

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA STAVEBNÍ



**ZHODNOCENÍ HYDROLOGICKÉ SITUACE  
V LOKALITĚ HOSTY-MOČÍN**

**EVALUATION OF THE HYDROLOGICAL CONDITIONS IN HOSTY-MOČÍN  
SITE**

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

**Autor:** Sven Mužík

**Vedoucí práce:** doc. Ing. Martin Šanda, Ph.D.

**Katedra:** Katedra hydromeliorací a krajinného inženýrství

**Praha 2017**



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta stavební  
Tháškova 7, 166 29 Praha 6

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

### I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: Mužík Jméno: Sven Osobní číslo: 410147  
Zadávající katedra: Katedra hydromeliorací a krajinného inženýrství  
Studijní program: Stavební inženýrství  
Studijní obor: Vodní hospodářství a vodní stavby

### II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce: Zhodnocení hydrologické situace v lokalitě Hosty-Močín  
Název bakalářské práce anglicky: Evaluation of the hydrological conditions in Hosty-Močín site  
Pokyny pro vypracování:  
Na základě dostupných podkladů vyhodnoťte hydrologickou situaci širšího okolí obce Hosty-Močín, kde dochází k zamokřování stavebního objektu půdní a podzemní vodou. Pro posouzení proved'te měření hladiny podzemní vody v dostupných objektech v okolí, měření půdního sacího tlaku pomocí tenzometrů na pozemcích přilehlých k budově. V lokalitě odeberte půdní vzorky pro stanovení čáry zrnitosti a retenční čáry půdní vlhkosti. Měření zasaďte do kontextu dostupných dat povrchového odtoku, srážek a hydrogeologických informací v nejbližším regionu. Navrhněte opatření, která povedou ke snížení vlhkosti zdiva posuzovaného objektu.  
Seznam doporučené literatury:  
Kemel M.: Klimatologie, meteorologie, hydrologie. Skripta ČVUT, Praha 2000.  
Valentová J.: Hydraulika podzemní vody. Skripta ČVUT, Praha 2001.  
Kutílek M., Kuráž V., Císlarová M.: Hydropedologie. Skripta ČVUT, Praha 2000.  
Jméno vedoucího bakalářské práce: doc. Ing. Martin Šanda, Ph.D.  
Datum zadání bakalářské práce: 1.3.2017 Termín odevzdání bakalářské práce: 28.5.2017  
*Údaj uveďte v souladu s datem v časovém plánu přístátného ak. roku*  
Podpis vedoucího práce Podpis vedoucího katedry

### III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

*Beru na vědomí, že jsem povinen vypracovat bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je nutné uvést v bakalářské práci a při citování postupovat v souladu s metodickou příručkou ČVUT „Jak psát vysokoškolské závěrečné práce“ a metodickým pokynem ČVUT „O dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací“.*

1.3. 2017

Datum převzetí zadání

Podpis studenta(ky)

## Prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma *Zhodnocení hydrologické situace v lokalitě Hosty-Močín* vypracoval samostatně s uvedením všech použitých zdrojů informací.

V Praze dne 25. 5. 2017

---

Podpis studenta

## Poděkování

Zde bych chtěl poděkovat v první řadě vedoucímu bakalářské práce doc. Ing. Martinovi Šandovi, Ph.D. za cenné rady a trpělivé vedení a usměrňování mé práce.

Stejným dílem patří poděkování i Vendule, Kateřině a Izabele Peřinovým, za pomoc při sběru dat, poskytnutí fotografií z rodinného archivu a psychickou podporu.

## Anotace

V této bakalářské práci je řešen současný stav hydrologických poměrů na pozemcích číslo 3294/3 a 62/2 na území obce Hosty. Hlavním důvodem pro zpracování práce je soustavné zamokřování pozemků půdní i podzemní vodou. Klíčovým podkladem pro vyhodnocení situace jsou data naměřená během hydrologických roků 2016 a 2017 přímo v zájmovém území. Pro zasazení do širších souvislostí byla zajištěna též data z okolí, stejně tak i data historická.

V první části je podrobně popsáno zájmové území, a to včetně vazeb na širší okolí, potažmo na hydrologický systém České republiky jako celku. Zde jako vstupní data slouží mapy a historické zprávy čerpané z Geofondu ČR. Pro stanovení a popis změn v uspořádání terénu na pozemcích jsou použity historické fotografie.

Druhá část je věnována měřeným veličinám. Jsou zde zpracovány teoretické podklady k měřením a postupy získávání a zpracování dat. Jsou zde vysvětleny principy stanovování retenční čáry půdní vlhkosti, půdní vlhkosti, čáry zrnitosti a hladiny podzemní vody.

Závěrečná část obsahuje diskusi výsledků měření a předpokládaných důvodů zamokřování pozemků. Je zde stručně navrženo možné řešení daných problémů.

## Annotation

The aim of this thesis is to provide a solution for the contemporary condition of hydrological circumstances located within the perimeter of Hosty village, particularly on estate number 3294/3 and 62/2. The main reason for processing this work is lasting wetness of the estate originating in soil and ground water. The data acquired in 2016 and 2017 in the area of interest are the crucial foundation of further actions. The thesis also includes data from the vicinity also historical data are taken into consideration as well for wider context.

The first part of the thesis focuses on the thorough description of the area of interest including the connection to the broader area and also to the hydrological system of the Czech Republic. The input data here are maps and historic reviews derived from

Czech Geology Survey institution. Historical photographs are used for the determination and description of changes in the terrain layout.

The second part pays attention to measured quantities including theoretical basis of the measurements and the procedures of data acquisition and processing. Also, the principles of delimitation of the retention curve, soil wetness, particle size and the level of the ground water are explained.

The last part of the thesis includes the discussion about the measurement results and about the reasons for the wetness of the area. The brief proposal of the problem solution is also included.

### Klíčová slova

půda; retenční čára; potenciál; zamokření; odvodnění

### Key words

soil; retention curve; potential; wetting; drainage

## Obsah

1. Úvod.....	9
2. Popis území.....	10
2. 1. Zasazení území do celkové situace.....	10
2. 1. 1. Geomorfologické poměry.....	11
2. 1. 2. Hydrologické poměry.....	14
2. 1. 3. Klimatické poměry.....	17
2. 2. Popis pozemku.....	18
2. 2. 1. Situace.....	18
3. Měření ze zájmové lokality.....	24
3. 1. Měření srážkových úhrnů.....	24
3. 2. Měření vlastností půdy.....	26
3. 2. 1. Stanovení měrné hmotnosti zeminy.....	26
3. 2. 1. 1. Příprava vzorku.....	27
3. 2. 2. Zrnitostní rozbor.....	27
3. 2. 2. 1. Příprava vzorku.....	28
3. 2. 2. 2. Stanovení čáry zrnitosti.....	28
3. 2. 3. Měření potenciálu půdní vody.....	30
3. 2. 3. 1. Potenciál půdní vody.....	30
3. 2. 3. 2. Tenzometr.....	32
3. 2. 3. 3. Retenční čáry půdní vlhkosti.....	32
3. 2. 3. 4. Nasycená hydraulická vodivost.....	34
3. 2. 3. 5. Stanovení retenčních čar.....	34
3. 2. 4. Sací tlaky naměřené tenzometry.....	39
3. 2. 5. Retenční čáry půdní vlhkosti.....	45
3. 2. 6. Půdní vlhkost v zájmovém území.....	51
3. 3. Měření hladiny podzemní vody.....	56

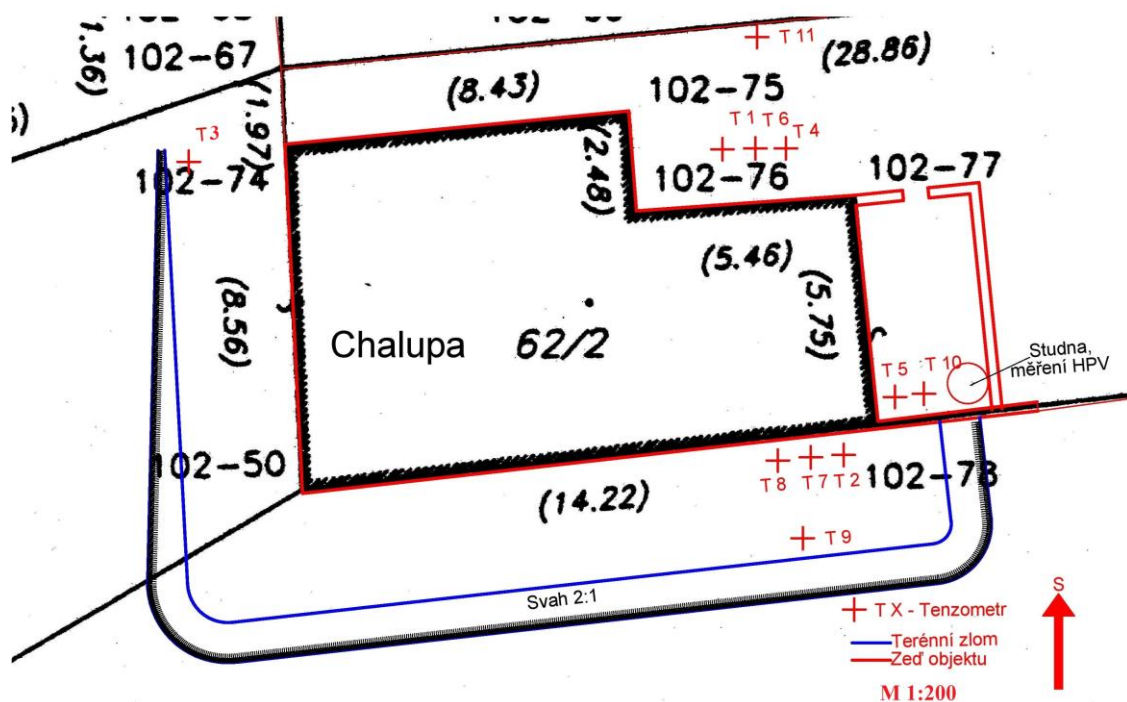
3. 4. Shrnutí výsledků měření .....	57
4. Návrh opatření pro zamezení zamokřování .....	58
5. Závěr .....	60
6. Bibliografie .....	61
7. Seznam obrázků.....	63



## 1. Úvod

Zhodnocení hydrologické situace v lokalitě Hosty-Močín bylo vyvoláno dlouhodobým zamokřením zdi domu č. p. 97 a přilehlého dvora. Důvodů pro zamokřování je předpokládáno několik. Zejména to jsou rozdílné vlastnosti půdy na pozemku rozděleném stavbou. Zřejmě je to také vinou toho, že stavba domu je ve svahu a chová se jako překážka pro proudění podzemní vody.

V zájmovém území byla měřena hladina podzemní vody, a to přímo odečítáním ze studně viz obrázek č. 1, půdní sací tlaky pomocí tenzometrů a srážkové úhrny. Měření probíhá od května roku 2016 v nepravidelných intervalech. Jako komplementární data byly použity srážkové úhrny ze stanice Temelín od ČHMÚ a záznamy o průtocích z Bílinského potoka, kde je průtok měřen přibližně 4,5 km západně od zájmové lokality.



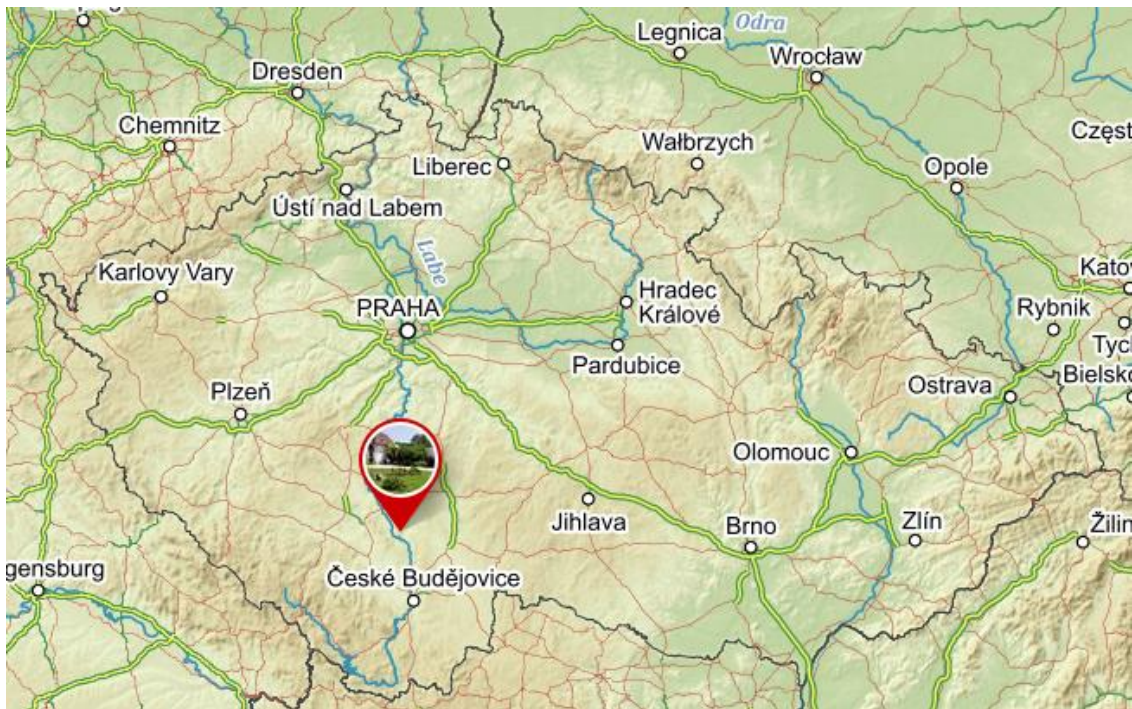
Obrázek 1. Detail situace pozemku. Místo chalupa č. p. 97 na parcele č. 62/2, katastrální území Hosty. Čísla v závorkách jsou oměry v metrech, čísla s pomlčkami katastrální indexy. Zdroj katastr nemovitostí ČR.

Cílem této práce je zjistit příčinu zamokření stavby a pozemku přilehlého k ní formou sledování hydrologického režimu v okolí objektu a následně navrhnout variantní stavební řešení této situace.

## 2. Popis území

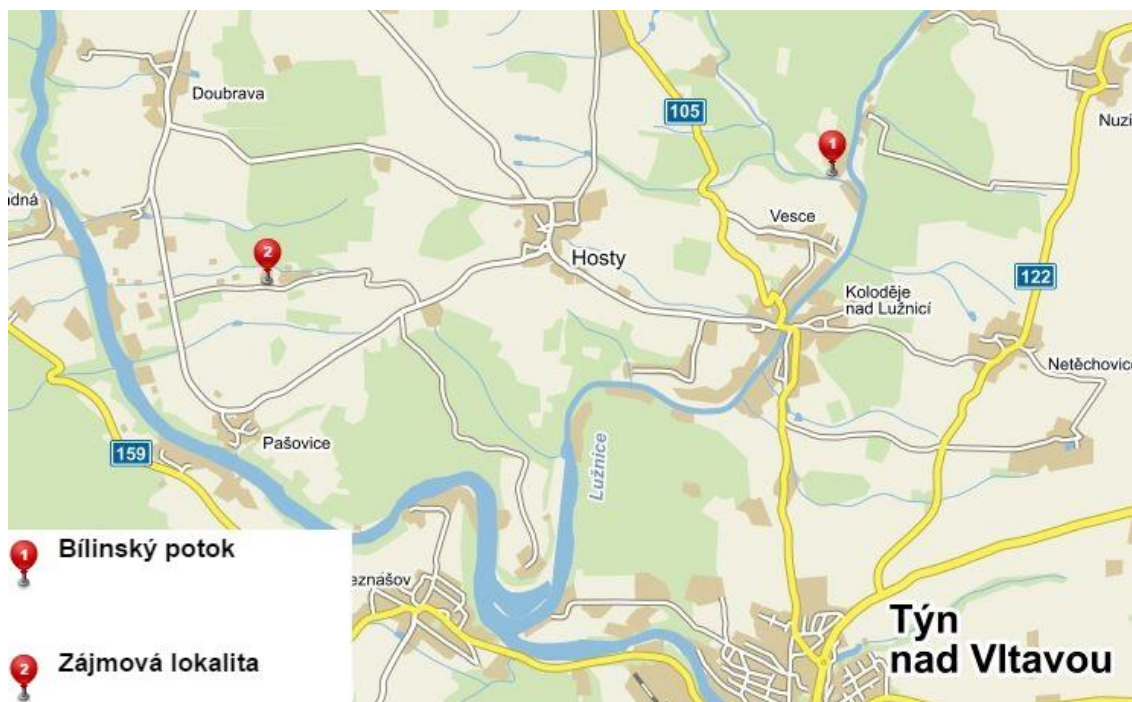
### 2. 1. Zasazení území do celkové situace

Obec Hosty se nachází v Jihočeském kraji, v okrese České Budějovice. Leží 2,5 km SSZ od soutoku Vltavy s Lužnicí a 5 kilometrů severozápadně od Týna nad Vltavou.



Obrázek 2. Umístění obce Hosty na mapě ČR. Zdroj Mapy.cz.

Samotné zájmové pozemky jsou součástí samoty Močín, která úředně spadá pod obec Hosty. Samota Močín je soustředěna v údolí bezejmenného potoka, který vyvěrá, v závislosti na ročním období a srážkách, z močálu 100 až 400 m nad samotou.



Obrázek 3. Hosty – Močín. Zdroj Mapy.cz.

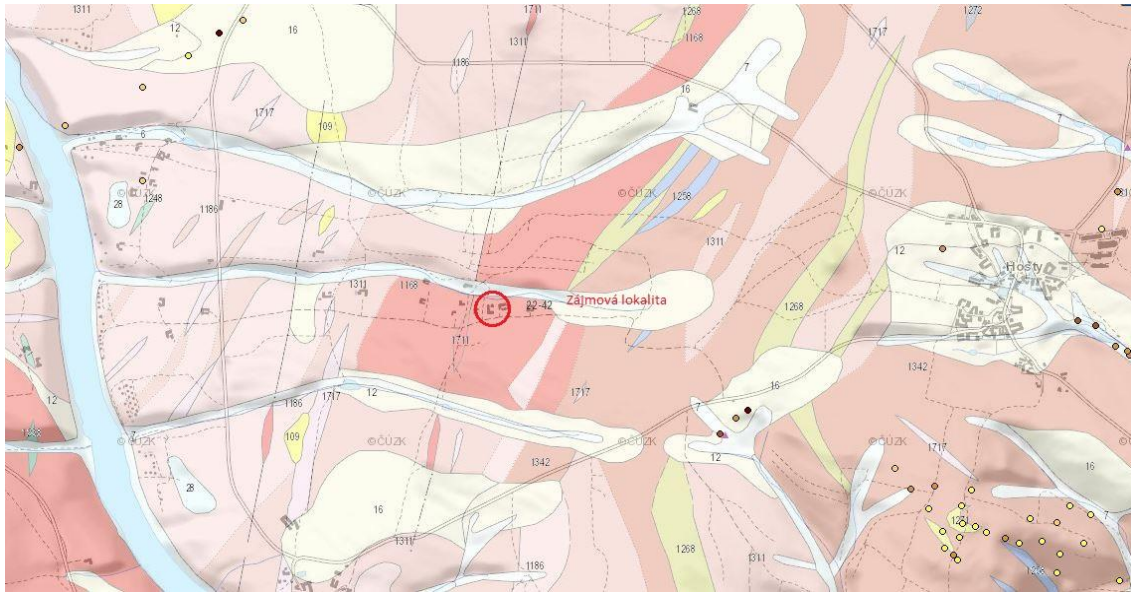
### 2. 1. 1. Geomorfologické poměry

Území obce Hosty se nachází v členité Táborské pahorkatině (Kavková, 1989). Nadmořské výšky se pohybují mezi 380 a 500 m n. m. BpV.

Z geologických celků jsou v blízkém okolí sledovaného území zastoupeny prekambričké horniny moldanubika a sedimenty kvartéru. (Kavková, 1989)

Moldanubikum je zde zastoupeno značně zvětralým biotitickým migmatitem až bitotiticko-silimanitickou pararulou. (Kavková, 1989)

Mezi kvartérodními sedimenty je dominantní 3 až 5 m mocný zvětralinový plášť psamiticko – peltického charakteru. Dále jsou zde 5 m mocnou vrstvou zastoupeny hnědé až okrové sprašové hlíny. V menší mocnosti jsou zde též zastoupeny písčité jíly (Kavková, 1989). Přímo v zájmovém území jsou zastoupeny metagranit z paleozoika až proterozoika, stejně starý migmatit, mladé písčité-hlinité a hlinito – písčité sedimenty a taktéž kenozoické spraše a sprašové hlíny (Geologická mapa 1:15 000, b.r.).



Obrázek 4. Výřez geologické mapy 1:15 000. Zdroj Česká geologická služba.

Jako příklad složení podloží jsou použity závěry získané z geologických vrtů v okolí zájmové lokality.

Vrt ID\_GDO 377946 se nachází pod obcí Hosty směrem k Lužnici viz obrázek č. 4. Vrt byl zhotoven v roce 1965 za účelem průzkumu podloží pro plánované využití území k těžbě krystalického grafitu. Hladina podzemní vody byla stanovena na 2,9 m pod povrchem. Geologický profil viz tabulka 1 (Ústav pro výzkum rud, 1953).

Tabulka 1. Geologický profil vrtu ID\_GDO 377946.

0.0-0.7 m	Rezavěhnědá ornice
0.7-2.4 m	Tmavošedý jíl
2.4-2.9 m	Dtto s rašelinou
2.9-3.5 m	Žlutorezavá hlína s úlomky pararul do 5 cm
3.5-5.6 m	Dtto s úlomky do 2 cm
5.6-12.0 m	Rozvětralé rezavěhnědé podloží (pararula)
12.0-17.0 m	Slabě navětralá až pevná pararula

Druhým příkladem je vrt ID\_GDO 378844, který se nachází jihozápadně od zájmové lokality. Vrt byl zhotoven v roce 1989 jako průzkumný pro plánovanou skládku v lokalitě Hosty – Pašovice – Rakovka viz obrázek č. 4. Při vrtání byla stanovena hladina podzemní vody na 0,6 m pod terénem. Vrt má hloubku 10 m. Složení podloží viz tabulka 2 (Kavková, 1989).

Tabulka 2. Geologický profil vrtu ID\_GDO 378844.

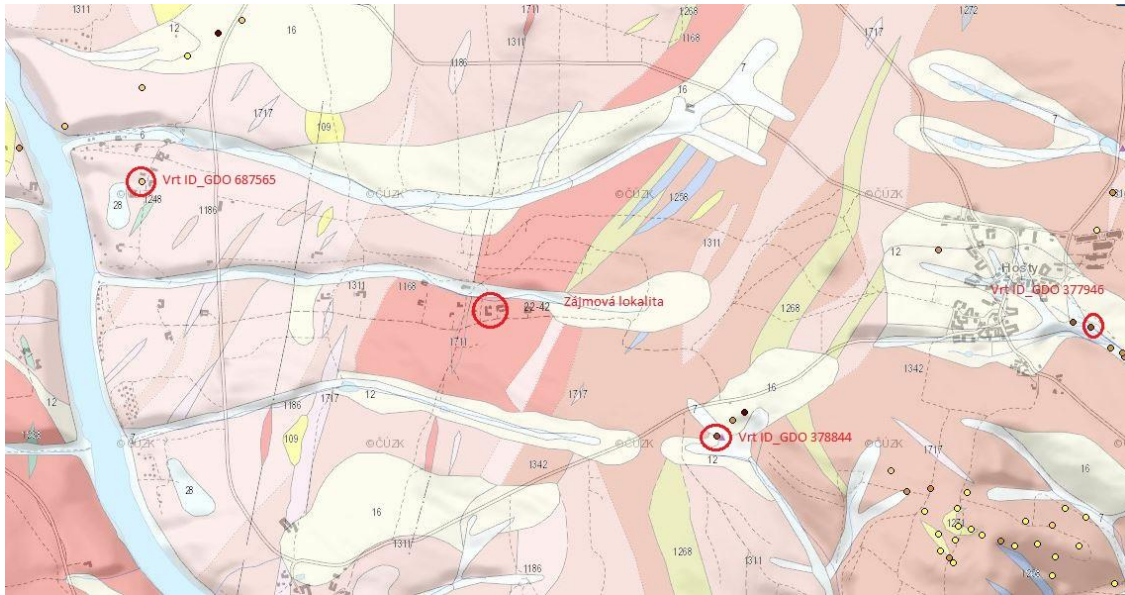
0.00-0.3 m	Hnědá humózní lína
0.3-1.0 m	Šedookrový, hrubozrněný písčítý jí, rezavě skvrnitý
1.0-4.5 m	Dtto měkký
4.5-5.2 m	Rezavý písčítý jí s úlomky silně zvětralé ruly, vel. max 3 cm
5.2-7.2 m	Světle hnědá, kaolinizovaná, písčité zvětralá pararula
7.2-10.0 m	Okrová, silně jílovitě zvětralá migmatitizovaná pararula
	velikost úlomků až 10 cm

Za třetí doplňující vrt byl zvolen profil č. IG\_GDO 687565 v obci Chrášťany, umístění viz obrázek č. 4. Vrt byl realizován v roce 2008 pro soukromé účely. Jedná se o vrtanou studnu hloubky 28 m. 1. naražená HPV byla změřena v hloubce 8 m pod povrchem. Čerpací zkouškou byl zjištěn koeficient nasycené hydraulické vodivosti  $K_s = 9,4 \cdot 10^{-6} \text{m/s}$ . Geologický popis profilu viz tabulka 3. (Mičke, 2008).

Tabulka 3. Geologický profil vrtu ID\_GDO 687565.

0.0-2.0 m	Deluviální až deluvióluviální hlína písčitá, či písek hlinitý se štěrkem
2.0-8.0 m	Jílovito-písčité zvětralá či navětralá, rozvolněná silimanit-biotitická migmatitická rula až migmatit
8.0-28.0 m	Dtto, navětralá až zdravá, místy rozpukaná, na puklinách zvodnělá

Z geologických popisů výše popsaných vrtů je zřejmé, že z pokryvných útvarů je v největší míře zastoupen jí, a to v mocnosti i několik metrů. Ve větší hloubce se nacházejí metamorfované horniny, především pararula a migmatit. Vzhledem k tomu, že se všechny vrty nacházejí mimo zájmové území a byly realizovány dávno před začátkem měření, nemá údaj o hladině podzemní vody velkou vypovídací hodnotu. Je uveden pouze jako doplňující.



Obrázek 5. Umístění vrtů vzhledem k zájmové lokalitě. Zdroj česká geologická služba.

## 2. 1. 2. Hydrologické poměry

Zájmové území se nachází v Jihočeském kraji. Ten je dlouhodobě srážkově lehce podprůměrný. Dlouhodobý srážkový normál 1961-1990 je v České republice 674 mm/rok. V Jihočeském kraji je dlouhodobý srážkový normál 659 mm/rok (ČHMÚ, 2017B). Zatímco rok 2015 byl srážkově podprůměrný (81 % dlouhodobého normálu), rok 2016 byl v Jihočeském kraji lehce nadprůměrný (tabulka č. 4).

Tabulka 4. Úhrny srážek za roky 2015 a 2016 v mm v porovnání s dlouhodobým normálem.

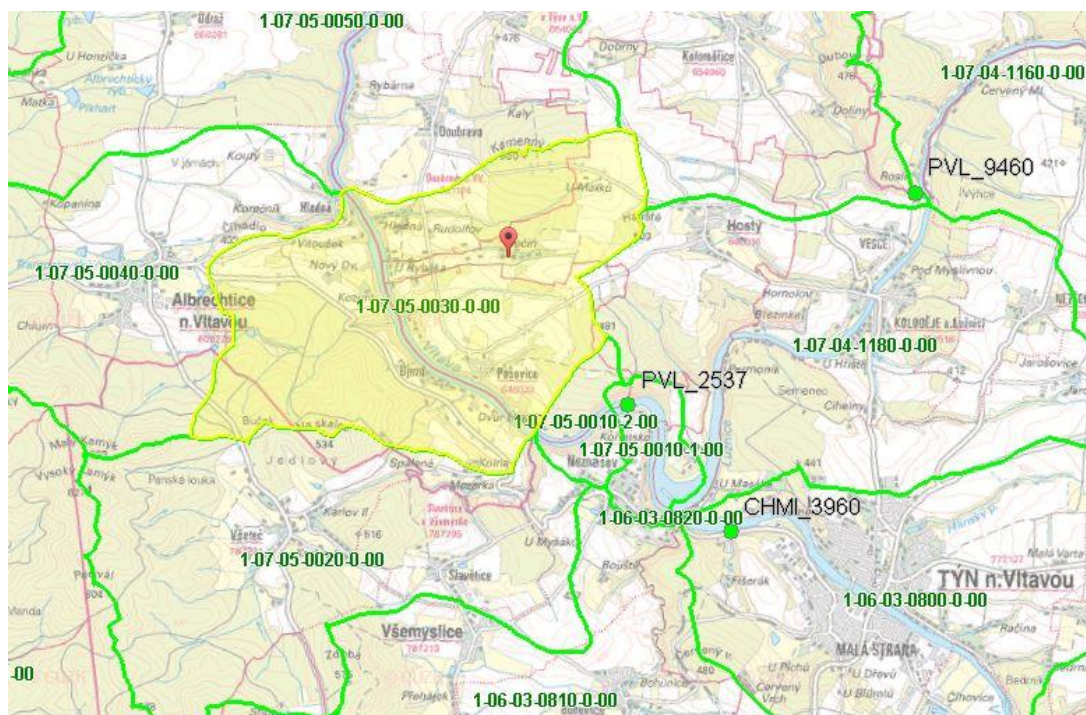
	Kraj		Měsíc												Rok
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
2015	Česká republika	S	53	12	48	30	49	58	36	67	32	52	74	20	532
		N	42	38	40	47	74	84	79	78	52	42	49	48	674
		%	126	32	120	64	66	69	46	86	62	124	151	42	79
	Jihočeský	S	46	8	46	28	64	68	30	42	42	64	74	20	531
		N	34	33	39	49	75	94	83	82	51	37	43	39	659
		%	135	24	118	57	85	72	36	51	82	173	172	51	81
2016	Česká republika	S	40	62	30	40	58	82	115	41	37	65	38	28	637
		N	42	38	40	47	74	84	79	78	52	42	49	48	674
		%	95	163	75	85	78	98	146	53	71	155	78	58	95
	Jihočeský	S	46	52	25	35	95	94	143	35	33	59	41	25	681
		N	34	33	39	49	75	94	83	82	51	37	43	39	659
		%	135	158	64	71	127	100	172	43	65	159	95	64	103

S = úhrn srážek [mm]

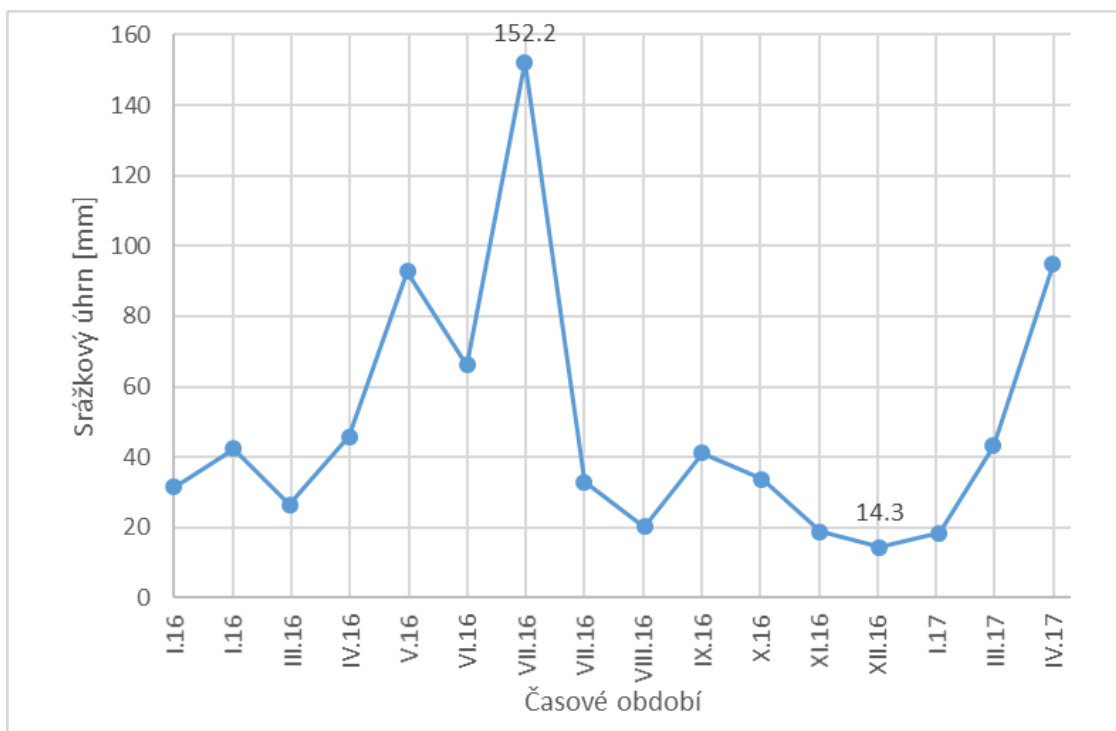
N = dlouhodobý srážkový normál 1961-1990 [mm]

% = úhrn srážek v % normálu 1961-1990

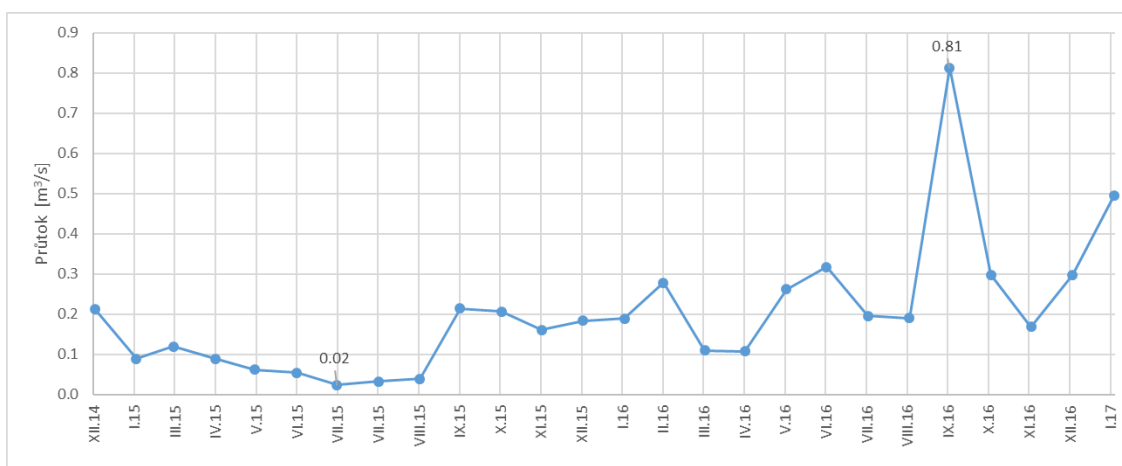
Zájmové území náleží do povodí č. 1-07-05-0030-0-00 viz obrázek 6. Recipientem tohoto povodí je řeka Vltava. Plocha tohoto dílčího povodí je 12,84 km<sup>2</sup> (ČHMÚ, 2017C). Aktuální srážková data (za roky 2016 a 2017) byla poskytnuta ČHMÚ na základě smlouvy č. 52/005/2017. Srážková data pocházejí z meteorologické stanice Temelín, která se nachází přibližně 9 km jižně od zájmové lokality. Surová srážková data byla přepočtena na měsíční srážkové úhrny a vynesena do obrázku 7.



Obrázek 6. Povodí č. 1-07-05-0030-0-00 (VÚV TGM, 2014).



Obrázek 7. Měsíční srážkové úhrny ze stanice Temelín.



Obrázek 8. Průměrné měsíční průtoky na Bílinském potoce.

Dalším doplňkovým zdrojem dat je řada průtoků na Bílinském potoce, kterou poskytlo Povodí Vltavy. Data jsou z let 2015-2017. Hodnoty denních průtoků byly po měsících zprůměrovány a vyneseny do obrázku 8 (Povodí Vltavy, 2017).

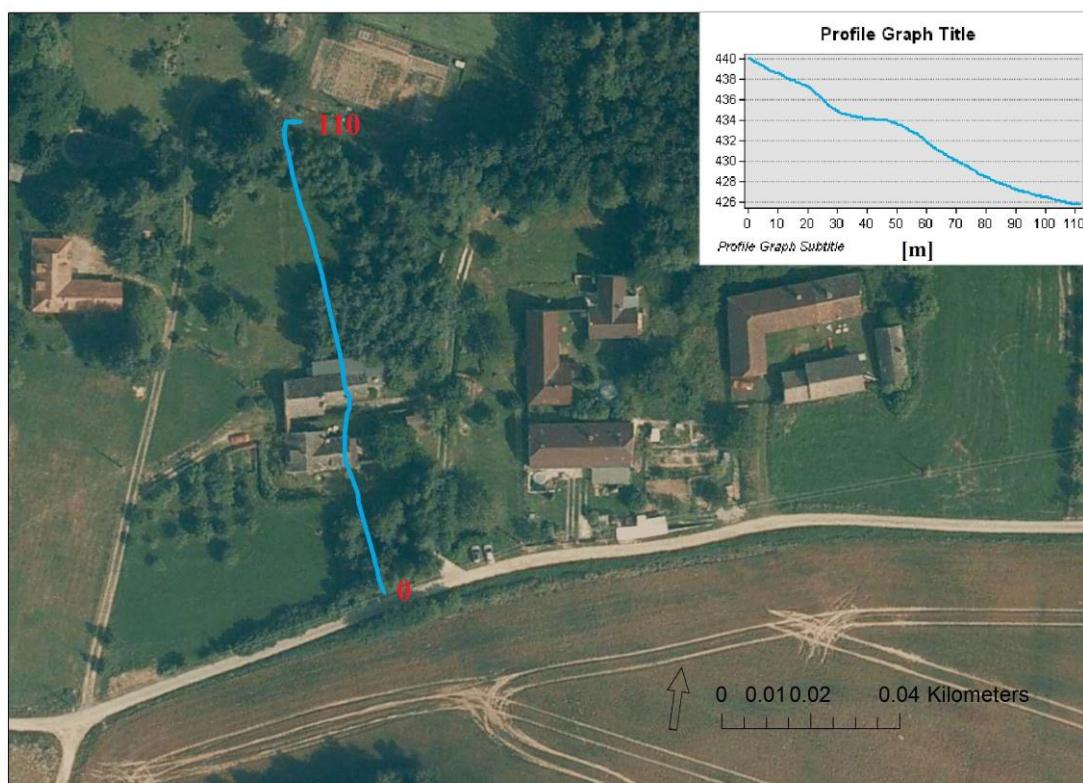
Obě sady dat poměrně dobře odpovídají průměrným srážkovým úhrnům Jihočeského kraje viz tab. 4. Za sledované období se vyskytly dva extrémy. Nejsušším časovým úsekem byly měsíce únor a červenec roku 2015. Naopak nejvyšší srážkové úhrny, a s tím související průtoky v Bílinském potoce, nastaly v červenci až září roku



2016. Na obrázku 7 je maximální srážka v červenci, ale na obrázku 8 v tuto dobu maximum nenastalo. Toto maximum bylo způsobeno jednou konkrétní srážkou, a to 23. 7. 2016, kdy byl naměřen srážkový úhrn 47 mm ve stanici Temelín (ČHMÚ, 2017A). Bílinský potok odvodňuje oblast severně od Koloměřic a pramení jižně od Milevska, kde se příčné srážky mohou výrazně odlišovat od lokality Temelín a zájmové lokality.

### 2. 1. 3. Klimatické poměry

Dlouhodobý teplotní normál pro Jihočeský kraj je 8,2 °C. Rok 2015 byl zde teplotně nadprůměrný, průměrná teplota byla 9,1 °C a rok 2016 podprůměrný s průměrnou teplotou 7,1 °C (ČHMÚ, 2017D)



Obrázek 9. Podélný profil spádnice po zájmovém území (ČÚZK, 2010).

## 2. 2. Popis pozemku

### 2. 2. 1. Situace

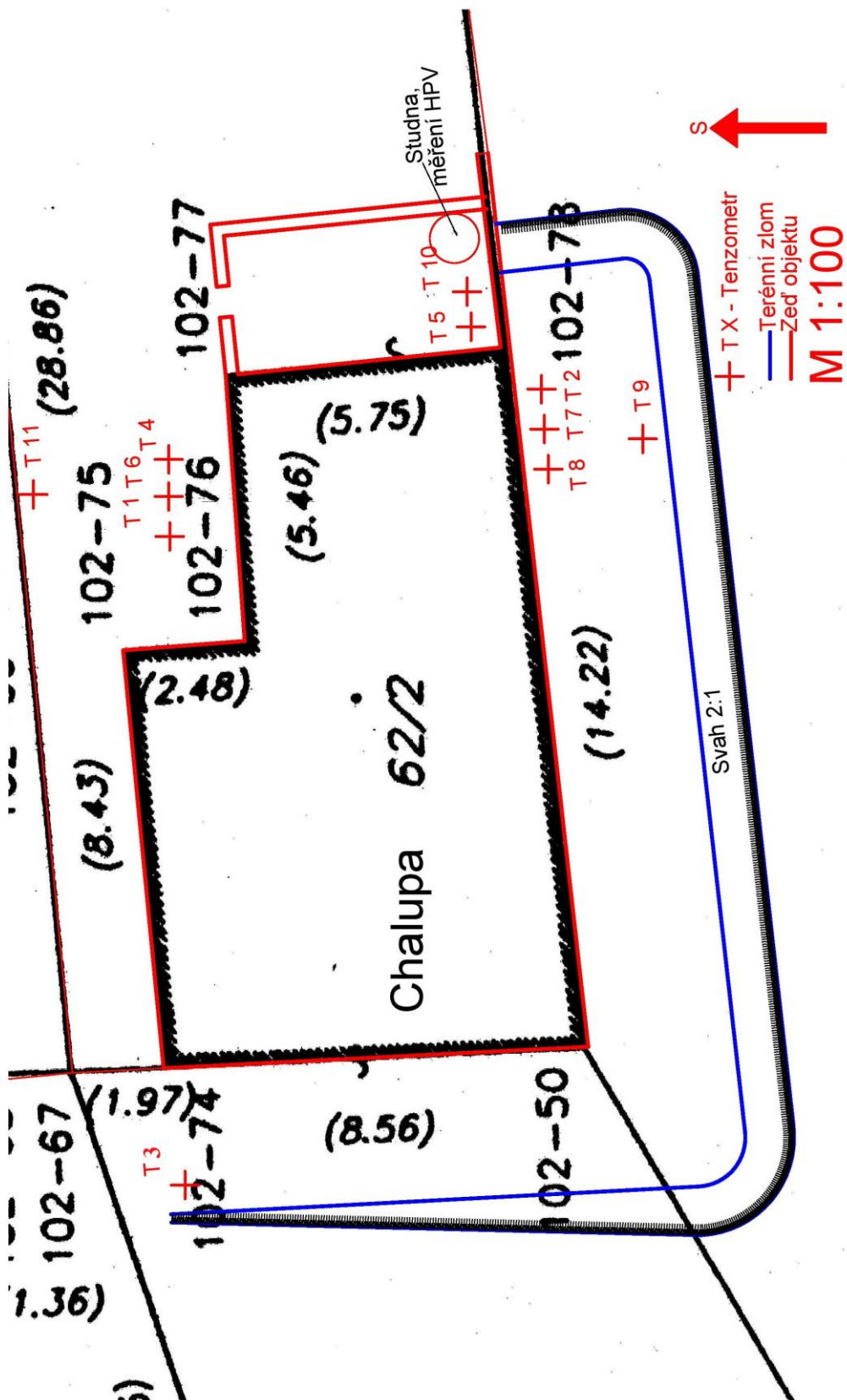
Zájmové území se nachází ve svahu na levém břehu bezejmenného potoka. Stavba rodinného domu, kolem níž je řešena problematika půdní a podzemní vody se nachází v nadmořské výšce 435 m n. m. Stavba byla historicky zasazena do svahu. Svah dobíhal téměř až k objektu. Před 17 lety se začalo s postupným odhrabáváním svahu až do dnešního stavu (obrázky č. 10 a č. 11). V současnosti je svah od domu vzdálen 4 m viz obrázek 11. Na druhé straně domu, tj. po spádnici (obrázek 9) se nachází zatravněný dvůr o délce 4 m.



Obrázek 10. V popředí postupné odhrabávání svahu od objektu (1997). Foto z rodinného archivu.

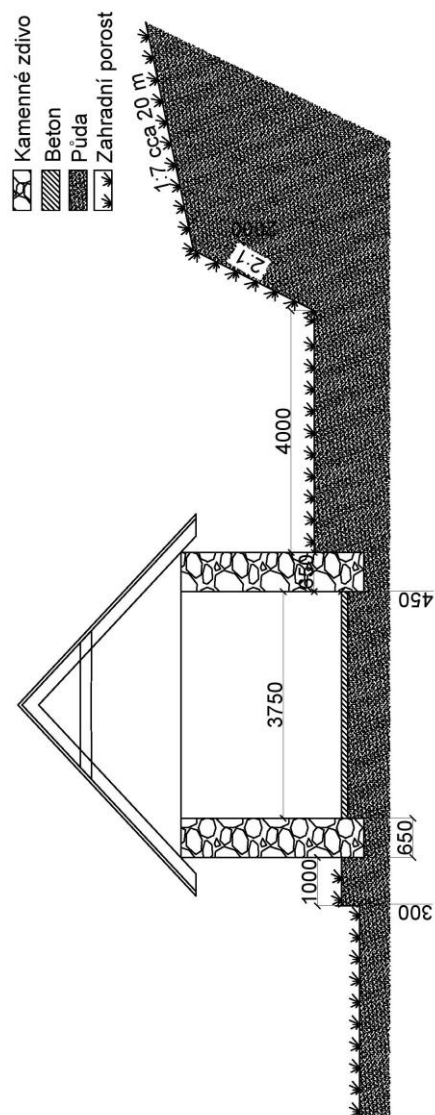


Obrázek 11. Současný stav strany svahu (květen 2017). Foto Vendula Peřinová.



Obrázek 12. Podrobná situace měřicích zařízení. Zdroj katastr nemovitostí ČR.

Stavba na pozemku je historická zděná stodola. Před necelými padesáti lety byla stodola přestavěna na dva obytné objekty. Byly zachovány obvodové zdi. Zdi jsou vystavěny z kamene. Jejich tloušťka se pohybuje od 60 do 110 cm. V místě zkoumání zamokření zdiva je tloušťka zdiva 65 cm. Stavba je tížná, bez základů a podsklepení. V podzemní části budovy není realizována žádná hydroizolace. Podlaha pokoje nejvíce postiženého zamokřováním se nachází na straně sousedící se svahem 45 cm pod povrchem, na straně vnitřního dvora objektu je podlaha v úrovni terénu (obrázek č. 13).



Obrázek 13. Řez svahem a chalupou v místě zamokřování.

K monitorování půdních sacích tlaků v zájmovém území bylo nainstalováno 11 tenzometrů. Tenzometry jsou umístěny podle situace (obrázek 12.) Tenzometry jsou dle umístění rozděleny do čtyř oblastí. Tenzometry č. T1, T4, T6, a T11 jsou umístěny na straně vnitřního dvora. Tenzometry T5 a T10 jsou umístěny poblíž studny, T3 je mimo zájmové území a slouží jako doplňkový. Tenzometry T2, T7, T8, a T9 jsou umístěny na straně přilehlé ke svahu, tj. na zahradě u domovní čistírny odpadních vod.

Ve studni je umístěn plovák s nalepeným metrem, který slouží jako jednoduché zařízení pro stanovení hladiny podzemní vody (obrázek 14).



Obrázek 14. Plovák ve studni pro odečet HPV. Foto Vendula Peřinová.

Na přilehlém pozemku byl nainstalován jednoduchý srážkoměr. Ten byl sestaven z barelu o objemu 25 l zakopaného pod zem zasunutým trychtýřem v hrdle (obrázek 15).



Obrázek 15. Srážkoměr. Foto Vendula Peřinová.

### 3. Měření ze zájmové lokality

#### 3. 1. Měření srážkových úhrnů

Srážky byly odečítány ze srážkoměru, který je umístěn na louce nad zájmovým územím (obrázek 15 a 16). Ze srážkoměru byla v nepravidelných intervalech odebírána srážková voda. Množství vody bylo vydělením plochou půdorysu trychtýře přepočteno na srážkové úhrny. Je třeba brát v úvahu rozdílnou délku úseků, za kterou byly srážky odečítány. Pro znázornění vysoké shody mezi srážkovými úhrny ze stanice Temelín a daty ze zájmového území byly obě sady dat převedeny na součtové čáry s proměnlivým intervalem (obrázek 18). Data, ke kterým byla prováděna sumace srážkových úhrnů, jsou v tabulce 5.

Tabulka 5. Data odečítání ze srážkoměru v zájmovém území.

08.06.2016	30.06.2016	20.07.2016	01.08.2016	11.08.2016	10.09.2016	21.09.2016	25.03.2017	18.04.2017	30.04.2017
------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------

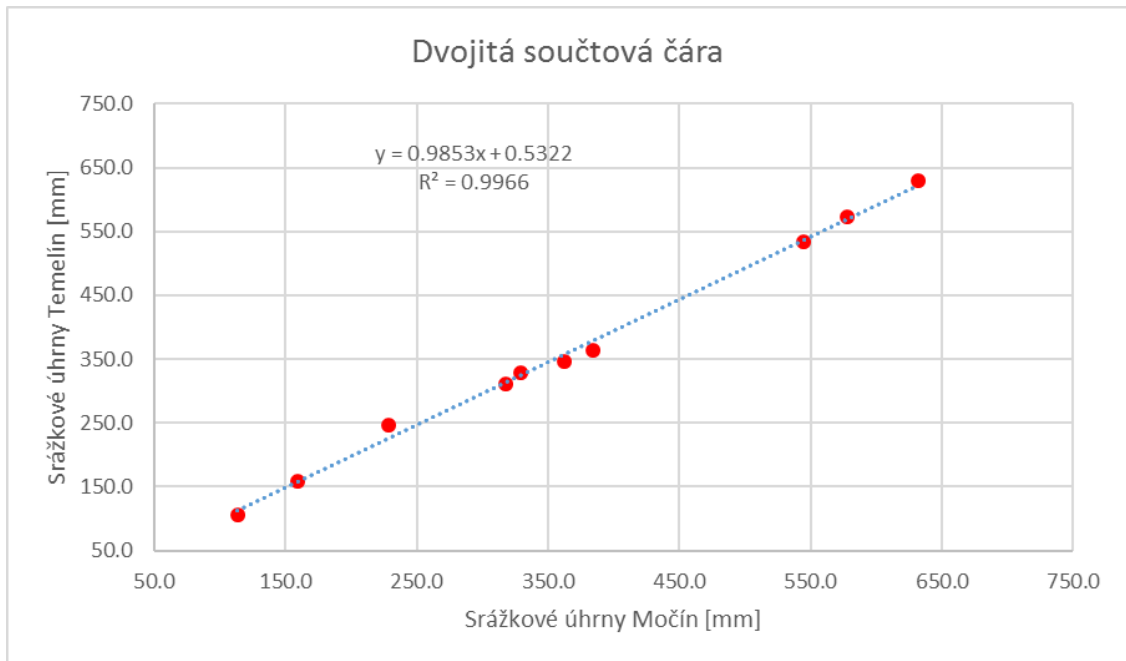


Obrázek 16. Umístění srážkoměru vzhledem k zájmovému území. Zdroj Mapy.cz.

Z obrázku 18 je vidět, že za období od května 2016 do dubna 2017 se průběžné sumy srážkových úhrnů liší pouze minimálně. Pro ucelenou představu korelace mezi

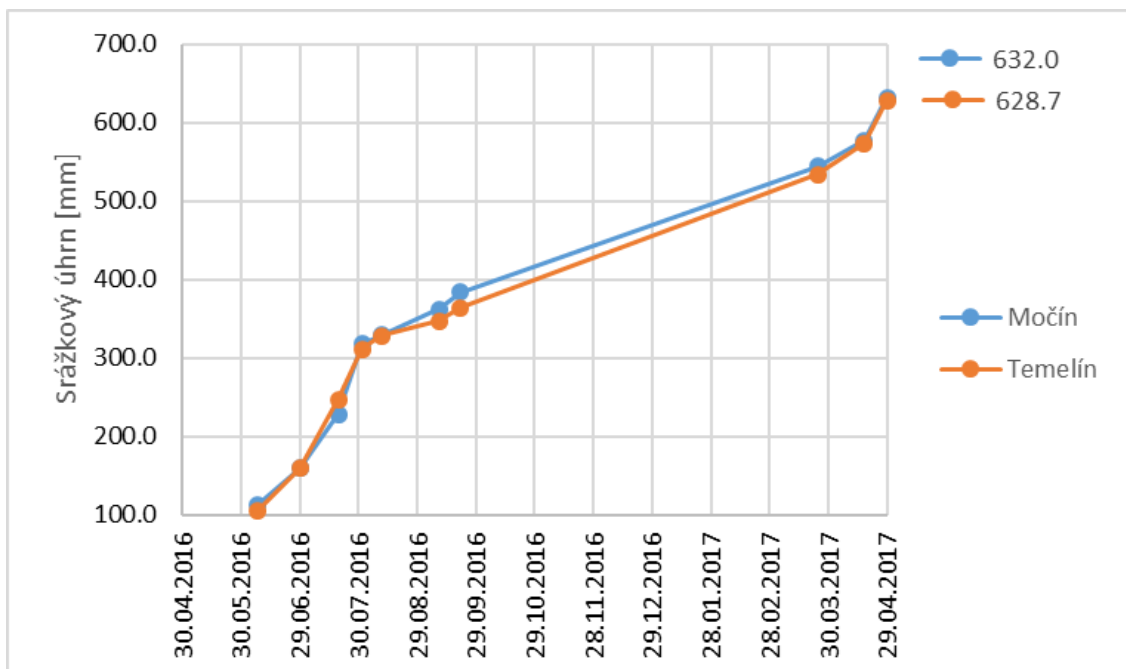


srážkovými úhrny zaznamenanými ve stanici Temelín a v zájmovém území byla vytvořena dvojitá součtová čára těchto dvou sad dat (obrázek 17) (Kemel, 1996).



Obrázek 17. Dvojitá součtová čára srážkových úhrnů. Lokalita Hosty a Temelín.

Sumace srážek ze stanice Temelín byla provedena vždy k datu odečtu ze srážkoměru v Močíně. Celkový úhrn srážek se liší pouze o 4 mm (obrázek 18).



Obrázek 18. Součtové čáry srážkových úhrnů ze stanice Temelín a zájmového území.

### 3. 2. Měřené vlastnosti půdy

Za účelem popisu důvodu zamokřování objektu bylo zájmové území rozděleno na dvě části. Na část přilehlé ke svahu (vzorky označované písmenem S) a část vnitřním dvoře objektu (vzorky označené písmenem D). Vizuálně se jedná o rozdílné půdy (obrázek 19 a 20). Tmavší zabarvení vzorku ze dvora je pravděpodobně způsobeno vyšším obsahem organických látek. Zamokřovaný objekt se nachází mezi těmito částmi viz obr 11. V obou částech území byly instalovány tenzometry s různou hloubkou měření, jako doplňkové byly instalovány tenzometry u studně a před objektem. V obou částech území byly odebrány neporušené vzorky pro stanovení retenční čáry a porušené vzorky pro stanovení čáry zrnitosti a měrné hmotnosti.



Obrázek 19. Rozdílná barva vzorků. Vzorek ze strany svahu vlevo, vzorek ze dvora vpravo.

#### 3. 2. 1. Stanovení měrné hmotnosti zeminy

Základním parametrem půdy je její měrná hmotnost. Měrná hmotnost se stanovuje z porušeného půdního vzorku. Pro stanovení měrné hmotnosti byly odebrány 2 vzorky z hloubky 20 cm pod povrchem. Jedná se o vzorek ze strany svahu  $S_{20}$  a ze strany dvora  $D_{20}$ . Vzorky byly odebrány během odběru neporušených vzorků pro stanovení retenčních čar (obrázky 20).



Obrázek 20. Vlevo sonda S na straně svahu. Vpravo sonda D ve dvoře.

### 3. 2. 1. 1. Příprava vzorku

Ze vzorku půdy prosetého na sítu o průměru ok 2 mm bylo naváženo 10 g. Půda byla krátce povařena s 10 ml roztoku hexametfosforečnanu sodného a po vychladnutí byla převedena sestříknutím stříčkou do pyknometru. Po vytemperování na 20 °C byl pyknometr zavřen tak, aby v celém systému včetně kapiláry v zátce nebyl uzavřen vzduch. Poté byla porovnáním hmotnosti vzorku přepočteného na sušinu vypočtena měrná hmotnost obou vzorků. Měrná hmotnost vzorků půdy  $S_{20}$   $\rho_s=2,66 \text{ g.cm}^{-3}$  a  $D_{20}$   $\rho_s=2,60 \text{ g.cm}^{-3}$ .

### 3. 2. 2. Zrnitostní rozbor

Zrnitostní půdní rozbor se provádí z porušeného vzorku půdy. Pro zrnitostní rozbor používáme tzv. jemnozemeň na vzduchu vyschlé, tj. vzorku zeminy, který obsahuje pouze částice  $<2 \text{ mm}$  (Semotán, 1967).

### 3. 2. 2. 1. Příprava vzorku

Pro zrnitostní rozbor byly odebrány vzorky z hloubky 20 cm pod povrchem z oblasti přilehlé ke svahu (S 20) a z oblasti vnitřního dvora (D 20). Porušený půdní vzorek byl vysušen při teplotě 20 °C, poté byl v třecí misce rozetřen tloučkem. Rozetřený vzorek byl proset na sítu s okem o průměru 2 mm. Z materiálu propadlého sítím bylo odváženo 40 g. Odvážený vzorek byl přepočítán na sušinu (sušenou při 105 °C) podle rovnice

$$s = \frac{j}{w + 1} [g]$$

j – navážená jemnozeme

s – navážka zeminy k zrnitostní analýze přepočtená na sušinu

w – hmotnostní vlhkost zbývající v jemnozemi při 20 °C

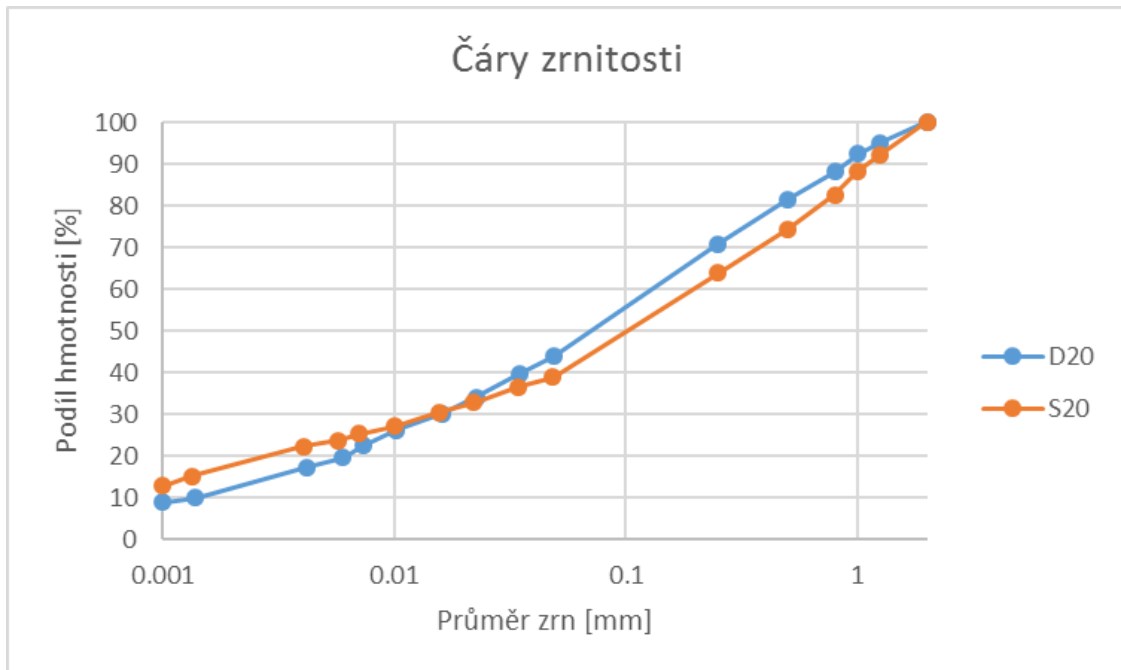
Hmotnostní vlhkost vzorku byla stanovena z podílu hmotnosti vzorku sušeného 6 hodin při 105 °C, které následovalo po sušení trvajícím týden při 20 °C (Kutílek, 2000). Pro zrnitostní rozbor je důležité, aby byly rozrušeny veškeré půdní agregáty. Za tímto účelem byly vzorky vařeny po dobu 15 minut na elektrickém vařiči spolu s dispergačním činidlem (směs hexametfosforečnanu sodného a uhličitanu sodného) a 200 ml demineralizované vody. Po 15 minutách byly nejjemnější částice přeneseny promýváním do odměrného válce o objemu 1 000 ml. Zbylé větší částice byly vysušeny při teplotě 105 °C a byly prosety na soustavě sítí.

### 3. 2. 2. 2. Stanovení čáry zrnitosti

Výsledky zrnitostního rozboru jsou nejčastěji zobrazovány formou čáry zrnitosti. Čára zrnitosti je součtová čára, kde na ose X jsou vyneseny velikosti zrn v logaritmickém měřítku a na ose Y procentuální zastoupení jednotlivých frakcí (Semotán, 1967).

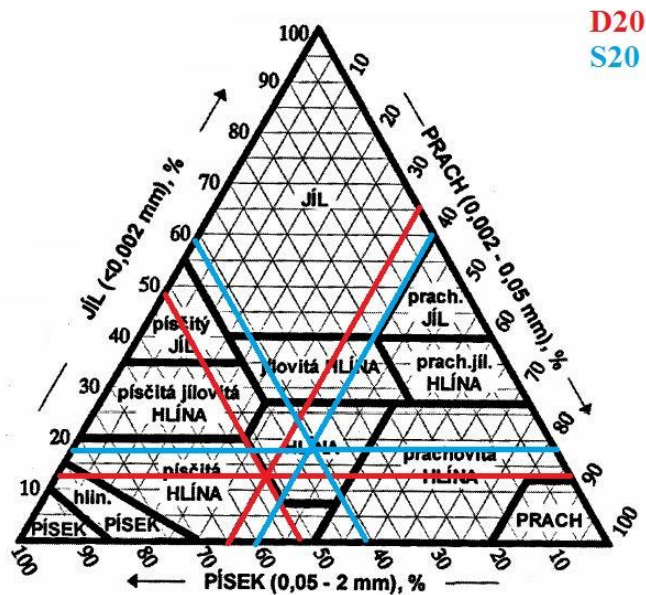
Pro stanovení čáry zrnitosti bylo postupováno dvěma metodami. Pro zrna, jejichž velikost byla >0,1 mm, byla použita standardní sada sítí, na kterých byly zaznamenány zbytky. Zbytky na sítích byly přepočteny na hmotnostní procenta. Pro zrna propadlá sítím s okem 0,1 mm byla použita Cassagrandeho hustoměrná metoda. Tato metoda je založena na postupné sedimentaci částic. Sedimentací částic v suspenzi se mění její

hustota. Z hustoty a času, kdy nastala, je následně vypočten procentuální obsah částic určité velikosti.



Obrázek 21. Čáry zrnitosti obou vzorků.

Podle čáry zrnitosti je možné určit druh půdy. Dle Nováka lze vzorek S 20 s 27 % částic  $<0,01$  mm zatřídit jako písčitohlinitou půdu. Vzorek D 20 s 26 % částic 1. kategorie taktéž jako písčitohlinitou půdu. Podle trojúhelníkového diagramu zrnitosti USDA (obrázek 22) se v případě vzorku ze strany svahu jedná o hlínu a vzorek z vnitřního dvora je zatříděn jako písčité hlína.



Obrázek 22. Zatřídění vzorků do trojúhelníkového diagramu USDA.

### 3. 2. 3. Měření potenciálu půdní vody

#### 3. 2. 3. 1. Potenciál půdní vody

Pohyb vody v půdním prostředí je způsoben rozdílným potenciálem. Jednou z hlavních složek celkového potenciálu  $H$  je vlhkostní potenciál  $h$ , který vyjadřuje schopnost půdního prostředí udržovat vodu v prostředí pomocí kapilárních sil. Kdyby vlhkostní potenciál neexistoval, voda v půdě by proudila stejně jako v korytech, to znamená, byla by hnána gravitací. Z toho vyplývá existence druhé složky celkového potenciálu, a to gravitační potenciál  $z$  (Kutílek, 2000).

Měříme-li celkový potenciál v délkových jednotkách, můžeme ho zapisovat jako  $H = h + z$ . Kde  $H$  je celkový potenciál v metrech,  $h$  je vlhkostní potenciál v metrech a  $z$  je gravitační potenciál (Kutílek, 2000). U gravitační složky potenciálu je nutné dbát na znaménko. Je vždy nutné zvolit srovnávací rovinu  $z = 0$ . V této práci je za srovnávací rovinu zvolena úroveň terénu každého tenzometru. Tím pádem má složka  $z$  záporné znaménko. V případě monitorování zájmového území byly použity standardní tenzometry s mechanickými manometry (obrázek 23 a 24).



Obrázek 23. Tenzometry s mechanickým manometrem v zájmové lokalitě. Tenzometry jsou zkroucené vinou dlouhodobého měření v jiné lokalitě. Foto Vendula Peřinová.



Obrázek 24. Tenzometr typ 2710. Tento typ byl použit k měření v zájmovém území (Soilmoisture Equipment Corp., 2017).

### 3. 2. 3. 2. Tenzometr

Tenzometry jsou jediným zařízením, které může přímo měřit sací tlak půdy (Stanovení tenzometrického potenciálu půdní vody, 2013). Tenzometr se skládá z porézní porcelánové nádoby, jejíž stěny umožňují hydraulické propojení mezi půdní vodou a manometrem. Tlaky vyskytující se v půdě jsou takto přenášeny a měřeny pomocí ručičkového manometru (Kutílek, 2000).

### 3. 2. 3. 3. Retenční čáry půdní vlhkosti

Vztah mezi vlhkostí půdy a vlhkostrním potenciálem (sacím tlakem nebo případně tlakovou výškou) se nazývá retenční čára půdní vlhkosti. Její průběh je závislý na zrnitostním a mineralogickém složení, obsahu humusu, výměnných kationtech, struktuře a objemové hmotnosti (Kutílek, 2000).

Kvůli velkému rozsahu vlhkostrních potenciálů se graf zobrazuje v semilogaritmickém měřítku, potenciál se vynáší v logaritmickém měřítku

Retenční čáry půdní vlhkosti jsou empiricky popisovány různými rovnicemi, jimiž se snažíme vystihnout závislost vlhkosti na sacím tlaku. Nejčastěji využívané výrazy pro vyjádření této závislosti jsou rovnice dle Brooks-Coreyho (1964) nebo dle van Genuchtena (Van Genuchten, 1980), které je i použito v této práci:

$$\theta_e(h) = \frac{1}{(1 + (-ah)^n)^m} \quad \text{pro } h < 0$$

$$\theta_e(h) = 1 \quad \text{pro } h \geq 0$$

$\theta_e$  je efektivní vlhkost

$$\theta_e = \frac{\theta - \theta_r}{\theta_s - \theta_r}$$

$\theta_r$  je reziduální vlhkost, která se neúčastní proudění

$\theta_s$  je nasycená vlhkost

$\alpha$ ,  $m$  a  $n$  jsou parametry,  $n$  musí být větší než 1, a parametr  $m$  je dán předpisem:



$$m = 1 - \frac{1}{n}$$

Analytické vyjádření křivky dle van Genuchtena je derivovatelné v celém oboru hodnot, proto se používá častěji. Naopak vyjádření dle Brooks-Coreyho (1964) zahrnuje fyzikální význam vstupní hodnoty vzduchu, ale není vhodné pro výpočet z matematického hlediska (Van Genuchten, 1980).

Vlhkostní potenciál se uvádí buď v tlakových jednotkách, nebo v délkových jednotkách jako tlaková výška. V laboratoři se pro zvolený vlhkostní potenciál (sací tlak) zjišťuje gravimetricky vlhkost na neporušených vzorcích. Pro sací tlaky do 0,5 m se používají podtlakové přístroje. V případě vzorků ze zájmového území byl pro sací tlaky 0,1; 0,3 a 0,5 m použit pískový tank (obrázek 25). Pro vyšší sací tlaky je již nutné, z důvodu nedostatku prostoru a později i nestability vodního sloupce, použít přetlakové nádoby (obrázek 26). Ty byly použity pro tlaky 1; 3,3; 10 a 50 m. Vždy po ustálení vlhkosti vzorků jsou vzorky zváženy pro stanovení vlhkosti, která odpovídá nastavenému tlaku. V terénu se vlhkostní potenciál měří pomocí tenzometrů.



Obrázek 25. Pískový tank, který byl použit pro sací tlaky do -0,5 m.



Obrázek 26. Přetlakové nádoby použité pro tlaky 0,1-5 bar.

#### *3. 2. 3. 4. Nasycená hydraulická vodivost*

Proudění vody v nasycené půdě je charakterizováno hydraulickým spádem a koeficientem nasycené hydraulické vodivosti  $K_s$ .  $K_s$  je možné měřit v laboratoři nebo v terénu. Vinou dlouhotrvajících dešťů v zájmové oblasti nebylo možné provést měření na místě. Při pokusu o provedení válcové zkoušky voda ani po dvou hodinách neinfiltrovala.

Pro účely této práce byl použit odhad  $K_s$  ze zatřídění zemin. Obě půdy byly zatříděny jako písčitohlinité, tedy podle ČSN 75 2410 jako SM, pro něž je  $K_s$  v intervalu  $1 \cdot 10^{-3} - 1 \cdot 10^{-8} [\text{m} \cdot \text{s}^{-1}]$  (Císlarová, 1998).

#### *3. 2. 3. 5. Stanovení retenčních čar*

Retenční čáry půd ze zájmového území byly stanoveny jakožto základní vlastnost půd a také pro interpretaci měřených sacích tlaků tenzometry. Pro stanovení retenčních čar bylo odebráno 18 neporušených vzorků (obrázek 27 a 28). Vzorky byly odebrány standartní metodou do Kopeckého válečků o objemu  $100 \text{ cm}^3$ . Vzorky byly odebrány z obou oblastí zájmového území (vzorky S na straně svahu, vzorky D na straně dvora) ze třech horizontů 15, 25 a 40 cm pod povrchem, a to vždy po třech. Poloha odběrných míst je znázorněna na obrázku 29.

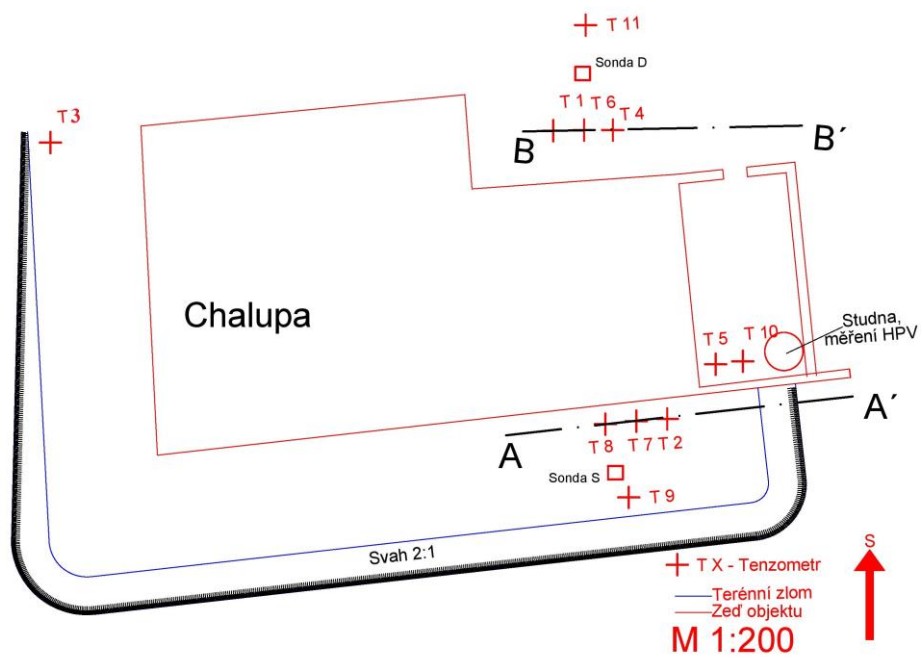


Obrázek 27. Odběr neporušených vzorků na straně svahu (sonda S).

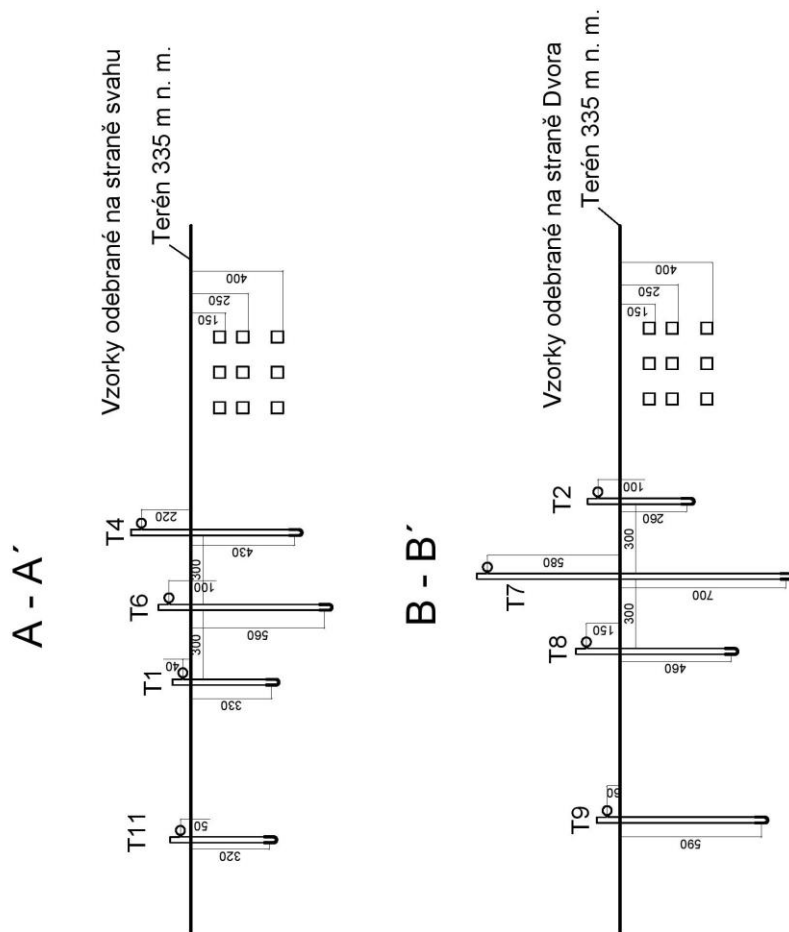


Obrázek 28. Spodní Kopeckého válečky s neporušenými vzorky v půdě ve dvoře (sonda D).

Vzorky byly po převezení do laboratoře zváženy a poté se týden sytily vodou. Po nasycení byly vzorky vloženy na pískový tank. Vzorky byly váženy po ustálení při sacím tlaku 0,1; 0,3 a 0,5 m. Pro vyšší sací tlaky byly vzorky přesunuty do tlakových nádob. Vzorky byly odvodňovány při tlaku 0,1; 0,3; 1 a 5 bar. Odvodňování při tlaku 15 bar nebylo z časových důvodů realizováno.



Obrázek 29. Situace odběrných míst.



Tenzometry T9 a T 11 leží mimo rovinu řezu.  
Jejich poloha je patrná ze situace.  
Tenzometry T5 a T3 neleží v blízkosti oděru vzorků a nejsou zde zobrazeny.  
Kóty v mm.

Obrázek 30. Schéma instalace tenzometrů ležících v blízkosti odběrných míst.

Pro vykreslení retenčních čar byla z hmotností vzorků při jednotlivých sacích tlacích vypočtena vlhkost. Pro proložení retenčních čar byl použit program ARC (Vogel, 1990).

### 3. 2. 4. Sací tlaky naměřené tenzometry

Sací tlaky v půdě byly monitorovány tenzometry rozmístěnými podle situace (obrázek 29). Hloubky uložení tenzometrů jsou vypsány v tabulce 6. Všechny tenzometry jsou uloženy vertikálně. Zakřivení tenzometrů, které je zřetelné z obrázku 23 nemá na uložení vliv, protože tenzometry byly ukládány pouze v přímé části. Tenzometry byly instalovány v květnu a září 2016 pomocí sondýrky o stejném průměru. Tenzometry byly sestaveny, těsnost závitů byla zajištěna konopím a teflonovou páskou. Před instalací byla keramika obalena půdou ze sondýrky rozmělněnou ve vodě pro zajištění lepšího kontaktu s měřeným prostředím. Tenzometry byly naplněny vodou pomocí kanyly. Po vyprcháání bublinek byly zavíčkovány. Na zimu (listopad 2016) byly tenzometry vypuštěny, zbaveny víček a manometrů a ponechány v půdě. Na konci března 2017 byly tenzometry znovu osazeny. Kvůli ochraně před občasnými přizemními mrazíky byly tenzometry zaházeny smrkovými větvemi až do 2. 5. 2017 (obrázek 31).

Tabulka 6. Hloubky instalace tenzometrů. Délkou se rozumí vzdálenost hrdla manometru a středu keramiky.

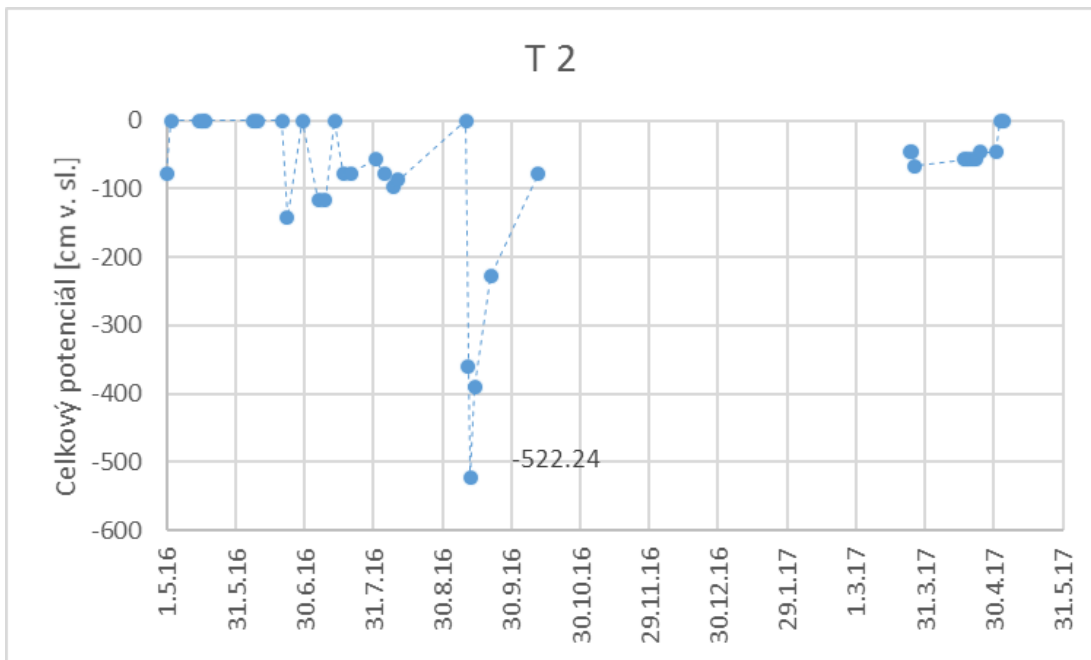
Tenzometr	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11
Hloubka instalace [cm]	33	26	47	43	53	56	70	46	59	29	32
Délka [cm]	37	36	60	65	95	66	128	61	65	36	37



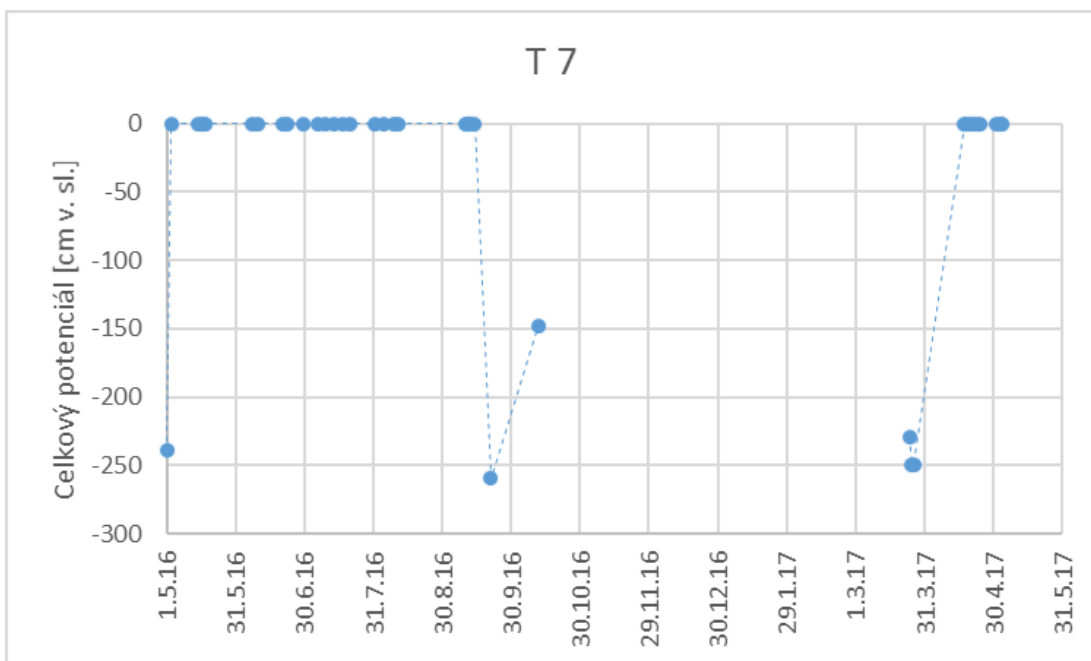
Obrázek 31. Ochrana tenzometrů před přizemními mrazíky na jaře 2017.

Tenzometry byly instalovány ve dvou vlnách. Tenzometry T1 – T7 byly instalovány 1. 5. 2016 a T8 – T11 byly instalovány 21. 9. 2016.

Tenzometry mají ručičkové manometry s rozsahem 0–85 cbar. Naměřené hodnoty byly přepočteny sací tlak v cm v. sl. (obrázek 32–41). Obrázky jsou uspořádané podle oblastí měření, nikoliv podle čísel tenzometrů.

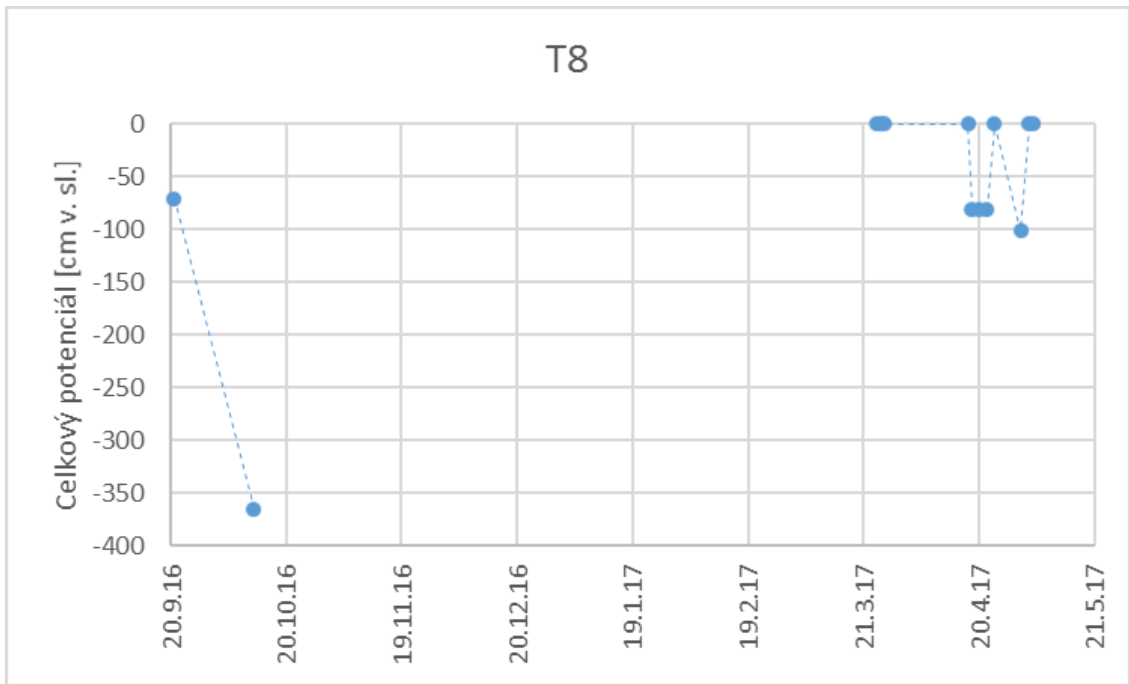


Obrázek 32. Celkové potenciály zaznamenané tenzometrem T2 umístěným na straně svahu.

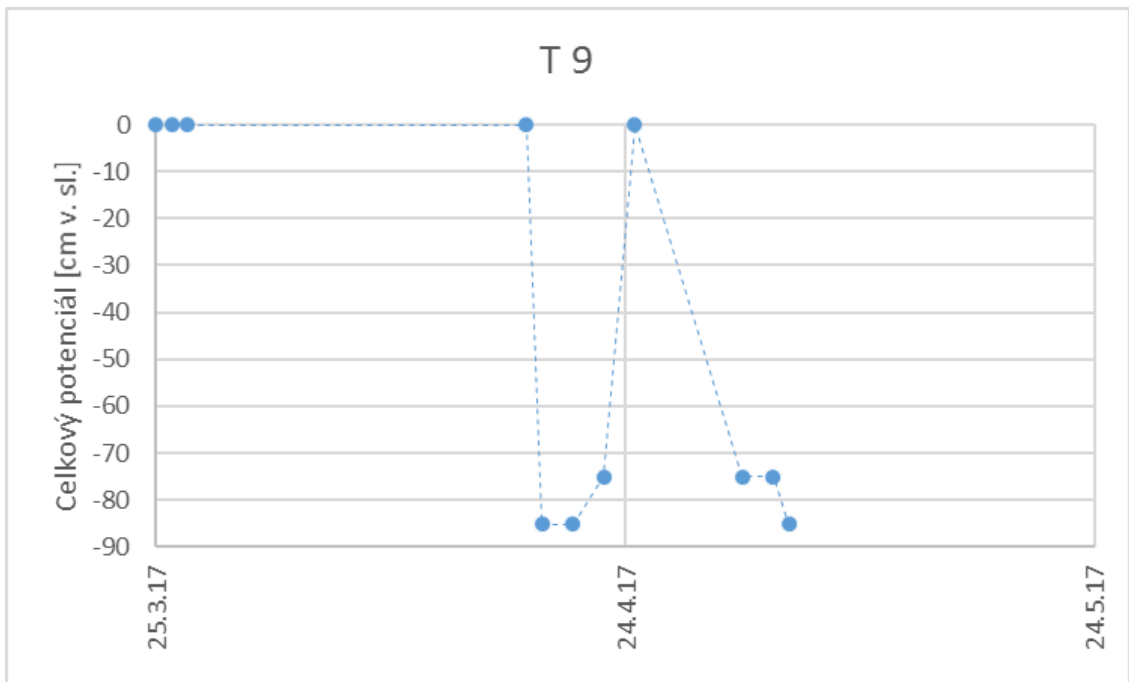


Obrázek 33. Celkové potenciály zaznamenané tenzometrem T7 umístěným na straně svahu.

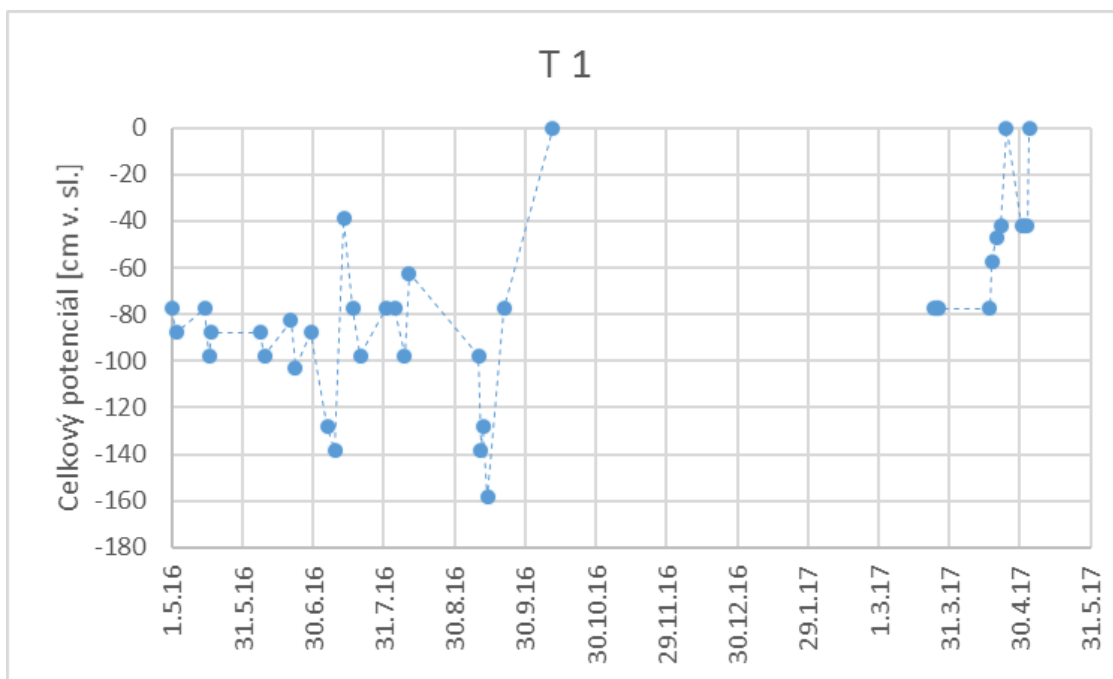




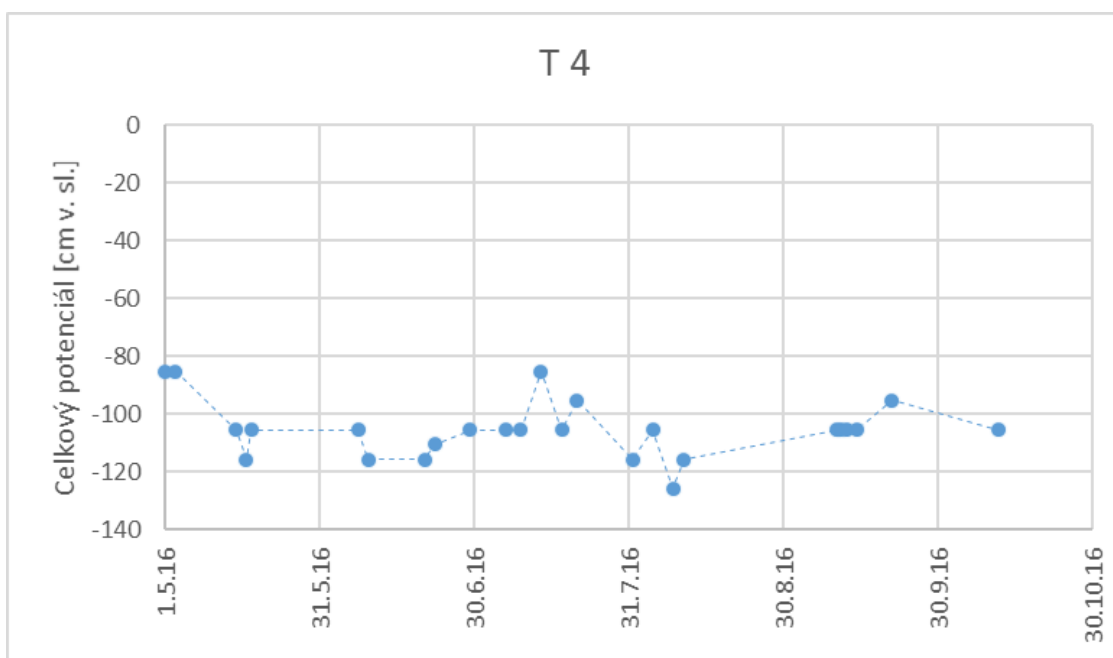
Obrázek 34. Celkové potenciály zaznamenané tenzometrem T8 umístěným na straně svahu.



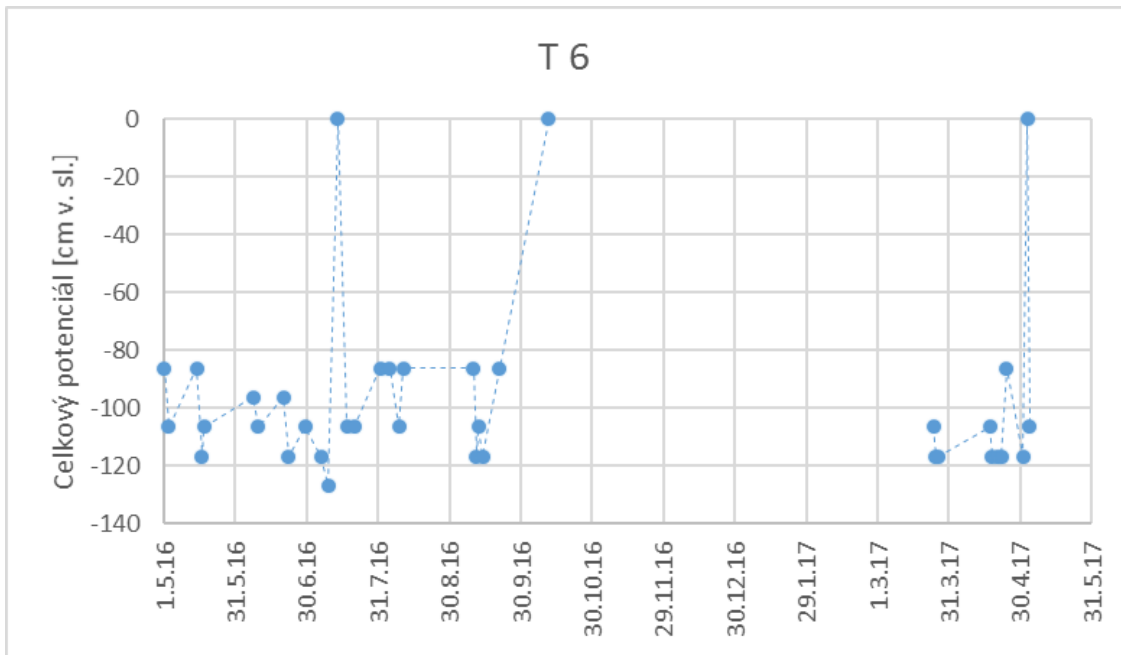
Obrázek 35. Celkové potenciály zaznamenané tenzometrem T9 umístěným na straně svahu.



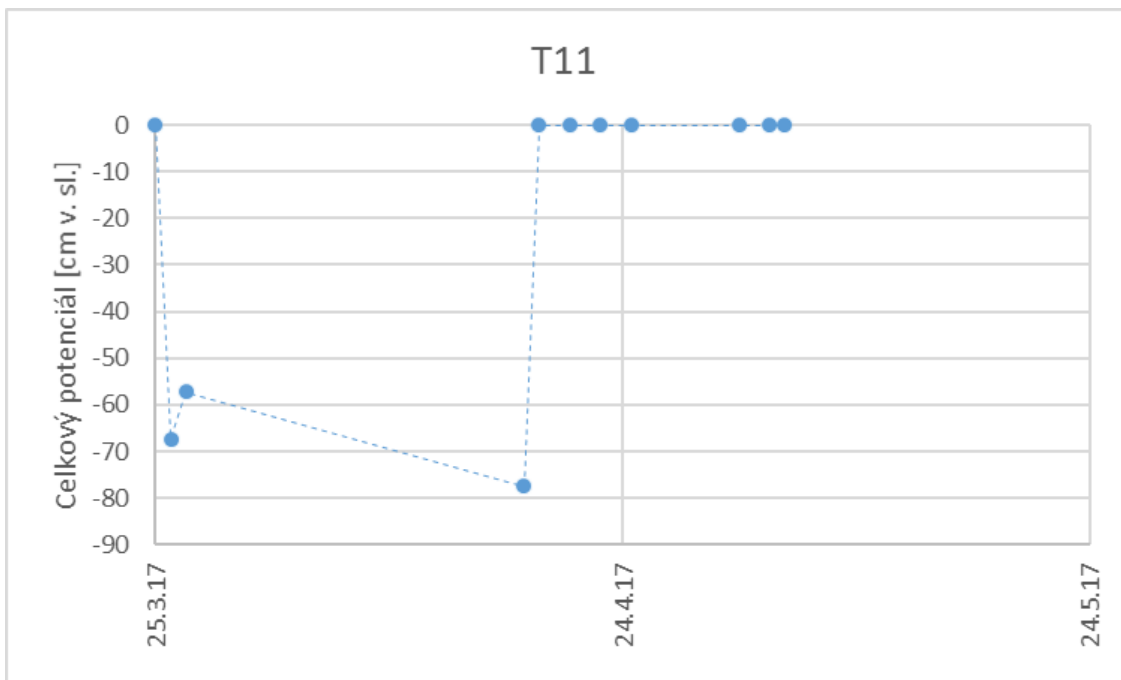
Obrázek 36. Celkové potenciály zaznamenané tenzometrem T1 umístěným na straně dvora.



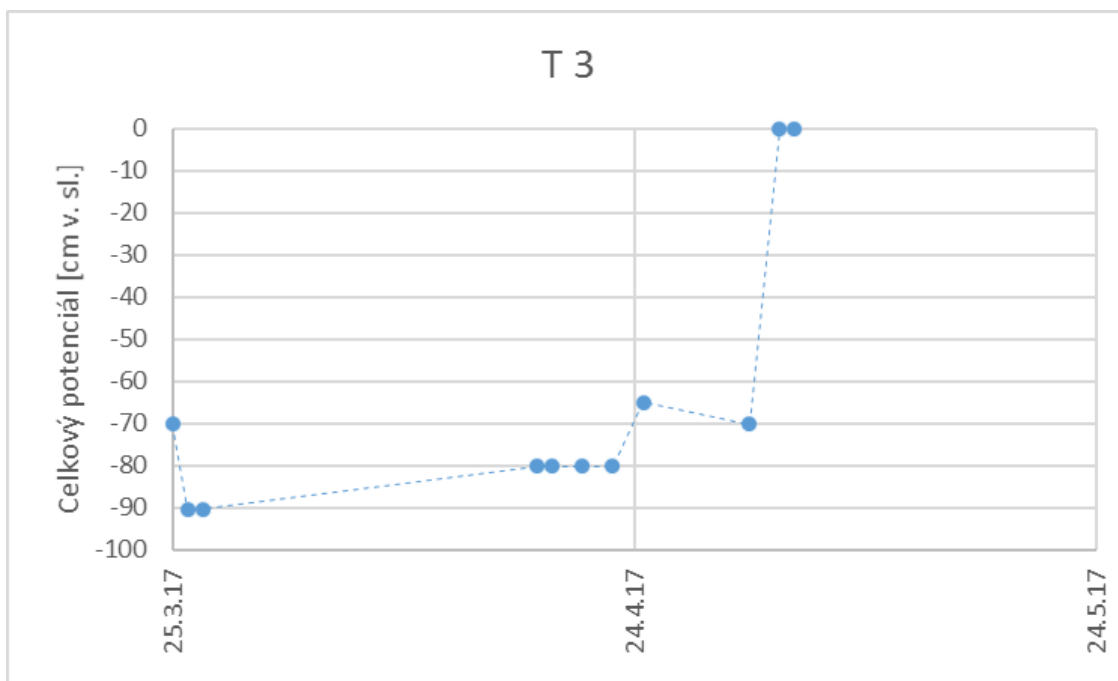
Obrázek 37. Celkové potenciály zaznamenané tenzometrem T4 umístěným na straně dvora.



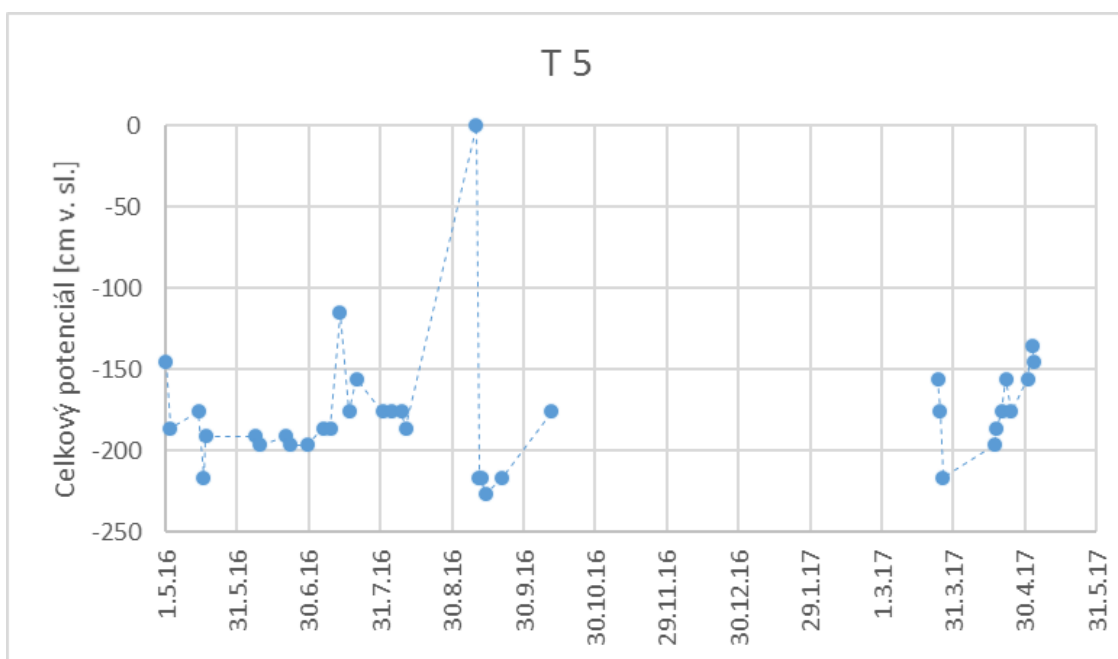
Obrázek 38. Celkové potenciály zaznamenané tenzometrem T6 umístěným na straně dvora.



Obrázek 39. Celkové potenciály zaznamenané tenzometrem T11 umístěným na straně dvora.



Obrázek 40. Celkové potenciály zaznamenané tenzometrem T3 umístěným před západní stranou objektu chalupy.



Obrázek 41. Celkové potenciály zaznamenané tenzometrem T5 umístěným mezi dvorem a svahem u studny.

Nulové hodnoty u celkového potenciálu mohou být způsobeny dvěma příčinami. Buďto se měřící zařízení, tj. keramická čepička, nacházela na nebo pod hladinou podzemní vody nebo měl tenzometr poruchu, došlo k přetržení vodního sloupce. Tento typ tenzometru není schopen zaznamenávat kladné tlaky z důvodu omezení manometru

na záporné hodnoty tlaku. U tenzometru T7 (obrázek 33) a T4 (obrázek 37) se jedná o nefunkčnost. Konkrétně bylo u T7 někým odstraněno víčko, u T4 je příčina neznámá. U ostatních vyobrazených tenzometrů jsou nulové hodnoty způsobeny nasycením půdy. To vyplývá z toho, že tenzometry měřily i nenulové hodnoty bez vnějšího zásahu. Přerušeni řady měření u tenzometrů T1 – T7 je způsobeno odstávkou během zimy. Tenzometr T10 byl nainstalován v druhé vlně. V roce 2016 měřil jen nulové hodnoty, na jaře 2017 byla zjištěna porucha jednoho manometru. T10 byl vybrán pro odstávku, protože se jedná o tenzometr doplňkový a T5, který je umístěn v těsné blízkosti, funguje bezchybně.

Nejvyšší celkový potenciál byl zaznamenán tenzometrem T2, a to 12. 9. 2016 - 522,24 cm v. sl. (obrázek 32).

### 3. 2. 5. Retenční čáry půdní vlhkosti

Retenční čáry půdní vlhkosti byly proloženy z bodů zaznamenaných při měření popsaném v kapitole 3. 2. 3. 5.. Rozmístění sond, umístění vzorků v půdních horizontech a přiřazení odpovídajících tenzometrů je v obrázku 29 a 30. Vzorky byly v obou sondách uspořádány do matice (tabulka 7).

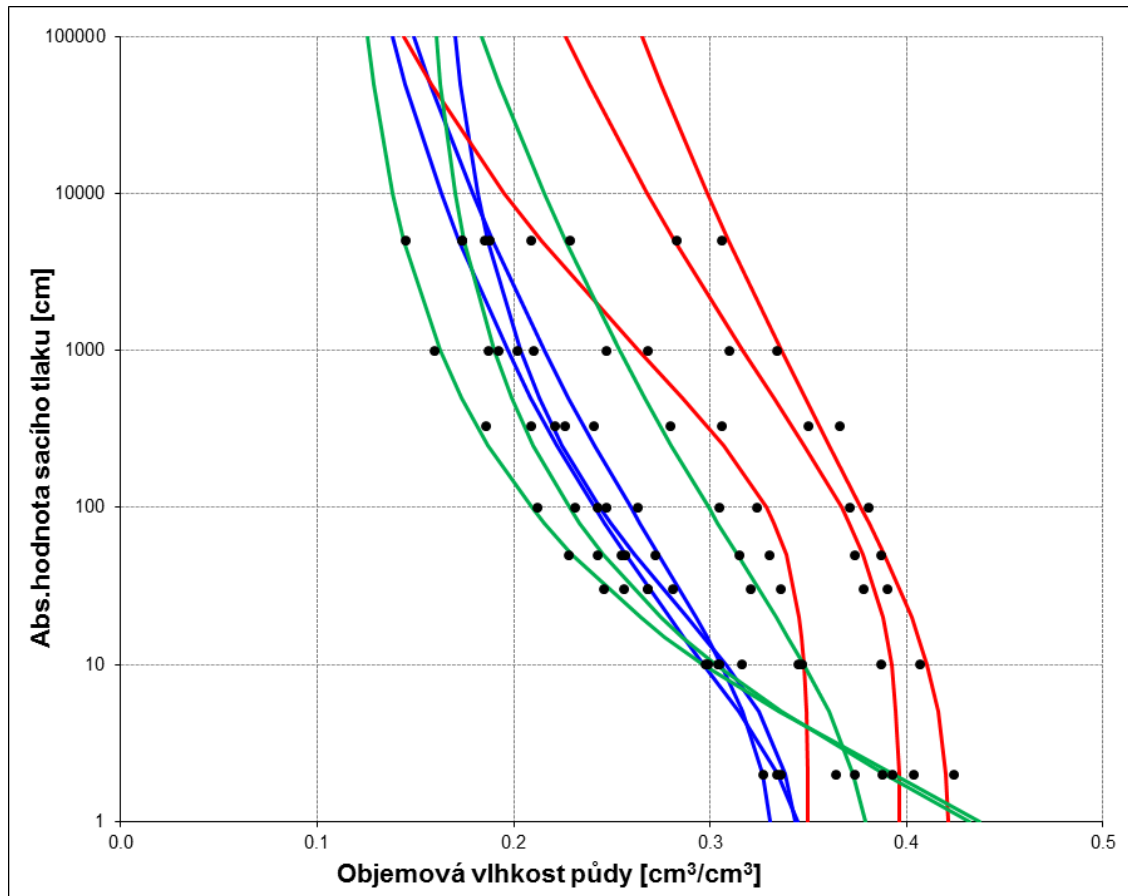
Tabulka 7. Uspořádání vzorků v sondách.

	<b>S</b>		
S15	76	656	685
S25	65	26	674
S40	651	661	224
	<b>D</b>		
D15	188	187	640
D25	96	91	10
D20	652	52	47

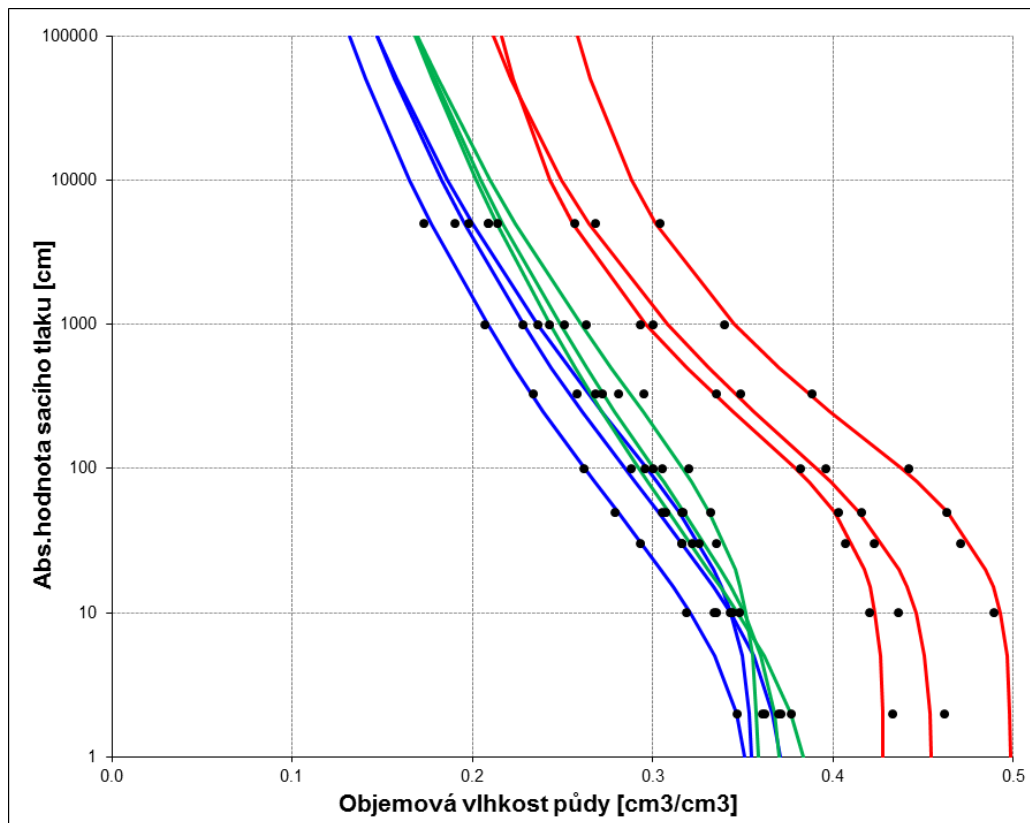
Výsledkem proložení měřených bodů při stanovených sacích tlacích bylo 18 retenčních čar (obrázek 42 a 43). Vždy z trojice vzorků jednoho horizontu byla složena jedna referenční retenční čára půdní vlhkosti. Tím pádem bylo vytvořeno 6 retenčních čar, které budou dále použity pro stanovení vlhkosti půdy z hodnot sacích tlaků, které byly naměřeny příslušnými tenzometry.

Na retenční čáře půdní vlhkosti se nalézají několik významných bodů. Nasycená vlhkost je bod, kde jsou veškeré póry zaplněny vodou. Vstupní hodnota vzduchu je sací tlak, při kterém se půda začne drénovat a do půdy začne pronikat vzduch. Vstupní hodnota

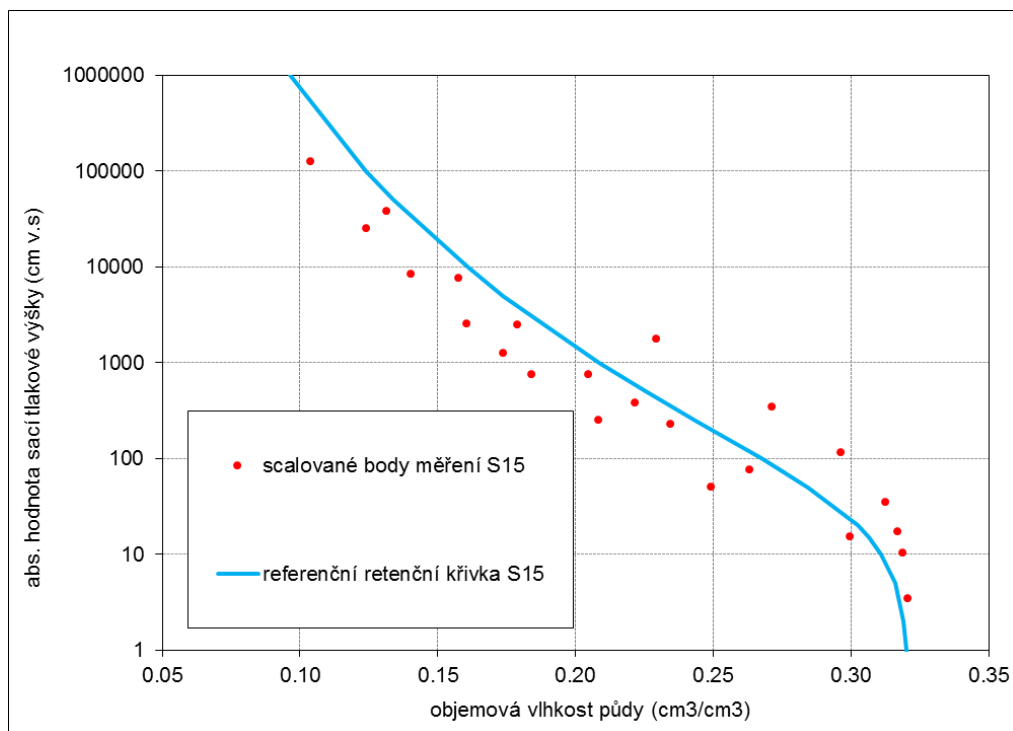
vzduchu je různá pro různé půdy a je závislá především na velikosti zrn půdy. Vstupní hodnota vzduchu se pohybuje od 0 cm – šterky přes jednotky cm u písků a prachů až po celé metry u jílu (Šanda, 2017).



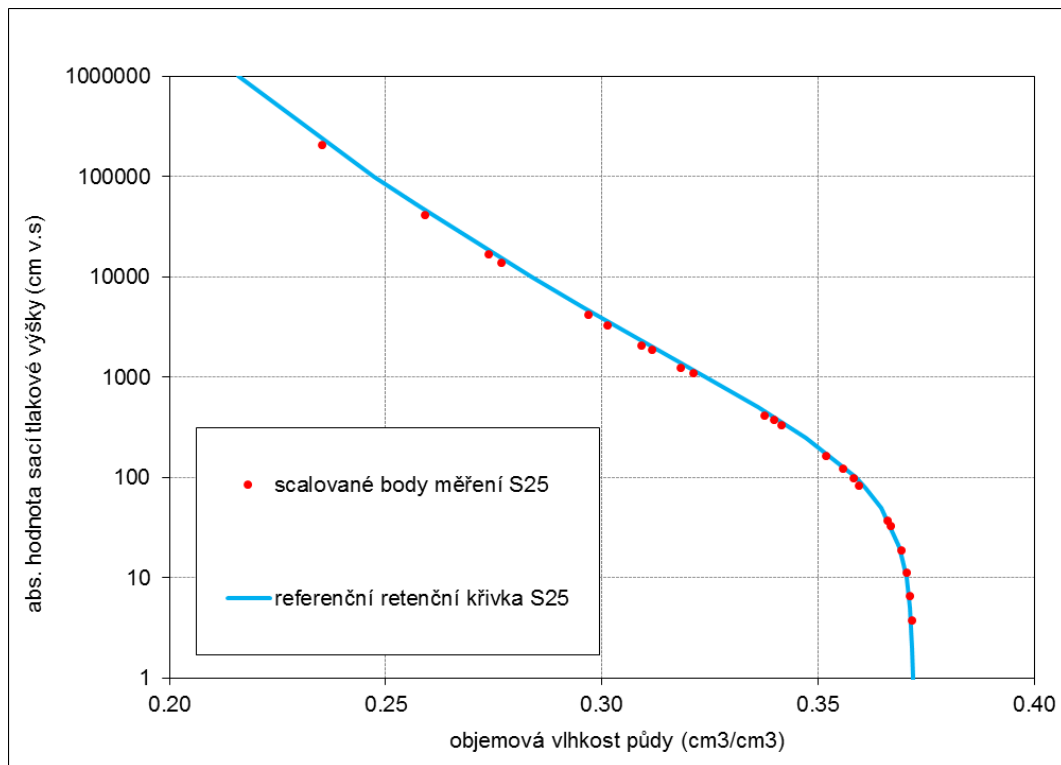
Obrázek 42. Měřené body retenčních čar a proložené retenční čáry, skupina S. Červeně S15, modře S25, zeleně S40. S znamená stranu svahu, číslo označuje hloubku odběru vzorku pod terénem v cm.



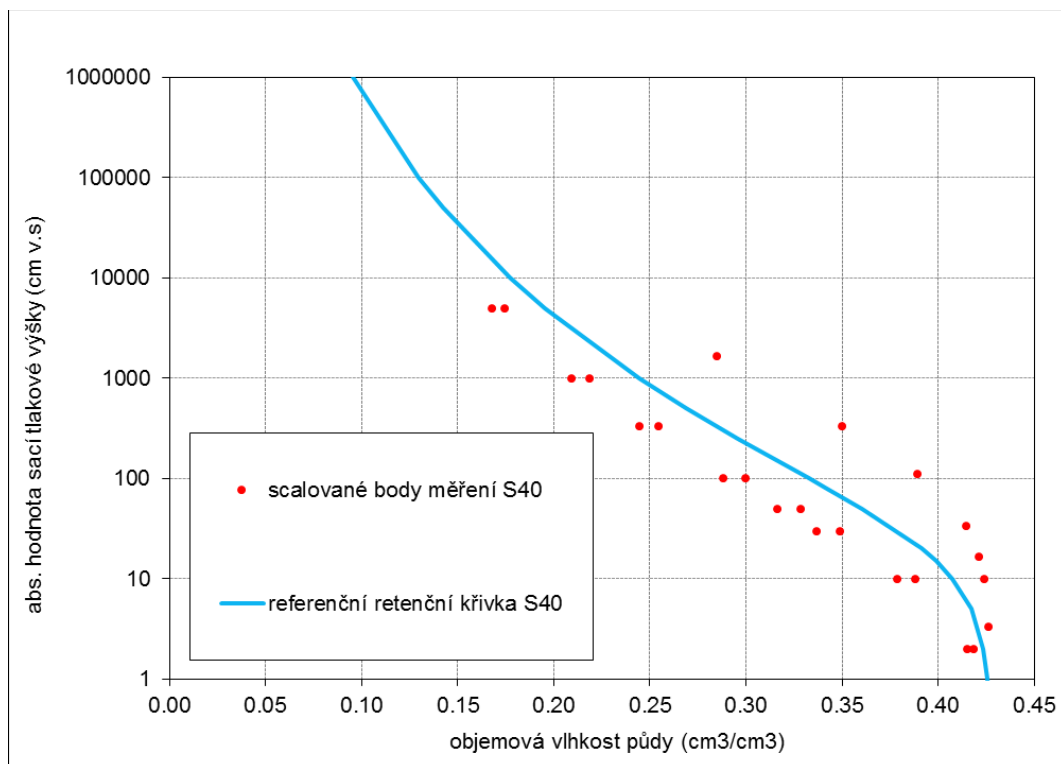
Obrázek 43. Měřené body retenčních čar a proložené retenční čáry, skupina D. Červeně D15, modře D25, zeleně D40. D znamená stranu dvora, číslo označuje hloubku odběru vzorku pod terénem v cm.



Obrázek 44. Referenční retenční křivka pro horizont S15. S znamená stranu svahu, číslo označuje hloubku odběru vzorku pod terénem v cm.

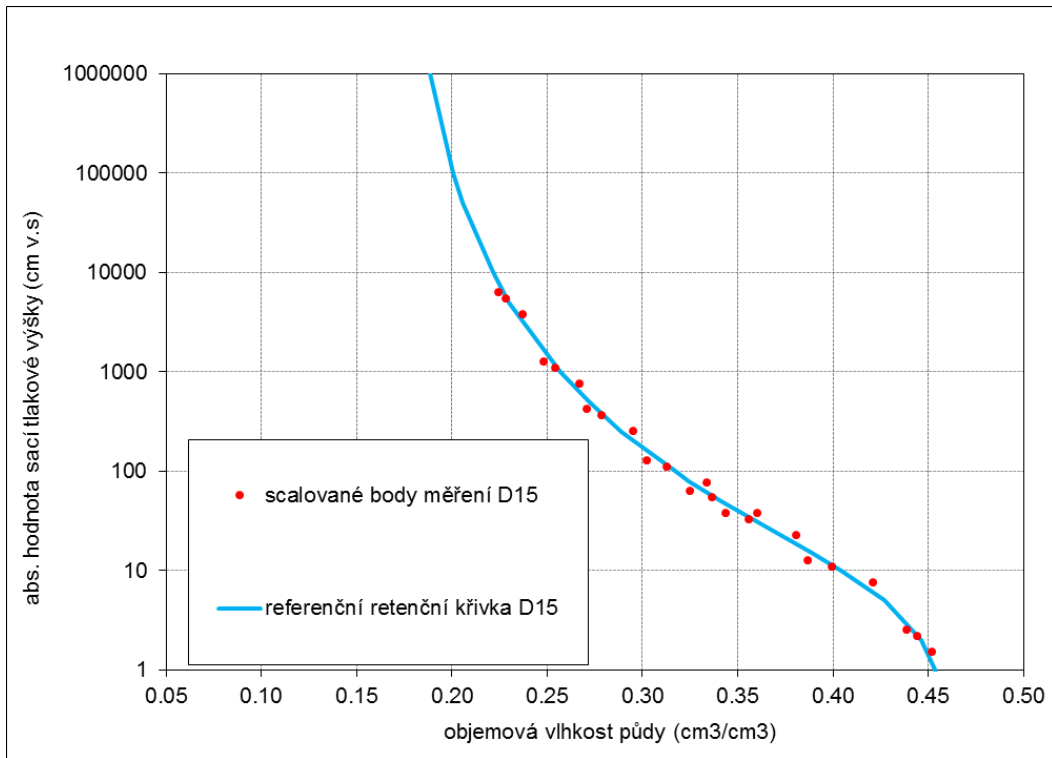


Obrázek 45. Referenční retenční křivka pro horizont S25. S znamená stranu svahu, číslo označuje hloubku odběru vzorku pod teréнем v cm.

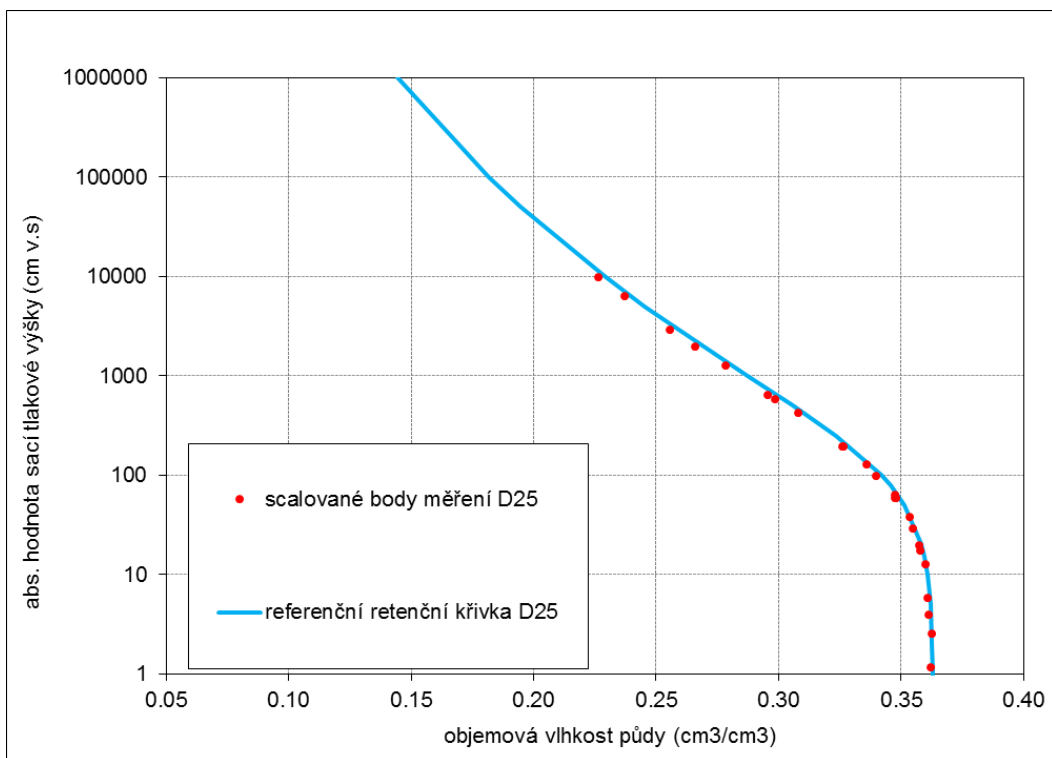


Obrázek 46. Referenční retenční křivka pro horizont S40. S znamená stranu svahu, číslo označuje hloubku odběru vzorku pod teréнем v cm.

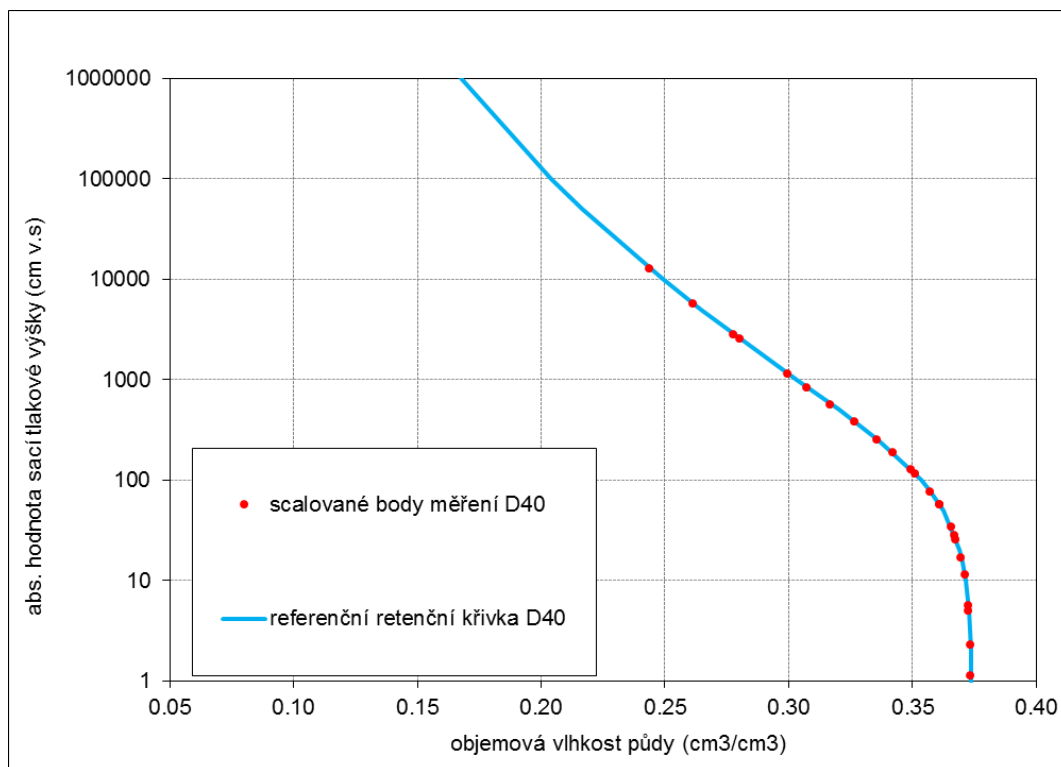




Obrázek 47. Referenční retenční křivka pro horizont D15. D znamená stranu dvora, číslo hloubku odběru vzorku pod terénem v cm.



Obrázek 48. Referenční retenční křivka pro horizont D25. D znamená stranu dvora, číslo hloubku odběru vzorku pod terénem v cm.



Obrázek 49. Referenční retenční křivka pro horizont D40. D znamená stranu dvora, číslo hloubku odběru vzorku pod terémem v cm.

Z referenčních retenčních čar (obrázky 44-49) jsou viditelné poměrně velké rozdíly v průběhu odvodňování vzorků jak při porovnávání vzorků S a D, tak i v rámci jedné sondy a jejích horizontů. Z důvodu absence měřeného bodu při tlaku 15 bar směřují retenční křivky k nulové vlhkosti, kdyby existoval měřený bod při 15 barech, křivky by se od vertikální osy odklonily. Uvedená nepřesnost nemá na interpretaci dat z tenzometrů vliv, protože měřené hodnoty celkového potenciálu dosahují maximálně 522 cm v. s. (obrázek 32).

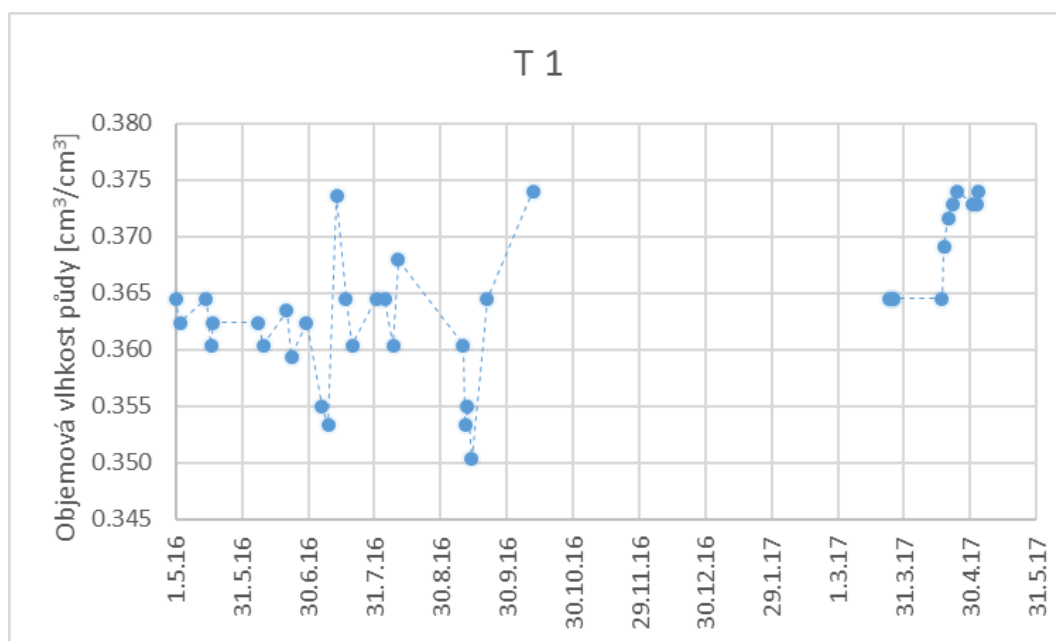
Na retenčních čarách je patrná vysoká hodnota vstupu vzduchu (obrázek 45, 48, 49). Ačkoliv u Van Genuchtenovy rovnice tento bod není striktně definován, úbytek objemové vlhkosti v řádu jednotlivých procent při sacím tlaku 100 cm v. sl. (obrázek 45, 48, 49) je natolik zanedbatelný, že je možné považovat půdu za nedrénovanou. To indikuje, že tyto půdní horizonty jsou vlastně trvale zamokřeny viz data z tenzometrů (obrázek 32-41). Dalším závěrem získaným z referenčních retenčních čar je poměrně nízká hodnota nasycené objemové vlhkosti. Ta se pohybuje od 0,32 (obrázek 44) do 0,45 (obrázek 47).

### 3. 2. 6. Půdní vlhkost v zájmovém území

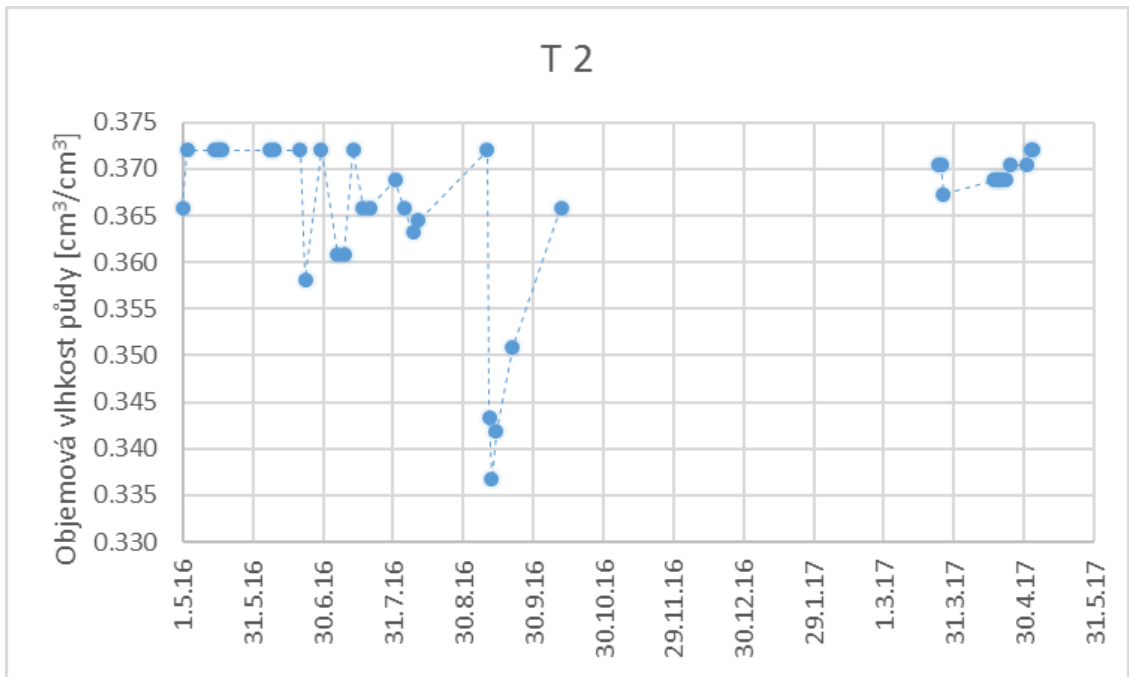
Měření půdní vlhkosti bylo prováděno nepřímou metodou přepočtu ze sacích tlaků. Přepočet byl proveden přes referenční retenční čáry půdní vlhkosti (obrázky 44-49). Tenzometrům byly podle jejich polohy na situaci a hloubky měření přiřazeny retenční čáry, které nejlépe vystihují povahu půdy v místě měření (tabulka 8). Komplementárním tenzometrům T3 a T5 byly přiřazeny referenční retenční čáry s přihlédnutím jak k hloubce instalace, tak k podobnosti podloží na základě znalosti místa.

Tabulka 8. Přiřazené referenční retenční čáry k tenzometrům.

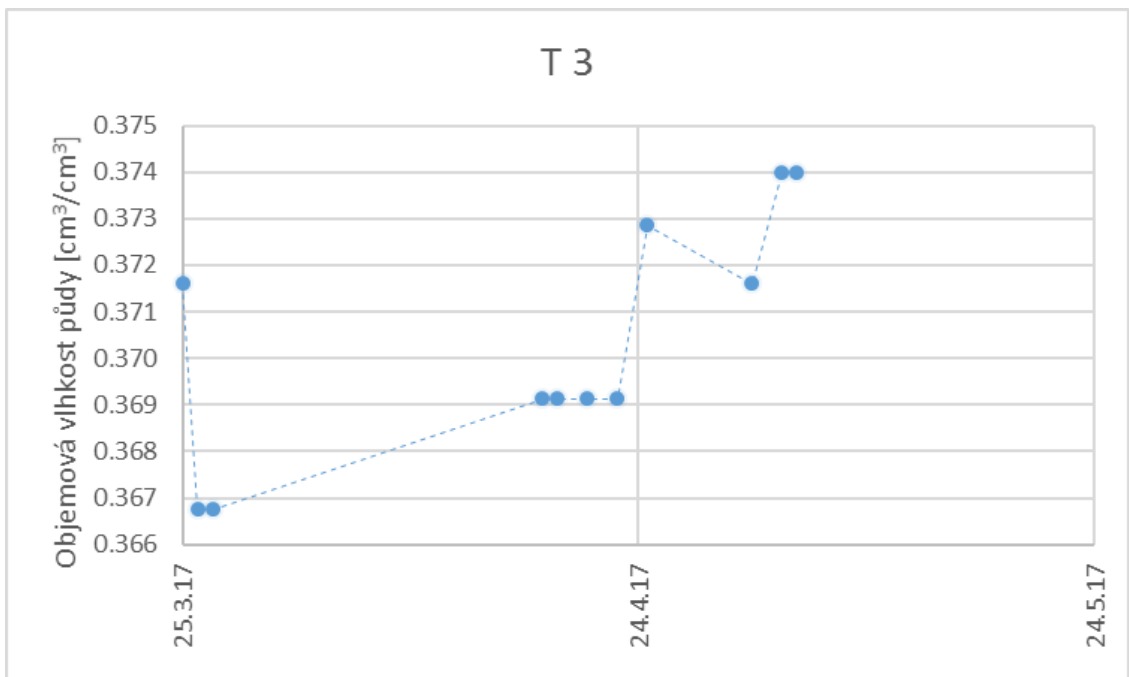
Tenzometr	Retenční čára
T1	D40
T2	S25
T3	D40
T4	D40
T5	S40
T6	D40
T7	S40
T8	S40
T9	S40
T10	S25
T11	D25



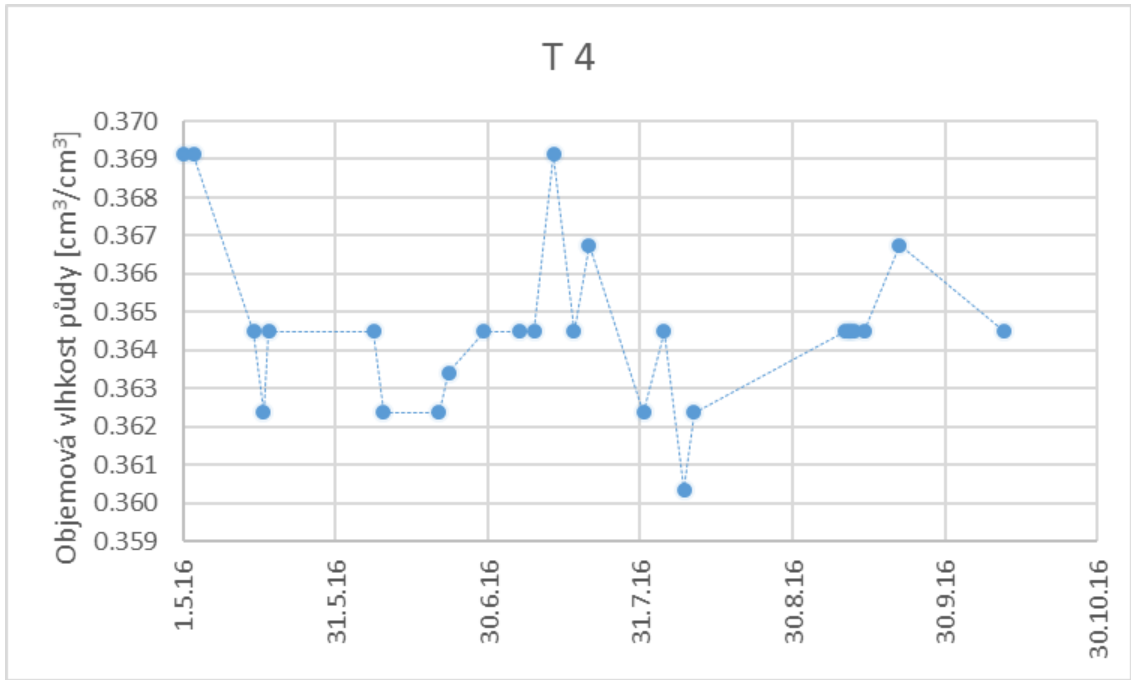
Obrázek 50. Vlhkost půdy vypočtená podle referenční retenční křivky D40. Strana dvora, 40 cm pod terénem.



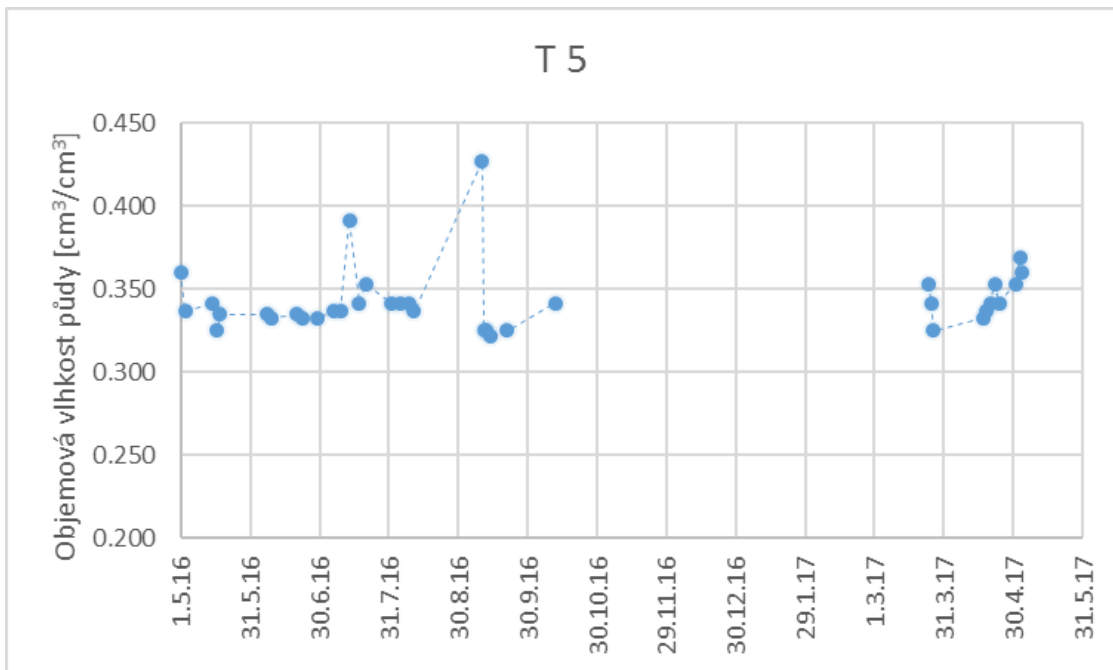
Obrázek 51. Vlhkost půdy vypočtená podle referenční retenční křivky S25. Strana svahu, 25 cm pod terénem.



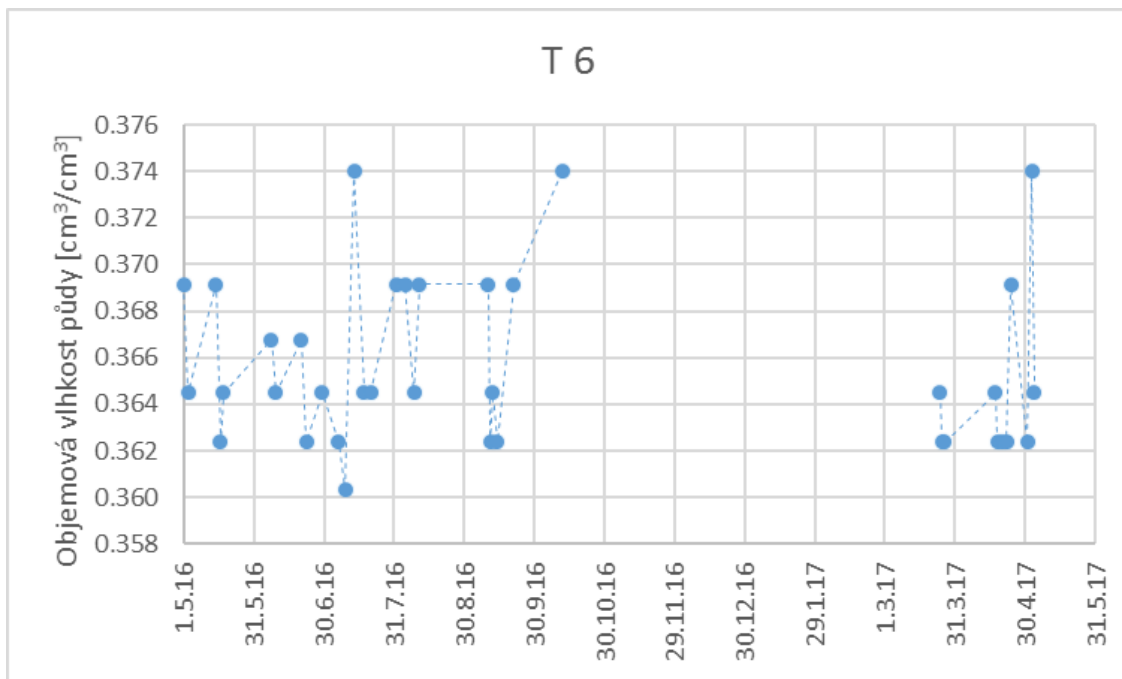
Obrázek 52. Vlhkost půdy vypočtená podle referenční retenční křivky D40. Strana dvora, 40 cm pod terénem.



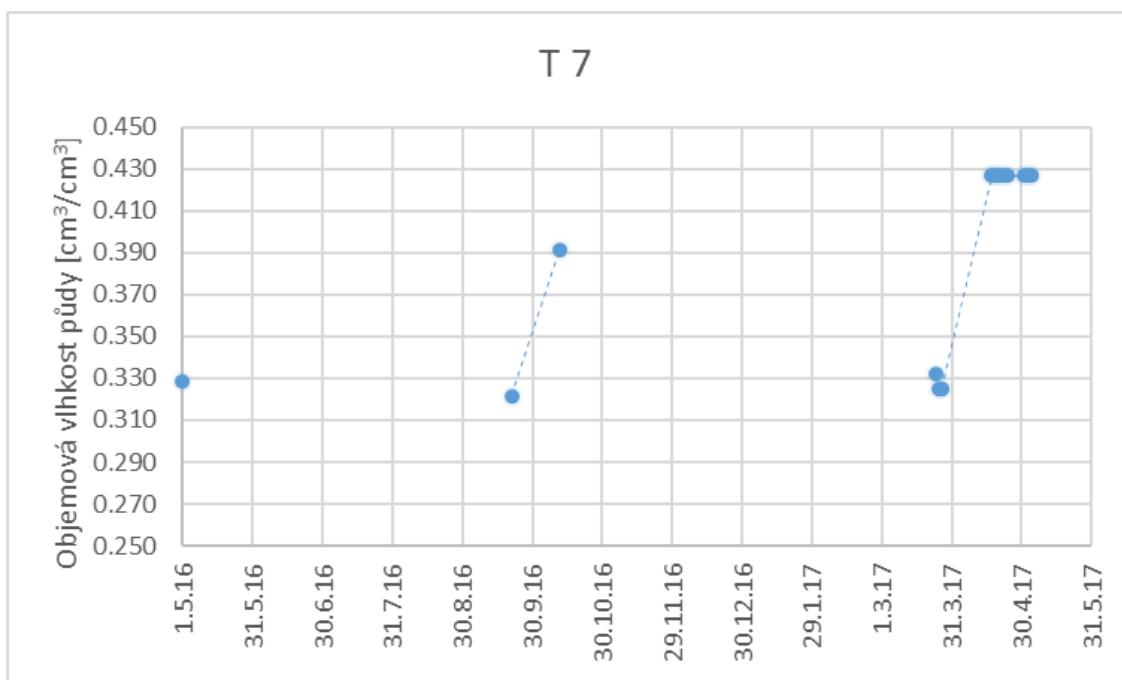
Obrázek 53. Vlhkost půdy vypočtená podle referenční retenční křivky D40. Strana dvora, 40 cm pod terénem.



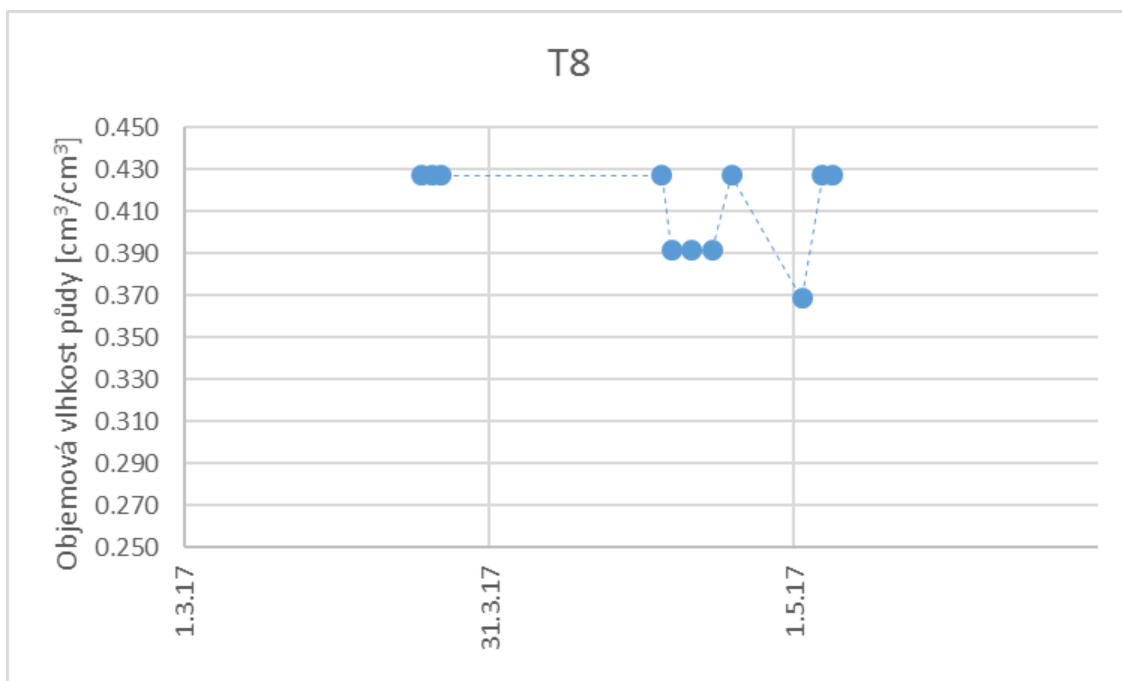
Obrázek 54. Vlhkost půdy vypočtená podle referenční retenční křivky S40. Strana svahu, 40 cm pod terénem.



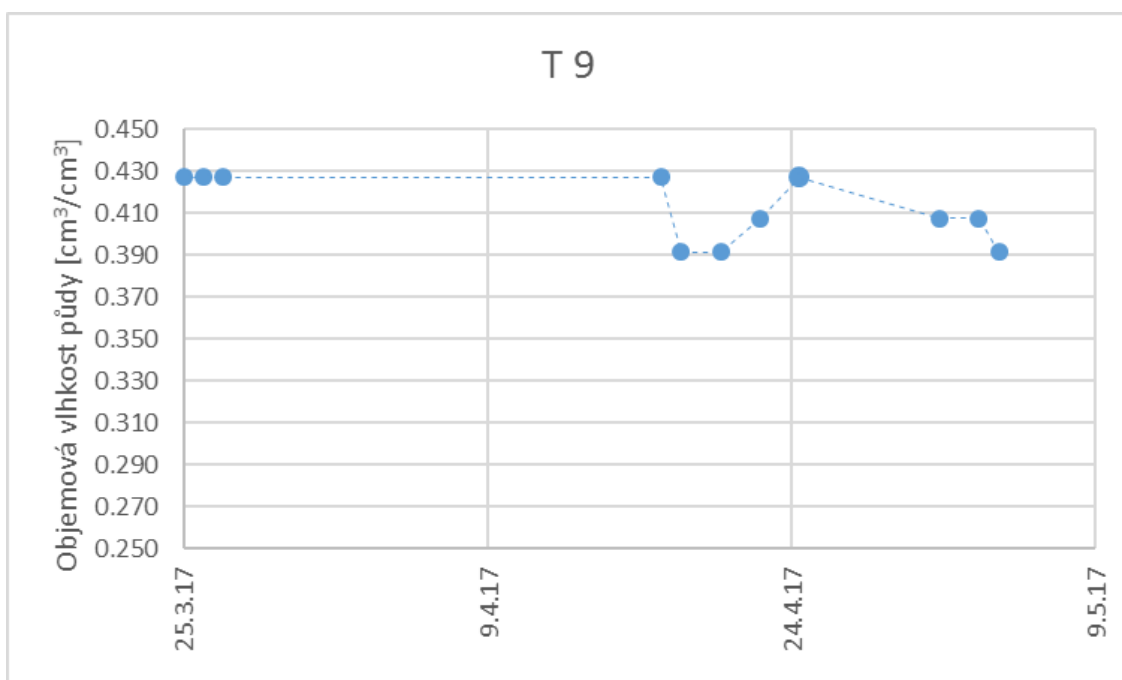
Obrázek 55. Vlhkost půdy vypočtená podle referenční retenční křivky D40. Strana dvora, 40 cm pod terénem.



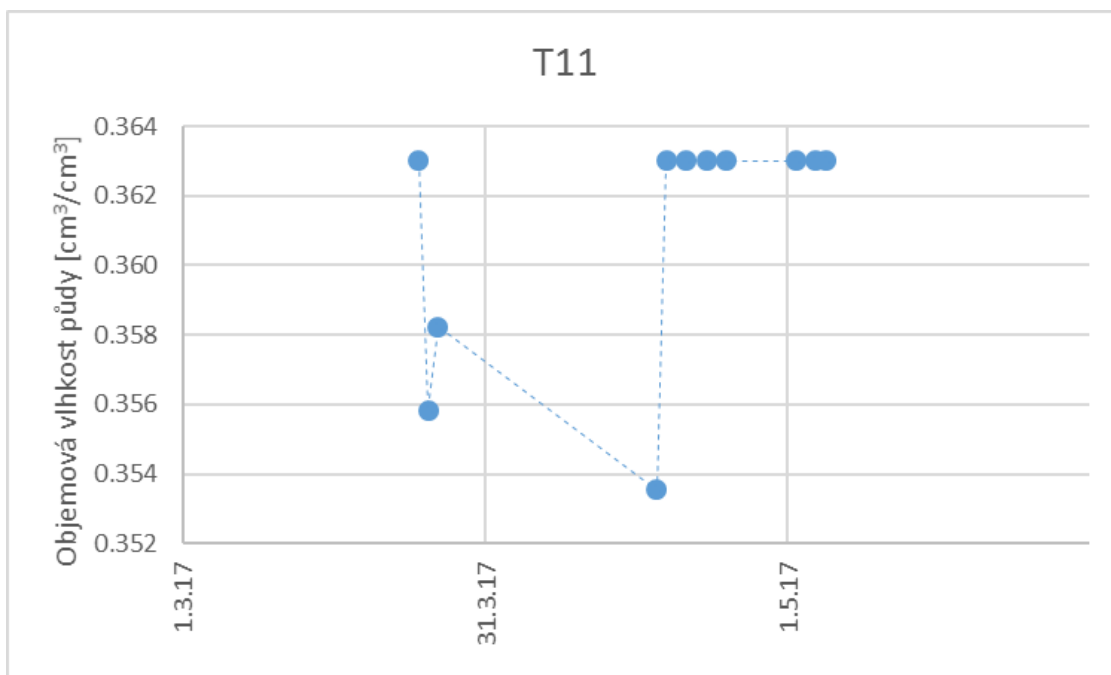
Obrázek 56. Vlhkost půdy vypočtená podle referenční retenční křivky S40. Strana svahu, 40 cm pod terénem.



Obrázek 57. Vlhkost půdy vypočtená podle referenční retenční křivky S40. Strana svahu, 40 cm pod terénem.



Obrázek 58. Vlhkost půdy vypočtená podle referenční retenční křivky S40. Strana svahu, 40 cm pod terénem.



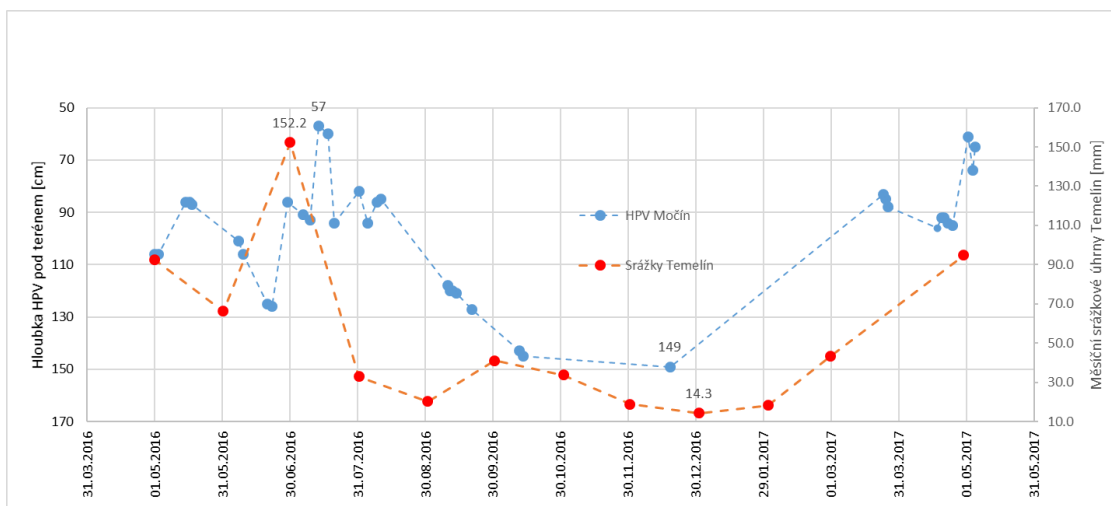
Obrázek 59. Vlhkost půdy vypočtená podle referenční retenční křivky D25. Strana dvora, 25 cm pod terénem.

Hodnoty vlhkosti ani při maximálních sacích tlacích (obrázek 51), ani při použití referenční retenční křivky s nižší vstupní hodnotou vzduchu (obrázek 54, 56, 57, 58) neklesly pod 0,3. To značí trvalé téměř stoprocentní nasycení půdy.

### 3. 3. Měření hladiny podzemní vody

Hladina vody ve studni jednoznačně indikuje, v jaké hloubce je půda plně nasycená (Valentová, 2001), půda je však nasycena i v tzv. kapilárním lemu výšky vstupní hodnoty vzduchu nad touto úrovní. Hladina podzemní vody byla měřena plovákem s nalepeným skládacím metrem ve studni přímo v zájmovém území (obrázek 12 a 14). Průběžně v nepravidelných časových intervalech byla odečítána hladina podzemní vody (obrázek 60).





Obrázek 60. Hladina podzemní vody ve studni. Srovnávací rovina je okolní terén (435 m n. m.). Na vedlejší ose měsíční srážkové úhrny ze stanice Temelín.

Ze srovnání se srážkovými úhrny ze stanice Temelín (obrázek 29) je vidět, že si navzájem data odpovídají. To potvrzují zejména extrémní hodnoty. Nejnižší hladina podzemní vody byla zaznamenána 19. 12. 2016, a to 149 cm pod terémem. Naopak nejvyšší zaznamenaná HPV nastala 14. 7. 2016, a to 57 cm pod terémem.

### 3. 4. Shrnutí výsledků měření

Vstupním předpokladem pro tuto práci byly rozdílné hydropedologické vlastnosti půdy na straně svahu a ve dvoře. Z referenčních retenčních čar půdní vlhkosti vyplývá, že ve dvoře má půda vyšší hodnotu nasycené vlhkosti než půda na straně svahu. Taktéž má půda ve dvoře vyšší vstupní hodnotu vzduchu. V jiných parametrech jsou si ale vzorky velmi podobné. Zrnitostní rozbor prokázal velkou shodu (obrázek 20 a 21). Měrná hmotnost vzorků půdy  $S_{20} \rho_s=2,66 \text{ g.cm}^{-3}$  a  $D_{20} \rho_s=2,60 \text{ g.cm}^{-3}$ .

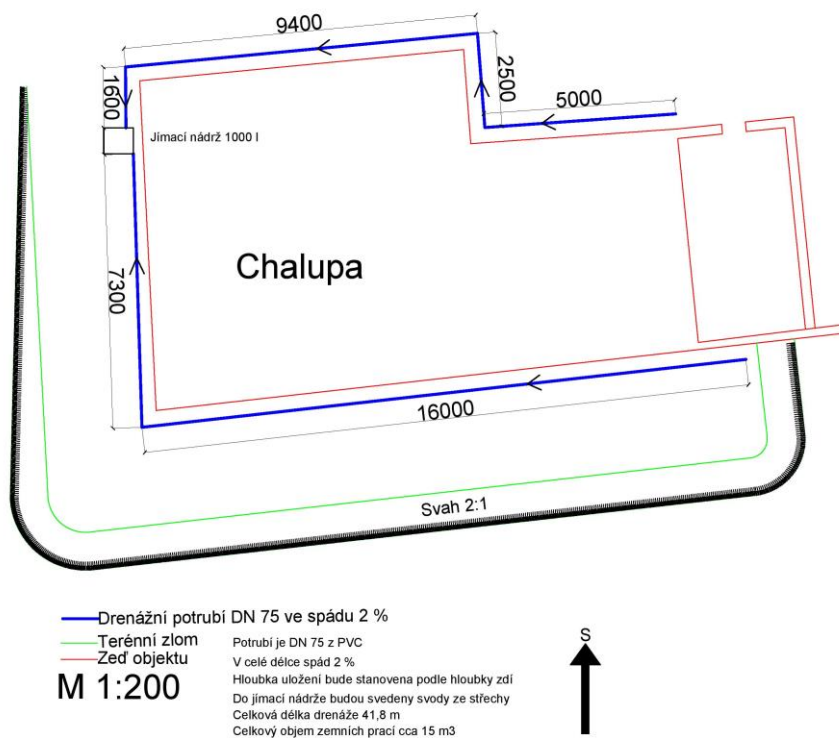
## 4. Návrh opatření pro zamezení zamokřování

Závěry z měření v zájmovém území a z rozborů vzorků v laboratoři popsané v předešlé kapitole potvrdily prvotní předpoklad stálého zamokření objektu chalupy. Toto zamokření je nutné omezit na nejnižší možnou míru.

Vzhledem k tomu, že vlhkost půdy na obou stranách objektu klesá až při sacím tlaku přibližně 100 cm, není možné půdu odvodnit trubní drenáží. Jako alespoň částečné řešení je možné objekt obkopat až do hloubky spodní hrany zdi a do výkopu položit drenážní potrubí. Drenážní potrubí bude obsypáno štěrkem frakce 4/8. Štěrkem frakce 8/16 bude vyplněn celý drenážní příkop. To usnadní vysychání zdi z vnější strany. Jak již bylo řečeno, drenáž pravděpodobně nebude odvádět velká množství půdní vody. Bude ale sloužit k odvedení srážkové vody zejména při přívalových deštích, kdy za současného stavu voda v oblasti dvora i svahu způsobuje výtopu na terénu i několik dní.

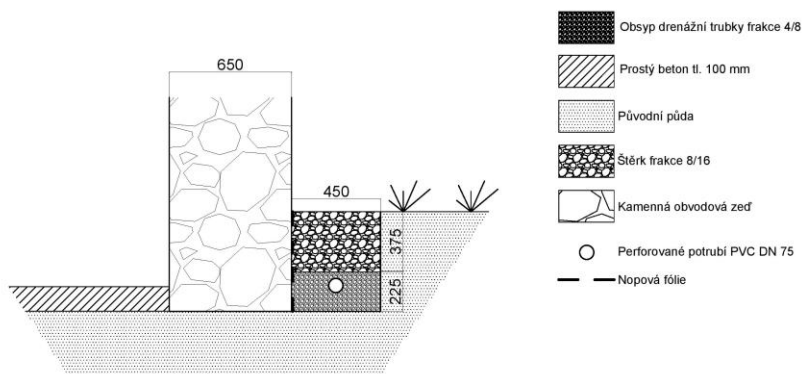
Díky tomu, že je odvodňované území malé a na rychlost odvedení povrchové vody nejsou kladeny přílišné nároky, je navržena trubka DN 75. Drenáž je zamýšlena okolo celého objektu a je svedena do podzemní nádrže (obrázek 61 a 62). Z podzemní nádrže bude najímaná voda pomocí ruční pumpy dopravována na povrch a dále použita k zavlažování. Zdi objektu je také možné ochránit proti vodě izolací asfaltovými pásy nebo nátěrem. Tím se však nezabrání vztlínání vody zdmi z podloží.

Drenážní potrubí bude v nejměleji položeném bodě uložena 100 mm nad dolní hranu zdi objektu ve vzdálenosti 225 mm. V celé délce bude potrubí uloženo ve spádu 2 %. Drenáž je rozdělena na větev na straně svahu délky 23,3 m a na větev na straně dvora o délce 18,5 m. Celková délka drenáže je 41,8 m. Vytěžený materiál z příkopu bude použit na vyrovnání terénních nerovností na přilehlých pozemcích. Celková kubatura výkopových prací je přibližně 15 m<sup>3</sup>. Kameniva frakce 4/8 bude potřeba 6 m<sup>3</sup>. Kameniva frakce 8/16 bude potřeba 8 m<sup>3</sup>.



Obrázek 61. Schéma drenáže. Měřítko 1:200.

### Vzorové uložení drenážního potrubí



Obrázek 62. Vzorové uložení drenážního potrubí. Měřítko 1:42.

## 5. Závěr

Cílem této práce bylo zhodnocení hydrologické a hydropedologické situace v lokalitě Hosty-Močín.

V první části této práce byl z dostupných mapových podkladů vytvořen geologický profil zájmové lokality a jejího okolí. Byly použity geologické profily z průzkumných a užitkových vrtů.

Ve druhé části práce byla popsána hydrologická situace v zájmovém území. Byly použity srážkové úhrny naměřené přímo v zájmovém území. Tyto úhrny byly porovnány se srážkoměrnými daty ze stanice Temelín a pro doplnění byla použita řada měřených průtoků z měrného profilu na Bílinském potoce. Srovnáním těchto sad dat byla zjištěna vysoká korelace zejména mezi srážkovými úhrny v Močíně a na stanici Temelín.

V části práce zabývající se pedologickou situací v zájmové lokalitě bylo zájmové území rozděleno na dvě oblasti s rozdílnými půdními profily. V obou těchto profilech byly stanoveny hodnoty základních půdních veličin. Byla stanovena čára zrnitosti, obě půdy byly zaříděny dle Nováka. Byla zjištěna měrná hmotnost. Koeficient nasycené hydraulické vodivosti nemohl být stanoven experimentálně válcovou metodou z důvodu příliš pomalé infiltrace v obou oblastech. Byl tedy stanoven empiricky z hodnot typických pro přítomné půdní druhy.

Data získaná z tenzometrických měření byla přepočtena na celkové potenciály půdní vlhkosti. Z měřených bodů byly na vzorcích z obou oblastí proloženy retenční čáry, pro všechny půdní horizonty byly sestaveny referenční retenční čáry půdní vlhkosti. Pomocí nich byla absolutní hodnoty sacích tlaků přepočteny na vlhkosti.

Srážkové úhrny byly dány do souvislosti s hloubkou hladiny podzemní vody ve studni v zájmovém území. Hladina podzemní vody s časovým posunem kopíruje srážkové úhrny.

Po diskusi výsledků měření byla stručně navržena základní opatření ke snížení zamokření stavebního objektu. Byla navržena trubní drenáž kolem celého objektu včetně obsypání. Vnější strany zdí je doporučeno chránit nopovou fólií. Drenážní systém ústí do sběrné jímky. Voda bude využita k závlaze.

## 6. Bibliografie

CÍSLEROVÁ, Milena a Tomáš VOGEL, 1998. *Transportní procesy*. 1. vyd. Praha: České vysoké učení technické. ISBN 8001018660.

ČHMÚ, , 2017A. *Srážkoměrná stanice Temelín*.

ČHMÚ: *Územní srážky* [online], [2017B]. [cit. 2017-04-30]. Dostupné z: WWW. <<http://portal.chmi.cz/historicka-data/pocasi/uzemni-srazky>>.

ČHMÚ: *Územní teploty* [online]. [2017D]. [cit. 2017-05-04]. Dostupné z: WWW. <<http://portal.chmi.cz/historicka-data/pocasi/uzemni-teploty>>.

ČHMÚ: *Síť monitoringu povrchových vod* [online]. [2017C] [cit. 2017-04-30]. Dostupné z: WWW. <<http://hydro.chmi.cz/hydro/>>.

ČÚŽK: *Geoportál* [online], [2010]. [cit. 2017-05-07]. Dostupné z: WWW. <[http://geoportal.cuzk.cz/\(S\(c1p041ldastg43pj2pw14quf\)\)/Default.aspx?mode=TextMeta&side=wms.verejne&text=WMS.verejne.uvod&head\\_tab=sekce-03-gp&menu=311](http://geoportal.cuzk.cz/(S(c1p041ldastg43pj2pw14quf))/Default.aspx?mode=TextMeta&side=wms.verejne&text=WMS.verejne.uvod&head_tab=sekce-03-gp&menu=311)>.

*Geologická mapa 1:15 000: Výřez Hosty* [online], b.r. [cit. 2017-05-18]. Dostupné z: WWW. <[http://mapy.geology.cz/geocr\\_50/?center=-757400,-1133900&scale=15000](http://mapy.geology.cz/geocr_50/?center=-757400,-1133900&scale=15000)>

KAVKOVÁ, Jindra, 1989. *Zpráva o výsledcích geologickoprůzkumných prací: Pašovice - Rakovka - skládka*. Praha. ISBN GF P069035.

KEMEL, Miroslav, 1996. *Klimatologie, meteorologie, hydrologie*. 1. vyd. Praha: České vysoké učení technické. ISBN 8001014568.

KUTÍLEK, Miroslav, 2000. *Hydropedologie 10*. Vyd. 2., přeprac. Praha: Vydavatelství ČVUT. ISBN 8001022374.

MIČKE, Radek, 2008. *Hydrologické vyjádření P120339*.

POVODÍ VLTAVY, , 2017. *Koloměřice průtoky*.

SEMOTÁN, Jiří, Jaromír CÍSLER a Miroslav KUTÍLEK, 1967. *Praktikum vodohospodářské pedologie*. 1. Praha: Nakladatelství technické literatury. ISBN 05 - 067 - 67.

SOILMOISTURE EQUIPMENT CORP., Soilmoisture: 2710L STANDARD TENSIO METER SERIES. In: *Soilmoisture* [online]. [2017]. 801 S. Kellogg Ave., Goleta, California [cit. 2017-05-20]. Dostupné z: WWW. <[http://www.soilmoisture.com/images/categoryhead/2710L\\_Sampler\\_Tensiometer-01%20\(1\)\\_1436309572.jpg](http://www.soilmoisture.com/images/categoryhead/2710L_Sampler_Tensiometer-01%20(1)_1436309572.jpg)>

Stanovení tenzometrického potenciálu půdní vody, *Multimediální učebnice hydro pedologických terénních měření* [online]. [2013]. Praha: Česká zemědělská univerzita v Praze [cit. 2017-05-18]. Dostupné z: WWW. <<http://hydropedologie.agrobiologie.cz/tenzometr.html>>

ŠANDA, Martin a Michal SNĚHOTA, 2017. *Hydropedologie 6: Potenciál půdní vody; Retenční čára půdní vlhkosti*. Praha.

ÚSTAV PRO VÝZKUM RUD, , 1953. *Krystalická tuha - Koloděje - Hosty - úprava: Tuhové doly - Netolice*. ISBN P 013493.

VALENTOVÁ, Jana, 2001. *Hydraulika podzemní vody*. Vyd. 2. přeprac. Praha: ČVUT. ISBN 8001024040.

VAN GENUCHTEN, M. Th., 1980. *A Closed-form Equation for Predicting the Hydraulic Conductivity of Unsaturated Soils1*. Dostupné také z: WWW. <[https://www.ars.usda.gov/arsuserfiles/20360500/pdf\\_pubs/P0682.pdf](https://www.ars.usda.gov/arsuserfiles/20360500/pdf_pubs/P0682.pdf)>

VOGEL, Tomáš, 1990. *Numerické modelování pohybu vody v nehomogenním půdním profilu*. Praha. Disertační. FSv ČVUT.

VÚV TGM, Hydrologické členění - povodí IV. řádu. In: *DIBAVOD* [online]. [2014]. Praha [cit. 2017-05-04]. Dostupné z: WWW. <<http://www.dibavod.cz/index.php?id=27>>

## 7. Seznam obrázků

Obrázek 1. Detail situace pozemku. Místo chalupa č. p. 97 na parcele č. 62/2, katastrální území Hosty. Čísla v závorkách jsou oměry v metrech, čísla s pomlčkami katastrální indexy. Zdroj katastr nemovitostí ČR.....	9
Obrázek 2. Umístění obce Hosty na mapě ČR. Zdroj Mapy.cz.....	10
Obrázek 3. Hosty – Močín. Zdroj Mapy.cz. ....	11
Obrázek 4. Výřez geologické mapy 1:15 000. Zdroj Česká geologická služba. ....	12
Obrázek 5. Umístění vrtů vzhledem k zájmové lokalitě. Zdroj česká geologická služba. ....	14
Tabulka 4. Úhrny srážek za roky 2015 a 2016 v mm v porovnání s dlouhodobým normálem. ....	14
Obrázek 6. Povodí č. 1-07-05-0030-0-00 (VÚV TGM, 2014). ....	15
Obrázek 7. Měsíční srážkové úhrny ze stanice Temelín. ....	16
Obrázek 8. Průměrné měsíční průtoky na Bílinském potoce.....	16
Obrázek 9. Podélný profil spádnice po zájmovém území (ČÚZK, 2010). ....	17
Obrázek 10. V popředí postupné odhrabávání svahu od objektu (1997). Foto z rodinného archivu. ....	18
Obrázek 11. Současný stav strany svahu (květen 2017). Foto Vendula Peřinová.....	19
Obrázek 12. Podrobná situace měřicích zařízení. Zdroj katastr nemovitostí ČR. ....	20
Obrázek 13. Řez svahem a chalupou v místě zamokřování. ....	21
Obrázek 14. Plovák ve studni pro odečet HPV. Foto Vendula Peřinová. ....	22
Obrázek 15. Srážkoměr. Foto Vendula Peřinová. ....	23
Obrázek 16. Umístění srážkoměru vzhledem k zájmovému území. Zdroj Mapy.cz. ....	24
Obrázek 17. Dvojitá součtová čára srážkových úhrnů. Lokalita Hosty a Temelín. ....	25
Obrázek 18. Součtové čáry srážkových úhrnů ze stanice Temelín a zájmového území. ....	25
Obrázek 19. Rozdílná barva vzorků. Vzorek ze strany svahu vlevo, vzorek ze dvora vpravo. ....	26
Obrázek 20. Vlevo sonda S na straně svahu. Vpravo sonda D ve dvoře.....	27

Obrázek 21. Čáry zrnitosti obou vzorků.....	29
Obrázek 22. Zatřídění vzorků do trojúhelníkového diagramu USDA.....	30
Obrázek 23. Ručičkové tenzometry v zájmové lokalitě. Tenzometry jsou zkroucené vinou dlouhodobého měření v jiné lokalitě. Foto Vendula Peřinová. ....	31
Obrázek 24. Tenzometr typ 2710. Tento typ byl použit k měření v zájmovém území (Soilmoisture Equipment Corp., 2017).....	31
Obrázek 25. Pískový tank, který byl použit pro sací tlaky do -0,5 m.....	33
Obrázek 26. Přetlakové nádoby použité pro tlaky 0,1-5 bar. ....	34
Obrázek 27. Odběr neporušených vzorků na straně svahu (sonda S).....	35
Obrázek 28. Spodní Kopeckého válečky s neporušenými vzorky v půdě ve dvoře (sonda D). ....	36
Obrázek 29. Situace odběrných míst. ....	37
Obrázek 30. Schéma instalace tenzometrů ležících v blízkosti odběrných míst. ....	38
Obrázek 31. Ochrana tenzometrů před přizemními mrazíky na jaře 2017.....	39
Obrázek 32. Celkové potenciály zaznamenané tenzometrem T2 umístěným na straně svahu. ....	40
Obrázek 33. Celkové potenciály zaznamenané tenzometrem T7 umístěným na straně svahu. ....	40
Obrázek 34. Celkové potenciály zaznamenané tenzometrem T8 umístěným na straně svahu. ....	41
Obrázek 35. Celkové potenciály zaznamenané tenzometrem T9 umístěným na straně svahu. ....	41
Obrázek 36. Celkové potenciály zaznamenané tenzometrem T1 umístěným na straně dvora. ....	42
Obrázek 37. Celkové potenciály zaznamenané tenzometrem T4 umístěným na straně dvora. ....	42
Obrázek 38. Celkové potenciály zaznamenané tenzometrem T6 umístěným na straně dvora. ....	43



Obrázek 39. Celkové potenciály zaznamenané tenzometrem T11 umístěným na straně dvora. ....	43
Obrázek 40. Celkové potenciály zaznamenané tenzometrem T3 umístěným před západní stranou objektu chalupy. ....	44
Obrázek 41. Celkové potenciály zaznamenané tenzometrem T5 umístěným mezi dvorem a svahem u studny. ....	44
Obrázek 42. Měřené body retenčních čar a proložené retenční čáry, skupina S. Červeně S15, modře S25, zeleně S40. S znamená stranu svahu, číslo označuje hloubku odběru vzorku pod terénem v cm. ....	46
Obrázek 43. Měřené body retenčních čar a proložené retenční čáry, skupina D. Červeně D15, modře D25, zeleně D40. D znamená stranu dvora, číslo označuje hloubku odběru vzorku pod terénem v cm. ....	47
Obrázek 44. Referenční retenční křivka pro horizont S15. S znamená stranu svahu, číslo označuje hloubku odběru vzorku pod terénem v cm. ....	47
Obrázek 45. Referenční retenční křivka pro horizont S25. S znamená stranu svahu, číslo označuje hloubku odběru vzorku pod terénem v cm. ....	48
Obrázek 46. Referenční retenční křivka pro horizont S40. S znamená stranu svahu, číslo označuje hloubku odběru vzorku pod terénem v cm. ....	48
Obrázek 47. Referenční retenční křivka pro horizont D15. D znamená stranu dvora, číslo hloubku odběru vzorku pod terénem v cm. ....	49
Obrázek 48. Referenční retenční křivka pro horizont D25. D znamená stranu dvora, číslo hloubku odběru vzorku pod terénem v cm. ....	49
Obrázek 49. Referenční retenční křivka pro horizont D40. D znamená stranu dvora, číslo hloubku odběru vzorku pod terénem v cm. ....	50
Obrázek 50. Vlhkost půdy vypočtená podle referenční retenční křivky D40. Strana dvora, 40 cm pod terénem. ....	51
Obrázek 51. Vlhkost půdy vypočtená podle referenční retenční křivky S25. Strana svahu, 25 cm pod terénem. ....	52
Obrázek 52. Vlhkost půdy vypočtená podle referenční retenční křivky D40. Strana dvora, 40 cm pod terénem. ....	52

Obrázek 53. Vlhkost půdy vypočtená podle referenční retenční křivky D40. Strana dvora, 40 cm pod terénem.....	53
Obrázek 54. Vlhkost půdy vypočtená podle referenční retenční křivky S40. Strana svahu, 40 cm pod terénem.....	53
Obrázek 55. Vlhkost půdy vypočtená podle referenční retenční křivky D40. Strana dvora, 40 cm pod terénem.....	54
Obrázek 56. Vlhkost půdy vypočtená podle referenční retenční křivky S40. Strana svahu, 40 cm pod terénem.....	54
Obrázek 57. Vlhkost půdy vypočtená podle referenční retenční křivky S40. Strana svahu, 40 cm pod terénem.....	55
Obrázek 58. Vlhkost půdy vypočtená podle referenční retenční křivky S40. Strana svahu, 40 cm pod terénem.....	55
Obrázek 59. Vlhkost půdy vypočtená podle referenční retenční křivky D25. Strana dvora, 25 cm pod terénem.....	56
Obrázek 60. Hladina podzemní vody ve studni. Srovnávací rovina je okolní terén (435 m n. m.). Na vedlejší ose měsíční srážkové úhrny ze stanice Temelín.....	57
Obrázek 61. Schéma drenáže. Měřítko 1:200.....	59
Obrázek 62. Vzorové uložení drenážního potrubí. Měřítko 1:42.....	59