

Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů

Katedra agroekologie a biometeorologie



## **Vliv synoptické situace na teplotu a vlhkost půdy**

Diplomová práce

Autor práce: Bc. Martin Stalmacher

Vedoucí práce: Ing. Věra Kožnarová, CSc.

Konzultant: Dr. Ing. Martin Možný

2013

## **Prohlášení**

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma: **Vliv synoptické situace na teplotu a vlhkost půdy** pod vedením vedoucí práce, Ing. Věry Kožnarové, CSc. vypracoval samostatně. Dále prohlašuji, že jsem použil jen pramenů, které cituji a uvádím v příložené bibliografii.

V Brozanech nad Ohří dne: 4.4. 2013

.....

podpis autora práce

## **Poděkování**

Mé poděkování patří především vedoucí diplomové práce, Ing. Věře Kožnarové, CSc., za inspirativní vedení a cenné rady, které mi poskytla. Dále děkuji, Dr. Ing. Martinovi Možnému za přínosné konzultace a čas, který mi věnoval. A v neposlední řadě bych chtěl touto cestou poděkovat rodině, která mě po dobu celého studia vytrvale podporovala a motivovala k co nejlepším výsledkům.

## Souhrn

Monitoring základních agrometeorologických veličin, jako jsou teplota a vlhkost půdy má značný význam, protože zásadním způsobem ovlivňují výslednou rostlinou produkci. Dále slouží k hodnocení sucha, jehož výskyt je v současné době patrnější a nejspíš souvisí i se zjevnou klimatickou změnou. Porozumění vztahů mezi atmosférickou cirkulací a výše zmiňovanými parametry tvoří prostor pro rozvoj pokročilejších teoretických modelů v synoptické klimatologii.

Cílem práce je vyhodnocení vlivu jednotlivých synoptických situací na teplotu a vlhkost půdy v období 2001 – 2011 na observatoři v Doksanech, která je gestorem agrometeorologických měření v České republice. Teoretická část práce se proto zabývá problematikou teploty a vlhkosti půdy a metodami jejich měření. Dále se věnuje popisu synoptických klasifikací a jednotlivých synoptických situací používaných v rámci ČHMÚ (Českého hydrometeorologického ústavu).

V experimentální části bylo provedeno stručné zhodnocení klimatických charakteristik, půdního profilu a popis způsobu měření teploty a vlhkosti půdy na observatoři v Doksanech. Dále byla provedena statistická analýza výše zmiňovaných veličin a i dalších meteorologických charakteristik, tj. maximální a minimální teploty vzduchu, úhrnu srážek, úhrnu slunečního svitu, rychlosti větru a evaporace, které se významně projevují na variabilitě teploty a vlhkosti půdy. Z analýzy byly nalezeny měsíce s extrémními měsíčními průměrnými teplotami půdy v hloubce 5 cm, 10 cm, 20 cm, 50 cm a vlhkosti půdy v hloubce: 0–10 cm, 11–50 cm a u těchto měsíců bylo provedeno detailní šetření. Výstupem je tabelární a grafický výstup, který interpretuje jednotlivé vztahy a vliv jednotlivých synoptických situací a dalších měřených meteorologických charakteristik na teplotu a vlhkost půdy.

Statistické analýzy poukazují na pozvolný rostoucí trend průměrné roční teploty půdy ve sledovaném období, naopak vlhkost půdy nevykazuje žádné prokazatelné změny. Dále byl zjištěn zásadní vliv synoptických situací a dalších měřených parametrů na variabilitu teploty a vlhkosti půdy u měsíců, kdy došlo k maximálním nebo minimálním extrémům. Diplomová práce potvrdila, že synoptické situace popisující cirkulaci vzduchu nad střední Evropou, které jsou pravidelnou součástí analýz a prognóz počasí na webových stránkách ČHMÚ jsou vhodným nástrojem pro hodnocení variability teploty a vlhkosti půdy.

Klíčová slova: teplota půdy, vlhkost půdy, synoptická situace, povětrnostní podmínky

## Summary

Monitoring of basic agrometeorological parameters (soil temperature and soil moisture) is very important because they are significantly affecting plant production. Monitoring also plays substantial role for drought evaluation. Agriculture's drought is occurring more often than ever before and most likely is associated with apparent climate change. Understanding of relationships between atmospheric circulation and parameters mentioned above creates new space for development of advanced theoretical models in synoptic climatology.

The goal of this study is evaluating influence of individual synoptic situation on soil temperature and soil moisture in period 2001 – 2011 at Doksany's observatory (administrator of agrometeorological measurement in the Czech Republic). The theoretical part is focused on soil temperature and soil moisture and their measurement methods. Next chapter is focused on describing synoptic classifications and synoptic situations used by CHMI (Czech Hydrometeorological Institute).

Climatic characteristic and soil profile assessment was carried out in the experimental part at Doksany observatory. Then was performed statistical analysis of soil temperature and moisture and another meteorological characteristics – maximal and minimal air temperature, precipitation amount, sunshine duration, wind speed, evaporation, which could have impact on variability of soil temperature and moisture. After that was found months with absolute monthly extreme values of soil temperature and moisture and these months were detailed examined. Tables and graphs explain influence of synoptic situations and other meteorological characteristics on soil temperature and soil moisture.

Statistical analysis shows slow growing annual soil temperature average in period 2001 – 2011; on the contrary, annual soil moisture average doesn't show any conclusive trend. The impact of concrete synoptic situations and next meteorological characteristics on soil temperature and moisture for months with extreme values is detected. Diploma thesis prove that synoptic situations are regular part of weather analysis on CHMI's website describing weather conditions over central Europe are appropriate tool for variability of soil temperature and soil moisture assessment.

Keywords: soil temperature, soil moisture, synoptic situation, weather conditions

# Obsah

<b>1. ÚVOD.....</b>	<b>1</b>
<b>2. VĚDECKÉ HYPOTÉZY A CÍLE PRÁCE.....</b>	<b>3</b>
<b>3. LITERÁRNÍ REŠERŠE.....</b>	<b>4</b>
<b>3.1. Teplota půdy.....</b>	<b>4</b>
3.1.1. Teorie teploty půdy .....	4
3.1.2. Měření teploty půdy na stanicích ČHMÚ.....	6
<b>3.2. Půdní vlhkost.....</b>	<b>10</b>
3.2.1. Objemová vlhkost půdy, $\theta$ .....	10
3.2.2. Hmotnostní vlhkost půdy (gravimetrická vlhkost), $w$ .....	10
3.2.3. Metody pro měření půdní vlhkosti.....	10
3.2.3.1. Přímé metody (gravimetrická metoda).....	11
3.2.3.2. Nepřímé metody měření půdní vlhkosti.....	12
3.2.3.2.1. Radiometrické metody.....	12
3.2.3.2.2. Dielektrické metody.....	14
3.2.4. Měření vlhkosti půdy na stanicích ČHMÚ .....	19
3.2.4.1. Půdní senzor TRIFO3G.....	21
<b>3.3. Synoptická situace.....</b>	<b>23</b>
3.3.1. Klasifikace synoptických situací .....	24
3.3.1.1. Subjektivní klasifikace .....	25
3.3.1.2. Automatizované a semiautomatizované klasifikace .....	25
3.3.2. Projekty v synoptické klimatologii .....	26
3.3.3. Klasifikace povětrnostních situací ČR.....	27
3.3.4. Popis jednotlivých synoptických typů .....	27
<b>4. MATERIÁL A METODY.....</b>	<b>38</b>
<b>4.1. Observatoř v Doksanech .....</b>	<b>38</b>
4.1.1. Klimatické charakteristiky .....	38
4.1.2. Půdní podmínky .....	39
4.1.3. Měření teploty půdy v Doksanech .....	40
4.1.4. Měření vlhkosti půdy v Doksanech .....	41
<b>4.2. Použitá data .....</b>	<b>42</b>
<b>5. VÝSLEDKY .....</b>	<b>43</b>
<b>5.1. Analýza synoptických situací.....</b>	<b>43</b>

5.1.1.	Celková četnost synoptických situací (2001 – 2011) .....	44
5.1.2.	Četnost synoptických situací v jednotlivých měsících (2001 – 2011).....	44
<b>5.2.</b>	<b>Analýza meteorologických dat.....</b>	<b>50</b>
5.2.1.	Průměrné roční teploty a vlhkosti půdy (2001 – 2011) .....	51
5.2.2.	Charakteristiky ročních průměrů .....	54
<b>5.3.</b>	<b>Extrémy průměrné měsíční teploty a vlhkosti půdy.....</b>	<b>56</b>
5.3.1.	Rozbor měsíců s výskytem extrémů teploty nebo vlhkosti půdy .....	56
5.3.1.1.	Nejnižší průměrná teplota půdy v lednu 2006 .....	57
5.3.1.2.	Nejnižší průměrná teplota půdy v únoru 2006 .....	58
5.3.1.3.	Nejvyšší průměrná teplota půdy v červenci 2006 .....	60
5.3.1.4.	Nejnižší průměrná vlhkost půdy v srpnu 2004.....	65
5.3.1.5.	Nejvyšší průměrná vlhkost půdy v lednu 2011 .....	66
5.3.1.6.	Nejvyšší průměrná vlhkost půdy v březnu 2001 .....	68
<b>6.</b>	<b>DISKUZE .....</b>	<b>70</b>
<b>6.1.</b>	<b>Analýza četnosti synoptických situací za období 2001 – 2011 .....</b>	<b>70</b>
<b>6.2.</b>	<b>Analýza četnosti synoptických situací v jednotlivých měsících .....</b>	<b>73</b>
<b>6.3.</b>	<b>Analýza teploty a vlhkosti půdy v období 2001 - 2011 .....</b>	<b>73</b>
<b>6.4.</b>	<b>Analýza měsíců s přítomným extrémem.....</b>	<b>73</b>
6.4.1.	Hodnocení ledna a února 2006 .....	74
6.4.2.	Hodnocení července 2006.....	74
6.4.3.	Hodnocení srpna 2004 .....	75
6.4.4.	Hodnocení ledna 2011 .....	75
6.4.5.	Hodnocení března 2001 .....	75
<b>7.</b>	<b>ZÁVĚR .....</b>	<b>76</b>
<b>8.</b>	<b>SEZNAM LITERATURY.....</b>	<b>78</b>

# 1. Úvod

Počasí je aktuální fyzikální stav atmosféry charakterizovaný okamžitým uspořádáním meteorologických prvků, včetně jejich složitého vzájemného působení – interakcí. Charakteristickou, až příslovečnou vlastností počasí, je jeho nestálost v čase a velká proměnlivost, zejména v některých oblastech jako je střední Evropa. Proto i popis počasí je velmi obtížný, často se používají k vyjádření jen některé vybrané meteorologické prvky.

Jedním z možných způsobů popisu povětrnostní situace je synoptická mapa, která graficky znázorňuje počasí v daném okamžiku a prostoru pomocí izobar, které vyjadřují oblasti tlakových výší (anticyklón), tlakových níží (cyklón) a dalších tlakových útvarů. Dále jsou na mapě vyznačeny atmosférické fronty jako hranice oddělující vzduchové hmoty, které se v troposféře podílejí na tvorbě počasí. Z dlouhodobého hlediska bylo zjištěno, že se řada situací opakuje a projevuje se přibližně shodným počasím, tzv. typem počasí. Od tohoto zjištění byl už jen krok k vytvoření klasifikačních systémů, kdy zejména v minulém století jich bylo vytvořeno značné množství. Klasifikace synoptických situací dělíme na objektivní a subjektivní, přičemž každá z nich má své výhody i nevýhody. V rámci ČHMÚ se typizace synoptických situací sestavuje na základě metodického předpisu (Kolektiv HMÚ, 1968) a kalendář jednotlivých typů je pravidelnou součástí meteorologických zpráv a také součástí webových stránek ČHMÚ. Zájem o vývoj klasifikací synoptických typů nadále roste, obzvláště z důvodu zřetelných environmentálních dopadů (Bower et al., 2007). Klasifikace jsou důležité zejména pro vyhodnocení různých klimatických jevů, mezi ně může patřit právě změna teploty a vlhkosti půdy.

Půda je základní složkou životního prostředí a významný faktor pro zajišťování podmínek pro život organismů na Zemi. Je výsledkem půdotvorného procesu, při němž faktory působící na půdotvorný substrát jsou příčinou vzniku různých druhů a typů (Kutílek et al., 2004). Fyzikální vlastnosti půdy se významně projevují v měřitelných veličinách – teplotě a vlhkosti půdy. Tyto veličiny zřetelně ovlivňují biologické a chemické procesy v půdě a tím i zásadně ovlivňují biologickou aktivitu organismů.

Změny v teplotě a vlhkosti půdy jsou reakcí na děje probíhající zejména na půdním povrchu. Variabilita je přitom determinována řadou faktorů jako jsou roční období, záření, srážky, teplota vzduchu přiléhajícího k povrchu, vegetační kryt, vlastností půdy a hloubkou, ve které se teplota a vlhkost půdy měří (Seemann et al., 1979, Glossary of Meteorology, 2000). Ve srovnání se vzduchem izolační vlastnosti rostlinného krytu a povrchových vrstev



půdy způsobují, že jsou denní a sezónní změny obou prvků ve větší hloubce zcela odlišné. Proto probíhá na stanicích ČHMÚ kontinuální monitoring teploty a vlhkosti půdy. Cílem je získání relevantních dat, která jsou podkladem pro řadu oborů v oblasti zemědělství, lesnictví, ekologie a podobně. Zároveň data slouží pro specifické analýzy – např. vyhodnocení sucha na území České republiky.

## 2. Vědecké hypotézy a cíle práce

Cílem diplomové práce je analýza variability teploty a vlhkosti půdy na observatoři v Doksanech v období od 2001 – 2011 v interakci s měnící se cirkulací vzduchu ve střední Evropě a dalšími meteorologickými charakteristikami.

Na tomto základě budou ověřeny tyto hypotézy:

1. Synoptická situace popisující cirkulaci vzduchu nad střední Evropou ovlivňuje chod teploty a vlhkosti půdy.
2. Meteorologické prvky určující počasí za synoptické situace mají výrazný vliv na variabilitu teploty a vlhkosti půdy.
3. Amplituda denní maximální a denní minimální teploty půdy se snižuje s hloubkou v půdním profilu.
4. Vlhkost půdy kopíruje rozložení výskytu srážek. Tento jev je patrný zejména ve vrchní vrstvě.
5. Klasifikační systém povětrnostních situací používaný Českým hydrometeorologickým ústavem je relevantním nástrojem pro hodnocení variability teploty a vlhkosti půdy a je vhodný k vytváření teoretickým modelů týkající se těchto dvou veličin.

K potvrzení nebo vyvrácení těchto hypotéz bude zpracována literární rešerše, kde je stěžejním úkolem:

1. podat ucelený přehled o metodách měření teploty a vlhkosti půdy a popsat měření těchto prvků v síti stanic ČHMÚ, kde jsou oba prvky pravidelně sledovány,
2. dalším cílem bude popsat synoptickou situaci a její jednotlivé typy a charakterizovat jednotlivé klasifikační systémy používané v Evropě a v České republice.

V experimentální části bude vytvořena:

1. databáze z termínovaných měření teploty a vlhkosti půdy pod posekaným trávníkem s využitím snímačů ČHMÚ na stanici v Doksanech,
2. databáze synoptických situací ČHMÚ souhrnně popisující vztah nad střední Evropou.

Dále budou databáze podrobeny statistickému šetření dat a budou detekovány situace s největší a nejmenší variabilitou obou sledovaných prvků.

### 3. Literární řešerše

#### 3.1. Teplota půdy

Teplota půdy má důležitou úlohu pro řadu významných biologických a chemických procesů. Termodynamické vlastnosti půdy hrají významnou roli v mnoha procesech, především v chemických a biologických interakcích, které jsou vázány na půdní prostředí. Nejvýznamnější je konverze dopadajícího slunečního záření v teplo a distribuce energetických toků (dlouhovlnná radiace, latentní teplo při změnách skupenství, zjevné teplo projevující se konvekcí a tokem tepla v půdě). Všechny jsou závislé na obsahu půdní vody a teplotě půdy. Účinky těchto dějů se šíří půdním profilem v rámci transportních procesů a jsou ovlivněny fyzikálními vlastnostmi půdy a zřetelně se projevují v měřitelné veličině - teplotě půdy (Kožnarová et al., 2008).

##### 3.1.1. Teorie teploty půdy

Teplota půdy ovlivňuje růst kořenů rostlin a klíčivost semen, dále má značný vliv na mineralizaci rostlinných živin a obsah CO<sub>2</sub> v půdě. Touto problematikou se zabýval Fang a Moncrief (2001), kteří provedli experimentální pokusy v různých vegetačních pokryvech v laboratorních podmínkách za střídavých teplotních a vlhkostních podmínek, které poukázaly na růst obsahu půdního CO<sub>2</sub> korespondující s růstem teploty půdy do hodnoty 32 °C. Při překročení této teplotní hranice už není jev patrný, jelikož dochází k deaktivaci enzymů produkovaných organismy během rozkladu organické hmoty. Teplota půdy má tedy výrazný vliv i na mikrobiální aktivitu (Bonneau and Souchier 1982). Teplotu půdy lze vyjádřit jako výsledek determinovaný měrným teplem dané látky, tepelnou kapacitou, tepelnou a teplotní vodivostí (tab. 1, 2 a 3, Kešner, 1977).

**Tab. 1** Měrné teplo hlavních složek půdy

Složky půdy	Měrné teplo	
	hmotnostní (J.kg <sup>-1</sup> .K <sup>-1</sup> )	objemové (J.m <sup>-3</sup> .K <sup>-1</sup> )
Pevné: křemičitý písek	0,821.10 <sup>3</sup>	2,165.10 <sup>6</sup>
uhlíčitán vápenatý	0,896.10 <sup>3</sup>	2,437.10 <sup>6</sup>
jíl	0,976.10 <sup>3</sup>	2,412.10 <sup>6</sup>
Voda	4,187.10 <sup>3</sup>	4,187.10 <sup>6</sup>
Vzduch	1,009.10 <sup>3</sup>	0,130.10 <sup>6</sup>

**Tab. 2** Objemové měrné teplo zemin v přirozeném uložení

	Objemové měrné teplo ( $\text{J}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{K}^{-1}$ )	
	bez vody	při plném nasycení vodou
Písek	$1,264\cdot 10^6$	$3,002\cdot 10^6$
Jíl	$1,005\cdot 10^6$	$3,471\cdot 10^6$
Rašelina	$0,619\cdot 10^6$	$3,806\cdot 10^6$

**Tab. 3** Tepelná vodivost některých zemin a jejich složek

	Tepelná vodivost ( $\text{J}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ )	
	bez vody	při plném nasycení vodou
Hrubozrnný písek	0,20	1,72
Jemnozrnný písek	0,19	1,63
Písčitá hlína	0,19	1,34
Hlína	0,14	0,88
Rašelina	0,11	0,46
Voda	0,50	
Led	0,21	
Vzduch	0,02	

Denní amplituda teploty půdy je dána ročním obdobím, oblačností, vlhkostí půdy, barvou půdy (tmavé půdy zvyšují amplitudu) a porostem (vyšší porost snižuje amplitudu – ve dne půdu zastíňuje, v noci zmenšuje vyzařování půdy). Teplota půdy se mění i v reakci na změny probíhající na půdním povrchu (Glossary of Meteorology, 2000). Teplotní amplituda je ovlivněna podnebím, kdy zmenšující se zeměpisná šířka zvětšuje denní amplitudu, naproti tomu rostoucí zeměpisná šířka roční amplitudu výrazně zvětšuje (Klabzuba, 2002). Denní chod teploty povrchu půdy i teploty ve všech hloubkách má většinou jedno maximum a jedno minimum. Doba nástupu denního maxima a minima se s hloubkou zpožďuje v průměru na každých 10 cm půdy o 2 až 4 hodiny. Nevyšší teplota obvykle nastává většinou hodinu po sluneční kulminaci, naopak nejnižší teplota těsně před východem Slunce. Nejvýraznější denní chod teploty půdy můžeme pozorovat za jasného počasí v teplé části roku. V řadě dní je ovšem tento trend narušen vlivem srážek, sněhové pokrývky, nebo oblačností. Nejvyšší teploty jsou pozorovány v povrchových vrstvách v průběhu vrcholícího léta a nejnižší teploty v druhé polovině zimy (Tolasz at al., 2007).

Charakteristiky ročního kolísání denního průměru teploty půdy v různých hloubkách lze přibližně stanovit s použitím základní sinusové funkce (Hillel, 1982; Wu and Nofziger, 1999), kdy s větší hloubkou se maximum teploty půdy snižuje a minimum zvyšuje:

$$T(z,t) = T_a + A_0 e^{-z/d} \sin\left[\frac{2\pi(t-t_0)}{365} - \frac{z}{d} - \frac{\pi}{2}\right] \quad (1), \text{ kde}$$

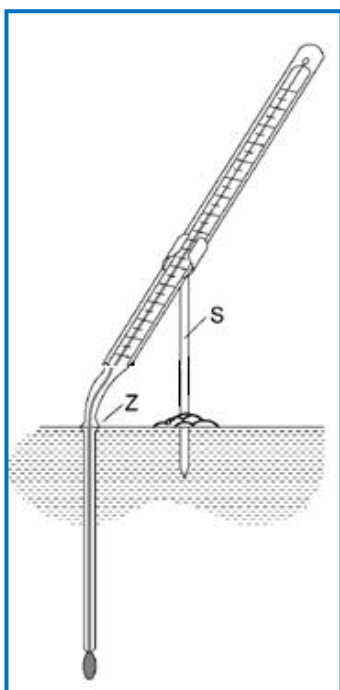
$T(z,t)$  - teplota půdy v čase  $t$  [d] a hloubce  $z$  [m],

$T_a$  - průměrná teplota půdy [ $^{\circ}\text{C}$ ],

$A_0$  - roční amplituda teploty půdy na povrchu [ $^{\circ}\text{C}$ ].

### 3.1.2. Měření teploty půdy na stanicích ČHMÚ

Teplota půdy je v síti stanic ČHMÚ (Český hydrometeorologický ústav) standardně měřena v hloubkách 5, 10, 20, 50 a 100 cm půdními teploměry umístěnými v přirozeném půdním profilu pod krátce sestřiženým trávíčkem (na některých agrometeorologických stanicích se měří i v nestandardních hloubkách 2 a 30 cm). Pro menší hloubky (obvykle do 20 cm) se používají teploměry lomené, které jsou trvale zasazené do půdy a ta část teploměru, která ční nad povrchem půdy, je zahnutá pro pohodlnější čtení. V zahnuté části teploměru se nachází stupnice. Část teploměru vyčnívající nad povrch půdy je, v místě pod ohybem s rozšířením trubice, zajištěna proti vyvrácení opěrnou vidlicí (obr. 1).

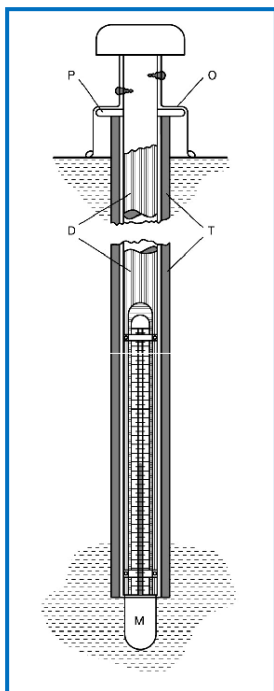


**Obr. 1** Půdní teploměr pro menší hloubky

S – stojánek, Z – rozšíření stonku pro správné zasazení teploměru do dané hloubky (ČHMÚ, 2003)

Pro hloubky 50 cm a více se používají teploměry hloubkové (obr. 2). Ty jsou zasazeny do výřezů na spodním konci dřevěných nebo plastových tubic, kterými se teploměr při čtení vytahuje z půdy. Hloubkový teploměr má zvlášť objemnou rtuťovou nádobku, která dole

vyčnívá z výřezu trubice a je chráněna čepičkou z mědi. Trubice se zasouvá do další svíslé ochranné trubice (nejčastěji z novoduru) trvale zasazené do půdy (ČHMÚ, 2003).



**Obr. 2** Půdní teploměr hloubkový

O – ochranné víko, P – plstěná izolační vložka, D – nástavec se vsazeným teploměrem, M – ochranná měděná čepička, T – pažní trubice (ČHMÚ, 2003)

Měření rtuťovými teploměry v termínech 7, 14, 21 h SMČ (středního místního času) je od poloviny 90. let 20. století postupně nahrazováno kontinuálním automatizovaným měřením odporovými teploměry – snímače Pt 100. Technické vlastnosti jsou popsány v tabulce 4.

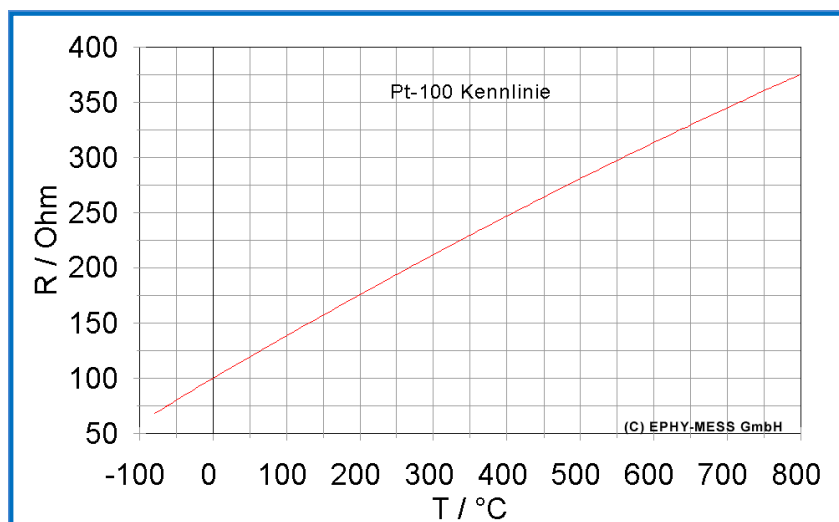
**Tab. 4** Technická specifikace čidla Pt 100 (ZPA EKOREF, 2007)

Odporový snímač	Pt 100
Délka kabelu	4 – 6 m
Klimatická vhodnost	suché, vlhké tropy, mírné šířky
Rozsah teploty	(-40 °C) - (+180 °C)
Vnitřní zapojení	čtyřvodičové
Vnitřní odpor $R_v$ (1m vedení)	0,084 $\Omega$
Teplotní tolerance	0,15 - 0,002 °C
Hranice relativní vlhkosti	95 % (maximum)
Materiál snímače	mosaz

Teplotní senzory Pt 100 (obr. 3) jsou odporová čidla a používají se k měření teploty půdy (Možný and Bareš, 2005). Měření teploty odporovými teploměry probíhá na základě měření elektrického odporu. Relativní změna odporu v závislosti na teplotě, je známa jako teplotní koeficient, jehož hodnota není konstantní v rozsahu měřených teplot, ale je funkcí teploty (obr. 4).



**Obr. 3** Závislost elektrického odporu na teplotě u senzoru Pt 100  
 <<http://www.allerwaynet.de/literatur/pt100k.gif>>



**Obr. 4** Teplotní odporový senzor Pt100

Přívodní kabel je uložen v ochranném pouzdru z polyamidu a samotný snímač je kryt mosaznou čepičkou (obr. 5, 6, 7) a v půdě jsou uloženy v horizontální poloze ve stanovených hloubkách – 5 cm, 10 cm, 20 cm, 50 cm a 100 cm. (Virág et al., 2009).



**Obr. 5** Odporový půdní teploměr (nahore), pouzdro s mosaznou čepičkou (dole)



**Obr. 6** Odporový teploměr (vpravo), pouzdro pro odporový teploměr s mosaznou čepičkou (vlevo)



**Obr. 7** Kompletní odporový teploměr



## 3.2. Půdní vlhkost

Vlhkost půdy udává množství vody v půdě. Obecně je vlhkost nejvíce ovlivněna především texturou půdy, pórovitostí a také obsahem humusu (Kutílek et al., 2004). Definujeme vlhkost objemovou a hmotnostní. Půdní vlhkost vyjadřujeme buď jako veličinu ( $L^3 L^{-3}$ ) nebo v procentech a to buď v objemových, nebo hmotnostních.

### 3.2.1. Objemová vlhkost půdy, $\theta$

Je matematicky definována jako podíl objemu kapaliny z celkového objemu půdy:

$$\theta = \frac{V_w}{V_T} \quad (L^3 L^{-3}) \quad (2), \text{ kde}$$

$$\theta = \left( \frac{V_w}{V_T} \right) \cdot 100 \quad (\% \text{ objem.}) \quad (3), \text{ kde}$$

$V_w$  - objem kapaliny ( $L^3$ ),  
 $V_T$  - objem vzorku půdy ( $L^3$ ).

### 3.2.2. Hmotnostní vlhkost půdy (gravimetrická vlhkost), $w$

Je vyjádřena následujícím způsobem:

$$w = \frac{m_w}{m_s} \quad (M M^{-1}) \quad (4), \text{ kde}$$

$$w = \left( \frac{m_w}{m_s} \right) \cdot 100 \quad (\% \text{ hmot.}) \quad (5), \text{ kde}$$

$m_w$  - hmotnost kapaliny (vody) (M),  
 $m_s$  - hmotnost pevné fáze (M).

### 3.2.3. Metody pro měření půdní vlhkosti

Půdní vlhkost se může měřit různými postupy či speciálními přístroji založenými na odlišných principech. Metody měření se dělí na přímé (gravimetrická metoda - destruktivní metoda), a nepřímé (nedestruktivní metody), kam patří řada metod - radiometrické metody: neutronová metoda, gamaskopická metoda; odporová metoda; dielektrické metody: FDR (Frequency Domain Reflectometry), TDT (Time Domain Transmissiometry), TDR (Time Domain Reflectometry).

Výběr metody záleží na podmínkách měření, jestli probíhá měření v laboratoři, nebo terénu a zda se jedná o kontinuální měření pro sledování dlouhodobých trendů, nebo jednorázové zjišťování půdní vlhkosti. Významnou roli hrají také ekonomické možnosti.

### 3.2.3.1. Přímé metody (gravimetrická metoda)

Při gravimetrickém stanovení půdní vlhkosti jsou nejprve odebrány vzorky ve válečcích o definovaném objemu z dané lokality. Poté jsou vzorky v laboratoři zváženy a následně dány do sušárny, kde jsou sušeny při teplotě 105 °C. Doba sušení je závislá na hmotnosti vzorku (např. vzorek 10 – 20 g na 6 hodin). Pokud se jedná o půdu organogenní s převládající složkou organické hmoty, tak se vzorek suší jen při teplotě 60 °C, jinak by došlo k úbytku hmotnosti na úkor oxidace organické hmoty vzorku a tedy i k nepřesnostem ve stanovení výsledné vlhkosti. Naopak při stanovení vlhkosti jílových minerálů (illitů, montmorillonitů, kaolinitů a dalších) lze použít teploty vysoušení až 160 °C. Po požadované době je vzorek vyjmut z pece a znovu zvážen a následně může být vypočtena konkrétní vlhkost na základě úbytku vody ze vzorku dle následujícího vzorce.

a) Hmotnost vody se určí jako:

$$m_w = m_s - m_z (M) \quad (6), \text{ kde}$$

$m_w$  - hmotnost vzorku ve vlhkém stavu (M),

$m_z$  - hmotnost vzorku po vysušení (M).

b) Hmotnostní vlhkost se určí:

$$w = \frac{m_w}{m_z} (M M^{-1}) \quad (7), \text{ kde}$$

$m_w$  - hmotnost vody (M),

$m_z$  - hmotnost půdy po vysušení při 105 °C hmotnost vzorku (M).

c) Objemová hmotnost se určí:

Za předpokladu, že hustota vody  $\rho_w = 1 \text{ g cm}^{-3}$  (tj. při  $t = 20 \text{ °C}$ ) a za předpokladu, že objem vzorku půdy je v  $\text{cm}^3$  a hmotnost v gramech:

$$V_w = m_w \quad (8), \text{ kde}$$

$V_w$  - objem vody ( $\text{L}^3$ ),

$m_w$  - hmotnost vody (M)

d) Následovná objemová vlhkost se určí:

$$\theta = \frac{V_w}{V_{vzr}} = \frac{m_w}{V_{vzr}} (\% \text{ objem.}) \quad (9), \text{ kde}$$

$V_w (m_w)$  - objem vody (hmotnost vody),

$V_{vzr}$  - objem vzorku.

- Výhody: při dodržení pravidel vysoká přesnost měření; dostupnost a jednoduchost metody; ideální jednorázová metoda.

- Nevýhody: časově náročná metoda; odběry narušují hydraulické vlastnosti půdy; nemožnost kontinuálního měření (in situ).

### **3.2.3.2. Nepřímé metody měření půdní vlhkosti**

Nepřímé metody jsou založeny na měření fyzikální nebo fyzikálně chemické veličiny, která je funkčně závislá na půdní vlhkosti. Existuje celá řada metod pro měření vlhkosti půd, žádná z nich není však univerzální. Při jejich výběru musíme vždy posoudit jak technické, tak ekonomické aspekty (cena přístroje, provozní náklady). Mezi nepřímé metody patří: radiometrické metody: neutronová metoda, gamaskopická metoda; odporová metoda; dielektrické metody: FDR (Frequency Domain Reflektometry, TDT (Time Domain Transmissiometry), TDR (Time Domain Reflectometry).

Problematikou se podrobně zabývali tito autoři: Kutílek and Nielsen (1996), Kutílek at al. (2004), Hignett and Evett (2002), Campbell at al (2004).

#### **3.2.3.2.1. Radiometrické metody**

##### **Neutronová metoda**

je založena na principu interakce rychlých neutronů emitovaných zdrojem s jádry elementů, ze kterých je složena vlhká zemina. Neutronová sonda obsahuje zdroj pro emisi neutronů (energie 5 MeV) a detektor pomalých neutronů. Emitované neutrony ztrácejí svou rychlost (část své kinetické energie) a dochází tedy ke zpomalení pohybu neutronů při střetu (kolizi) s jádry atomů malých atomových hmotností (termalizace neutronů). Zpomalené neutrony vytváří shluk kolem zdroje zhruba kulového tvaru. Čím vyšší je vlhkost půdy, tím dříve se rychlý neutron zpomalí a poloměr „koule“ je menší. Zdrojem neutronového záření je směs Am<sup>241</sup> – beryllium Be. K detekci pomalých neutronů je nejčastěji používán BF<sub>3</sub> (fluorid boritý). Soustava zařízení se skládá z následujících částí: sonda válcovitého tvaru; připojovací kabel, který je veden do skříně napájení; skříň, kde se nachází čtecí displej, jednoduchá klávesnice a mikroprocesor. Konkrétní zařízení založených na neutronové metodě je na obr. 8, 9 a schéma zařízení založené na neutronové metodě na obr. 10.

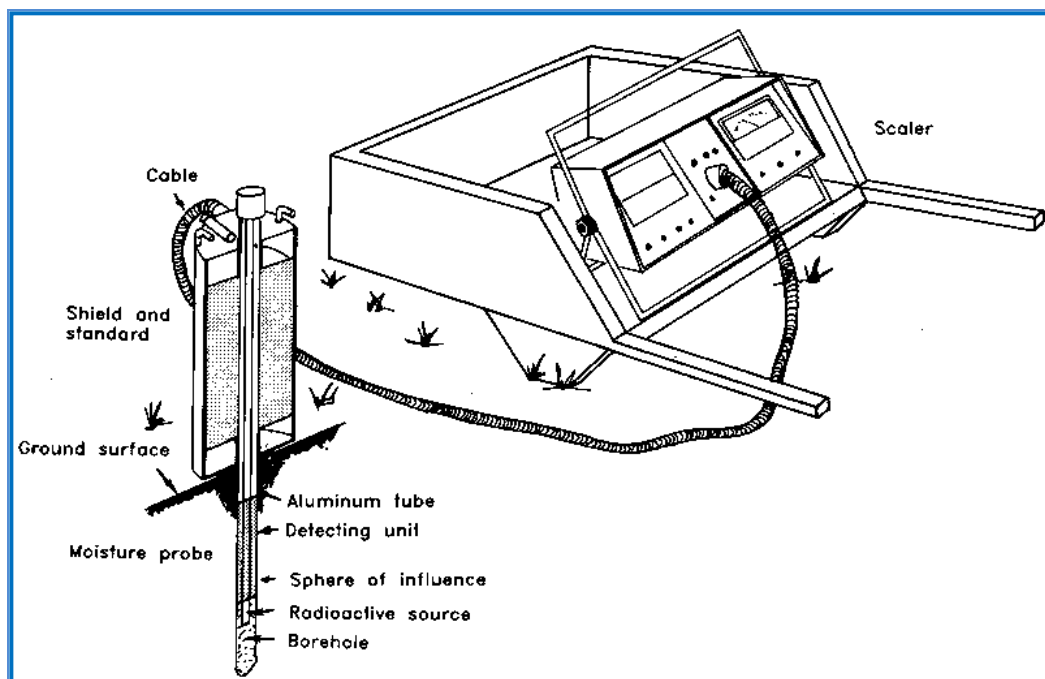
- Výhody: sondy nejsou citlivé na teplotu, elektrickou vodivost, zhutnění půdy jako ostatní nepřímé metody; vysoká přesnost měření; měření půdní vlhkosti i do velkých hloubek.
- Nevýhody: velice nákladný systém; potřebná licence při operaci s přístrojem kvůli radioaktivnímu zářiči; nutná kalibrace.



**Obr. 8** Troxler Electronics Laboratories model 4300 IAEA (2008)



**Obr. 9** Aplikace NWM v Taškentu, IAEA (2008)



**Obr. 10** Schéma zařízení založené na neutronové metodě  
 <<http://www.fao.org/docrep/t0231e/t0231e47.gif>>

### Gamaskopická metoda

Na rozdíl od neutronové metody je schopna měřit vlhkost půdy i v tenkých vrstvách v malé hloubce pod povrchem. Duální sonda gamaskopického zařízení je v současné době používána hlavně v laboratorních podmínkách. Jedním z důvodů je nebezpečnost gama záření.

Metoda je založena na principu gama záření (zpravidla  $\text{Am}^{241}$ ), které prochází hmotou (půdou na scintilační detektor). Měří se tedy vlastně útlum gama záření při průchodu

materiálem (půdou), který je zaznamenán na detektoru, jako množství fotonů emitovaných za jednotku času. Záleží hlavně na objemové hmotnosti a samozřejmě vlhkosti.

Vyzařované gama záření se při průchodu půdním vzorkem o tloušťce  $dL$  mění intenzitu. Tato změna je uváděna jako změna počtu pulsů  $dN$  a platí:

$$dN = -\gamma \cdot \rho_d \cdot N \cdot dL \quad (10), \text{ kde}$$

$\gamma$  - koeficient absorpce (zahrnuje vlastnosti materiálu, energii záření, konstrukce měřícího zařízení),

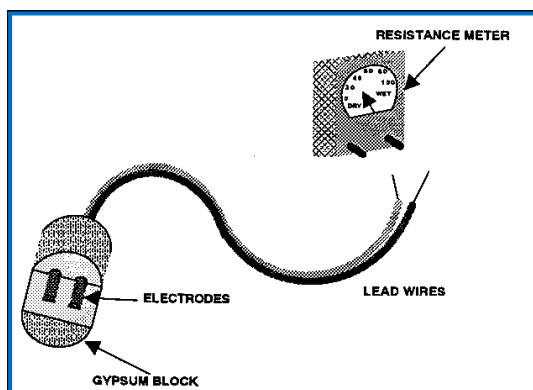
$\rho_d$  - objemová hmotnost měřeného vzorku.

- Výhody: vysoká přesnost.
- Nevýhody: nákladný systém, nebezpečnost systému (gamma záření), nemožnost stálého stacionárního pozorování.

### 3.2.3.2.2. Dielektrické metody

#### Odporová metoda

Jako čidla pro měření jsou používány kovové elektrody zalévané do sádrových, případně nylonových bločků patřičně zpevněných tak, aby byla zachována přesná geometrie elektrod. Sádrové bločky působí pufrovitě na vliv chemického složení půdního roztoku, snižují tak vliv chemického složení půdního roztoku na výsledky měření. Nevýhodou těchto bločků je jejich postupné narušení při dlouhodobém uložení v půdním profilu, jejich kalibrační závislost je proto časově proměnná a musí být po jednom až dvou letech vyměněny. Schéma odporové metody viz obr. 11 a měřící přístroj založený na odporové metodě na obr. 12.



**Obr. 11** Schéma odporové metody  
<<http://www.bae.ncsu.edu/programs/extension/evans/ag452-2.html>>



**Obr. 12** Vlhkoměr založený na odporové metodě  
<<http://www.ipm.iastate.edu/ipm/icm/2000/4-24-2000/evalsoilmoist.html>>

Vlhkou půdy můžeme považovat za polovodivý nehomogenní materiál, jehož vodivost vzrůstá (odpor klesá) se zvyšováním vlhkosti. Elektrická vodivost  $\gamma$  vlhké půdy je tedy závislá na hmotnostní vlhkosti  $w$  za konstantní teploty:

$$\gamma = a * w^b \text{ (S m}^{-1}\text{)} \quad (11), \text{ kde}$$

$a, b$  - konstanty půdního roztoku odkazující na chemické složení,  
 $w$  - hmotnostní vlhkost ( $\text{M M}^{-1}$ ).

Jako měřicí zařízení se používají přístroje pracující s velmi slabými stejnosměrnými proudy. Většinou jsou doplněny zařízením (termistory) pro měření teploty, případně je vliv změny teploty elektronicky kompenzován.

- Výhody: snadná automatizace; nízká cena vybavení; jednoduchost zařízení; nízký vliv chemického složení půdního roztoku na výsledky měření.
- Nevýhody: nutná výměna bločků po 1 až 2 letech; pomalá reakce na změny vlhkosti; citlivost na změny teploty; vliv hystereze: kalibrační čáry mají odlišný průběh pro zvlhčování a vysoušení.

### **FDR (Frequency Domain Reflectometry) - kapacitní senzory**

Měření spočívá na principu využívání kondenzátorů (kondenzátorových desek), které měří dielektrickou permitivitu obklopujícího média (půdy). Hodnota měření závisí na frekvenci oscilací v kondenzátoru, které jsou dány vlastnostmi dielektrika (obsahem vody v pórech). Pokud klesá frekvence oscilací, elektrická permitivita média (a tím i vlhkost) stoupá. Předpokladem pro přesné měření je uspořádání kondenzátorových desek v přímé interakci s půdou a kvalitní kalibrace. Důležité jsou rozsahy frekvencí, ve kterých daný senzor měří, aby se minimalizovaly vlivy salinity. Z tohoto důvodu by měl být rozsah frekvence co největší. Proto značnou nevýhodou oproti TDR je, že FDR senzory pracují řádově v rozsahu menších frekvencí a tím je měření více ovlivněno činností iontů soli. Senzor měřící na principech metody FDR viz obr. 13.

Kapacita kondenzátoru je dána vztahem:

$$C = \varepsilon_0 \cdot \varepsilon_r \cdot \frac{S}{d} \text{ (F)} \quad (12), \text{ kde}$$

$S$  - plocha elektrod ( $\text{m}^2$ ),  
 $d$  - vzdálenost mezi elektrodami (m),  
 $\varepsilon_0$  - permitivita vakua ( $\text{F m}^{-1}$ ),  
 $\varepsilon_r$  - relativní permitivita.

Sestava se skládá z kondenzátoru, koaxiálně uspořádaných elektrod, senzoru válcovitého tvaru, zdroje energie a záznamové jednotky naměřených dat.

- Výhody: stacionární a kontinuální měření, jak v laboratoři, tak v terénu; odolná metoda, sledování vlhkosti i na nepříznivých stanovištních podmínkách; menší náklady než u TDR v rámci metod měření závislých na dielektrické konstantě; bezpečnost oproti radiometrickým metodám.
- Nevýhody: citlivé na vyšší koncentraci iontů solí v půdě; citlivější na zhutnění půdy; složitější převod nepřímých hodnot než u TDR; citlivější na teplotní výkyvy v půdě; nutná kalibrace.



**Obr. 13** Kapacitní senzor, IAEA(2008)

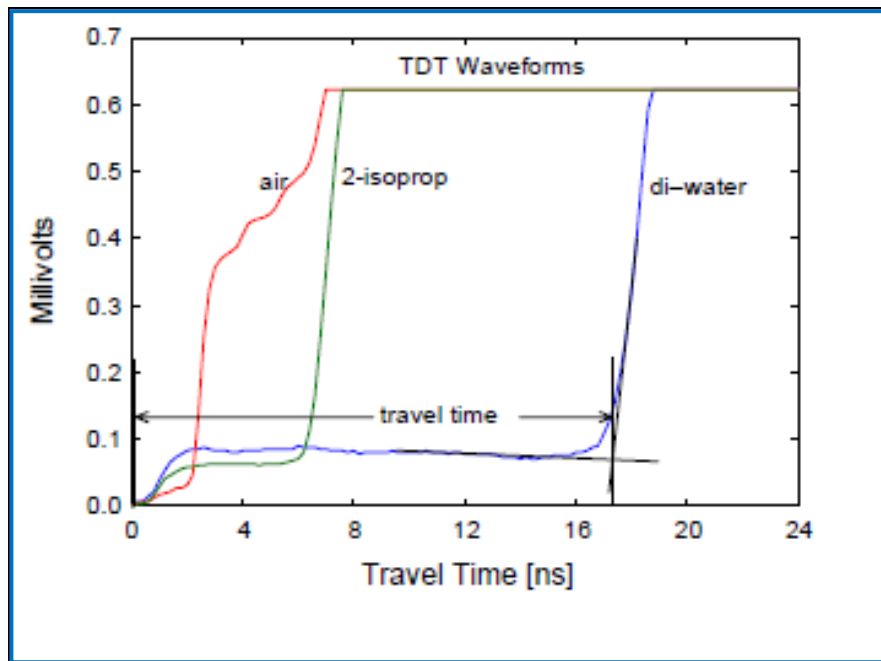
### **TDT (Time Domain Transmissometry), VIRRIBY**

Nepřímá, nedestruktivní metoda vhodná pro měření půdní vlhkosti in situ (na místě). Metoda je založena na měření dielektrické konstanty půdy díky stanovení času šíření elektromagnetické vlny jedné délky podél vodiče. Průběh TDT vlny je v jednotlivých prostředích různý (obr. 14).

Na principu TDT jsou založeny senzory VIRRIB (firma Amet) (obr. 15), se kterými se měřila půdní vlhkost na stanicích ČHMÚ od roku 1998. V roce 2010 došlo v rámci ČHMÚ k modernizaci měření půdní vlhkosti, kdy byly senzory VIRRIB postupně nahrazeny novými senzory TRIFO3G.



Senzory jsou vyráběny v několika variantách – kruhové (průměr 28 cm), podlouhlé (šířka 6 cm, délka 20 cm). Měřicí elektrody jsou z nerezové oceli a jsou fixovány v plastové skřínce, která obsahuje elektronické obvody.



**Obr. 14** Průběh TDT vlny v jednotlivých prostředích - tj. ve vzduchu, neionizované vodě, 2 -isopropoxyethanol (Blonquist a kol., 2005)

**Tab. 5** Základní technické parametry snímače VIRRIB (Amet manuál)

	Technické parametry
Napájení	5,5 – 18 V
Výstup	0 – 5 mA
Rozsah měření	5 – 50 % obj.
Přesnost měření	menší než 0,01 m <sup>3</sup> .m <sup>-3</sup>

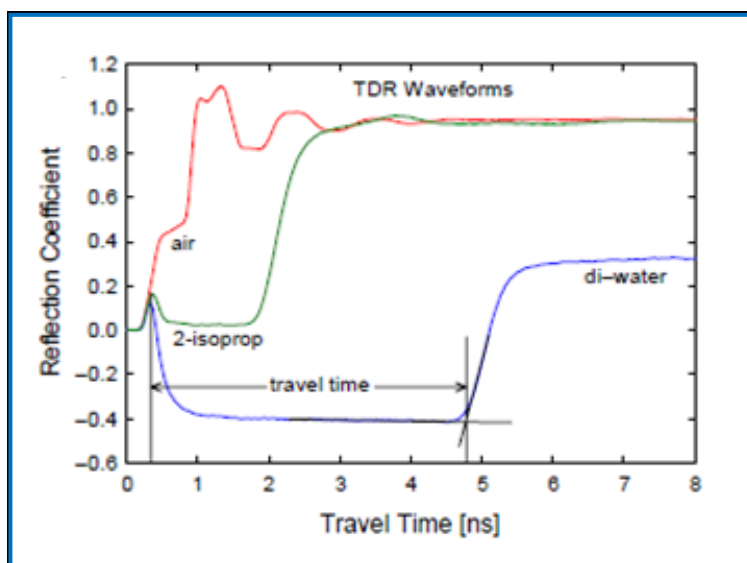


**Obr. 15** Snímač půdní vlhkosti VIRRIB (f. Amet)



## TDR (Time Domain Reflectometry)

TDR je založena na určení dielektrické konstanty půdy, která obklopuje elektrody senzoru za předpokladu, že zdroj napětí vysílá elektromagnetické vlny. Elektromagnetické vlny se šíří koaxiálním kabelem (pokročilejší metoda) do TDR čidla. Záleží na časovém intervalu, kdy postupný elektromagnetický impuls (ve vysokofrekvenčním pásmu v rozsahu 10 kHz – 1 GHz) proběhne až na konec čidla, kde se odrazí a vrací se zpět (Friedman and Shmulik, 2005), přičemž průběh TDR vlny je v různých prostředích odlišný (obr. 16).



**Obr. 16** Průběh TDR vlny v jednotlivých prostředích: ve vzduchu (červená), neionizované vodě (modrá), 2 - isopropoxyethanol (zelená) (Blonquist a kol., 2005)

Hlavní předností metody TDR je schopnost současně měřit elektrickou vodivost ( $EC_a$ ) (Dalton et al., 1984) a vlhkost  $\theta$  (Topp a kol., 1980). Metoda TDR patří k velmi přesným metodám. Vliv změny chemického složení a teploty je prakticky zanedbatelný (Kutílek a kol., 2004).

Fellner a Feldegg (1969) popsali dobu jednoho cyklu elektromagnetické vlny  $t$  jako:

$$t = \frac{2L\varepsilon^{0.5}}{c} \text{ (ns)} \quad (13), \text{ kde}$$

$t$  - čas jednoho cyklu vlny (ns),  
 $L$  - délka senzoru (m),  
 $\varepsilon$  - dielektrická konstanta půdy (bez jednotek),  
 $c$  - rychlost světla ( $\text{m s}^{-1}$ ).

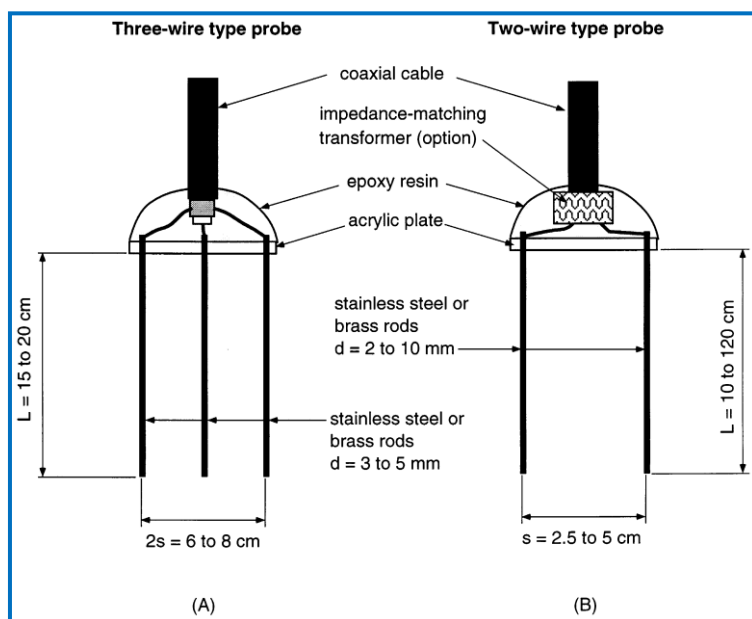
Rychlost šíření signálu v dané půdě je určeno díky dielektrickým vlastnostem půdy  $\epsilon_r$  (Topp et al., 1980):

$$v_p = \frac{2L}{t} = \frac{c}{\sqrt{\epsilon_r}} \quad (\text{m s}^{-1}) \quad (14), \text{ kde}$$

$L$  - délka senzoru (m),  
 $t$  - doba jednoho cyklu vlny (ns),  
 $c$  - rychlost světla ( $\text{m s}^{-1}$ ).

### Konfigurace senzoru TDR

Existují senzory dvou vodičové (Davis, 1980) a také v současné době častěji používané třívodičové (obr. 17). Zegelin et al., (1989) představili vícevodičový typ senzoru vedený dokonalejším koaxiálním kabelem, tento typ senzorů nepotřeboval transformátor. Třívodičový typ poskytuje zobrazení s hladším průběhem a zřetelnější odraz než v případě dvou vodičového typu.

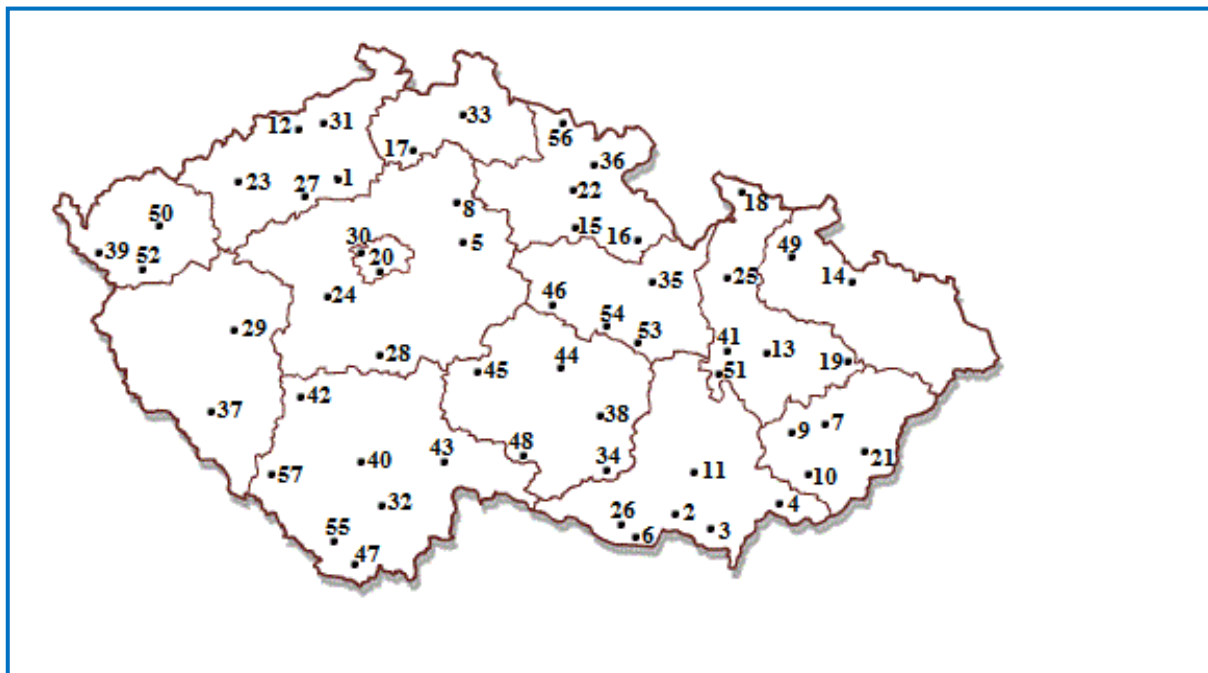


**Obr. 17** Nákres třívodičového a dvouvodičového typu senzoru (Noborio, 2001)

### 3.2.4. Měření vlhkosti půdy na stanicích ČHMÚ

ČHMÚ provozuje od konce roku 1999 síť stanic a automatizovaným měřením půdní vlhkosti. Měření půdní vlhkosti probíhá ve vrstvách: 0-10 cm, 11-50 cm a 51-90 cm pod travnatým povrchem (Možný, 2006). Původní senzory půdní vlhkosti typu VIRRIB (f. Amet) byly nahrazeny senzory novými senzory TRIFO3G (f. AS&C). Modernizace začala v r. 2010, kdy byly nové půdní senzory kalibrovány pro podmínky daného půdního druhu na observatoři

v Doksanech a postupně instalovány i na dalších stanicích ČHMÚ (přehled stanic obr. 18, tab. 6).



**Obr. 18** Mapa stanic ČHMÚ

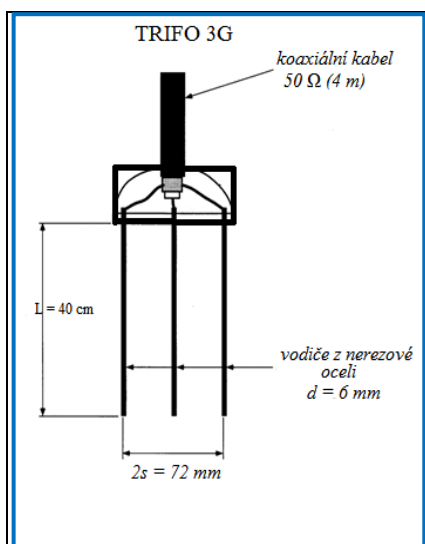
**Tab. 6** Přehled stanic ČHMÚ, kde se měří vlhkost půdy

č. stanice	název stanice	nadm. výška (m)	č. stanice	název stanice	nadm. výška (m)
1	Doksany	158	30	Praha, Ruzyně	365
2	Brod nad Dyjí	175	31	Kočkov	375
3	Lednice	176	32	České Budějovice	388
4	Strážnice	176	33	Liberec	397
5	Poděbrady	196	34	Dukovany	400
6	Dyjákovice	201	35	Ústí nad Orlicí	402
7	Holešov	224	36	Úpice	413
8	Semčice	234	37	Klatovy	430
9	Kroměříž	235	38	Velké Meziříčí	452
10	Uherské Hradiště	235	39	Cheb	483
11	Brno, Tuřany	241	40	Temelín	500
12	Teplice	255	41	Luká	510
13	Olomouc	259	42	Kocelovice	525
14	Opava	272	43	Jindřichův Hradec	525
15	Hradec Králové	278	44	Příbrav	530
16	Rychnov nad Kněžnou	279	45	Košetice	534
17	Doksy	284	46	Seč	542
18	Javorník	289	47	Vyšší Brod	559
19	Běloutín	298	48	Kostelní Myslová	569
20	Praha, Libuš	303	49	Světlá hora	596
21	Vizovice	315	50	Karlovy Vary	620
22	Velichovky	320	51	Protivanov	670
23	Tušimice	322	52	Mariánské Lázně	691

24	Neumětely	322	53	Nedvězí	722
25	Šumperk	328	54	Svratouch	733
26	Kuchařovice	334	55	Černá v Pošumaví	739
27	Smolnice	345	56	Pec pod Sněžkou	816
28	Nedrahovice- Rudolec	348	57	Churáňov	1118
29	Plzeň (Mikulka)	360			

### 3.2.4.1. Půdní senzor TRIFO3G

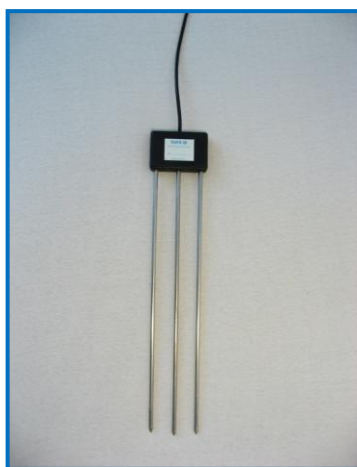
Senzor TRIFO3G (obr. 19 až 22) pracuje na principu měření zkreslení odraženého pulsu elektromagnetického pole, vlivem dielektrických vlastností půdy, ve které je senzor uložený. Zkreslení/ovlivnění pulzů elektromagnetického pole je úměrné dielektrické konstantě půdy. Dielektrické vlastnosti půdy jsou pak úměrné obsahu vody (vlhkosti) obsažené v půdě (Možný et al., 2010).



**Obr. 19** schéma senzoru TRIFO3G (Možný et al. 2011)



**Obr. 20** Měřicí deska + senzory TRIFO3G



**Obr. 21** Senzor TRIFO3G



**Obr. 22** Odnímatelné transmisní tyče

Zařízení TRIFO3G využívá elektromagnetických pulsů s proměnnou frekvencí (2 frekvence), kdy dochází k jejich zprůměrování, čímž se vylepšuje lineárnost měření pro různé půdní druhy: písčítá, hlinitopísčítá, písčitohlinitá, hlinitá, jílovitohlinitá. Výsledná elektrická veličina měřená senzorem je stejnosměrné elektrické napětí.

Závislost vlhkosti půdy na změřeném stejnosměrném elektrickém napětí je lineární a převod je realizován měřicí kartou senzoru na základě nastavené převodní lineární rovnice.

U každého snímače jsou použity tři transmisní tyče o délce 40 cm (obr. 19). Snímače jsou v síti stanic Českého hydrometeorologického ústavu (ČHMÚ) instalovány pod travnatý povrch na lokalitách doporučených v rámci hydroopedologického průzkumu. Jeden snímač je umístěn vodorovně v hloubce 7 cm pod povrchem, druhý svisle s koncem tyčí v hloubce 50 cm a třetí svisle s koncem tyčí v hloubce 90 cm.

Snímače nové generace TRIFO3G jsou výsledkem mezinárodní spolupráce a jsou dodávány s definovanými vlastnostmi (tab. 7) pro potřeby ČHMÚ firmou AS&C.

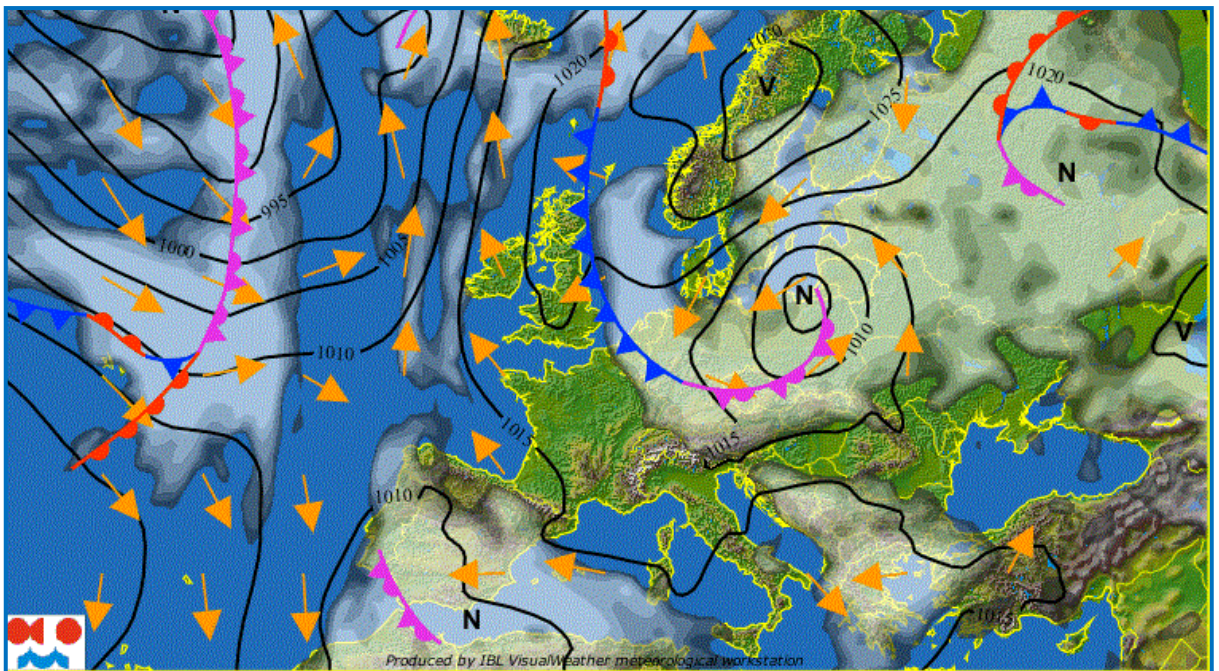
**Tab. 7** Technická specifikace senzoru TRIFO3G (AS&C)

Typ senzoru	TRIFO3G
Veličina měření	objemová vlhkost
Požadované napětí	12 V
Rozsah měření	0 - 70 % (obj.)
Přesnost měření v rozsahu 0 - 40 %	1 %
Přesnost měření v rozsahu 40 - 70 %	2 %
Délka transmisních tyčí	40 cm
Délka koaxiálního kabelu	4 m
Hmotnost senzoru	420 g
Materiál transmisních tyčí	nerezová ocel
Závit	5M, d = 6 mm

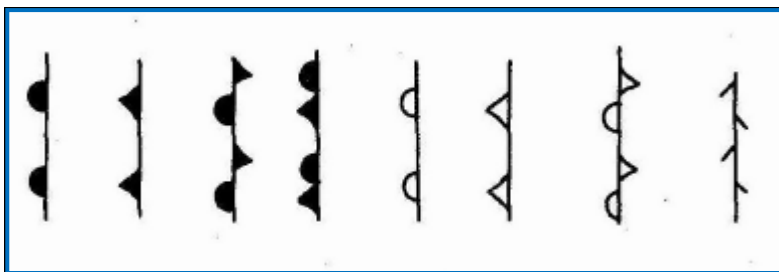


### 3.3. Synoptická situace

Nejjednodušším grafickým vyjádřením synoptické situace je mapa (obr. 23), která popisuje povětrnostní podmínky a jsou na ní vyznačeny tlaková pole pomocí izobar a dalších základních symbolů (obr. 24). Jejich křivky vyjadřují oblasti cyklón – tlakových níží (viz obr. 25), anticyklón – tlakových výší (viz obr. 26) a další tlakové útvary (hřeben vysokého tlaku vzduchu, brázd nízkého tlaku apod.) (Kožnarová and Klabzuba, 2011). Synoptická situace vyjadřuje řídicí síly ovlivňující regionální a místní podmínky, jejichž výsledkem jsou hodnoty základních meteorologických veličin (Linderson, 2001).

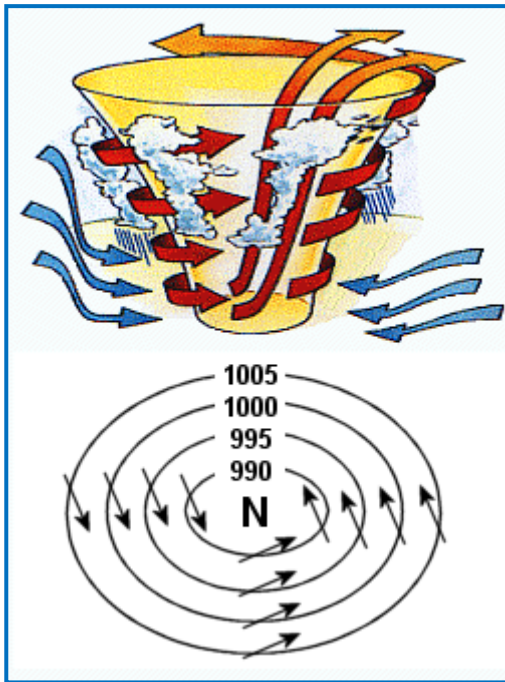


**Obr. 23** Synoptická mapa pro Evropu (N – cyklóny, V – anticyklóny, žluté šipky – směr větru, atmosférické fronty – teplé, studené, okluzní (zdroj: CHMI)

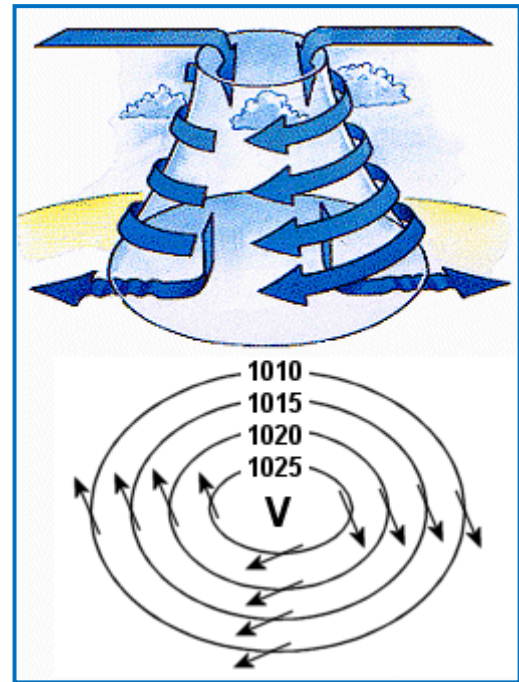


**Obr. 24** Základní symboly na synoptických mapách (Kunic, 1953).

zleva: teplá fronta, studená fronta, stacionární okluzní fronta, okluzní fronta, výšková teplá fronta, výšková studená fronta, výšková okluzní fronta, čára instability



**Obr. 25** Mechanismus cyklóny  
 <<http://www.rade.ic.cz/1rocnik/meteo/obr/mp%20cyklona.gif>>



**Obr. 26** Mechanismus anticyklóny  
 <<http://www.rade.ic.cz/1rocnik/meteo/obr/mp%20anticyklona.gif>>

### 3.3.1. Klasifikace synoptických situací

Klasifikace situací do kategorií jsou užitečným nástrojem pro studium klimatologických dopadů. Yarnal et al. (2001) definují současnou synoptickou klimatologii ustanovením empirických vztahů mezi cirkulací vzduchu a lokálním počasí použitím statistických údajů synoptických map, kterými se snaží vysvětlit jednotlivé enviromentální jevy - např. silná sněžení, období sucha, půdní eroze, znečištění ovzduší. Také James (2006) upozorňuje, že klasifikace hraje důležitou úlohu v oblasti enviromentálních jevů, obzvláště pro porozumění mezi výskytem období s extrémními úhrny srážek či naopak sucha souvisejících s konkrétní synoptickou situací.

Metody klasifikací synoptických situací dělíme na subjektivní (manuální), objektivní (automatizované) a kombinované (semiautomatizované). Každý z těchto způsobů má své výhody a nevýhody. Tradiční subjektivní metody jsou v dnešní době obvykle nahrazovány nebo kombinovány objektivními, nebo semiautomatizovanými technikami, které jsou méně časově náročné a umožňují analýzu velkého objemu dat bez zbytečného úsilí (Kožnarová et al., 2009). Například Jenkinson and Collison (1977) vyvinuli ve Velké Británii subjektivní klasifikaci, kterou později James (2006) modifikoval na objektivní klasifikaci LWT2 - Lamb-weather types version 2.

### **3.3.1.1. Subjektivní klasifikace**

Subjektivní klasifikace byla dlouhou dobu hlavním pilířem synoptické metodologie (Yarnal, 1993; Yarnal et al., 2001). Yarnal (1993) poukázal na rozdíl mezi automatizovanými (objektivní) a manuálními (subjektivní) klasifikačními schémata. Subjektivní klasifikace má výhodu, že lze uplatnit bohaté zkušenosti meteorologů. Na druhou stranu má subjektivní klasifikace řadu nevýhod: nereprodukovatelnost výsledků klasifikací spočívající právě v jejich subjektivnosti, časová náročnost a omezenost platnosti metodologie dané klasifikace z geografického hlediska - každá ze subjektivních klasifikací je ve své podstatě platná pouze pro daný region (Stehlík, 2002). Pro ČR vytvořil klasifikaci Brádka et al. (1961). Další klasifikaci vyvinuli Brázdil a Štekl (1986).

Hesse a Brezowsky (1969) určili 29 povětrnostních typů pro Německo a střední Evropu a vycházeli z předchozí práce Bauer et al. (1944). Lamb (1972) vytvořil klasifikaci pro Britské ostrovy, která má 7 hlavních a 72 hybridních povětrnostních typů. Počasí nad Britskými ostrovy a okolními regiony bylo klasifikováno dle sedmi typů situací: AC – anticyklonální, C - cyklonální, W – západní, NW – severozápadní, N – severní, E – východní, S – jižní (Lamb, 1950). Mezi další subjektivní klasifikace patří např. Péczelyho klasifikace (Péczely, 1957) s 13 typy pro oblast Karpatské pánve.

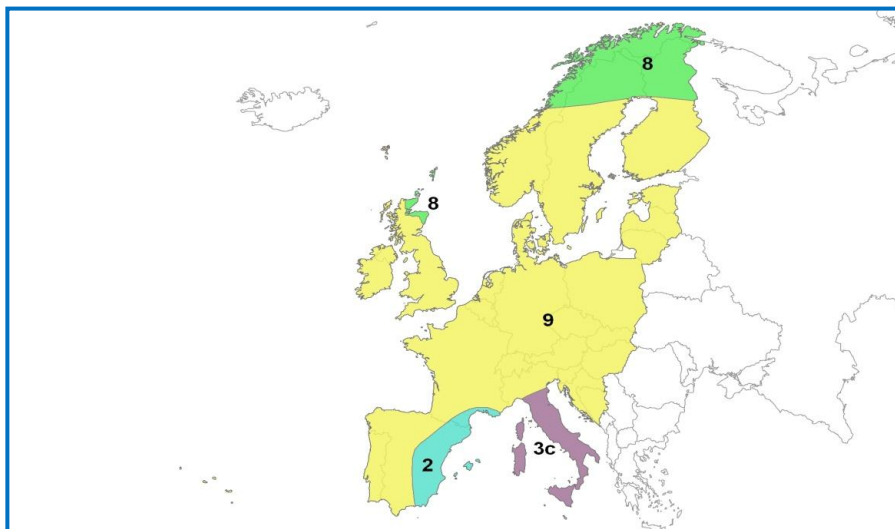
### **3.3.1.2. Automatizované a semiautomatizované klasifikace**

Samotné automatizované objektivní klasifikace jsou založeny většinou na analýze hlavních komponent na principu shlukové analýzy (Wilson et al., 1992), na fuzzy logice, kde jsou definovány takové situace, které přinášejí s velkou pravděpodobností nadprůměrné či podprůměrné srážkové úhrny (Bárdossy et al., 1995) nebo principu na neuronových sítích (Cawley and Dorling, 1996).

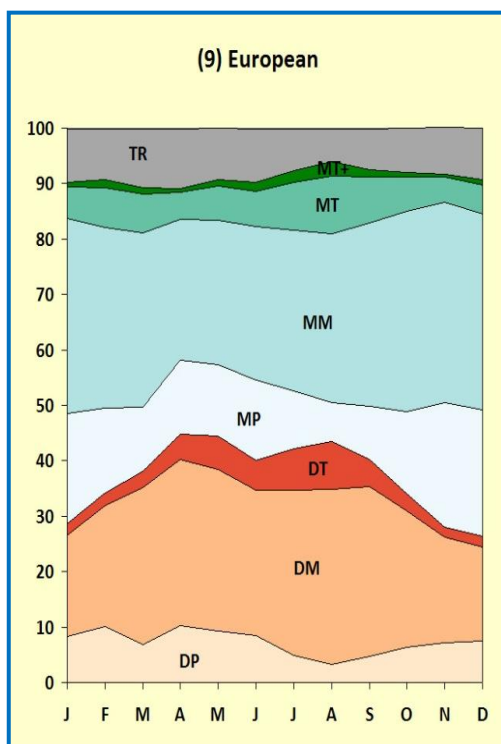
Semiautomatizované klasifikace využívají jak subjektivní (manuální), tak objektivní (automatizovaný) postupy. Jednou z takových klasifikací je SSC (Spatial Synoptic Classification) (Kalkstein et al., 1996). SSC klasifikuje do 7 základních typů situací (suchý polární, suchý mírný, suchý tropický, vlhký polární, vlhký mírný, vlhký tropický, přechodný) stanovených manuálně na základě klimatologických znalostí. SSC data jsou dostupná pro téměř 400 stanic na území USA, Kanady a v některých oblastech Evropy (Sheridan, 2002). Zpočátku byla SSC určena pro východní a centrální USA, až později vznikla SSC2 (Sheridan 2000, 2002), která zahrnovala i Kanadu a západní USA. Poslední významnou změnou bylo rozšíření systému SSC do západní Evropy, který zahrnuje 58 stanic po celé



Evropě. Do této oblasti patří i ČR, která spadá do klimatického pásma 9 (obr. 27). Klimatické pásmo 9 je definované 8 typy vzdušných mas (obr. 28).



**Obr. 27** Dle SSC klasifikace patří ČR do regionálního klimatického pásma číslo 9  
<[http://sheridan.geog.kent.edu/ssc/clusters/clusters\\_europe.jpg](http://sheridan.geog.kent.edu/ssc/clusters/clusters_europe.jpg)>



**Obr. 28** Klimatické pásmo 9 – zastoupení jednotlivých typů vzduchových hmot: polární suchá (DP), mírná suchá (DM), tropická suchá (DT), polární vlhká (MP), mírná vlhká (MM), tropická vlhká (MT), tropická vlhká + (MT+), přechodná (TR).  
<<http://sheridan.geog.kent.edu/ssc/clusters/9.jpg>>

### 3.3.2. Projekty v synoptické klimatologii

Zřetelné účinky enviromentálních změn na povětrnostní situaci jsou motorem pro zvyšující se zájem o rozvoj synoptických klasifikací (Bower et al., 2007). O vývoji v oblasti synoptických situací svědčí řada projektů - například Atmospheric Circulation

Classification and Regional Downscaling (ACCORD, 2005), Statistical and Regional dynamical Downscaling of Extremes for European regions (STARDEX, 2005), the Harmonization and Applications of Weather Types Classifications for European Regions (Huth, 2010). Hlavním cílem je snaha porozumět otázkám v oblasti studia klimatické změny a jejích dopadů na cirkulaci atmosféry (Sheridan, 2002).

### **3.3.3. Klasifikace povětrnostních situací ČR**

Pro území České republiky se pravidelně sestavuje kalendář synoptických typů od roku 1946. Kalendář pro jednotlivé roky je každoročně publikován v časopise Meteorologické zprávy a od roku 2002 i jako součást webových stránek ČHMÚ. Typizace povětrnostních situací se dělá na základě metodického předpisu (Kolektiv HMÚ, 1968), kde je uveden popis jednotlivých typů povětrnostních situací a kalendář pro roky 1946-1965. V létech 1946-1990 byl sestavován jednotný kalendář pro celé území tehdejšího Československa, od roku 1991 je sestavován po vzájemné konzultaci meteorologů z ČHMÚ a SHMÚ zvlášť pro území České republiky a zvlášť pro území Slovenské republiky. Prostorové rozložení některých meteorologických prvků na území ČR z vybraných situací z let 1948-1953 bylo uvedeno v publikaci Brádka et al. (1961) a komplexnější zpracování pro roky 1961-1990 v publikaci Křivancová and Vavruška (1997). CHMI klasifikace je vytvořena pro krátkodobé a střednědobé regionální předpovědi (Stehlík, 2002).

### **3.3.4. Popis jednotlivých synoptických typů**

- **A - anticyklóna nad střední Evropou**

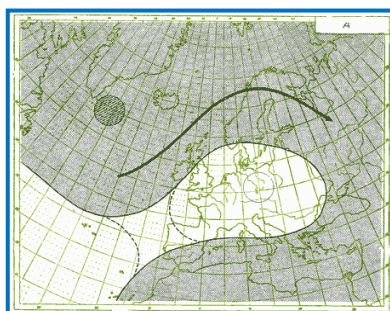
Je situace, kdy tlaková výše nad střední Evropou svými okraji zasahuje nad západní a jihozápadní Evropu. Anticyklóna je většinou vyjádřena samostatným středem ve vyšších hladinách. Frontální zóna přechází z mírných šířek Atlantického oceánu do severní Skandinávie, odkud se stáčí na jihovýchod. Anticyklonální situace nad střední Evropou se nejčastěji vyskytuje na podzim a v zimě. V listopadu však celkový počet případů prudce klesá. Na léto připadá minimum, ovšem zastoupení v jednotlivých měsících tohoto ročního období je dost vyrovnané. Průměrné maximální červencové teploty jsou u nás kolem 27 °C, průměrné minimální kolem 12 °C, průměr lednových maxim kolem -3 °C a průměr minim kolem -8 °C. Při dlouhém trvání této situace nastává sucho, zvyšuje se výpar vody z půdy a rozsáhlé zemědělské oblasti mohou trpět nedostatkem vláhy. Zvláště pak v jarním období může tento stav výrazně negativně ovlivnit úrodu. V létě pak tento charakter počasí vytváří příznivé podmínky pro vznik lesních požárů (Skřehot, 2006).

- **Ap – putující anticyklóna**

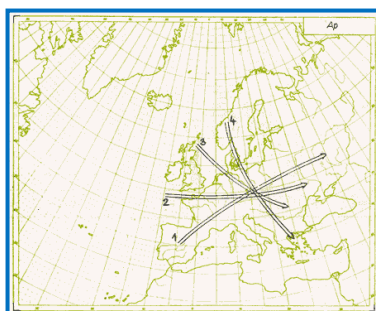
Putující anticyklóna je typem přechodné situace. Je tvořena anticyklónami, vyjádřenými pouze v přízemním tlakovém poli, které se pohybují ve směru řídicího proudění přes střední Evropu. Přes malý počet případů je roční chod četnosti dobře vyjádřen maximem na podzim. Četnost výskytu situace Ap jako celku má výrazný roční chod se dvěma maximy v přechodných ročních dobách a s minimy v únoru a v červnu.

- **B – brázda nízkého tlaku nad střední Evropou**

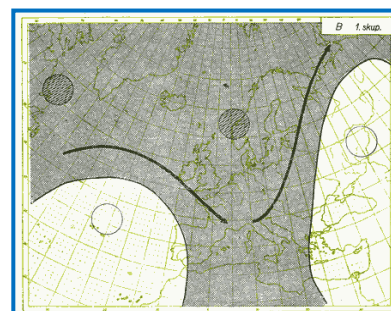
Řídící cyklóna se nachází v oblasti západní Skandinávie, Norského a Severního moře. Z cyklóny vychází brázda, která zasahuje až nad Středozemní moře. Atlantická frontální zóna směřuje nad Biskajský záliv a v západní Evropě se rozpadá. Frontální vlny od jihu zasahují převážně Moravu. Nejčastěji se vyskytují v dubnu, květnu, v říjnu až prosinci, nejméně v srpnu. Ve střední Evropě dochází k teplotnímu kontrastu, který může být příčinou nebezpečných jevů, jako záplav v létě nebo sněhových kalamit v zimě. Průměrná červencová teplota je při této situaci u nás kolem 22 °C, průměrná minimální kolem 11 °C. V lednu je průměr maxim slabě pod nulou, průměr minim kolem -6 °C.



**Obr. 29**  
Synoptická situace A  
<<http://www.shmu.sk/sk/?page=99>>



**Obr. 30**  
Synoptická situace Ap  
<http://www.shmu.sk/sk/?page=98>



**Obr. 31**  
Synoptická situace B  
<<http://www.shmu.sk/sk/?page=97>>

- **Bp - brázda postupující přes střední Evropu**

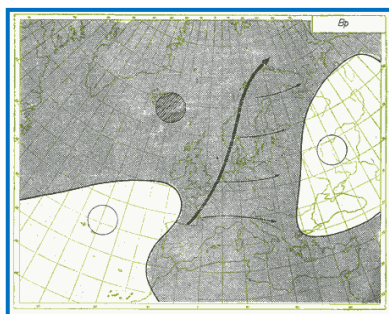
Situaci Bp charakterizuje cyklóna, která se rozkládá v oblasti Islandu. Vysoký tlak leží západně od Pyrenejského poloostrova a Biskajského zálivu a druhý nad evropskou částí Ruska. Mezi těmito anticyklónami postupuje brázda nízkého tlaku od západu k východu, přes střední Evropu. Na frontálním rozhraní, které leží v ose této brázdy, postupují od jihu k severu slabé frontální vlny. Vysoký tlak, který se rozprostírá nad oceánem, se rozšiřuje ke konci situace do střední Evropy. Přejít brázdy bývá rychlý. Největší zastoupení má v letním období, nejméně v zimě.

- **C - cyklóna nad střední Evropou**

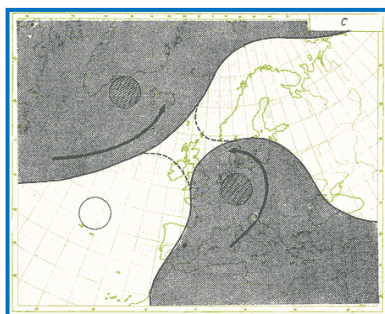
Stacionární cyklóna vyjádřená ve výšce, která leží nejčastěji v západní části střední Evropy. Cyklóna se ke konci období pomalu přemísťuje k východu. Atlantická frontální zóna přechází přes Island a směřuje na severovýchod. Okolo řídící cyklóny nad střední Evropou postupují přízemní frontální poruchy, které mají nejlepší podmínky k oživení ve východní části níže, protože je tu dostatečný příliv teplého vzduchu od jihu. V některých případech, když leží střed výškové cyklóny nad naším územím, obíhají je frontální vlny, aniž by ovlivňovaly počasí u nás, může se vytvořit ve studeném vzduchu malá přízemní anticyklóna. Průměr červencových maxim je 25 °C, průměr minim 14 °C. Naopak lednové průměry jsou poněkud nižší, maxima kolem -4 °C, minima kolem -12 °C. Teplotní rozptyl od těchto průměrných hodnot je ale poměrně značný. Uvedená situace se vyskytuje po celý rok. Největší zastoupení má v letních měsících (květen až srpen).

- **Cv – cyklóna výšková**

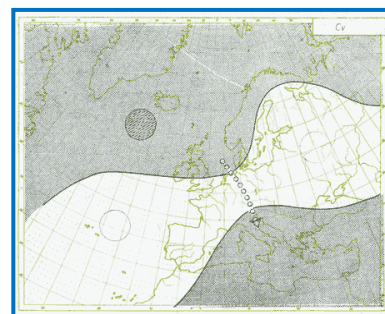
Typické je vytvoření malé výškové cyklóny nad Severním mořem. Na začátku situace je výškové tlakové pole tvořeno hřebenem vysokého tlaku, který přes střední Evropu spojuje azorskou anticyklónu s anticyklónou nad východní Evropou. Přízemní tlakové pole je tvořeno hřebenem vysokého tlaku vzduchu nad střední Evropou, který přemostuje azorskou a východoevropskou anticyklónu. Situace má malou četnost. Vyskytuje se jednou nebo dvakrát za rok, takže nelze učinit závěry v ročním chodu jejího výskytu.



**Obr. 32**  
Synoptická situace Bp  
<<http://www.shmu.sk/sk/?page=95>>



**Obr. 33**  
Synoptická situace C  
<<http://www.shmu.sk/sk/?page=96>>



**Obr. 34**  
Synoptická situace Cv  
<<http://www.shmu.sk/sk/?page=94>>

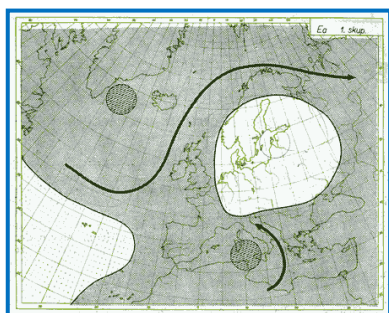
- **Ea - východní anticyklonální situace**

Situace první skupiny Ea, které mají přibližně třikrát větší četnost než situace skupiny druhé, je nad evropskou pevninou anticyklóna. Ve vyšších hladinách se vyskytuje anticyklóna nad severní Evropou. Tlaková výše zasahuje ze severu a severovýchodu do střední Evropy

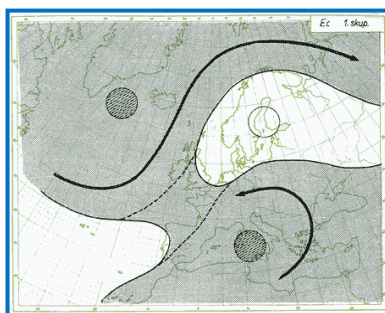
a tím udává ráz počasí. V studené roční době je ve střední Evropě studený pevninský vzduch s velmi nízkými teplotami, v létě převládá malá oblačnost a studená advekce od východu až severovýchodu je do značné míry kompenzovaná prohříváním. Druhá skupina situací Ea má polohu frontální zóny v rovnoběžkovém směru ze severního Atlantiku přes severní Evropu na východ. Pás vysokého tlaku se táhne ze středního Atlantiku přes Britské ostrovy na Bílou Rus, kde bývá nejčastěji samostatné jádro. V létě se projevuje vysokými teplotami, průměrná červencová maxima se pohybují kolem 28 °C a minima kolem 14 °C. Zimní počasí je naopak velmi studené. Průměr lednových maximálních teplot je v nížinách kolem -4 °C, průměr nočních minimálních teplot kolem -12 °C. Nad celou Evropou je při Ea málo oblačnosti.

- **Ec - východní cyklonální situace**

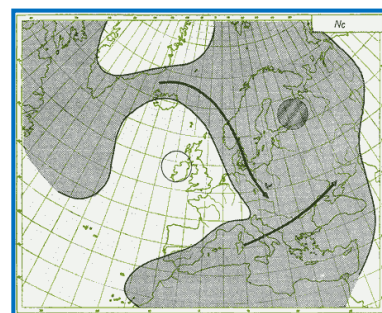
Stacionární tlaková níže určuje cirkulaci ve střední Evropě, jejíž střed leží většinou nad Tyrhénským mořem, a oblast vysokého tlaku, ležící nad Baltským štítem. Kolem tlakové níže proudí do střední Evropy ve výšce od východu až jihovýchodu teplý vzduch, naproti tomu tlaková výše na severu vyvolává v nižších hladinách příliv studeného vzduchu od severovýchodu do střední Evropy. V systému proudění vznikají nad střední Evropou výstupné výkluzné pohyby. Výrazný teplotní kontrast může přinášet vydatné srážky. V návětrných oblastech Šumavy v oblasti toků mohou vzniknout i povodně. Mezi západními Čechami a východní Moravou můžeme zaznamenat i rozdíl teplot 15 °C. Situace Ec má největší četnost na jaře v měsíci březnu a nejmenší na konci léta a na začátku podzimu.



**Obr. 35**  
Synoptická situace Ea  
<<http://www.shmu.sk/sk/?page=93>>



**Obr. 36**  
Synoptická situace Ec  
<<http://www.shmu.sk/sk/?page=90>>



**Obr. 37**  
Synoptická situace Nc  
<<http://www.shmu.sk/sk/?page=91>>

- **Nc - severní cyklonální situace**

Výškové tlakové pole situace je vždy tvořeno řídicí cyklónou nad Finskem a severozápadní částí Ruska a cyklónou v severozápadní části Atlantického oceánu. V jejím vchodu se vlivem studeného vzduchu, přiváděného od severu, posilují fronty a postupují do střední Evropy, kde okludují a zanikají ve výběžku vysokého tlaku nad Alpami. Fronty



přinášejí značné srážky do našich severních pohraničních hor. Průměr maximálních lednových teplot je  $-2\text{ }^{\circ}\text{C}$ , minim pak  $-6\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Průměr maximálních červencových teplot je necelých  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ , minim pak pouhých  $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Ne situace se vyskytuje po celý rok s výrazným minimem na konci léta a výrazným maximem na konci zimy.

- **NEa - severovýchodní anticyklonální situace**

Islandská tlaková níže ustupuje dále ke Grónsku. Nad severním Skotskem a nad Norským a Severním mořem se usazuje mohutná tlaková výše. Na konci jara a na počátku léta se situace vyskytuje poměrně často. Pro střední Evropu situace znamená málo srážek i oblačnosti. Teploty mohou mít v letních měsících letní charakter, za to v zimní polovině roku se k nám v okrajovém proudění tlakové výše dostává přes Švédsko a Finsko arktický vzduch.

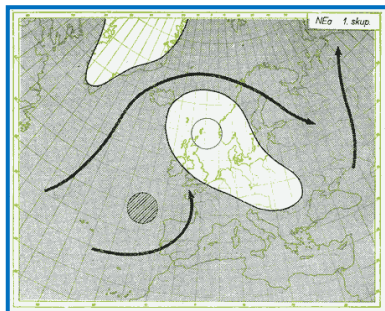
- **NWa - severozápadní anticyklonální situace**

Řídící tlaková výše setrvává nad západní Evropou a zasahuje přes Francii a Alpy na jihovýchod. Frontální zóna je položena severněji a přechází z Islandu přes jižní Skandinávii a Baltické moře k jihovýchodu nad Ukrajinu. V druhé skupině je tlaková níže pohyblivá. V průběhu období se přesouvá z oblasti jihovýchodního Grónska přes severní Skandinávii na jihovýchod. Řídící tlaková výše a frontální zóna se celkem nemění, postupují přes jižní Skandinávii a Baltské moře k jihovýchodu. Na severovýchodě našeho území převažuje chladné polojasné počasí s možností výskytu přeháněk. Teploty panující při této situaci jsou spíše průměrné – červencové maximální teploty  $22\text{ }^{\circ}\text{C}$ , noční pak  $13\text{ }^{\circ}\text{C}$ ; lednová denní maxima  $3\text{ }^{\circ}\text{C}$ , minima okolo  $-1\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

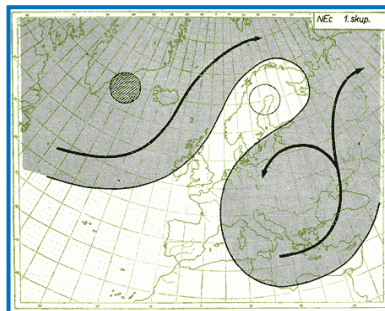
- **NEc - severovýchodní cyklonální situace**

Pro první skupinu NEc situací je charakteristické vysunutí hřebene vysokého tlaku ve výšce i při zemi od jihu západu přes Britské ostrovy a Francii do oblastí Baltského štítu, kde se tvoří jádro vysokého tlaku. Při zemi proudí do střední Evropy od severu až severovýchodu studený vzduch. Kolem cyklóny ve vyšších hladinách většinou nad Balkánem, probíhá ve výšce příliv teplého vzduchu, který se projevuje ve střední Evropě trvalými srážkami. Do druhé skupiny s menší četností, patří situace, při kterých je při zemi i ve výšce anticyklóna v oblasti Britských ostrovů a Norského moře. Některé fronty postupují obloukem kolem výškové cyklóny nad Balkánem přes Bílou Rus a Polsko na naše území. Příliv teplého vzduchu ve výšce od severovýchodu nebývá tak silný a častý jako při situacích první skupiny.

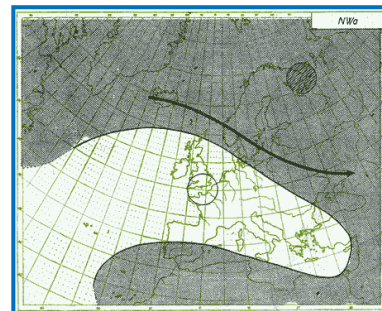
Příliv pevninského studeného vzduchu při zemi je však výrazný. Přináší k nám výrazně podprůměrné teploty – průměr maxim na vrcholu léta je mírně nad 20 °C. V zimě přináší velice nízké teploty. Průměr minimálních teplot druhé poloviny ledna je kolem -9 °C, průměr maximálních teplot kolem -4 °C. Situace NEc se tvoří nejčastěji uprostřed léta, nejmenší výskyt má na podzim a na začátku zimy.



**Obr. 38**  
Synoptická situace NEa  
<<http://www.shmu.sk/sk/?page=90>>



**Obr. 39**  
Synoptická situace NEc  
<<http://www.shmu.sk/sk/?page=89>>



**Obr. 40**  
Synoptická situace NWa  
<<http://www.shmu.sk/sk/?page=88>>

- **NWc - severozápadní cyklonální situace**

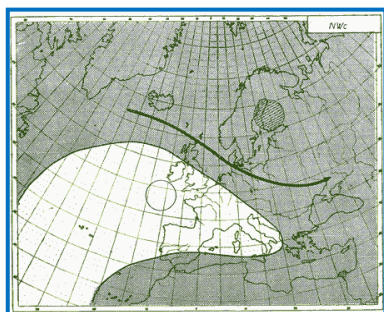
Řídící cyklóna setrvává nad střední a severní Skandinávií, Baltickým mořem a jižním Finskem. Řídící anticyklóna se udržuje nad Atlantickým oceánem v prostoru mezi Irskem, Biskajským zálivem a Azorskými ostrovy. Tyto frontální vlny zasahují střední Evropu zpravidla v neuzavřeném (neokludovaném) stádiu. Tato situace přináší do střední Evropy chladné, vlhké a často větrné počasí (v zimě mohou nárazy větru překročit i 30 m/s). NWc se nejčastěji vyskytuje v zimě, nejméně na jaře. V letních a podzimních měsících je jejich zastoupení dost vyrovnané.

- **Sa - jižní anticyklonální situace**

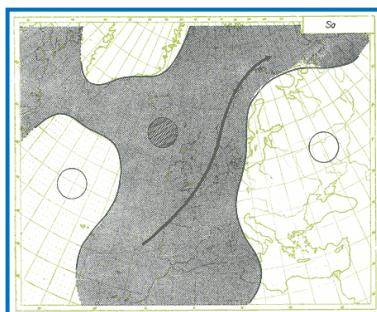
Výškové tlakové pole situace je tvořeno hřebenem vysokého tlaku, sahajícím ze severní Afriky přes střední a východní Evropu k severu, a brázdou nízkého tlaku, probíhající z Norského moře přes Britské ostrovy na Biskajský záliv. Na naše území proudí od jihu až jihovýchodu teplý vzduch. Ve studené roční době proudí teplý vzduch hlavně ve výšce, zatímco u země se někdy udržuje tenká vrstva studeného vzduchu. Frontální vlny zasahují pouze západní část střední Evropy a na naše území většinou nepronikají. Jižní anticyklonální situace se vyskytuje převážně v přechodných ročních dobách. V zimě a v létě četnost výskytu výrazně klesá.

- **SEa - jihovýchodní anticyklonální situace**

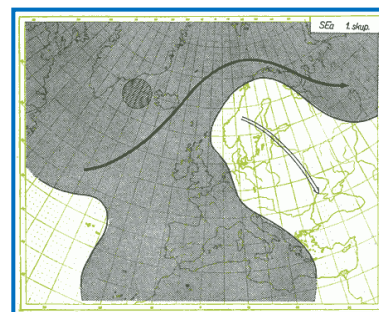
Ráz počasí ve střední Evropě určuje tlaková výše, která se přesunuje ze Skandinávie nad Ukrajinu, a která blokuje postup frontálních systémů od oceánu nad evropský kontinent. Kolem řídící anticyklóny nad pevninou proudí studený vzduch od severu přes Ukrajinu na Balkán a odtud k severozápadu na naše území. Situace se vyskytuje takřka výlučně v přechodné roční době a v zimě. Vzduch nad střední Evropou zůstává suchý, v zimě je velmi studený, v létě zase vlivem slunečního záření, které zahřívá východní Evropu, velmi teplý. Lednové mrazy jsou v nížinách v průměru kolem  $-9\text{ }^{\circ}\text{C}$ , při sněhové pokrývce ještě nižší. Denní teploty zůstávají pod nulou, většinou kolem  $-3\text{ }^{\circ}\text{C}$ . V červenci se průměr denních maxim pohybuje kolem  $29\text{ }^{\circ}\text{C}$  a minim kolem  $15\text{ }^{\circ}\text{C}$ .



**Obr. 41**  
Synoptická situace NWc  
<<http://www.shmu.sk/sk/?page=87>>



**Obr. 42**  
Synoptická situace Sa  
<<http://www.shmu.sk/sk/?page=86>>



**Obr. 43**  
Synoptická situace SEa  
<<http://www.shmu.sk/sk/?page=85>>

- **SEc - jihovýchodní cyklonální situace**

Výškové tlakové pole je tvořeno hřebenem vysokého tlaku s anticyklónou nad Ukrajinou a brázdou nízkého tlaku, vybíhající z Islandské cyklóny do západního Středomoří. Frontální vlny, které jako okluze v oblasti Sicílie ve vchodu frontální zóny vlivem teplého vzduchu přiváděného od jihovýchodu znovu regenerují a postupují jako otevřené vlny přes naše území k severozápadu a rychle zanikají v deltě nad severozápadním Německem a nad Dánskem. Situace se vyskytuje převážně jen v zimním období s maximem při nástupu zimy.

- **SWa - jihozápadní anticyklonální situace**

Pro situaci SWa je typická brázda nízkého tlaku ve vyšších hladinách nad východním Atlantikem, v níž se tvoří někdy i samostatný střed nízkého tlaku u Islandu. Na východ od brázdy je vysunut ve výšce hřeben vysokého tlaku přes Španělsko do střední Evropy. Mezi



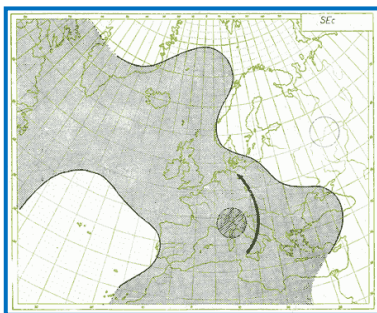
těmito výškovými útvary probíhá frontální zóna ze středních částí Atlantiku přes Britské ostrovy na Skandinávii. Frontální poruchy spojené s frontální zónou zasahují střední Evropu jen někdy svými jižními konci. Frontální zóna se posouvá během situace pozvolna k jihu a jihovýchodu, a tak často zasáhne území střední Evropy jen studená fronta ukončující sérii vln. Situace SWa se nejčastěji vyskytuje koncem podzimu a v první polovině zimy, kdy všeobecně převládá zonální ráz cirkulace a při zemi prochlazená pevnina podporuje tvoření anticyklón.

- **SWc – Jihozápadní cyklonální situace**

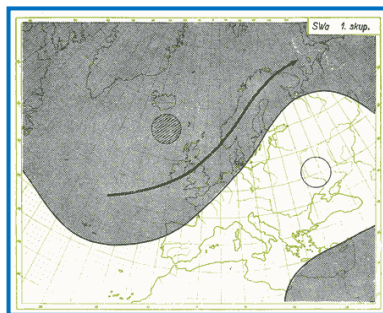
Vyznačuje se značnou proměnlivostí a dělí se na 3 podtypy – SWc1, SWc2, SWc3.

- **SWc1 - jihozápadní cyklonální situace**

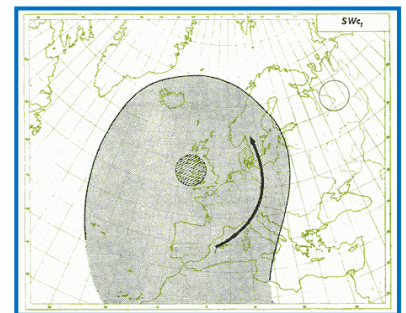
Situace SWc1 je meridionální. Hlavním rysem je stacionární výšková cyklóna v oblasti Britských ostrovů. Tato tlaková níže způsobuje ve střední Evropě ve vyšších hladinách jihozápadní proudění poměrně teplého a vlhkého vzduchu ze západního Středomoří. Studená fronta nebo okluze, která postupuje na východní straně této níže přes Francii do střední Evropy, se zde v jihozápadním proudění zpomaluje a často se stává kvazistacionární. Délka trvání situace je spjatá s dráhou řídicí cyklóny v oblasti Britských ostrovů. Situace SWc1 se nejčastěji vyskytuje v letním období od května do září.



**Obr. 44**  
Synoptická situace SEc  
<<http://www.shmu.sk/sk/?page=84>>



**Obr. 45**  
Synoptická situace SWa  
<<http://www.shmu.sk/sk/?page=83>>



**Obr. 46**  
Synoptická situace SWc1  
<<http://www.shmu.sk/sk/?page=82>>

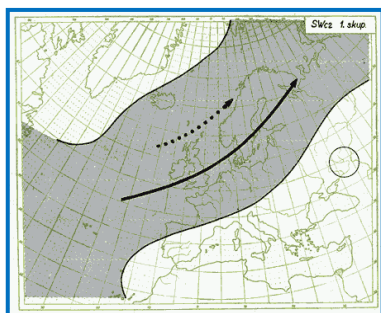
- **SWc2 - jihozápadní cyklonální situace**

Frontální zóna je u SWc2 orientovaná od jihozápadu k severovýchodu v prostoru Britské ostrovy a Baltské moře. Teplá anticyklóna leží nad Středomořím. Pásmo vyššího tlaku střídavě tvoří samostatné nevýrazné anticyklonální středy. Výšková cyklóna leží jižně od Islandu a tvoří podmínky pro příliv studeného vzduchu z oblasti Grónska k jihovýchodu, do středních částí Atlantského oceánu. Fronty spojené s nížemi zasahují

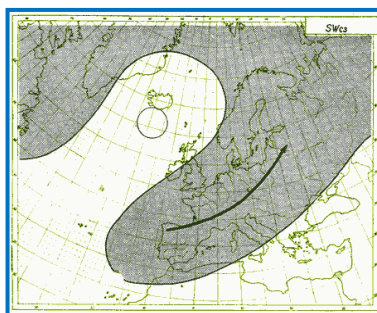
střední Evropu, a tak se naše území dostává střídavě do teplého a studeného vzduchu. Na našem území převládá zpočátku teplé jihozápadní proudění, ke konci situace studené západní až severozápadní proudění. Jak ukazuje statistika, je situace SWc2 poměrně častá a vyskytuje se po celý rok s přibližně stejnou četností. Nejmenší výskyt má v září.

- **SWc3 - jihozápadní cyklonální situace**

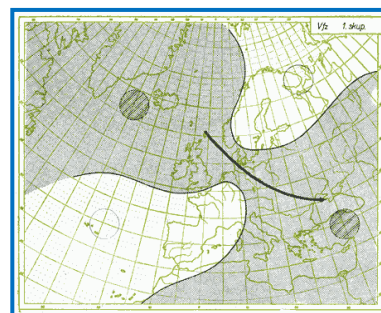
Frontální zóna u SWc3 probíhá přes střední Evropu od jihozápadu k severovýchodu. Ve výšce leží střed teplé anticyklóny nad severní Afrikou a výběžek vysokého tlaku zasahuje odtud na Balkán. Frontální zóna, která vzniká mezi řídicími útvary, teplou anticyklónou nad Středozemním mořem a studenou cyklónou nad Severním mořem, má vchod nad Biskajským zálivem a Španělskem. Studený vzduch, pronikající od Islandu přes Britské ostrovy k jihu, se zde setkává s velmi teplým a poměrně vlhkým jihozápadním proudem a vzniká tak při zemi i ve výšce ostré rozhraní mezi těmito dvěma teplotně i vlhkostně odlišnými vzduchovými hmotami. Potom vlny postupují z Biskajského zálivu přes jižní Francii, Bavorsko a Čechy do Polska a dále k severovýchodu. Situace má největší četnost v létě, nejmenší v zimě. Velká četnost v létě souvisí zřejmě s celkovým vysunutím subtropické oblasti vysokého tlaku v tuto roční dobu k severu nad Středozemní moře.



**Obr. 47**  
Synoptická situace SWc2  
<<http://www.shmu.sk/sk/?page=81>>



**Obr. 48**  
Synoptická situace SWc3  
<<http://www.shmu.sk/sk/?page=80>>



**Obr. 49**  
Synoptická situace Vfz  
<<http://www.shmu.sk/sk/?page=79>>

- **Vfz - vchod frontální zóny**

Situace je tvořena tlakovým sedlem nad střední Evropou, vždy mezi čtyřmi šachovitě rozloženými stacionárními tlakovými útvary. V závislosti na jejich poloze je možno rozdělit situaci na dvě skupiny. Výškové i přízemní tlakové pole první skupiny je tvořeno azorskou anticyklónou, zasahující svým výběžkem do jihozápadní Evropy nad Francii a západní Alpy, anticyklónou nad severní Evropou, jejíž střed při zemi leží nejčastěji nad Bílým mořem, stacionární cyklónou v jihovýchodní Evropě. Sedlo nižšího tlaku bývá v prostoru Čech,

Polska, Německa a Dánska. Jednotlivé frontální poruchy postupující od západu přes Britské ostrovy se nad Severním mořem působením studeného vzduchu, přivedeným od severovýchodu, ožívují a pronikají sedlem přes střední Evropu k jihovýchodu. Výškové i přízemní tlakové pole druhé skupiny je tvořeno anticyklónou nad jihozápadní Evropou, při zemi se středem v oblasti Pyrenejí, anticyklónou nad Norským mořem, stacionární cyklónou s přízemním středem na západ od Irska a nevýraznou cyklónou nad východní Evropou. Sedlo nižšího tlaku bývá nad Čechami, Polskem a Německem. Frontální poruchy, které pronikají od západu a jihozápadu přes Anglii do sedla, regenerují obdobně jako v případě první skupiny a postupují sedlem k východu přes Čechy na západní Ukrajinu. Obě skupiny mají stejnou četnost a nejčastěji se vyskytují v zimě a na jaře, nejméně na podzim.

- **Wa - západní anticyklonální situace**

Řídící cyklóna setrvává v prostoru mezi Grónskem, Islandem a severozápadním pobřežím Norska. Oblast vyššího tlaku se rozprostírá od Azorských ostrovů přes Biskajský záliv nad Francii a odtud do střední Evropy s výběžkem často na Balkán, Černé moře a jižní Ukrajinu. Nad střední Evropu proniká od západu oceánský vzduch od Atlantiku. Jejich vliv je zanedbatelný. Mohou přinést nevýrazné srážky do našich severních pohraničních hor. V letních měsících panuje suché a teplé počasí s průměrnými denními teplotami kolem 25 °C. V zimě se vyskytují slabé mrazy od 0 do -5 °C.

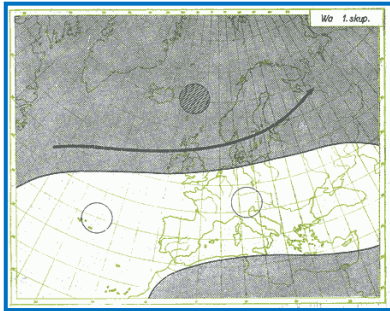
- **Wal - západní anticyklonální situace letního typu**

Jednotlivé tlakové výše postupují ze subtropických šířek Atlantického oceánu přes Biskajský záliv a Francii nad střední Evropu a odtud dále na východ. Řídící tlaková níže se udržuje v prostoru mezi Islandem a Skotskem. V brázdách mezi zmiňovanými anticyklónami vzniká ve střední Evropě přechodné jihozápadní proudění i ve vyšších hladinách, ve kterých se studené fronty vlní. Druhá skupina situace je tvořena pohyblivou tlakovou níží, která se přesouvá z Atlantického oceánu jižně od Islandu k pobřeží severního Norska. Případu stacionární cyklóny je přibližně 60 %, s pohyblivou tlakovou níží 40 %. Západní anticyklonální situace letního typu se vyskytuje v měsících květen až září. Nejpočetnější zastoupení mívá v letních měsících, a to především v červenci.

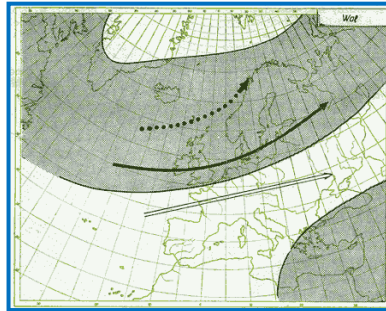
- **Wc - západní cyklonální situace**

Řídícími tlakovými jsou stacionární studená cyklóna v oblasti Islandu a Norského moře a teplá anticyklóna mezi Azorskými ostrovy a Španělskem. Fronty postupující

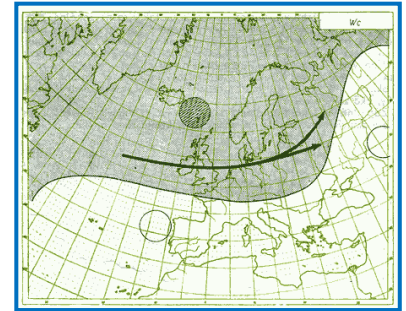
od západu zasahují aktivně i naše území, kam proniká od západu vlhký oceánský vzduch od Atlantiku. Tlaková níže druhé skupiny není stacionární, ale pohyblivá a přesunuje z Islandu přes Norské moře do Skandinávie. Nejčastěji se situace vyskytuje v zimě a v létě (tzv. medardovská cirkulace). Případů se stacionární cyklónou je přibližně 60 %, s pohyblivou tlakovou níží 40 %. V létě jsou typické poměrně nízké denní teploty, v zimě naopak přináší spíše teploty kolem nuly se smíšenými srážkami a oblovou, na horách pak vydatné sněžení a mírné mrazy. Typický je výskyt vydatných srážek.



**Obr. 50**  
Synoptická situace Wa  
<<http://www.shmu.sk/sk/?page=78>>



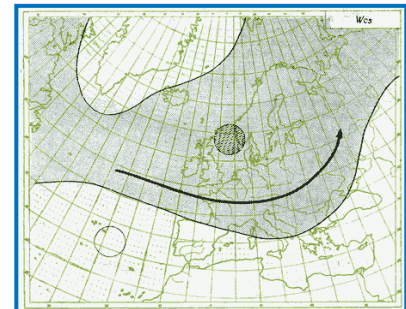
**Obr. 51**  
Synoptická situace Wal  
<<http://www.shmu.sk/sk/?page=77>>



**Obr. 52**  
Synoptická situace Wc  
<<http://www.shmu.sk/sk/?page=76>>

- **Wcs - západní cyklonální situace s jižní dráhou**

Na rozdíl od Wc je řídicí cyklóna posunuta jižněji. Udržuje se nad Skotskem, Severním mořem a jižní Skandinávií. Řídicí anticyklóna je posunutá na jihozápad a setrvává v oblasti Azorských ostrovů. Proudění vzduchu ve vnitrozemí není už tak výrazně zonální jako při situaci Wc. Vlivem silného teplotního kontrastu ve vchodu frontální zóny vznikají nad východní částí Atlantického oceánu frontální vlny, které zasahují ještě aktivně i oblast střední Evropy, na rozdíl od situace Wc, při které přechází přes střední Evropu většinou jen okluzní fronty. Typické jsou vydatné srážky ve vnitrozemí. Wcs má největší zastoupení v zimních měsících, nejméně se vyskytuje na jaře.



**Obr. 53**  
Synoptická situace Wcs  
<<http://www.shmu.sk/sk/?page=75>>



## 4. Materiál a metody

### 4.1. Observatoř v Doksanech

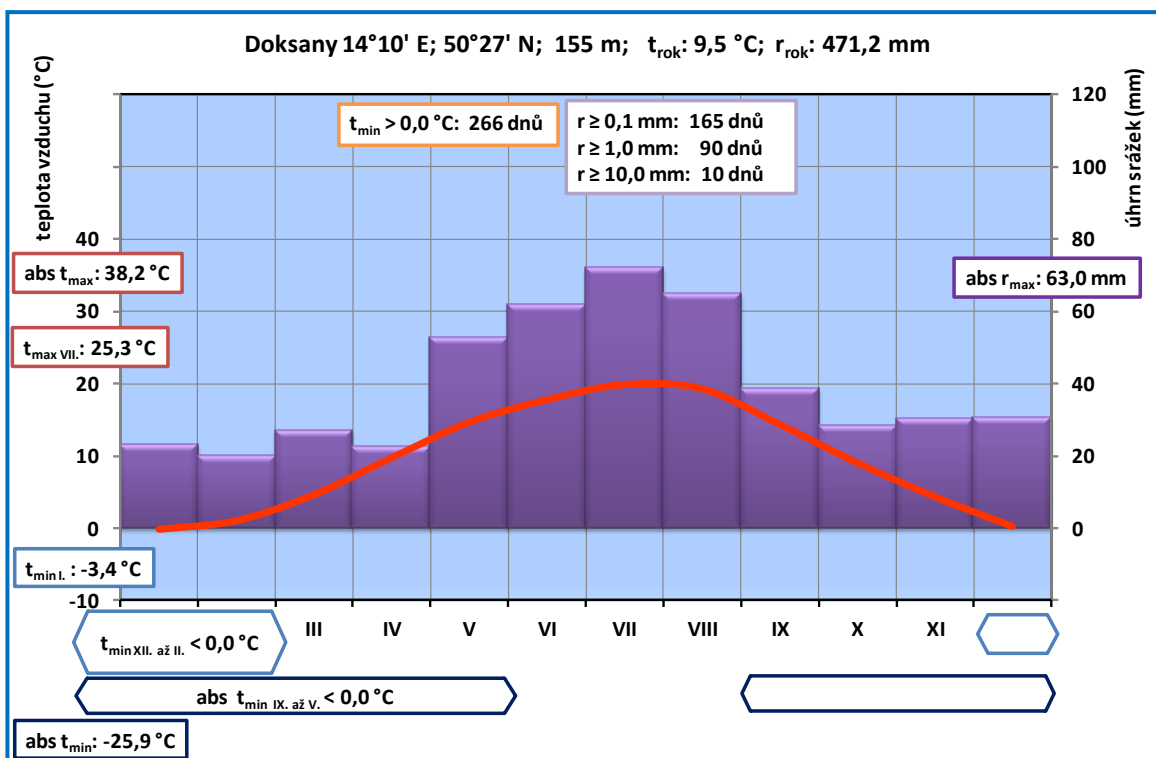
Observatoř v Doksanech se nachází v Ústeckém kraji v okresu Litoměřice a leží v nadmořské výšce 158 m. Observatoř je gestorem agrometeorologických měření v rámci ČHMÚ a zaštiťuje kalibraci a vývoj automatizovaných měřících systémů: teplota půdy, vlhkost půdy, promrzání půdy, výpar z vodní hladiny, evapotranspirace. V rámci modernizace došlo v dubnu roku 2000 k automatizaci zdejších měření.



**Obr. 54** Observatoř v Doksanech

#### 4.1.1. Klimatické charakteristiky

Pro hodnocení klimatických charakteristik byla použita data z časového období 1991 – 2010. Výsledkem je Walter - Liethův klimagram (Walter and Lieth, 1960), který zpracovává data 2 základních klimatologických charakteristik - průměrnou měsíční teplotu vzduchu a měsíční úhrn srážek, které jsou umístěné na svislých osách v poměru 1:2. Na vodorovné ose je časová informace. Výhodou použití Walter – Liethova klimagramu je skutečnost, že kompletní graf (obr. 55) obsahuje celou řadu dalších důležitých informací o teplotě vzduchu – nejvyšší denní maximum a nejnižší denní minimum v roce, průměr denních maxim v nejteplejším měsíci a analogicky průměr denních minim v nejchladnějším měsíci. Graf znázorňuje i počet dnů s kladnou hodnotou průměrné denní teploty vzduchu a denního minima. Pod časovou osou jsou dále jednoduchým způsobem zakresleny měsíce s výskytem teploty pod bodem mrazu ať již ojediněle pomocí denního minima nebo jako průměr daného měsíce (průměrné denní minimum). Velkou předností zpracování je vyjádření aridního (suchého) a humidního (vlhkého) období. V grafu se jedná o plochu, nacházející se mezi křivkou průměrné měsíční teploty vzduchu a linií měsíčního úhrnu srážek. Z poskytnutých dat týkající se období 1991 – 2010 byl zjištěn dlouhodobý roční průměr teploty vzduchu 9,5 °C a dlouhodobý roční průměr úhrnu srážek 471,2 mm.



**Obr. 55** Walter – Liethův klimagram Doksany s vysvětlivkami (1991 – 2010)

Vysvětlivky:

absolutní teplotní minimum (abs  $t_{max}$ )

průměrné denní maximum nejteplejšího měsíce ( $t_{max VII.}$ )

průměrné denní minimum nejchladnějšího měsíce ( $t_{min I.}$ )

měsíce s prům. měsíč. minimem pod 0 °C ( $t_{min XII. \text{ až II.}}$ )

absolutní teplotní minimum (abs  $t_{min}$ )

měsíce s absolutním min. pod 0 °C (abs  $t_{min IX. \text{ až V.}}$ )

počet dnů s  $t_{min}$  větší než 0 °C ( $t_{min} > 0,0\text{ °C}$ )

nejvyšší denní úhrn srážek (abs  $r_{max}$ )

počet dnů s úhrnem srážek větší než 0,1 mm ( $r \geq 0,1\text{ mm}$ )

počet dnů s úhrnem srážek větší než 1 mm ( $r \geq 1,0\text{ mm}$ )

počet dnů s úhrnem srážek větší než 10 mm ( $r \geq 10,0\text{ mm}$ )

#### 4.1.2. Půdní podmínky

Půdní podmínky na agrometeorologické observatoři Doksany popisují obr. 56 a, 56 b a tabulka 8. Půdní typ: černozem arenická; mateční hornina: vápnlitý písek.

**Tab. 8** Popis půdního profilu na observatoři v Doksanech (Prax, 2006)

Hloubka	profil	barva	druh	Struktura
0 - 15 cm	Ad	černohnědá	písčitohlinitý	Drobtovitá
15 - 40 cm	AC	hnědá	písčitohlinitý	Polyedrická
40 - 65 cm	A/C	světle žlutohnědá	hlinitopísčítý	Elementární
65 - 100 cm	Ck	světle okrová	hlinitopísčítý	Elementární



**Obr. 56 a, b** Půdní profil v Doksanech

#### 4.1.3. Měření teploty půdy v Doksanech

Měření teploty půdy na stanici v Doksanech se provádí, jak rtuťovými teploměry (obr. 57, 58), tak elektronickými odporovými teploměry (senzory Pt 100) (obr. 59, 60).



**Obr. 57** Měření rtuťovými teploměry pod travnatým povrchem



**Obr. 58** Měření rtuťovými teploměry pod půdou bez porostu



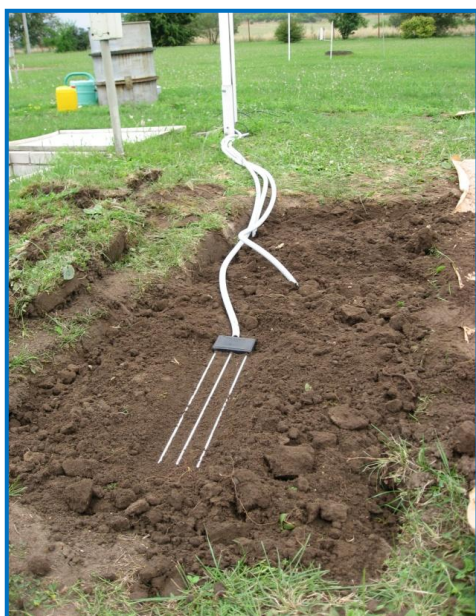
Rtuťové teploměry jsou aplikovány jak pod půdou bez porostu, tak pod krátce posekaným trávnikem v hloubkách: 2, 5, 10, 20, 30, 50, 100 cm. Elektronické teploměry jsou nainstalovány pod stejnými povrchy v hloubkách: 5, 10, 20, 50, 100 cm.



**Obr. 59, 60** Viditelná část elektronického teploměru s ochranným pouzdrém

#### **4.1.4. Měření vlhkosti půdy v Doksanech**

Observatoř Doksany disponuje v rámci sítě ČHMÚ soustavnou řadou měření půdní vlhkosti, kde byly zahájeny již v r. 1970 a měření byla prováděna ve vegetačním období. Od r. 1991 bylo měření zautomatizováno s využitím snímačů VIRRIB a po r. 1998 bylo toto měření s využitím know-how observatoře Doksany postupně zaváděno i na dalších stanicích ČHMÚ. V roce 2010 proběhla další modernizace, kdy byly instalovány na stanici nové půdní senzory TRIFO3G (Možný, 2010) (obr. 61). Senzory TRIFO3G byly přímo v Doksanech kalibrovány na zdejší půdu - na písčitohlinitý druh (hloubka: 0-40 cm) a na hlinitopísčítý druh (hloubka: 41-100 cm).



**Obr. 61** Instalace senzorů půdní vlhkosti TRIFO3G v Doksanech

## 4.2. Použitá data

Jak bylo již uvedeno, na stanici v Doksanech došlo v dubnu 2000 k plné automatizaci měření. Proto se data vztahují k časovému období od 2001 až 2011.

Primární data měřených veličin byla získána z databanky klimatických dat na stanici v Doksanech. Datová sada, která byla podrobena statistické analýze, obsahovala následující charakteristiky:

- průměrnou denní teplotu půdy v hloubce 5, 10, 20 a 50 cm pod travnatým povrchem,
- průměrnou denní vlhkost půdy v hloubce 0–10 cm, 11–50 cm pod travnatým povrchem,
- maximální teplotu vzduchu,
- minimální teplotu vzduchu,
- denní úhrn srážek,
- denní úhrn slunečního svitu,
- rychlost větru,
- evaporace.

Synoptické situace daného dne jsou volně dostupné na internetových stránkách Českého hydrometeorologického ústavu\*. Seznam všech používaných synoptických situací je znázorněn v tab. 9 ve výsledkové části práce.

---

\*<[http://portal.chmi.cz/portal/dt?portal\\_lang=cs&menu=JSPTabContainer/P4\\_Historicka\\_data/P4\\_1\\_Pocasi/P4\\_1\\_12\\_Typizace\\_situaci&last=false](http://portal.chmi.cz/portal/dt?portal_lang=cs&menu=JSPTabContainer/P4_Historicka_data/P4_1_Pocasi/P4_1_12_Typizace_situaci&last=false)>

## 5. Výsledky

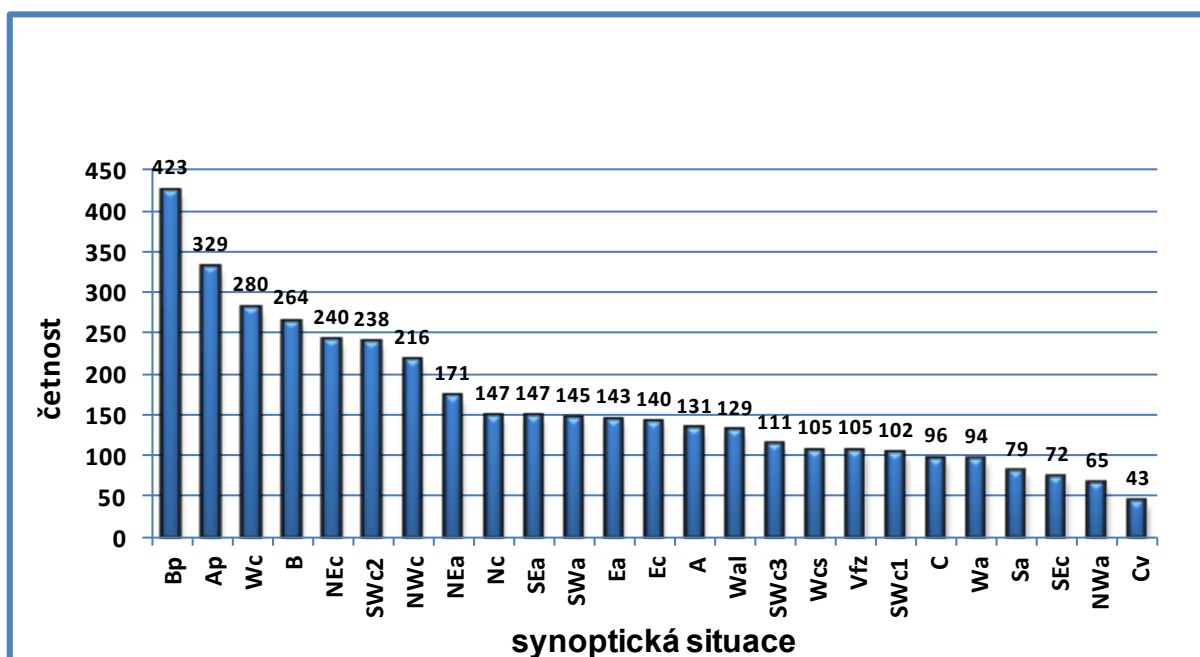
### 5.1. Analýza synoptických situací

Na obr. 62 je znázorněna četnost jednotlivých typů synoptických situací za celé období 2001 – 2011 vztahující se na střední Evropu. V dalších grafech (obr. 63 – 74) je vyhodnocení četnosti synoptických situací v jednotlivých měsících, znovu za celé období 2001 – 2011.

**Tab. 9** Přehled synoptických situací používaných se v rámci ČHMÚ

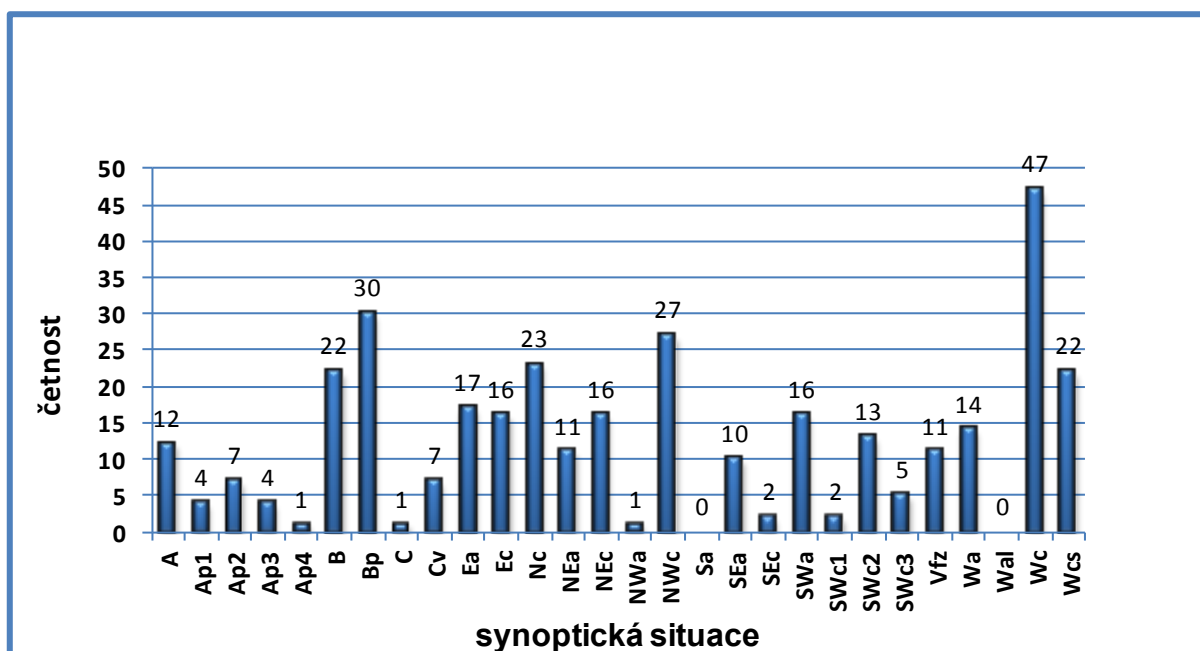
<b>A</b>	anticyklóna nad střední Evropou
<b>Ap1</b>	putující anticyklóna od jihozápadu k severovýchodu
<b>Ap2</b>	putující anticyklóna od západu k východu
<b>Ap3</b>	putující anticyklóna od severozápadu k jihovýchodu
<b>Ap4</b>	putující anticyklóna od severu k jihu
<b>B</b>	brázda nízkého tlaku nad střední Evropou
<b>Bp</b>	brázda putující přes střední Evropu
<b>C</b>	cyklóna nad střední Evropou
<b>Cv</b>	výšková cyklóna
<b>Ea</b>	východní anticyklonální situace
<b>Ec</b>	východní cyklonální situace
<b>Nc</b>	severní cyklonální situace
<b>Nea</b>	severovýchodní anticyklonální situace
<b>Nec</b>	severovýchodní cyklonální situace
<b>Nwa</b>	severozápadní anticyklonální situace
<b>NWc</b>	severozápadní cyklonální situace
<b>Sa</b>	jižní anticyklonální situace
<b>Sea</b>	jihovýchodní anticyklonální situace
<b>Sec</b>	jihovýchodní cyklonální situace
<b>Swa</b>	jihozápadní anticyklonální situace
<b>SWc1</b>	jihozápadní cyklonální situace č. 1
<b>SWc2</b>	jihozápadní cyklonální situace č. 2
<b>SWc3</b>	jihozápadní cyklonální situace č. 3
<b>Vfz</b>	vchod frontální zóny
<b>Wa</b>	západní anticyklonální situace
<b>Wal</b>	západní anticyklonální situace letního typu
<b>Wc</b>	západní cyklonální situace
<b>Wcs</b>	západní cyklonální situace s jižní dráhou

### 5.1.1. Celková četnost synoptických situací (2001 – 2011)

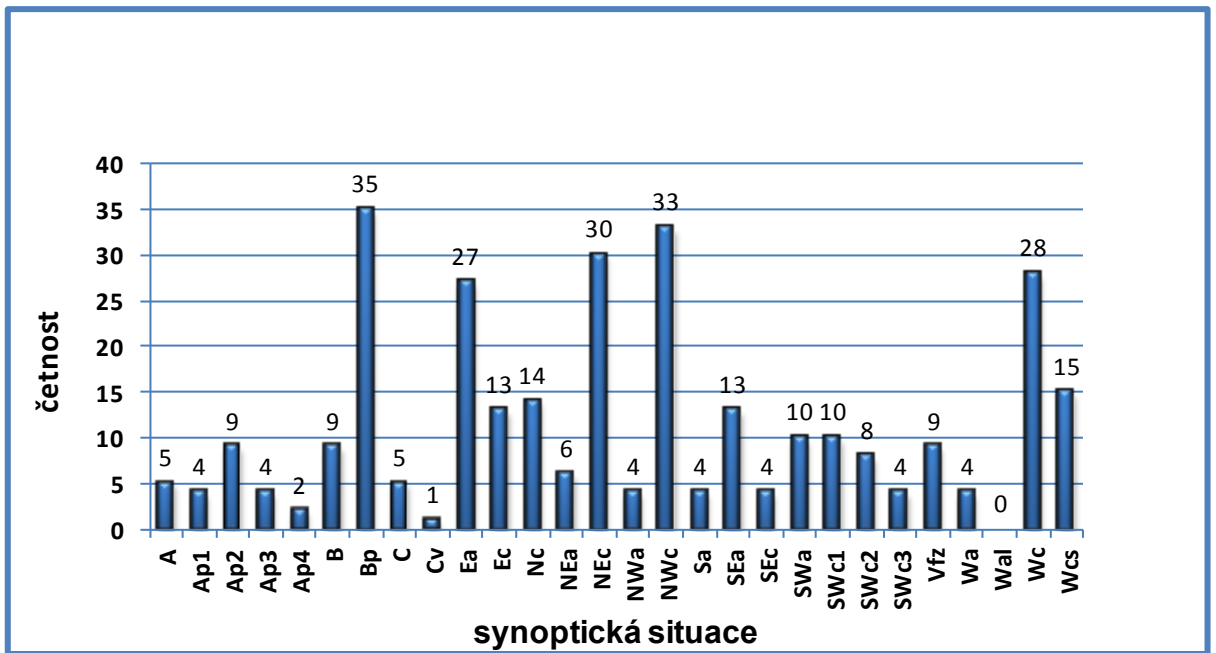


Obr. 62 Celková četnost synoptických situací za celé období 2001 – 2011

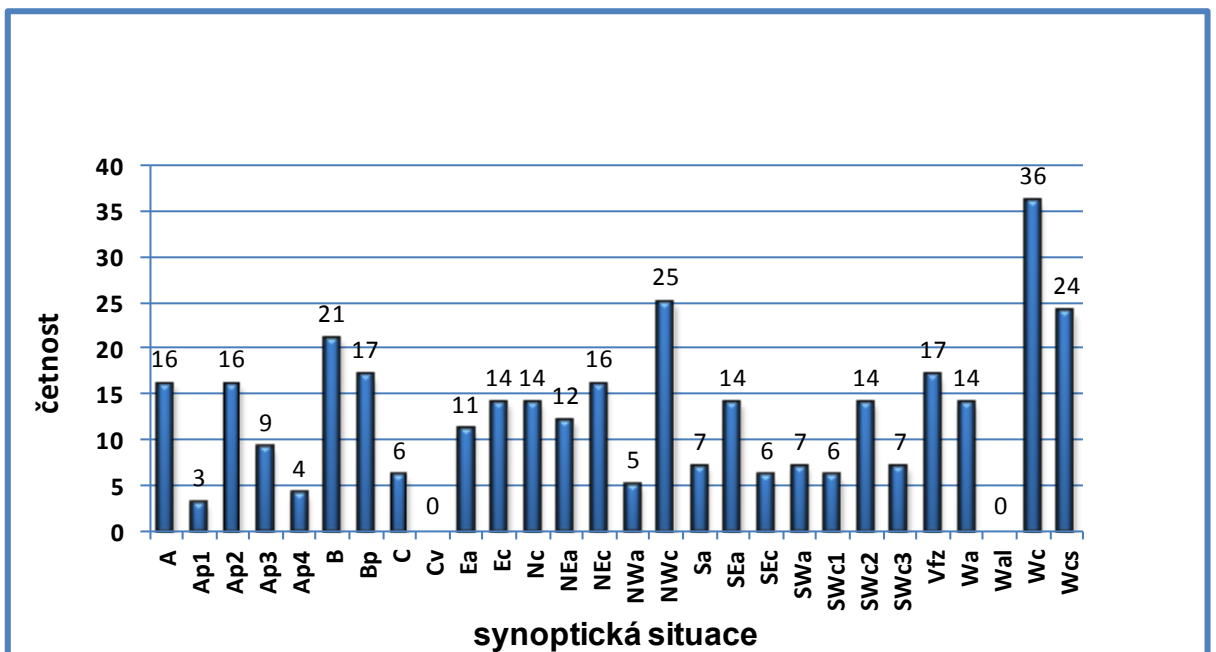
### 5.1.2. Četnost synoptických situací v jednotlivých měsících (2001 – 2011)



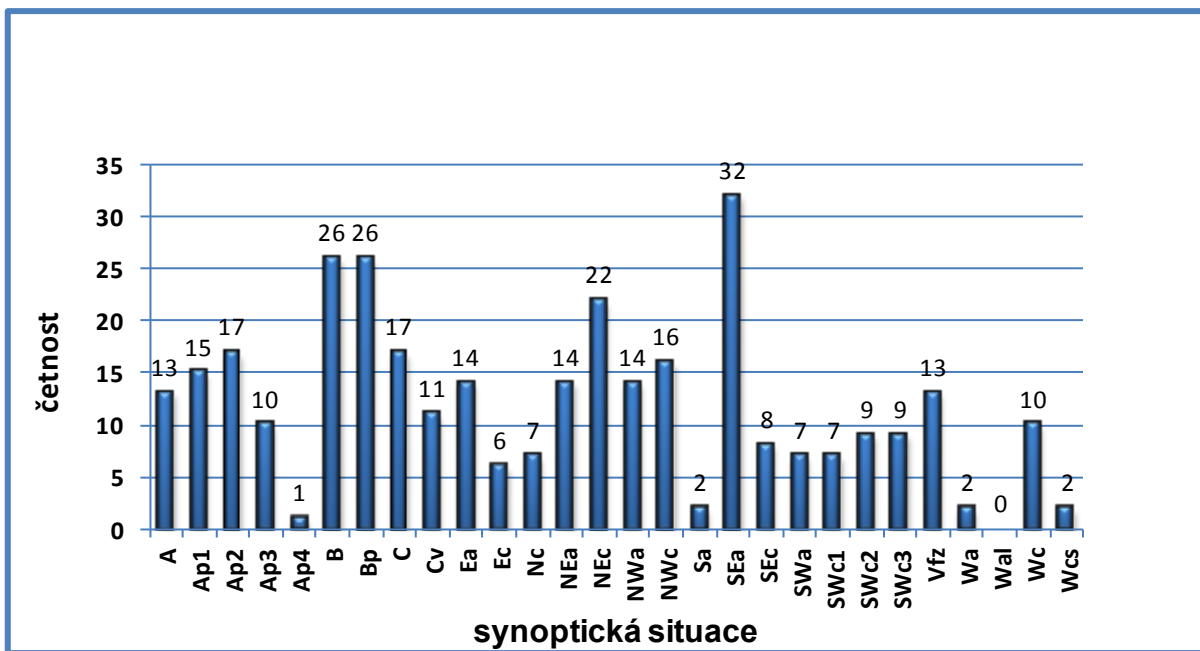
Obr. 63 Četnost synoptických situací v lednu



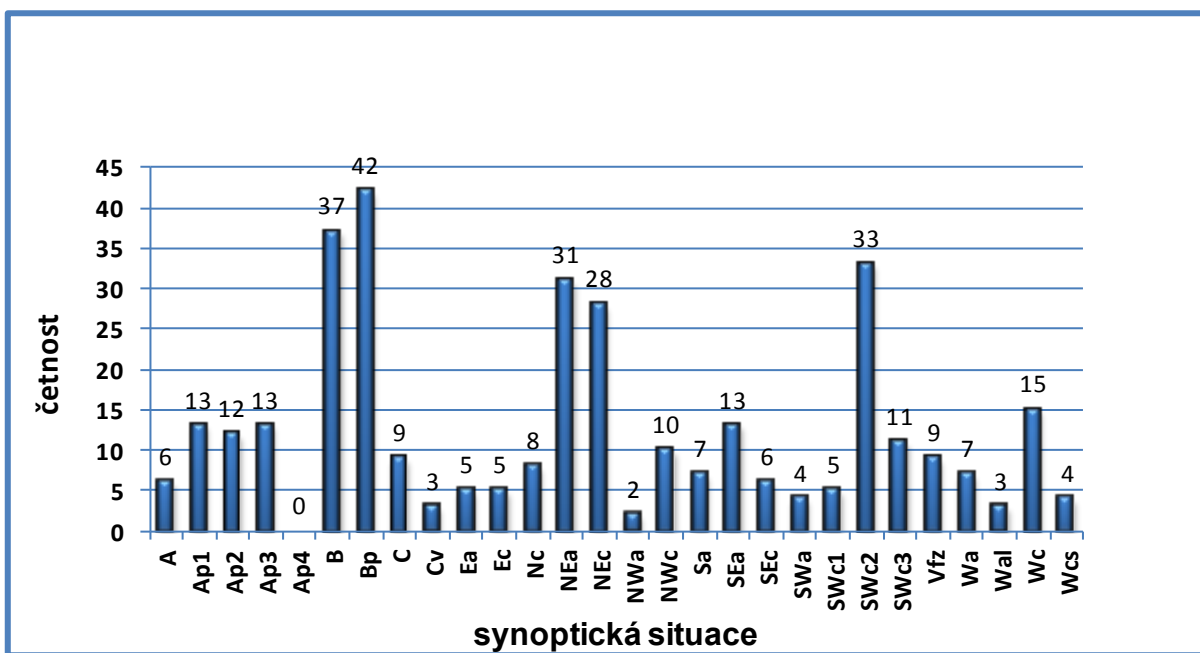
Obr. 64 Četnost synoptických situací v únoru



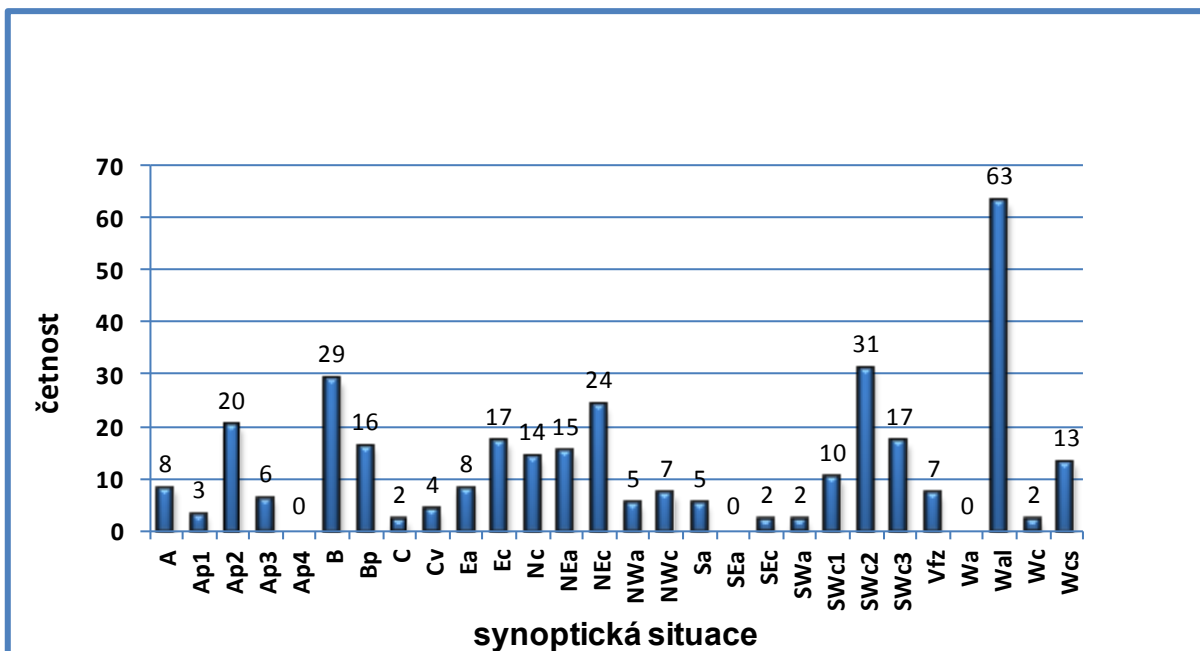
Obr. 65 Četnost synoptických situací v březnu



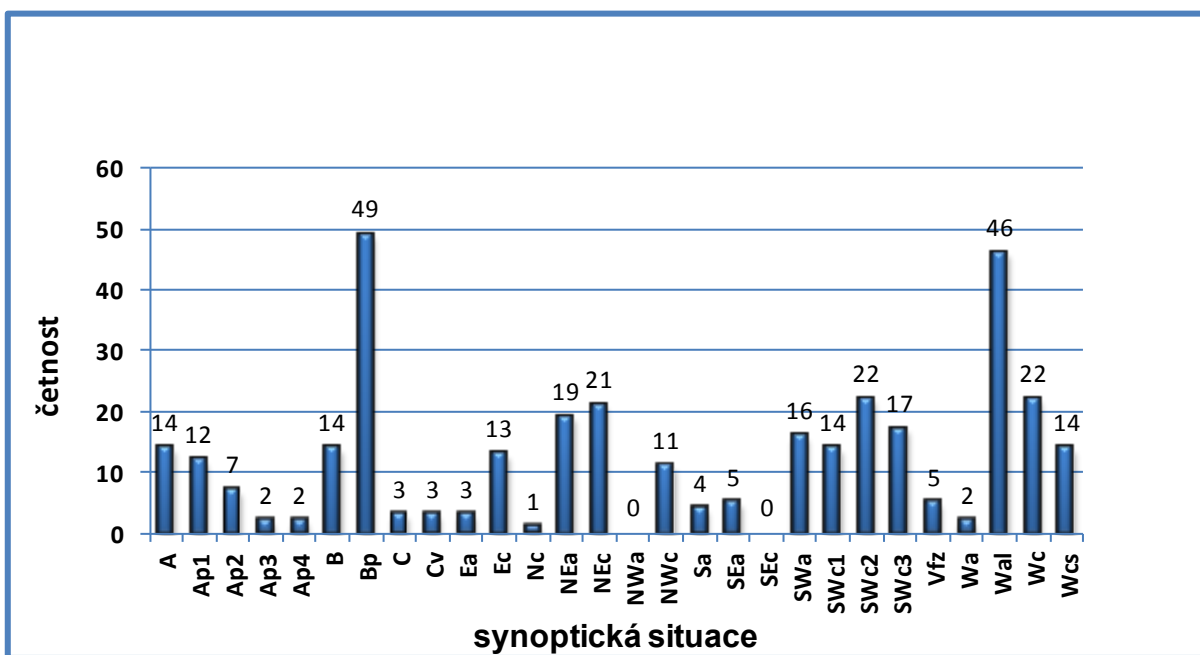
Obr. 66 Četnost synoptických situací v dubnu



Obr. 67 Četnost synoptických situací v květnu

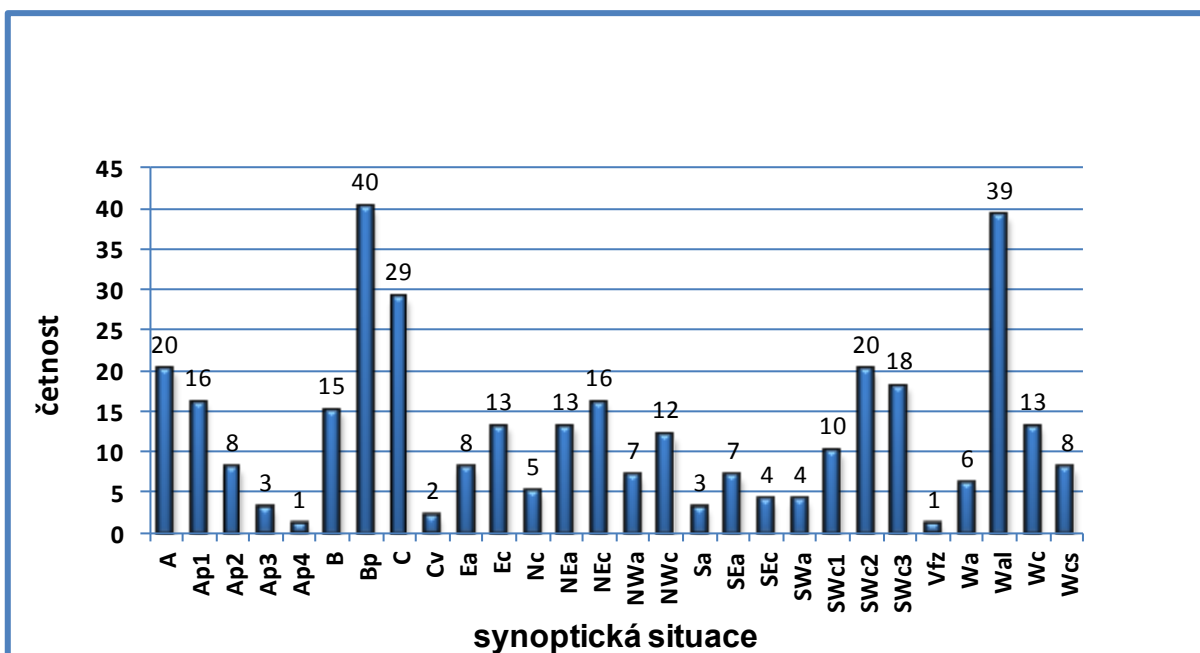


Obr. 68 Četnost synoptických situací v červnu

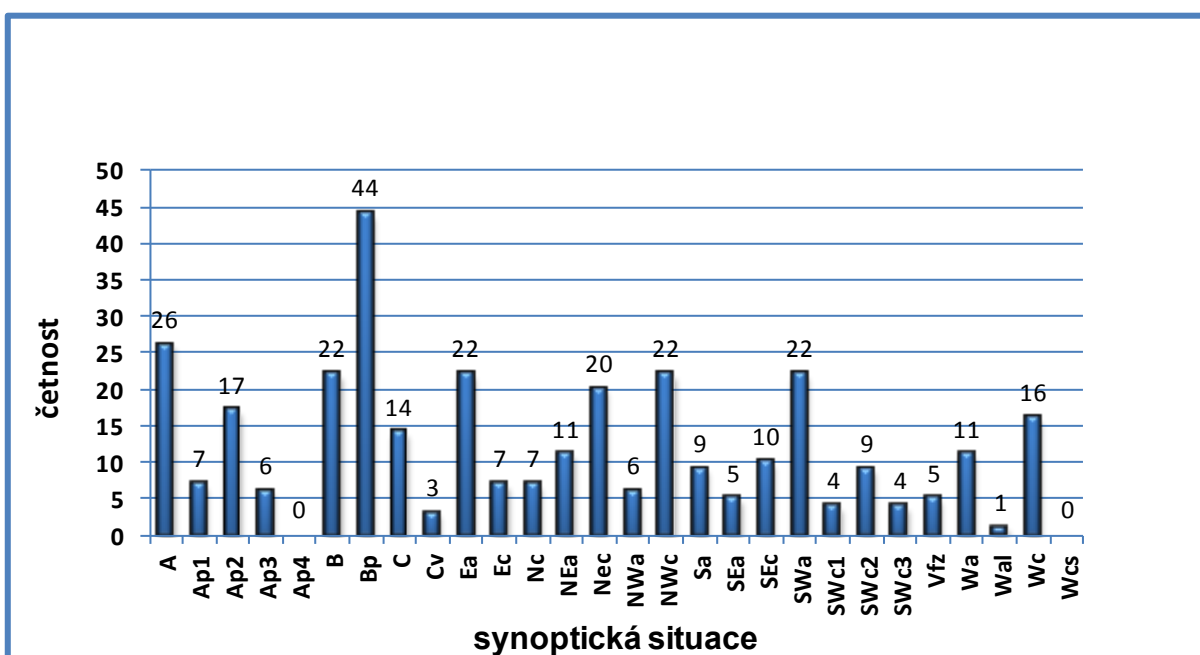


Obr. 69 Četnost synoptických situací v červenci

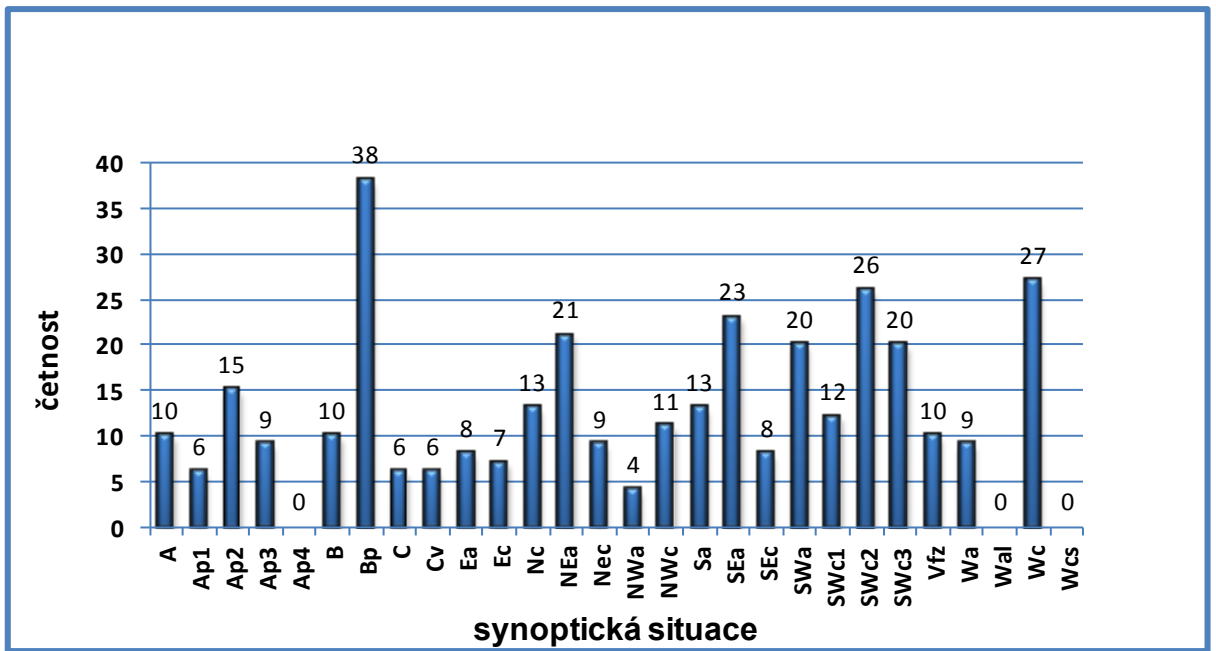




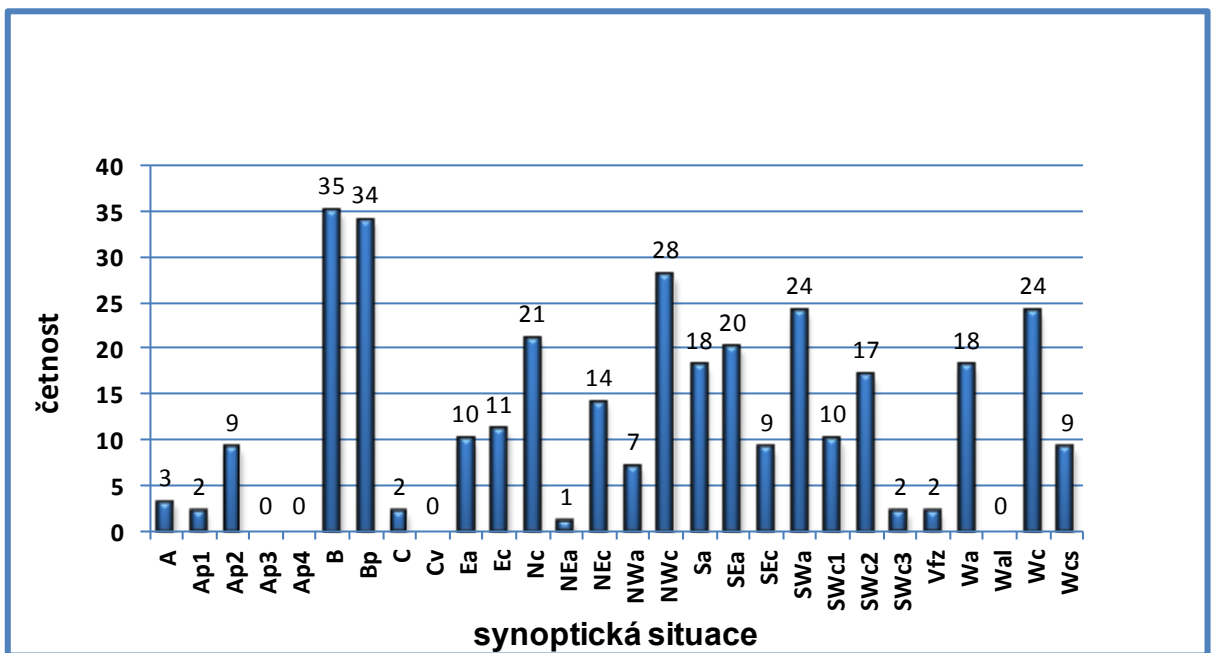
Obr. 70 Četnost synoptických situací v srpnu



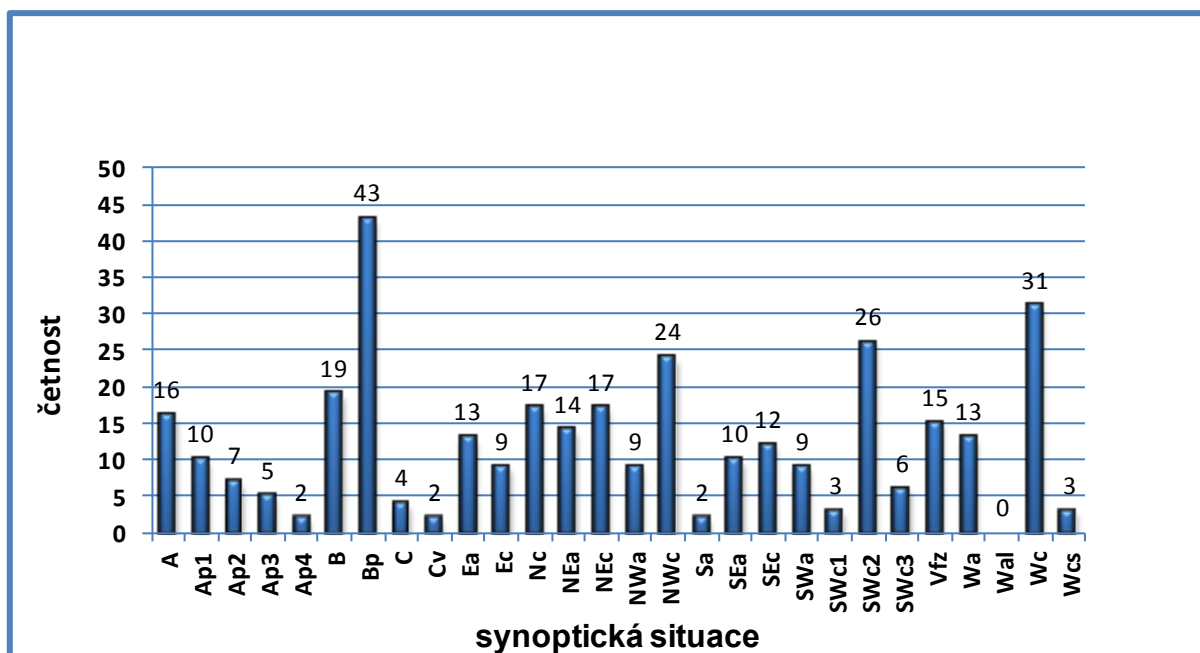
Obr. 71 Četnost synoptických situací v září



Obr. 72 Četnost synoptických situací v říjnu



Obr. 73 Četnost synoptických situací v listopadu



**Obr. 74** Četnost synoptických situací v prosinci

## 5.2. Analýza meteorologických dat

Byly vytvořeny databáze průměrné roční teploty a vlhkosti půdy s příslušnou popisnou statistikou (tab. 11 – 22) a grafickým výstupem (obr. 75 – 77).

**Tab. 11** Vysvětlivky měřených charakteristik

Zkratka	název	jednotky
T05	teplota půdy v hloubce 5 cm	°C
T10	teplota půdy v hloubce 10 cm	°C
T20	teplota půdy v hloubce 20 cm	°C
T50	teplota půdy v hloubce 50 cm	°C
HPU1	vlhkost půdy v hloubce 0 – 10 cm	obj. %
HPU2	vlhkost půdy v hloubce 11 – 50 cm	obj. %
TMA	maximální teplota vzduchu	°C
TMI	minimální teplota vzduchu	°C
SRA	úhrn srážek	mm
SSV	úhrn slunečního svitu	h
F	rychlost větru	m.s <sup>-1</sup>

### 5.2.1. Průměrné roční teploty a vlhkosti půdy (2001 – 2011)

**Tab. 12** Statistická analýza teploty a vlhkosti půdy za rok 2001

	T05	T10	T20	T50	HPU1	HPU2
<b>Průměr</b>	10,3	10,3	10,2	10,5	21,9	21,0
<b>Medián</b>	11,6	11,6	11,6	11,6	22,1	21,9
<b>Modus</b>	-0,2	-0,2	0,0	1,4	21,6	22,7
<b>Směr. odchylka</b>	8,1	8,0	7,8	6,7	3,8	2,7
<b>Rozptyl</b>	66,3	63,8	60,8	45,3	14,7	7,2
<b>Rozdíl max-min</b>	25,9	25,3	24,2	20,3	22,8	11,4
<b>Minimum</b>	-1,7	-1,4	-1,1	1,1	13,2	14,2
<b>Maximum</b>	24,2	23,9	23,1	21,4	36,0	25,6

**Tab. 13** Statistická analýza teploty a vlhkosti půdy za rok 2002

	T05	T10	T20	T50	HPU1	HPU2
<b>Průměr</b>	10,7	10,6	10,4	11,0	24,5	19,8
<b>Medián</b>	9,0	9,0	8,6	10,4	25,7	20,2
<b>Modus</b>	5,8	21,1	3,4	1,3	29,0	22,7
<b>Směr. odchylka</b>	8,0	7,8	7,6	6,4	5,4	3,1
<b>Rozptyl</b>	63,9	60,6	57,1	40,7	29,5	9,9
<b>Rozdíl max-min</b>	30,1	29,1	27,4	20,3	22,6	13,7
<b>Minimum</b>	-4,6	-4,2	-3,3	1,1	13,4	13,3
<b>Maximum</b>	25,5	24,9	24,1	21,4	36,0	27,0

**Tab. 14** Statistická analýza teploty a vlhkosti půdy za rok 2003

	T05	T10	T20	T50	HPU1	HPU2
<b>Průměr</b>	10,5	10,2	10,2	10,5	18,0	13,1
<b>Medián</b>	8,8	8,5	8,7	8,7	16,0	12,7
<b>Modus</b>	-0,2	-0,3	-0,5	0,6	13,1	9,6
<b>Směr. odchylka</b>	9,5	9,0	8,8	7,3	5,7	3,0
<b>Rozptyl</b>	89,4	81,6	76,8	52,5	32,6	8,9
<b>Rozdíl max-min</b>	30,9	29,2	28,4	21,6	23,0	11,6
<b>Minimum</b>	-4,3	-3,9	-3,6	0,6	11,1	8,8
<b>Maximum</b>	26,6	25,3	24,8	22,2	34,1	20,4

**Tab. 15** Statistická analýza teploty a vlhkosti půdy za rok 2004

	T05	T10	T20	T50	HPU1	HPU2
<b>Průměr</b>	10,2	10,1	10,2	10,4	19,0	11,9
<b>Medián</b>	10,6	10,5	10,6	10,6	17,8	11,3
<b>Modus</b>	-0,2	19,2	18,7	1,9	16,1	8,4
<b>Směr. odchylka</b>	8,2	8,0	7,7	6,8	6,0	3,4
<b>Rozptyl</b>	67,2	63,8	59,5	46,1	35,9	11,8
<b>Rozdíl max-min</b>	30,0	28,3	26,9	22,0	27,0	11,9
<b>Minimum</b>	-4,1	-3,4	-2,7	0,2	9,0	6,5
<b>Maximum</b>	25,9	24,9	24,2	22,2	36,0	18,4

**Tab. 16** Statistická analýza teploty a vlhkosti půdy za rok 2005

	T05	T10	T20	T50	HPU1	HPU2
<b>Průměr</b>	10,4	10,3	10,4	10,6	19,2	12,7
<b>Medián</b>	10,9	10,8	10,9	11,2	18,0	12,2
<b>Modus</b>	-0,2	-0,4	-0,2	0,9	16,1	10,0
<b>Směr. odchylka</b>	8,3	8,2	7,9	7,0	5,7	2,9
<b>Rozptyl</b>	69,4	67,6	62,8	48,8	32,3	8,3
<b>Rozdíl max-min</b>	29,6	27,2	25,4	21,2	25,9	12,5
<b>Minimum</b>	-3,8	-2,2	-1,3	0,4	10,1	7,4
<b>Maximum</b>	25,8	25,0	24,1	21,6	36,0	19,9

**Tab. 17** Statistická analýza teploty a vlhkosti půdy za rok 2006

	T05	T10	T20	T50	HPU1	HPU2
<b>Průměr</b>	10,6	10,7	10,6	10,7	19,7	12,9
<b>Medián</b>	11,5	11,6	11,3	11,5	20,0	13,0
<b>Modus</b>	-0,5	-0,4	-0,4	0,4	23,0	10,0
<b>Směr. odchylka</b>	9,4	9,4	9,1	8,0	6,4	3,1
<b>Rozptyl</b>	88,0	88,4	82,8	63,6	40,3	9,4
<b>Rozdíl max-min</b>	38,8	38,7	36,7	30,3	25,8	19,9
<b>Minimum</b>	-9,6	-9,5	-9,1	-5,5	8,5	7,1
<b>Maximum</b>	29,2	29,2	27,6	24,8	34,3	27,0

**Tab. 18** Statistická analýza teploty a vlhkosti půdy za rok 2007

	T05	T10	T20	T50	HPU1	HPU2
<b>Průměr</b>	10,8	10,9	10,9	11,2	20,8	13,4
<b>Medián</b>	8,4	8,7	8,7	9,1	21,9	14,0
<b>Modus</b>	4,2	2,7	3,3	5,4	26,4	17,0
<b>Směr. odchylka</b>	8,1	7,9	7,7	6,7	7,0	3,7
<b>Rozptyl</b>	66,3	62,1	59,4	44,5	48,3	13,8
<b>Rozdíl max-min</b>	28,9	27,4	26,3	21,4	25,5	13,0
<b>Minimum</b>	-1,6	-1,0	-0,7	1,3	9,6	7,0
<b>Maximum</b>	27,3	26,4	25,6	22,7	35,1	20,0

**Tab. 19** Statistická analýza teploty a vlhkosti půdy za rok 2008

	T05	T10	T20	T50	HPU1	HPU2
<b>Průměr</b>	10,9	10,8	10,6	11,1	23,1	14,4
<b>Medián</b>	10,0	9,7	9,9	10,6	25,0	16,0
<b>Modus</b>	-0,9	3,1	-0,6	4,5	14,0	16,0
<b>Směr. odchylka</b>	7,8	7,7	7,4	6,5	6,6	3,2
<b>Rozptyl</b>	61,3	59,1	55,0	42,8	43,3	10,3
<b>Rozdíl max-min</b>	28,1	26,1	25,1	20,7	25,0	13,0
<b>Minimum</b>	-2,6	-2,0	-1,9	0,8	13,0	9,0
<b>Maximum</b>	25,5	24,1	23,2	21,5	38,0	22,0

**Tab. 20** Statistická analýza teploty a vlhkosti půdy za rok 2009

	T05	T10	T20	T50	HPU1	HPU2
<b>Průměr</b>	11,0	10,9	10,7	11,0	22,7	13,4
<b>Medián</b>	12,7	12,6	12,5	12,1	23,0	13,0
<b>Modus</b>	-0,4	-0,3	-0,4	1,1	15,0	9,0
<b>Směr. odchylka</b>	8,3	8,1	7,8	6,9	6,8	3,5
<b>Rozptyl</b>	69,1	65,7	61,1	47,6	46,2	12,0
<b>Rozdíl max-min</b>	28,3	27,0	25,3	20,4	23,0	15,0
<b>Minimum</b>	-3,5	-2,9	-2,4	0,3	13,0	8,0
<b>Maximum</b>	24,8	24,1	22,9	20,7	36,0	23,0

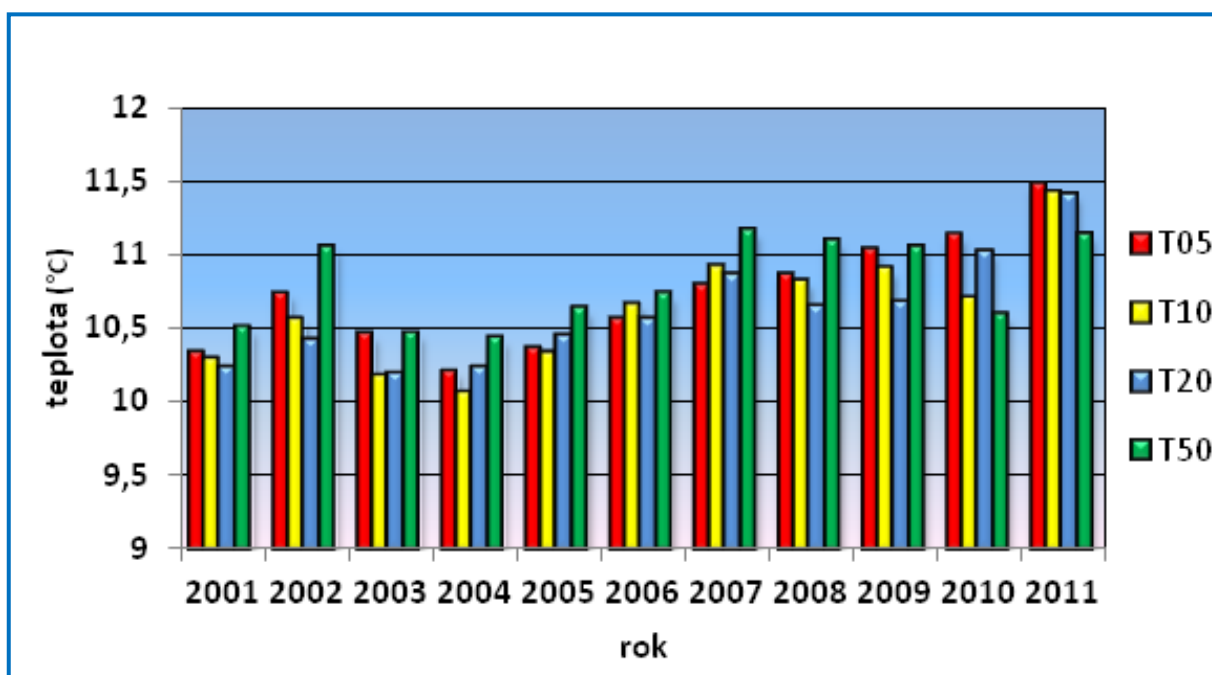
**Tab. 21** Statistická analýza teploty a vlhkosti půdy za rok 2010

	T05	T10	T20	T50	HPU1	HPU2
<b>Průměr</b>	11,1	10,7	11,0	10,6	27,9	16,0
<b>Medián</b>	10,7	10,2	10,4	10,0	29,0	16,0
<b>Modus</b>	0,4	0,0	0,8	1,6	31,0	16,0
<b>Směr. odchylka</b>	8,6	8,5	8,1	7,1	5,9	3,3
<b>Rozptyl</b>	74,2	72,1	66,2	50,1	34,6	10,8
<b>Rozdíl max-min</b>	28,9	28,2	26,4	22,6	26,0	20,0
<b>Minimum</b>	0,1	-0,2	0,4	1,0	12,0	7,0
<b>Maximum</b>	29,0	28,0	26,8	23,6	38,0	27,0

**Tab. 22** Statistická analýza teploty a vlhkosti půdy za rok 2011

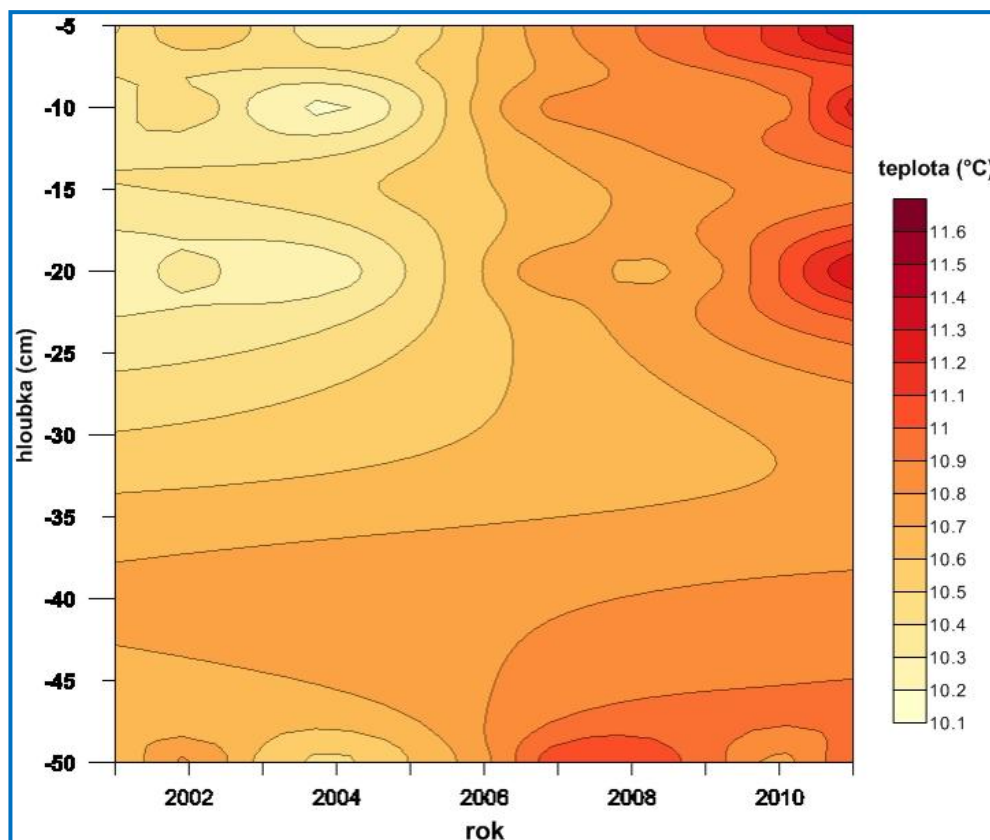
	T05	T10	T20	T50	HPU1	HPU2
<b>Průměr</b>	11,5	11,4	11,4	11,1	20,1	16,9
<b>Medián</b>	11,7	11,5	11,2	10,7	17,4	17,0
<b>Modus</b>	0,1	0,1	0,4	1,5	17,0	16,0
<b>Směr. odchylka</b>	8,0	7,9	7,5	6,5	6,2	1,4
<b>Rozptyl výběru</b>	63,8	62,3	56,7	42,6	38,9	2,0
<b>Rozdíl max-min</b>	25,3	24,5	23,3	20,2	24,0	10,0
<b>Minimum</b>	-0,8	-0,4	0,2	1,5	14,0	14,0
<b>Maximum</b>	24,5	24,1	23,5	21,7	38,0	24,0

### 5.2.2. Charakteristiky ročních průměrů

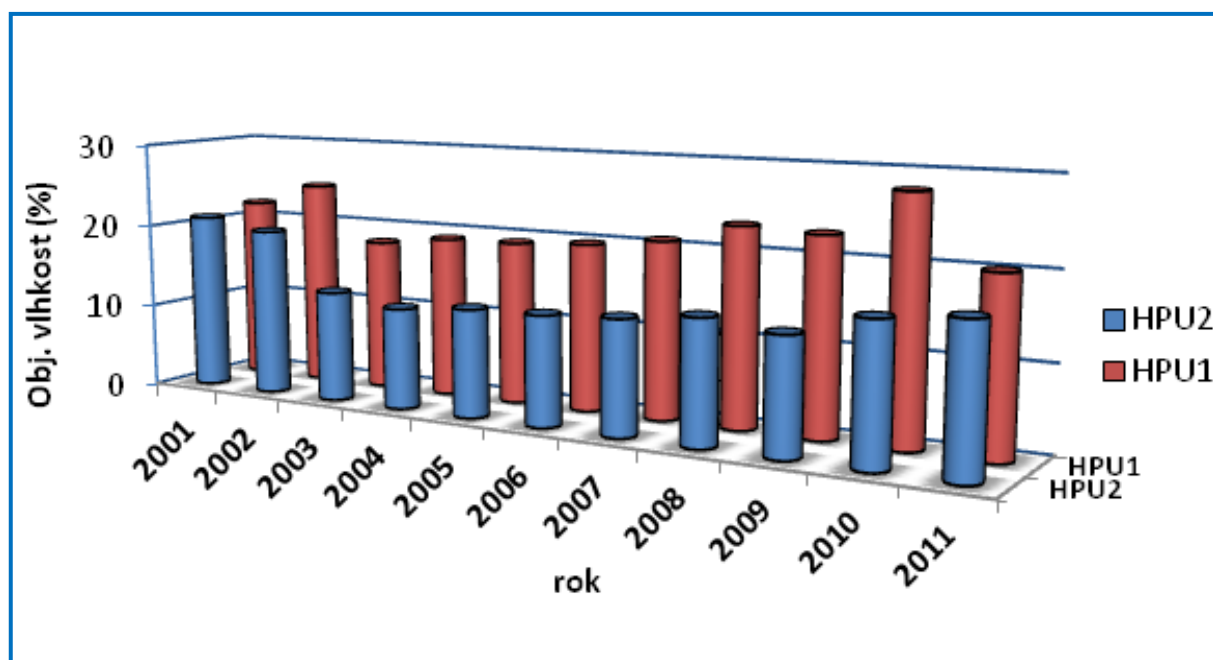


**Obr. 75** Průměrná roční teplota půdy v hloubce 5, 10, 20 a 50 cm





Obr. 76 Srovnání roční průměrné teploty půdy v jednotlivých vrstvách



Obr. 77 Průměrná roční vlhkost půdy v jednotlivých hloubkách

### 5.3. Extrémy průměrné měsíční teploty a vlhkosti půdy

V této části byly vyhledány nejnižší a nejvyšší průměrné měsíční teploty a vlhkosti půdy za celé období 2001 – 2011 v jednotlivých hloubkách (tab. 23, 24). U těchto měsíců bylo provedeno detailní statistické šetření teploty půdy, vlhkosti půdy a dalších měřených charakteristik - maximální teploty vzduchu, minimální teploty vzduchu, úhrnu srážek, úhrnu slunečního svitu, rychlosti větru a evaporace. Dále pak byly k jednotlivým dnům v měsících vyhledány konkrétní synoptické situace. Vysvětlivky symbolů jsou uvedeny v tabulce 25.

**Tab. 23** Extrémy průměrné měsíční teploty půdy

	nejnižší průměrná teplota (°C)	datum	nejvyšší průměrná teplota (°C)	datum
<b>T05</b>	-3,13	leden 2006	25,46	červenec 2006
<b>T10</b>	-2,87	leden 2006	25,69	červenec 2006
<b>T20</b>	-2,39	leden 2006	24,90	červenec 2006
<b>T50</b>	-1,47	únor 2006	22,76	červenec 2006

**Tab. 24** Extrémy průměrné měsíční vlhkosti půdy

	nejnižší průměrná vlhkost (% obj.)	datum	nejvyšší průměrná vlhkost (% obj.)	datum
<b>HPU1</b>	11,16	červenec 2006	33,42	leden 2011
<b>HPU2</b>	7,44	srpen 2004	23,33	březen 2001

#### 5.3.1. Rozbor měsíců s výskytem extrémů teploty nebo vlhkosti půdy

Měsíce, ve kterých došlo k výskytu extrémů teploty nebo vlhkosti půdy, byly podrobeny detailní analýze.

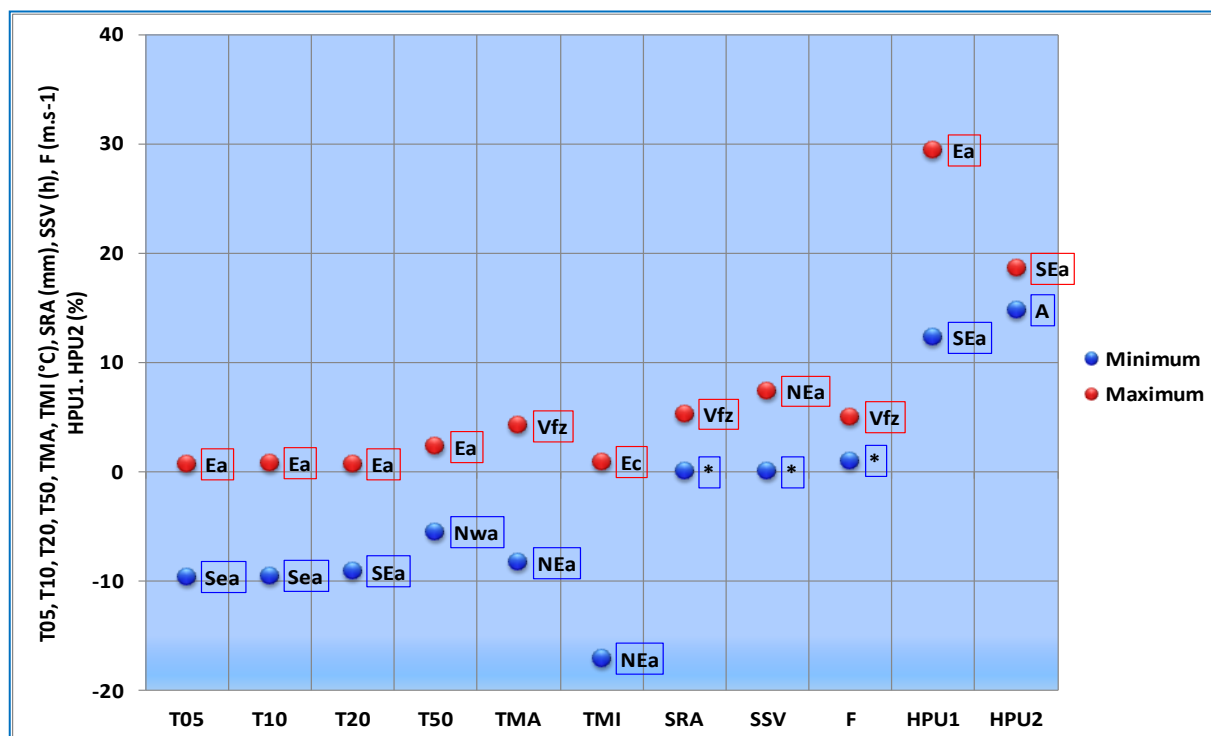
**Tab. 25** vysvětlivky k měřeným charakteristikám

Symbol	charakteristika
<b>T05</b>	teplota půdy v hloubce 5 cm (°C)
<b>T10</b>	teplota půdy v hloubce 10 cm (°C)
<b>T20</b>	teplota půdy v hloubce 20 cm (°C)
<b>T50</b>	teplota půdy v hloubce 50 cm (°C)
<b>HPU1</b>	vlhkost půdy v hloubce 0 – 10 cm (obj. %)
<b>HPU2</b>	vlhkost půdy v hloubce 11 – 50 cm (obj. %)
<b>TMA</b>	maximální teplota vzduchu (°C)
<b>TMI</b>	minimální teplota vzduchu (°C)
<b>SRA</b>	úhrn srážek (mm)
<b>SSV</b>	úhrn slunečního svitu (h)
<b>F</b>	rychlost větru ( $m \cdot s^{-1}$ )
<b>ET</b>	evaporace (mm)

### 5.3.1.1. Nejnižší průměrná teplota půdy v lednu 2006

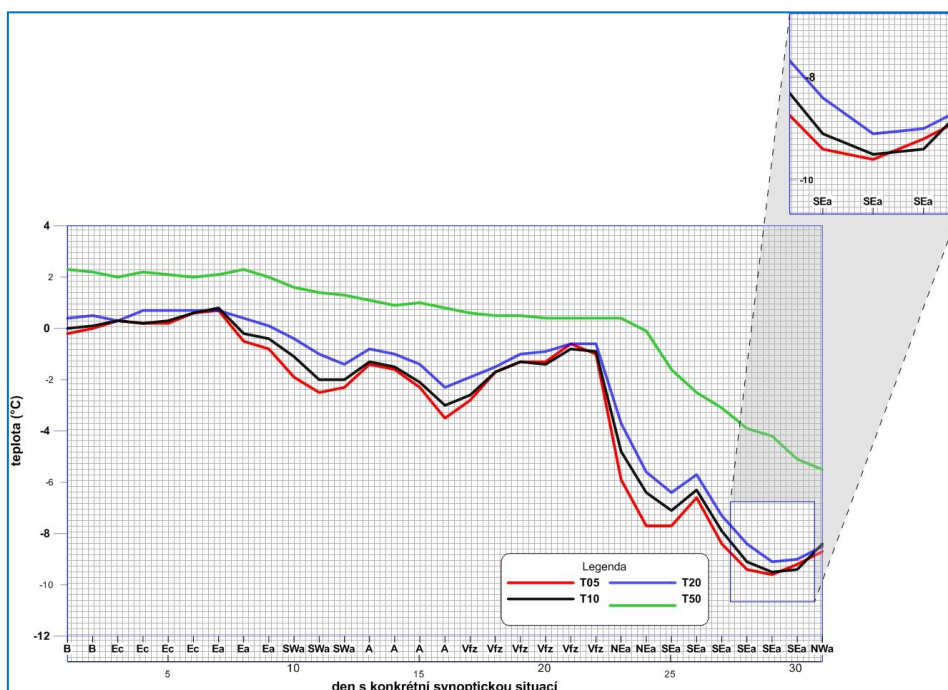
Tab. 26 Statistická analýza – leden 2006

	T05	T10	T20	T50	TMA	TMI	SRA	SSV	F	HPU1	HPU2
<b>Průměr</b>	-3,1	-2,9	-2,4	0,1	-0,9	-8,2	0,3	2,0	2,4	17,9	16,1
<b>Medián</b>	-1,7	-1,5	-1,0	0,8	-0,5	-7,6	0,0	0,0	2,0	14,2	16,1
<b>Modus</b>	0,2	0,3	0,7	0,4	3,0	-5,0	0,0	0,0	1,0	12,5	14,8
<b>Směr. odchylka</b>	3,5	3,3	3,3	2,3	3,7	5,6	1,0	2,9	1,4	6,5	1,2
<b>Rozptyl výběru</b>	12,0	11,2	10,8	5,3	13,5	31,6	1,0	8,5	1,9	42,5	1,5
<b>Rozdíl max-min</b>	10,3	10,3	9,8	7,8	12,5	18,0	5,3	7,4	4,0	17,1	3,8
<b>Minimum</b>	-9,6	-9,5	-9,1	-5,5	-8,3	-17,1	0,0	0,0	1,0	12,3	14,8
<b>Maximum</b>	0,7	0,8	0,7	2,3	4,2	0,9	5,3	7,4	5,0	29,4	18,6
absolutní měsíční minimum teploty půdy											



Obr. 78 Minima a maxima jednotlivých měřených charakteristik s konkrétní synoptickou situací – leden 2006

\*výskyt minima ve více dnech v měsíci, nelze určit jednu synoptickou situaci

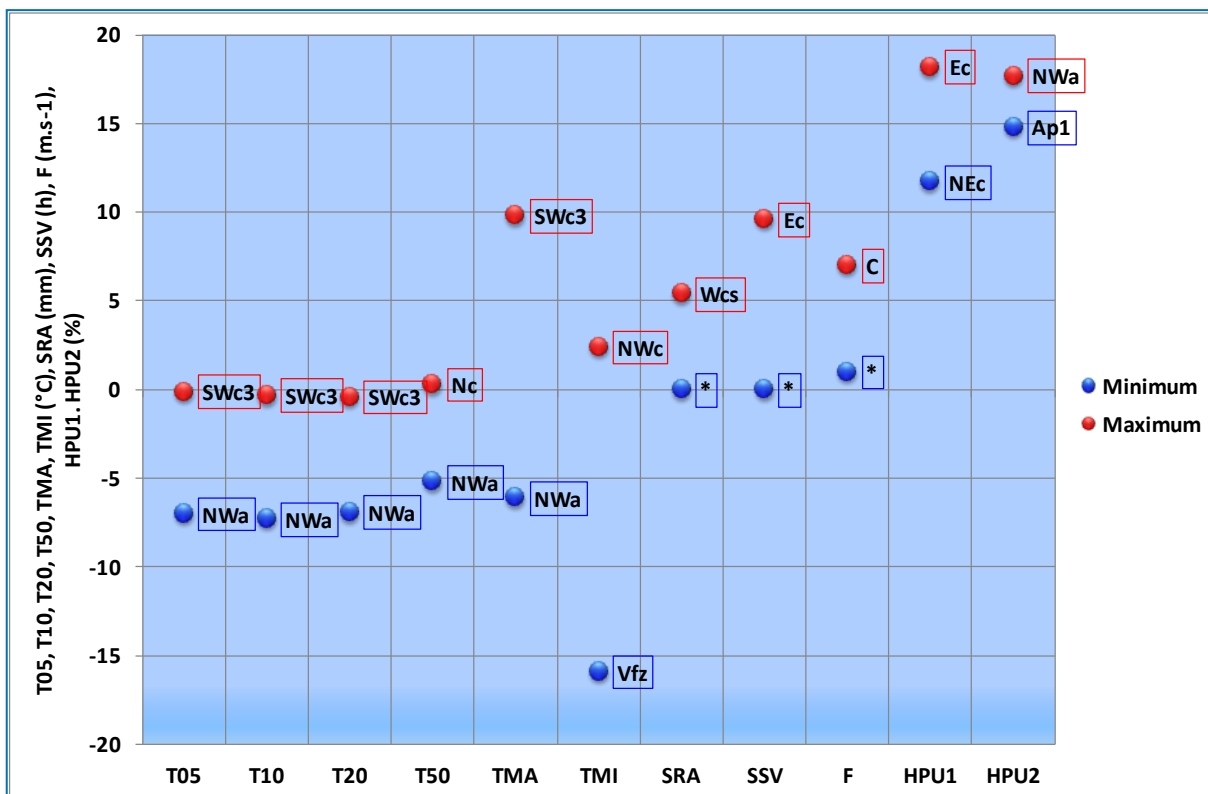


**Obr. 79** Průběh teploty půdy v jednotlivých hloubkách s akcentem na měsíční minima – leden 2006

### 5.3.1.2. Nejnižší průměrná teplota půdy v únoru 2006

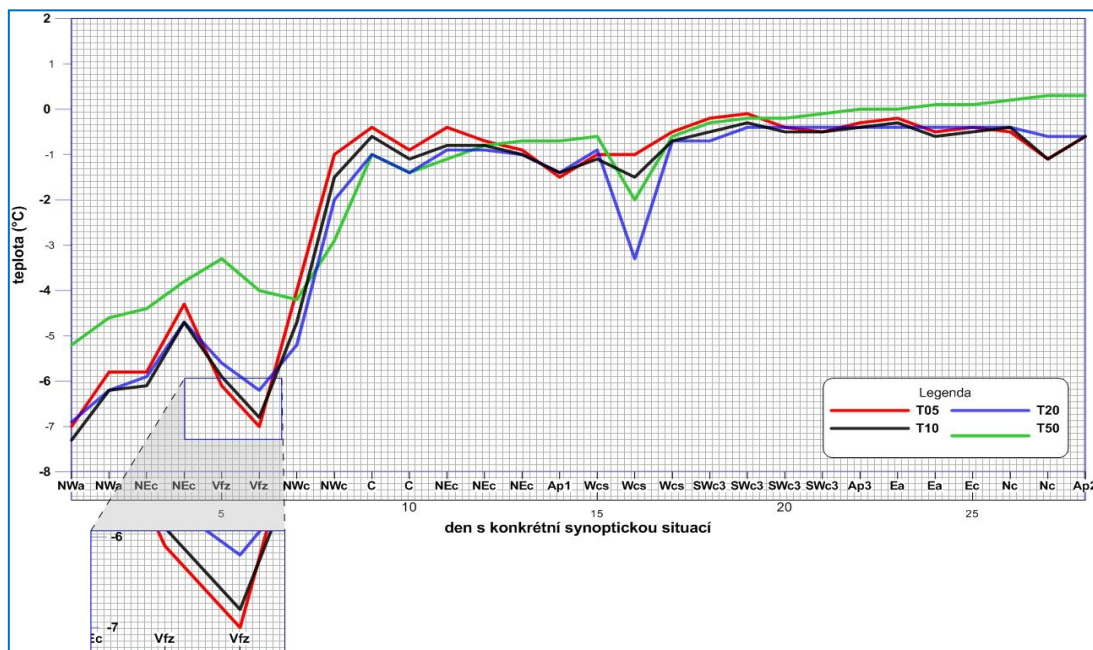
**Tab. 27** Statistická analýza měsíce únor 2006

	T05	T10	T20	T50	TMA	TMI	SRA	SSV	F	HPU1	HPU2
<b>Průměr</b>	-1,9	-2,1	-2,1	<b>-1,5</b>	2,4	-4,2	0,8	2,5	2,8	14,8	15,6
<b>Medián</b>	-0,8	-0,9	-0,9	-0,7	3,0	-2,5	0,0	0,8	2,7	14,4	15,4
<b>Modus</b>	-0,4	-0,5	-0,4	-0,7	4,4	0,3	0,0	0,0	1,3	12,0	15,1
<b>Směr. odchylka</b>	2,3	2,4	2,3	1,8	3,8	4,9	1,6	3,2	1,6	2,3	0,8
<b>Rozptyl výběru</b>	5,4	5,6	5,2	3,2	14,5	23,8	2,6	10,5	2,4	5,3	0,6
<b>Rozdíl max-min</b>	6,9	7,0	6,5	5,5	15,9	18,3	5,4	9,6	6,0	6,5	2,9
<b>Minimum</b>	-7,0	-7,3	-6,9	-5,2	-6,1	-15,9	0,0	0,0	1,0	11,7	14,8
<b>Maximum</b>	-0,1	-0,3	-0,4	0,3	9,8	2,4	5,4	9,6	7,0	18,2	17,7
absolutní měsíční minimum teploty půdy											

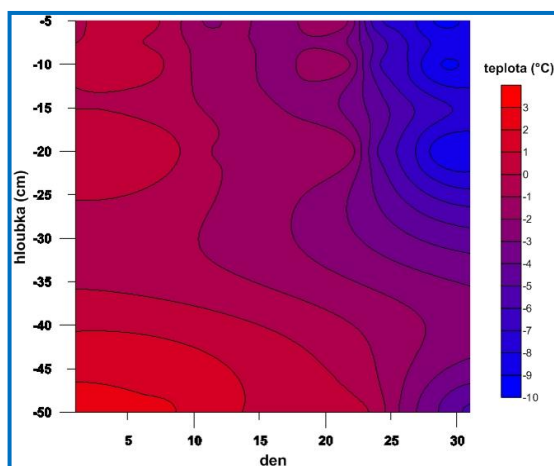


**Obr. 80** Minima a maxima jednotlivých měřených charakteristik s konkrétní synoptickou situací – únor 2006

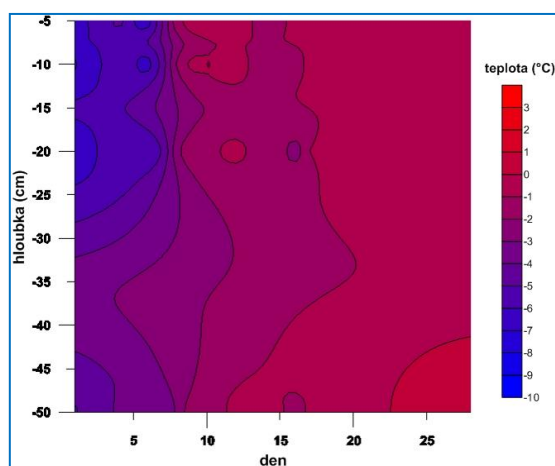
\* výskyt minima ve více dnech v měsíci, nelze určit jednu synoptickou situaci



**Obr. 81** Průběh teploty půdy v jednotlivých hloubkách – únor 2006



**Obr. 82** Srovnání průběhu teploty půdy – leden 2006

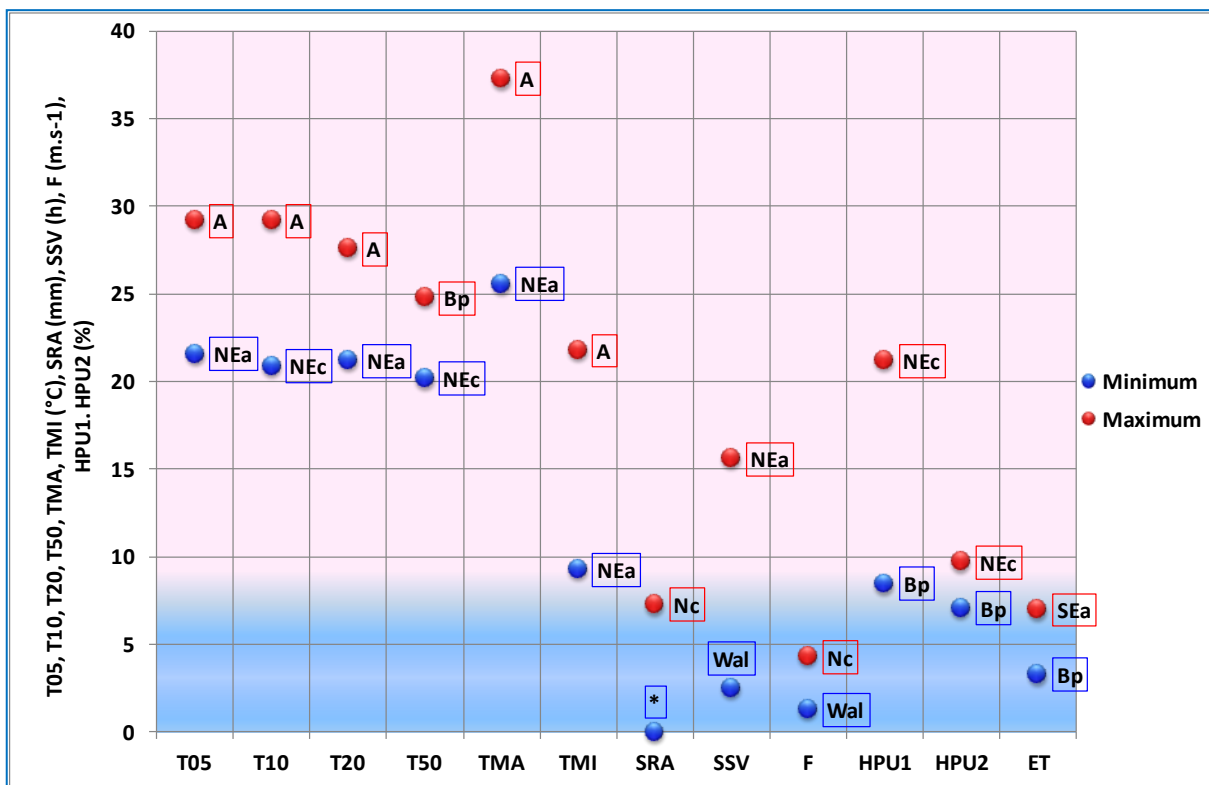


**Obr. 83** Srovnání průběhu teploty půdy – únor 2006

### 5.3.1.3. Nejvyšší průměrná teplota půdy v červenci 2006

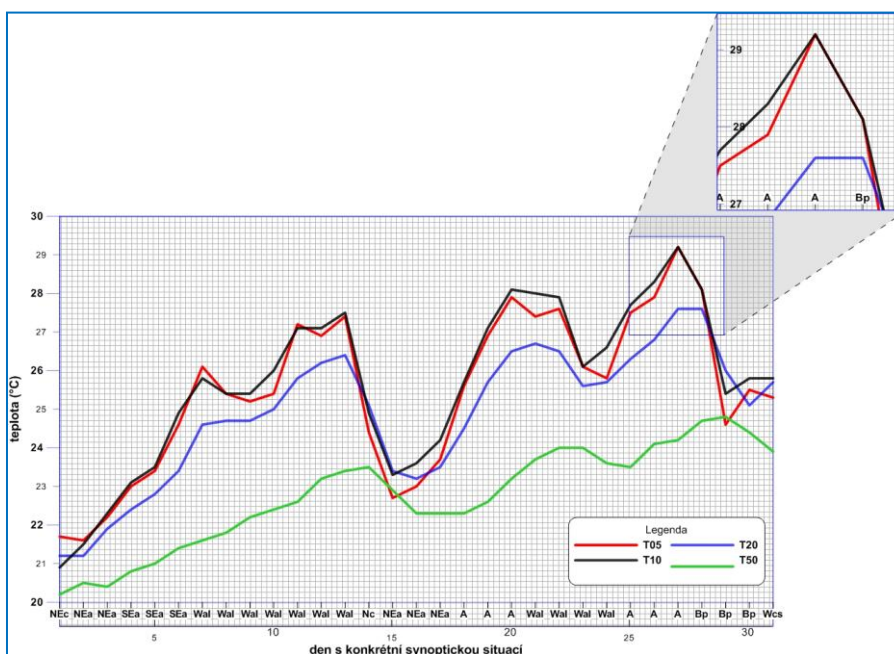
**Tab. 28** Statistická analýza měsíc červenec 2006

	T05	T10	T20	T50	TMA	TMI	SRA	SSV	F	HPU1	HPU2	ET
<b>Průměr</b>	25,5	25,7	24,9	22,8	31,8	14,7	0,5	10,9	2,3	11,2	8,1	5,4
<b>Medián</b>	25,5	25,8	25,1	22,9	32,3	15,3	0,0	11,5	2,0	10,1	8,1	5,6
<b>Modus</b>	23,0	25,8	25,7	22,3	32,3	12,1	0,0	15,2	2,0	9,3	7,7	6,3
<b>Směr. odchylka</b>	2,1	2,1	1,8	1,3	3,3	3,1	1,4	3,7	0,8	3,2	0,7	0,9
<b>Rozptyl výběru</b>	4,2	4,4	3,1	1,7	10,9	9,7	2,1	13,6	0,7	10,4	0,4	0,8
<b>Rozdíl max-min</b>	7,6	8,3	6,4	4,6	11,7	12,5	7,3	13,1	3,0	12,7	2,6	3,6
<b>Minimum</b>	21,6	20,9	21,2	20,2	25,6	9,3	0,0	2,5	1,3	8,5	7,1	3,3
<b>Maximum</b>	29,2	29,2	27,6	24,8	37,3	21,8	7,3	15,6	4,3	21,2	9,7	7,0
	absolutní měsíční maximum (2001 – 2011)											
	absolutní měsíční minimum (2001 – 2011)											



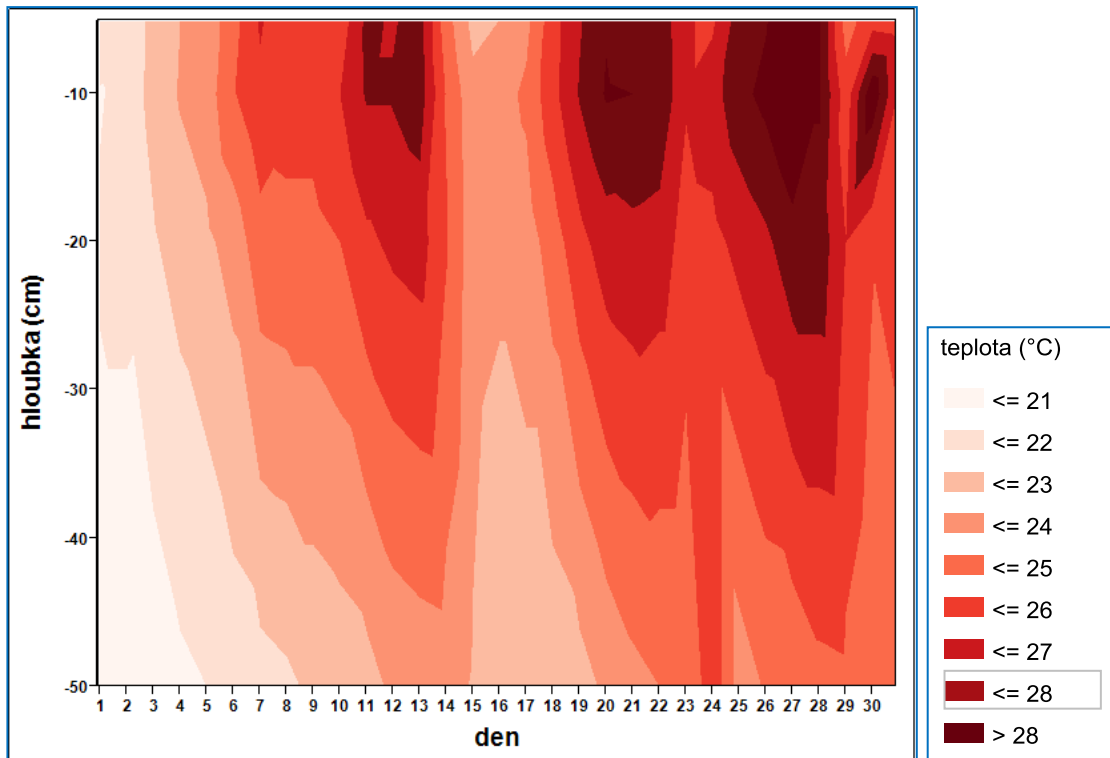
**Obr. 84** Minima a maxima jednotlivých měřených charakteristik s konkrétní synoptickou situací – červenec 2006

\*výskyt minima ve více dnech v měsíci, nelze určit jednu synoptickou situaci

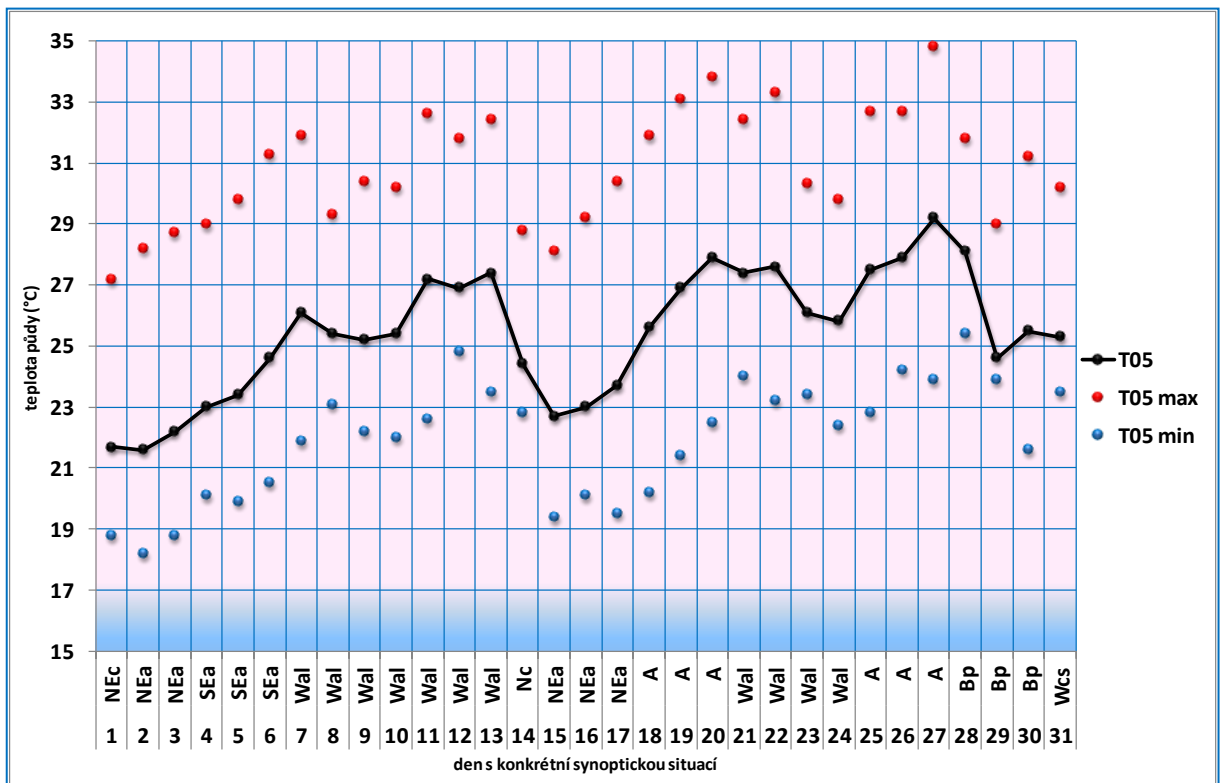


**Obr. 85** Průběh teploty půdy v jednotlivých hloubkách s akcentem na měsíční maxima – červenec 2006



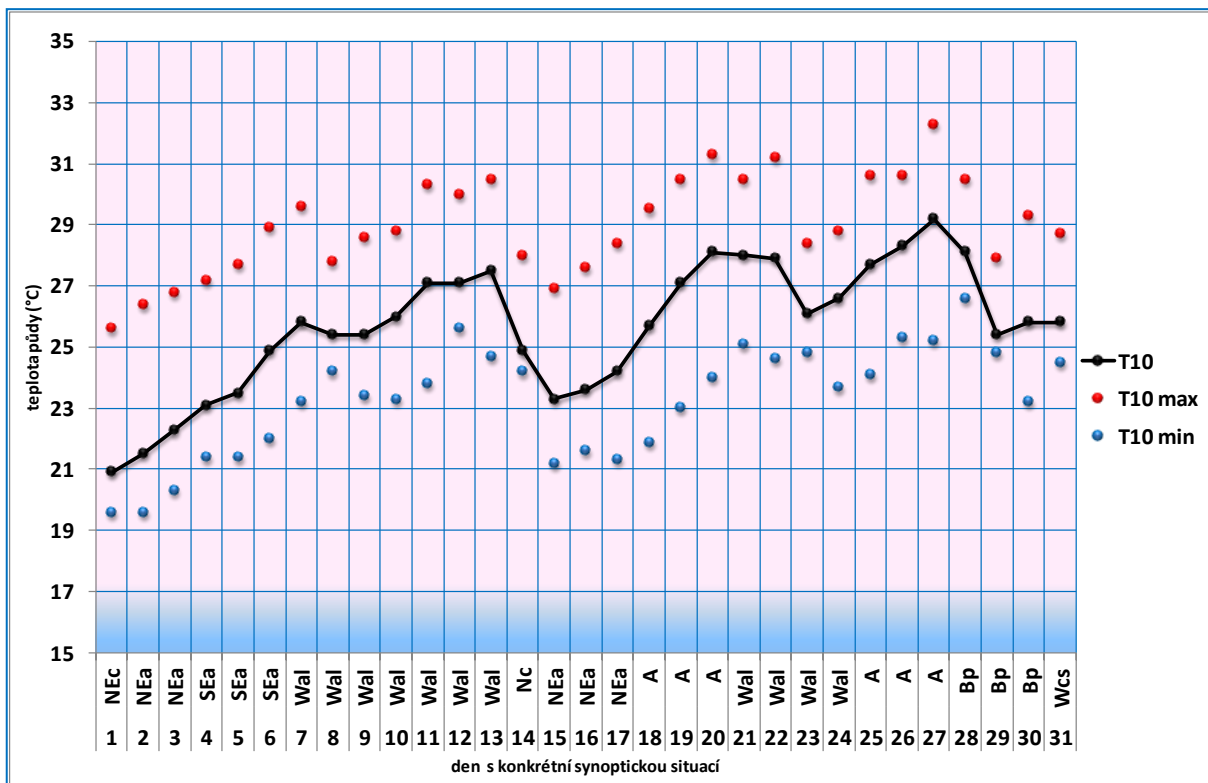


**Obr. 86** Teplota půdy v jednotlivých hloubkách – červenec 2006



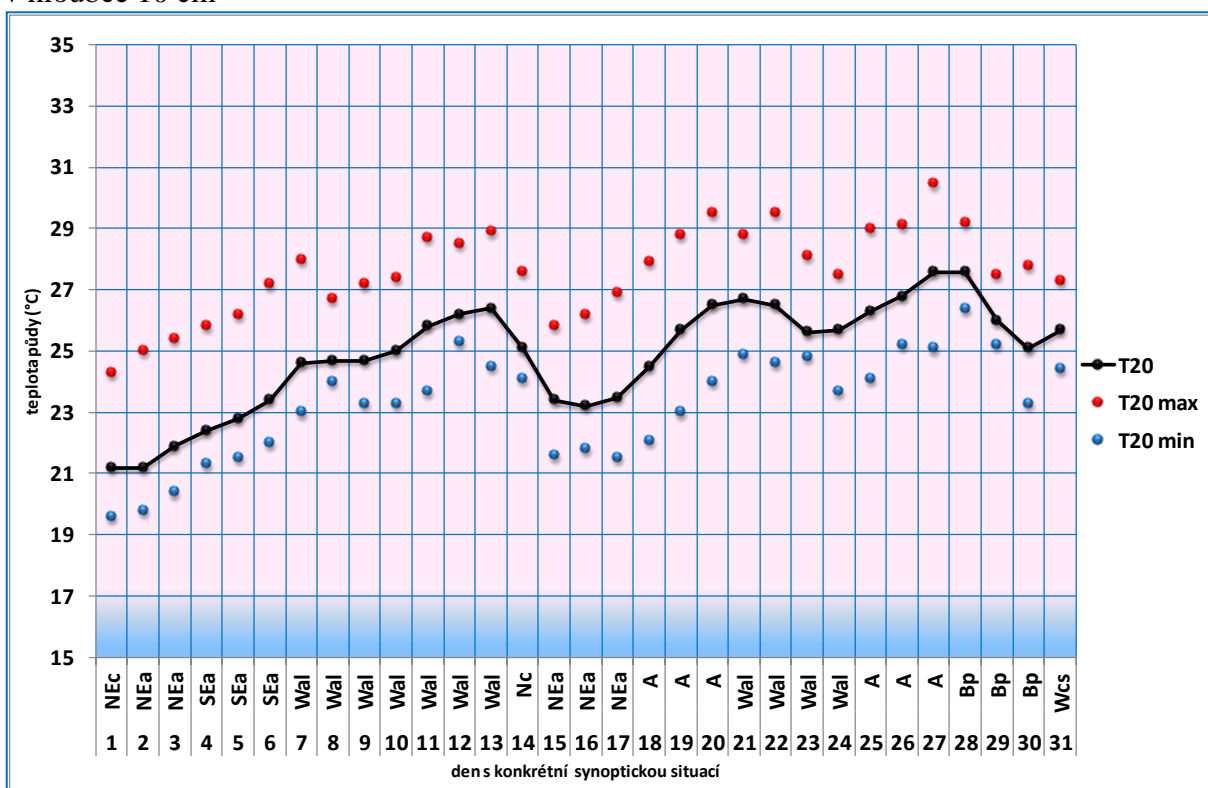
**Obr. 87** Průběh teploty půdy v hloubce 5 cm – červenec 2006

Vysvětlivky: T05 max – maximální teplota v hloubce 5 cm, T05 min – minimální teplota v hloubce 5 cm



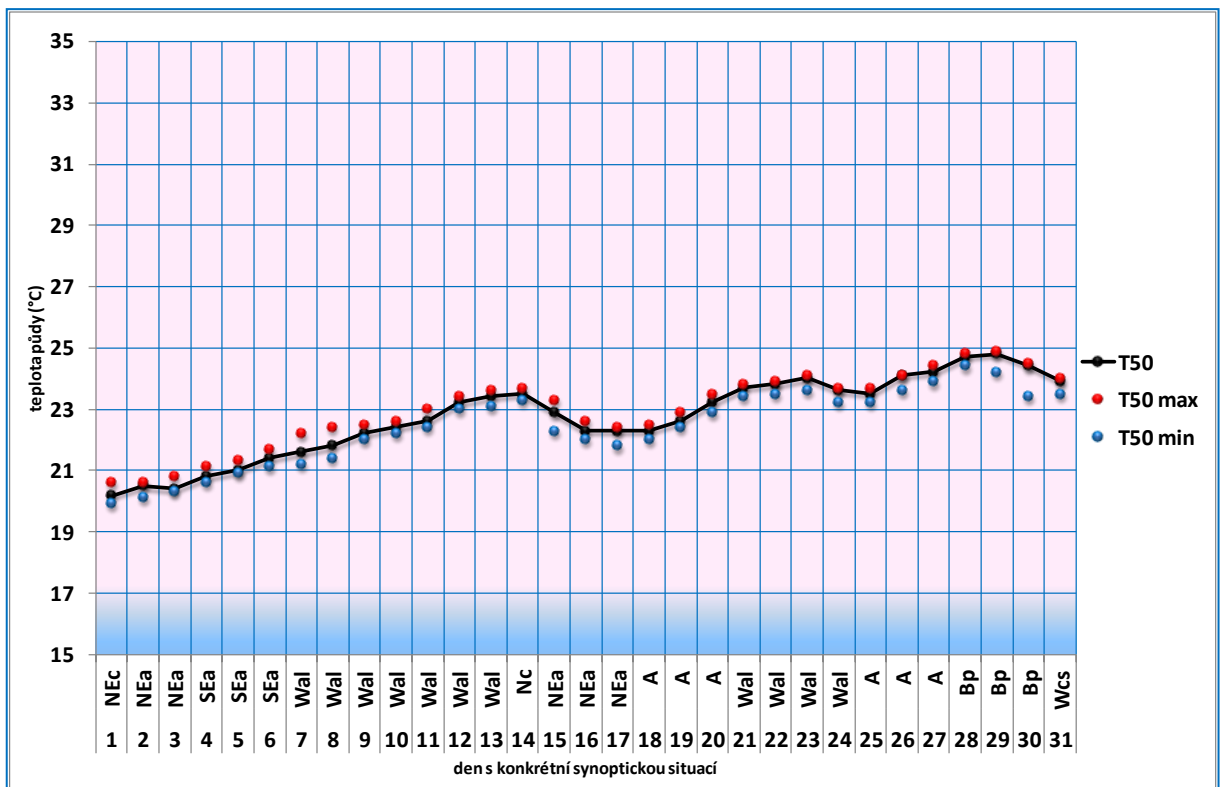
**Obr. 88** Průběh teploty půdy v hloubce 10 cm – červenec 2006

Vysvětlivky: T10 max – maximální teplota v hloubce 10 cm, T10 min – minimální teplota v hloubce 10 cm



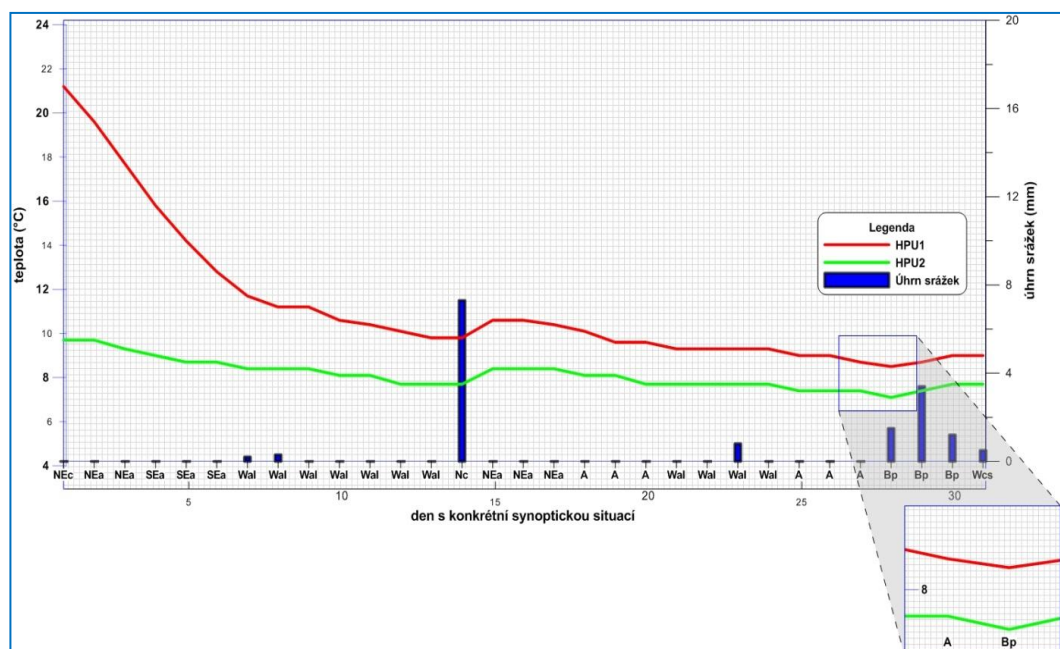
**Obr. 89** Průběh teploty půdy v hloubce 20 cm – červenec 2006

Vysvětlivky: T20 max – maximální teplota v hloubce 20 cm, T20 min – minimální teplota v hloubce 20 cm



**Obr. 90** Průběh teploty půdy v hloubce 50 cm – červenec 2006

Vysvětlivky: T50 max – maximální teplota v hloubce 50 cm, T50 min – minimální teplota v hloubce 50 cm

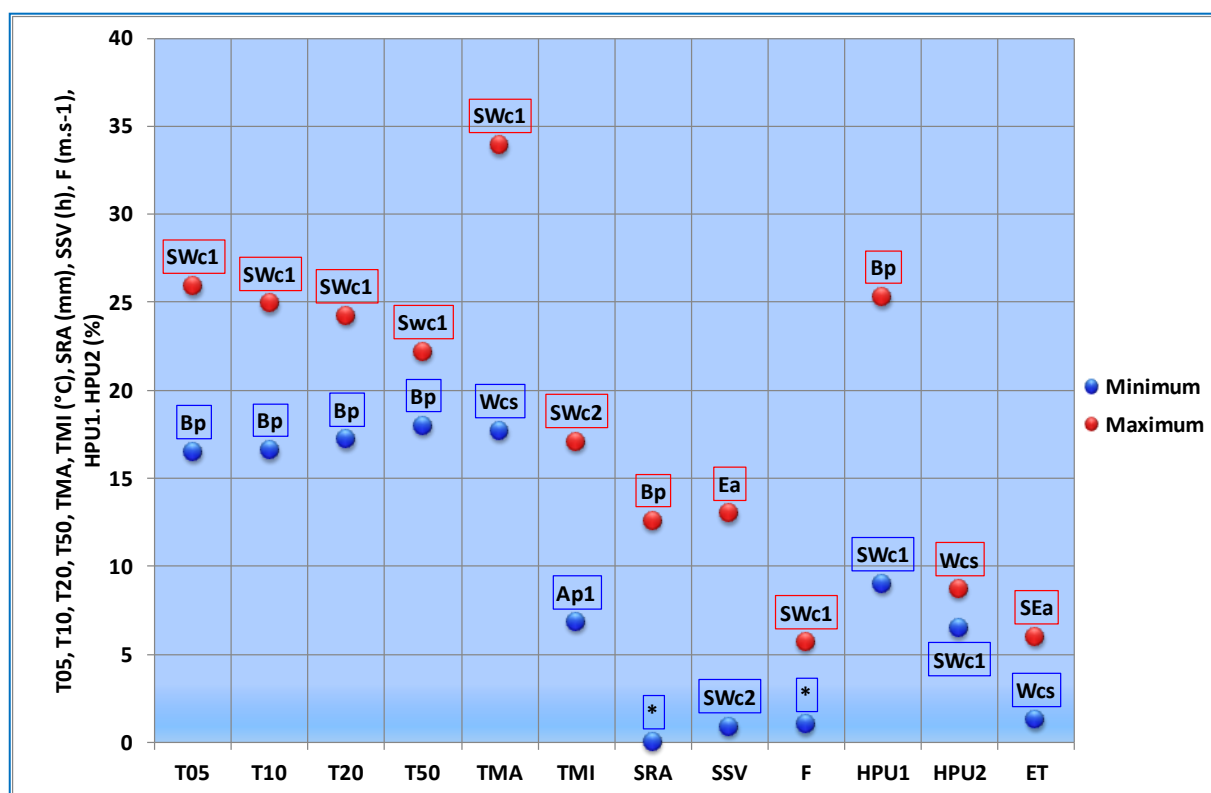


**Obr. 91** Průběh vlhkosti půdy v jednotlivých hloubkách v závislosti na synoptické situaci a úhru srážek s akcentem na měsíční minima – červenec 2006

### 5.3.1.4. Nejnižší průměrná vlhkost půdy v srpnu 2004

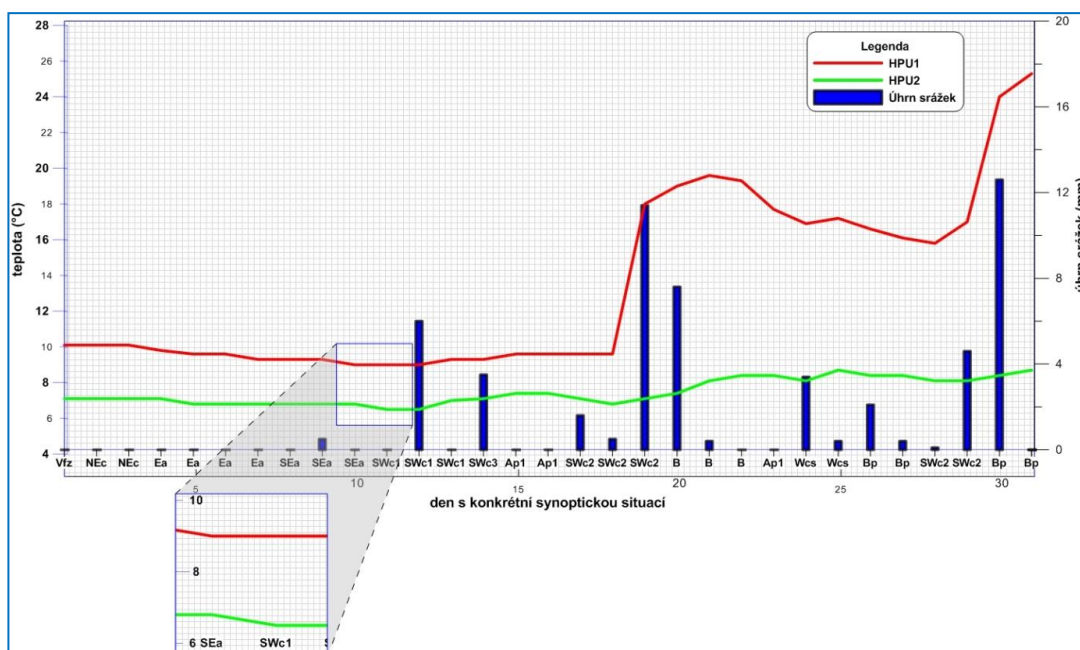
Tab. 29 Statistická analýza měsíc srpen 2004

	T05	T10	T20	T50	TMA	TMI	SRA	SSV	F	HPU1	HPU2	ET
<b>Průměr</b>	21,4	21,2	21,2	20,4	27,0	12,7	1,8	7,7	2,7	13,3	<b>7,4</b>	3,9
<b>Medián</b>	22,2	22,2	22,0	20,8	28,3	12,1	0,0	8,2	2,7	10,1	7,1	3,7
<b>Modus</b>	24,0	23,7	23,4	21,0	31,7	17,1	0,0	12,9	3,0	9,6	7,1	5,9
<b>Směr. odchylka</b>	2,7	2,4	2,2	1,4	4,5	2,4	3,4	3,8	0,9	5,0	0,7	1,4
<b>Rozptyl výběru</b>	7,3	5,9	4,6	1,9	20,2	5,6	11,2	14,6	0,8	24,5	0,5	2,0
<b>Rozdíl max-min</b>	9,4	8,3	7,0	4,2	16,2	10,3	12,6	12,1	4,7	16,3	2,2	4,7
<b>Minimum</b>	16,5	16,6	17,2	18,0	17,7	6,8	0,0	0,9	1,0	9,0	6,5	1,3
<b>Maximum</b>	25,9	24,9	24,2	22,2	33,9	17,1	12,6	13,0	5,7	25,3	8,7	6,0
absolutní měsíční minimum (2001 – 2011)												



Obr. 92 Minima a maxima jednotlivých měřených charakteristik s konkrétní synoptickou situací – srpen 2004

\* výskyt minima ve více dnech v měsíci, nelze určit jednu synoptickou situaci

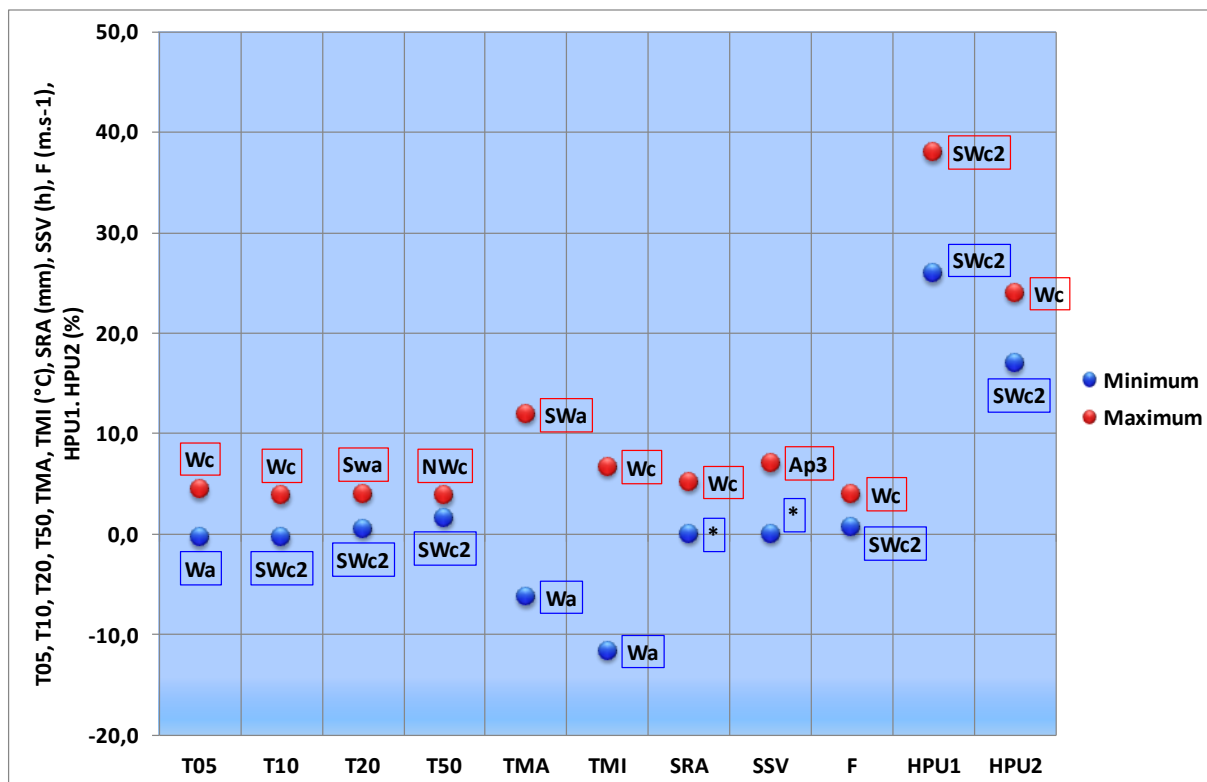


**Obr. 93** Průběh vlhkosti půdy v jednotlivých hloubkách v závislosti na synoptické situaci a úhrnu srážek s akcentem na měsíční minima – srpen 2004

### 5.3.1.5. Nejvyšší průměrná vlhkost půdy v lednu 2011

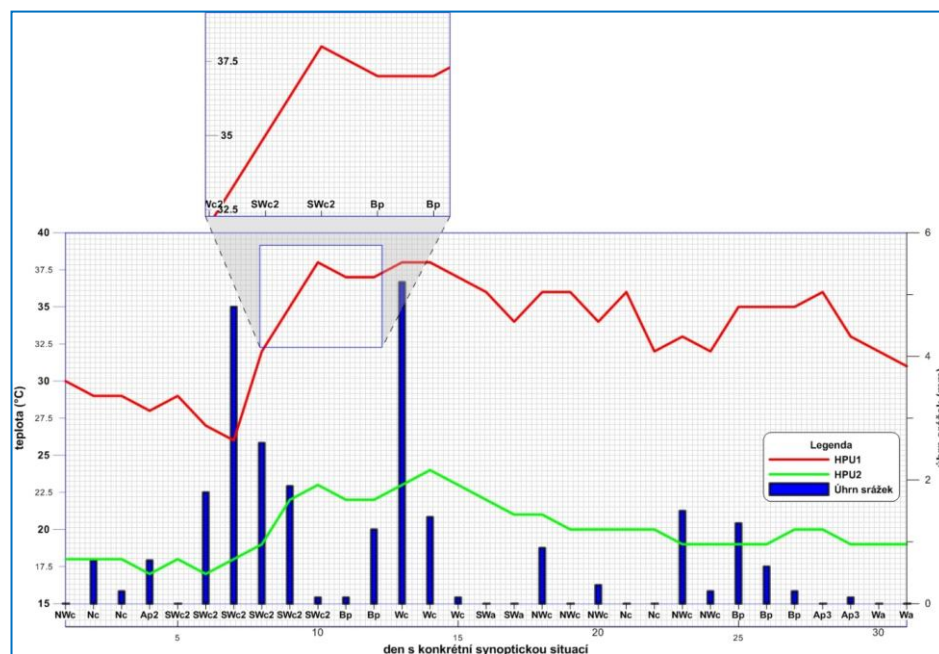
**Tab. 30** Statistická analýza leden 2011

	T05	T10	T20	T50	TMA	TMI	SRA	SSV	F	HPU1	HPU2
<b>Průměr</b>	1,1	1,0	1,6	2,5	3,1	-3,2	0,8	1,1	2,2	33,4	20,0
<b>Medián</b>	0,6	0,7	1,3	2,5	3,1	-1,3	0,2	0,2	2,0	34,0	20,0
<b>Modus</b>	0,2	-0,2	0,7	1,7	5,5	-6,6	0,0	0,0	1,7	36,0	19,0
<b>Směr. odchylka</b>	1,3	1,2	1,0	0,7	4,1	4,5	1,3	2,0	0,9	3,4	1,9
<b>Rozptyl výběru</b>	1,6	1,5	1,1	0,5	16,5	20,7	1,7	4,0	0,8	11,9	3,6
<b>Rozdíl max-min</b>	4,8	4,1	3,4	2,1	18,1	18,3	5,2	7,1	3,3	12,0	7,0
<b>Minimum</b>	-0,3	-0,3	0,6	1,7	-6,2	-11,6	0,0	0,0	0,7	26,0	17,0
<b>Maximum</b>	4,5	3,8	4,0	3,8	11,9	6,7	5,2	7,1	4,0	38,0	24,0
absolutní měsíční maximum (2001 – 2011)											



**Obr. 94** Minima a maxima jednotlivých měřených charakteristik s konkrétní synoptickou situací – leden 2011

\*výskyt minima ve více dnech v měsíci, nelze určit jednu synoptickou situaci

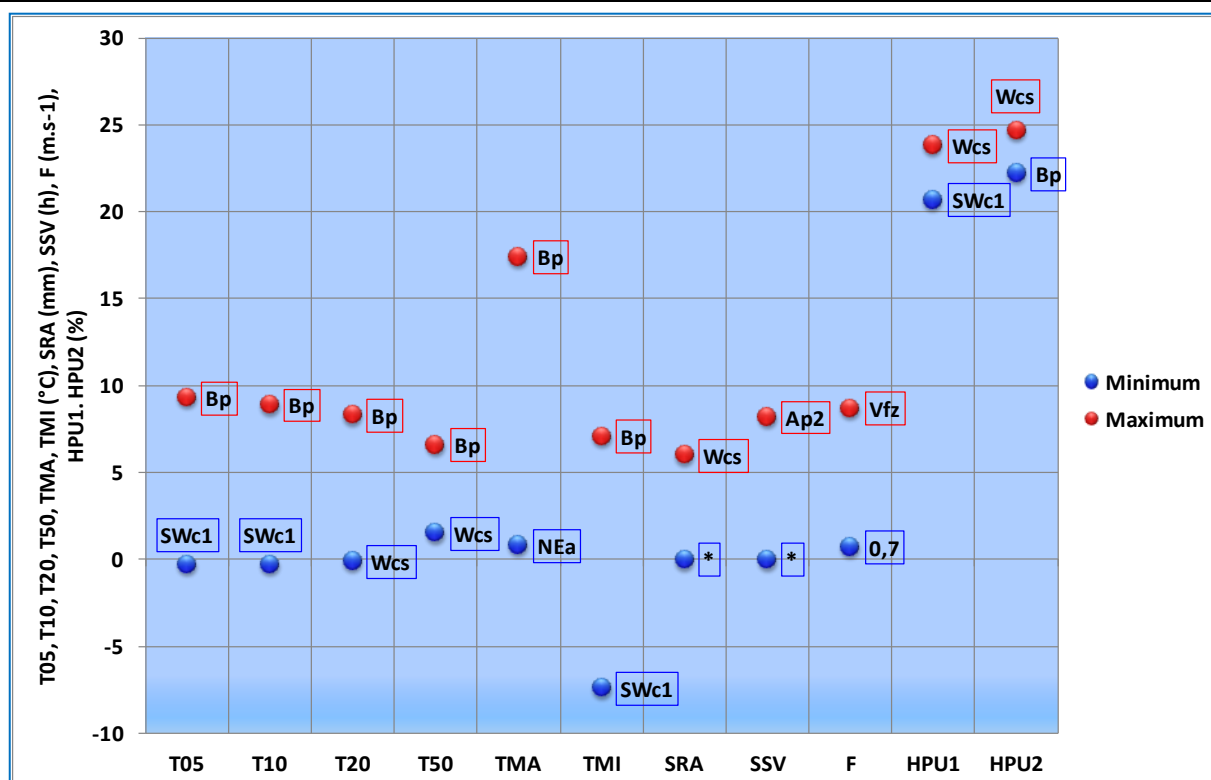


**Obr. 95** Průběh vlhkosti půdy v jednotlivých hloubkách v závislosti na synoptické situaci a úhrnu srážek s akcentem na měsíční maxima – leden 2011

### 5.3.1.6. Nejvyšší průměrná vlhkost půdy v březnu 2001

Tab. 31 Statistická analýza březen 2001

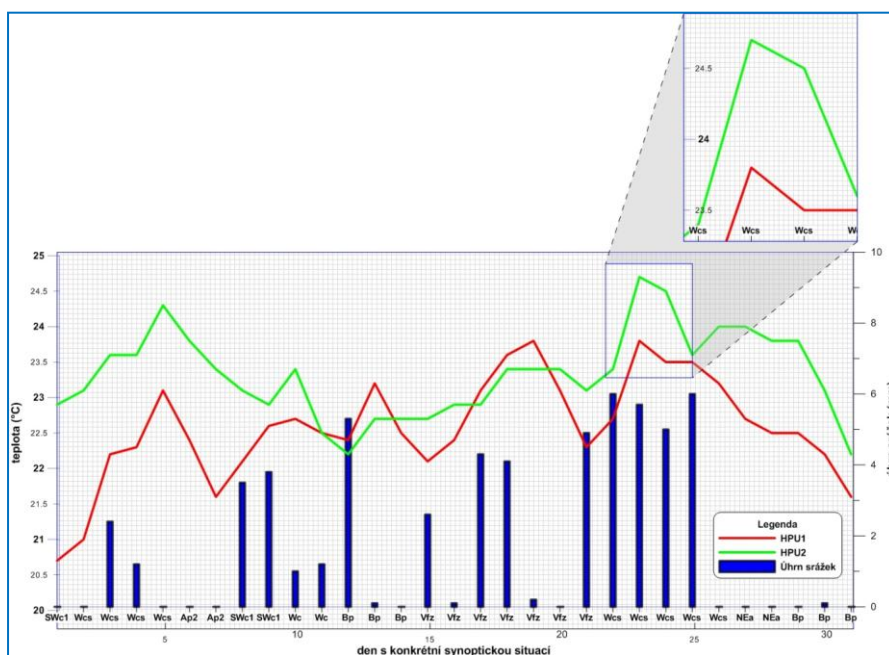
	T05	T10	T20	T50	TMA	TMI	SRA	SSV	F	HPU1	HPU2
<b>Průměr</b>	4,3	4,2	4,1	4,4	8,4	0,6	1,9	2,0	2,6	22,6	23,3
<b>Medián</b>	4,5	4,7	4,4	5,0	8,0	0,4	0,2	0,5	2,0	22,5	23,4
<b>Modus</b>	-0,2	4,7	3,5	1,5	8,2	-0,7	0,0	0,0	1,7	22,5	23,4
<b>Směr. odchylka</b>	2,9	2,8	2,6	1,8	4,6	3,5	2,3	2,6	1,8	0,7	0,6
<b>Rozptyl výběru</b>	8,6	7,9	7,0	3,4	21,0	12,4	5,1	6,7	3,1	0,5	0,4
<b>Rozdíl max-min</b>	9,6	9,2	8,4	5,1	16,6	14,5	6,0	8,2	8,0	3,1	2,5
<b>Minimum</b>	-0,3	-0,3	-0,1	1,5	0,8	-7,4	0,0	0,0	0,7	20,7	22,2
<b>Maximum</b>	9,3	8,9	8,3	6,6	17,4	7,1	6,0	8,2	8,7	23,8	24,7
absolutní měsíční maximum (2001 – 2011). 24,5 mm předchozí měsíc											



Obr. 96 Minima a maxima jednotlivých měřených charakteristik s konkrétní synoptickou situací – leden 2011

\* výskyt minima ve více dnech v měsíci, nelze určit jednu synoptickou situaci





**Obr. 97** Průběh vlhkosti půdy v jednotlivých hloubkách v závislosti na synoptické situaci a úhrnu srážek s akcentem na měsíční maximum – březen 2001

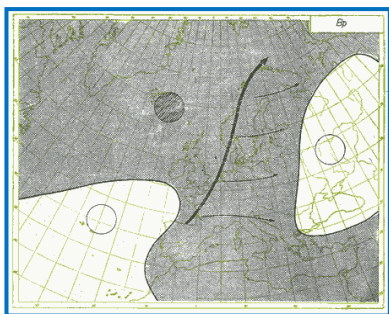
## 6. Diskuze

### 6.1. Analýza četnosti synoptických situací za období 2001 – 2011

Z celkové četnosti synoptických situací (obr. 62) za celé sledované období se nejvíce vyskytovalo těchto pět:

- **Bp – brázda putující přes střední Evropu**, která se vyskytla ve 423 dnech.

Situaci Bp charakterizuje cyklóna, která se rozkládá v oblasti Islandu. Vysoký tlak leží západně od Pyrenejského poloostrova a Biskajského zálivu a druhý nad evropskou částí Ruska. Mezi těmito anticyklónami postupuje brázda nízkého tlaku od západu k východu, přes střední Evropu. Na frontálním rozhraní, které leží v ose této brázdy, postupují od jihu k severu slabé frontální vlny. Vysoký tlak, který se rozprostírá nad oceánem, se rozšiřuje ke konci situace do střední Evropy. Přechod brázdy bývá rychlý. Největší zastoupení má v letním období, nejméně v zimě. V chladném pololetí není tato situace z hlediska množství srážek ani srážkové pravděpodobnosti příliš výrazná. Především vlivem závětrného stínu Krušných hor je pravděpodobnost srážkových dnů pod 30 % a úhrny srážek pod 1 mm, naopak je zřejmé zesílení srážek u většiny pohraničních hor. V letním pololetí patří situace z hlediska množství srážek k významnějším. Teplotně je situaci těžko vyjádřit, protože teplotní rozhraní mohou být v rámci ČR značná (Křivancová and Vavruška, 1997).

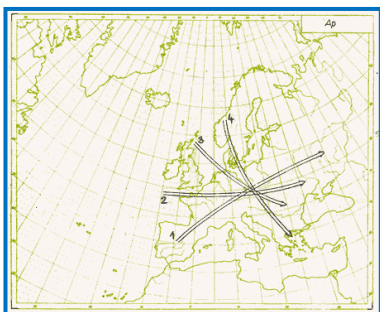


**Obr. 98** Bp – brázda putující přes střední Evropu

- **Ap – putující anticyklóna**, která se vyskytla ve 329 dnech.

Putující anticyklóna je typem přechodné situace. Je tvořena anticyklónami, vyjádřenými pouze v přízemním tlakovém poli, které se pohybují ve směru řídicího proudění přes střední Evropu. Přes malý počet případů je roční chod četnosti dobře vyjádřen maximem na podzim. Četnost výskytu situace Ap jako celku má výrazný roční chod se dvěma maximy v přechodných ročních dobách a s minimy v únoru a v červnu. Situace Ap, při kterých se nevytváří frontální oblačnost a ani se většinou nevytváří inverzní oblačnost, jsou v zimě velmi studené. Trvání situace v poměru k ostatním malá, v průměru 2 dny. Statistické rozložení

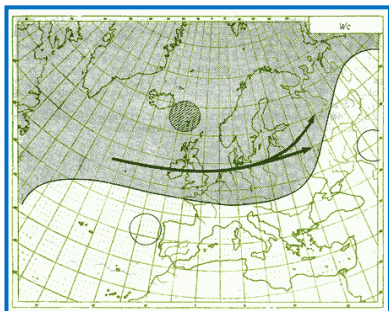
četnosti během roku je nerovnoměrné s tendencí větší četnosti na podzim (Křivancová and Vavruška, 1997).



Obr. 99 Ap – putující anticyklóna

- **Wc – západní cyklonální situace**, která se vyskytla ve 280 dnech,

Řídícími tlakovými jsou stacionární studená cyklóna v oblasti Islandu a Norského moře a teplá anticyklóna mezi Azorskými ostrovy a Španělskem. Fronty postupující od západu zasahují aktivně i naše území, kam proniká od západu vlhký oceánský vzduch od Atlantiku. Tlaková níže druhé skupiny není stacionární, ale pohyblivá a přesunuje z Islandu přes Norské moře do Skandinávie. Nejčastěji se situace vyskytuje v zimě a v létě (tzv. medardovská cirkulace). Případů se stacionární cyklónou je přibližně 60 %, s pohyblivou tlakovou níží 40 %. V létě jsou typické poměrně nízké denní teploty, v zimě naopak přináší spíše teploty kolem nuly se smíšenými srážkami a oblohou, na horách pak vydatné sněžení a mírné mrazy. Typický je výskyt vydatných srážek (Křivancová and Vavruška, 1997).

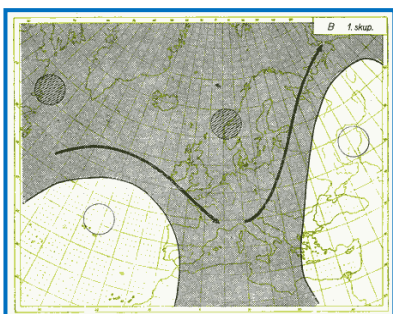


Obr. 100 Wc – západní cyklonální situace

- **B – brázda nízkého tlaku nad střední Evropou**, která se vyskytla ve 264 dnech.

Řídící cyklóna se nachází v oblasti západní Skandinávie, Norského a Severního moře. Z cyklóny vychází brázda, která zasahuje až nad Středozemní moře. Atlantická frontální zóna směřuje nad Biskajský záliv a v západní Evropě se rozpadá. Frontální vlny od jihu zasahují převážně Moravu. Nejčastěji se vyskytují v dubnu, květnu, v říjnu až prosinci, nejméně v srpnu. Ve střední Evropě dochází k teplotnímu kontrastu, který může být příčinou nebezpečných jevů, jako záplav v létě nebo sněhových kalamit v zimě. Průměrná červencová

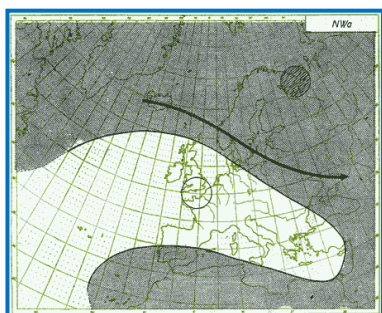
teplota je při této situaci u nás kolem 22 °C, průměrná minimální kolem 11 °C. V lednu je průměr maxim slabě pod nulou, průměr minim kolem -6 °C (Křivancová and Vavruška, 1997).



**Obr. 101 B** – brázda nízkého tlaku nad střední Evropou

- **NEc - severovýchodní cyklonální situace**, která se vyskytla ve 240 dnech.

Pro první skupinu NEc situací je charakteristické vysunutí hřebene vysokého tlaku ve výšce i při zemi od jihozápadu přes Britské ostrovy a Francii do oblastí Baltského štítu, kde se tvoří jádro vysokého tlaku. Při zemi proudí do střední Evropy od severu až severovýchodu studený vzduch. Kolem cyklóny ve vyšších hladinách většinou nad Balkánem, probíhá ve výšce příliv teplého vzduchu, který se projevuje ve střední Evropě trvalými srážkami. Do druhé skupiny s menší četností, patří situace, při kterých je při zemi i ve výšce anticyklóna v oblasti Britských ostrovů a Norského moře. Některé fronty postupují obloukem kolem výškové cyklóny nad Balkánem přes Bílou Rus a Polsko na naše území. Příliv teplého vzduchu ve výšce od severovýchodu nebývá tak silný a častý jako při situacích první skupiny. Příliv pevninského studeného vzduchu při zemi je však výrazný. Přináší k nám výrazně podprůměrné teploty – průměr maxim na vrcholu léta je mírně nad 20 °C. V zimě přináší velice nízké teploty. Průměr minimálních teplot druhé poloviny ledna je kolem -9 °C, průměr maximálních teplot kolem -4 °C. Situace NEc se tvoří nejčastěji uprostřed léta, nejmenší výskyt má na podzim a na začátku zimy (Křivancová and Vavruška, 1997).



**Obr. 102** NEc - severovýchodní cyklonální situace

## **6.2. Analýza četnosti synoptických situací v jednotlivých měsících**

V jednotlivých měsících leden až prosinec sledovaného období 2001 – 2011 bylo zastoupení jednotlivých synoptických situací dle očekávání různorodé (viz obr. 63 - 74).

V měsících - únoru, květen, červenec, srpen, říjen a prosinec nejčastěji převažovala situace, kdy brázdy putují přes střední Evropu (Bp). V měsících leden a březen se nejvíce vyskytovaly západní cyklonální situace (Wc). V dubnu dominovala co do počtu jihovýchodní anticyklonální situace (SEa). Západní anticyklonální situace (Wal) byla nejčetnější v červnu. Srpen ovládly dvě nejvíce se vyskytující situace - brázda putující přes střední Evropu (Bp) a západní anticyklonální situace (Wal), srpen byl zároveň jediným měsícem za sledované období, kdy se vyskytly všechny typy synoptických situací. Září a listopad bylo nejvíce ovlivňováno opět dvěma situacemi - brázdou nízkého tlaku nad střední Evropou (B) a brázdou putující přes střední Evropu (Bp).

## **6.3. Analýza teploty a vlhkosti půdy v období 2001 - 2011**

Průměrná roční teplota a vlhkost půdy prošly statistickým šetřením (tab. 12 až 22). Na obr. 75 a 76 je patrné, že hodnoty průměrné roční teploty půdy inklinují k pozvolnému růstu. Nejvyšší průměrné teploty půdy byly naměřené v roce 2011, kdy v hloubce 5 cm činil roční průměr 11,5 °C, v hloubce 10 cm a 20 cm se rovnal roční průměr 11,4 °C. V hloubce 50 cm byla nejvyšší roční průměrná teplota 11,2 °C v roce 2007. Nejnížší hodnoty průměrné roční teploty půdy byly obzvláště v roce 2004, kdy v hloubce 5 cm byl roční průměr 10,2 °C, v hloubce 10 cm potom činil roční průměr 10,1 °C a v hloubce 50 cm byl roční průměr 10,4 °C. Nejnížší teplota v hloubce 20 cm pak byla shodná v roce 2003 a 2004 a činila 10,2 °C. Nejvyšší průměrná roční vlhkost půdy byla naměřena v hloubce 1-10 cm v roce 2010, kdy dosáhla hodnoty 27,9 % a nejnižší průměrná roční vlhkost půdy byla 18,0 % v roce 2003 v téže hloubce. V hloubce 11-50 cm byla nejvyšší průměrná roční vlhkost 21 % v roce 2001 a naopak nejnižší byla 11,9 % v roce 2004.

## **6.4. Analýza měsíců s přítomným extrémem**

Ze statistického šetření byly nalezeny extrémy měsíční průměrné teploty a vlhkosti půdy (tab. 23, 24). Tyto měsíce s výskytem extrému byly podrobeny dalšímu šetření, kam byly zařazeny i další měřené meteorologické charakteristiky (tab. 26 – 31).

#### **6.4.1. Hodnocení ledna a února 2006**

Nejnižší průměrná měsíční teplota půdy připadá na leden 2006, kdy v hloubce 5 cm byla  $-3,1$  °C, v hloubce 10 cm byla  $-2,9$  °C a v hloubce 20 cm byla  $-2,4$  °C. Nejnižší hodnota v hloubce 50 cm byla  $-1,5$  °C až v únoru 2006. Proto byla zpracována datová analýza všech měřených charakteristik (tab. 26, 27) a grafický výstup (obr. 78 – 81) obou měsíců, jež by zachytily vliv měřených charakteristik a příslušné synoptické situace na změny teploty půdy v půdním profilu. Na konturovaném grafu (viz obr. 82, 83) je pak vidět teplotní kontrast mezi oběma měsíci. Z obr. 79 je dále patrné, že k vůbec k nejnižším teplotám v měsíci došlo v posledním týdnu, kdy převažovala jihovýchodní anticyklonální situace (SEa). Tedy situace, kdy vzduch nad střední Evropou zůstává suchý a velmi studený, což významně přispělo ke snižování teploty půdy.

#### **6.4.2. Hodnocení července 2006**

Nejvyšší hodnoty průměrné měsíční teploty půdy byly dosaženy v červenci 2006, kde se vyskytl extrém ve všech měřených hloubkách. V hloubce 5 cm byla průměrná měsíční teplota  $25,5$  °C, v hloubce 10 cm byla  $25,7$  °C, v hloubce 20 cm byla  $24,9$  °C a  $22,8$  °C pak v hloubce 50 cm. V červenci 2006 se vyskytla také vůbec nejnižší průměrná měsíční vlhkost půdy  $11,2$  % ve vrstvě 0-10 cm. Ze statistické analýzy pro měsíc červenec 2006 (tab. 28) vyplývá, že došlo i k dalším očekávaným nejvyšším průměrným měsíčním hodnotám – evaporace byla  $5,4$  mm, maximální teplota činila  $22,8$  °C a minimální teplota byla  $14,7$  °C. Čísla také dokazují, že měsíc byl bohatý na celkovou sumu slunečního svitu a zároveň chudý na úhrn srážek. Všechny tyto aspekty se potom odrazily i na grafech výsledné teploty a vlhkosti půdy. Absolutní minima a maxima u jednotlivých měřených charakteristik s výskytem konkrétní synoptické situace je znázorněn na obr. 84. Dále byl vytvořen graf, kde je zobrazen trend průběhu teploty půdy v jednotlivých hloubkách (obr. 85 a 86) se synoptickou situací přiřazenou ke každému dni v měsíci s akcentem na měsíční teplotní maximum, které nastalo v posledním týdnu měsíce v hloubkách 5 cm, 10 cm, 20 cm. Touto dobou se vyskytovala anticyklóna nad střední Evropou (A), která sebou přinesla teplé počasí, vysoký výpar a následné sucho. V hloubce 50 cm došlo k měsíčnímu teplotnímu maximu a v hloubce 0-10 cm k měsíčnímu minimu vlhkosti půdy až s denním opožděním, kdy se vyskytovala brázda postupující přes střední Evropu (Bp), která je však pro letní měsíce také typická. Na obrázcích 87 - 90 je zachycen trend průměrné teploty půdy ve srovnání s jejich denním maximem a minimem v konkrétních hloubkách, kde korelace denního průměru s denním maximem a minimem roste s hloubkou v profilu.

### **6.4.3. Hodnocení srpna 2004**

V srpnu 2004 byla nejnižší průměrná měsíční vlhkost půdy v profilu 11-50 cm vůbec a činila 7,4 %. Na obr. 93 s akcentem na absolutní měsíční minimum vlhkosti půdy, které nastalo ve druhém týdnu měsíce, převažovala jihovýchodní anticyklonální situace (SEa), která sebou přináší nadprůměrné teploty vzduchu a při dlouhodobějším výskytu sucha. Na grafu je také zřejmé, že úhrny srážek nebyly začátkem měsíce téměř žádné. Až nástup jihozápadní cyklonální situace č. 1 (SWc1) sebou přinesl srážky, které se projeví v nárůstu vlhkosti půdy. V měsíci srpen byl průměrný úhrn srážek pouze 1,8 mm. V polovině měsíce došlo sice k vyšším úhrnům srážek nicméně vysoké průměrné teploty vzduchu, vysoká evaporace, vysušená půda, nadprůměrný úhrn slunečního svitu způsobil, že se srážky projeví na vlhkosti půdy pouze ve vrstvě 0-10 cm (obr. 92).

### **6.4.4. Hodnocení ledna 2011**

K nejvyšší průměrné měsíční vlhkosti půdy ve vrstvě 0-10 cm bylo dosaženo v lednu 2011, kdy činila 33,4 %. Na obr. 94 je zřejmý účinek srážek na vlhkost půdy, zejména v povrchové vrstvě, kde je reakce markantnější než v případě střední vrstvy (11-50 cm). Na obrázku 95 je akcent na absolutní měsíční maximum vlhkosti půdy, které činilo 38 %, při výskytu jihozápadní cyklonální situace číslo 2 (SWc2), která se sebou přinesla četné srážky.

### **6.4.5. Hodnocení března 2001**

V březnu 2001 bylo dosaženo absolutního měsíčního maxima ve vrstvě 11-50 cm, kdy vlhkost dosáhla hodnoty 23,3 %. K této hodnotě přispěly i bohaté úhrny srážek z února 2001, které činily 24,5 mm. Nicméně na obr. 97 je zobrazen detail na absolutní měsíční maximum, které nastalo ve třetím týdnu měsíce, kdy se vyskytovala západní cyklonální situace s jižní dráhou (Wcs), která je typická svými vydatnými srážkami, které přináší do střední Evropy.



## 7. Závěr

Cílem diplomové práce byla analýza vlivu jednotlivých synoptických situací na variabilitu teploty a vlhkosti půdy. Všechny hypotézy, jak dokazují zjištěné a předložené analýzy databází denních dat v období 2001 až 2011 na agrometeorologické observatoři Doksany, byly potvrzeny. Výsledky lze shrnout:

- Absolutní měsíční minimum teploty půdy v hloubce: 5 cm:  $-3,1\text{ }^{\circ}\text{C}$ , 10 cm:  $-2,9\text{ }^{\circ}\text{C}$ , 10 cm:  $-2,4\text{ }^{\circ}\text{C}$  v lednu 2006. V nejhlubší vrstvě (50 cm) se nejnižší teplota projevila až v únoru, kdy činila  $-1,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ . K absolutním měsíčním minimum došlo při výskytu jihovýchodní anticyklonální situace (SEa).
- Absolutní měsíční maximum teploty půdy se vyskytlo ve všech sledovaných hloubkách:  $25,5\text{ }^{\circ}\text{C}$  (5 cm),  $25,7\text{ }^{\circ}\text{C}$  (10 cm),  $24,9\text{ }^{\circ}\text{C}$  (20 cm) a  $22,8\text{ }^{\circ}\text{C}$  (50 cm) v červenci 2006. K výskytu absolutního měsíčního maxima došlo hloubkách 5 cm, 10 cm, 20 cm za situace anticyklóny nad střední Evropou (A) a v hloubce 50 cm s denním opožděním při výskytu brázdy postupující přes střední Evropu (Bp).
- Amplituda maximální denní teploty půdy a minimální denní teploty klesá s hloubkou v půdním profilu.
- Absolutní měsíční minimum vlhkosti půdy  $11,2\text{ }%$  se vyskytlo ve vrstvě 0-10 cm. Tyto extrémy byly doprovázeny dalšími absolutními měsíčními maximy: evaporace byla  $5,4\text{ mm}$ ; maximální teplota  $22,8\text{ }^{\circ}\text{C}$ ; minimální teplota  $14,7\text{ }^{\circ}\text{C}$ . K absolutním extrémům v měsíci došlo při výskytu anticyklóny nad střední Evropou (A), pro kterou je typické teplé počasí.
- V srpnu 2004 bylo naměřeno absolutní měsíční minimum vlhkosti půdy  $7,4\text{ }%$  v hloubce 11-50 cm za jihovýchodní anticyklonální situace (SEa).
- Den s absolutním minimem vlhkosti půdy nastal při výskytu jihovýchodní anticyklonální situace (SEa), která při častějším výskytu přináší výrazné sucho.
- K nejvyšší měsíční průměrné vlhkosti půdy  $33,4\text{ }%$  došlo ve hloubce 0-10 cm v lednu 2001. Absolutní měsíční maximum bylo naměřeno při výskytu jihozápadní cyklonální situace č. 2 (SWc2), která se sebou přinesla četné srážky.
- Nejvyšší měsíční průměrná vlhkost půdy v hloubce 11-50 cm byla březnu 2001, kdy dosáhla hodnoty  $23,3\text{ }%$ . K této hodnotě přispěl bohatý měsíční úhrn srážek  $24,5\text{ mm}$  z minulého měsíce.
- Vliv srážek na vlhkost půdy je patrný zejména v hloubce 0-10 cm.

- Ve sledovaném období 2001 – 2011 je zřetelný pozvolný stoupající trend roční průměrné teploty půdy. Naopak v průběhu průměrné roční vlhkosti půdy není evidentní žádný jednostranný trend.
- Mezi statisticky nejvýznamnější měsíc patřil červenec 2006.
- Synoptická situace popisující cirkulaci vzduchu nad střední Evropou souhrnně vyjadřuje i vliv mnoha meteorologických prvků a charakteristik: maximální a minimální teplotu vzduchu, úhrn srážek, úhrn slunečního svitu, rychlost větru a evaporace, které určují proměnlivost teploty a vlhkosti půdy.
- Klasifikační systém povětrnostních situací používaný Českým hydrometeorologickým ústavem je relevantním nástrojem pro hodnocení variability teploty a vlhkosti půdy a je vhodný k vytváření teoretických modelů zahrnující tyto dva prvky.

## 8. Seznam literatury

ACCORD - Atmospheric Circulation Classification and Regional Downscaling - project [online]. European Union Project number ENV4-CT97-0530. [cit. 2013-10-02]. Dostupné z <<http://www.cru.uea.ac.uk/cru/projects/accord>>.

Bárdossy, A., Duckstein, L., Bogárdi, I. 1995. Fuzzy Rule Based Classification of Atmospheric Circulation Patterns. *International Journal of Climatology*. 15. 1087–1097.

Baur, F., Hess, P., Nagel, H. 1944. *Kalender der Grosswetterlagen Europas*. Bad Homburg. p. 1881–1939.

Blonquist, J.M. Jr., Jones, S.B., Robinson, D.A. 2005. A Time Domain Transmissometry Sensor with TDR Performance Characteristics. *Journal of Hydrology*. 314. 235-245.

Bonneau, M., Souchier, B. 1982. *Constituents and Properties of Soils*. Academic Press. New York, p. 496.

Bower, D., McGregor, G.R., Hannah, D.M., Sheridan, S.C. 2007. Development of a spatial synoptic classification scheme for western Europe. *International Journal of Climatology*. 27. 2017–2040.

Brádka, J., Dřevíkovský, A., Gregor, Z., Kolesár, J. 1961. *Počasí na území Čech a Moravy v typických povětrnostních situacích*. HMÚ. Praha. 32 s.

Brázdil, R., Štekl, J. 1986. *Cirkulační procesy a atmosférické srážky v ČSSR*. Univerzita J. E. Purkyně. Brno. 298 s.

Campbell C.S., Campbell G.S., Cobos D.R. 2004. Response of Low Cost Dielectric Moisture Sensor to Temperature Variation. *Eos Trans. American Geophysical Union*. 85(17). Jt. Assem. Suppl. Abstract NS44A-05.

Cawley, G. C., Dorling, S. R. 1996. Reproducing a subjective classification scheme for atmospheric circulation patterns over the United Kingdom using a neural network. *Proceedings of the International Conference on Artificial Neural Networks (ICANN-96)*. p. 281–286.

Dane, J.H., Topp, G.C. 2002. *Methods of Soil Analysis, Part 4 – Physical Methods*. Soil Science Society of America. Madison, p. 866. ISBN: 978-0891188414.

Davis, J.L., 1980. Electrical property measurements of sea ice in situ using a wide-band borehole radar and a time-domain reflectometer. *Proc. Int. Workshop Remote Estimation Sea Ice Thickness*. Newfoundland 80-5. 155–187.

Fellner-Feldegg, H., 1969. The measurement of dielectrics in the time domain. *Journal of Physical Chemistry*. 73. 616–623.

Friedman Shmulik, P. 2005. Soil properties influencing apparent electrical conductivity: a review. *Computers and Electronics in Agriculture*. 46. 45-70.

Glossary of Meteorology (2000), American Meteorological Society [online]. [cit. 2013-10-02]. Dostupné z <<http://amsglossary.allenpress.com/glossary>>

- Hess, P., Brezowsky, H. 1969. Katalog der Großwetterlagen Europas. Berichte des Deutschen Wetterdienstes 113. Offenbach a. Main. p. 39.
- Hignett, C., Evett, S. R. 2002. Methods of Soil Analysis Part 4 - Neutron Thermalization. Soil Science Society of America. Madison, p. 866. ISBN: 978-0891188414.
- Hillel, D. 1982. Introduction to soil physics. Academic Press. San Diego. p. 392. ISBN: 9780123485205.
- Huth, R. 2010. Synoptic-climatological applicability of circulation classifications from the COST733 collection. Physics and Chemistry of the Earth. 35. 388-394.
- James, P.M. 2006. An objective classification method for Hess and Brezowsky Grosswetterlagen over Europe. Theoretical and Applied Climatology. 88. 17-42
- Jenkinson, A. F., Collison, F. P. 1977. An initial climatology of gales over the North Sea. Synoptic Climatology Branch Memorandum, 62, Meteorological Office. Bracknell.
- Kalkstein, L.S., Nichols, M.C., Barthel, C.D., Greene, J.S. 1996. A new spatial synoptic classification: application to air-mass analysis. International Journal of Climatology. 16. 983-1004.
- Kešner, B. 1980. Agrometeorologie. SPN. Praha. 272 pp.
- Klabzuba, J. 2002. Bilance tepla na aktivním povrchu, teplota půdy, vzduchu a vody. PowerPrint. Praha. 46 s. ISBN 80-213-0778-1.
- Kolektiv ČHMÚ. 2003. Návod pro pozorovatele meteorologických stanic. Metodický předpis č. 13. Český hydrometeorologický ústav. Ostrava. 80 s.
- Kolektiv HMÚ. 1968. Katalog povětrnostních situací pro území ČSSR. HMÚ. Praha. 94 s.
- Kožnarová, V., Klabzuba, J. 2011. Teplota půdy jako významný faktor mikroklimatu porostu. Powerprint. Praha. s. 34-54. ISBN 978-80-213-2159-5.
- Kožnarová, V., Potop, V., Klabzuba, J., Türkott, L. 2008. Příspěvek ke studiu teplotních podmínek v půdě. Bioklimatologické aspekty hodnocení procesů v krajině, Mikulov 9. - 11.9.2008. ISBN 978-80-86690-55-1.
- Kožnarová, V., Klabzuba, J., Nekovář, J., Potop, V., 2009. Possible Uses of Weather Types for Microclimatic Studies of Radiation Conditions of the Vegetation. Slovenská bioklimatologická spoločnosť. Sborník - Sustainable Development and Bioclimate: 162-163.
- Křivancová, S., Vavruška, F. 1997. Základní meteorologické prvky v jednotlivých povětrnostních situacích na území České republiky v období 1961 - 1990. Národní klimatický program ČR, sv. 27. Český hydrometeorologický ústav. Praha. 114 s.
- Lamb, H. H. 1972. British Isles weather types and a register of daily sequence of circulation patterns, 1861-1971. Geophysical Memoir. 116. London. p. 85.

Linderson, M. L. 2001. Objective Classification of Atmospheric Circulation over Southern Scandinavia. *International Journal of Climatology*. 21. 155–169.

Kunic A.V. 1953. *Synoptická meteorologie*. Přírodovědné nakladatelství. 349 s.

Kutílek, M., Nielsen, D. 1996. *Soil hydrology*. Catena Verlag. Geoscience Publisher. p. 370.

Kutílek, M., Kuráž, V., Císlarová, M. 2004. *Hydropedologie 10*. ČVUT. 176 s. ISBN: 8001022374

Možný M., Bareš, D. 2005. Verifikace systému AMBER v ČR. Výpar a evapotranspirace (článek ve sborníku). *Čs. bioklima* 23 – 24. ISBN: 80-86690-24-5.

Možný, M., Bareš, D., Nosková, J. 2010. Využití sítě stanic s měřením půdní vlhkosti pro monitoring sucha. Bioklad, konference 7.-9. září, Praha.

Možný, M., Trnka, M., Žalud, Z., Hlavinka, P., Nekovář, J., Potop, V., Virág, M. 2011. Use of a soil moisture network for drought monitoring in the Czech Republic. *Theoretical and Applied Climatology*. 107. 99–111.

Noborio, K., McInnes, K.J., Heilman, J.L. 1994. Field measurements of soil electrical conductivity and water content by time-domain reflectometry. *Computers and Electronics in Agriculture*. 11. 131–142.

Péczely, Gy. 1957. *Grosswetterlagen in Ungarn*. Kleinere Veröffentlichungen der Zentralanstalt für Meteorologie. Budapest. 30. p. 86.

Prax, A., 2006. Pedologický průzkum a charakteristika půdních poměrů klimatologických stanic ČHMÚ. MZLU, Ústav půdoznalství a mikrobiologie. Brno. 82 s.

Seemann, J., Chirkov, Y. I., Lomas, J., Primault, B. 2012. *Agrometeorology*. Springer London. p. 340. ISBN 3642672906.

Sheridan, S. C. 2000. The redevelopment of an air mass classification scheme for North America, with applications to climate trends and teleconnections, Unpublished PhD thesis, University of Delaware. 205.

Sheridan, S.C. 2002. The redevelopment of a weather-type classification scheme for north america. *International Journal of Climatology*. 22. 51–68.

Skřehot, P. 2006. Naučte se číst ze synoptické mapy. Přepis stejnojmenné přednášky prezentované na semináři na Hvězdárně Mikuláše Koperníka. Brno, 5. listopadu 2005.

STARDEX. Statistical and Regional dynamical Downscaling of Extremes for European regions – project [online]. [cit. 2013-10-02]. Dostupné z <http://www.cru.uea.ac.uk/cru/projects/stardex>.

Stehlík, J., 2002. Objektivní klasifikace cirkulačních typů pro území České republiky. *Meteorologické Zprávy*. 55. 40-49.

Tolasz, R. 2007. *Atlas podnebí Česka*. Český hydrometeorologický ústav. Olomouc. 255 s. ISBN: 978-80-86690-26-1.

- Topp, G.C., Davis, J.L., Annan, A.P., 1980. Electromagnetic determination of soil water content: measurements in coaxial transmission lines. *Water Resources Research*. 16. 574–582.
- Virág, M., Možný, M., Nekovář, J., Trnka, M., Zalud., Hlavinka, P. 2009. Soil Moisture and Temperature Changes in the Czech Republic: In SituData. EMS Annual Meeting Abstracts. Vol. 6. EMS 2009-208.
- Walter, H., Lieth, H.1960. Klimadiagram Weltatlas. VEB Gustav Fisher Verlag. Jena. p. 506.
- Wilson, L. L., Lettenmaier, D. P., Skillingstad, E. 1992. A hierarchical stochastic model of large scale atmospheric circulation patterns and multiple station daily rainfall. *Journal of Geophysical Research*. 97. 2791–2809.
- Wu, J., Nofziger, D. L. 1999. Incorporating temperature effects on pesticide degradation into a management model. *Journal of Environmental Quality*. 28. 92-100.
- Yarnal, B. 1993. Synoptic Climatology in Environmental Analysis. Belhaven Press. London. ISBN: 1852931175.
- Yarnal, B., Comrie, A. C., Frakes, B., Brown, D. P. 2001. Developments and prospects in synoptic climatology. *International Journal of Climatology*. 21. 1923–1950.
- Zegelin, S.J., White, I., Kenkins, D.J., 1989. Improved field probes for soil water content and electrical conductivity measurement using time domain reflectometry. *Water Resources Research*. 25. 2367–2376.
- ZPA EKOREG. 2007. Informace pro uživatele snímače teploty Pt 100. Technický popis. Ústí nad Labem. 8 s.