

Měření půdní vlhkosti

RNDr. Tomáš Litschmann
firma AMET, Velké Bílovice

Odborná přednáška, Brno, 19. dubna 2010

Osnova

- Základní metody měření půdní vlhkosti
- Přístroje používané k měření
- Příklady využití naměřených půdních vlhkostí ve vědě a výzkumu
- Příklady využití naměřených půdních vlhkostí v zemědělské praxi

Vlhkost půdy

Voda se v půdě vyskytuje od prakticky zanedbatelného množství v suché půdě až po úplné zaplnění všech půdních pórů v mokré půdě, tj. při hodnotě plné vodní kapacity. Poměr množství vody k pevné fázi půdy je vyjádřen hodnotami hmotnostní nebo objemové vlhkosti.

Momentní vlhkost půdy, tj. její obsah v daném okamžiku je základní kvantitativní

charakteristikou vztahu půdy a vody. Je dána poměrem hmotnosti nebo objemu půdní vody k hmotnosti nebo objemu vysušené půdy.

Objemová vlhkost půdy:

poměr objemu vody k objemu vzorku půdy

$$\Theta = V_w / V_s$$

V_w – objem vody

V_s – objem vzorku půdy

Hmotnostní vlhkost půdy:

poměr hmotnosti vody k hmotnosti tuhé fáze půdy

$$w = m_w / m_z$$

m_w - hmotnost vody

m_z – hmotnost půdy o nulové vlhkosti. Prakticky se uvažuje půda vysušená při 105 °C

Vzájemný přepočet:

$$\Theta = w \cdot \rho_d / \rho_w$$

ρ_d - objemová hmotnost půdy

ρ_w – objemová hmotnost vody = 1

Sací tlak půdní vody

Na vodu v půdě působí různé síly v souhrnu označované jako matriční. Jsou podmíněny zvláštnostmi pórovitého prostředí půdy, tj. v podstatě přitažlivými silami mezi vodou a pevnými půdními částicemi (van der Waalsovy síly, vodíkové můstky, elektrostatické síly nabitého povrchu koloidů, kapilární meniskové síly aj.). Patří k nim i síly podmíněné volnými ionty v půdní vodě, hydrostatický tlak a tlak vzduchu atmosférického a uzavřeného v půdních pórech. Na vodu působí také síla tíže, její pohyb je omezován vnitřním třením půdního roztoku.

Rozměr sacího tlaku se udává v pascálech a jejich násobcích. Pro praktické účely je výhodné vyjadřovat sací tlak jako sací tlakovou výšku vodního sloupce (hst) v metrech nebo centimetrech.

Pro praktické účely lze přibližně uvažovat, že

$$S_m [1 \text{ hPa}] = \text{hst} [1 \text{ cm}]$$

Rozměr sací tlakové výšky v centimetrech je významný, poněvadž jeho prostřednictvím se tradičně vyjadřují tzv. p F h o d n o t y, pro něž platí

$$pF = \log_{10} \text{hst} [\text{cm}]$$

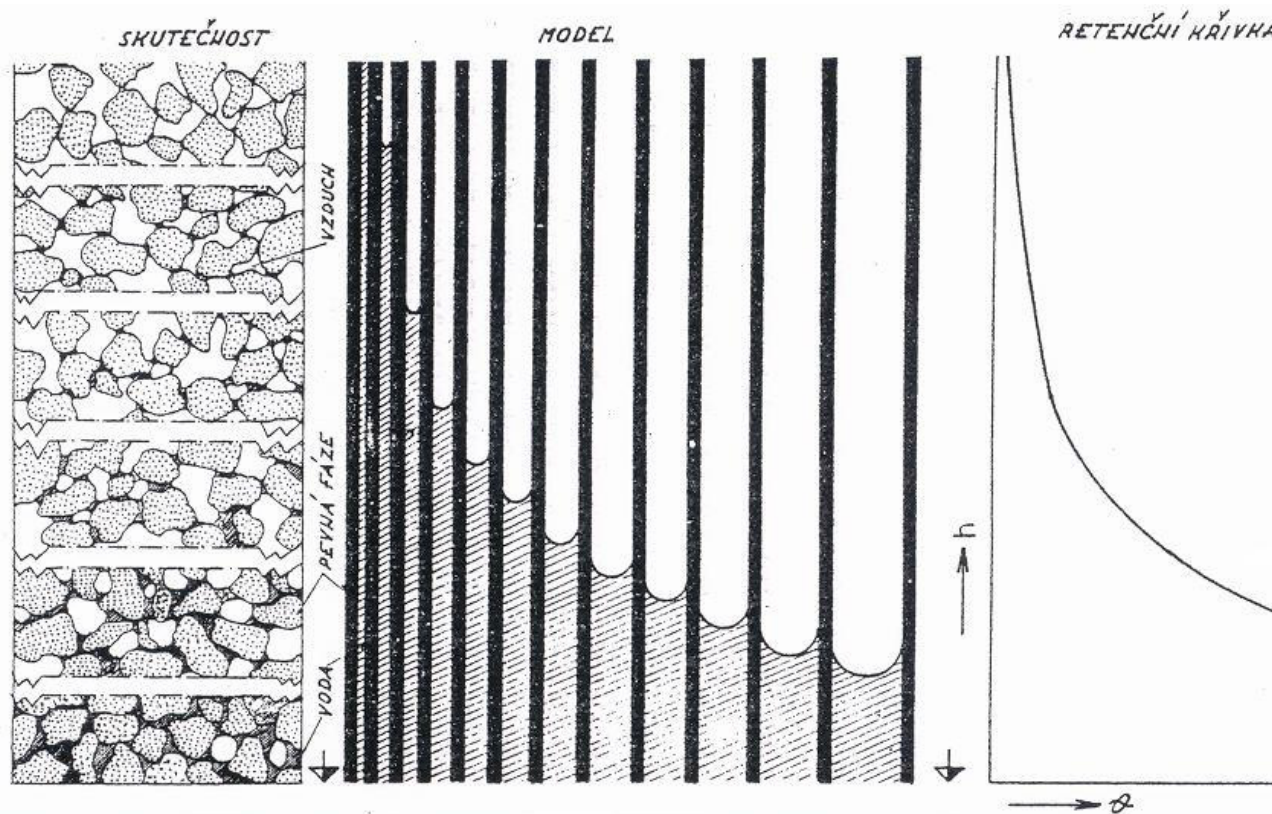
Pro praktické účely rovněž přibližně

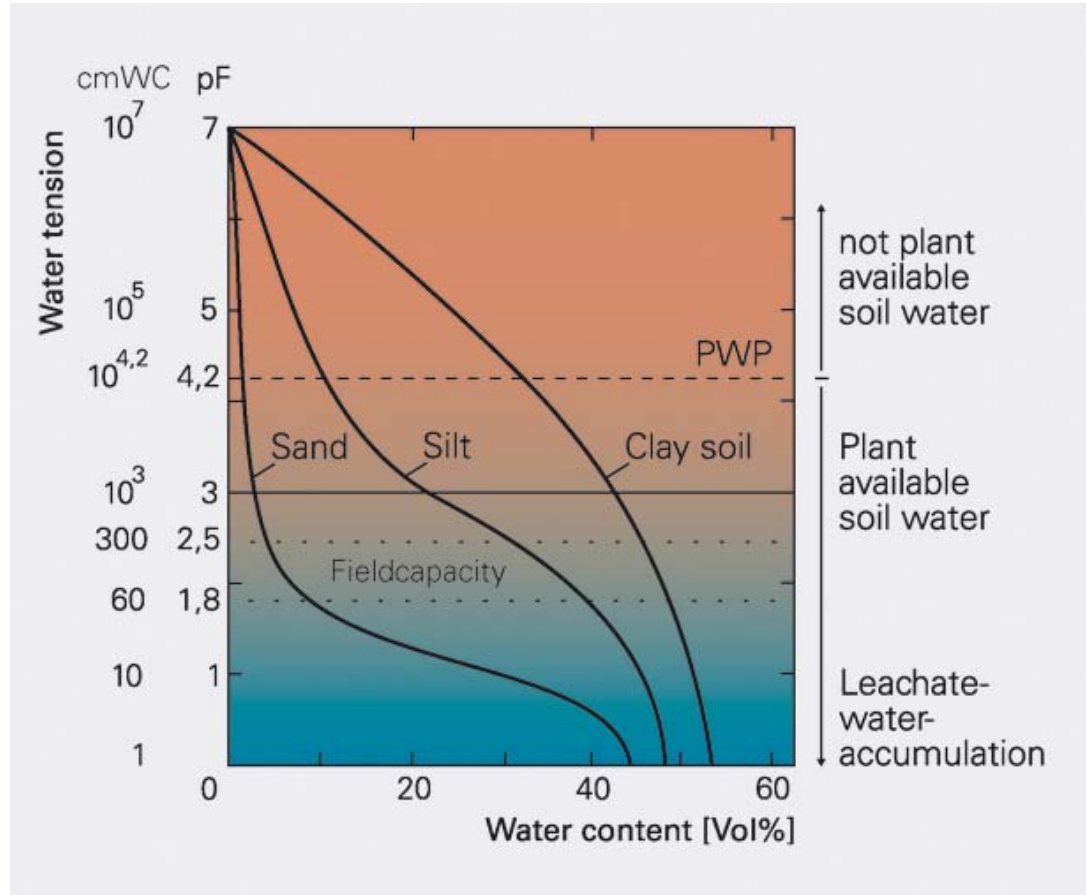
$$pF = \log_{10} S_m [\text{hPa}]$$

Logaritmického vyjadřování sacích tlakových výšek se používá pro jejich značné řádové rozdíly mezi maximálními a minimálními hodnotami.

Retenční čáry vlhkosti, (pF čáry)

Grafickým zobrazením vztahu mezi vlhkostí a sacím tlakem půdy je retenční čára vlhkosti.





Základní rozdělení metod měření půdní vlhkosti

- Laboratorní a polní
- Destruktivní a nedestruktivní (Pokud se pro stanovení půdní vlhkosti musí odebrat půdní vzorek, jedná se o metodu destruktivní. Při měření půdní vlhkosti bez narušení celistvosti půdního profilu jde o metodu nedestruktivní)
- Přímé a nepřímé (přímé – zjišťuje se skutečné množství vody v půdě, nepřímé, půdní vlhkost se odvozuje z vlastností objektů (čidel) umístěných v půdě, které jsou ovlivňovány půdní vlhkostí)

Principy měření půdní vlhkosti

Objemová vlhkost

Gravimetrický princip

Radioaktivní princip

Dielektrický princip

Neutronová sonda

Kapacitní metoda

TDR Time Domain Reflectometry

TDT Time Domain Transmission

Phase Transmission

Sací tlak

Tensiometry

Odporový princip

Sádrové bločky

GMS Granular Matrix Sensor

Měření sacího tlaku

Tensiometry

Tensiometr se skládá z porézního keramického tělíska, které musí být v dokonalém kontaktu s půdou, a plastové trubice naplněné vodou a na druhém konci opatřené snímačem podtlaku (mechanický anebo elektrický manometr). Keramické tělísko umožňuje hydraulické spojení mezi půdní vodou a manometrem. Obvyklý rozsah je 0 – 0,8 bar.



Výhody

- Možnost přímého odečtu
- Poloměr dosahu měření přibližně 10 cm
- Nevyžaduje elektrické napájení
- Vhodný pro časté měření a řízení závlahy
- Není ovlivněn půdní salinitou
- Lze připojit elektronický tlakoměr a provádět záznam hodnot
- Nízká cena

Nevýhody

- Omezený rozsah měření (<1 bar)
- Relativně pomalá doba odezvy
- Vyžaduje dokonalý kontakt keramického tělíska s okolní zeminou
- Zejména v bobtnavých a skeletovitých půdách je nebezpečí ztráty kontaktu a nutnosti přeinstalování
- Vyžaduje častější doplňování vody, zejména v teplejších dnech
- Na zimu je zapotřebí tenzometry demontovat

Odporová metoda

Vlhká půda je polovodivý nehomogenní materiál, jehož vodivost vzrůstá se zvětšováním vlhkosti

Charakteristický průběh závislosti měrné elektrické vodivosti γ na vlhkosti ω za konstantní teploty lze vyjádřit vztahem:

$$\gamma = a \omega^b$$

Závislost vodivosti na teplotě lze popsat rovnicí:

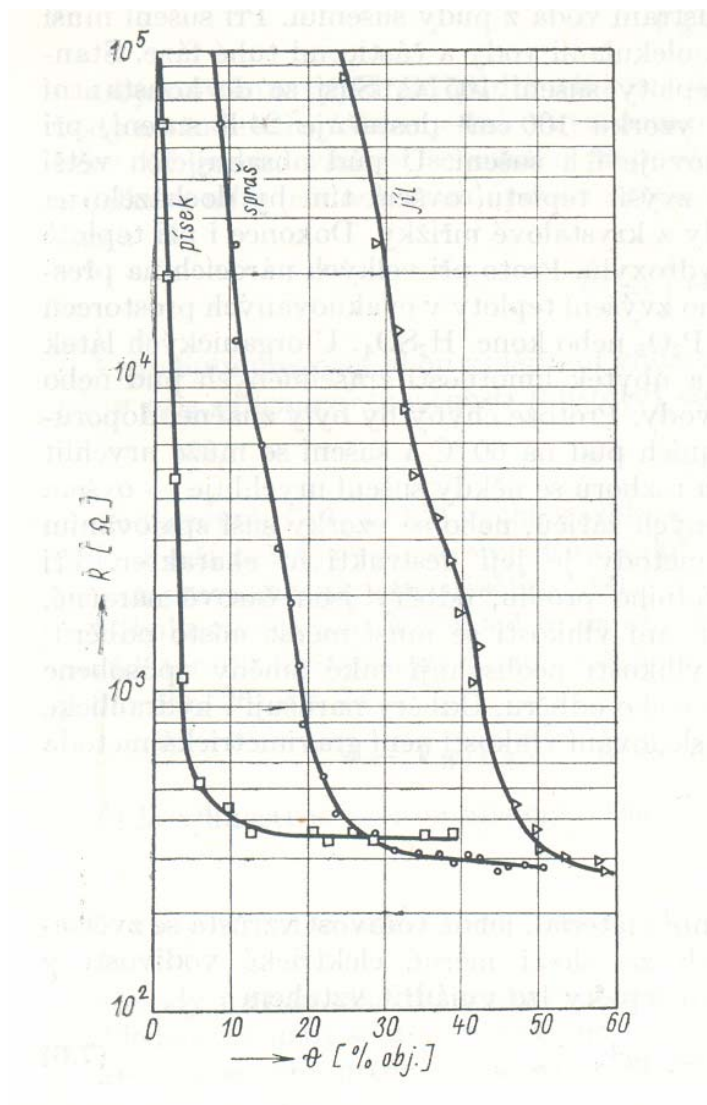
$$\gamma = \gamma_0 \exp(\alpha T)$$

γ_0 - měrná vodivost při teplotě 0 °C

α – koeficient teplotní změny měrné vodivosti

T – teplota °C

Změna teploty o 1 °C má na měření stejný vliv jako změna vlhkosti o 1 %



Příklad kalibračních čar pro
odporové měření vlhkosti půdy
(podle Kutílka)

Sádrové bločky

Sádrové bločky jsou tvořeny kovovými elektrodami buď tyčového tvaru anebo ve tvaru mřížky, zalité do sádry. Kolem elektrod se vytváří nasycený roztok síranu vápenatého, který vytváří elektrolyt. Odpor mezi elektrodami se měří malými střídavými proudy, aby nedošlo k polarizaci elektrod. Nelze měřit při vyšších vlhkostech, umožňuje měřit 0,3 – 2,0 bar)

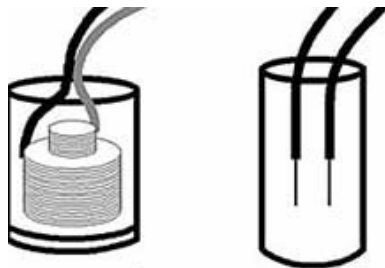


Fig 1. Internal arrangement of electrodes in cylindrical gypsum blocks showing concentric electrodes (left) and parallel bare soldered wire electrodes (right).



Výhody

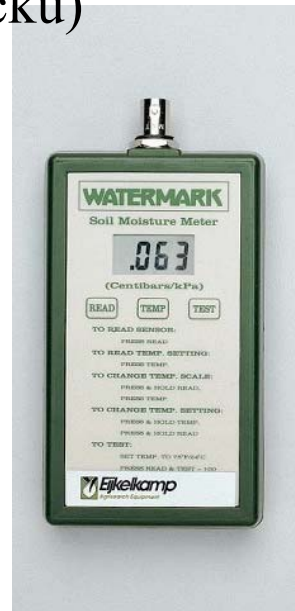
- Nevyžaduje údržbu
- Jednoduchý a levný
- Vhodný do zasolených půd až do 6 dSm
- Vhodný pro řízení závlah, kde jsou vyžadovány pouze stavy „sucho – vlhko“

Nevýhody

- Nízké rozlišení, limitující při výzkumných aktivitách
- Nevhodný pro měření při stavech blízkých nasycení
- Změna vlastností s časem vlivem kontaminace jílovitými částicemi a rozpadem materiálu snímače
- Dlouhá doba odezvy, není proto vhodný do písčitých půd s rychlými změnami vlhkosti
- Výrazná teplotní závislost
- Není vhodný do bobtnavých půd
- K hysterezi půdy se přidává ještě hystereze sádrového bločku, při stejném sadím tlaku ukazují rozdílné hodnoty v závislosti na tom, jedná-li se o vysušování anebo zvlhčování.

GMS - Granular Matrix Sensor

Jedná se o obdobu sádrového bločku, vylepšeného tím, že elektrody jsou umístěny v křemenném porézním materiálu potaženém syntetickou membránou a kovovým perforovaným pouzdem. Vnitřek porézního tělíska je vyplněn sádrou. Použití křemenného materiálu hrubší struktury umožňuje měřit i sací tlaky při vlhčí půdě (0,1 – 2,0 bar). Většina výhod a nevýhod je stejná jako u sádrových bločků)



Měření objemové vlhkosti

Gravimetrická metoda

- Standardní postup, se kterým se srovnávají jiné metody a užívá se pro kalibraci nepřímých metod
- Vzorek se vysušuje při teplotě 105 °C po dobu 24 h, při vysokém obsahu organických látek se musí vysušovat při nižší teplotě
- Nevýhodou je destruktivní charakter, při odběru dochází k porušení půdního profilu.
- Pro dlouhodobé sledování není gravimetrická metoda vhodná

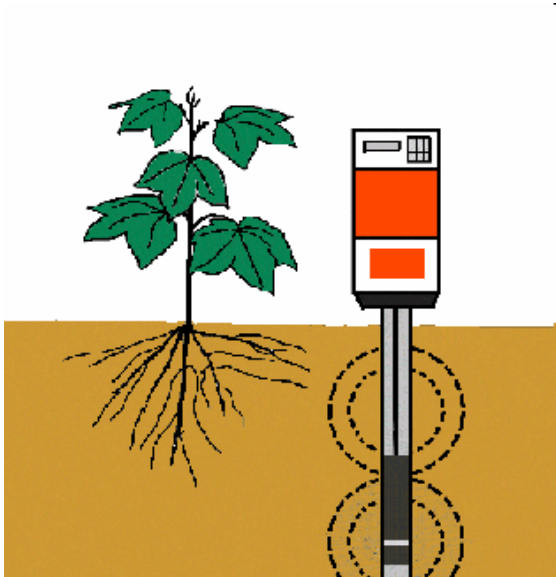




Neutronová sonda (neutron probe)

Při interakci rychlých neutronů s jádry atomů malých atomových hmot dochází ke zpomalování těchto rychlých neutronů (termalizaci neutronů). Nejsilnějším moderátorem jsou atomy vodíku. Moderační účinnost půdy závisí především na obsahu vody. Zpomalené neutrony vytvářejí „oblak“ kolem zdroje zhruba kulového tvaru. Čím je větší vlhkost půdy, tím dříve se rychlý neutron zpomalí a poloměr koule termalizovaných neutronů je malý, naopak u suché půdy je poloměr velký.

Část termalizovaných neutronů se vrací zpět k sondě, kde se počítají detektorem.



Výhody:

- Stálost a přesnost
- Jedna sonda umožňuje měřit v různých hloubkách
- Měření půdní vlhkosti v přibližně kulovém tvaru o poloměru 10 – 40 cm
- Výsledek není ovlivněn salinitou půdy
- Stabilní kalibrace pro danou půdu

Nevýhody

- Bezpečnostní riziko, sondu mohou obsluhovat jenom speciálně vyškolení pracovníci
- Je zapotřebí kalibrace pro každou půdu
- Poměrně velký, těžkopádný přístroj
- Nemožnost kontinuálního měření
- Měření v blízkosti povrchu půdy (cca 20 cm) jsou zkreslená
- Poměrně vysoké pořizovací náklady
- Dosah měření závisí na půdní vlhkosti

Kapacitní metoda

Umístíme-li vlhkou půdu do slabého proměnného elektrického pole, můžeme ji charakterizovat relativní permitivitou ϵ

Jako **relativní permitivita** (dříve **dielektrická konstanta**) se označuje podíl permitivity daného materiálu a permitivity vakua

Relativní permitivita je látková konstanta, která vyjadřuje, kolikrát se zvětší kapacita kondenzátoru, umístí-li se mezi elektrody dielektrikum.

Její hodnota závisí na vlastnostech daného materiálu - jde tedy o materiálovou konstantu. Relativní permitivita je bezrozměrná veličina.

Vzhledem k tomu, že ϵ tuhé fáze (částiček zeminy) má řádovou hodnotu jednotek, ϵ vzduchu je cca 1 a ϵ vody kolem 81, bude množství vody v půdě ovlivňovat značně výslednou hodnotu ϵ vlhké půdy. Kapacita kondenzátoru – půdy umístěné mezi dvěma elektrodami – tedy závisí především na vlhkosti půdy.

Kapacitní sondy se skládají ze dvou anebo více elektrod většinou válcového tvaru, popřípadě i tyčí, umístěných přímo v půdě anebo v pažnici. Vyžadují obvykle kalibraci pro danou půdu.



Výhody

- Po kalibraci na danou půdu poměrně vysoká přesnost
- Variabilita prostorového uspořádání elektrod, umožňuje měřit současně ve více hloubkách
- Vhodné i do zasolenějších půd
- Možnost trvalého monitorování anebo řízení závlahy
- Nižší pořizovací náklady než TDR

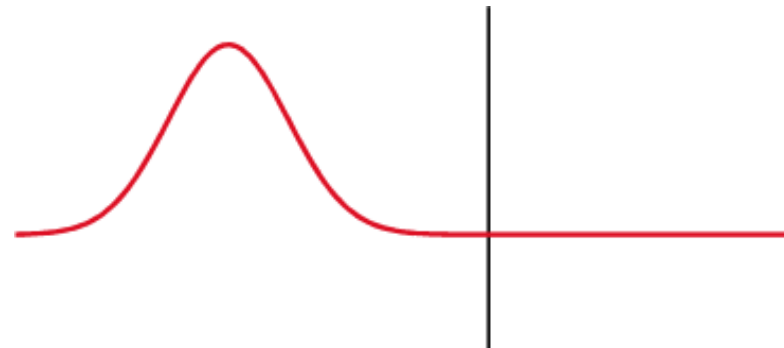
Nevýhody

- Malý objem měřené zeminy
- Vyžaduje dokonalý kontakt mezi zeminou a snímačem, popřípadě pažnicí
- Vyšší citlivost na teplotu, obsah jílovitých částic, vzdušné kapsy než TDR
- Vyžaduje kalibraci pro danou půdu

TDR (Time Domain Reflectometry) – metoda pulsní reflektometrie

Metoda TDR, která byla původně vyvinuta k detekci a lokalizaci poruch kabelů, je od konce sedmdesátých let minulého století používána k měření půdní vlhkosti v polních podmínkách. Princip metody spočívá v určení permitivity prostředí pomocí měření rychlosti šíření vysokofrekvenčního elektromagnetického impulsu. Zjištěná permitivita je přepočítána na půdní vlhkost pomocí empiricky stanovených vzorců. Tyto vztahy jsou nejpřesnější pro písčité půdy, se vzrůstajícím podílem jílovitých částic přesnost klesá. Hloubkový dosah metody je totožný s délkou použitých elektrod.

Elektronika snímače produkuje vysokofrekvenční pulsy elektromagnetického vlnění (0,02 – 3 GHz) které se šíří podél dvou až tří zářičů, na jejich konci se částečně odráží zpět





Výhody

- Vysoká přesnost
- Většinou nevyžaduje kalibraci pro danou půdu
- Minimální narušení půdy při instalaci
- Možnost ambulantních měření
- Nižší citlivost na běžné zasolení
- Umožňuje současně měřit i elektrickou vodivost půdy

Nevýhody

- Vyšší pořizovací cena
- Omezené možnosti použití v silně zasolených půdách a v půdách s vysokou el. vodivostí
- Nižší měřený objem půdy, cca o poloměru 3 – 4 cm podél elektrod

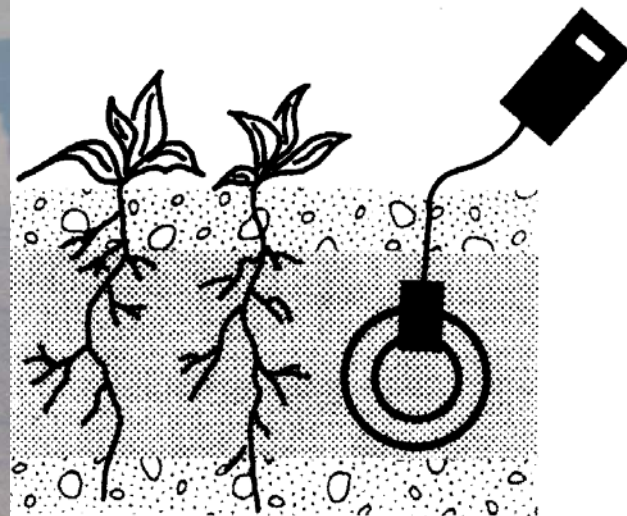
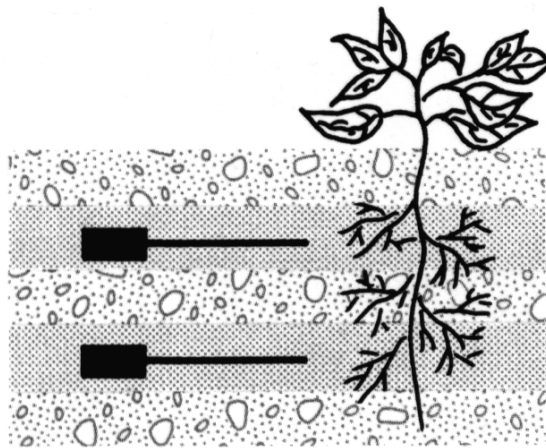
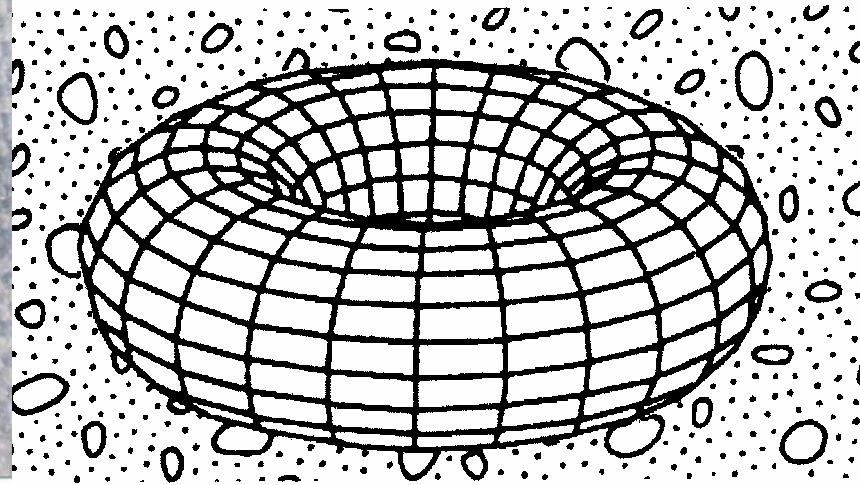
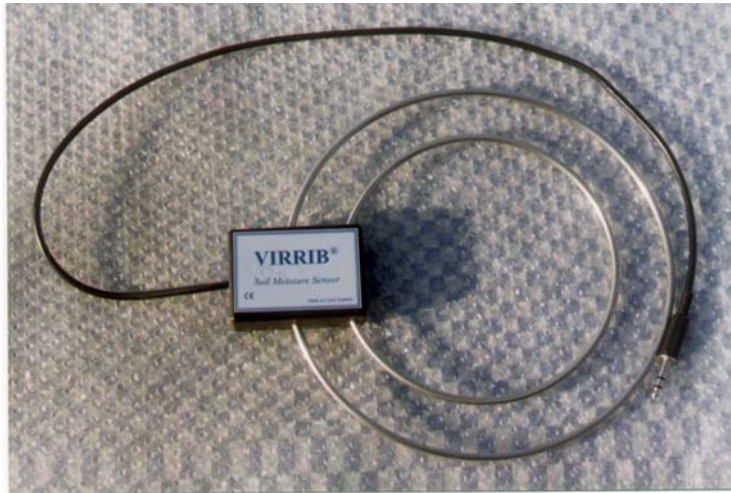
TDT (Time Domain Transmission)

Obdobná metoda jako TDR, rozdíl je v tom, že vlna se neodráží na konci zářiče zpět, ale po vyslání pulsu je na tomto konci přijata a zjištěn fázový posun. Proto nemůžou mít snímače využívající této metody hrotovité elektrody. Tvoří přechodovou skupinu mezi TDR a Phase Transmission metodou.

Fázový posun (Phase Transmission)

Při průchodu elektromagnetické vlny po dané dráze dochází k jejímu fázovému posunu oproti vysílanému signálu. Velikost fázového posunu závisí na dráze, po které se šíří, frekvenci a rychlosti šíření. Rychlost šíření je v nepřímé závislosti na relativní permitivitě prostředí, v půdním prostředí je velikost permitivity ovlivněná nejvíce obsahem vody

Při konstantní frekvenci a délce zářičů je tudíž fázový posun závislý na obsahu vody v půdě.



Výhody

- Poměrně vysoká přesnost při použití kalibrace pro danou půdu
- Velký objem měřené zeminy (20 – 25 l)
- Může být připojen k různým registračním a řídicím jednotkám
- Nízká cena

Nevýhody

- Porušení přirozeného půdního profilu při instalaci
- Vyžaduje kalibraci pro danou půdu
- Citlivost na zasolení > 3 dS/m
- Pouze pro trvalé sledování

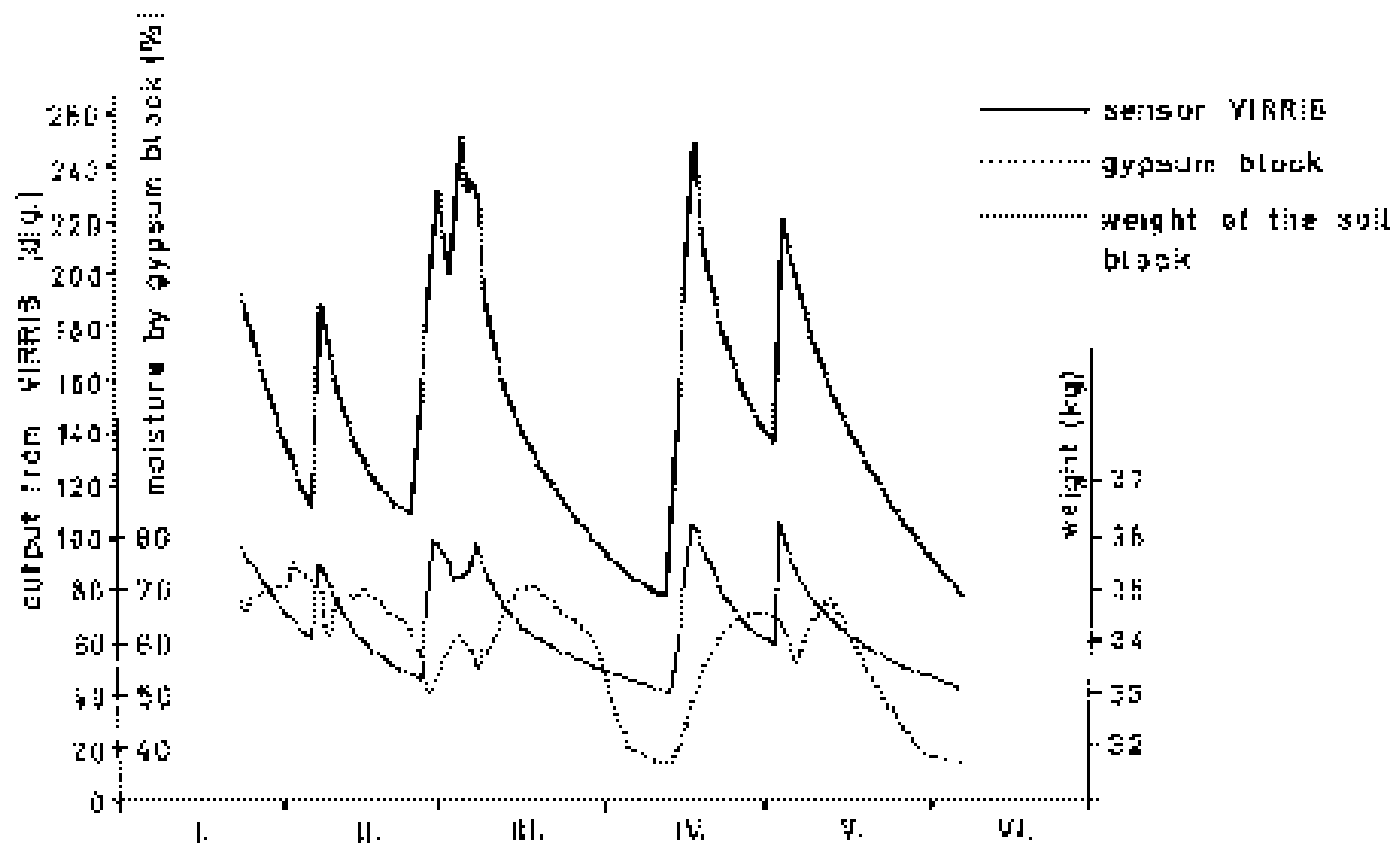
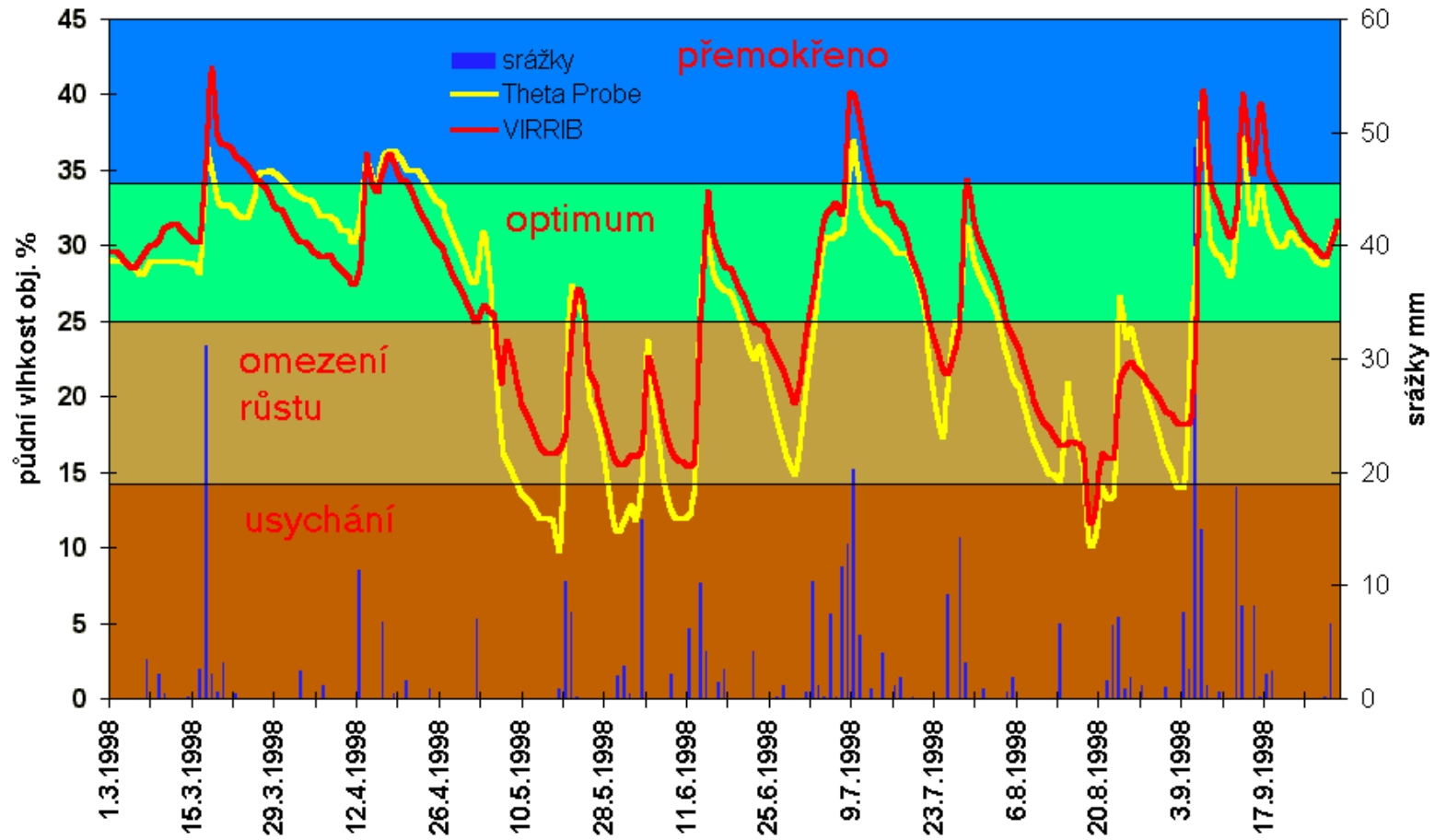


Figure 1. Relationship between the output from VIRRIE versus time (months)

**Porovnání měření půdních vlhkostí měřených snímači Theta Probe a
VIRRIB
(měřeno stanicí ADCON v Klosterneuburgu - Rakousko)**



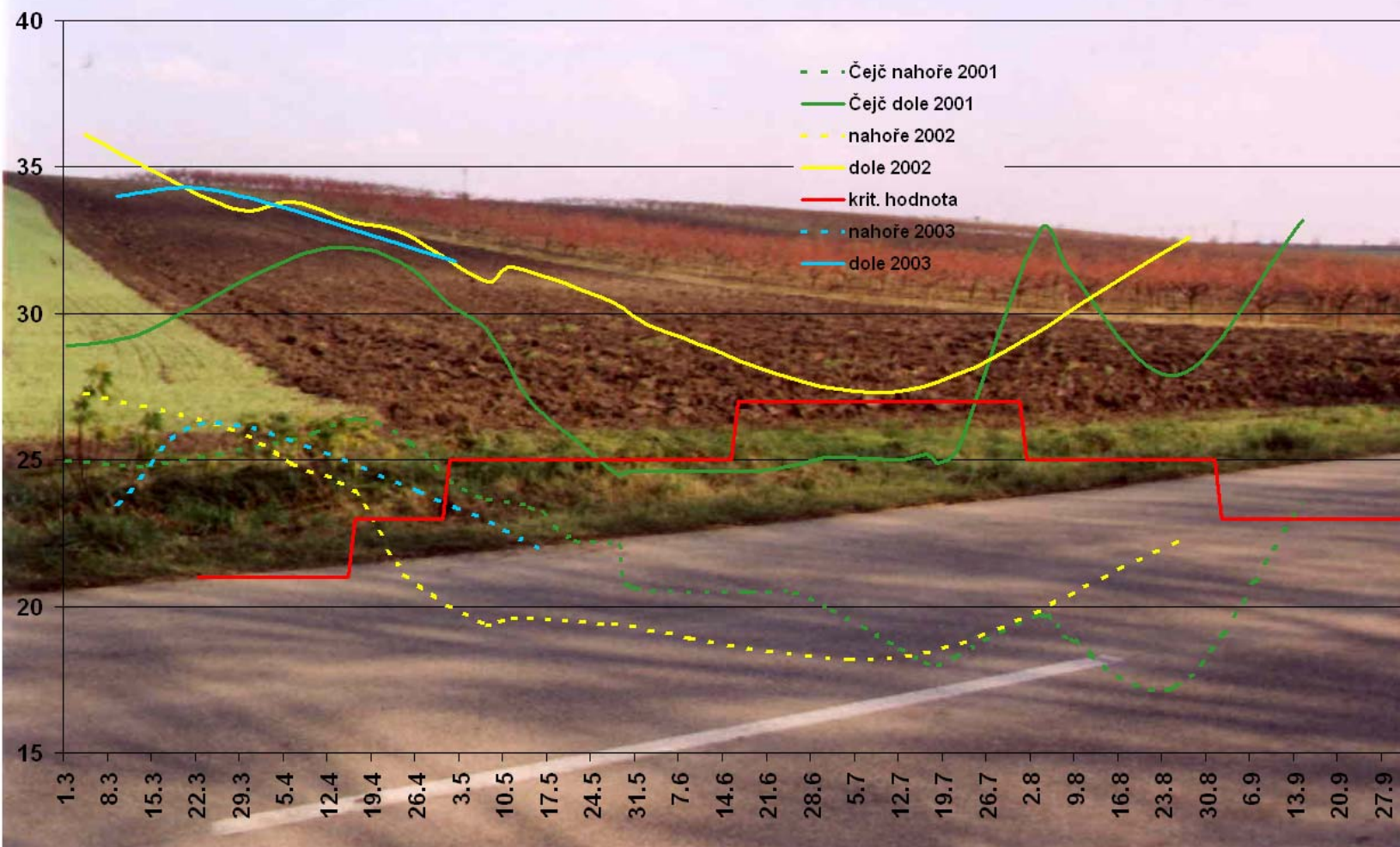


Praktické aplikace – k čemu je měření vlhkosti půdy dobré

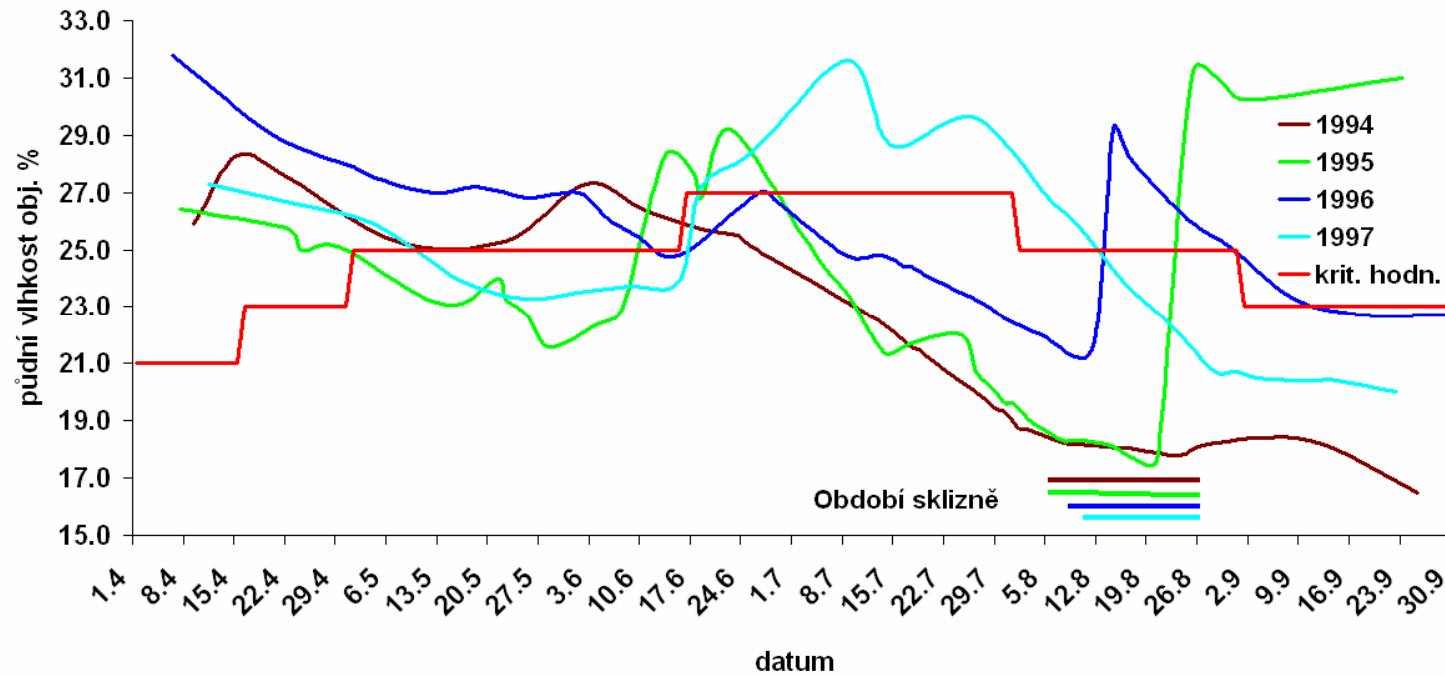
- Monitorování půdní vlhkosti (pokusy, výzkumy, dlouhodobý režim)
- Ověřování modelů na simulaci půdních vlhkostí
- Zjišťování anomálií v chodu půdních vlhkostí
- Řízení závlah

Monitorování půdní vlhkosti (pokusy, výzkumy, dlouhodobý režim)

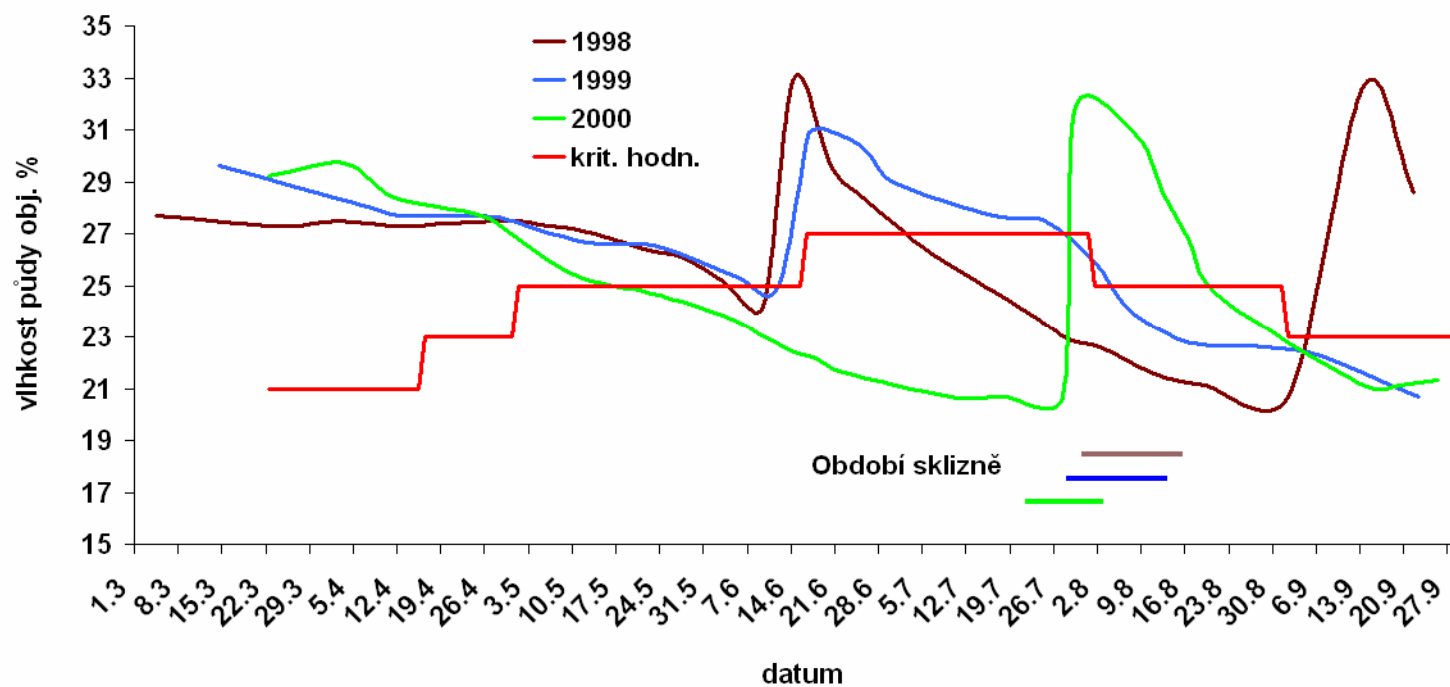
Porovnání chodu půdních vlhkostí v broskvoních v Čejči



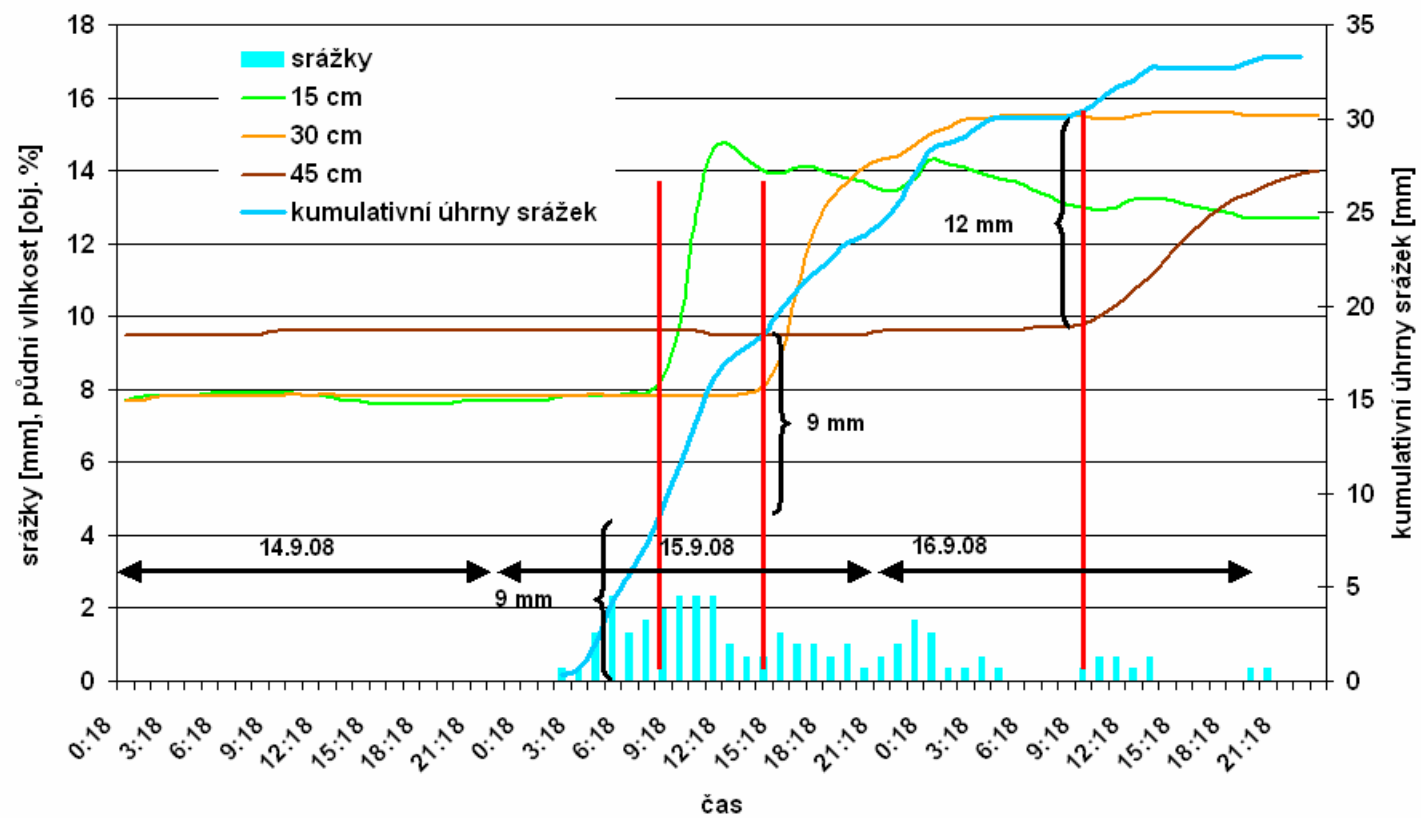
Průběh půdních vlhkostí pod broskvoněmi v hloubce 30 cm v letech 1994-1997



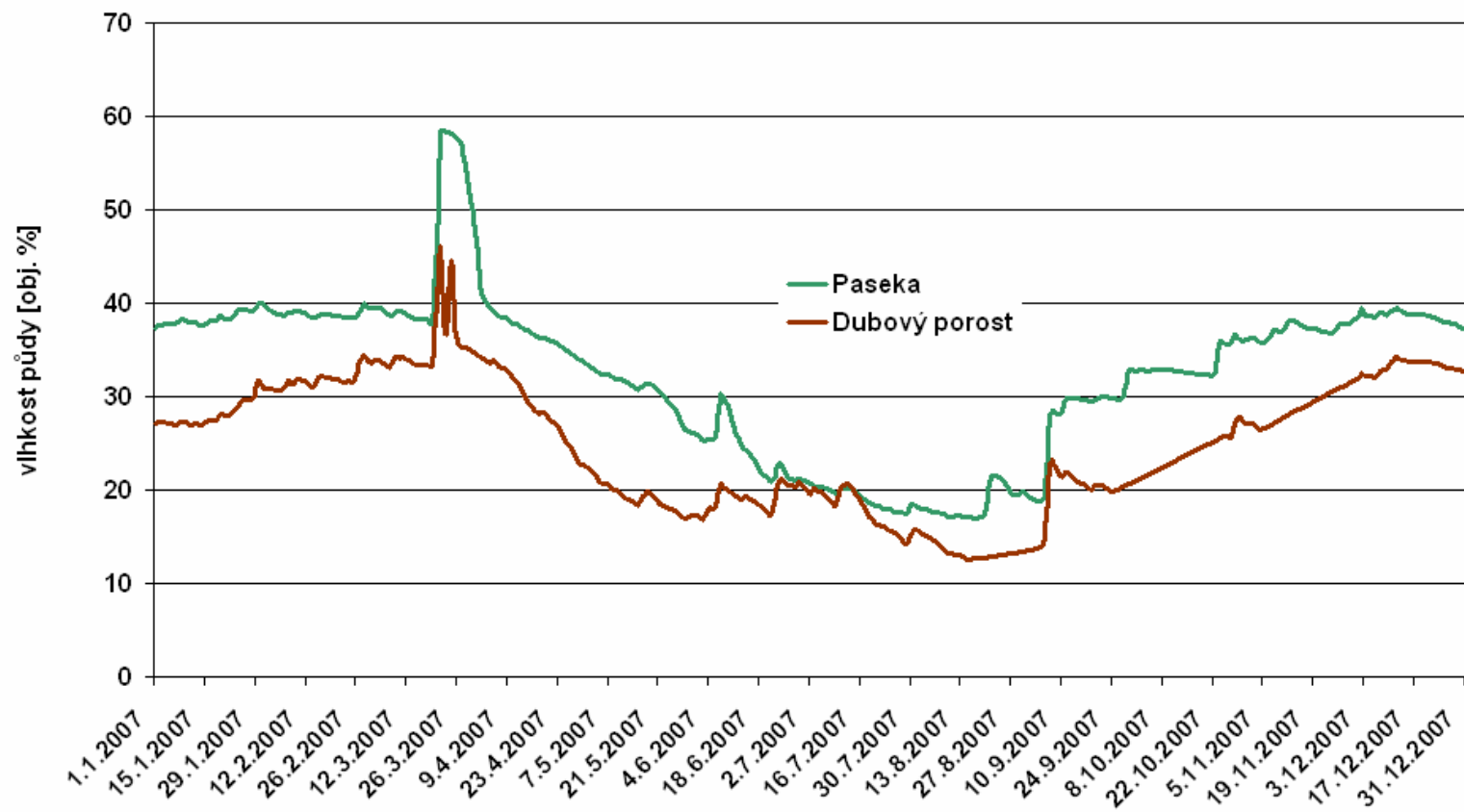
Průběh půdních vlhkostí pod broskvoněmi v hloubce 30 cm v letech 1998-2000



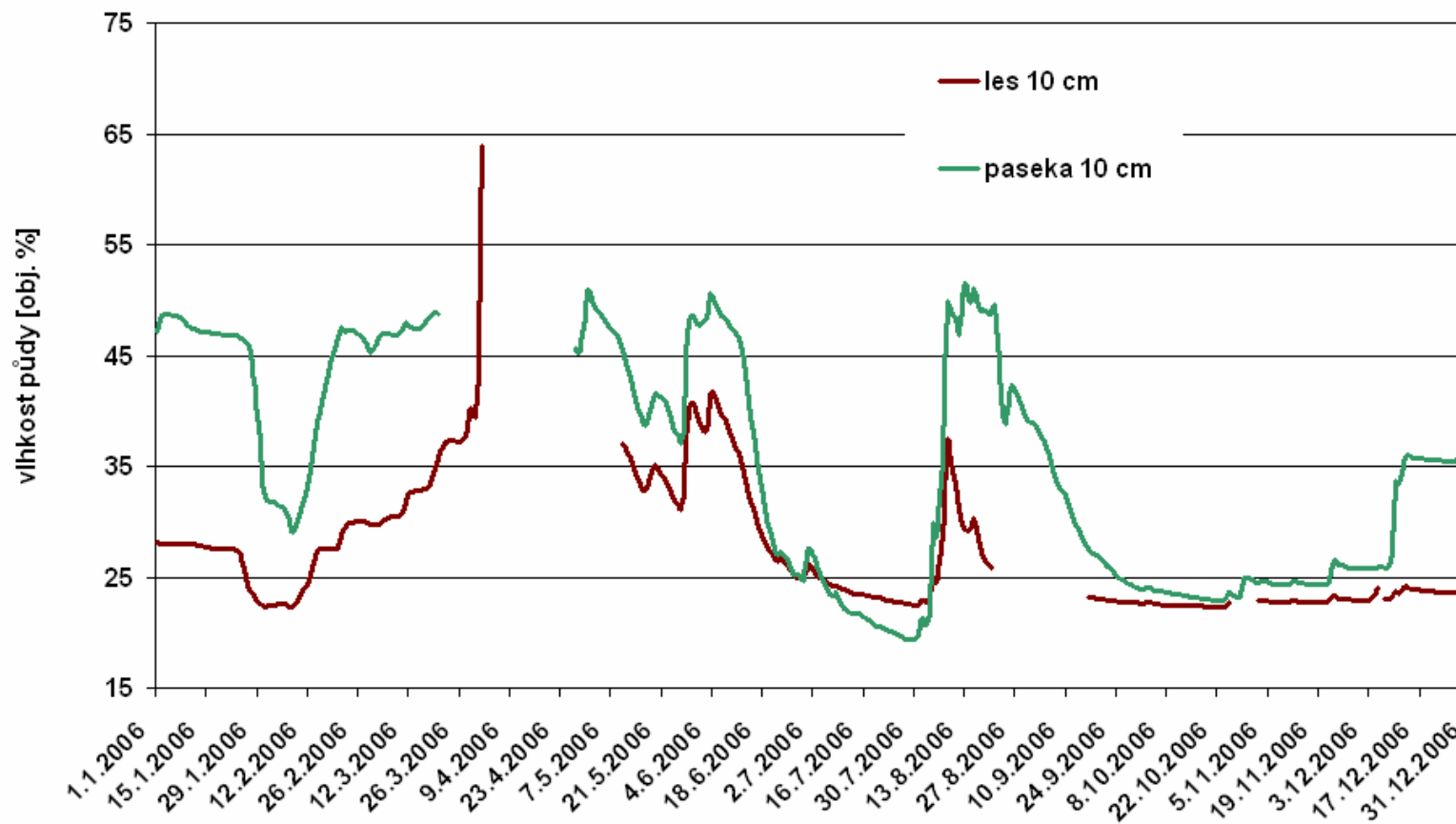
Průběh půdních vlhkostí a srážek ve dnech 14. - 16. 9. 2008



Průběh vlhkostí půdy na pasece a v lese u Židlochovic v hloubce 30 cm

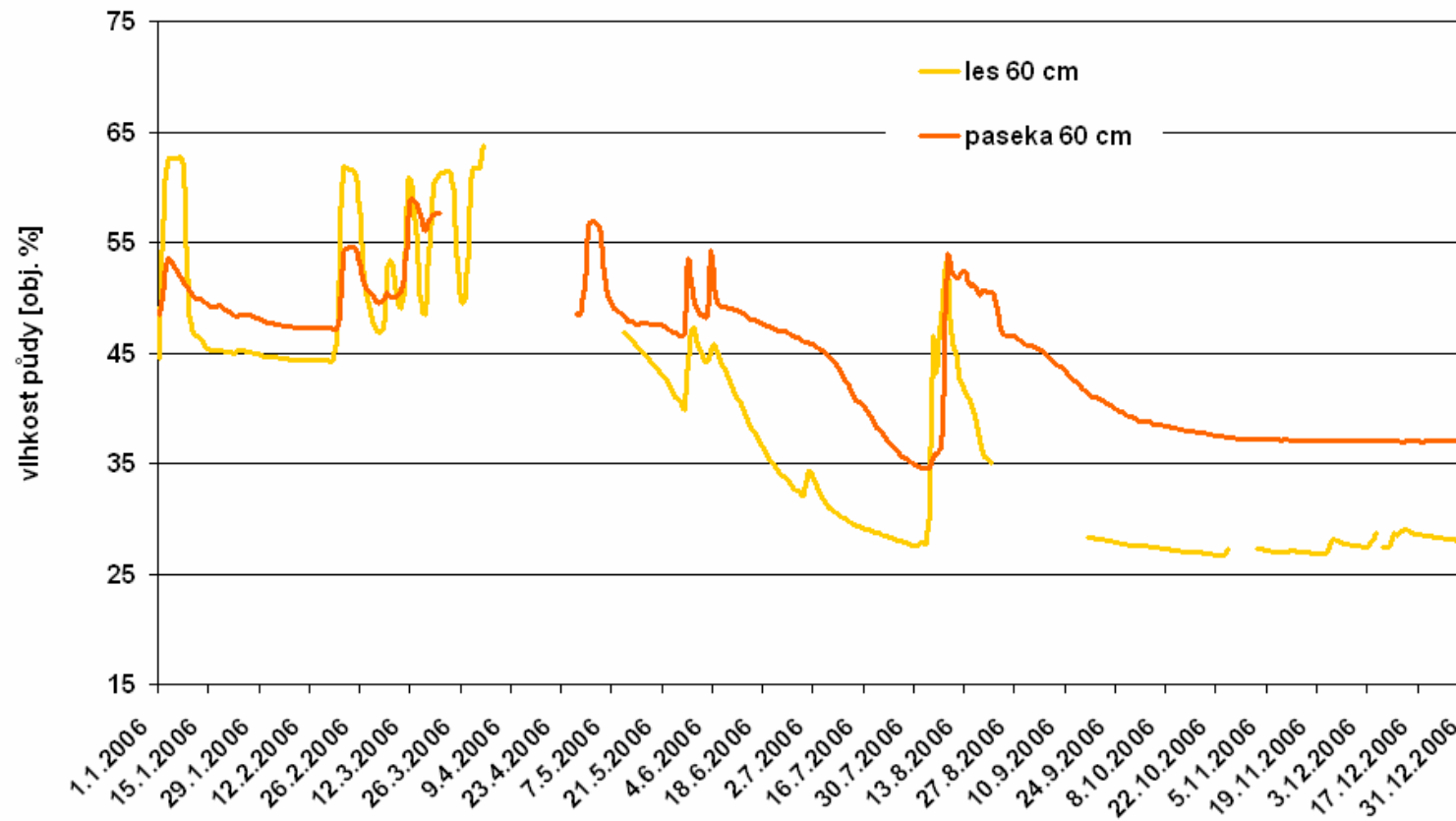


Průběh vlhkostí v lese a na pasece v roce 2006



Lokalita Židlochovice

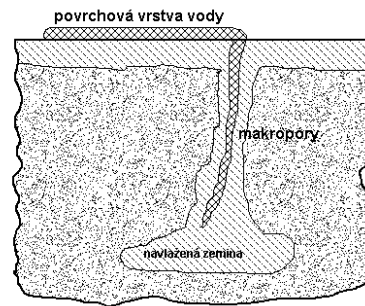
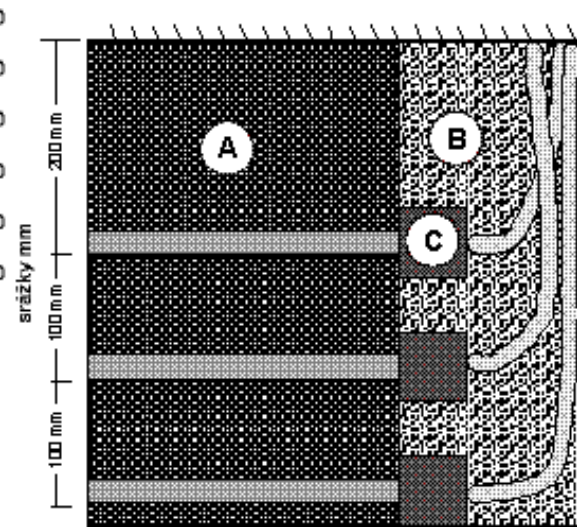
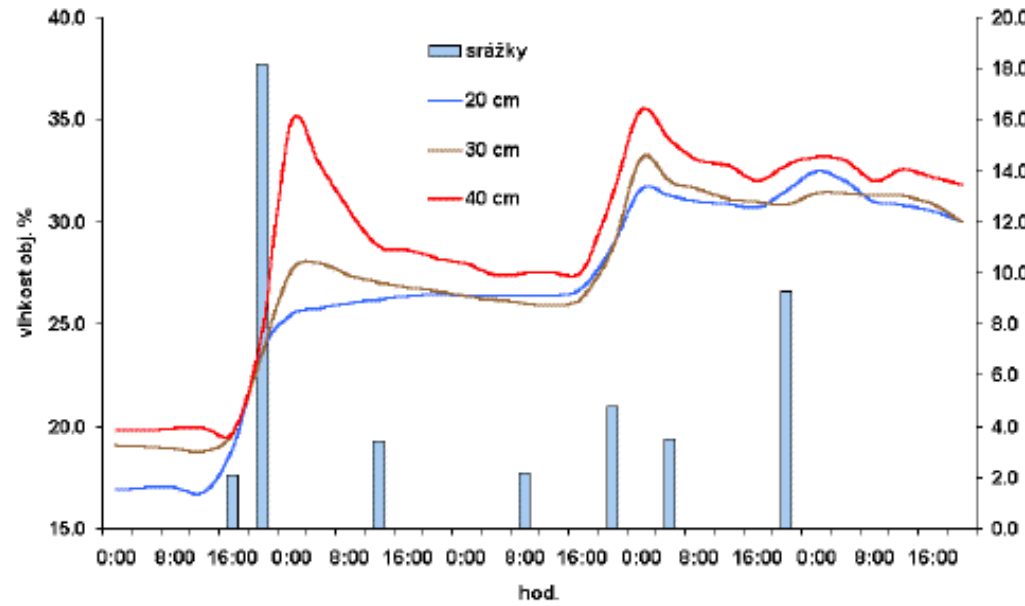
Průběh vlhkostí v lese a na pasece v roce 2006



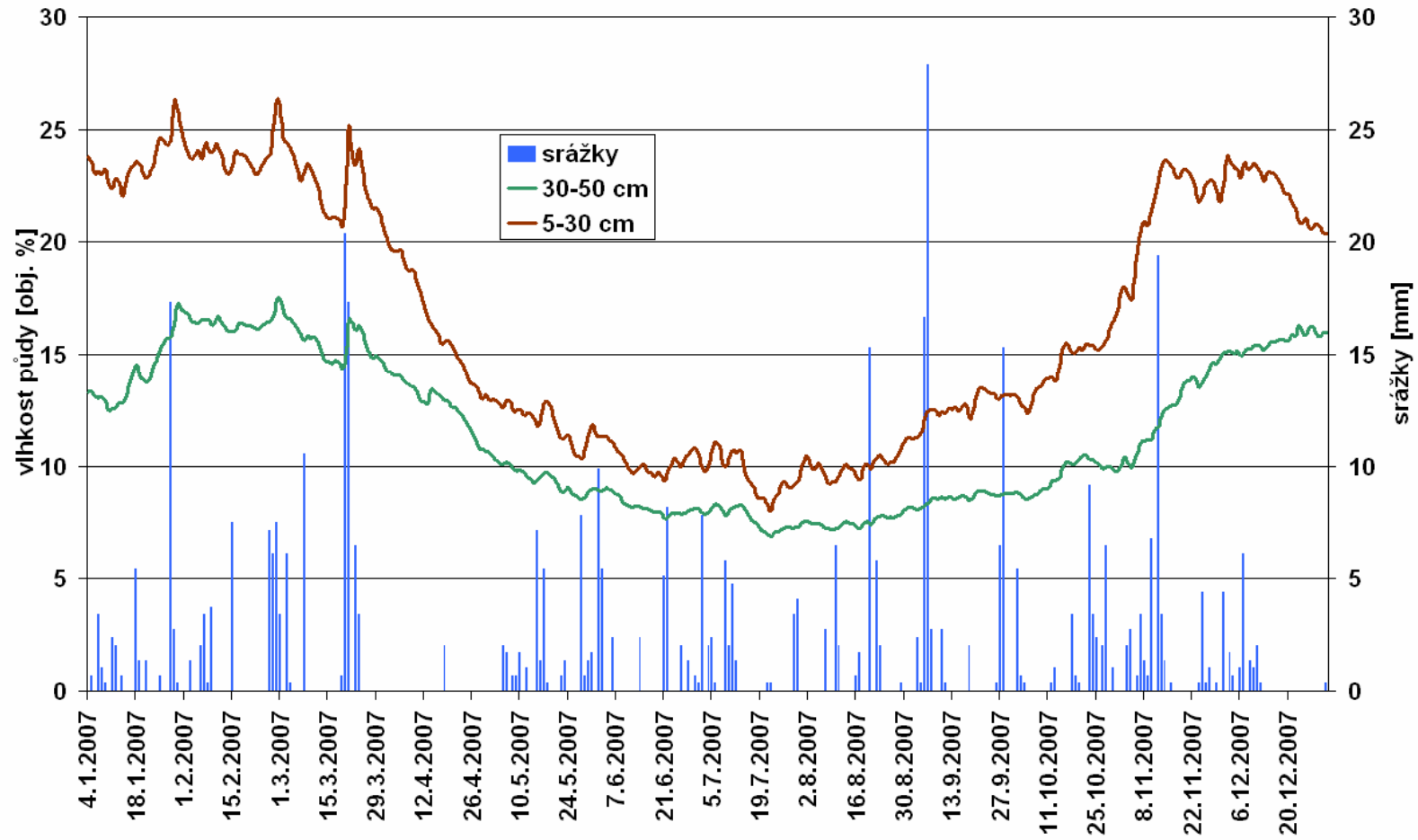
Lokalita Herdy u Lednice

Zjišťování anomálií v chodu půdních vlhkostí

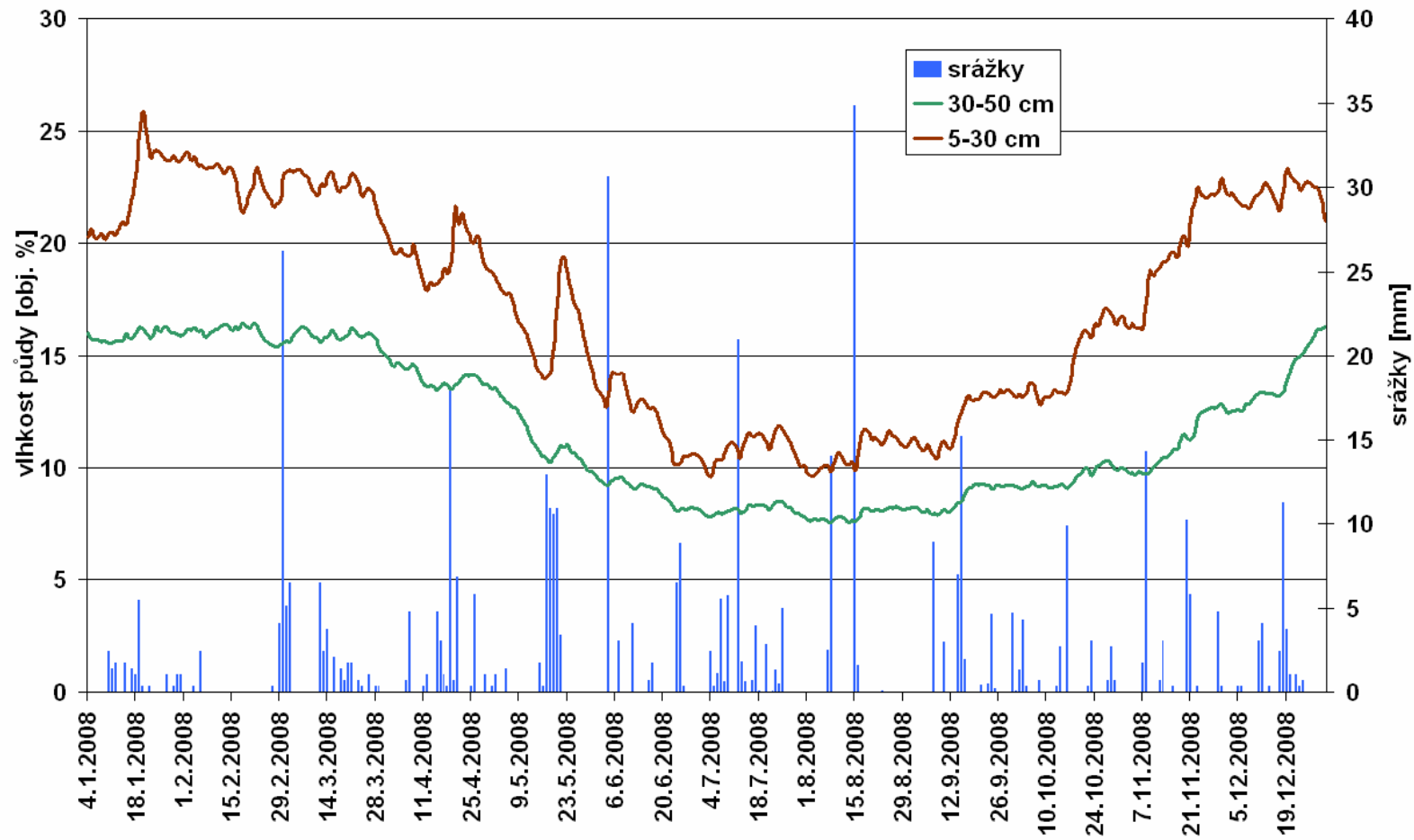
Průběh srážek a půdních vlhkostí od 10.6.1998



Vlhkost půdy v roce 2007 v Jundrově

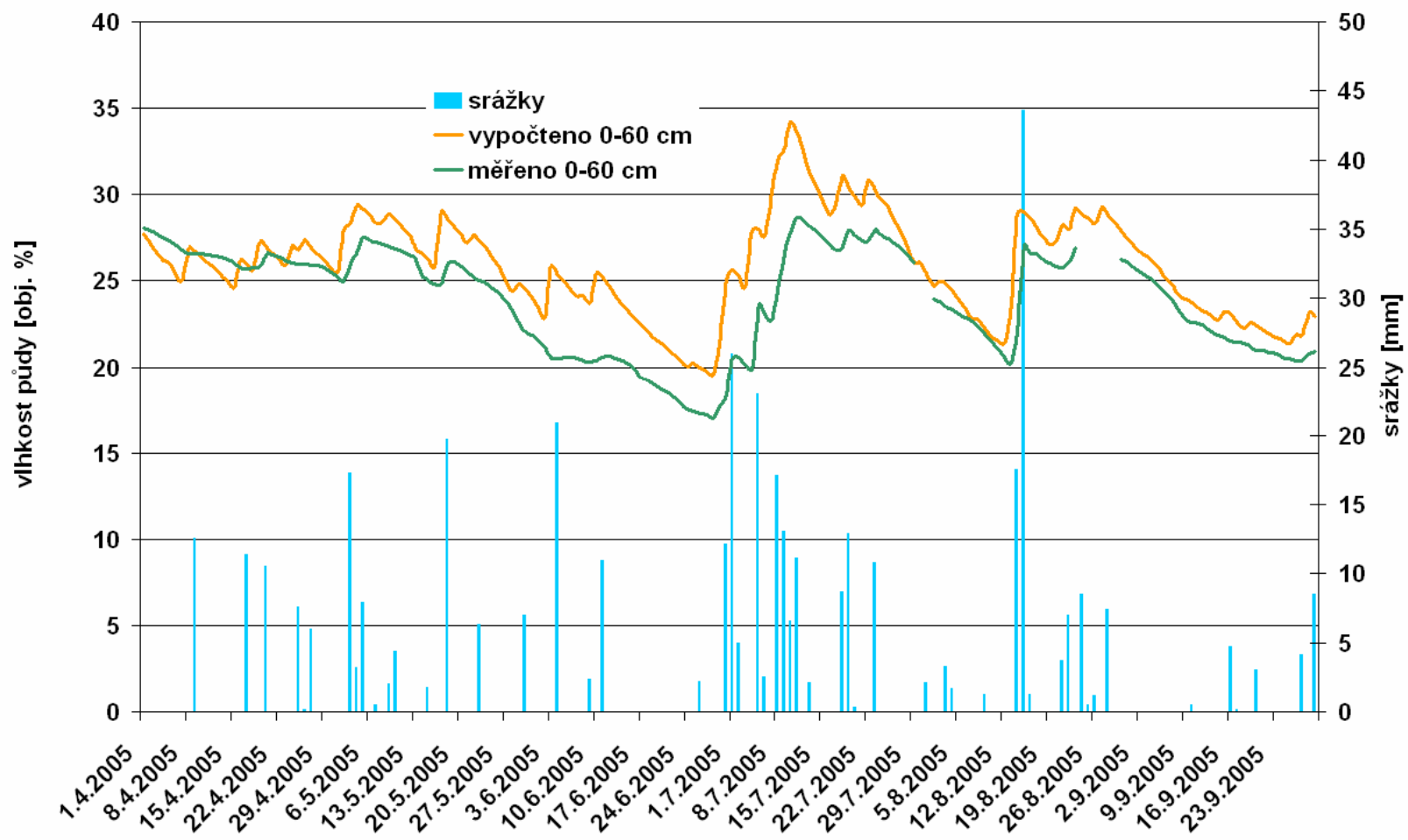


Vlhkost půdy v roce 2008 v Jundrově



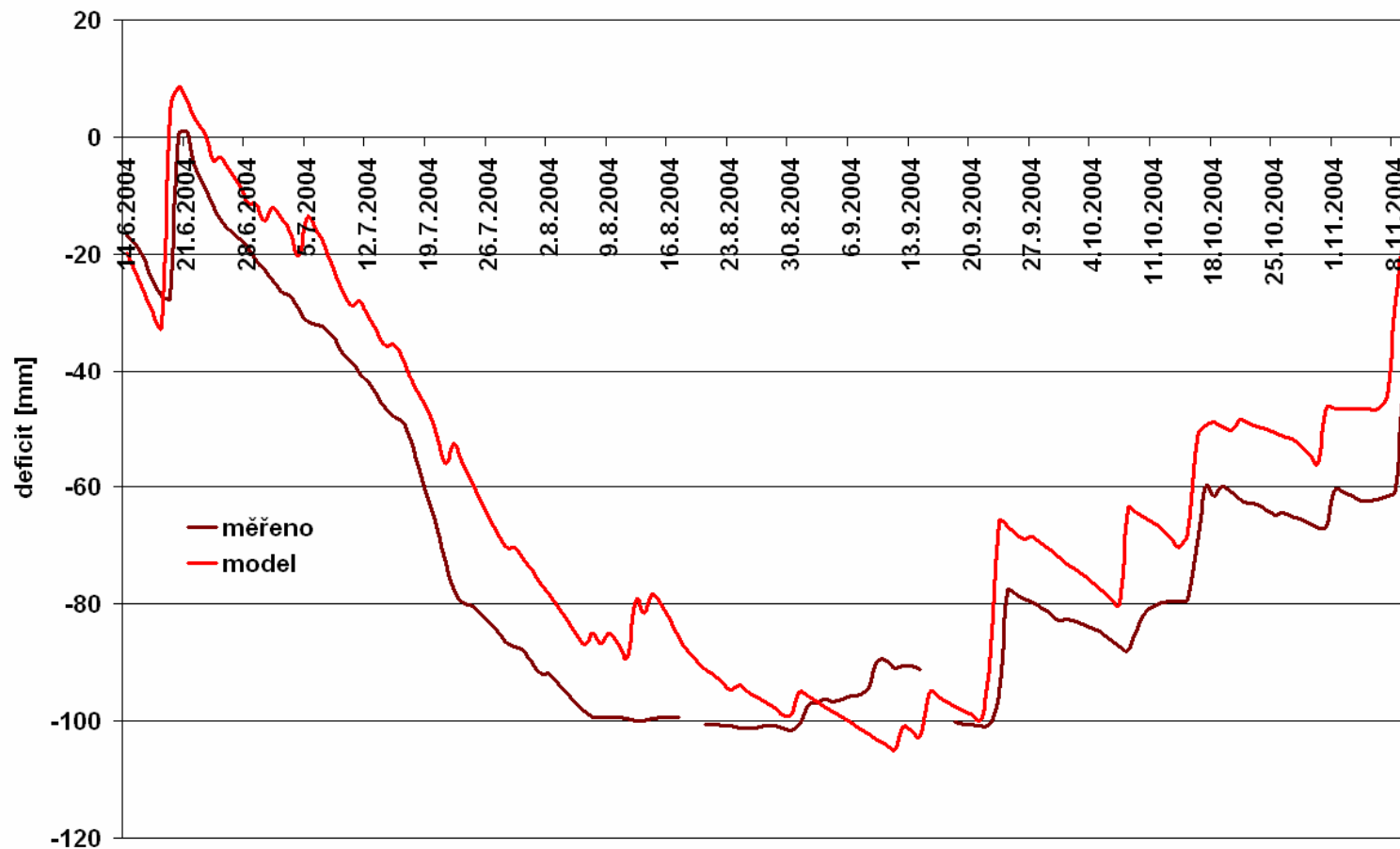
Ověřování modelů na simulaci půdních vlhkostí

Průměrná vlhkost v hloubce 0-60 cm v roce 2005 pod travním porostem



Využití měření půdních vlhkostí při ověřování bilančních modelů

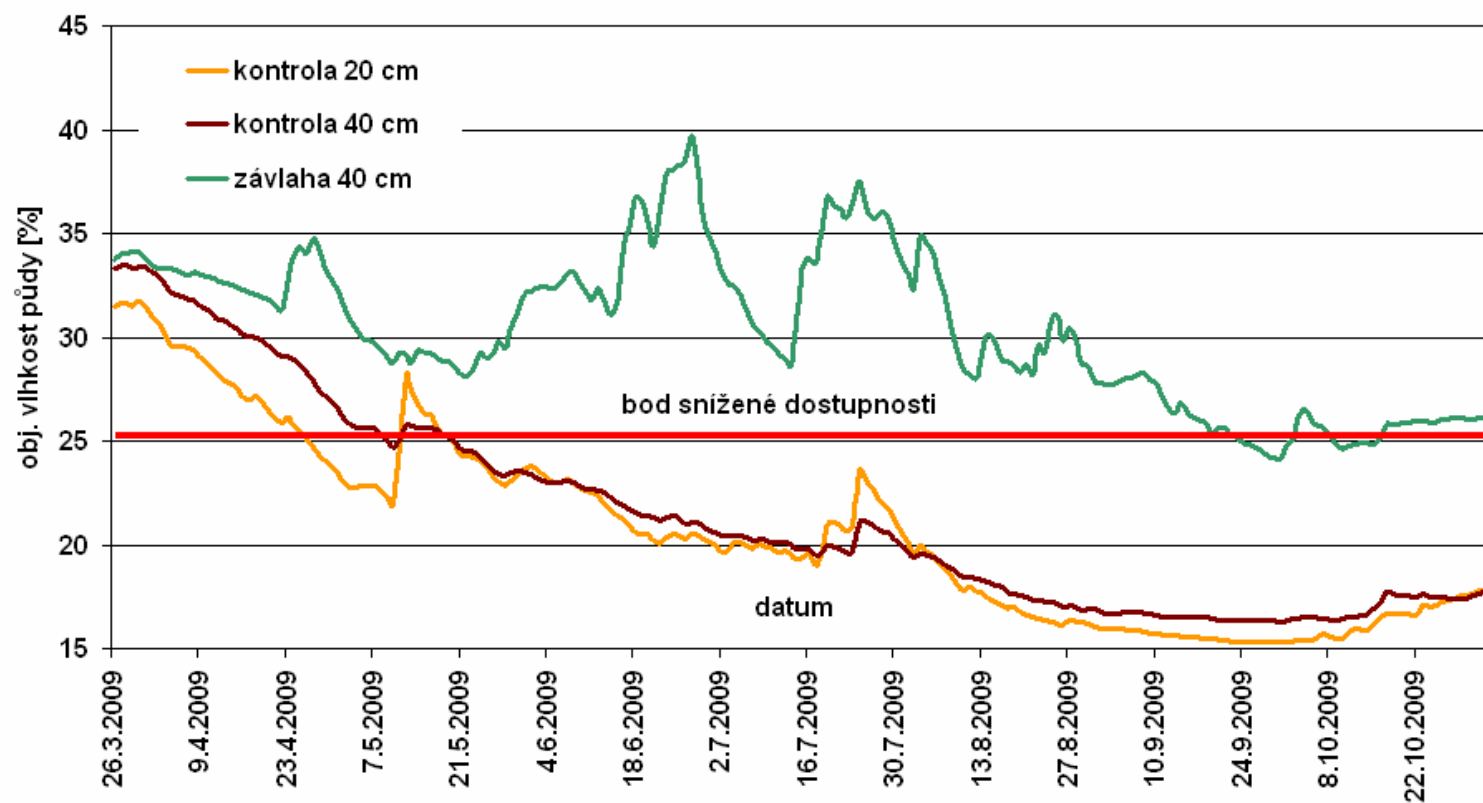
**Porovnání měřeného deficitu a vypočítaného programem BUDGET
travní porost, hlinitá půda, hloubka 0-60 cm**



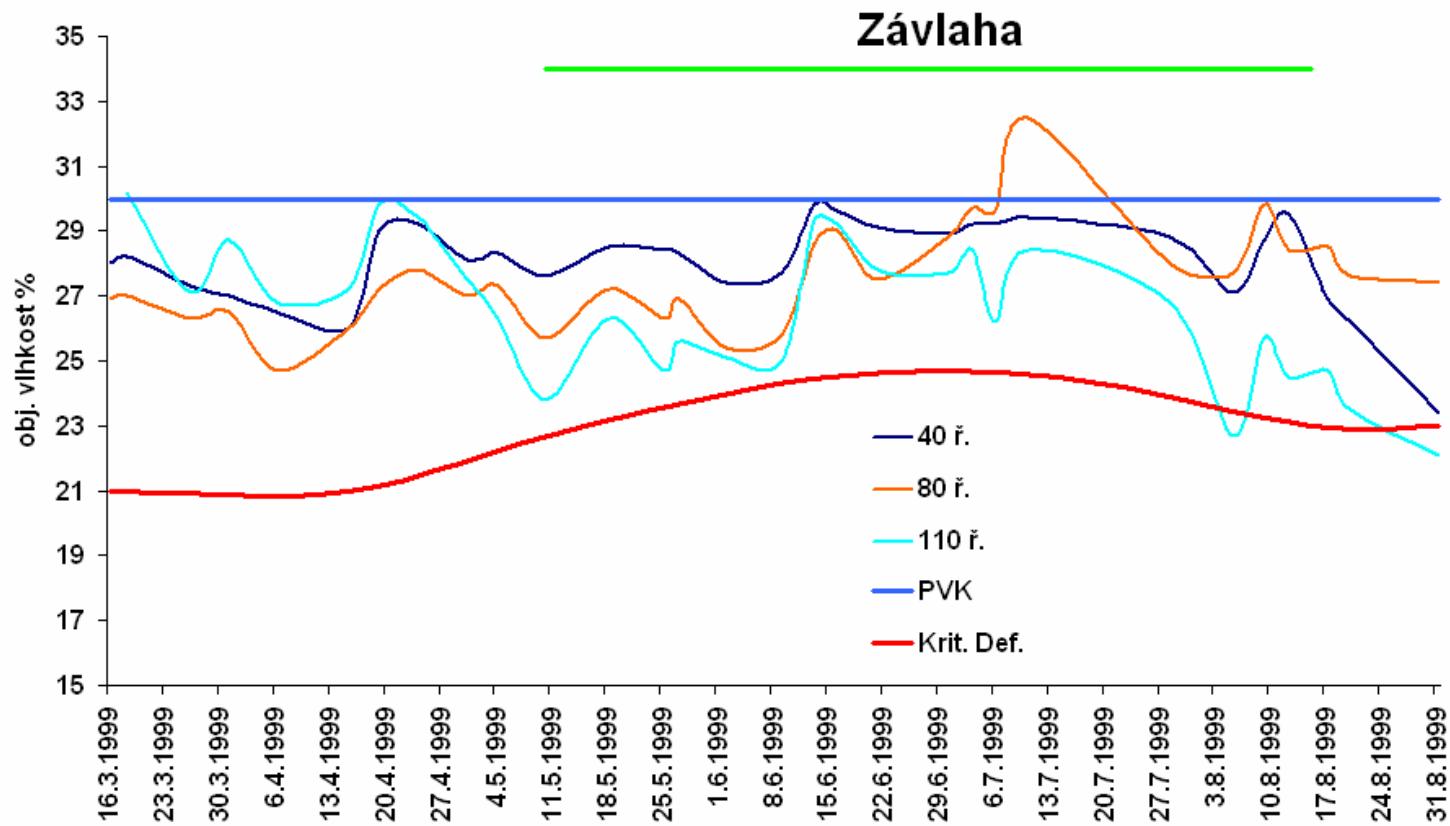
Řízení závlah



Vlhkosti půdy v roce 2009 v pokusu - Dolany



Průběh půdních vlhkostí v sadu Veleboř 1999



Průběhy půdních vlhkostí pod kapkovou závlahou v roce 1998 v Nosislavi

