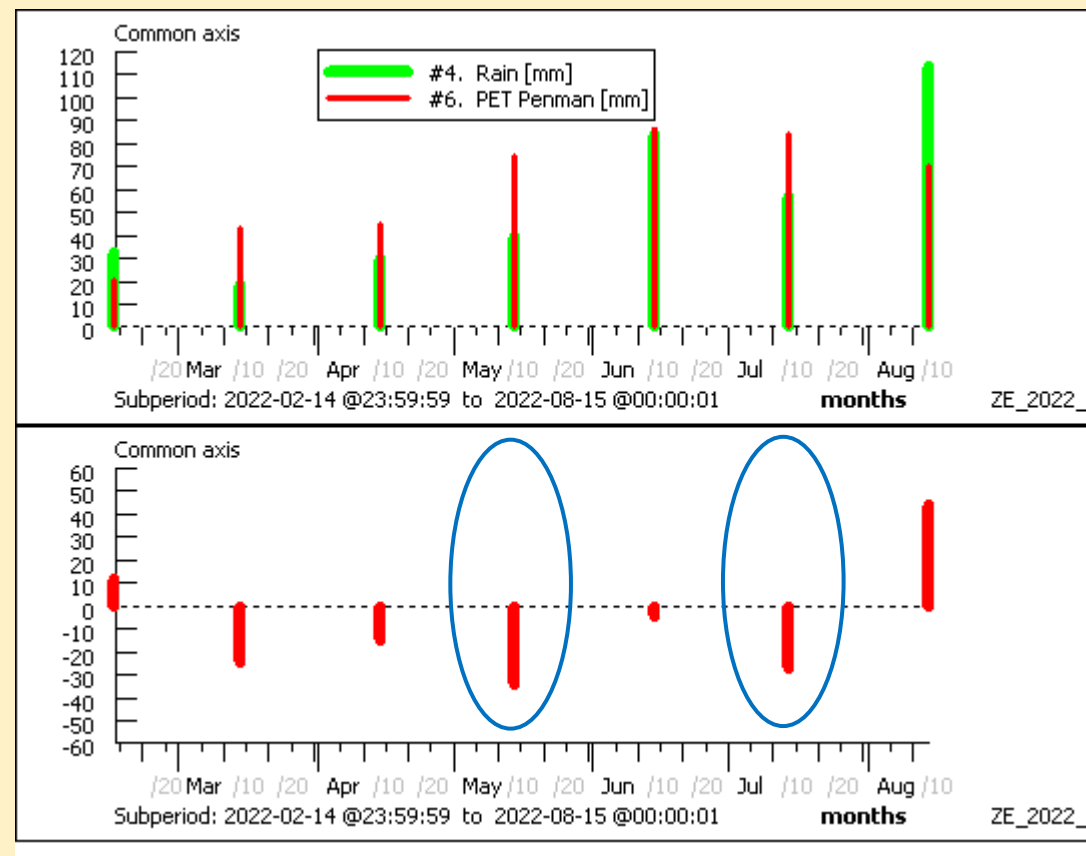
# Vodní bilance v letech

## 2021



	[mm]
Rain [mm]	417
PET Penman [mm]	366
Vodni bilance [mm]	<b>51</b>

## 2022



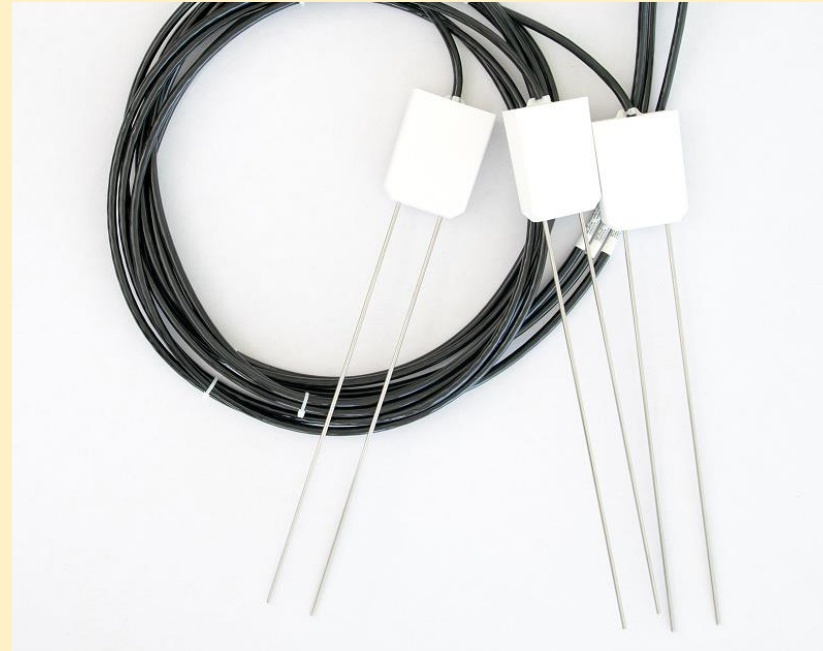
	[mm]
Rain [mm]	375
PET Penman [mm]	426
Vodni bilance [mm]	<b>-51</b>



# Půdně – vlhkostní poměry

Použitá měřicí čidla:

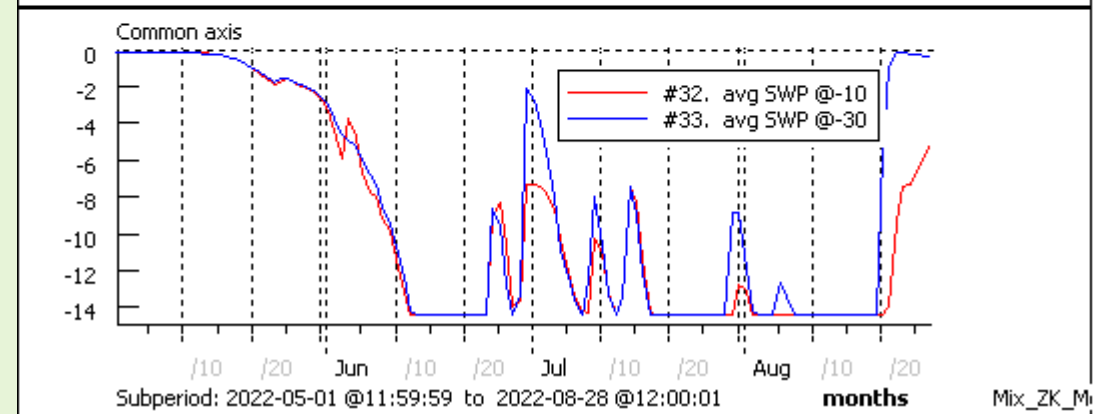
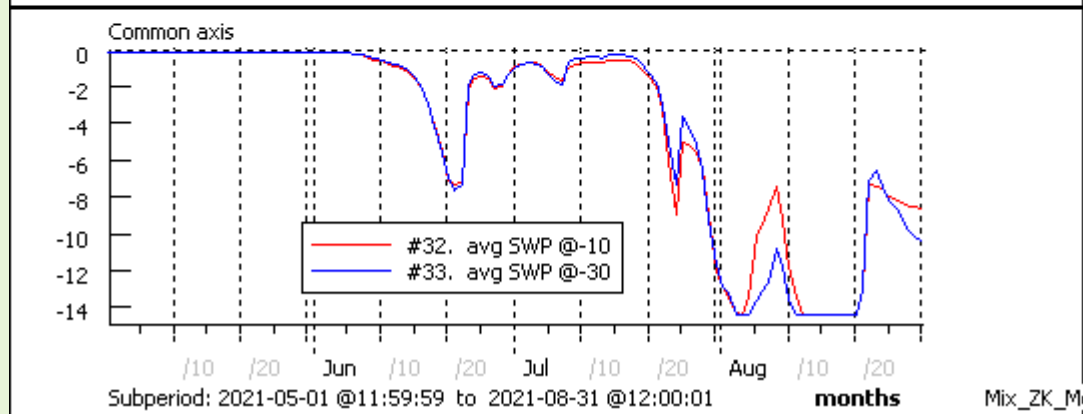
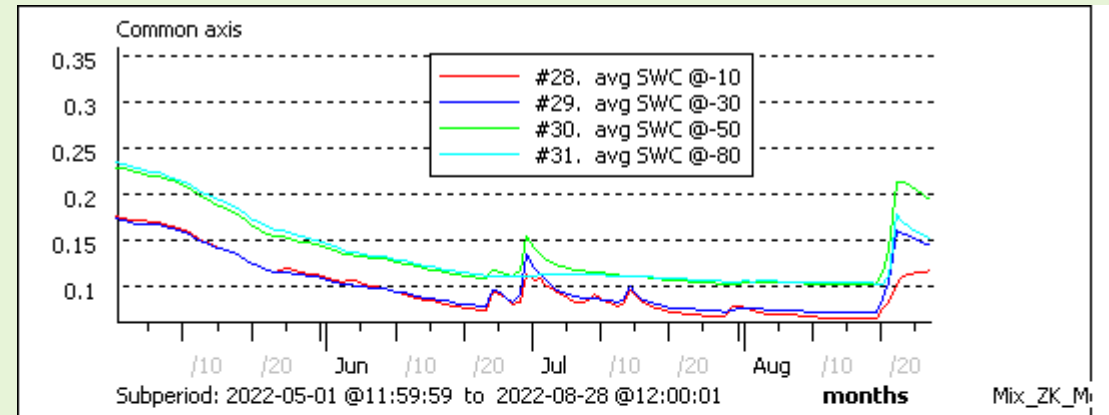
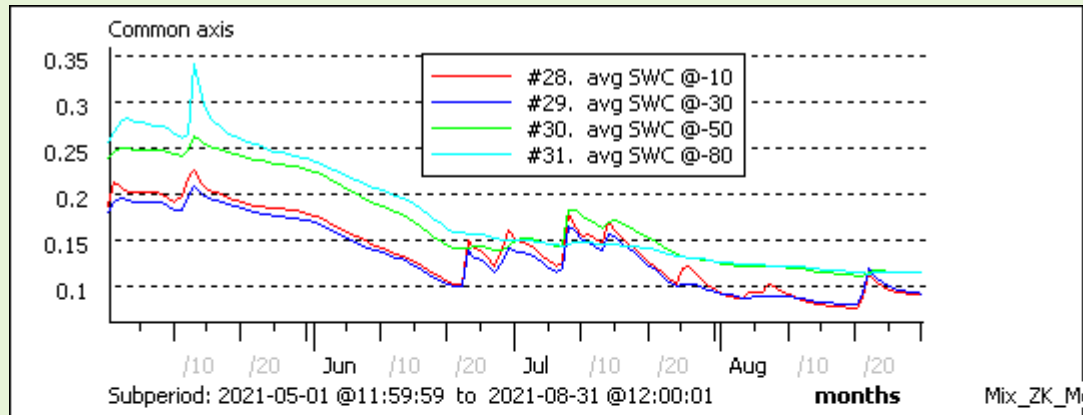
- Půdní objemová vlhkost (SWC) – CS 616
- Půdní matriční potenciál (SWP) – sádrové bločky Delmhorst



# Bučina - půdně vlhkostní poměry v letech

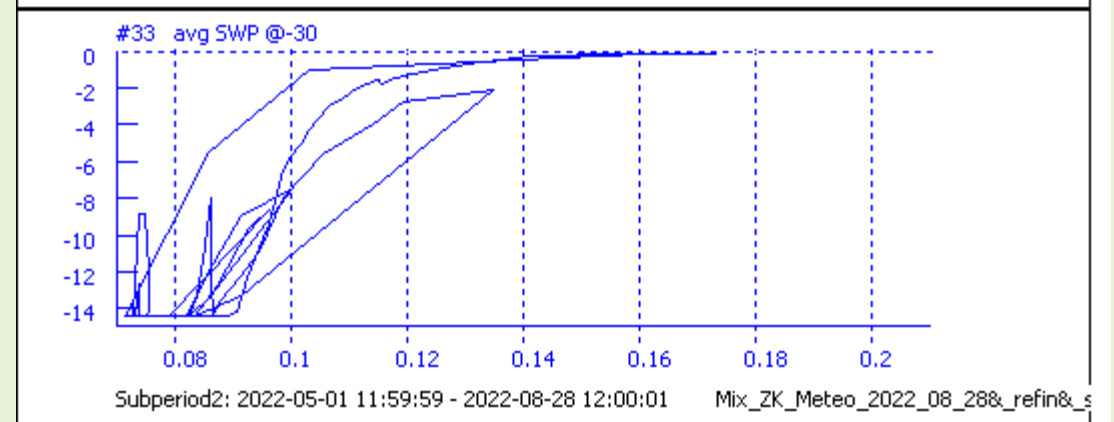
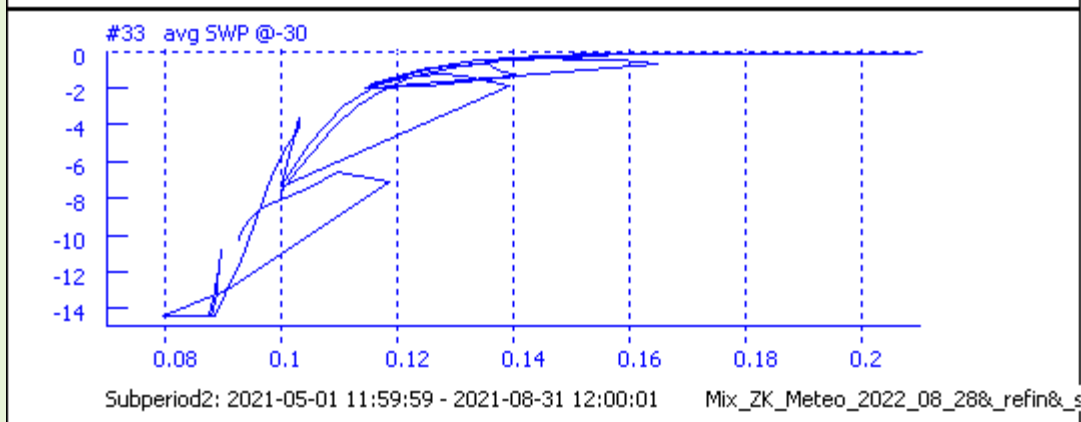
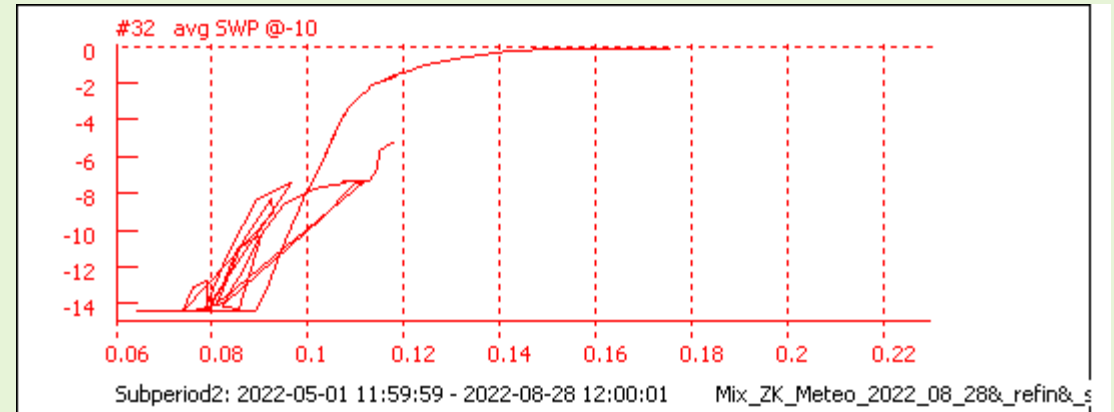
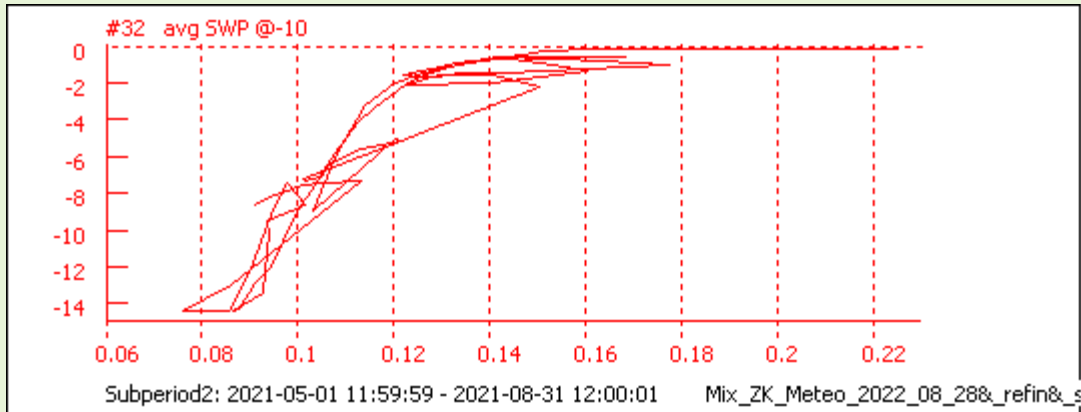
2021

2022





# Bučina – retenční křivky v sezonách 2021 a 2022 v hloubkách -10 a -30 cm

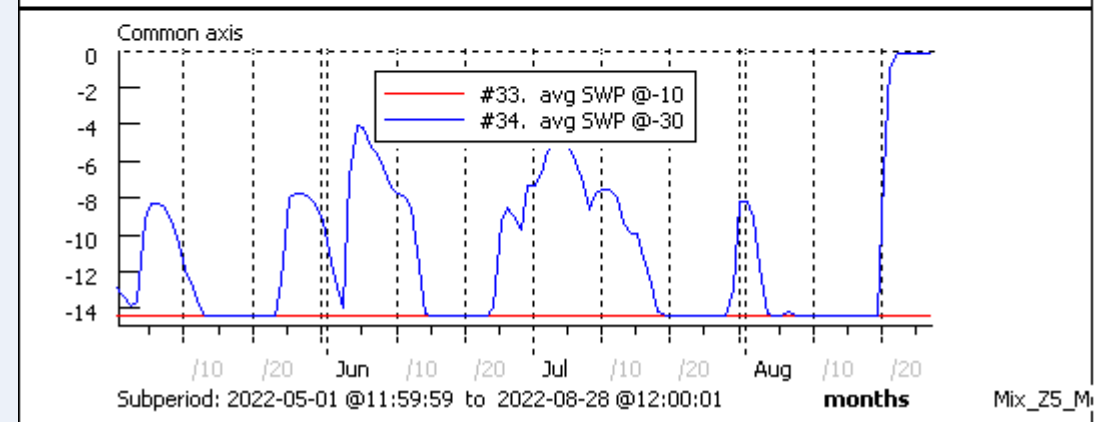
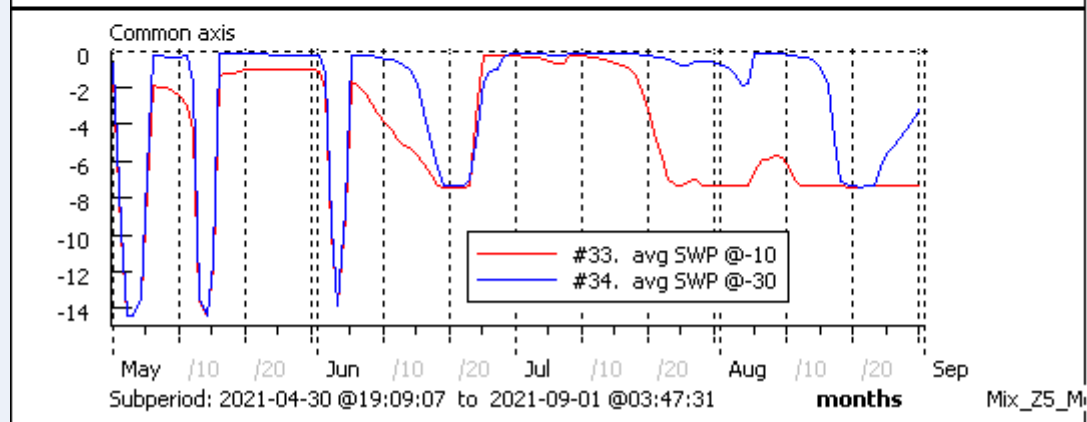
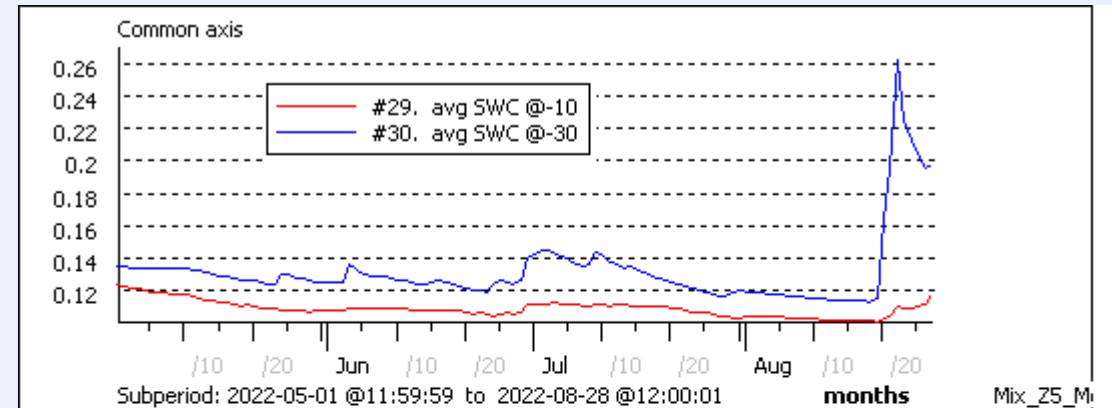
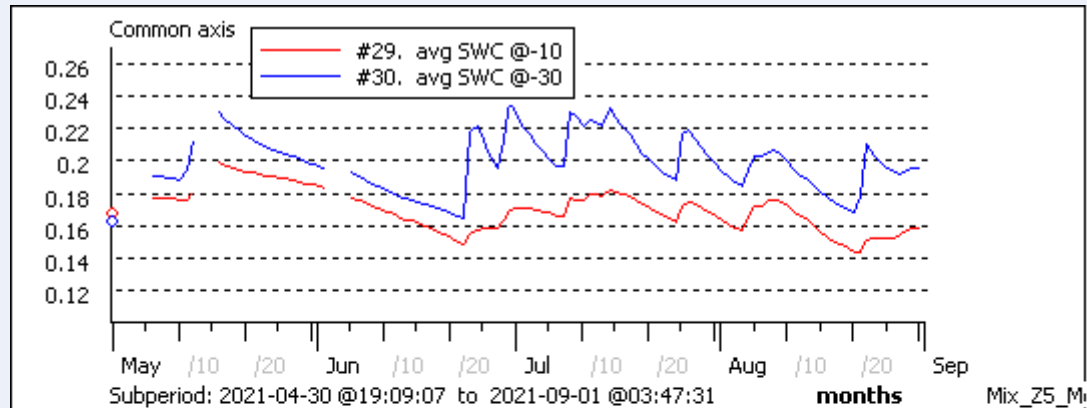


Stejně v obou sezónách – 6% rozsah vlhkosti rozhoduje o vodním stresu.

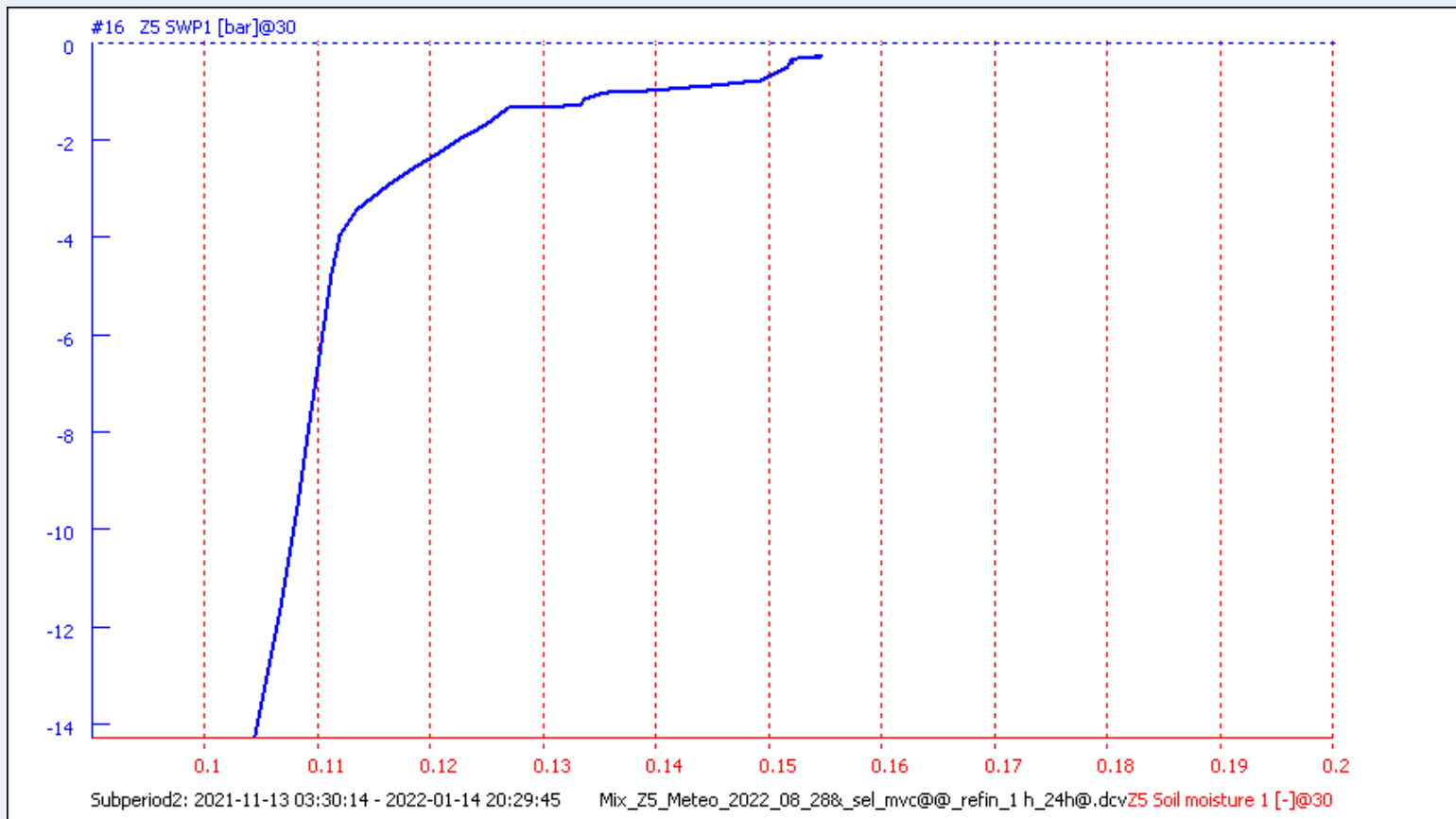
# Smrčina - půdně vlhkostní poměry v letech

## 2021

## 2022



# Smrčina – retenční křivka v sezoně 2021 v hloubce -30 cm



Cca 5% rozsah vlhkosti rozhoduje o vodním stresu.



## **Shrnutí:**

Maximální hodnoty půdní objemové vlhkosti ve všech měřených hloubkách nepřesáhly 30 %.

V obou porostech začaly klesat hodnoty půdního potenciálu přibližně při hodnotě 16 % objemové vlhkosti, hodnoty kolem -1,5 MPa se ukázaly při vlhkostech kolem 9 %.

Srážkově deficitní rok 2022 se projevil ve smrčíně poklesem půdní objemové vlhkosti o cca 10 % prakticky v celé vegetační sezóně, v bučíně podobný pokles ovlivnil jen druhou polovinu sezóny.

# Transpirace porostů

Kalkulovaná z měření průtoku vody (sap flow) v kmenech šesti vybraných stromových vzorníků v obou porostech.

Výběr vzorníků reflektoval jejich sociální postavení.

Použitá měřicí metoda: Tepelná bilance rostlinných pletiv (THB).

Měřené hodnoty přímo v [kg/h] na strom.

Výsledná transpirace porostů v [mm] je vypočtená ze závislosti průtoku vzorníků na výčetní základně a následnou aplikací na všechny stromy na měřené ploše. Součet takto vypočteného průtoku přepočtený na počet stromů na [ha] je roven transpiraci porostu v [kg/h,ha], potažmo v [mm].

## Přístrojová technika: Sap flow systém EMS 81



Měřená hodnota průtoku je přímo úměrná výkonu potřebného k udržení konstantního oteplení vody protékající měřištěm.

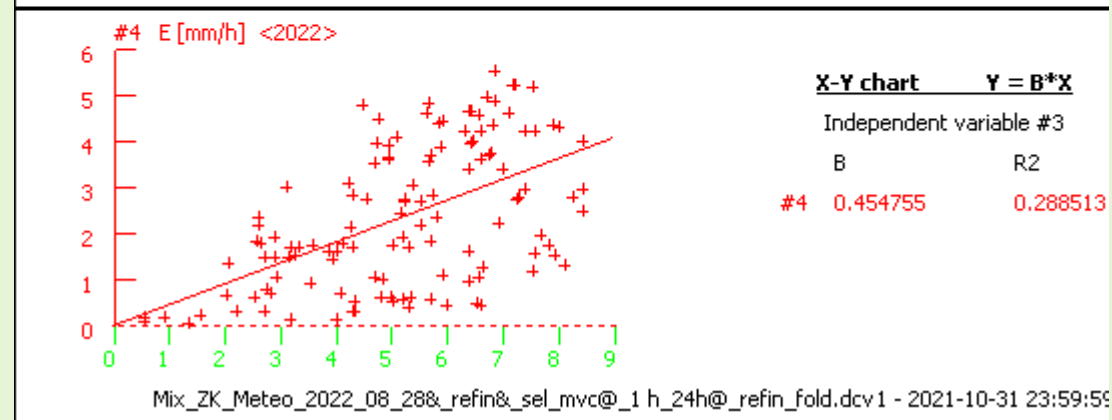
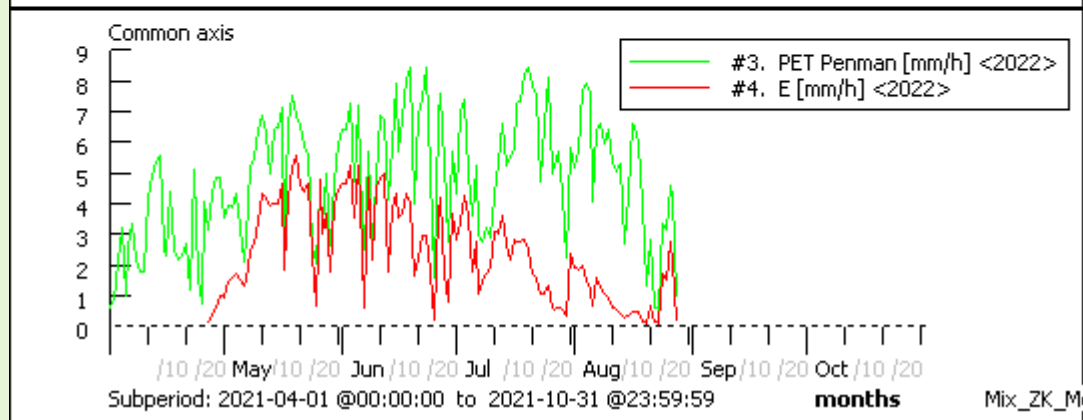
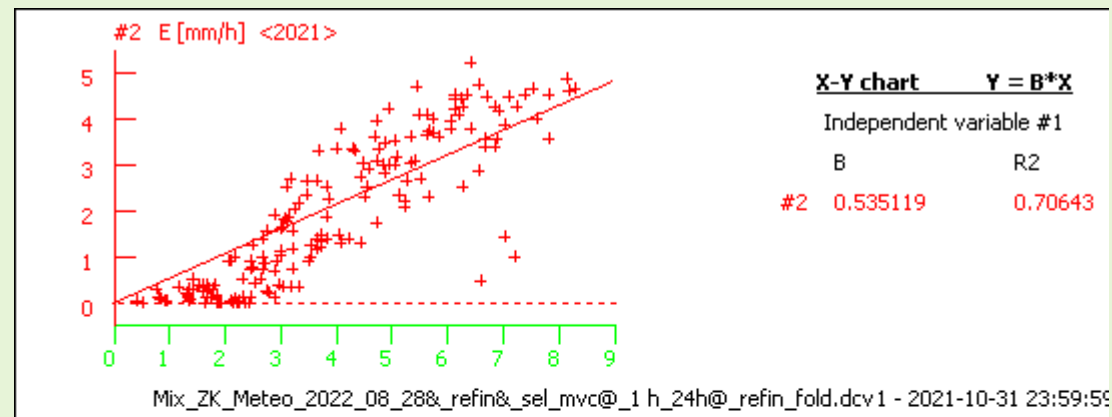
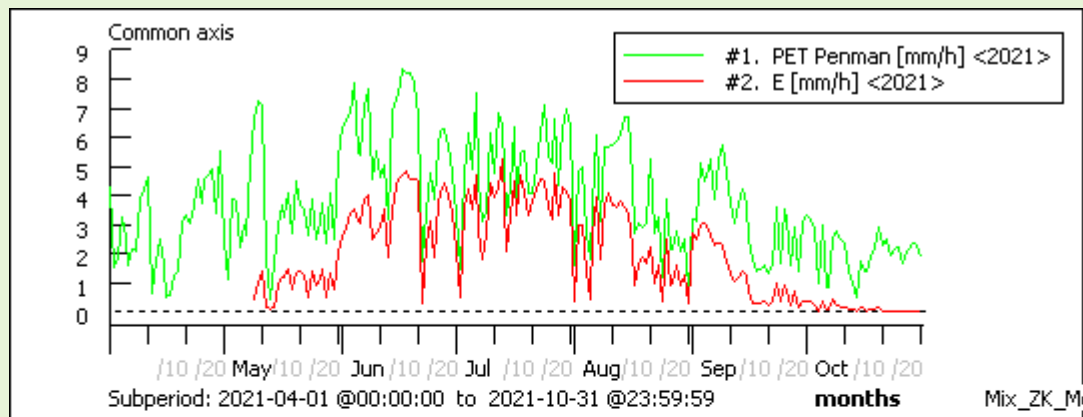


## Výsledky - bučina



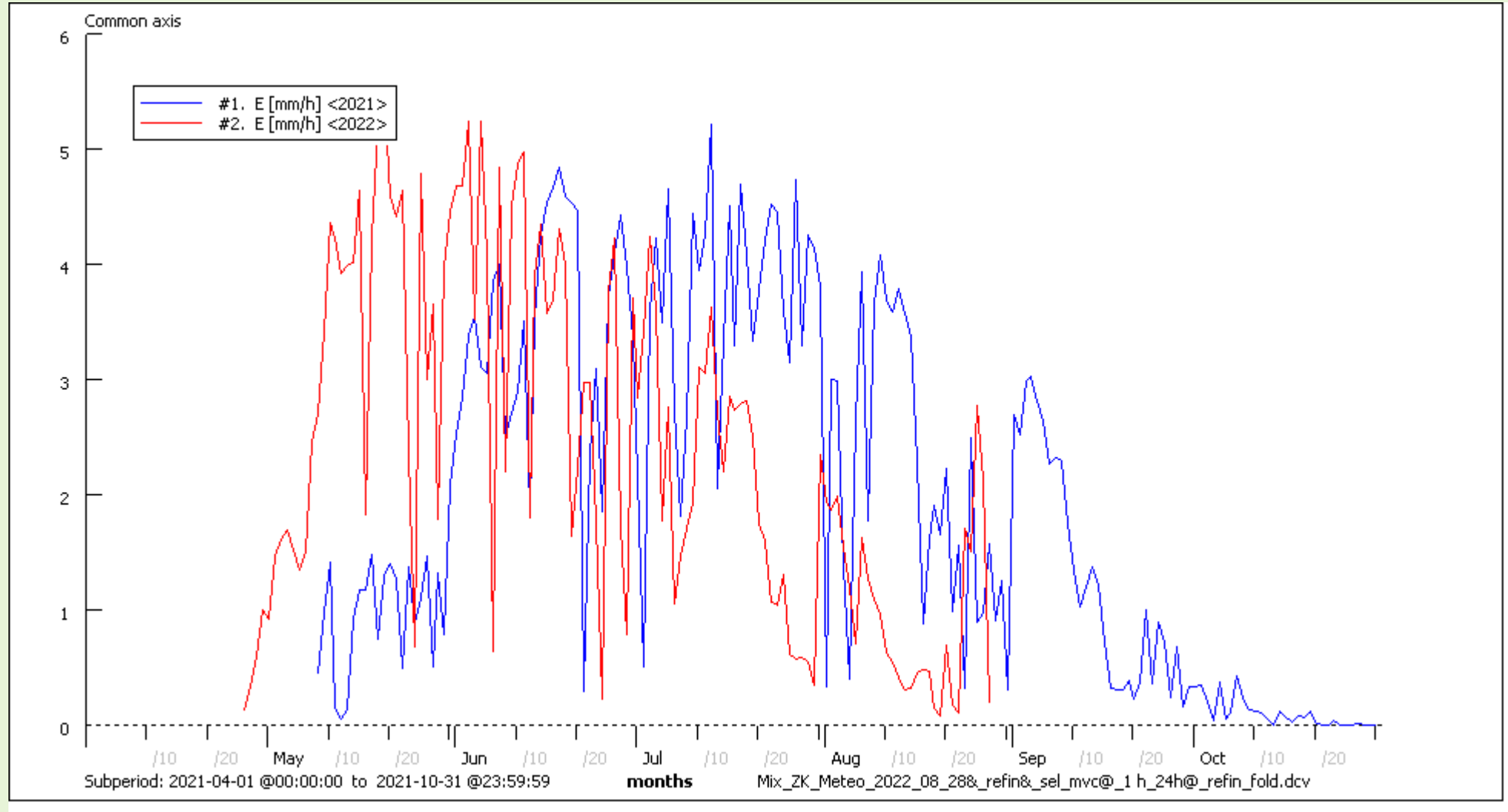


# Bučina – porovnání transpirace porostu v sezónách 2021 a 2022



2021 – transpirace tvoří 53% PET, v roce 2022 vlivem sucha 45%

# Bučina – porovnání transpirace porostu v sezónách 2021 a 2022



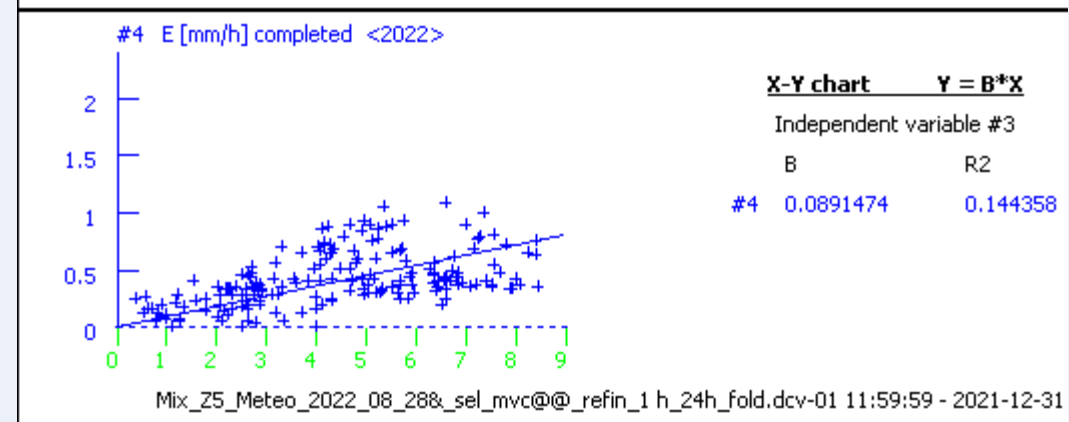
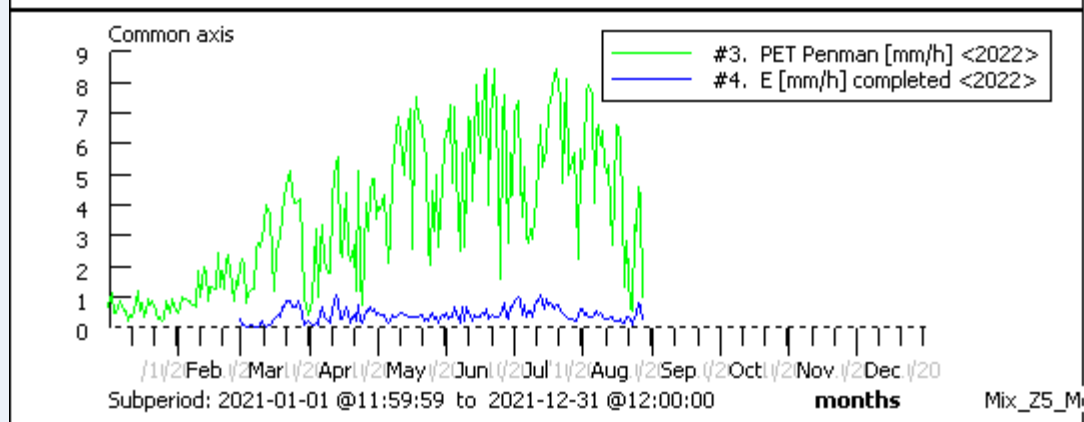
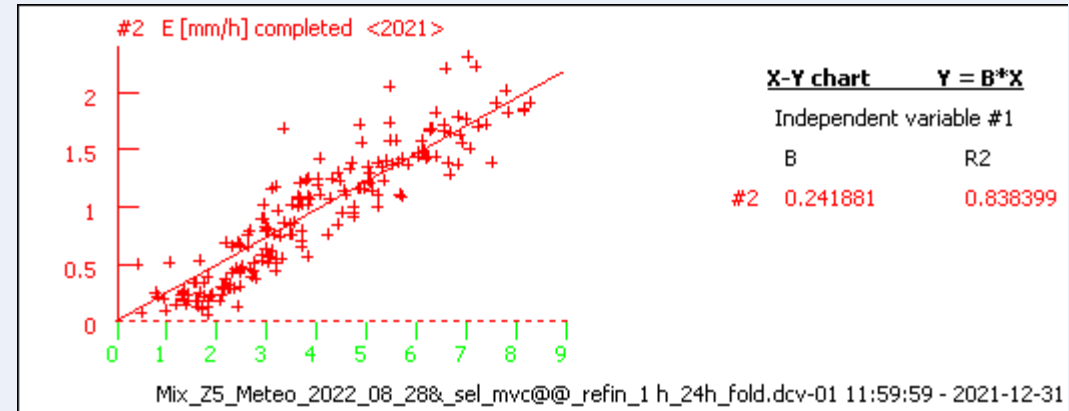
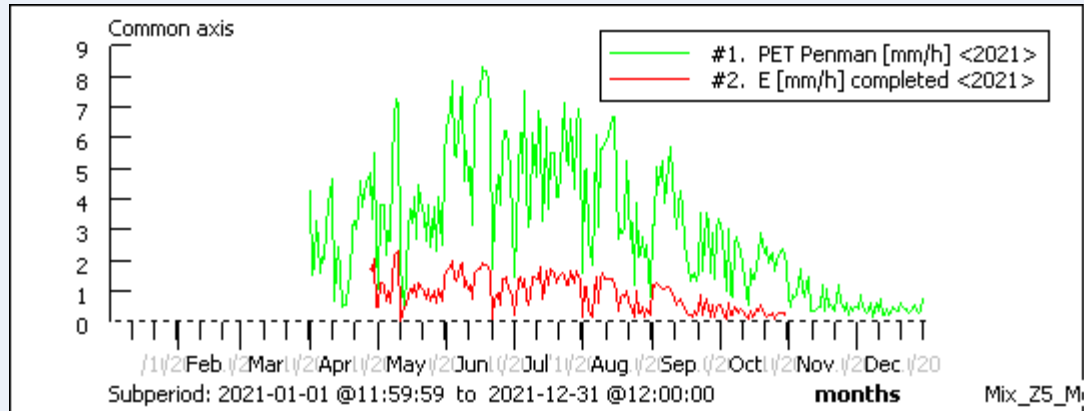
Suma transpirace v období květen až srpen: **303 mm** v roce 2021 a **293 mm** v roce 2022.  
Pozdější nástup v roce 2021 je vykompenzován přisuškem v roce 2022



# Výsledky - Smrčina

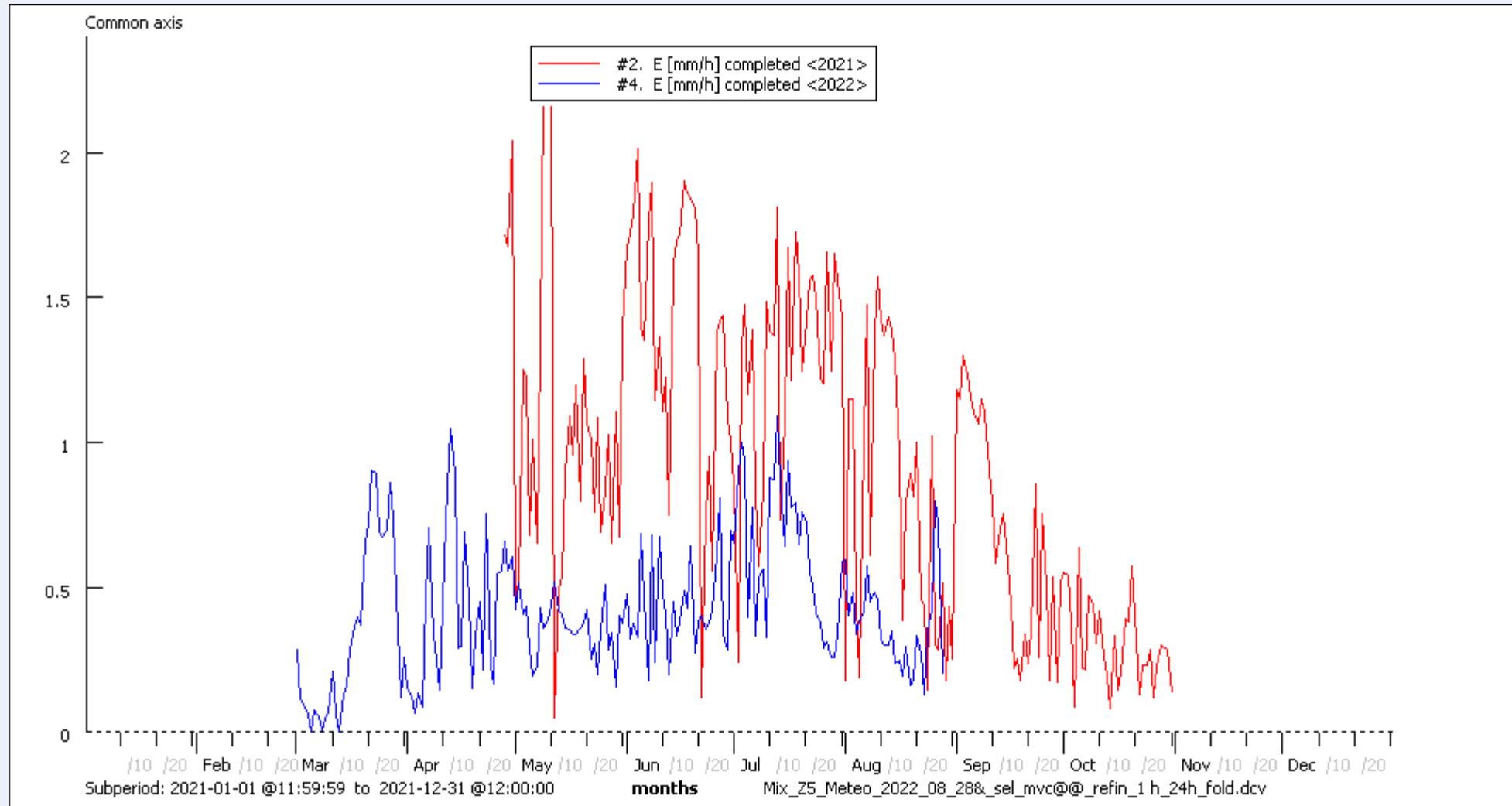


# Smrčina – porovnání transpirace porostu v sezónách 2021 a 2022



2021 – transpirace tvoří 24% PET, v roce 2022 vlivem sucha pouze 9%

# Smrčina – porovnání transpirace porostu v sezónách 2021 a 2022



Suma transpirace v období květen až srpen: **138 mm** v roce 2021 a **54 mm** v roce 2022.  
Zřetelný je dramatický vliv snížené dostupnosti vody v růstové sezóně 2022.



# Srovnání transpirace obou porostů s potenciální transpirací v obou letech.

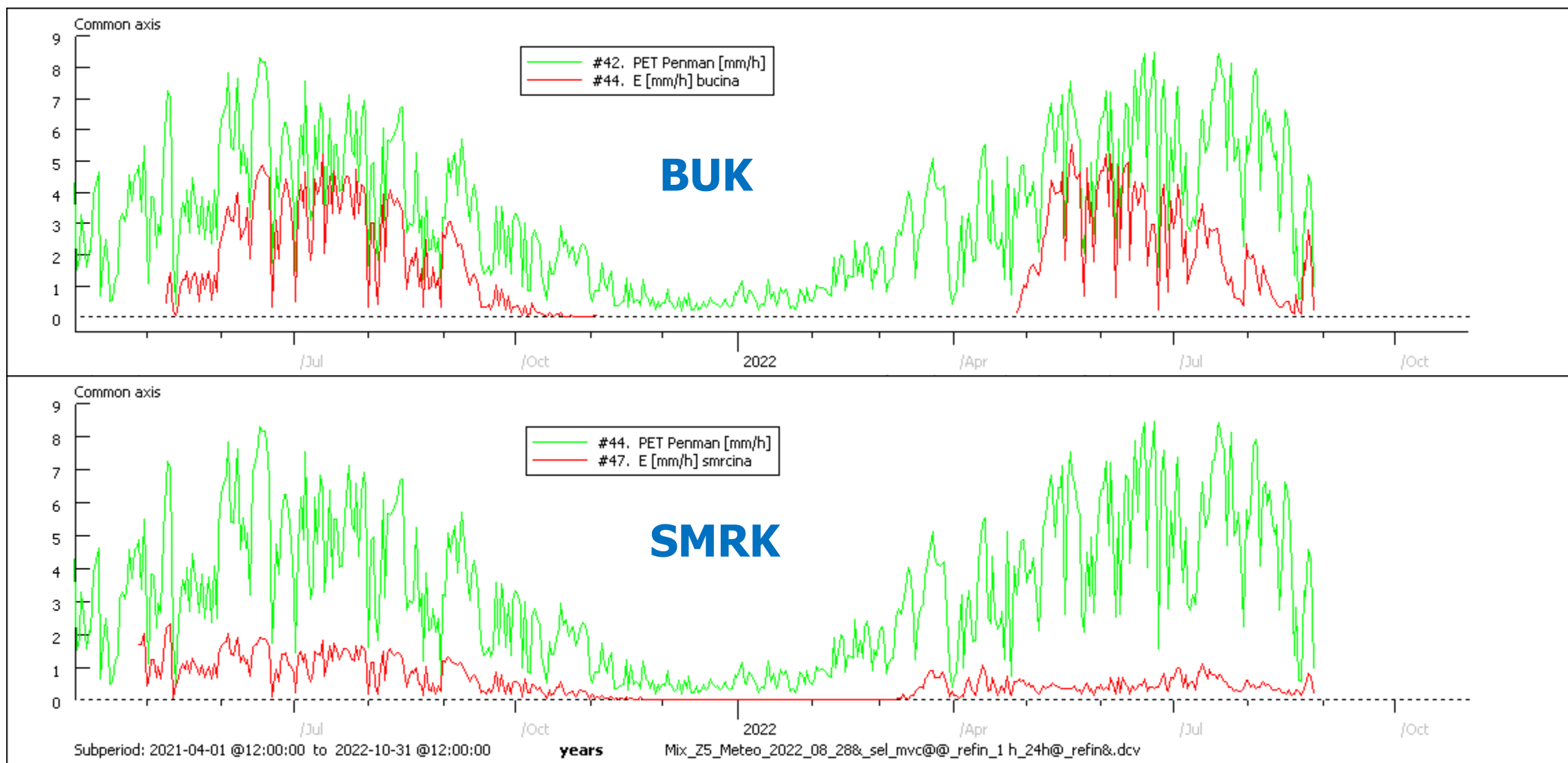


X





# Srovnání transpirace obou porostů s potenciální transpirací v obou letech.



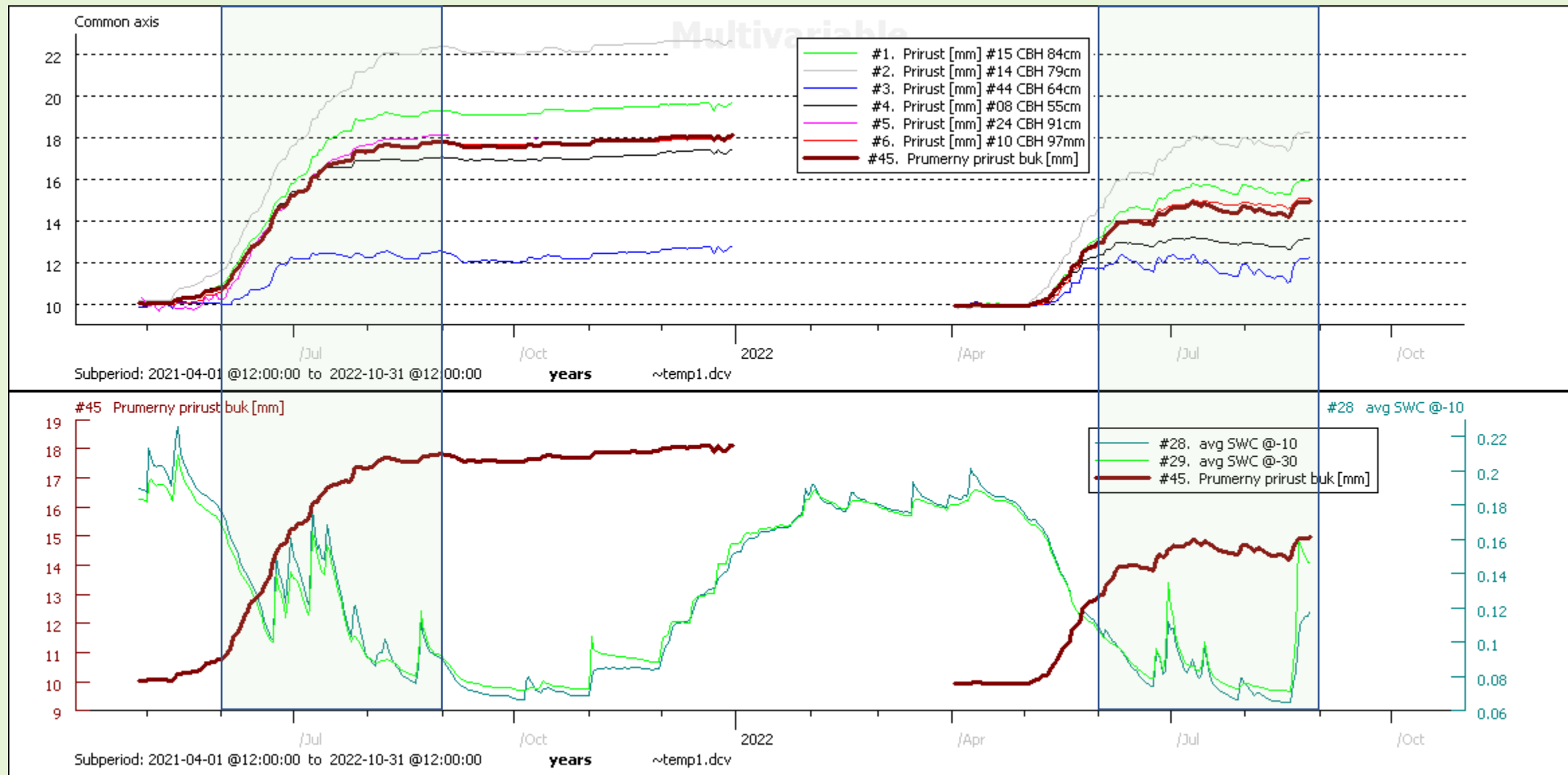
Srovnání měřené transpirace v obou porostech a poměr k potenciální transpiraci v letech 2021 a 2022:

Období květen až srpen	2021	2022	2021	2022
Suma potenciální evapotranspirace [mm]	562 mm	640 mm		
Suma transpirace buku [mm]	303 mm	293 mm	54 %	45 %
Suma transpirace smrku [mm]	138 mm	54 mm	25 %	9 %

**Přírůst** na kmenech vybraných vzorníků v letech 2021 a 2022 v obou porostech.

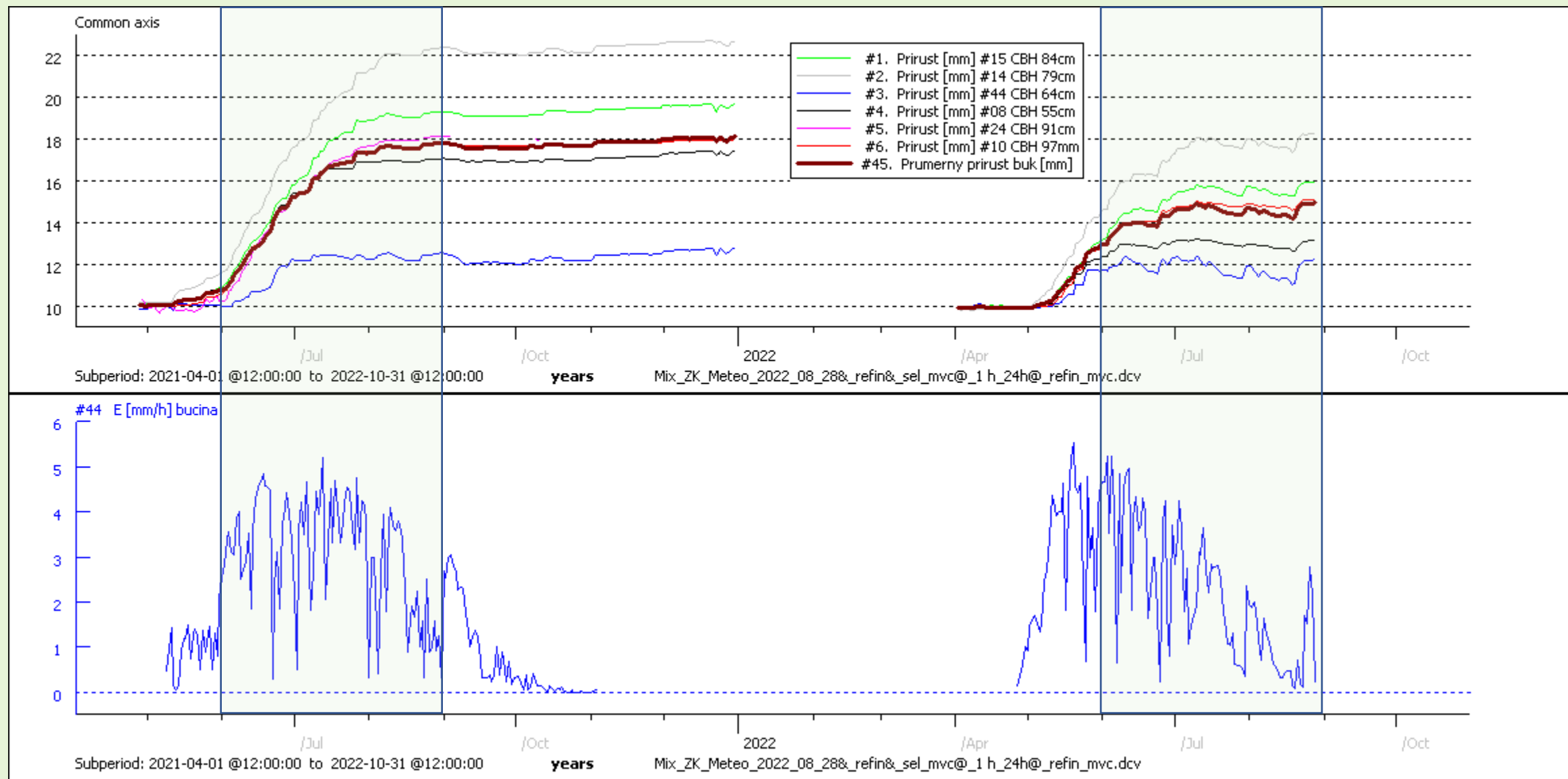


# Bučina – srovnání přírůstu s půdní vlhkostí:

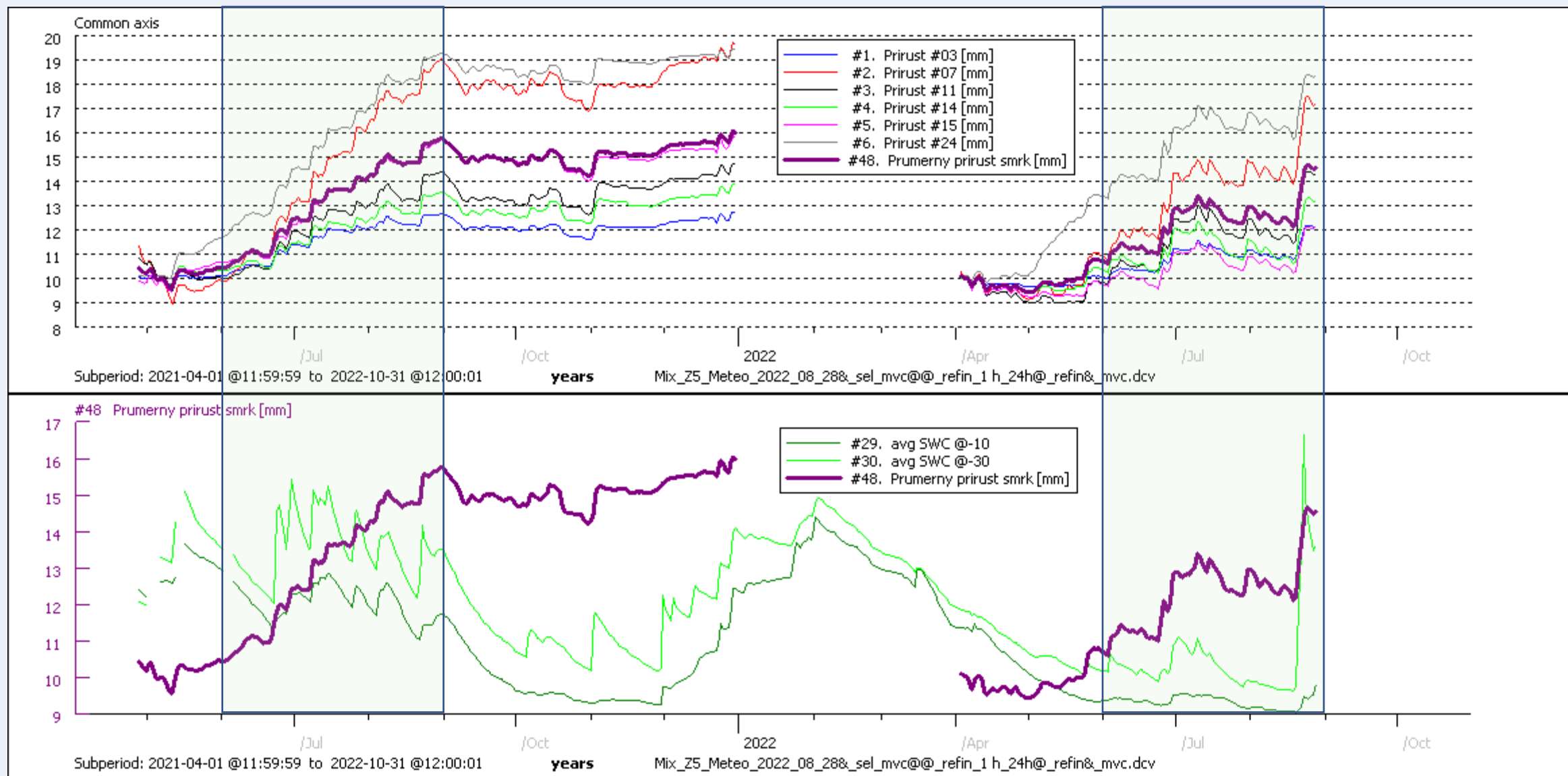




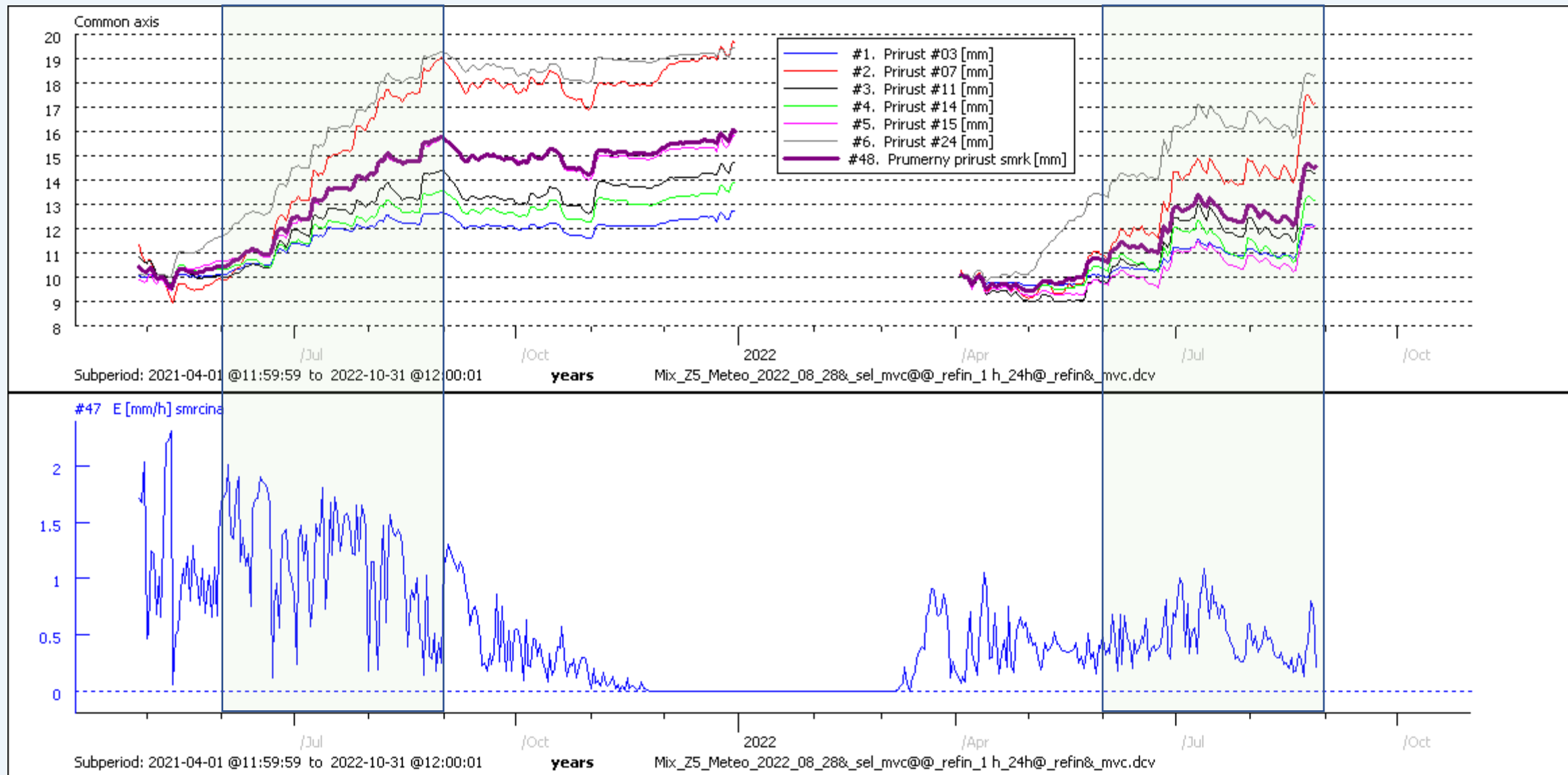
# Bučina – srovnání přírůstu s porostní transpirací:



# Smrčina – srovnání s půdní vlhkostí:



# Smrčina – srovnání s porostní transpirací:



## Meziroční srovnání přírůstu v obou porostech:

	2021	2022
Průměrný obvodový přírůst vzorníků buku [mm]	8.1 mm	5.0 mm
Průměrný obvodový přírůst vzorníků smrku [mm]	6.0 mm	4.6 mm
Meziroční pokles buk [%]	38.3%	
Meziroční pokles smrk [%]	23.3%	



# Průměrný přírůst versus transpirace, hrubý odhad:

	BUK		SMRK	
	2021	2022	2021	2022
Průměrný obvodový přírůst vzorníků [mm]	8.1	5	6	4.6
Průměrný radiální přírůst vzorníků [mm]	1.29	0.80	0.95	0.73
Průměrný obvod vzorníků [cm]	75.8	75.8	682	682
Celkový přírůst sušiny nadzemní biomasy průměrného vzorníku [kg] <i>podle Wirth (2004)</i>	69.4	47.3	27.2	23.6
Počet vzorníků	6	6	6	6
Roční celková spotřeba vody všech vzorníků [kg]	38361	32919	8368	2847
Roční celková spotřeba vody průměrného vzorníku [kg]	6394	5487	1395	475
<b>Spotřeba vody na kg sušiny [kg]</b>	<b>92.1</b>	<b>116.0</b>	<b>51</b>	<b>20</b>
<b>Efektivita využití vody [%] - vzorníky</b>	<b>1.09</b>	<b>0.86</b>	<b>1.95</b>	<b>4.97</b>
Počet stromů na [ha]	414	414	1050	1050
Průměrný celkový přírůst [kg]	28732	19582	28560	24780
Roční suma transpirace [mm]	303	293	138	54
Roční suma transpirace [kg/ha]	3030000	2930000	1380000	540000
<b>Spotřeba vody na kg sušiny [kg/ha]</b>	<b>105</b>	<b>150</b>	<b>48</b>	<b>22</b>
<b>Efektivita využití vody [%] - porosty</b>	<b>0.95</b>	<b>0.67</b>	<b>2.07</b>	<b>4.59</b>

Efektivita využití vody v suchém období je násobně vyšší u smrku než u buku.

**Průduchová vodivost**  
jako funkce sluneční radiace a  
sytostního doplňku.

# Metodický přístup

## Penman-Monteith rovnice transpirace

$$\lambda E_p = \frac{\Delta(R_n - G) + \rho c_p D g_a}{\Delta + \gamma \left(1 + \frac{g_a}{g_{canopy}}\right)}$$

Na rychlosti větru závislá aerodynamická vodivost se počítá s pomocí aerodynamických charakteristik porostu

$$g_a = \frac{k^2 u}{\ln\left[\frac{z-d}{z_{oh}}\right] * \ln\left[\frac{(z-d)}{z_{om}}\right]}$$

kde:

$R_n$  – čistá radiace

$G$  – tok tepla do půdy

$D$  – sytostní doplněk

$u$  – rychlost větru

$c_p$  – měrné teplo suchého vzduchu [J/m<sup>3</sup>]

$\rho$  – hustota suchého vzduchu [kg/m<sup>3</sup>]

$g_a$  – aerodynamická vodivost porostu [s/m]

$g_s$  – porostní průduchová vodivost [s/m]

$\gamma$  – psychrometrická konstanta [Pa/K]

$\Delta$  – derivace křivky nasyceného tlaku par [Pa/K]

$\lambda$  – výparné teplo vody [J/kg]

$k$  – von Karmánova konstanta [-]

$d$  – nulová hladina rychlosti větru [m]

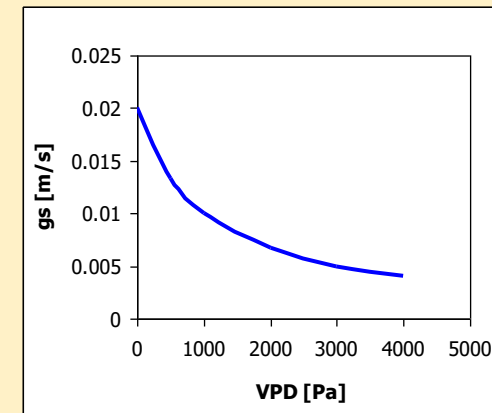
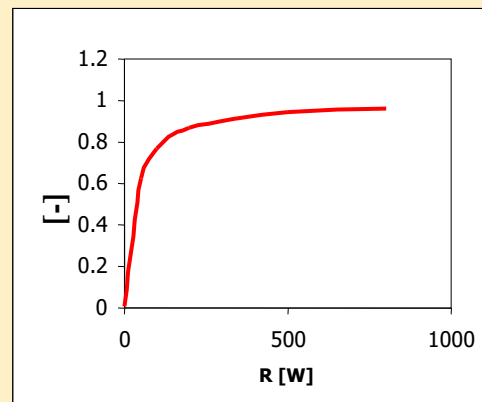
$z_{om}$  – porostní drsnost (pro hybnost) [m]

$z_{oh}$  – porostní drsnost (pro tok tepla a vodní páry) [m]

$z$  – výška měření rychlosti větru [m]

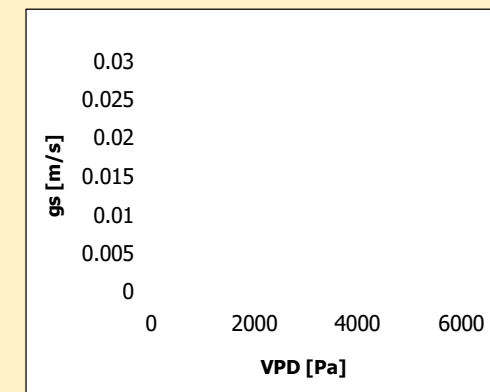
# Lohmarova rovnice popisující závislost průduchové vodivosti na sluneční radiaci a sytostním doplňku.

$$g_c = \frac{R_g}{R_g + R_0} \cdot \frac{g_{\max}}{1 + aD}$$



Přidání třetího stupně volnosti a kutikulární vodivosti umožňuje méně strmou reakci na sytostní doplněk:

$$g_c = \frac{R_g}{R_g + R_0} \cdot g_{\lim} \left( 0.5 - \frac{1}{\pi} \arctan\left(\frac{D}{a} - b\right) \right) + g_{\min}$$





Dosazením modifikované Lohamarovy rovnice do rovnice Penman-Monteithovy vznikne na pohled složitá rovnice s pěti neznámými parametry:

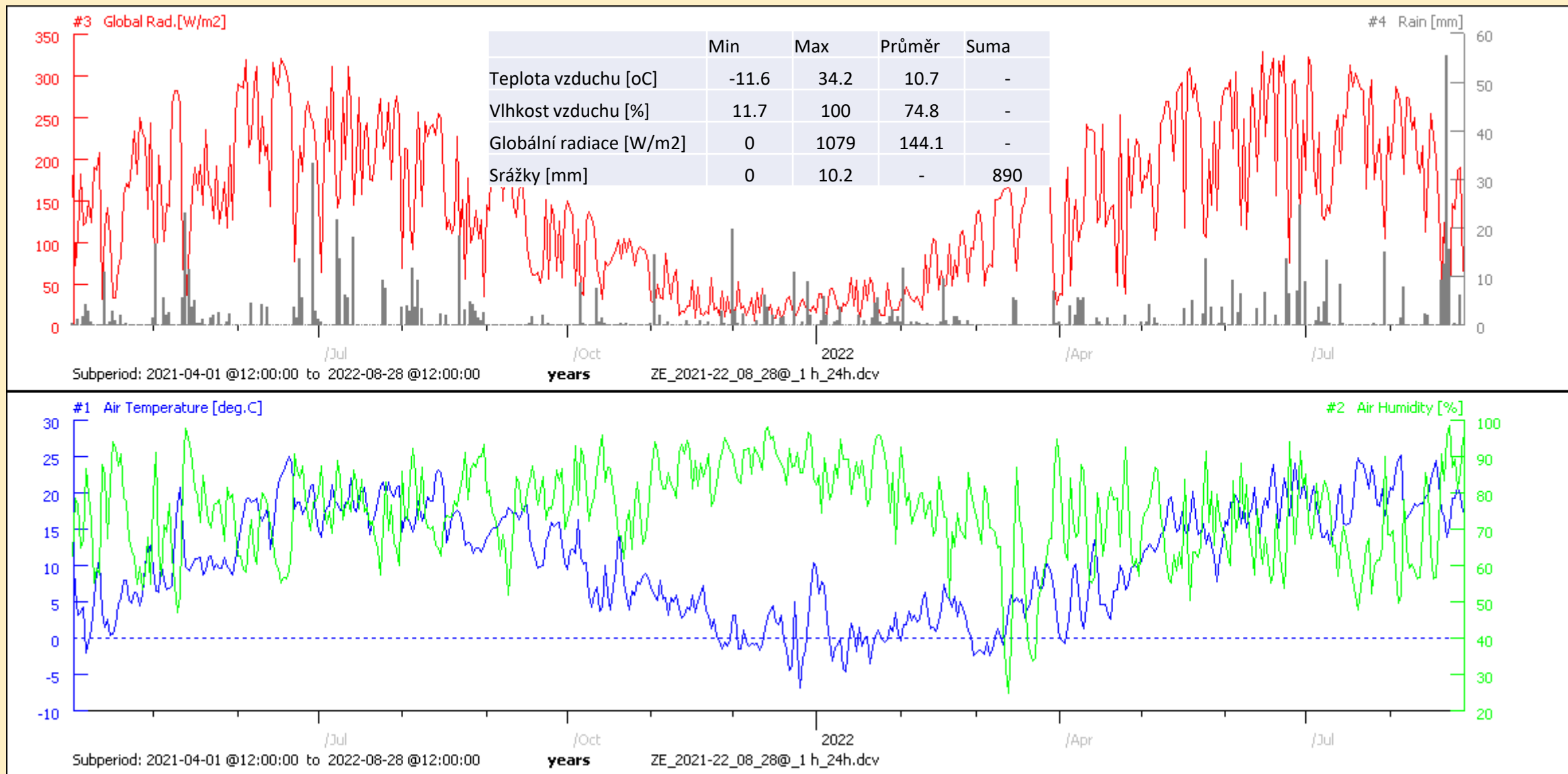
$R_o, g_{lim}, a, b, g_{min}$  ( $g_{lim}$  v rovnici není totožná s maximální průduchovou vodivostí)

$$E = \frac{(\Delta \cdot (R_n - G) + \rho c_p D g_a) / \lambda}{\Delta + \gamma \cdot \left( 1 + \frac{g_a}{\frac{R_g}{R_g + R_o} \cdot g_{lim} \left( 0.5 - \frac{1}{\pi} \arctg \left( \frac{D}{a} - b \right) \right) + g_{min}} \right)}$$

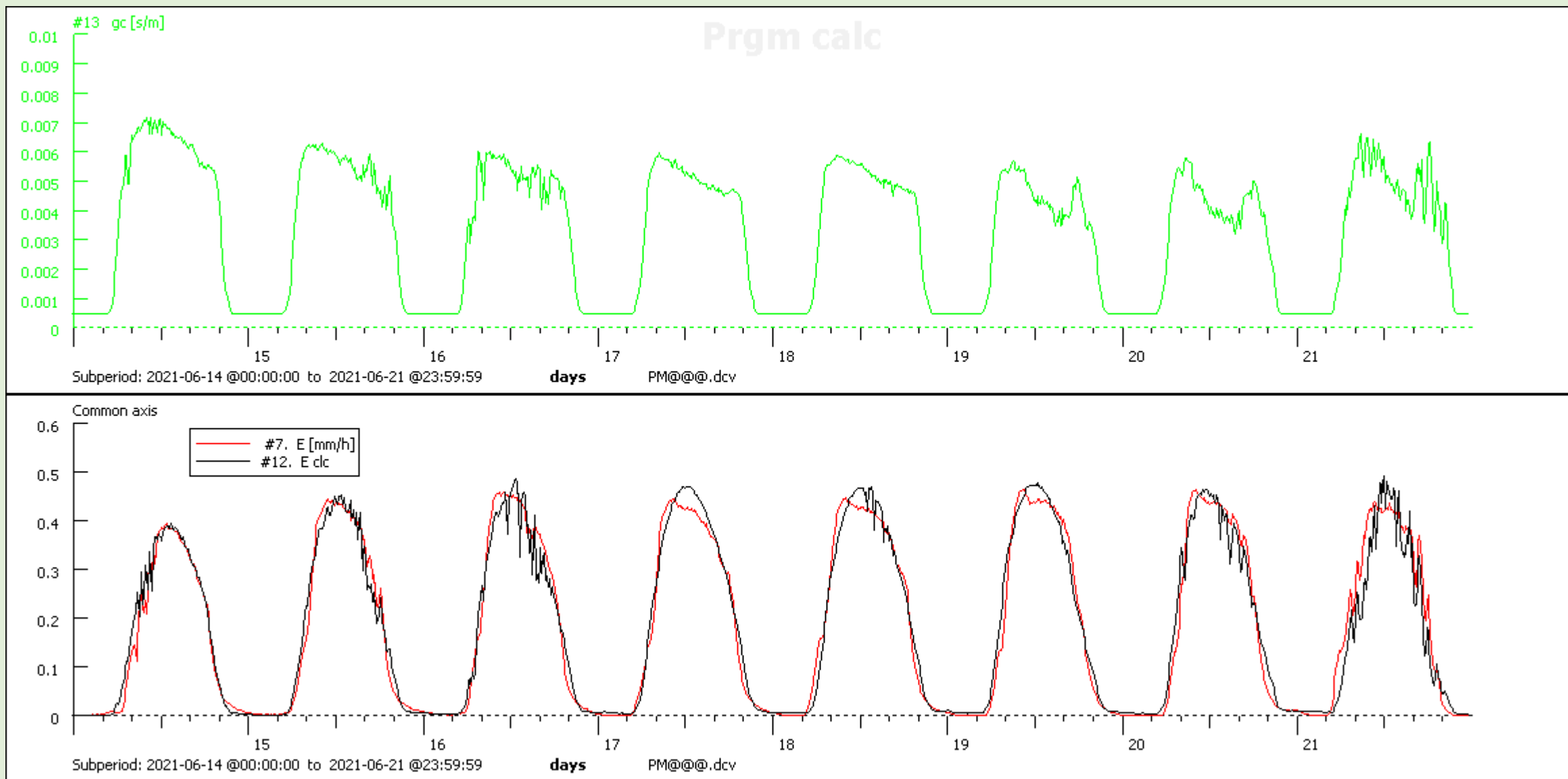
Hledání parametrů se provádí různými technikami, v tomto případě je použita metoda nelineární multiregrese, která umožňuje rychlé nalezení v jednom kroku.

Nalezené parametry definují závislosti průduchové vodivosti na  $R_g$  a  $D$ . Tyto závislosti definují základní chování rostlin, mimo jiné jejich rozdělení na anizohydrické, které manipulují s průduchy ve více či méně omezené míře, a izohydrické, které se naopak snaží udržet konstantní listový potenciál.

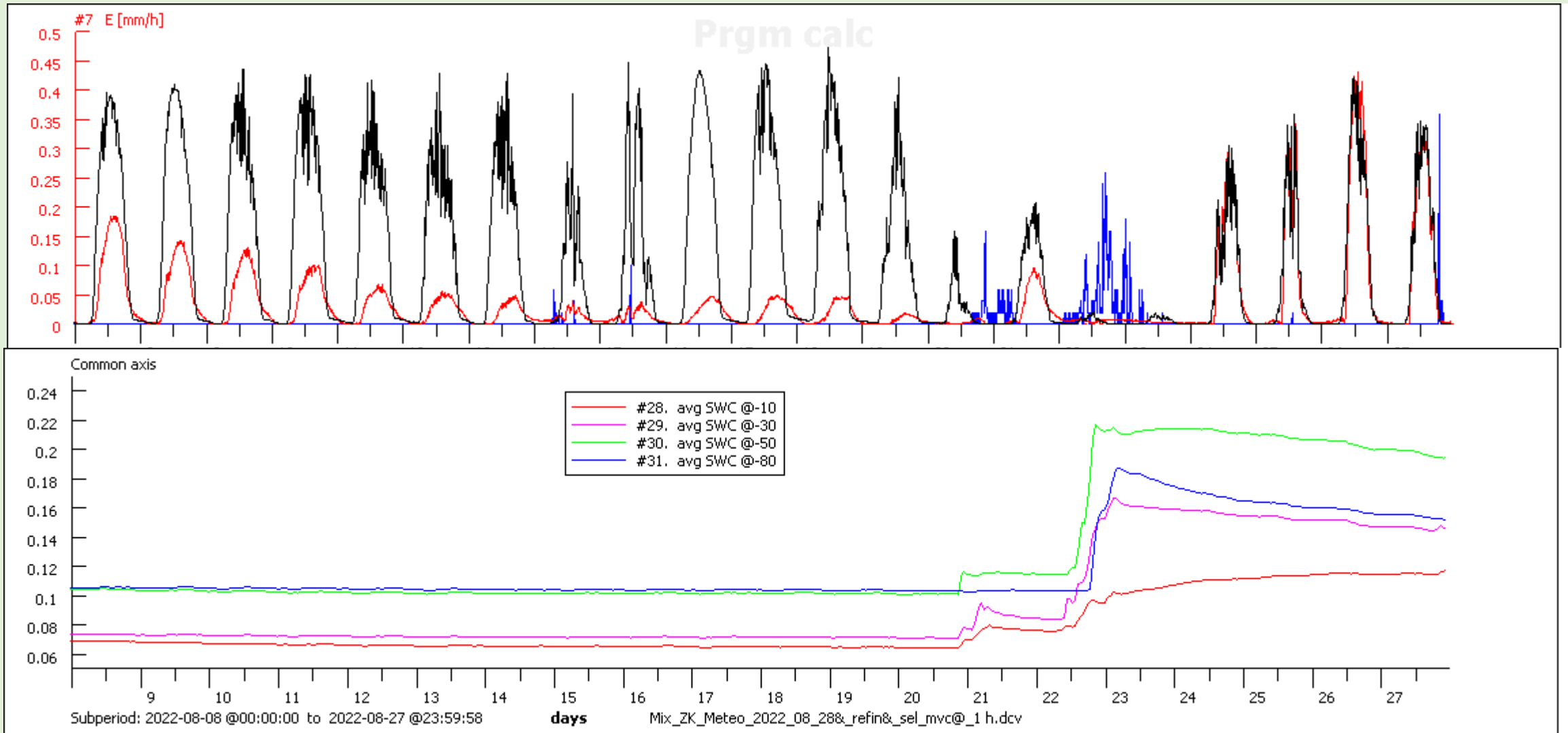
# Meteorologické veličiny potřebné pro parametrizaci v období 1.4.2021 až 28.8.2022



# Bučina - výsledky parametrizace v období dostatečné dostupnosti půdní vody - 14.6. až 21.6.2021



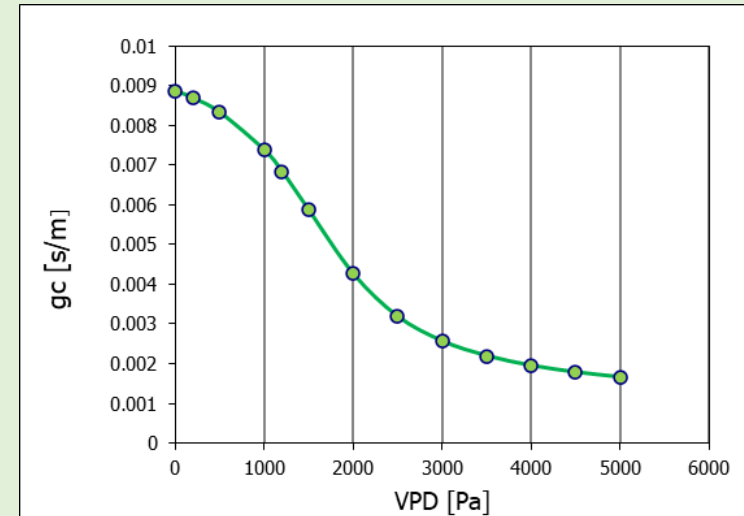
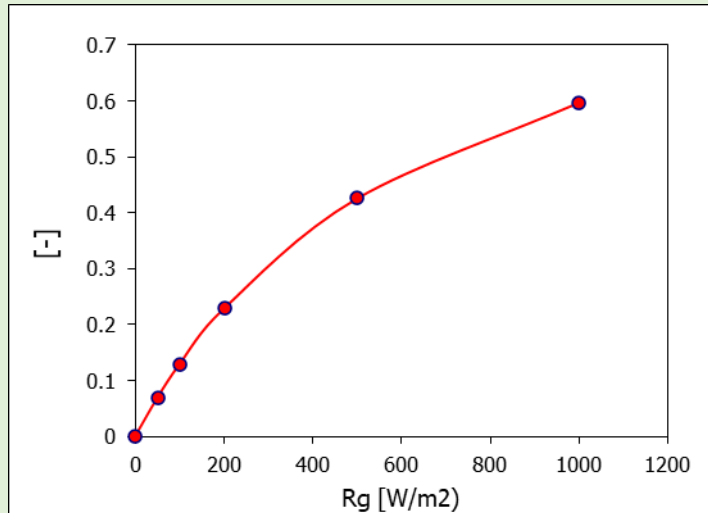
# Bučina – parametrizovaný model aplikovaný na období prísušku v srpnu 2022



Pozoruhodná je reakce na 80 mm srážku po delším suchém období.

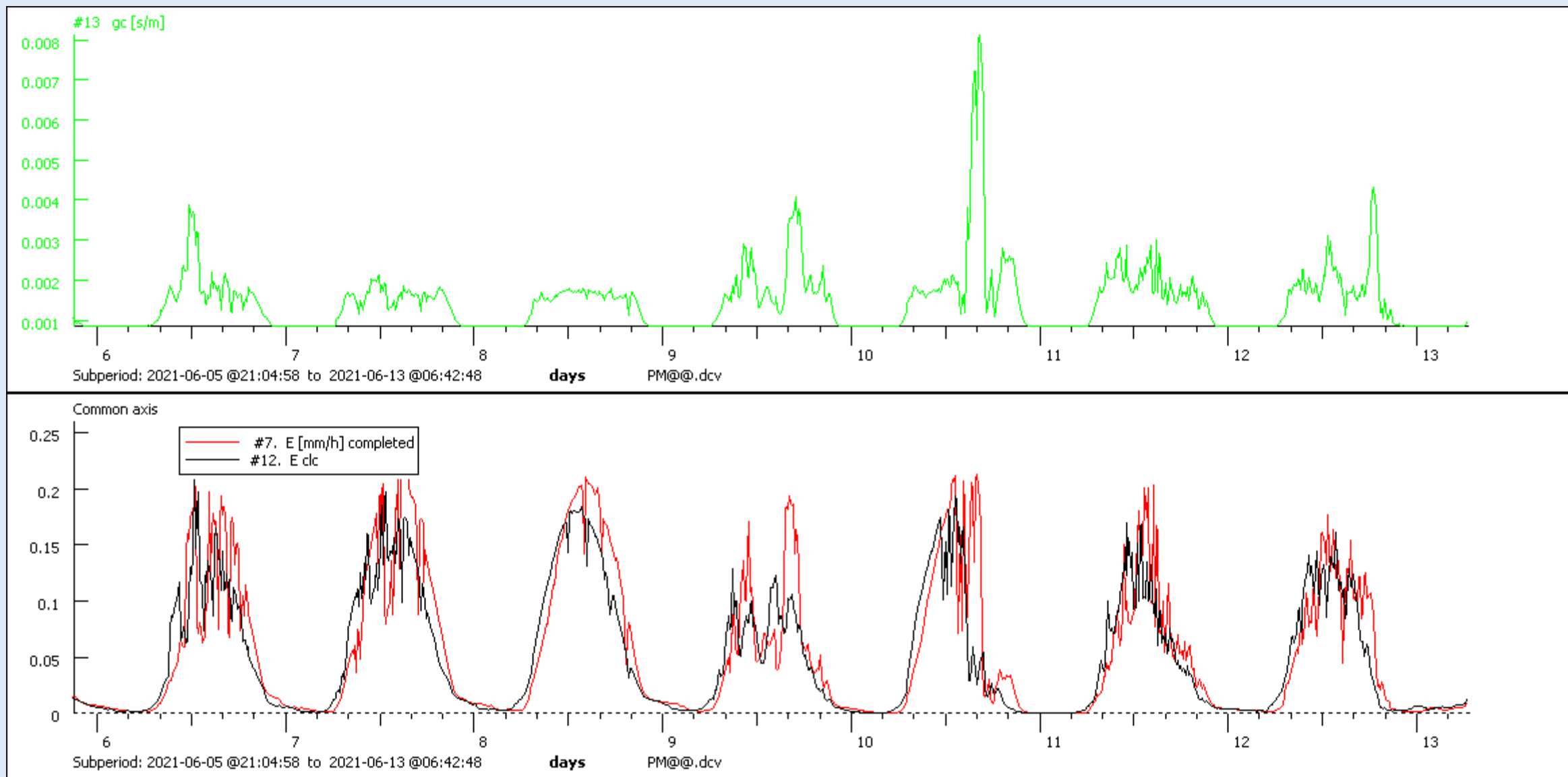


**Bučina**, parametrizace průduchové vodivosti dle P-M rovnice:  
 Závislost  $g_c$  na  $R$  a VPD je počítána z dat v období dostatečné dostupnosti půdni  
 vody od 14.6. do 21.6. **2021**

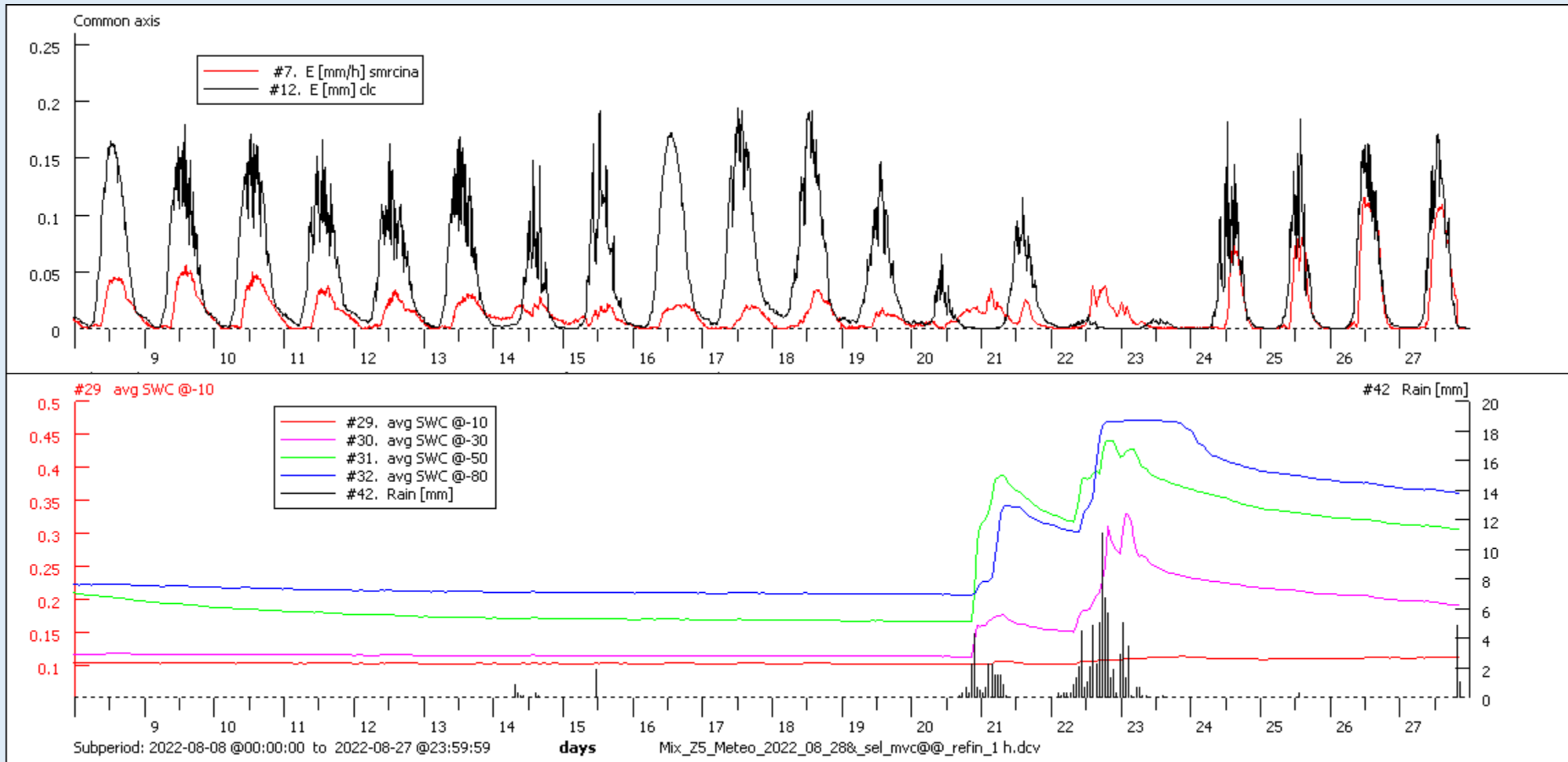


$$g_s = \frac{R_g}{R_g + R_0} \left( g_{\lim} \left( 0.5 - \frac{1}{\pi} \arctg \left( \frac{D}{a} - b \right) \right) + g_{\min} \right)$$

# Smrčina - výsledky parametrizace v období dostatečné dostupnosti půdní vody - 6.6. až 13.6.2021

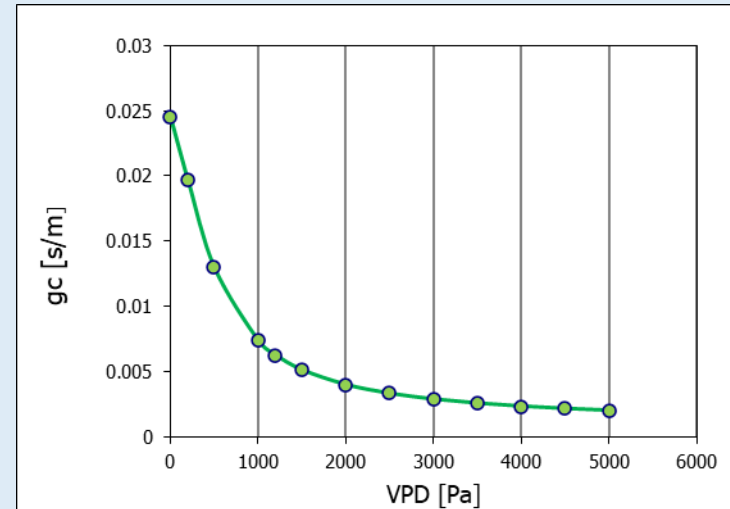
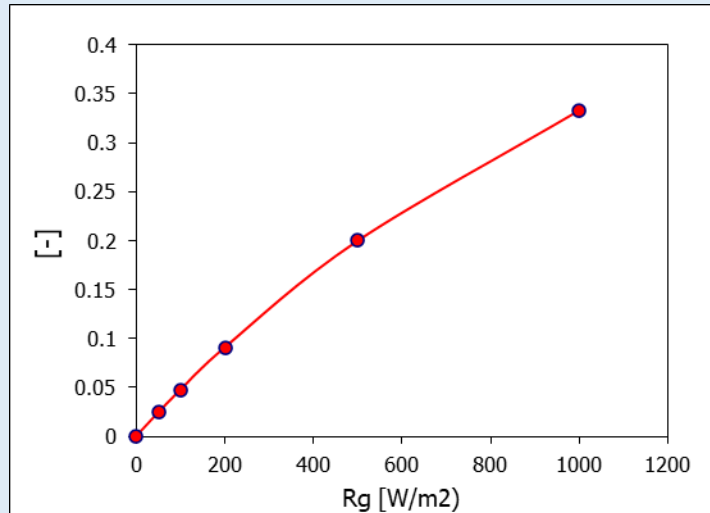


# Smrčina - výsledky parametrizace v období dostatečné dostupnosti půdní vody - 14.6. až 21.6.2021



Opět významná reakce na 80 mm srážku po delším suchém období.

**Smrčina**, parametrizace průduchové vodivosti dle P-M rovnice:  
 Závislost  $g_c$  na  $R$  a VPD je počítána z dat v období dostatečné dostupnosti půdni  
 vody od 14.6. do 21.6. **2021**



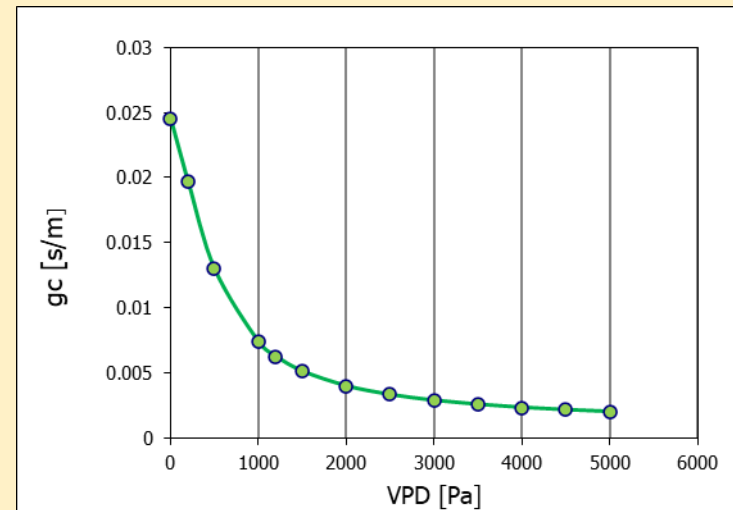
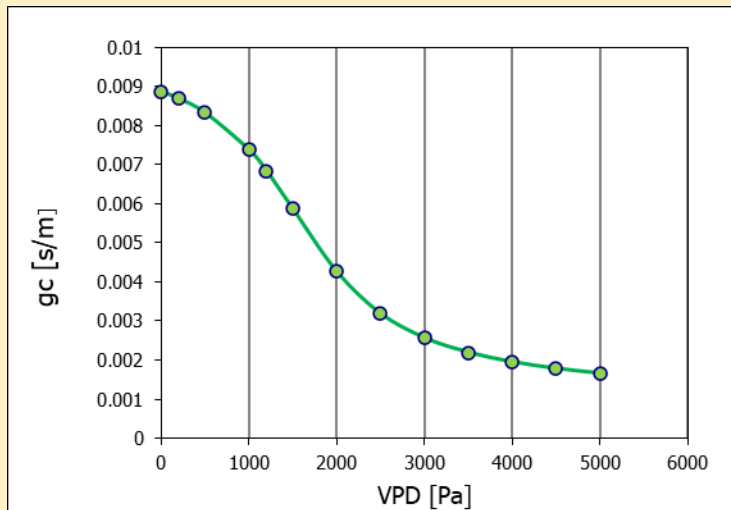
$$g_s = \frac{R_g}{R_g + R_0} \left( g_{\text{lim}} \left( 0.5 - \frac{1}{\pi} \arctg \left( \frac{D}{a} - b \right) \right) + g_{\text{min}} \right)$$



## Závěr:

Popsaný postup parametrizace Penman - Monteithovy rovnice ukazuje zásadní rozdíl v reakci průduchové vodivosti na sytostní doplněk, ne nadarmo ve starší literatuře nazývaný „výsušná schopnost atmosféry“.

Razantní reakce průduchů na evaporační požadavky může být jedním z vysvětlení nižší spotřeby vody na jednotku přírůstu.





**Děkuji za pozornost**

