

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
FAKULTA STAVEBNÍ



**Vyhodnocení vodního režimu na výzkumné
ploše v NPR Rašeliniště Jizery**

Evaluation of water regime at experimental site in NNR Mires of Jizera

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Autor: Martin Brůžek
Vedoucí práce: doc. Ing. Martin Šanda, Ph.D.
Katedra: Katedra hydromeliorací a krajinného inženýrství
Studijní program: Stavební inženýrství
Studijní obor: Vodní hospodářství a vodní stavby

Praha 2023

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: Brůžek Jméno: Martin Osobní číslo: 494020
 Zadávající katedra: K143, Katedra hydromeliorací a krajinného inženýrství
 Studijní program: Stavební inženýrství
 Studijní obor/specializace: Vodní hospodářství a vodní stavby

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce: Vyhodnocení vodního režimu na výzkumné ploše v NPR Rašeliniště Jizery

Název bakalářské práce anglicky: Evaluation of water regime at experimental site in NNR Mires of Jizera

Pokyny pro vypracování:

Zpracujte hydrologická, hydropedologická a klimatická data pro období 2008-2020 na lokalitě A, ochranného pásma NPR Rašeliniště Jizery a pro vybrané výrazně srážkově podnormální a teplotně nadnormální vegetační sezóny roku 2015 a 2018 sestavte matematický model proudění vody v nenasyceném rašelinném půdním profilu. Variantně umístěte modelovou hladinu podzemní vody s cílem zhodnocení provedení revitalizačního zásahu nadržáním vody (stávající stav, zvýšené zadržování vody, bez provedení revitalizace).

Pro zpracování použijte vhodné programové nástroje (např. Hydrus 1D, MS Excel, GIS systémy apod.)

Seznam doporučené literatury:

Martínková, H. Návrh hrzení drenážních příkopů k revitalizaci NPR Rašeliniště Jizery. ČVUT 2009.

Vackář F., Hydrologický režim revitalizovaných rašelinišť, diplomová práce, ČVUT, 2016.

Sedlmaierová, P. Vyhodnocení vodního režimu rašeliny na lokalitě NPR Rašeliniště Jizery, ČVUT 2017.

Šimůnek, J., M. Th. van Genuchten, and M. Šejna, Development and applications of the HYDRUS and STANMOD software packages, and related codes, Vadose Zone Journal, doi:10.2136/VZJ2007.0077, Special Issue "Vadose Zone Modeling", 7(2), 587-600, 2008.

Šimůnek, J., M. Šejna, and M. Th. van Genuchten. 1998. The HYDRUS-1D software package for simulating the one-dimensional movement of water, heat, and multiple solutes in variably-saturated media. Version 2.0. IGWMC-TPS-70. Int. Ground Water Modeling Ctr., Colorado School of Mines, Golden.

Jméno vedoucího bakalářské práce: doc. Ing. Martin Šanda, Ph.D.

Datum zadání bakalářské práce: 2.3.2023

Termín odevzdání BP v IS KOS: 22.5.2023

Údaj uveďte v souladu s datem v časovém plánu příslušného 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“.

2.3.2023
Datum převzetí zadání

Podpis studenta(ky)



Prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma Vyhodnocení vodního režimu na výzkumné ploše v NPR Rašeliniště Jizery vypracoval samostatně a že jsem uvedl veškeré použité informační zdroje v souladu s Metodickým pokynem o etické přípravě vysokoškolských závěrečných prací.

V Berouně, dne 15. května 2023

Martin Brůžek



Poděkování

Tímto bych chtěl poděkovat především vedoucímu mé bakalářské práce doc. Ing. Martinovi Šandovi, Ph.D. za poskytnutí všech vstupních dat, odborné rady a za trpělivost, ochotu a vstřícnost při zpracování bakalářské práce a také za ukázání lokality, které se tato práce týká.

Poděkovat bych chtěl také Ing. Michalovi Dohnalovi, Ph.D. a Ing. Veronice Skalové za poskytnutí vypočtených hodnot potenciální evapotranspirace.

Poděkování patří také mé rodině a přítelkyni za podporu v průběhu celého studia.



Anotace

Tato bakalářská práce se zabývá vyhodnocením vodního režimu rašeliny na území revitalizovaného rašeliniště v ochranném pásmu Národní přírodní rezervace Rašeliniště Jizery (OP NPR Rašeliniště Jizery), které je součástí Chráněné krajinné oblasti Jizerské hory (CHKO Jizerské hory). Práce se zabývá experimentální lokalitou A, která je jako jediná z několika dalších lokalit osazena automatickou stanicí a data jsou zde zaznamenávána kontinuálně.

Úvodní kapitoly jsou věnovány obecným charakteristikám rašelinišť, příčinami a důsledky jejich degradace a také jejich revitalizacemi. Následující část se věnuje základním údajům o zájmové lokalitě, ve které je popsán monitoring, který zde probíhá od roku 2008 a jsou vyhodnocena dílčí měřená data do roku 2020.

Poslední část práce se věnuje matematickému popisu proudění vody v půdním prostředí a popsání matematického modelu, který byl sestaven a kalibrován na naměřené hodnoty a následuje vyhodnocení pomocí návrhových stavů, které jsou pomocí vytvořeného modelu simulovány.

Summary

This bachelor thesis deals with the evaluation of the water regime of peat in the revitalized peatland at experimental site in NNR Mires of Jizera, which is part of the protected landscape area Jizera Mountains. The work deals with the experimental site A, which is the only one of several other sites equipped with an automatic station and data are recorded continuously.

The introductory chapters are devoted to the general characteristics of peatlands, causes and consequences of their degradation and also their revitalization. The following section is devoted to basic data on the site of interest, describing the monitoring that has been carried out there since 2008 and evaluating the partial measured data up to 2020.

The last part of the thesis is devoted to the mathematical description of the water flow in the soil environment and to the description of the mathematical model that has been built and calibrated to the measured values, followed by an evaluation using design states that are simulated using the developed model.



Obsah

1	Úvod	8
2	Rašeliniště	9
2.1	Vznik rašelinišť	9
2.2	Dělení rašelinišť dle hydrologických podmínek	9
2.3	Hydrologická funkce rašelinišť	10
2.4	Ekologická funkce rašelinišť	10
2.5	Degradace rašelinišť	11
2.6	Revitalizace rašelinišť	12
3	Charakteristika území	12
3.1	CHKO Jizerské hory	12
3.2	NPR Rašeliniště Jizery a OP NPR Rašeliniště Jizery	13
3.2.1	Geologické a geomorfologické poměry	14
3.2.2	Pedologické poměry	14
3.2.3	Klimatické a hydrologické poměry	15
3.2.4	Fytocenologické poměry	15
3.2.5	Revitalizace v OP NPR Rašeliniště Jizery	15
4	Monitoring v NPR a OP NPR Rašeliniště Jizery	16
4.1	Experimentální lokalita A	18
4.2	Klimatická a limnigrafická stanice	23
5	Matematický popis proudění	26
5.1	Rovnice kontinuity	26
5.2	Darcyho zákon	27
5.3	Darcy – Buckinghamův zákon	27
5.4	Richardsova rovnice	27
5.5	Retenční křivka	28
6	Aplikace programu Hydrus 1D	29
6.1	Popis programu	30
6.2	Nastavení programu	31
6.3	Vstupní hodnoty	33
6.3.1	Srážky	33
6.3.2	Výpar	34
6.3.3	Hladina podzemní vody	35
6.3.4	Půdní vlhkost	37
6.4	Průběh modelování	39



6.4.1	Model pro rok 2015	39
6.4.2	Model pro rok 2018	42
6.5	Nepřesnosti modelu.....	43
7	Posouzení vlivu revitalizace na vodní režim.....	43
7.1	Návrhový stav 1 – bez revitalizace	44
7.2	Návrhový stav 2 – hladina dle botanického návrhu.....	46
7.3	Návrhový stav 3 – neustálé zavodňování povrchu.....	49
7.4	Vizuální hodnocení.....	54
8	Závěr.....	57
	Použitá literatura.....	58



1 Úvod

Rašeliniště byla v minulosti odvodňována především za účelem zvýšení hospodářského využití jejich území, jelikož se jedná o rozsáhlé plochy, na kterých se mnohdy nachází přirozené bezlesí a nejsou tu vhodné podmínky pro pěstování hospodářského lesa, jak z pohledu růstových podmínek, kterým trvalé zamokření neprospívá, tak z pohledu obslužnosti tohoto území, na kterém se s těžkou technikou nedá pohybovat. Na našem území byla odvodněna např. rašeliniště na Šumavě, v Krušných horách nebo právě v horách Jizerských. Rašeliniště Jizery je největším rašeliništěm na území republiky a jeho ochranné pásmo bylo v minulém století odvodněno systémem drenážních příkopů. Dnes je snahou takto degradovaná rašeliniště revitalizovat, podpořit znovu zamokření odvodněného území, které by napomohlo růstu rašeliníku a zabránilo jeho mineralizaci, ke které při vysychání dochází a při které se do ovzduší dostává velké množství skleníkových plynů.

Návrhem revitalizace OP NPR Rašeliniště Jizery se věnovala Martínková ve své bakalářské (2009) a diplomové práci (2010), podle které, i když s menšími úpravami, byla revitalizace provedena. K návrhu sloužilo geodetické zaměření lokality a pedologická a klimatická měření, která zde byla instalována v roce 2008. Vyhodnocením měřených dat se v minulosti věnovalo více prací, naposledy bakalářská práce Pushkarevy (2020), která se věnuje měřeným hodnotám od roku 2008 do roku 2020. Z její práce vyplývá, že je zde závislost mezi půdními vlhkostmi, hladinami podzemní vody, teplotami vzduchu a srážkovými úhrny, zároveň ale po porovnání dat před a po revitalizaci dochází k názoru, že revitalizace nevyvolala očekávaný pozitivní vliv a největší vliv mají klimatické podmínky.

Měření na lokalitě probíhají stále, avšak v letech 2021 a 2022 došlo k několika výpadkům, proto byla vyhodnocena měřená data z období mezi lety 2008–2020 a zvláště je pozornost věnována dvou extrémně suchým rokům 2015 a 2018. Pro tyto roky byl sestaven jednorozměrný model pomocí programu Hydrus 1D, pomocí kterého byly simulovány hodnoty objemové vlhkosti a vstupní parametry byly v závislosti na skutečném průběhu měřených objemových vlhkostí měněny tak, aby se průběh co nejvíce shodoval s naměřenými hodnotami, přičemž hodnoty vstupující do výpočtu zaznamenávané přímo na lokalitě byly měněny minimálně.



2 Rašeliniště

2.1 Vznik rašelinišť

Rašelina vzniká z organických látek v zamokřeném půdním prostředí nebo pod vodou při nedostatku atmosférického kyslíku (Kutílek et al., 2000), přičemž vznik může být dvojitý. První způsob je narůstání biomasy nad hladinou podzemní vody a následné hromadění odumřelé hmoty ve vodou nasyceném rašeliništi. Druhým způsobem je postupné zazemňování stojící vody. Rašelina vzniklá tímto způsobem obsahuje zbytky vodních řas, vodních rostlin, má větší podíl anorganických látek a rostlinné zbytky nejsou rovnoměrně usazovány. Velký význam na vznik rašeliny nad hladinou podzemní vody mají mechy a z nich pak především rašeliníky, jejichž nezelené buňky hyalocysty dokážou nasát až dvacetkrát více vody, než je hmotnost sušiny a tato funkce je zachována i po jejich odumření (Jóža, 2004).

2.2 Dělení rašelinišť dle hydrologických podmínek

Rašeliniště by se dala dělit několika způsoby. Jejich hlavní a pro jejich existenci zásadní rozdíl je ve způsobu, kterým získávají vodu. Dle zdroje vody je tak můžeme rozdělit na minerotrofní – slatiny a ombrotrofní – vrchoviště (O rašeliništích, 2023). Dále se mohou rašeliniště dělit dle způsobu vzniku na minerogenní a ombrogenní (Jóža, 2004).

Minerogenní rašeliniště jsou ta, která jsou na počátku vázána na podzemní a povrchovou vodu. Minerotrofní je označujeme v případě, že jsou na tomto způsobu napájení závislá i v budoucnu. Dle polohy a způsobu vzniku můžeme tento typ rašelinišť dále dělit na topogenní, které vznikají v terénních sníženinách naplněných stojící vodou a soligenní, které vznikají v oblastech s mírně proudící vodou a bývají také označovány jako svahová slatiniště. Soligenní rašeliniště mají malou mocnost a jsou stabilní pouze v oblastech se silnými vývěry, v opačném případě se časem přeměňují na vrchoviště (Jóža, 2004).

Ombrogenní rašeliniště jsou závislá na zásobování vodou a živinami z atmosferických srážek. Ombrogenními rašeliništi jsou vrchoviště, které často vznikají na topogenních rašeliništích se stagnující vodou. Jejich existence je vázána na vysokých srážkových úhrnech ve vegetační sezóně a na oblasti sníženého výparu, což podmiňuje růst rašeliníků, které zadržují vodu a okyselují prostředí. Mezi ombrogenní rašeliniště patří také tzv. pokryvná (kobercová) rašeliniště, jejichž mocnost je velmi malá a vznikají přímo na minerálním podloží (Jóža, 2004).



Přechodným stupněm mezi rašelinou slatinnou (minerotrofní) a vrchovištní (ombrotrofní) je rašelina přechodná (mezotrofní). Vzniká, když slatinná rašelina vzroste dostatečně nad úroveň hladiny vody a začíná do ní pronikat les (vrby, olše) a vegetace s nižšími nároky na vodu a živiny, jako jsou vřes, borůvky, borovice a břízy (Kutílek et al., 2000).

2.3 Hydrologická funkce rašelinišť

V době dešťů je povrchová vrstva rašeliny poměrně rychle nasycena a není schopna přijímat další vodu (Dohnal, 1965). Při výzkumech bylo zjištěno, že vlastnosti rašeliništních půd jsou z hlediska retence vody v krajině vesměs nepříznivé. Jedná se o půdy, které jsou obtížně propustné a hladina podzemní vody je vysoko a znemožňuje tak vsakování srážkových vod do spodních horizontů. Při vhodně provedeném odvodnění rašelinišť se zlepšují fyzikální vlastnosti rašeliny a vede ke zvýšení retenční schopnosti. Při dlouhotrvajících suchých teplých obdobích dochází k prudkému poklesu odtoku (Bachtíková, 2013).

Rašeliniště prokazatelně působí značnou rozkolísanost vodního režimu, kdy zejména zvyšují už tak vysoké průtoky v době nadprůměrných srážek. Schopnost infiltrace a propouštění vody, a tím tak zadržení nadbytku vody ze srážek, je v porovnání s půdou malá (hydrologický režim rašelinišť). Ze současných průzkumů lze pozorovat, že při větších srážkách vytéká většina vody z rašeliniště do toku, ale naopak když je sucho, voda nevytéká žádná. Z hydrologického pohledu mají rašeliniště negativní dopad na vodní režim místních toků – vypouštějí více vody v době velkých dešťových srážek, a naopak mohou způsobit vyschnutí pramenů v době sucha. Vodohospodářské řešení by však nemělo být zastíněno ekologickými funkcemi, které bezesporu mají (Vlček, 2021).

2.4 Ekologická funkce rašelinišť

Rašeliniště jsou vhodným biotopem pro velké množství živočišných a rostlinných druhů, které by v jiném prostředí nemohly existovat. Udržují a vylepšují druhovou rozmanitost krajiny. Velký význam mají také z pohledu globálních geochemických cyklů a paleoenvironmentálních záznamů, které uchovávají ve svých sedimentech (Zíková, 2021). Pomocí vrtů se dají zjistit jak změny samotného rašeliniště, tak i změny vegetace bližšího a vzdálenějšího okolí. Změny se zjišťují rozborem zbytků zachovalých částí rostlin a mikroskopickou analýzou zakonzervovaných pylových zrn (Jóža, 2004).



2.5 Degradace rašelinišť

Nejdříve byla rašelina těžena a používána pro její relativně dobrou výhřevnost, především jako palivo. Mnoho rašelinných elektráren bylo vybudováno v tehdejší Sovětském svazu a stále se hojně využívá ve Skandinávii a Irsku, kde jí mají velké zásoby (Jóža, 2004). Těžba probíhala zpočátku tzv. borkováním, kdy se nejdříve odlesnilo zájmové území, následně byla odstraněna povrchová vrstva a vlastní těžba probíhala ručně pomocí speciální lopatky, kterou se dala vyrýpnout téměř pravidelná cihla. Těžba probíhala na jaře a přes rok se „cihly“ nechávaly vyschnout, jelikož obsahovaly velké množství vody. Později probíhala těžba průmyslová, která měla pro rašeliniště mnohem více devastující účinek. Při průmyslové těžbě je proces těžby mnohem rychlejší a postupuje se až do úplného vytěžení ložiska, resp. do úrovně, kdy rašelina dosahuje 60 cm nad úroveň mateční horniny (Ryšavá, 2019).

Rašelina se však netěžila pouze pro její tepelnou výhřevnost. Velkou tradici má rašelina také v lázeňství, kde se používá k léčbě pohybového ústrojí, revmatismu a dalších (Jóža, 2004). První takové použití rašeliny bylo dle některých autorů v západočeských lázních – konkrétně se jednalo o Františkovy, Konstantinovy a Mariánské lázně. Oproti těžbě rašeliny pro její další použití jako paliva, kdy se rašeliniště odvodňovala, se rašelina těžená pro léčebné účely musela těžit přímo z vody, jelikož její vlhkost mezi vytěžením a použitím nesmí klesnout pod 70 % (Dohnal, 1965).

Hlavním cílem odvodnění rašelinišť však nebyla pouze předpříprava území pro následnou těžbu. Meliorace rašelinišť byly prováděny s cílem zlepšit vlastnosti půdy za účelem zvýšení rozlohy a produktivity přilehlých luk, změna území na zemědělskou půdu a zvětšení plochy hospodářského lesa. Zahloubením hladiny podzemní vody dochází k uchycení náročnějších druhů, které postupně zarostou rašelinu, zamezí prostupu světla, zvýší se odběr vody z již tak zahloubené hladiny a postupně dochází k mineralizaci a postupnému rozkladu rašeliny, při které se uvolňuje značné množství plynů (Ryšavá, 2019).

Přibližně 10–15 % celkové stávající plochy rašelinišť bylo v minulosti odvodněno, a to převážně v oblastech v mírném a subpolárním pásu. Odvodněná rašeliniště ztrácejí své ekosystémové služby a odvodněná rašelina je zdrojem přibližně 5 % emisí skleníkových plynů (Kreyling, 2021). Odvodnění má vliv na změnu poměru mezi zdroji a propady uhlíku a následně vede ke zvyšování produkce oxidu uhličitého (CO₂) (Holden, 2006). Na produkci metanu (CH₄) a CO₂ má velký vliv teplota a vlhkost rašeliny. Bylo zjištěno, že největší produkce metanu nastává při 15–20°C. Emise CO₂



jsou na odvodněných rašeliništích vyšší ve vlhkých letech (Kiselev, 2019). Relativní hladina vody je zásadní pro rovnováhu mezi akumulací a rozkladem rašeliny, a tím i pro její stabilitu. Rašelina je na hydrologické změny velmi citlivá a pokud je její vrstva nad hladinou podzemní vody provzdušňována, zvyšuje se poměr rozkladu v anaerobních podmínkách k rozkladu v podmínkách aerobních (Holden, 2006).

2.6 Revitalizace rašelinišť

Hlavním cílem revitalizací rašelinišť je obnova odvodněných rašelinišť. Opatření jsou prováděna s cílem obnovit podmínky, které by na lokalitách existovaly, pokud by odvodnění nebylo provedeno a dále podpořit či znovu nastartovat rašelinotvorné procesy. Tyto procesy byly na našem území poprvé realizovány v NP Šumava a revitalizace byly prováděny metodou cílové hladiny vody, jejímž cílem je zvýšit hladinu podzemní vody, zmírnit její kolísání a snížit ztráty vody povrchovým odtokem. Využíván byl kaskádovitý systém dřevěných hrází, který umožňuje zvednutí hladiny podzemní vody podél celé délky kanálu. Hlavním parametrem pro návrh takového řešení je cílová hladina vody, která se může lišit pro různá rostlinná společenstva, a podélný sklon, na kterém je závislá vzdálenost hrází (Bufková, 2013).

Dle studie, která porovnávala 320 revitalizovaných a 243 nezasažených, blízkých rašelinišť se revitalizovaná rašeliniště liší jejich biodiverzitou a funkcí ekosystému, zejména v rostlinných společenstvích a geochemií. Rozdíly v hydrologii a rostlinném pokryvu jsou méně výrazné (Kreyling, 2021).

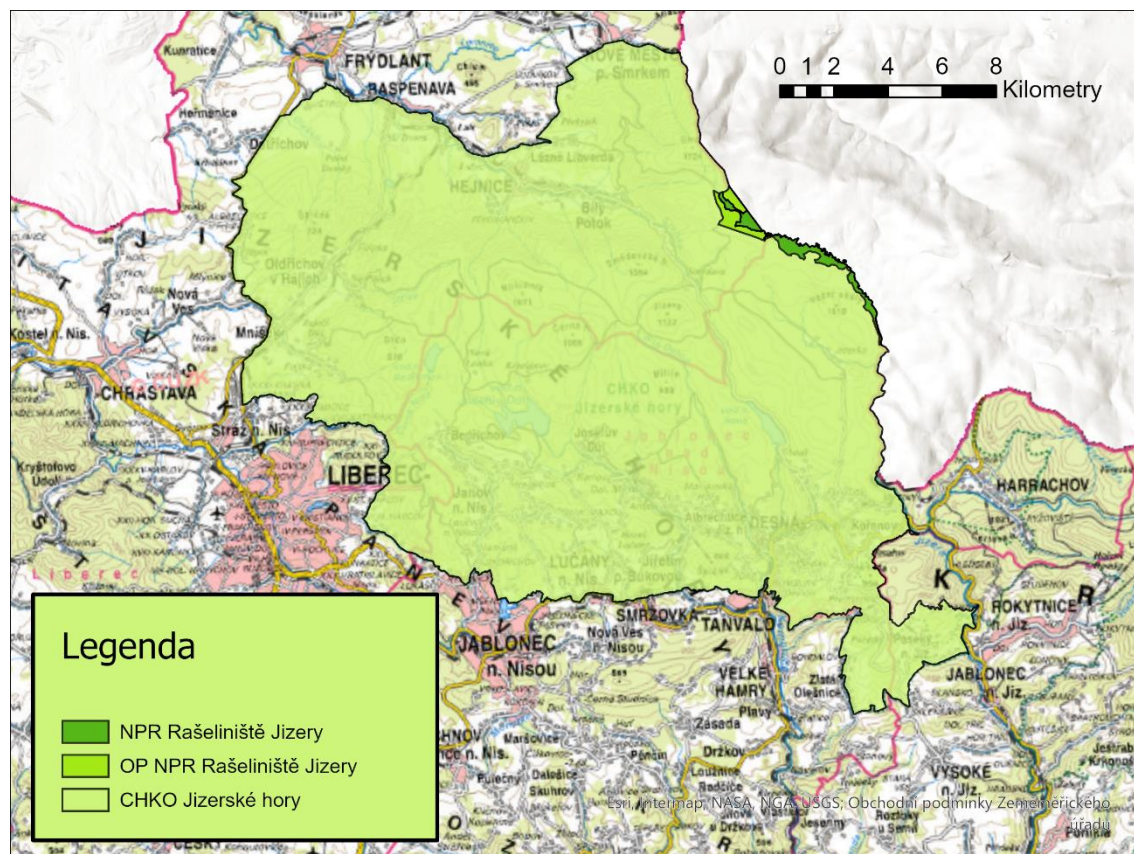
3 Charakteristika území

3.1 CHKO Jizerské hory

Chráněná krajinná oblast Jizerské hory byla vyhlášena v roce 1967 a její rozloha je 368 km². Území CHKO (obr. 3-1) se nachází na severu Čech, kde je ze severovýchodu ohraničeno státní hranicí s Polskem. Rozkládá se na téměř celém Jizerskohorském masivu a jeho podhůří, s výjimkou Černostudnického hřbetu. Převážná část území je tvořena lesními porosty, které zaujímají přibližně tři čtvrtiny celé rozlohy. Nejcennější přírodní prvky, které na území CHKO nalezneme, jsou ještě zvláště chráněny v 26 maloplošných chráněných územích, z nichž 3 zaujímají národní přírodní rezervace, 13 přírodní rezervace a 10 přírodní památky. Zvláště chráněné jsou především citlivé ekosystémy, jako jsou rašeliniště, mokřady, květnaté horské louky a málo dotčené lesní ekosystémy (Vonička a Višňák, 2008).



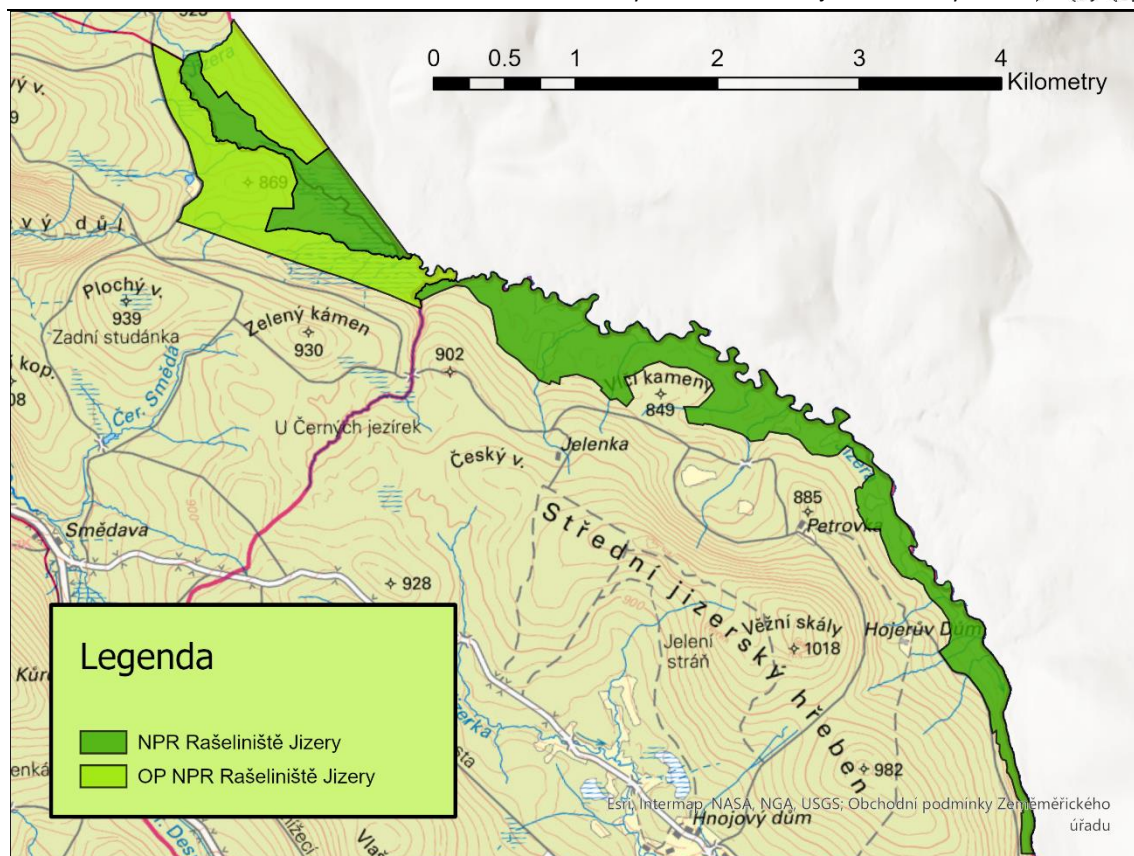
Jizerské hory jsou jednou z významných oblastí na území České republiky, kde se rašeliniště vyskytují. Na území se vyskytují čtyři významná povodí – povodí Kamenice, Nisy, Jizerky, Smědé. M. Nevrlý pro celou oblast Jizerských hor udával 69 rašelinišť s tím, že některé jsou vzájemně propojeny různě mocnou vrstvou rašeliny (Dohnal, 1965).



Obrázek 3-1 – CHKO Jizerské hory

3.2 NPR Rašeliniště Jizery a OP NPR Rašeliniště Jizery

Rašeliniště Jizery je nejrozsáhlejší rašeliništní soustava v Jizerských horách, která leží v pánvi řeky Jizera. Velká část území byla v roce 1960 vyhlášena jako národní přírodní rezervace o rozloze 189 ha s ochranným pásmem o rozloze 120 ha. Území NPR (obr. 3-2) by se dalo rozdělit na dvě části – horní část v Močálech a dolní Velkou Jizerskou louku, která patří k nejrozsáhlejšími rašelinným lokalitám v Jizerských horách (Jóža, 2004). Řeka Jizera zde meandruje a vytváří štěrkopísčité náplavy uvnitř rozsáhlého rašeliništního komplexu, ve kterém se střídají souvislé plochy rašelinných smrčín s klečovišti a množstvím rašelinných luk pramenného i vrchovištního typu (Vonička a Višňák, 2008). Celé území NPR se nachází na pravém břehu řeky Jizery, která zde tvoří státní hranici s Polskem a větší část rašeliniště se nenachází na našem území.



Obrázek 3-2 – NPR Rašeliniště Jizery a její ochranné pásmo

3.2.1 Geologické a geomorfologické poměry

Jizerské hory jsou jedním z českých severních pohraničních pohoří, které ale oproti ostatním nemá jednotnou geologickou stavbu. Je součástí tzv. krkonoško-jizerského krystalinika a jsou obklopeny dalšími útvary liguika, které se dle různorodé geologické stavby dělí na další samostatné jednotky (Karpaš, 2009). Zájmová lokalita náleží do geomorfologického podcelku Jizerské hornatiny. Území nemá typický horský reliéf s velkými výškovými rozdíly, ale jedná se geomorfologickou oblast Velké Jizerské kotliny, jejíž vertikální členitost je okolo 200 m. Území lze charakterizovat jako tektonickou sníženinu v rámci reliktního zarovnaného povrchu, kterou přibližně vymezují svahy a hlavní osa údolí Jizery (Karpaš, 2022).

3.2.2 Pedologické poměry

Na podmáčených plochách nalezneme především organozem, tj. rašelinnou půdu, která však vlivem sucha vysychá a podléhá tak mineralizaci (Vonička a Višňák, 2008). Dle půdních map se na území ochranného pásma Velké jizerské louky nachází glej rašelinohumózní, přičemž půdotvorným substrátem jsou rašeliny vrchovištní.



3.2.3 Klimatické a hydrologické poměry

Jizerské hory patří do oblasti mírně chladné. Nalezneme zde také místa, která jsou známá výskytem rekordně nízkých teplot a celkově je zde klima v porovnání s výše položenými místy chladnější a vlhčí (Karpaš, 2009).

Pánevní oblasti podél Jizery a Jizerky jsou z celých Jizerských hor nejchladnější a spadají do klimatické jednotky CH4. Ta se vyznačuje vyhraněným klimatickým režimem, pro který jsou charakteristické velmi krátká, chladná a vlhká léta a velmi dlouhé, chladné a vlhké zimy s dlouhým trváním sněhové pokrývky. Průměrná roční teplota pro tyto oblasti klesá pod 4 °C a roční úhrn srážek se pohybuje okolo 1 400 mm (Vonička a Višňák, 2008).

Hlavním zdrojem vody v OP jsou především četné prameny, které vytékají ze svahů kopce Zeleného kamene. Dalším zdrojem je potom bezejmenný přítok Jizery, který tvoří hranici mezi NPR a OP. Fakt, že je rašeliniště zásobováno především z úpatí kopce, je vidět i na lokalitách, kdy místa pod svahem jsou více podmáčená. Postupným přibližováním k hlavnímu svodnému příkopu je okolí sušší.

3.2.4 Fytocenologické poměry

Na území Jizerských hor nalezneme tzv. glaciální relikty, což jsou rostliny, které zde přetrvaly z doby ledové, a které normálně v našem podnebí nenalezneme. Dále zde nalezneme druhy subarktické, boreální, subboreální a subatlantické, které nejsou tolik chladnomilné jako předchozí, ale vyhovuje jim spíše mírnější oceánské klima. Na rašeliništích nalezneme i některé subalpínské druhy, jejichž významným představitelem je borovice kleč (Jóža, 2004).

Území rašeliniště Jizery je lemována rašelinnými a podmáčenými smrčínami. Velkou část zaujímá klečový porost a vyskytuje se zde také bříza karpatská. Vegetaci bezlesích částí tvoří převážně společenstvo se suchopýrem pochvatým, s významnou příměsí keříčků, podružně se vyskytují porosty s ostřicí chudokvětou a suchopýrem úzkolistým a jen místy společenstvo s převažujícím suchopýrkem trsnatým. Na území nebyla zjištěna blatnice bahenní ani ostřice mokřadní (Jiroušek et al., 2011).

3.2.5 Revitalizace v OP NPR Rašeliniště Jizery

Revitalizace byla provedena během podzimu 2011 nebo jara 2012 dle bakalářské práce Martínkové (2009). Revitalizace byla navržena po vzoru revitalizací Šumavských rašelinišť dle konceptu cílových hladin, jehož cílem je zmírnit kolísání hladiny vody v průběhu sezóny a zpomalit odtok vody melioračními příkopy. Cílová

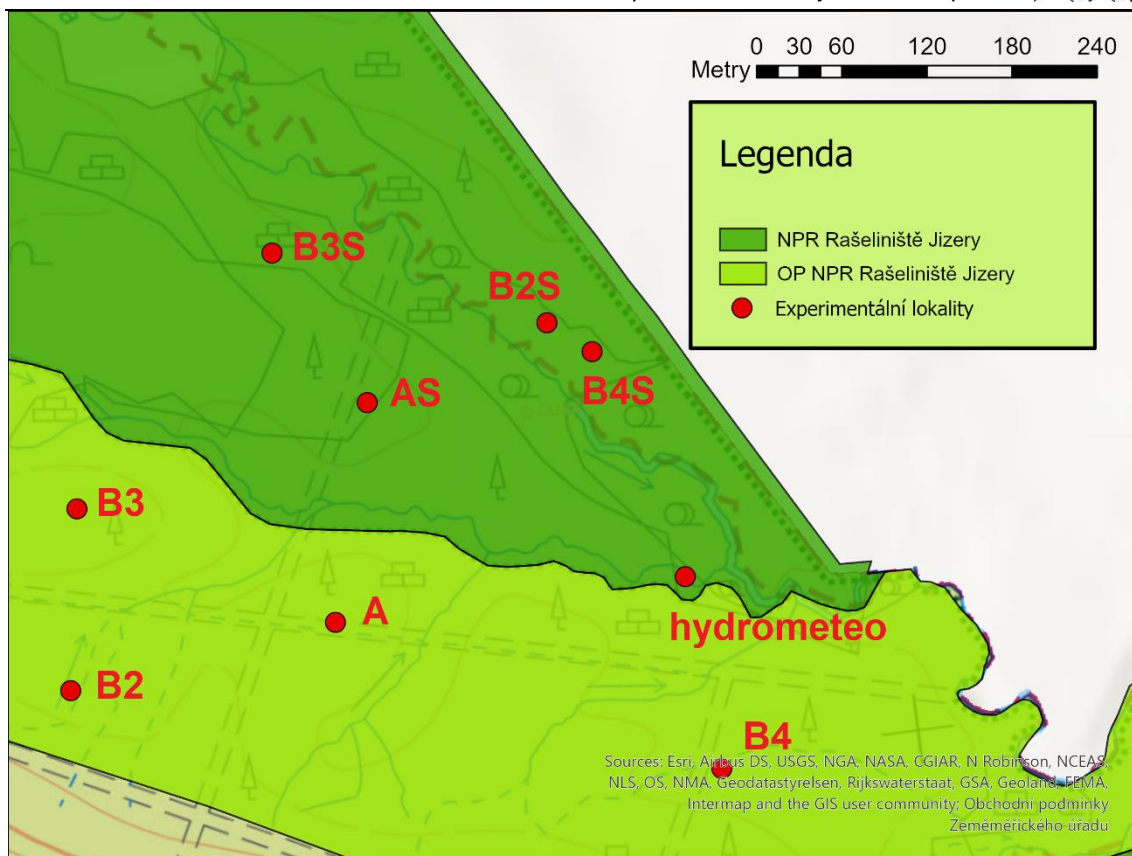


hladina je přitom určena dle dané rašelinné vegetace tak, aby odpovídala stavu na přirozených stanovištích a aby byla pro danou vegetaci únosná. Revitalizace byla navržena pouze u rýh, u kterých byl spád mezi sousedními přehrázkami navržen do 15 cm (Martínková, 2009).

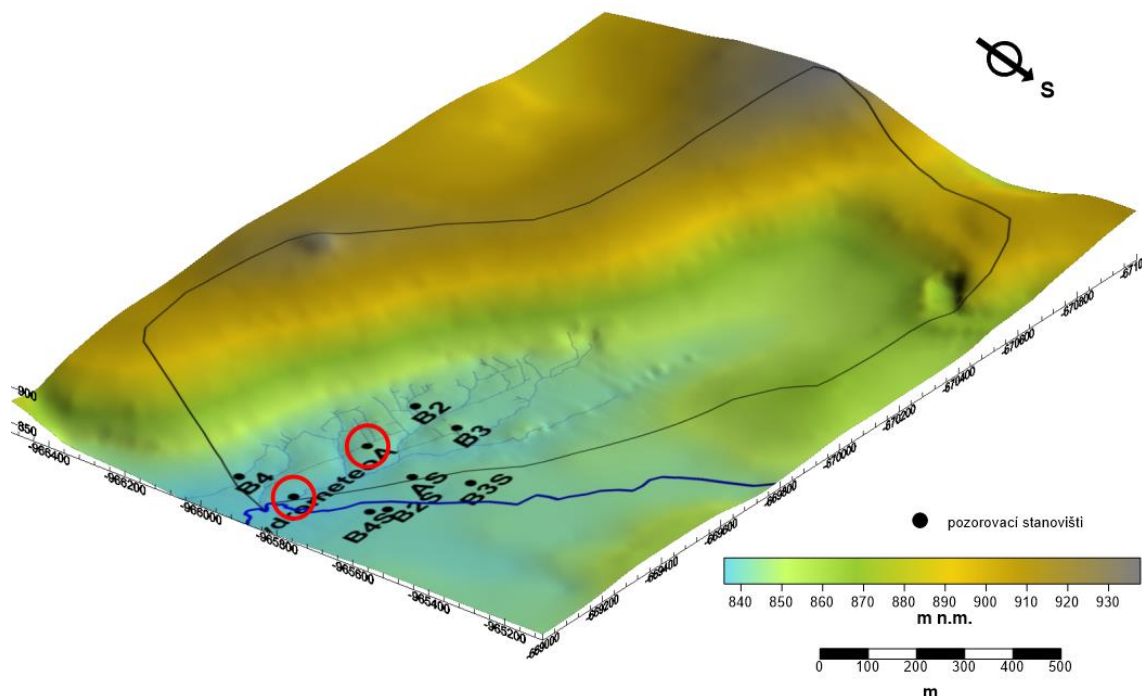
V OP bylo zahrazeno celkem 22 rýh, z nichž největší a nejdelší je rýha A. Jedná se o hlavní svodnou rýhu, která odváděla vodu z rašeliniště do toku. Pro hrazení byly využity dva typy hrázek (Martínková, 2009). Hrázky byly nakonec realizovány o 20 cm nižší, dle požadavku lesního správce, než byly navrženy a celkový dopad revitalizace tak mohl být větší. Jizersko-ještědský horský spolek, který hrazení prováděl, si je vědom, že provedená revitalizace sice vedla k částečnému oživení rašelinišť a postupnému zarůstání a zazemňování kanálů, jejich stav však ale stále není ideální. Z tohoto důvodu byl v roce 2022 započat projekt, během něhož se mezi současné hrázky doplňují hrázky nové, které vzdají hladinu ještě víc a umožní tak rozliv vody do širšího okolí příkopů. Zatím je v plánu takto realizovat 97 hrázek a jejich počet se bude do budoucna nejspíš zvyšovat (Jizersko ještědský horský spolek, 2022).

4 Monitoring v NPR a OP NPR Rašeliniště Jizery

Ochranné pásmo NPR Rašeliniště Jizery je sledováno od roku 2007 a celkem zde byly zřízeny 4 experimentální lokality A, B2, B3 a B4 (obr. 4-1 a 4-2), na kterých byla pomocí tenzometrů měřena sací tlaková výška a hladina podzemní vody pomocí mělkých podzemních vrtů. Lokalita A je navíc doplněna automatickými čidly půdní vlhkosti a totalizačním radiometrem. Lokality byly voleny po spolupráci s botaniky tak, aby se lišily vegetačním krytem a zároveň se nacházely v blízkosti melioračních rýh. Pro srovnání byly na území NPR, které nebylo odvodněno, vytipovány 4 lokality, které jsou vegetačním krytem podobné těm v ochranném pásmu, nejsou však postiženy přítomností melioračních rýh a byly také osazeny tenzometry a mělkými vrty. Na všech experimentálních lokalitách je sčítána vegetace (Sedlmaierová, 2017).



Obrázek 4-1 – monitorované experimentální lokality v NPR a OP NPR Rašeliníště Jizery doplněné o zakreslení klimatické a limnigrafické stanice označené jako „hydrometeo“

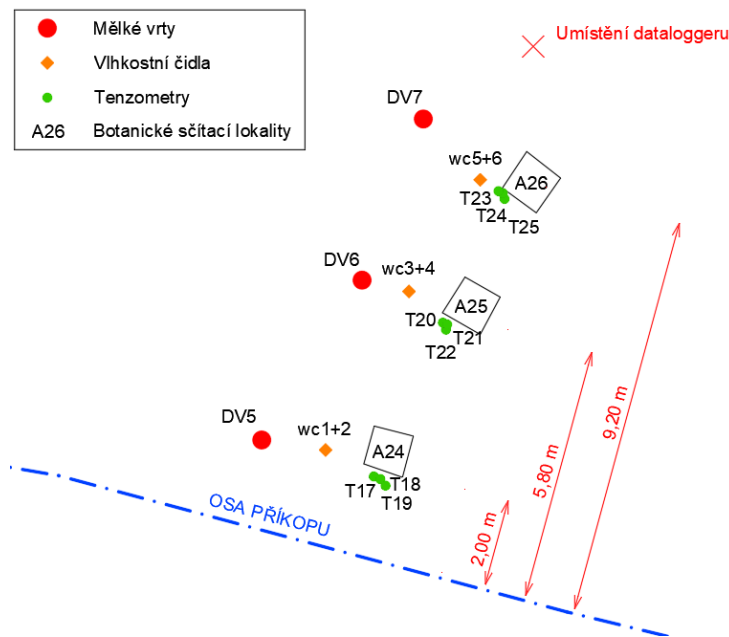


Obrázek 4-2 – digitální model terénu se zakreslenými experimentálními lokalitami doplněnými o zakreslení klimatické a limnigrafické stanice označené jako „hydrometeo“

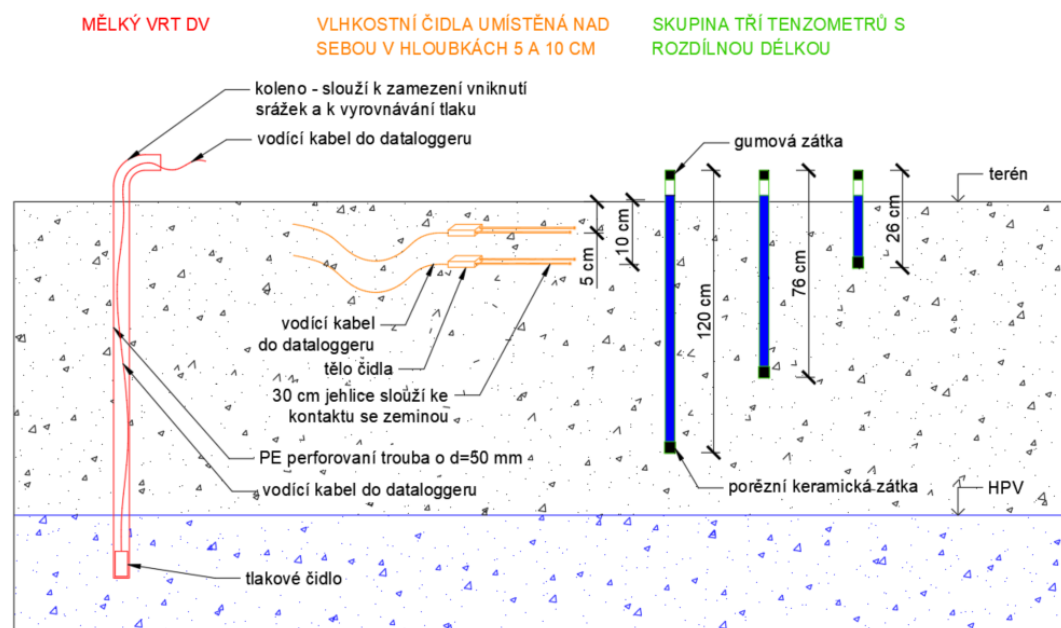


4.1 Experimentální lokalita A

Lokalita A byla jako jediná z osmi experimentálních lokalit opatřena automatickou stanicí, pomocí které je možné kontinuální měření půdní vlhkosti a hladin podzemní vody. Na lokalitě se také nacházejí tenzometry, které jsou odečítány ručně. Rozmístění měřících zařízení na lokalitě A je znázorněno na obr. 4-3, ze kterého je patrné prostorové uspořádání vzhledem k poloze příkopu. Přibližné uspořádání měřících zařízení v půdním profilu, je znázorněno na obr. 4-4. Na lokalitě A se nacházejí 3 mělké vrty DV5, DV6 a DV7, v jejichž okolí jsou rozmístěny vlhkostní čidla a tenzometry.



Obrázek 4-3 – schéma uspořádání měřících zařízení na lokalitě A



Obrázek 4-4 – schéma uspořádání měřících zařízení na lokalitě A v půdním profilu

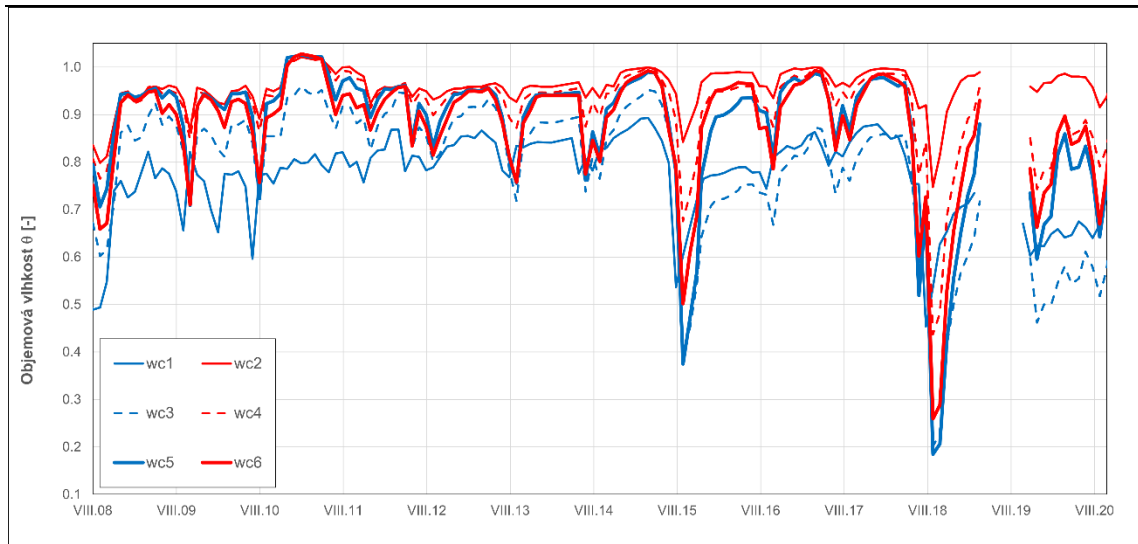


Objemová vlhkost je na lokalitě A měřena pomocí čidel CS616 od firmy Campbell Scientific. Čidla pracují na principu frekvenční doménové reflektometrie (FDR). Čidlo měří kapacitanci půdy, ze které je následně odvozena její permitivita. Tento způsob je jednodušší a také levnější než měření pomocí čidel, které fungují na principu TDR. Jejich přesnost ale závisí na správné kalibraci. Ta je závislá na teplotě a elektrické vodivosti, která se odvíjí od složení půdy a její reakce s vodou. Kalibrace vlhkostních čidel, která jsou použita na experimentální lokalitě A, byla provedena na začátku roku 2009. Kalibrace byla prováděna na odebraném vzorku při různých hodnotách objemové vlhkosti a pro ověření teplotní závislosti čidel byla provedena kalibrace v demineralizované vodě (objemová vlhkost 100 %) (Jankovec, 2009). Čidla jsou umístěna ve třech profilech a jedná se vždy o dvě čidla nad sebou v hloubce 5 a 10 cm pod povrchem v přímém dosahu mezi sebou, jak je patrné z obr. 4-5, který byl pořízen při jejich instalaci v roce 2008.



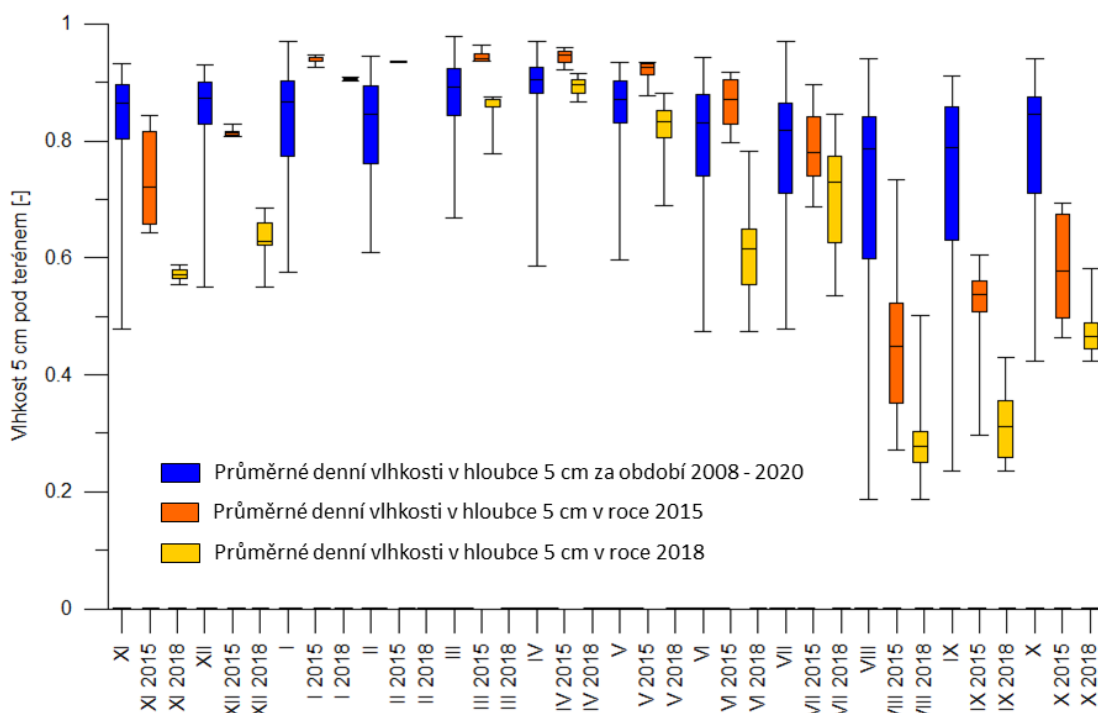
Obrázek 4-5 a 4-6 – umístění vlhkostních čidel v profilu nad sebou a bouda osazená dataloggerem (foto Šanda 2008)

Objemové vlhkosti jsou na lokalitě měřeny v desetiminutovém kroku. Pro prezentaci dat byly z měřených hodnot vytvořeny denní průměry těchto hodnot, a ty byly ještě následně zprůměrovány za jednotlivé měsíce. Průběh těchto hodnot za pozorované období od počátku instalace do roku 2020 je znázorněn na obr. 4-7. Jednotlivé průběhy měřených hodnot jsou pro čidla umístěná 5 cm pod terénem znázorněna modře a pro čidla 10 cm pod terénem červeně. Zajímavé je, že na začátku měřeného období byly nejmenší hodnoty z čidel umístěných 5 cm pod terénem měřeny v profilu, který se nachází nejbližší k příkopu (wc1) a tato skutečnost se mění po velkém propadu vlhkosti v roce 2015 (wc5), což by mohlo být způsobeno právě tímto propadem. Naopak hodnoty z čidla u příkopu v hloubce 10 cm (wc2) se po celou dobu drží nad průběhy ostatních stejně hluboko umístěných čidel a léto roku 2015 na to nemá vliv. Z obr. 4-7 je zároveň patrný výrazný propad vlhkosti v letech 2015 a 2018, které budou více popsány v kapitole 6. Hodnoty vyšší než 1 vychází z nepřesnosti kalibrace vlhkostních čidel.

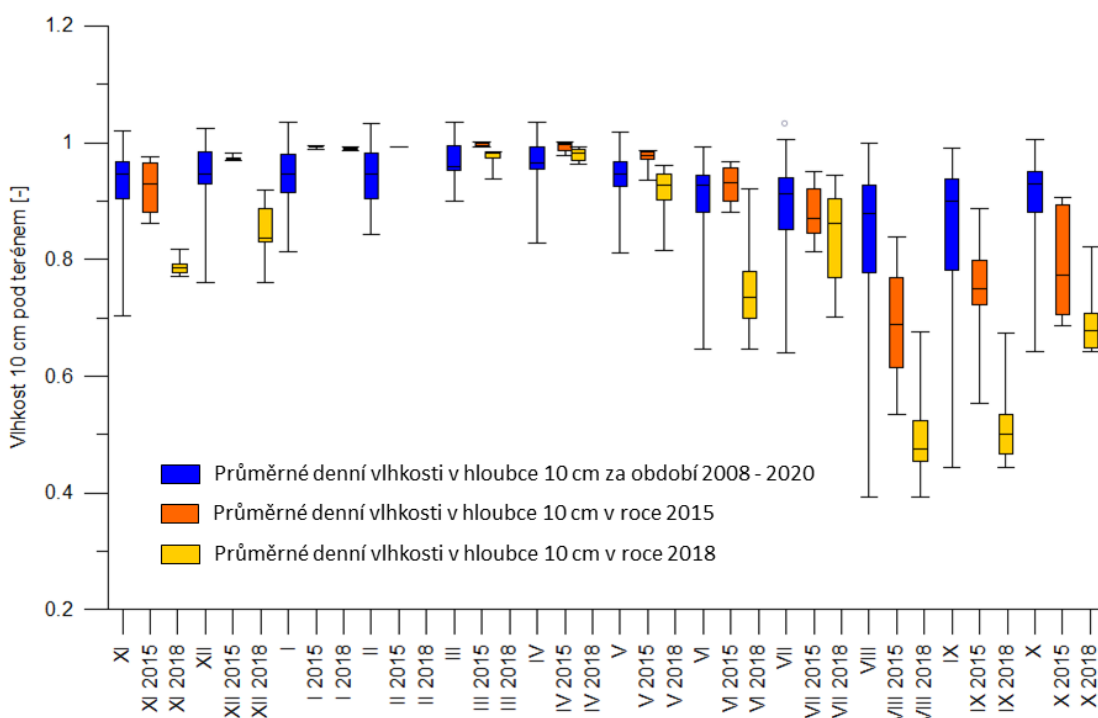


Obrázek 4-7 – průměrné hodnoty půdních vlhkostí na lokalitě A

Denní průměry měřených hodnot byly vyhodnoceny také pomocí krabicových grafů. Krabicový graf (box-whisker) znázorňuje základní statistické veličiny, kdy „krabička“ je shora ohraničena dolním a horním kvantilem. Horní resp. dolní kvartil je hodnota, nad resp. pod kterou se nachází 25 % dat zkoumaného souboru. Uprostřed „krabičky“ se nachází medián, což je hodnota, určující polovinu souboru dat. „Vousy“, které jsou od „krabičky“ nahoru resp. dolů končí v hodnotě, kterou je, v mém případě, maximum resp. minimum (Jarušková, 2015). Toto zobrazení je výhodné, jelikož poskytuje informaci o rozmístění dat a nikoli pouze o průměrné hodnotě, která může být ovlivněna několika málo extrémními hodnotami. Toto vyhodnocení bylo provedeno za jednotlivé měsíce pro vlhkosní čidla umístěná 5 a 10 cm pod terénem. Pro hloubku 5 cm byla zprůměrována data z vlhkosních čidel wc1, wc3 a wc5 a pro hloubku 10 cm hodnoty měřené čidly wc2, wc4 a wc6. Na obr. 4-8 a 4-9 jsou pro každý měsíc zobrazeny krabicové grafy, přičemž modré grafy jsou vytvořeny ze všech průměrných denních hodnot v daných měsících jednotlivých let, oranžové jsou vytvořeny z měsíčních hodnot pouze v roce 2015 a žluté z hodnot pouze v roce 2018. Z obou grafů je patrné, že měřené vlhkosti v letech 2015 i 2018 byly především v letních měsících o dost nižší, než průměrné hodnoty všech let.



Obrázek 4-8 – průměrné hodnoty půdních vlhkostí v hloubce 5 cm na lokalitě A



Obrázek 4-9 – průměrné hodnoty půdních vlhkostí v hloubce 10 cm na lokalitě A

Hladina podzemní vody je na lokalitě A sledována pomocí automatických hladinových čidel LMP308i, které jsou umístěn v mělkých vrtech DV5, DV6 a DV7. Vrt je opatřen PE trubkou o průměru 50 mm se zatavenou spodní částí a perforací ve spodní části trubky, kterou je zajištěna komunikace vrtu s okolím. Data jsou pomocí

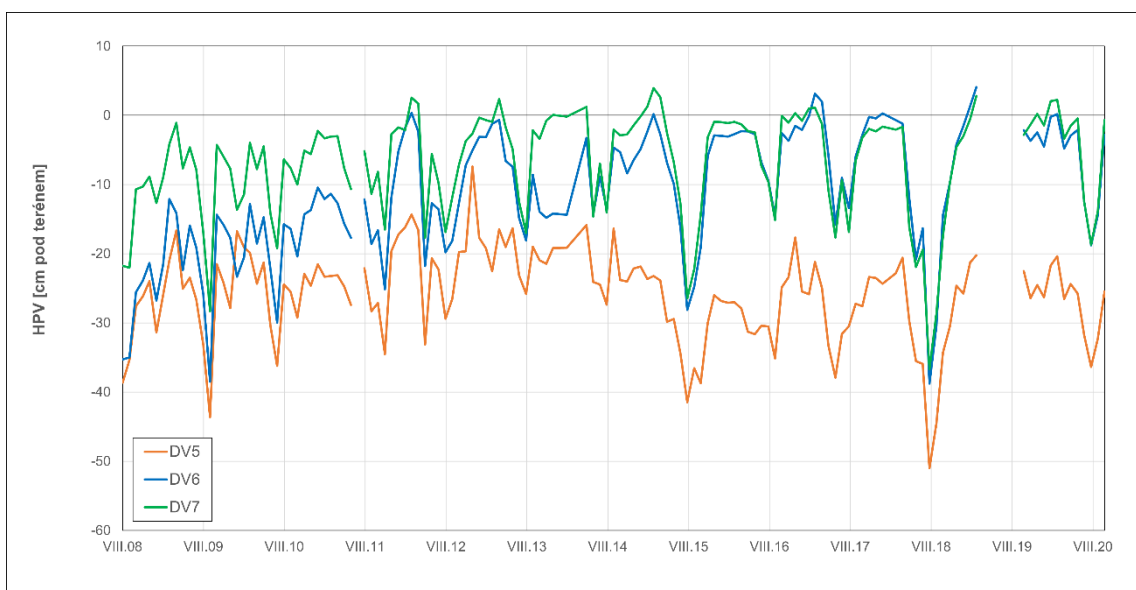


čidla zaznamenávána, stejně jako vlhkosti, v 10minutových intervalech pomocí dataloggeru Campbell CR1000 (Sedlmaierová, 2016). Měřená data vypovídají o tom, jak je vzdálena hladina ve vrtu od odměrného bodu, který se nachází na konci trubky. Nadmořská výška tohoto bodu však není stejná u všech vrtů a zároveň je proměnlivá nadmořská výška terénu přiléhajícímu k PE trubce, jak je zobrazeno v tabulce 4-1.

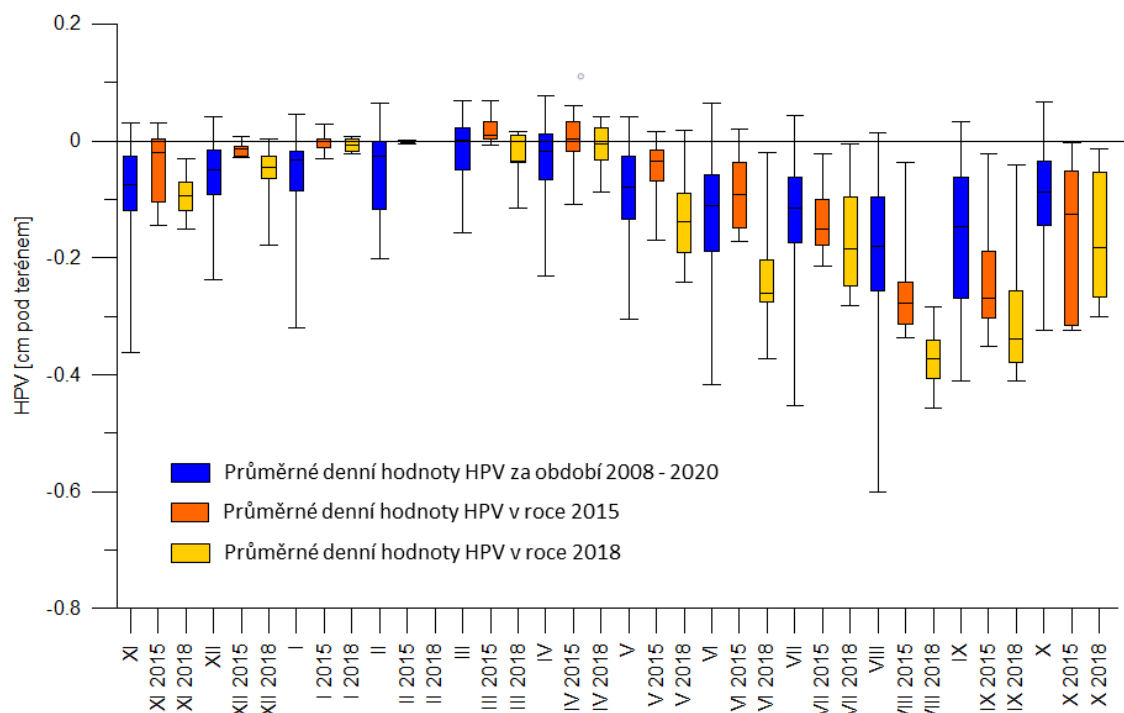
Tabulka 4-1 – nadmořské výšky odměrných bodů a terénu mělkých vrtů na lokalitě A

Vrt	Odměrný bod	Terén
	[m n. m.]	[m n. m.]
DV5	842,04	841,88
DV6	842,04	841,89
DV7	481,94	841,74

K vhodné interpretaci byly proto měřené hodnoty přepočteny na hodnotu, která je vztažena k terénu u každého vrtu zvlášť, jedná se tedy o vzdálenost HPV od terénu. Tyto hodnoty byly opět zprůměrovány za celý den, následně na průměrnou měsíční hodnotu a jsou zobrazeny na obr. 4-10. Z něj je vidět, že hodnoty měřené ve vrtech DV6 a DV7 jdou v poměrně dobrém souběhu. Pro HPV ve vrtu DV5 to platí jen částečně, kdy přibližně do roku 2014 se průběh od ostatních dvou vrtů moc neliší, ale potom se začíná razantně zaklesávat, patrně z důvodu hydraulického napojení na nižší přehrážku v kaskádě než vrty DV6 a DV7. Z toho důvodu byl tento vrt z následujícího vyhodnocení vyloučen a bylo provedeno vyhodnocení pouze pro průměrné hodnoty vrtů DV6 a DV7, které jsou použity i pro následné modelování, které je popsáno v kapitole 6. Toto vyhodnocení je opět pomocí krabicových grafů (obr. 4-11), jejichž vstupní hodnoty jsou uvažovány stejně jako v případě vyhodnocení dat půdních vlhkostí.



Obrázek 4-10 – zobrazení měřených HPV v mělkých vrtech na lokalitě A

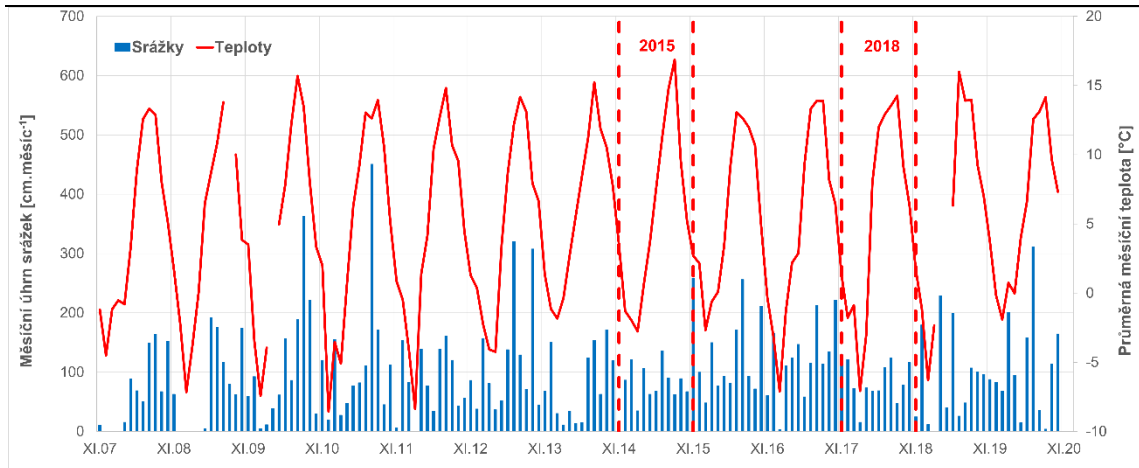


Obrázek 4-11 – průměrná hodnota HPV na lokalitě A – průměr z hladin DV6 a DV7 k místnímu terénu

4.2 Klimatická a limnigrafická stanice

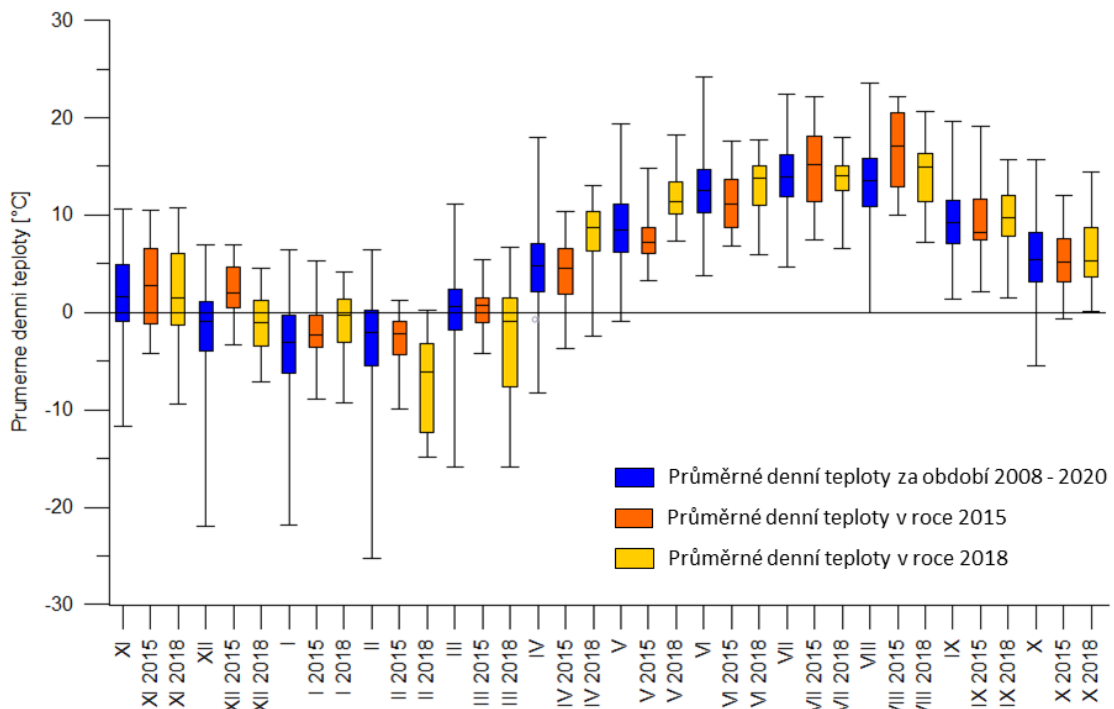
Mimo experimentální lokality je v uzávěrovém profilu na bezejmenném přítoku Jizery, který tvoří hranici mezi ochranným pásmem a NPR, sledován odtok z povodí pomocí automatické limnigrafické stanice s Bazinovým přelivem. Nedaleko Bazinova přelivu se na nezalesněné ploše nachází také meteorologická stanice, na které jsou měřeny teploty vzduchu v různých výškách, relativní vlhkosti vzduchu a úhrny tekutých srážek, které jsou měřeny pomocí překlopného srážkoměru. Hodnoty jsou měřeny v 10minutovém kroku. Na obr. 4-1 a 4-2 je vidět rozmístění experimentálních lokalit umístěných v OP NPR a jejich srovnávacích lokalit v NPR a také je zde vyznačeno umístění klimatické a limnigrafické stanice, která je zde popsána jako hydrometeo.

Pro vykreslení klimatických jevů, resp. srážek a teplot, byly opět vytvořeny měsíční průměry, resp. průměry denních průměrných teplot a měsíční srážkové úhrny. Srážkové úhrny za zimní období, kdy jsou srážky v podobě sněhu v pevném skupenství, byly převzaty z blízké stanice na Jizerce, kde jsou měřeny jak kapalné, tak i sněhové úhrny. Teploty měřené na lokalitě „hydrometeo“ a kapalné srážkové úhrny doplněné o sněhové úhrny jsou zobrazeny na obr. 4-12.



Obrázek 4-12 – průměrná teplota a úhrn srážek měřený na lokalitě „hydrometeo“

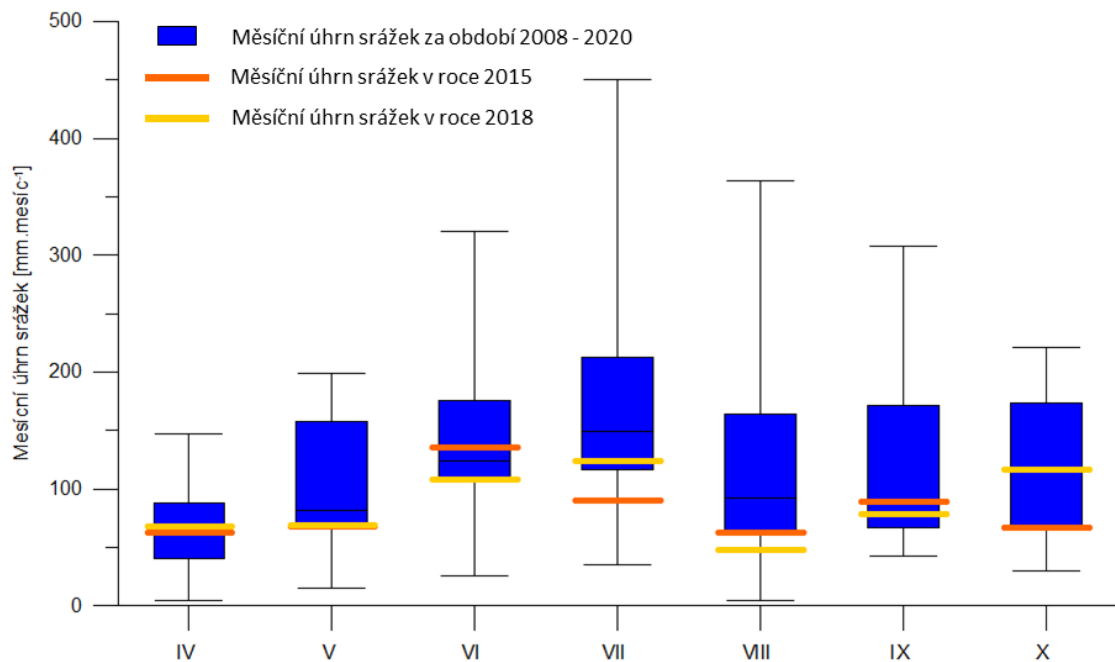
Pro lepší posouzení, jak na tom byly konkrétně roky 2015 a 2018 byl opět podobně jako např. pro objemové vlhkosti sestaven krabicový graf (obr. 4-13), který reprezentuje data průměrných denních teplot měřených ve výšce 200 cm. Zde je důležité uvést, že se opět jedná o průměrné denní hodnoty a pokud by byly zobrazovány všechny měřené hodnoty, byl by rozptýl dat mnohem větší, nicméně pro obecnou charakteristiku daných let to postačí. V letech 2015 a 2018 jsou patrné mírně vyšší hodnoty např. v měsíci srpnu, vzhledem k předchozím popisovaným obr. 4-11 – 4-13 jsem však čekal průběh trochu jiný v tom smyslu, že by hodnoty dotčených let byly vyšší než průměrné hodnoty za celé měřené období.



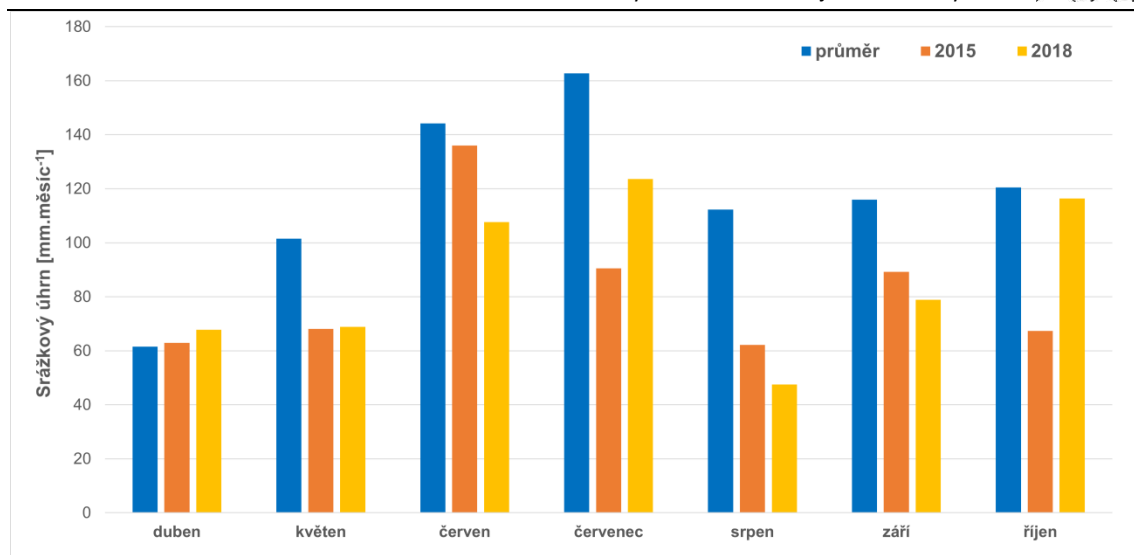
Obrázek 4-13 – průměrná měsíční teplota měřená na lokalitě



Teplota ale na měřená hydropedologická data nebude mít takový vliv jako srážkový úhrn. K jeho vyhodnocení mi však krabicové grafy nepřijdou nejvhodnější, protože je zde velké množství dnů, kdy byl srážkový úhrn nulový. Z toho důvodu byl vytvořen krabicový graf nikoli z denních hodnot srážkových úhrnů, ale z hodnot měsíčních srážkových úhrnů. Hodnoty za roky 2015 a 2018 tak mají pouze jednu hodnotu a do grafu jsou zaneseny jako vodorovná čára. Jak je z obr. 4-14 patrné, nejmenší úhrny v porovnání s ostatními lety byly naměřeny v květnu, červenci a srpnu, což se shoduje např. s průběhy měřených objemových vlhkostí v hloubce 5 cm (obr. 4-8) nebo s hladinami podzemní vody (obr. 4-11). Trochů lépe je patrný podprůměrný srážkový úhrn v letech 2015 a 2018 vidět na grafu, ve kterém jsou vykresleny průměrné hodnoty za jednotlivé měsíce, přičemž „průměr“ byl dělán ze všech měřených hodnot daného měsíce všech let (obr. 4-15).



Obrázek 4-14 – porovnání měsíčních úhrnů (za období 2008-2020) a měsíčních úhrnů v letech 2015 a 2020



Obrázek 4-15 – porovnání průměrných měsíčních úhrnů (za období 2008–2020) a měsíčních úhrnů v letech 2015 a 2018

5 Matematický popis proudění

5.1 Rovnice kontinuity

Rovnice kontinuity popisuje změnu objemové půdní vlhkosti v čase a je vyjádřením zákona zachování hmoty. Pokud budeme předpokládat, že voda je nestlačitelná, dostaneme výsledný tvar rovnice kontinuity, která bývá používána při popisu proudění v proměnlivě nasyceném prostředí:

$$\left(\frac{\partial q_x}{\partial x} + \frac{\partial q_y}{\partial y} + \frac{\partial q_z}{\partial z} \right) + \frac{\partial \theta}{\partial t} + S = 0, \quad (5.1)$$

ve které jsou q_x , q_y a q_z složky vektoru proudění, θ je objemová vlhkost a S je člen propadů nebo zdrojů (Císlerová, 1989).

Zkráceně můžeme zapsat rovnici ve tvaru

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} + \text{div} q + S = 0, \quad (5.2)$$

ve které q je vektor objemového toku ($q = \theta v$) a v je potom vektor makroskopické rychlosti proudění.



5.2 Darcyho zákon

Darcy prokázal, že průtok vody pórovitým prostředím je přímo úměrný rozdílu hydrostatických tlaků na vstupu a výstupu, nepřímo úměrný délce, kterou voda proteče a přímo úměrný ploše průřezu. Průtok také závisí na koeficientu, který se liší pro různé materiály. Pokud definujeme objemový tok q , který je roven podílu průtoku vody Q a ploše průtočného průřezu A , dostaneme vztah

$$q = K_s \frac{\Delta H}{L}, \quad (5.3)$$

ve kterém K_s se nazývá nasycená hydraulická vodivost, ΔH je rozdíl hladin před vtokem a po výtoku z pórovitého prostředí a L je délka, kterou voda proteče. Poměr $\Delta H/L$ se také nazývá hydraulický sklon označovaný I_h (Kutílek et al, 2000).

5.3 Darcy – Buckinghamův zákon

Darcy – Buckinghamův zákon je v zásadě modifikací Darcyho filtračního zákona a umožňuje popis proudění vody v proměnlivě nasyceném prostředí. Modifikací Darcyho zákona tedy dostaneme vztah

$$v = -K \cdot \nabla H, \quad (5.4)$$

ve kterém v představuje vektor rychlosti s jednotlivými složkami v_x , v_y a v_z . ∇ je operátor gradientu a H je celkový potenciál vody, který je hnací silou, jenž umožňuje proudění v nenasyčeném půdním prostředí. Celkový potenciál vody je roven součtu vlhkostního potenciálu h (kapilárního), obvykle vyjadřovaného jako záporná (sací) tlaková výška a gravitačního potenciálu, který je v případě pravoúhlého souřadného systému s osou z orientovanou svisle vzhůru roven hodnotě souřadnice z . Člen K je tenzorem hydraulické vodivosti.

Pro jednorozměrné vertikální proudění lze zapsat

$$q = -K(h) \frac{\partial H}{\partial z} \quad (5.5)$$

kde $K(h)$ je funkce nenasyčené hydraulické vodivosti závislá na sací tlakové výšce h a H je součet sací tlakové výšky h a geodetické výšky z . Darcyho rovnice je pak mezním případem rovnice (5.5) pro $h \geq 0$ (Císlerová, 1989).

5.4 Richardsova rovnice

Richardsova rovnice vznikne sloučením rovnice kontinuity a Darcy – Buckinghamova zákona a bývá také označována jako řídicí rovnice proudění vody. Jejím řešením jsme schopni získat průběh stavových veličin, jako je objemová vlhkost



půdy, sací tlaková výška nebo rychlost proudění vody. Tuto rovnici můžeme zapsat jako

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = \operatorname{div}(K \operatorname{grad} H). \quad (5.6)$$

Tato rovnice popisuje proudění v reálném pórovitém prostředí za podmínky, že jsou splněny tři zjednodušující předpoklady.

- Reálné pórovité prostředí můžeme popsat kapilárním modelem a toto prostředí je v čase neměnné – nepohybuje se a je nedeformovatelné.
- Je zanedbán vliv proudění vzduchu na proudění vody (tlak vzduchu v pórech je konstantní a roven atmosférickému).
- Proudící voda je nestlačitelná.

Rovnici (5.6), která popisuje obecné trojrozměrné proudění, je možno zjednodušit. Pokud budeme uvažovat, že proudění je pouze proti směru osy z (osa z je orientována kladně vzhůru), rovnice se zjednoduší do tvaru

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} \left(K \frac{\partial h}{\partial z} + K \right). \quad (5.7)$$

Richardsovu rovnici je možné řešit dvěma způsoby v závislosti na tom, jakou volíme neznámou. Tou může být buď tlaková výška $h(z,t)$, a v takovém případě potom mluvíme o kapacitním tvaru rovnice. Nebo můžeme jako neznámou volit vlhkost $\theta(z,t)$, a poté tvar rovnice nazýváme jako difuzní. Kapacitní i difuzní tvar rovnice umožňuje výpočet pouze bez uvážení hystereze a proces zvlhčování i drenáže je uvažován stejný, retenční křivka tedy pro oba procesy zůstává neměnná. Výhoda řešení kapacitního tvaru rovnice od difuzního tvaru je v tom, že rovnice v kapacitním tvaru je řešitelná i pro nasycené proudění.

Pro celkovou bilanci vody je nutné započítat také případné zdroje a propady. Významným propadem bývá odběr vody kořeny rostlin. Odběr můžeme do rovnice (5.6), potažmo (5.7), zahrnout přičtením, resp. odečtením, členu intenzity extrakce $S[s^{-1}]$ (vychází z anglického sink term). V oblasti kořenové zóny je hodnota S uvažována jako kladná, mimo ni jako nulová (Císlerová a Vogel, 1998).

5.5 Retenční křivka

Richardsova rovnice obsahuje dvě neznámé a stává se tak neřešitelnou. Pro její vyřešení je nutné zavést retenční křivku, která je dána jako funkční závislost objemové vlhkosti θ na sací tlakové výšce h . Zavedením retenční křivky zjednodušíme pórovité prostředí na systém kapilár, které jsou mezi sebou vzájemně propojeny (uvažujeme kapilární model pórovitého prostředí) (Císlerová a Vogel, 1998).



Pomocí rovnice retenční křivky se snažíme co nejlépe popsat průběh naměřené retenční čáry půdní vlhkosti. Jedná se o empirické rovnice, které nejčastěji vyjadřují efektivní vlhkost θ_E , která se dá vyjádřit jako

$$\theta_E = \frac{\theta - \theta_r}{\theta_s - \theta_r}, \quad (5.8)$$

kde θ_s je nasycená (plně saturovaná) vlhkost pro stav, kdy jsou všechny póry vyplněny vodou, θ_r je reziduální vlhkost, která se z různých důvodů neúčastní proudění a nelze odstranit dalším zvyšováním sacího tlaku, a θ je objemová vlhkost, která vyjadřuje míru naplnění pórů vodou (Kutílek et al., 2000).

Optimálním proložením naměřené retenční čáry křivkou a jejím matematickým vyjádřením se snažili různí autoři. Nejznámější jsou vyjádření dle Brookse a Coreyho (1964) a dále dle van Genuchtena (1976).

Rovnice Brookse a Coreyho je ve tvaru

$$\theta_E = \left(\frac{h_v}{h}\right)^\lambda, \quad (5.9)$$

ve kterém h je kapilární tlak, h_v je vstupní hodnota vzduchu a λ je empirický koeficient. Vstupní hodnota vzduchu je označení pro takovou hodnotu sacího tlaku, při kterém do půdy začne pronikat vzduch a začne se odvodňovat.

Rovnice dle van Genuchtena má tvar

$$\theta_E = \frac{1}{(1 + (\alpha|h|)^n)^m}, \quad (5.10)$$

ve které jsou α a n empirické parametry a m se vypočítá jako $1-1/n$ (Kutílek et al., 2000).

6 Aplikace programu Hydrus 1D

Cílem simulace v prostředí programu Hydrus 1D bylo namodelovat průběh objemových vlhkostí rašeliny na lokalitě A v klimaticky nepříznivých letech 2015 a 2018, za použití skutečných měřených meteorologických údajů, pokud možno tak, aby se průběh simulace co nejvíce přiblížil ke skutečnému průběhu hodnot, které jsou na lokalitě kontinuálně zaznamenávány. Za tímto účelem byly postupně měněny vstupní parametry modelu, které simulaci více či méně ovlivňovaly.

Namodelovaný průběh objemových vlhkostí mi posloužil k simulaci různých teoretických návrhových stavů, pomocí nichž byl zhodnocen vliv provedené revitalizace, které jsou popsány v kapitole 7.



6.1 Popis programu

Hydrus dokáže řešit proudění vody v porézním prostředí za čtyř různých předpokladů. Model může počítat buď s prouděním vody v proměnlivě nasyceném prostředí, v proměnlivě nasyceném prostředí s vlivem transportu páry, proudění systémem s proměnlivou pórovitostí nebo proudění vody systémem s rozdílnou propustností.

Pro úlohu řešenou v mé bakalářské práci byla zvolena varianta proudění v proměnlivě nasyceném prostředí bez transportu páry, ve které řídicí rovnice proudění vody řeší rovnoměrné proudění vody jedním směrem v částečně nasyceném prostředí a jedná se o modifikovanou Richardsovu rovnici se zavedením předpokladu, že plynná fáze a proudění vlivem teplotního gradientu nehraje významnou roli a jsou proto zanedbávány.

Pro výpočet je použita rovnice

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left[K \left(\frac{\partial h}{\partial x} + \cos \alpha \right) \right] - S, \quad (6.1)$$

ve které h je sací tlaková výška, θ je objemová vlhkost, t je čas, x je prostorový člen, S je člen zdrojů a propadů a α je úhel mezi směrem proudění a vertikální osou. K je nenasyčená hydraulická vodivost, která je dána vtahem

$$K(h, x) = K_s(x)K_r(h, x) \quad (6.2)$$

kde K_r je reziduální hydraulická vodivost a K_s je nasycená hydraulická vodivost. Proudění je modelováno vertikálně a prostorový člen x v rovnici 6.1 je tedy reálně hodnota na ose z .

Člen propadů S je uvažován jako odběr vody kořenovou zónou a představuje množství vody, kterou rostliny odeberou z půdního profilu svým kořenovým systémem a je počítán dle Feddese jako

$$S(h) = \alpha(h)S_p, \quad (6.3)$$

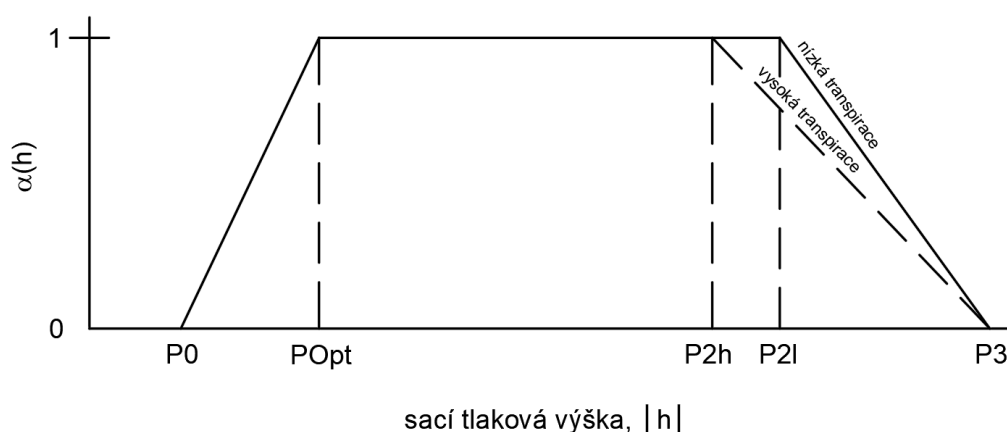
ve které $\alpha(h)$ je bezrozměrná funkce sací tlakové výšky nabývající hodnot od 0 do 1 a udává vláhový stres. S_p je potenciální intenzita transpirace a odběru vody kořenovou zónou. V případě, že je potenciální intenzita transpirace rozložena rovnoměrně, platí vztah

$$S_p = \frac{1}{L_R} T_p, \quad (6.4)$$

ve kterém T_p je potenciální intenzita transpirace a L_R je mocnost kořenové zóny.



Průběh funkce vláhového stresu dle Feddesse má lineární průběh a pro její popsání je potřeba zadat několik parametrů. Parametr P_0 představuje hodnotu sacího tlaku, při které rostliny začínají odebírat vodu svými kořeny. P_{Opt} je hodnota sacího tlaku, při které je voda odebírána maximální intenzitou. P_{2H} a P_{2L} jsou hodnoty sacího tlaku, při kterém přestávají kořeny odebírat vodu maximální intenzitou za předpokladu potenciální intenzity transpirace r_{2H} pro P_{2H} a r_{2L} pro P_{2L} . Posledním parametrem, který definuje funkci vláhového stresu, je bod vadnutí P_3 , při kterém je uvažován nulový odběr vody. Funkce je znázorněna na obr. 6-1, ze kterého je význam jednotlivých bodů více patrný. Mezi body P_3 a P_2 (P_{2H} nebo P_{2L} dle intenzity) odběr vody kořenovou zónou roste a jedná se odběr z největších hloubek. V rozmezí P_2 a P_{Opt} je odběr optimální a v rozmezí P_{Opt} a P_0 už hodnota odběru klesá, jelikož bod P_0 představuje bod plného nasycení, kde už odběr kořeny neprobíhá.



Obrázek 6-1 – průběh funkce vláhového stresu dle Feddesse

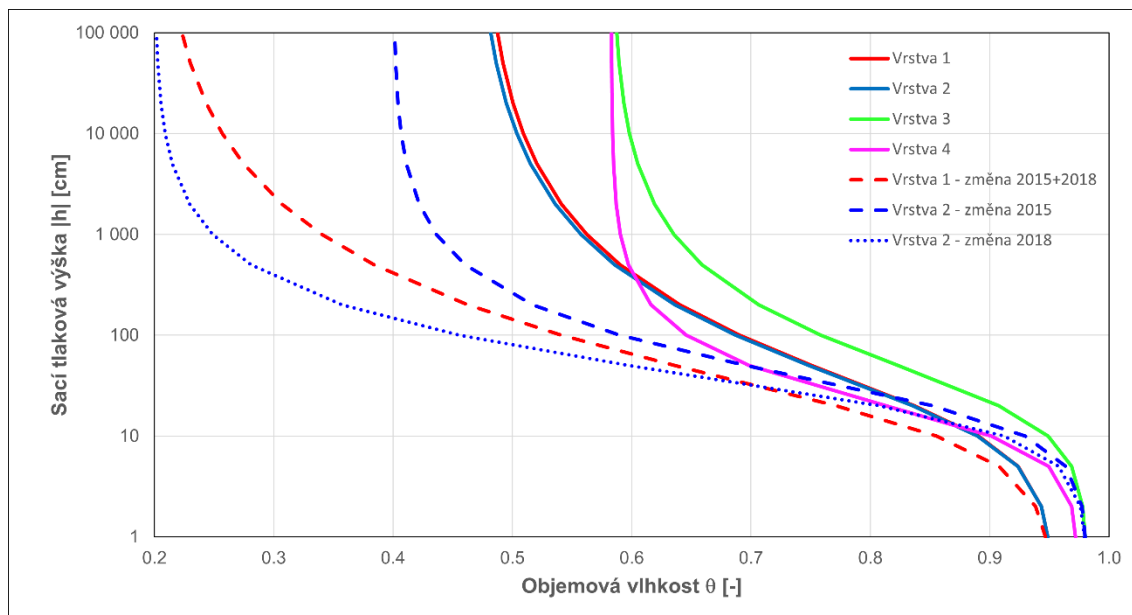
6.2 Nastavení programu

Mocnost půdního profilu byla zvolena na 115 cm a byla rozdělena na 4 vrstvy (obr. 6-3), které se liší svou mocností i parametry retenční křivky. Hystereze retenční křivky nebyla uvažována. Mocnost první vrstvy byla nastavena na 12 cm z důvodu přítomnosti vlhkostních čidel. Počáteční časový krok byl, stejně jako minimální časový krok, nastaven na 0,01 dne a maximální časový krok byl nastaven na 0,5 dne. Hydraulický model retenční křivky byl volen dle van Genuchtena pro prostředí s neměnnou pórovitostí a předpis retenční křivky je tedy dán rovnicí 5.10. Vstupní parametry retenčních křivek a dalších hodnot byly pro prvotní nastavení modelu pro rok 2015 převzaty z modelu Pavlíny Sedlmaierové (2017) a jsou zobrazeny v tab. 6-1, ve které jsou vyznačeny také měněné parametry. Vykreslení jednotlivých retenčních křivek je na obr. 6-2.

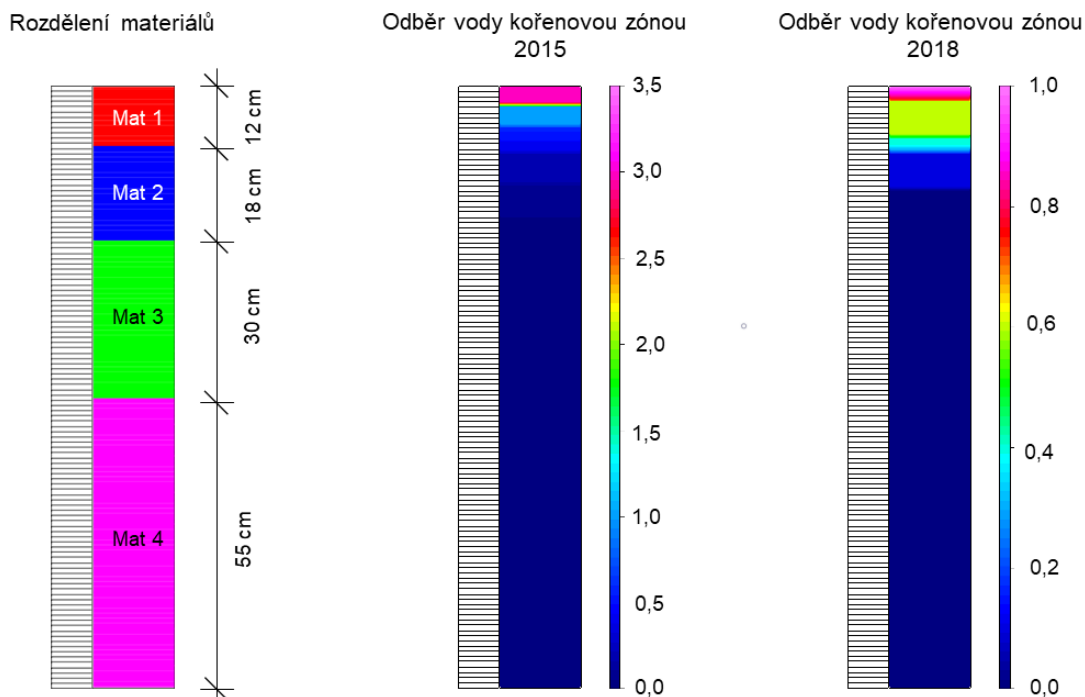


Tabulka 6-1 – vstupní hydraulické parametry jednotlivých vrstev a jejich změna v modelovaných letech (zeleně)

Mat	Q_r	Q_r 2015	Q_r 2018	Q_s	a	n	K_s	K_s 2015+2018	l
1	0.473	0.2	0.2	0.952	0.0716	1.393	0.86	10	0.5
2	0.467	0.4	0.2	0.981	0.0443	1.731	0.86	10	0.5
3	0.588	0.588	0.588	0.981	0.0428	1.54	0.86	10	0.5
4	0.583	0.583	0.583	0.973	0.024	1.925	0.86	10	0.5



Obrázek 6-2 – použité retenční křivky



Obrázek 6-3 – rozdělení materiálů a redistribuce kořenové zóny

Prostorové rozdělení jednotlivých vrstev je znázorněno na obr. 6-3 a zároveň je na něm zobrazeno rozdělení kořenové zóny, které bylo pro oba modelované roky uvažováno jinak. Jedná se o rozdělení míry intenzity, kterou je v daných hloubkách



voda odebírána. Zatímco v roce 2015 byl pro potřebu modelu uvažován největší odběr v prvních několika málo centimetrech, v roce 2018 bylo toto rozdělení plynulejší a odběr byl uvažován z větších hloubek.

Jelikož je rovnice (6.1) diferenciální, je pro její řešitelnost nutné určit počáteční a okrajové podmínky (Šimůnek, 2008). Počáteční okrajová podmínka udává hodnotu tlakové výšky h na počátku období, které modelujeme. Tato podmínka se dá zadat buď pomocí tlakových výšek, nebo pomocí vlhkostí (Císlerová a Vogel, 1998).

Okrajové podmínky popisují, jak systém interaguje s okolím na hranicích proudění. Okrajové podmínky mohou být, stejně jako počáteční dvě, kdy z fyzikálního hlediska se jedná o tlakovou a tokovou okrajovou podmínku a z matematického o podmínku Dirichtelovu a Neumannovu. Ty jsou uvažovány v závislosti na známých hodnotách. Tlaková okrajová podmínka se použije, pokud známe tlakovou výšku nebo vlhkost. Tokovou okrajovou podmínku použijeme, pokud známe rychlost odtékající nebo přitékající vody (Císlerová a Vogel, 1998). V modelu jsou využity oba typy okrajové podmínky, přičemž jako horní okrajová podmínka byla zvolena hodnota atmosférického tlaku navýšená o vliv povrchové vrstvy vody, která se zde drží do mocnosti 1 cm, po jejímž překročení dochází k povrchovému odtoku. Ta je dopočítávána ze zadaných denních srážkových úhrnů a transpirace, které jsou uvažovány jako toková okrajová podmínka. Dolní okrajová podmínka byla zvolena jako proměnlivá tlaková hodnota, která je dána hladinou podzemní vody, a jedná se o tlakovou okrajovou podmínku.

6.3 Vstupní hodnoty

Jak již je popsáno v kapitole 6.1, pro simulaci pomocí Hydrus 1D bylo nutné zadat vstupní veličiny, tzv. časově proměnné okrajové podmínky, na kterých je výpočet závislý a ze kterých jsou dopočítávány výsledné hodnoty. Jsou to parametry, které se mění v čase – pro účel použití modelu byly zadávány v denním kroku. Všechny ostatní zadávané parametry modelu jsou po celou dobu neměnné za předpokladu, že se vlastnosti materiálu v průběhu modelovaného období nemění. Pro výpočet byly využity hodnoty denních úhrnů srážek, hodnoty výparu a měřené hladiny podzemní vody. Výsledkem jsou potom hodnoty objemové vlhkosti půdy, k jejichž ověření byly využity hodnoty měřených objemových vlhkostí.

6.3.1 Srážky

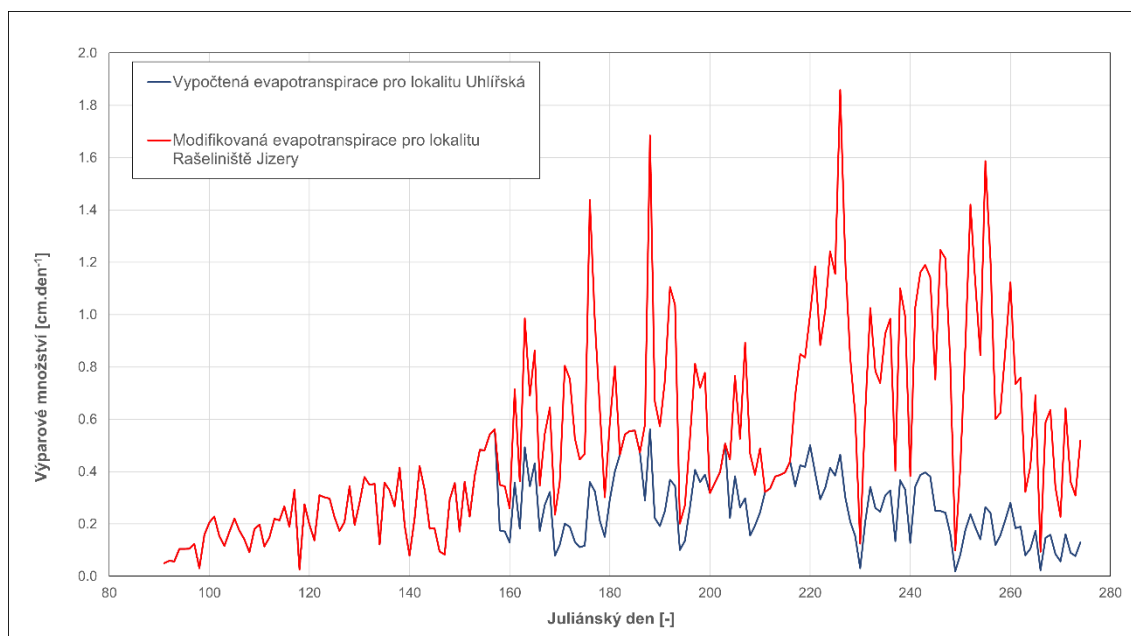
Hodnoty srážkových úhrnů jsou do modelu zaneseny jako suma naměřených hodnot v daném dni. Tyto hodnoty byly pouze u extrémních úhrnů srážek sníženy na hodnoty 1 cm za den, jelikož měly velký vliv na výsledný průběh vypočtených vlhkostí.



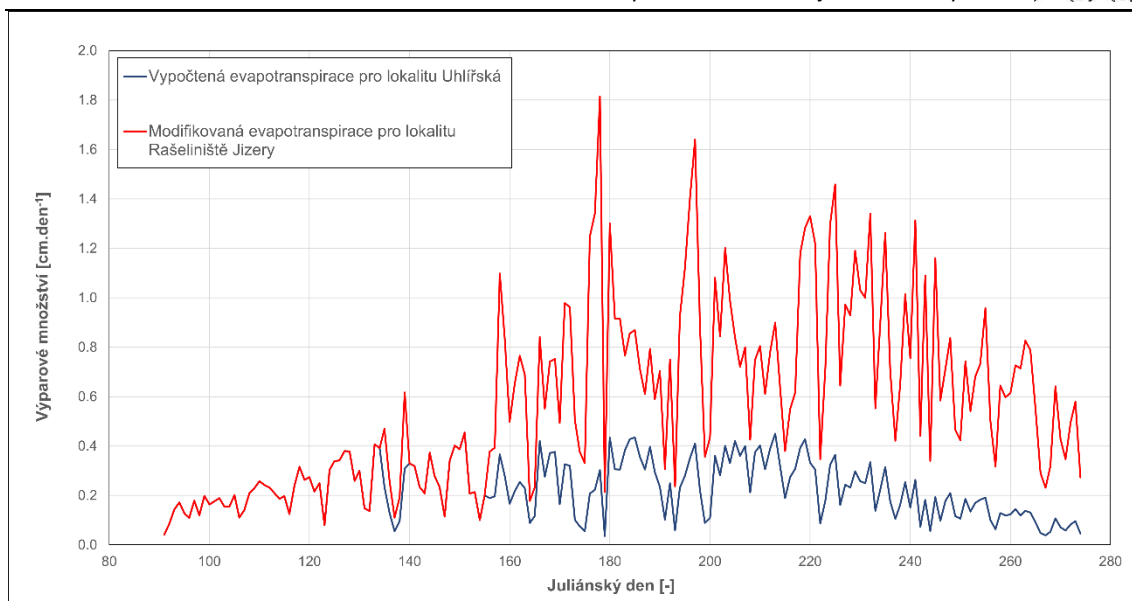
V roce 2015 i 2018 byly takto sníženy tři úhrny a na obr. 6-6 a 6-7 jsou zobrazeny červenými body.

6.3.2 Výpar

Pro stanovení výparu byly převzaty hodnoty, které byly vypočteny pro nedaleké povodí Uhlířská v Jizerských horách. Skalová (2022) pro dané povodí určuje hodnotu evapotranspirace třemi metodami – Hargreaves, Penman – Monteith a Penman. Na lokalitě Uhlířská je takto výpar stanovován na třech rozdílných lokalitách s různým vegetačním krytem – v lese, na trávě a v okolí vodního toku. V práci byly využity hodnoty potenciální evapotranspirace počítané metodou Penman – Monteith. Pro dny, kdy se na stanovišti ještě vyskytovala sněhová pokrývka, byla sublimace určena výpočtem dle Hargreavesova potenciálního výparu. Pro obě varianty byly uvažovány hodnoty vypočtené pro vegetační kryt tráva. Pro porovnání se povodí Uhlířská nachází v nadmořských výškách v rozmezí 775–872 m n. m., průměrná roční teplota dosahuje 6,4 °C a průměrný roční úhrn srážek za období 2000–2018 byl 1353 mm. Převažujícím půdním typem jsou podzoly na svazích a histosoly v mokřadech a rašeliništích podél toku (Skalová, 2022). Tyto hodnoty však byly uvažovány pouze jako orientační a k docílení požadovaného průběhu objemových vlhkostí byly, v určitých problémových obdobích, dost razantně zvyšovány. Průběh vypočtených hodnot na povodí Uhlířská a hodnoty, které byly použity pro výsledný model jsou zobrazeny na obr. 6-4 a 6-5.



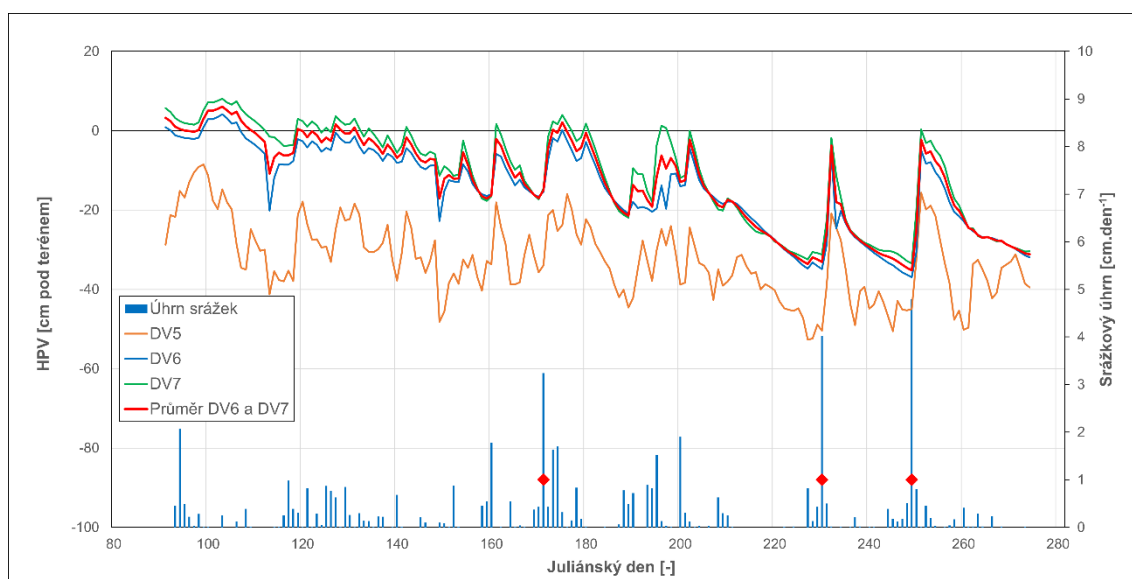
Obrázek 6-4 – zobrazení zvyšované potenciální evapotranspirace pro potřeby modelování roku 2015



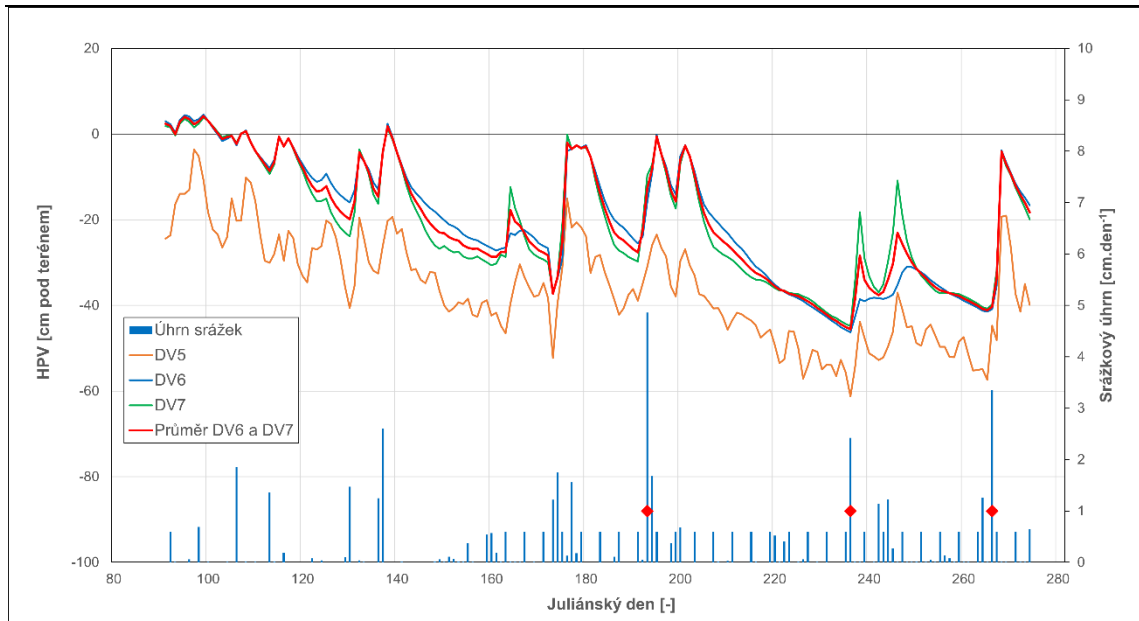
Obrázek 6-5 – zobrazení zvyšované potenciální evapotranspirace pro potřeby modelování roku 2018

6.3.3 Hladina podzemní vody

Hladiny podzemní vody v modelovaném období let 2015 a 2018 jsou zobrazeny na obr. 6-6 a 6-7 a je z nich lépe patrné zaklesnutí hladiny ve vrtu DV5 oproti vrtům DV6 a DV7, jak je již popsáno v kapitole 4.1. Dá se předpokládat, že tento odlišný průběh je způsoben tím, že vrt DV5 je ze třech zmíněných nejbližší k zahrazenému melioračnímu příkopu a hladina v něm bude nejspíše komunikovat s hladinou vody ve vedlejším, níže hrazeném příkopu. Za tohoto předpokladu byl ke stanovení dolní okrajové podmínky vrt DV5 vyloučen a hodnota HPV v půdním profilu byla určena jako průměr hodnot ve vrtech DV6 a DV7. Do modelu se hodnoty zadávají jako GWL (Ground Water Level) a jedná se o výšku hladiny vody v daném půdním profilu o volené mocnosti 115 cm.

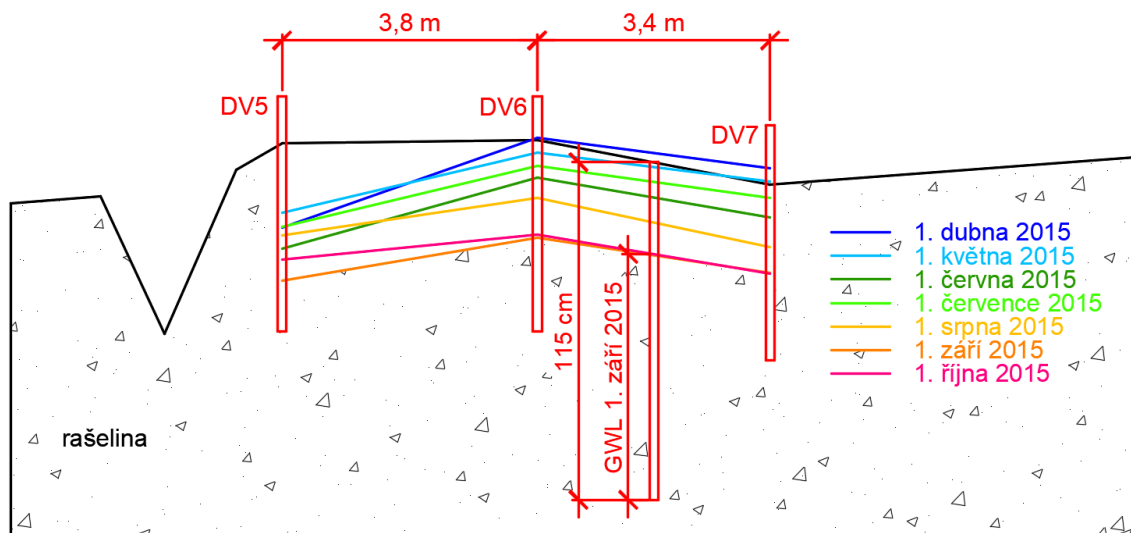


Obrázek 6-6 – zobrazení měřených HPV v mělkých vrtech na lokalitě A a měřených srážkových úhrnů s vyznačenými sníženými úhrny pro potřeby modelování roku 2015



Obrázek 6-7 – zobrazení měřených HPV v mělkých vrtech na lokalitě A a měřených srážkových úhrnů s vyznačenými sníženými úhrny pro potřeby modelování roku 2018

Důvod vyloučení hodnot z vrtu DV5 je lépe patrný z obr. 6-8, na kterém jsou vykreslené vrty DV5 – DV7 a jejich umístění vzhledem k terénu a melioračnímu příkopu a průměrné denní hodnoty hladiny podzemní vody v prvních dnech měsíce v roce 2015. Dolní okrajová podmínka je stanovena za předpokladu, že hladina vody v půdním profilu se mění lineárně od vrtu k vrtu. Hodnota GWL je tedy určena jako průměrná hodnota hodnot naměřených ve vrtech DV6 a DV7 vztažená k průměrné hodnotě nadmořských výšek terénu u vrtů.



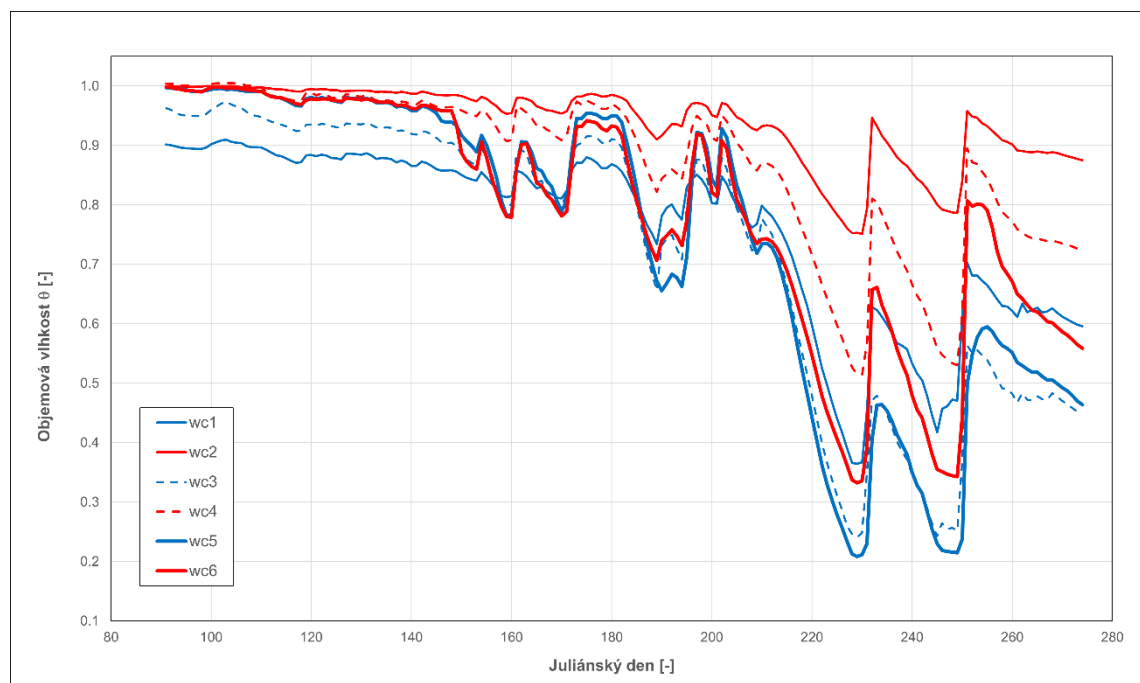
Obrázek 6-8 – uvažovaný průběh hladiny podzemní vody mezi jednotlivými vrty a naznačení uvažované dolní okrajové podmínky



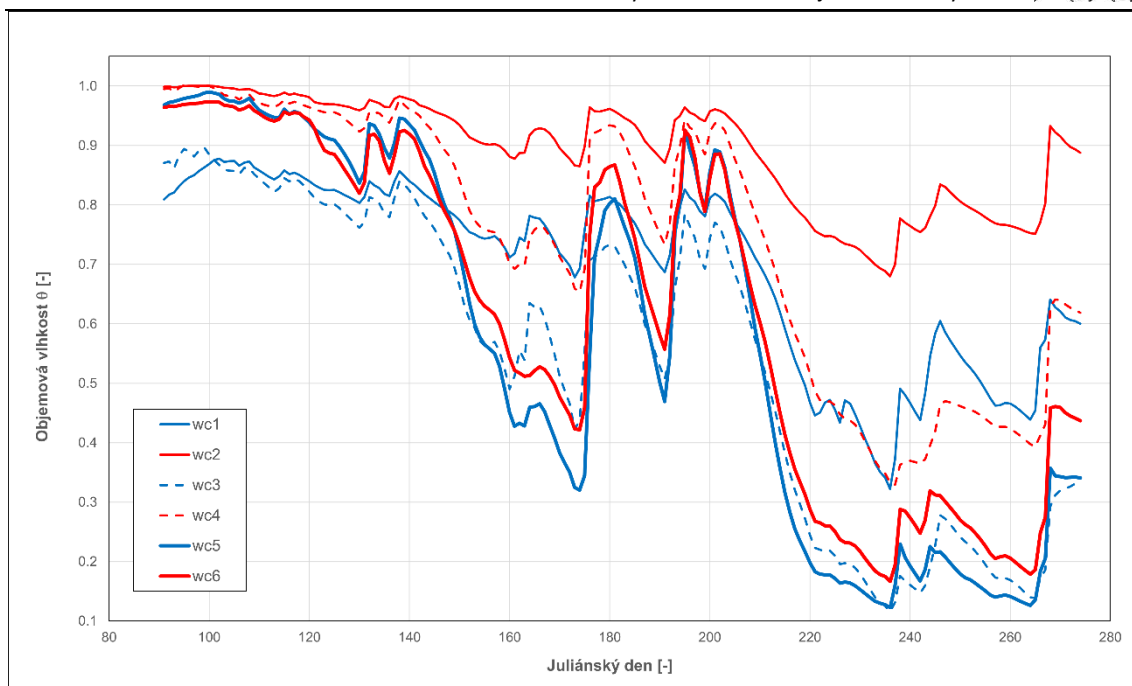
6.3.4 Půdní vlhkost

Objemová vlhkost půdy nevstupuje do výpočtu, ale je jeho výsledkem. Měřené hodnoty objemových vlhkostí jsem využil k vyhodnocení modelovaných hodnot.

Na průbězích měřených hodnot (obr. 6-9 a 6-10) je zajímavé, že i přes průběh hladin podzemní vody ve vrtu DV5, který se liší od vzdálenějších vrtů DV6 a DV7, se tato skutečnost nijak výrazně nepropaguje do průběhu vlhkostí měřených u tohoto vrtu. Zároveň bych čekal větší rozkolísanost horních vlhkostních čidel, které jsou blíže k povrchu. Popsané chování je zřejmé v obou simulovaných letech a jelikož není zřejmé ovlivnění blízkým příkopem, jako je tomu u průběhu měřených hladin ve vrtu DV5, byly do průměru zahrnuty všechny hodnoty. Pro porovnání, zda byla simulace úspěšná či nikoli, byly tedy pro modelované období, které bylo zvoleno od 1. dubna do 1. října v obou letech za předpokladu, že v tomto období už není významné ovlivnění sněhovými srážkami a zároveň v tomto období ani v jednom z let nedošlo k výpadkům měření, vytvořeny tzv. obalové čáry, které jsou dále zobrazeny na obr. 6-12 – 6-16. Ty byly vytvořeny z průměrů měřených hodnot vlhkostními čidly wc1, wc3 a wc5 pro vrstvu 5 cm pod terénem a wc2, wc4 a wc6 pro vrstvu 10 cm terénem, které byly pro horní obalovou čáru povýšeny a pro dolní obalovou čáru poníženy o směrodatnou odchylku těchto hodnot (průměr + směrodatná odchylka a průměr – směrodatná odchylka) a mezi ně byl následně fitován model.

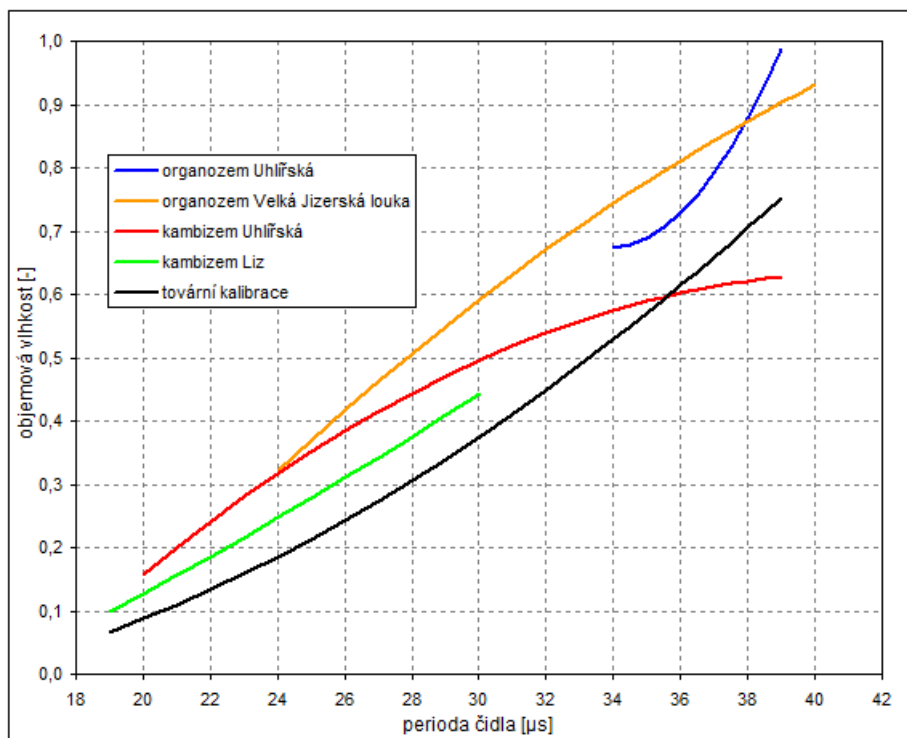


Obrázek 6-9 – průběh měřených objemových vlhkostí v zájmovém období roku 2015



Obrázek 6-10 – průběh měřených objemových vlhkostí v zájmovém období roku 2018

Dle kalibrační křivky vlhkostního čidla CS616 (zobrazena na obr. 6-11), která byla prováděna pro vzorek ze zájmového území, je patrné, že nejnižší objemová vlhkost, pro kterou bylo čidlo kalibrováno, není nižší než 0,3 (Jankovec, 2009). Měřené vlhkosti v nejsušších obdobích modelovaných let však klesly i pod hodnotu 0,2. Z toho je patrné, že některá data mohou být ovlivněna chybou měření, resp. extrapolací za daný interval, jelikož na tak nízkou hodnotu nebyla čidla kalibrována.



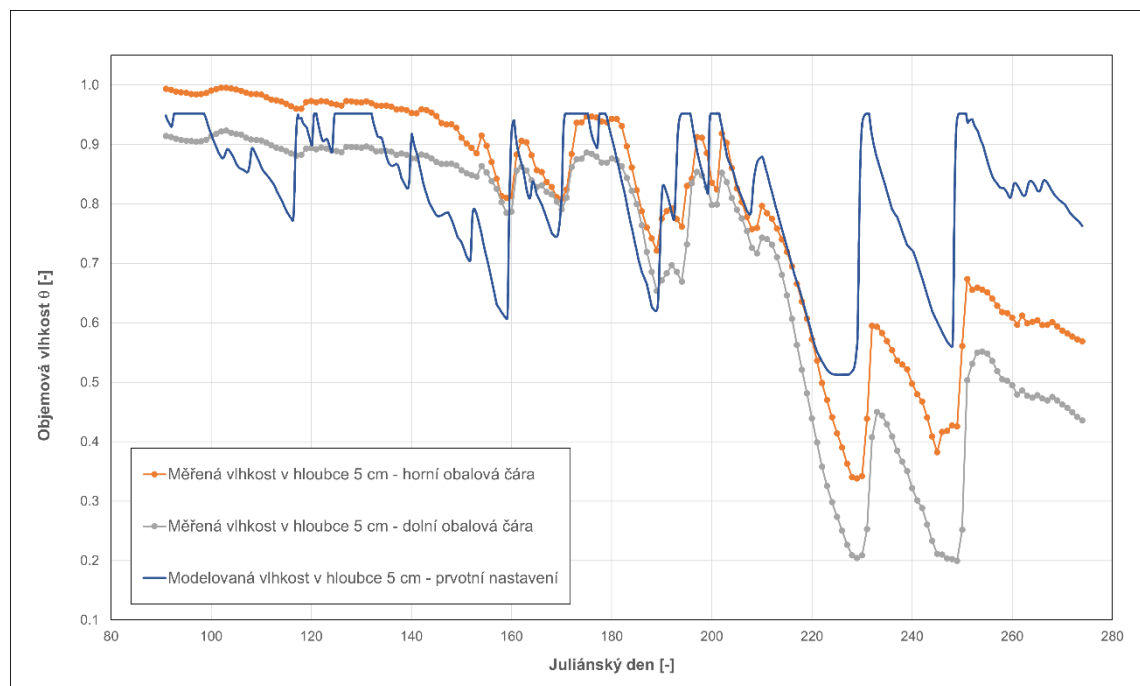
Obrázek 6-11 – kalibrační křivka sestavená Jankovcem (2009)



6.4 Průběh modelování

6.4.1 Model pro rok 2015

Pro prvotní nastavení jsem využil model, který pro svou diplomovou práci sestavila Pavlína Sedlmaierová. Hydropedologické parametry jsem převzal a změnil jsem vstupní okrajové podmínky. Sedlmaierová ve své práci modelovala okolí každého vrtu zvlášť a uvažovala tak jiné hodnoty hladiny podzemní vody. Zároveň se mi nepodařilo najít, z jakých dat vycházela při stanovení výparu. Použil jsem proto data vypočítané Skalovou (2022) a následně je modifikoval. Průběh simulovaných objemových vlhkostí se však i za použití modelu Sedlmaierové (2017) dost lišil. V sušším období byly hodnoty nadhodnoceny. Vypočtení průběhu objemových vlhkostí po prvotním nastavení modelu je znázorněn na obr. 6-12.



Obrázek 6-12 – dílčí modelované objemové vlhkosti v hloubce 5 cm pod terénem v roce 2015

Po mnoha pokusech, kdy byly snižovány extrémní srážkové úhrny a v určitých obdobích lokálně zvyšovány hodnoty denního výparu, jsem přistoupil ke změně parametrů retenční křivky. V prvním kroku byla postupně snižována reziduální vlhkost, která musí být snížena alespoň na hodnotu nejnižší naměřené objemové vlhkosti. V případě, že bude reziduální vlhkost vyšší než minimální naměřená hodnota, modelované hodnoty na nižší hodnotu být vypočteny nemohou. Z tohoto důvodu byla v případě první modelové vrstvy, která byla zvolena do úrovně 12 cm pod terénem, určena na hodnotu 0,2 a v druhé vrstvě zvolené do úrovně 30 cm pod terénem na hodnotu 0,4. Pro zkoušku byly měněny i další parametry retenční křivky, ty ale měly na

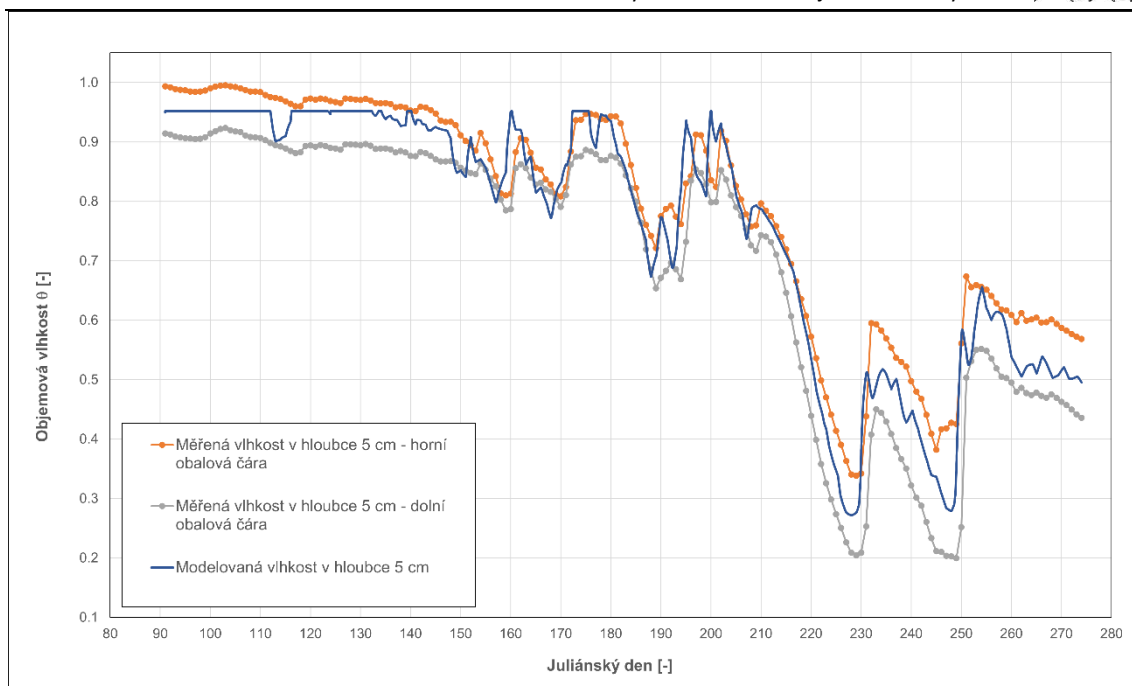


průběh modelovaných hodnot minoritní vliv. Největší změnou, pomocí které se podařilo docílit nízkých hodnot, byla volba hodnoty nasycené hydraulické vodivosti. Ta byla zvolena na extrémně vysokou hodnotu 10 cm/den. Tato hodnota by za předpokladu, že se na stanovišti vyskytuje pouze rašeliník byla příliš velká. Na lokalitě se však vyskytuje mimo jiné také pro sledované území velmi častá tráva *Molinia caerulea* z čeledi lipnicovitých, jejíž kořeny pronikají až do hloubky 80 cm a v průměru mají až 1,5 cm (Taylor, 2001). Za předpokladu, že voda proniká okolo kořenů, případně jejich vyhnílymi částmi formou preferenčního proudění, pak tato hodnota není nereálná.

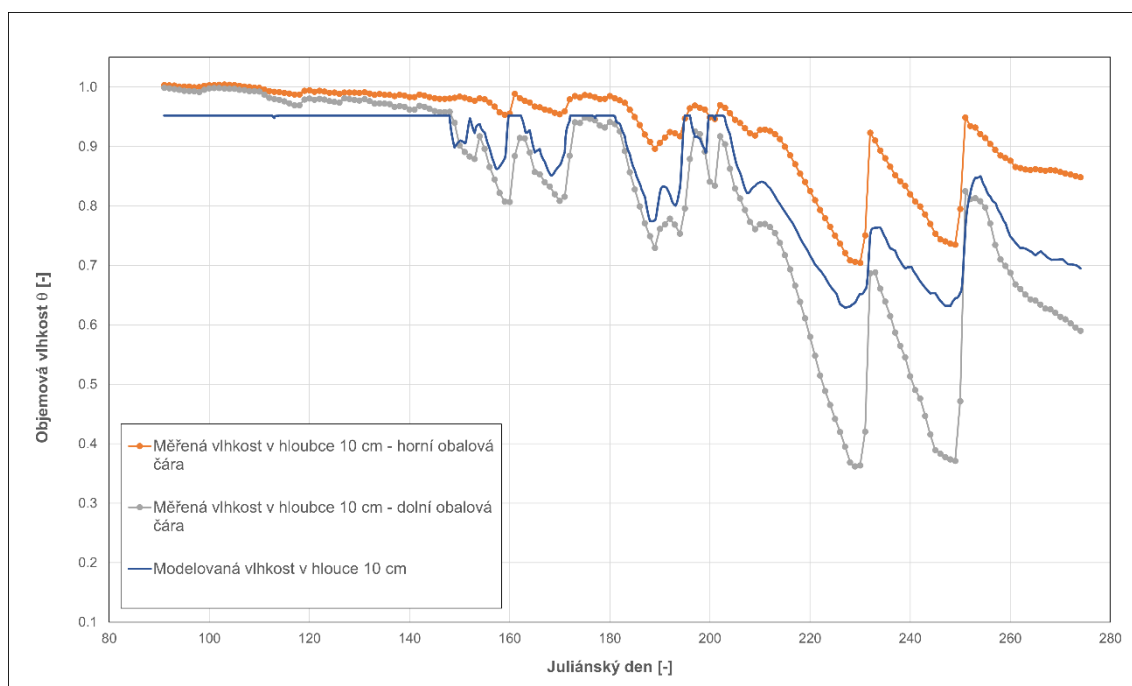
Kromě parametrů retenční křivky byly ještě měněny již výše zmíněné intenzity výparu, které sice byly převzaty z podobného povodí v Jizerských horách, nicméně nelze je uvažovat za zcela relevantní a stejné pro řešenou lokalitu. Ty byly v problematických úsecích zvyšovány, jak je již výše znázorněno v obr. 6-4, jelikož bylo potřeba vodu z profilu odebrat, aby se modelovaná vlhkost snížila na měřené hodnoty. Na rozdíl od Uhlířské se zde jedná o široce otevřenou lokalitu jen s nízkou výškou dřevin (borovice blatka), tj. sluneční svit i rychlost větru jsou nejspíše vyšší než pro modelová řešení výparu na smrkem hustě zalesněných svazích Uhlířské

Poslední parametr, který byl měněn, byla míra intenzity odběru vody kořenovou zónou, která se určovala pro každý centimetr půdního profilu. Ta byla měněna v mělkém profilu dle toho, jak moc se rozcházel průběhy modelovaných vlhkostí v 5 a 10 cm a byla silně závislá na změně výparu. Pro modelované období roku 2015 se ukázalo, že největší odběr je třeba přiřadit vrchním vrstvám profilu, čímž se podařilo snížit hodnoty v horní vrstvě, aniž by byly výrazně ovlivněny hodnoty ve vrstvě druhé, které vykazovaly lepší průběh.

Výsledný stav namodelovaného průběhu objemových vlhkostí je znázorněn na obr. 6-13 a 6-14. Na vypočteném průběhu je patrná „rovinka“ na počátku simulovaného období, což je hodnota nasycené hydraulické vodivosti, která je jedním ze vstupních hodnot retenční křivky. Tato největší hodnota je shodná v hloubce 5 i 10 cm, jelikož se obě nacházejí v první vrstvě se stejnými parametry retenční křivky.



Obrázek 6-13 – průběh modelované objemové vlhkosti v hloubce 5 cm pod terémem v roce 2015

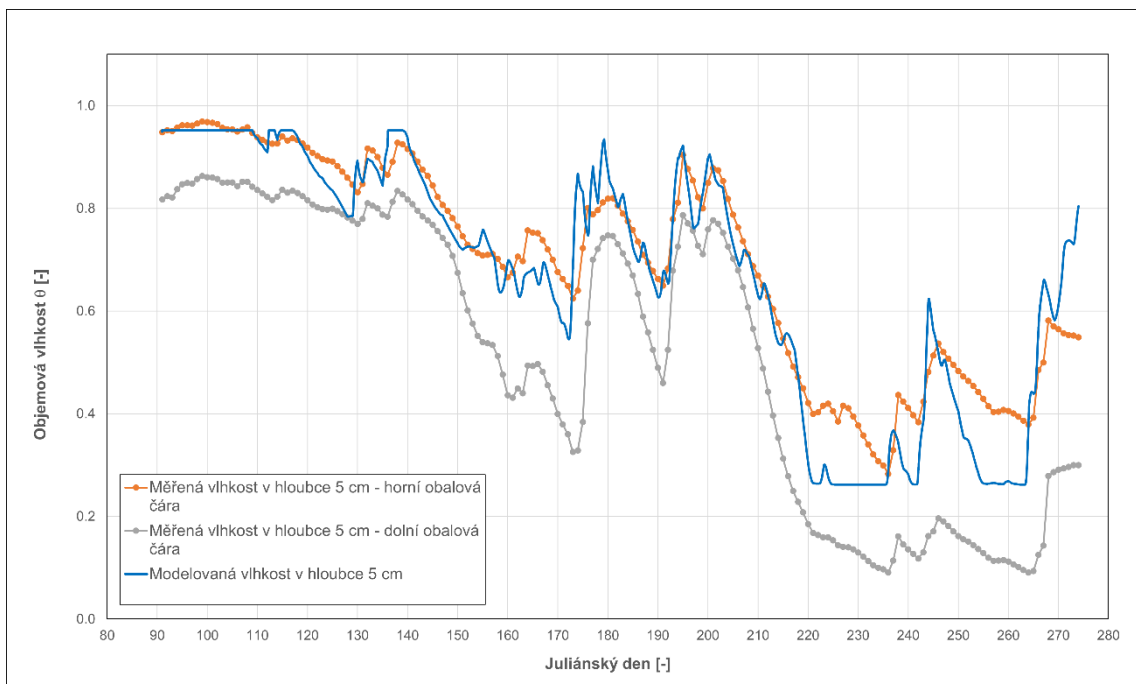


Obrázek 6-14 – průběh modelované objemové vlhkosti v hloubce 10 cm pod terémem v roce 2015

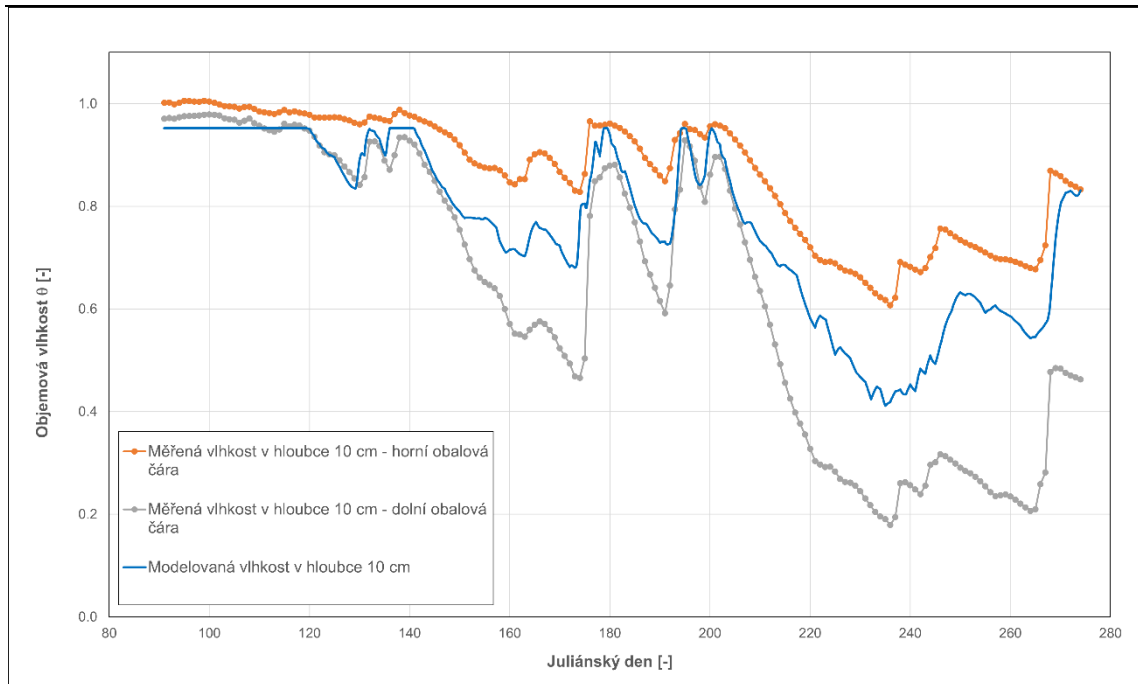


6.4.2 Model pro rok 2018

Při modelování roku 2018 jsem vyšel z již hotového modelu pro rok 2015. Parametry retenční křivky byly ponechány stejné, jelikož i zde nastal stejný problém, že je velký rozdíl mezi vlhčím počátkem modelovaného období a jeho sušším koncem a reziduální vlhkost bylo nutné v horních vrstvách snížit. Měřené vlhkosti v roce 2018 dosahovaly ještě nižších hodnot než v roce 2015 a na simulaci to nemělo dobrý vliv. Zajímavý je rovný úsek (obr. 6-15), který se vytvořil při modelaci v hloubce 5 cm v nejsušším období. Takový průběh není reálný a nejspíš už bylo dosaženo limitů výpočetního modelu, který funguje dobře při vysokých vlhkostech. Naopak v sušších obdobích již model funguje špatně teoreticky a možná i numericky (doc. J. Dušek, ústní sdělení). Byly měněny všechny parametry retenční křivky i hodnota nasycené hydraulické vodivosti, nicméně na ustálenou hodnotu, která zde zdola jakoby omezuje vypočítanou vlhkost, tyto změny neměly žádný vliv. Limitní hodnota zřejmě vychází z nastavení parametrů vzorce pro evapotranspiraci dle Feddese. K nastavení redistribuce kořenovou zónou zde bylo přistupováno opačně, kdy největší hodnoty byly přiřazeny pro vrstvy okolo hloubky 10 cm.



Obrázek 6-15 – průběh modelované objemové vlhkosti v hloubce 5 cm pod terénem v roce 2018



Obrázek 6-16 – průběh modelované objemové vlhkosti v hloubce 10 cm pod terénem v roce 2018

6.5 Nepřesnosti modelu

Je třeba si uvědomit, že rašelina je živý organismus a její vlastnosti nejsou neměnné, tak jak můžeme uvažovat u minerálních půd. Její hydrologické vlastnosti byly voleny tak, aby se vypočítaný průběh objemových vlhkostí co nejvíce přiblížil skutečně naměřeným hodnotám, a to s přihlédnutím zvláště v suchých obdobích. Její charakteristiky se navíc mohou měnit nejen v závislosti na volené okrajové podmínce (hladině podzemní vody), ale také v průběhu času, kdy rašelina po delším vysychání nemusí mít stejné vlastnosti jako před ním.

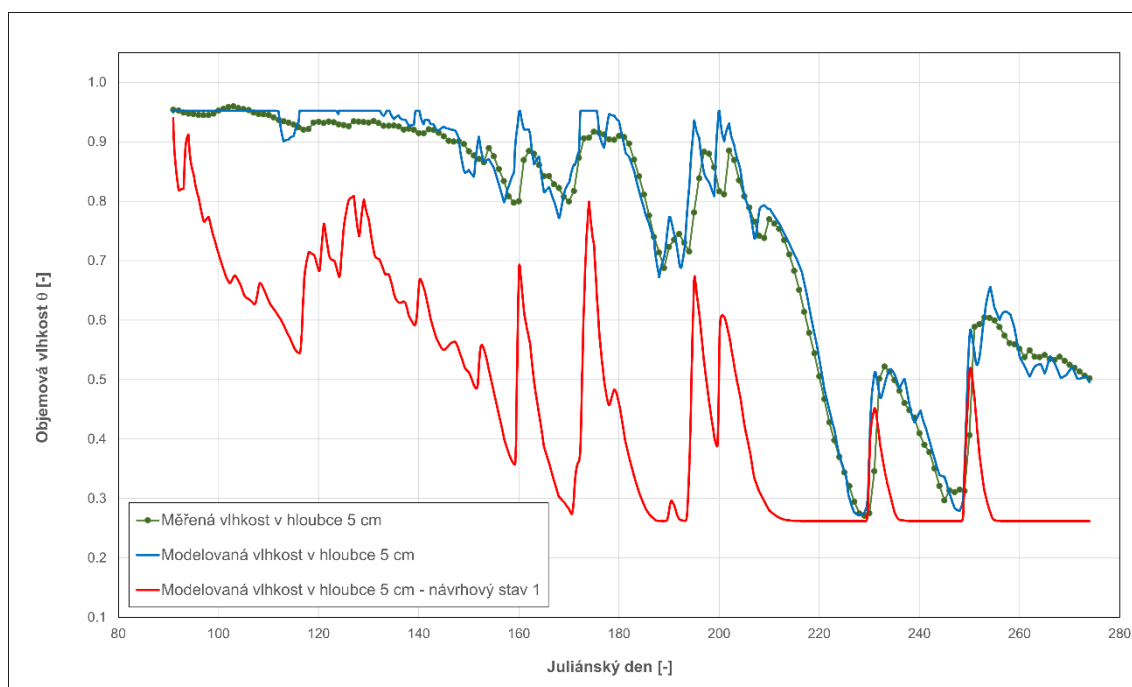
7 Posouzení vlivu revitalizace na vodní režim

K posouzení vlivu provedené revitalizace na vodní režim ovlivněného území, byly uvažovány tři odlišné okrajové podmínky, které simulují různé návrhové stavy, přičemž byla měněna dolní okrajová podmínka, kterou je v mém případě úroveň hladiny podzemní vody, kterou jsme schopni z části regulovat např. výškou hrazení a zároveň se jedná o hodnoty, které nebyly v průběhu modelování nijak měněny, jako tomu bylo např. u výparu nebo srážek. K posouzení vlivu revitalizace by bylo vhodné posoudit také změny rostlinných společenstev, případně procentuálních zastoupeních určitých druhů. Z tohoto pohledu můžeme soudit zčásti vizuálně pomocí porovnání záběrů pořízených před a po provedeném zahrazení drenážních příkopů.

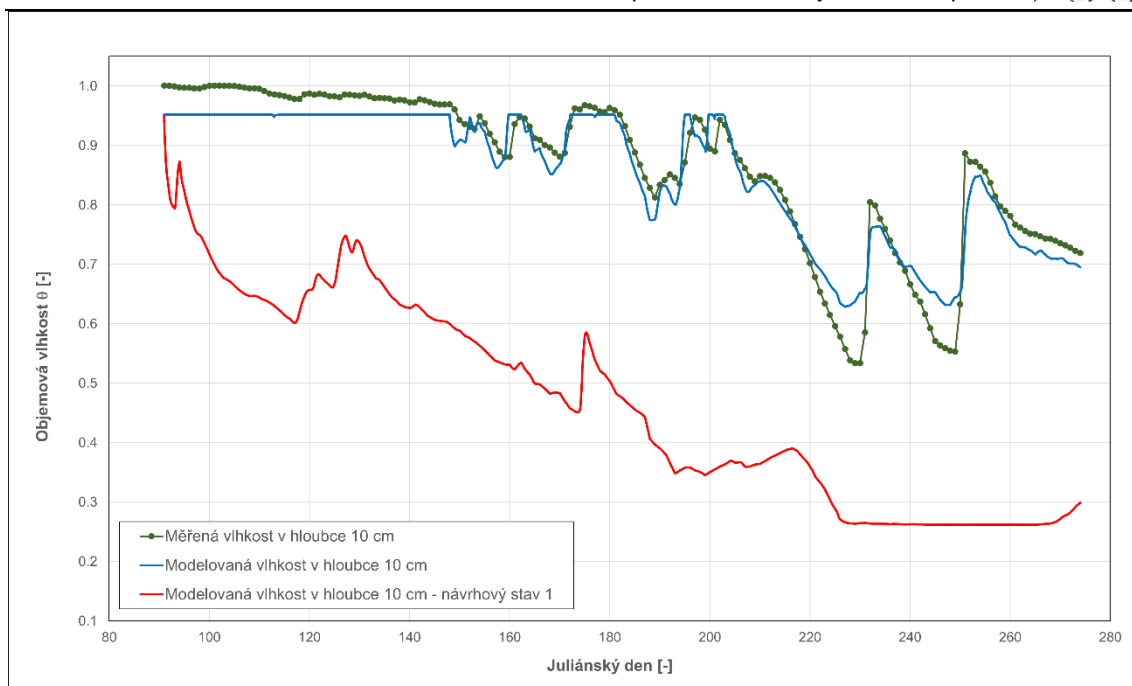


7.1 Návrhový stav 1 – bez revitalizace

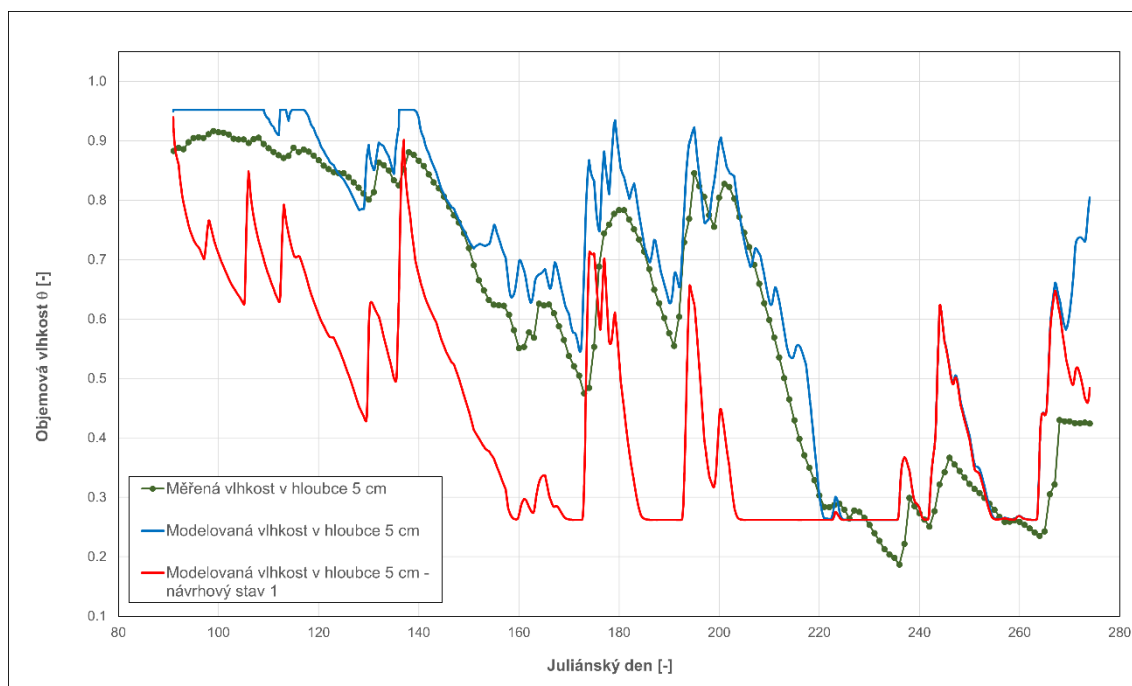
První variantou byla snaha o namodelování takového stavu, kdy by revitalizace nebyla provedena vůbec. Pro tento stav bylo zjednodušeně uvažováno, že hladina vody je na dně příkopu a na stejné úrovni je i hladina podzemní vody v přilehlém okolí. Tento návrhový stav je znázorněn na obr. 7-1 – 7-4. Vzhledem k výchozímu modelu, který byl namodelován pro současný stav za použití skutečně měřených hodnot, se dá předpokládat, že na začátku období by byl výsledný průběh o něco příznivější, nicméně jak se dalo předpokládat, současný stav je určitě lepší, může být však ještě zlepšen.



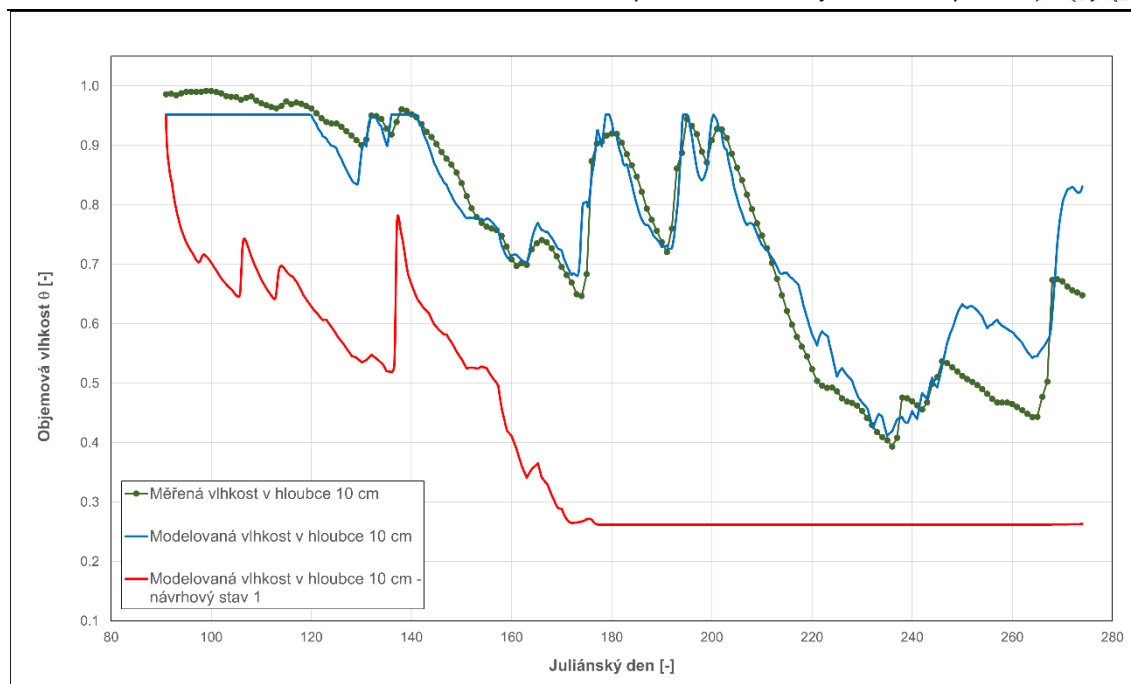
Obrázek 7-1 – průběh modelované objemové vlhkosti v hloubce 5 cm pod terénem v roce 2015 – varianta bez provedení revitalizace (zelené body jsou skutečné měřené hodnoty)



Obrázek 7-2 – průběh modelované objemové vlhkosti v hloubce 10 cm pod terénem v roce 2015 – varianta bez provedení revitalizace (zelené body jsou skutečné měřené hodnoty)



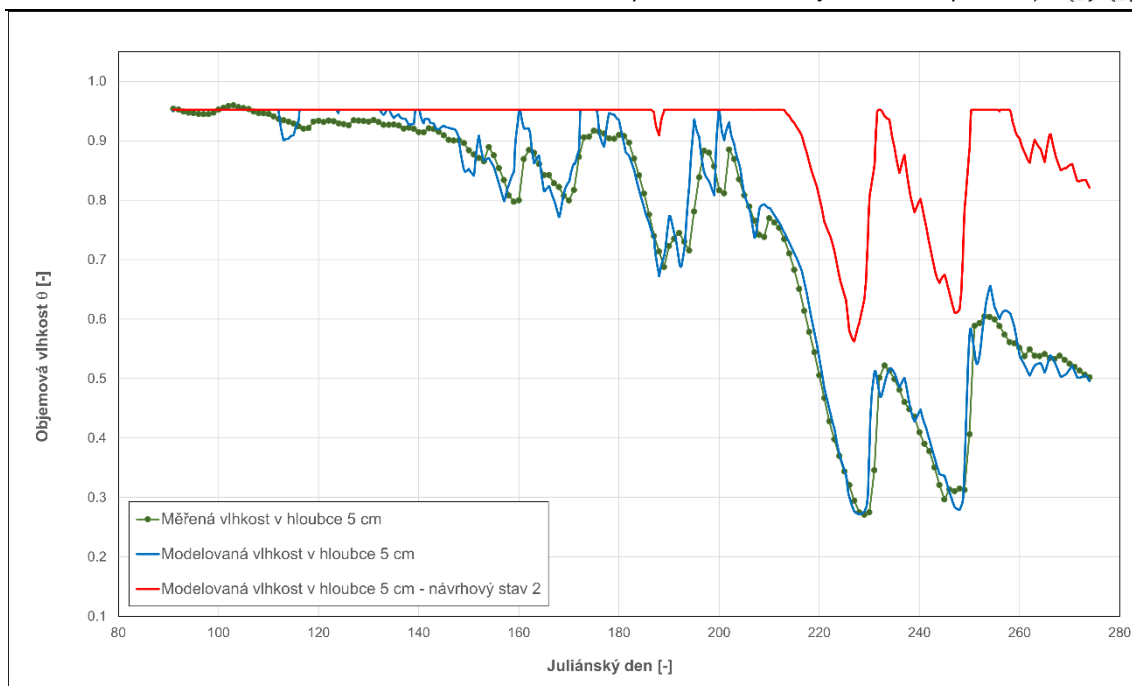
Obrázek 7-3 – průběh modelované objemové vlhkosti v hloubce 5 cm pod terénem v roce 2018 – varianta bez provedení revitalizace (zelené body jsou skutečné měřené hodnoty)



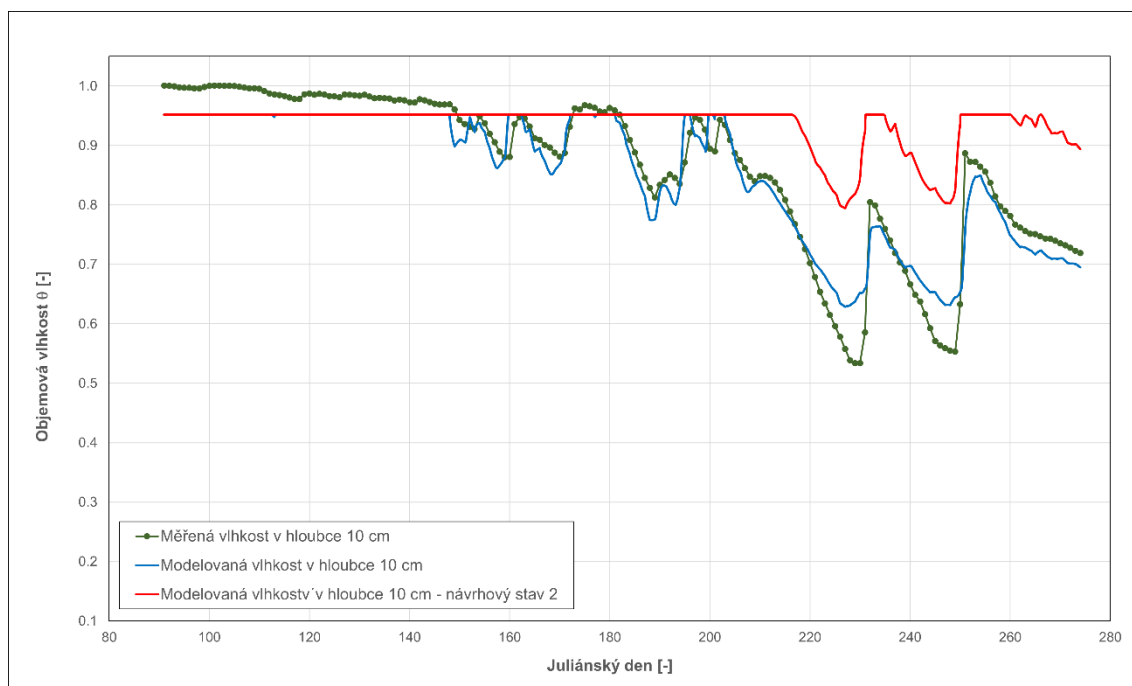
Obrázek 7-4 – průběh modelované objemové vlhkosti v hloubce 10 cm pod terémem v roce 2018 – varianta bez provedení revitalizace (zelené body jsou skutečné měřené hodnoty)

7.2 Návrhový stav 2 – hladina dle botanického návrhu

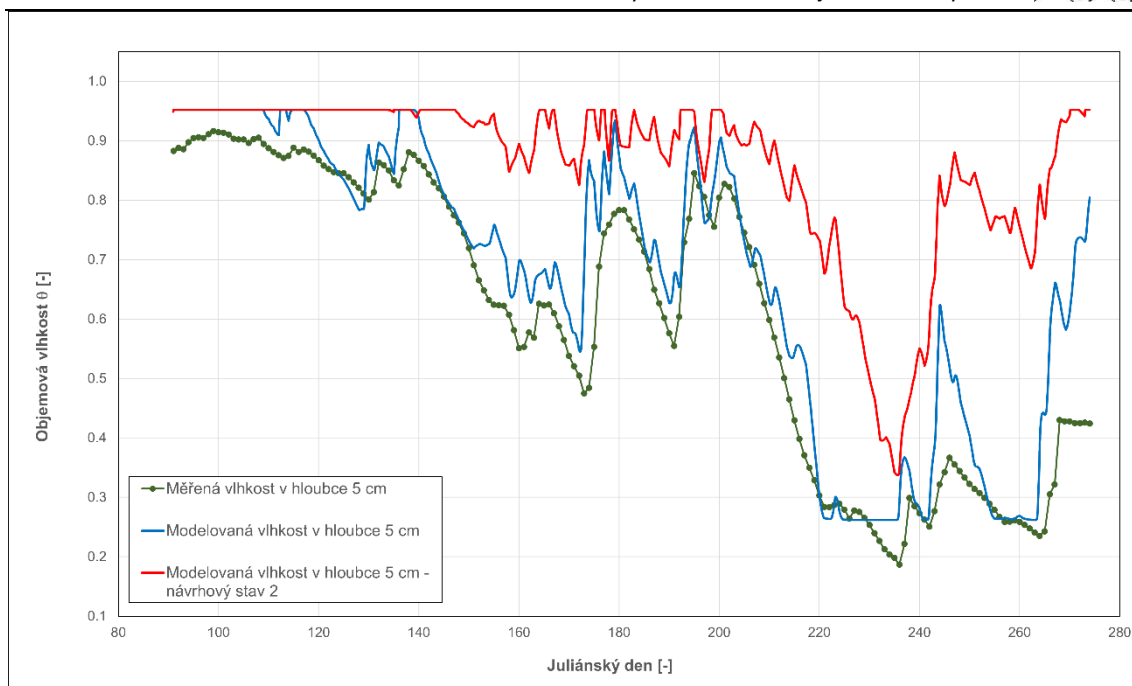
Druhým návrhovým stavem bylo zvýšení skutečných měřených hodnot hladiny podzemní vody o 20 cm. To je výška, o kterou byly přehrážky při revitalizačním zásahu oproti původnímu návrhu sníženy. Jak je patrné z obr.7-5 - 7-8, objemové vlhkosti by se zvýšily a pro rašelinu by to mělo zajistit pozitivní důsledek, protože jsou velmi citlivé na změny v zásobování vodou a pro jejich správné fungování je velmi důležitá nadměrná vlhkost, což by zvýšením hladiny bylo podpořeno. Poloha hladiny podzemní vody je zásadní pro to, zda bude docházet ke tvorbě rašelinu nové nebo zda bude docházet spíše k jejímu rozkladu a zásadně tak ovlivňuje její stabilitu (Holden, 2006). Tato varianta je dle mého názoru nejbližší reálnému průběhu objemových vlhkostí, kterých by půda při zvýšení přelivné hrany přehrážek dosahovala.



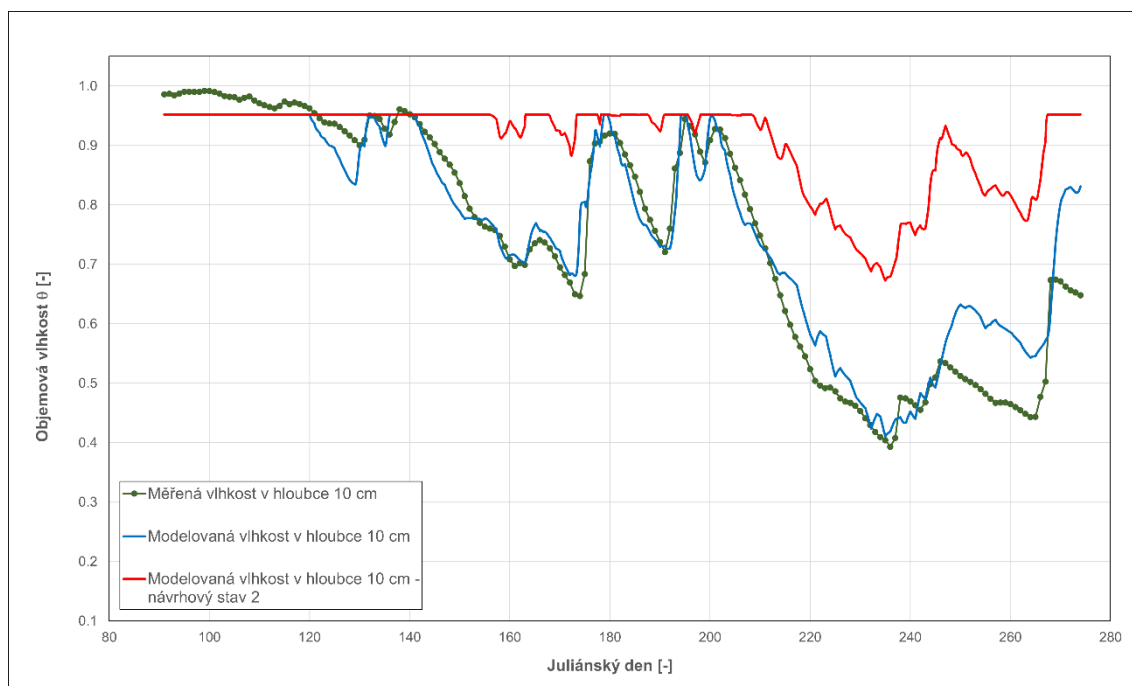
Obrázek 7-5 – průběh modelované objemové vlhkosti v hloubce 5 cm pod terénem v roce 2015 – varianta navýšení přehrážek o 20 cm (zelené body jsou skutečné měřené hodnoty)



Obrázek 7-6 – průběh modelované objemové vlhkosti v hloubce 10 cm pod terénem v roce 2015 – varianta navýšení přehrážek o 20 cm (zelené body jsou skutečné měřené hodnoty)



Obrázek 7-7 – průběh modelované objemové vlhkosti v hloubce 5 cm pod terénem v roce 2018 – varianta navýšení přehrážek o 20 cm (zelené body jsou skutečné měřené hodnoty)

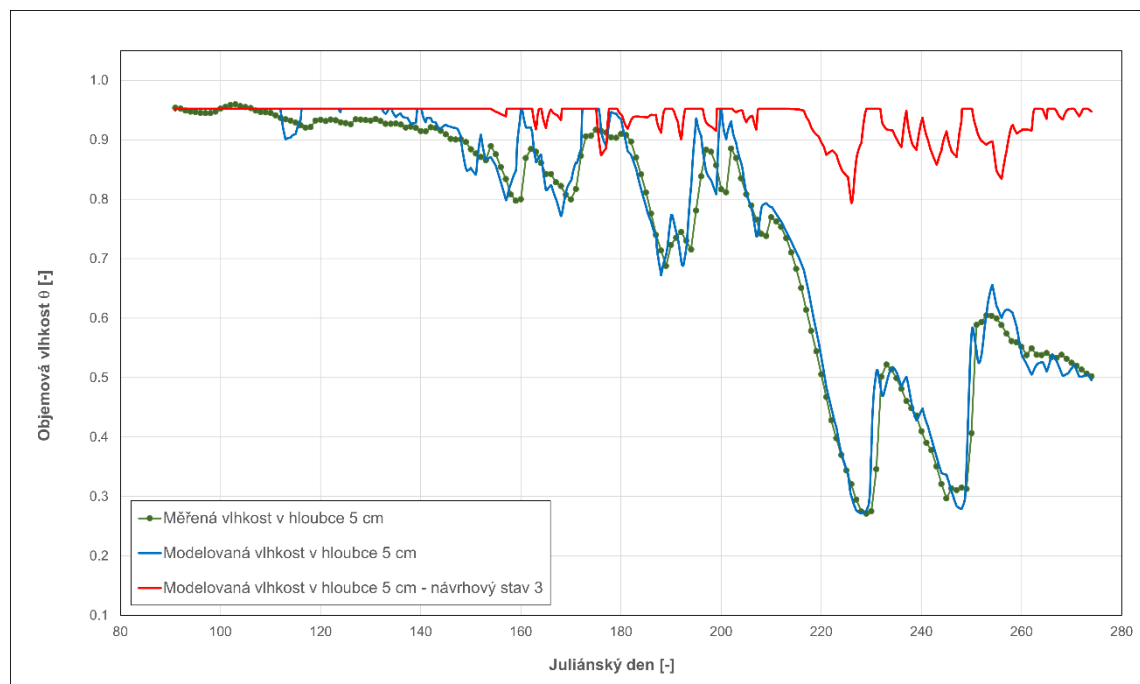


Obrázek 7-8 – průběh modelované objemové vlhkosti v hloubce 10 cm pod terénem v roce 2018 – varianta navýšení přehrážek o 20 cm (zelené body jsou skutečné měřené hodnoty)

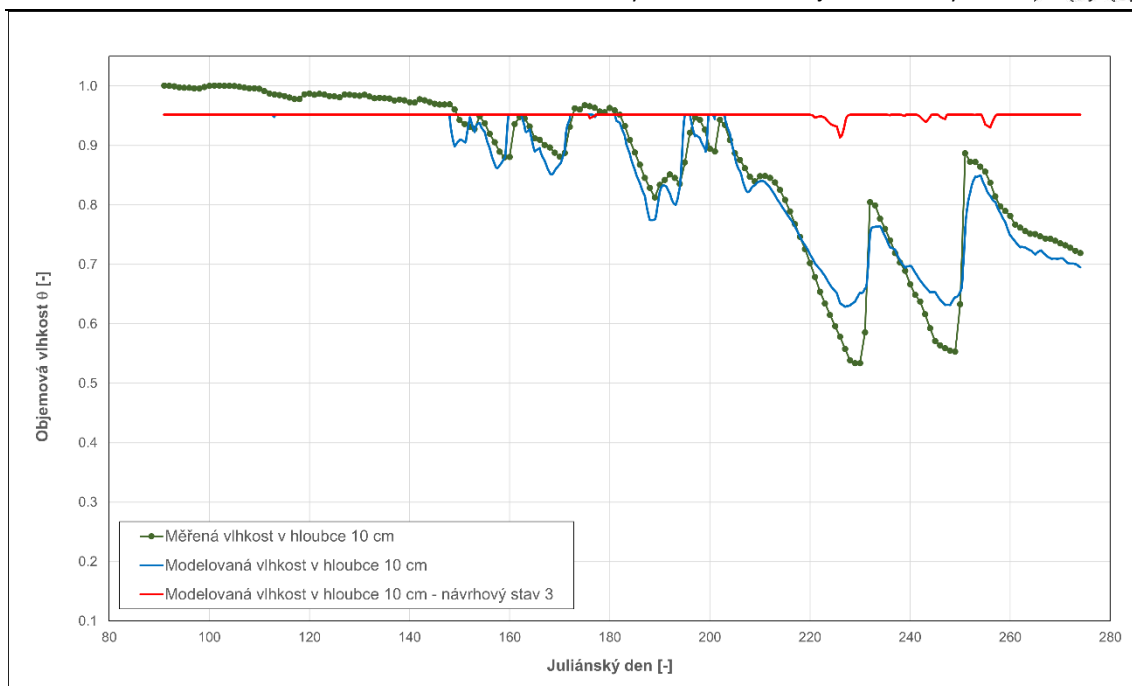


7.3 Návrhový stav 3 – neustálé zavodňování povrchu

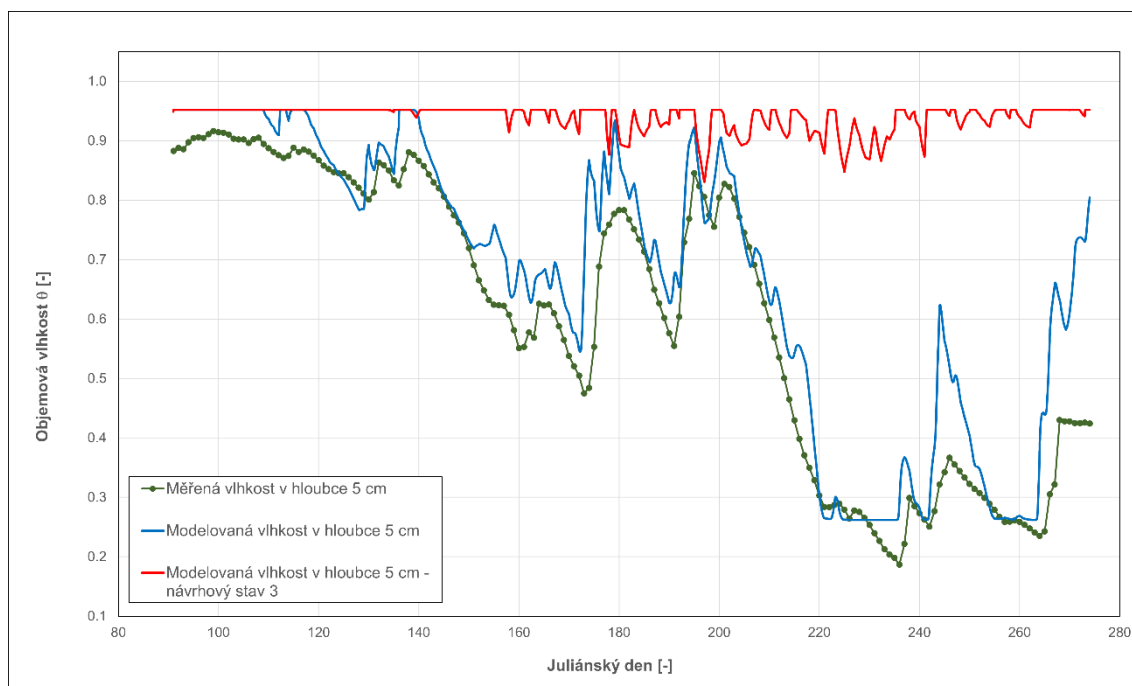
Posledním návrhovým stavem je zavedení hladiny podzemní vody tak, že je vždy na úrovni terénu a rašelina je tak po celou dobu plně nasycena vodou. To by byl stav pro rašelinu velmi vhodný, jeho dosažení je však nereálné, přinejmenším v lokalitě A, kam nedosahuje přímo žádný z příkopů, které by byly dotovány vodou pramenící pod svahem. Jednalo by se o variantu, kdy by celá plocha rašeliniště byla zaplavena vodou, čehož by mohlo být dosaženo v případě zahrazení odtoků a vzduťím vody v oblasti rašeliniště. Nicméně na výsledném průběhu objemových vlhkostí je zajímavé, že i přes tuto velmi pozitivní okrajovou podmínku, není ani v této variantě objemová vlhkost po celé období rovna plnému nasycení. Tato skutečnost je způsobena především množstvím vody, která je z rašeliniště odvedena výparem. Ten je sice jen velmi orientační a ač je zčásti založen na skutečně měřených datech, hodnoty použité v modelu jsou jím pouze inspirovány. V případě návrhového stavu 3 se dá očekávat, že na rozdíl od normálního stavu, na který byl model laděn, bude dost odlišný. Tento návrhový stav je zobrazen na obr. 7-9 – 7-12.



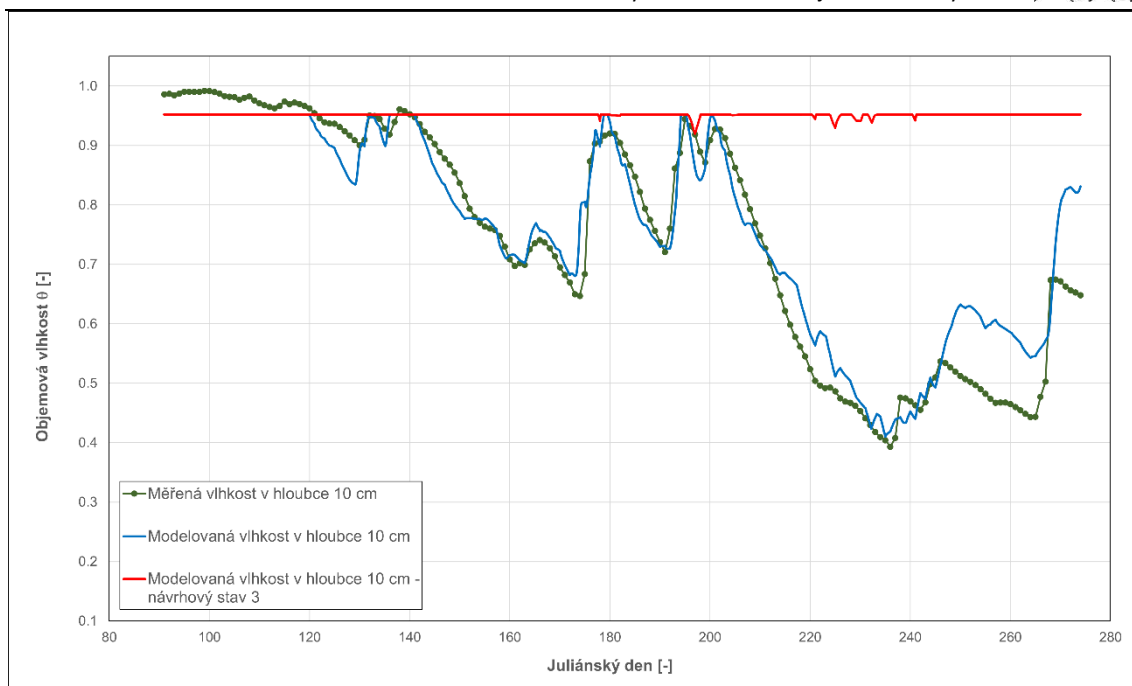
Obrázek 7-9 – průběh modelované objemové vlhkosti v hloubce 5 cm pod terénem v roce 2015 – varianta plného nasycení



Obrázek 7-10 – průběh modelované objemové vlhkosti v hloubce 10 cm pod terémem v roce 2015 – varianta plného nasycení

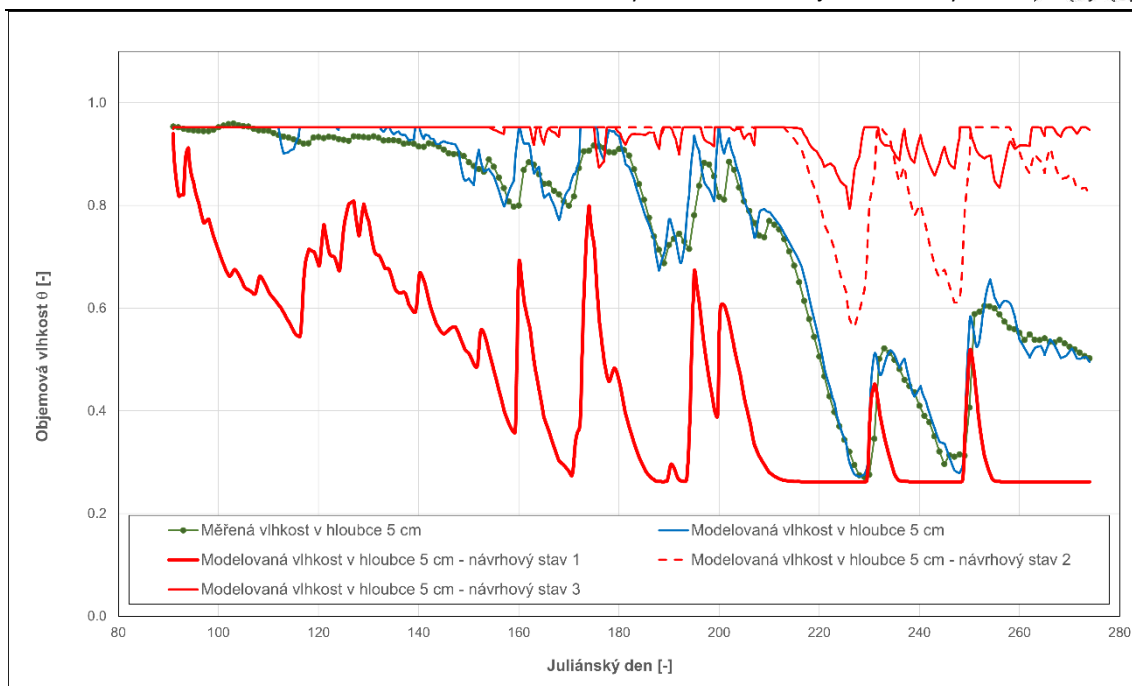


Obrázek 7-11 – průběh modelované objemové vlhkosti v hloubce 5 cm pod terémem v roce 2018 – varianta plného nasycení

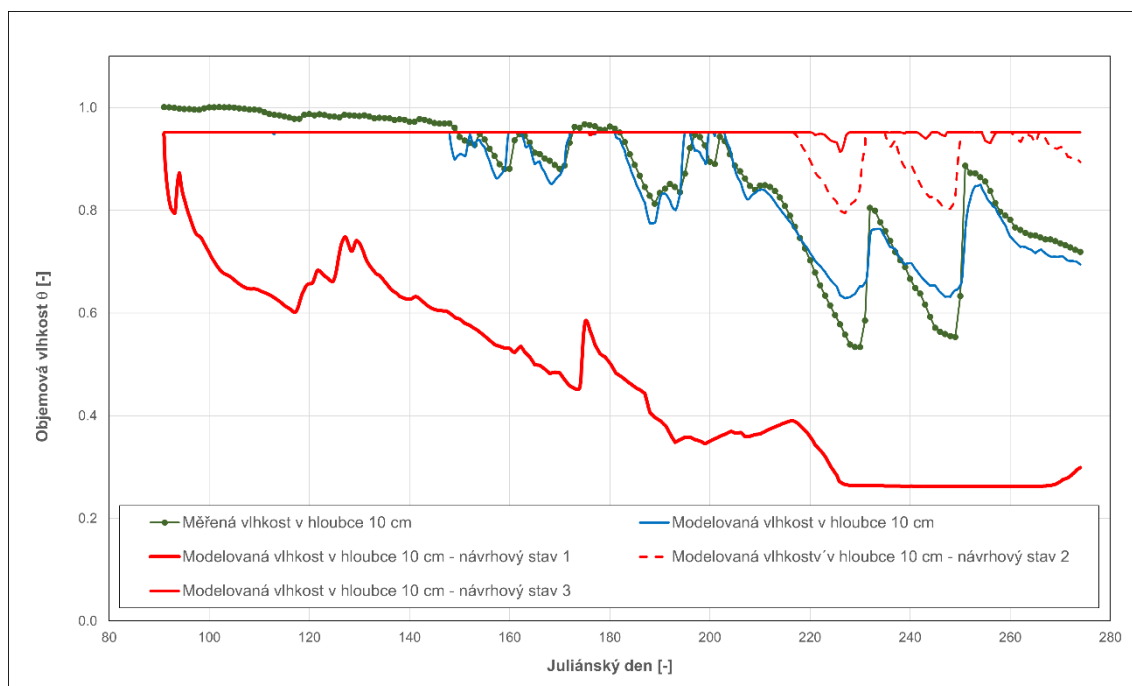


Obrázek 7-12 – průběh modelované objemové vlhkosti v hloubce 10 cm pod terénem v roce 2018 – varianta plného nasycení

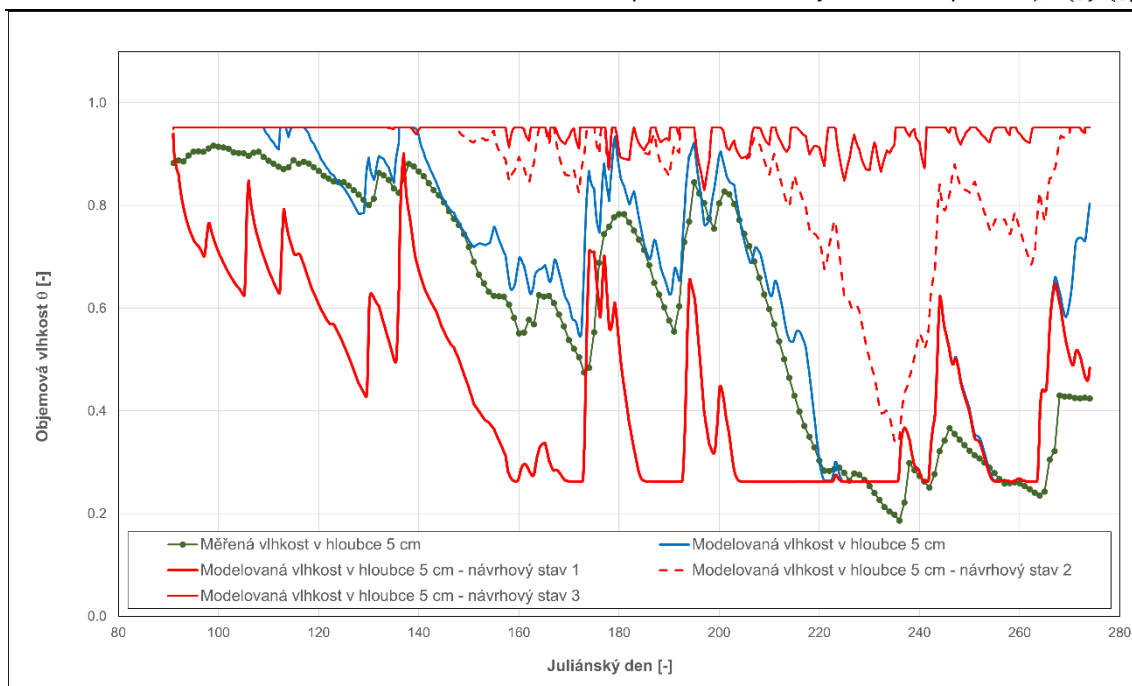
Pro větší přehlednost jsou všechny návrhové varianty s výchozím modelovaným stavem a měřenými hodnotami vykresleny současně do obr. 7-13 – 7-16 pro jednotlivé roky a hloubky. Z nich je patrná obecně mnohem větší rozkolísanost v mělčí vrstvě. Při návrhové variantě 1 je ve všech obrázcích patrné zastavení na pomyslné hranici, které je zřejmě špatně a jedná se o limit funkce evapotranspirace. Tato návrhová varianta je však velice zjednodušená a pro takovou návrhovou variantu bychom museli změnit parametry půdy, které už takto jsou velmi nepřesné a určené tak, aby se model dostal na požadované hodnoty. Návrhový stav 2, pomocí kterého je interpretována možnost zvýšení HPV o 20 cm vlivem navýšení přehrážek, je dle mého názoru z návrhových stavů nejrealističtější a je z něj vidět výrazné zlepšení průběhu modelované vlhkosti v hloubce 5 i 10 cm, kdy se po většinu času drží na úrovni plného nasycení a pod tuto hodnotu klesá pouze při velmi suchých obdobích.



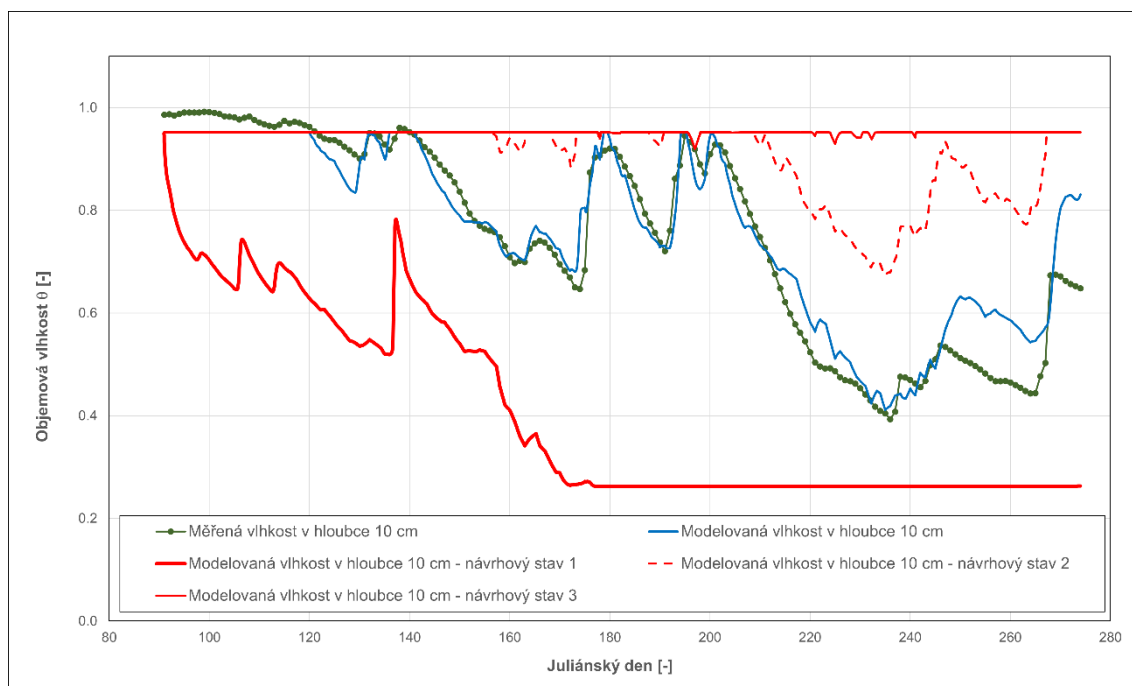
Obrázek 7-13 – průběh skutečné a modelované objemové vlhkosti a návrhových stavů v hloubce 5 cm pod terénem v roce 2015



Obrázek 7-14 – průběh skutečné a modelované objemové vlhkosti a návrhových stavů v hloubce 10 cm pod terénem v roce 2015



Obrázek 7-15 – průběh skutečné a modelované objemové vlhkosti a návrhových stavů v hloubce 5 cm pod terémem v roce 2018



Obrázek 7-16 – průběh skutečné a modelované objemové vlhkosti a návrhových stavů v hloubce 10 cm pod terémem v roce 2018



7.4 Vizuální hodnocení

Pro posouzení vlivu revitalizace na dotčené území by bylo určitě vhodné posoudit také změny v druhové skladbě porostů a změn v jejich pokryvnostech, pomocí kterých by se dalo do jisté míry zhodnotit, zda provedená opatření přinesla kýžený efekt či nikoli. Kromě hydropedologických charakteristik, které jsou na lokalitě pozorovány a vyhodnocovány je změna vegetace dle mého názoru neméně důležitým faktorem a obě tyto charakteristiky jsou spolu propojené a navzájem se ovlivňují. Z porovnání fotografií, které byly pořízeny před revitalizací a které jsem pořídil v průběhu minulého roku, je vidět, že zahrazením drenážních příkopů se v nich pochopitelně zvedla hladina vody, která se zde drží. Zároveň je ale patrné např. z obr. 7-17, na kterém je zobrazena rýha O, že ač je zde voda zadržována, hladina vody bude i při plném naplnění zdrží za přehrážkami zaklesnuta pod úroveň okolního terénu. Pokud by však přehrážky byly o 20 cm vyšší, tak, jak byly původně navrženy v bakalářské práci Martínkové (2009), měla by voda možnost se rozlít i do širšího okolí. Požadavek na snížení přelivné hrany vzešel ze strany lesního správce z důvodu zachování dřevin, které by z důvodu zatopení jejich kořenových systémů uhynuly. Tohoto problému si je však vědom Jizersko-ještědský horský spolek a v roce 2022 byla zahájena III. etapa hrazení drenážních příkopů, která bude dokončena v roce 2023 a při které bude vybudováno 97 nových hrázek, které budou vyšší než hrázky stávající a budou instalovány mezi ně (Jizersko-ještědský horský spolek, 2022). Dojde tak k zatopení přehrážek původních a voda bude rozprostírána do stran, čímž se podstatně zvětší zavodňovaná plocha a rašeliniště získá mnohem více vláhy. Některá místa, které jsou osazeny novými vyššími přehrážkami, jsem našel při výjezdu do Jizerských hor za účelem bližšího poznání zkoumané lokality. Rozdíl je patrný z následujících dvou fotek 7-17 a 7-18, kdy na první fotce je pohled do rýhy O a je zde stále patrné snížení terénu směrem k příkopu. Při plném zatopení se tak voda příliš do stran nerozlije a okolní terén nebude sycen po celé hloubce profilu. Na druhé fotografii je vidět v roce 2022 realizované nové hrazení, které je budováno dokonce přes úroveň okolního terénu a zároveň na něm není realizovaný přelivný žlábek. Voda se tak dříve, než přes přeliv, rozlije do stran, což vnímám jako velmi vhodnou věc.



Obrázek 7-17 – současný stav rýhy O (foto Brůžek 2022)



Obrázek 7-18 – nové přehrážky realizované v roce 2022 – západní část OP Rašeliniště Jizery (foto Brůžek 2022)



Pro porovnání stavu před a po revitalizaci byl zvolen stejný způsob, který ve své diplomové práci využil Vackář (2016). Byly pořízeny snímky stejných míst a je zde oproti roku 2013, ve kterém místa fotil on, od současného stavu vidět velký posun. Bohužel, kromě fotografie rýhy R nebyla nalezena přesná místa, která pro svou bakalářskou práci fotila Martínková. Pro srovnání to však vnímám jako postačující.

U spojení rýh S a R, které je zobrazeno na obr. 7-19 a 7-20 je vidět, že nejvíce se rozrostla kleč, což je trend, který je pozorovaný na celé ploše OP NPR a není to stav, který by byl pro budoucí vývoj rašeliniště výhodný. Domnívám se, že to může být způsobeno právě nedostatečným zvýšením hladiny, které teď zřejmě bude na optimální hladině, která kleči vyhovuje. Pokud by však hladina v příkopech, a tak i HPV byla výš, mohlo by se rozrůstání nepůvodní kleče po celém území eliminovat. Na obr. 7-21 a 7-22 je vidět největší rýha A. Zde je vidět výrazné podpoření hladiny v příkopu, které jsou zajištěny vybudovanými přehrážkami. Nárůst kleče je zde patrný také, ale ne v takové míře jako na obr. 7-19 a 7-20.



Obrázek 7-19 a 7-20 – spojení rýh S a R před revitalizací (foto Martínková 2009) a po revitalizaci (foto Brůžek 2022)



Obrázek 7-21 a 7-22 – rýha A před revitalizací (foto Martínková 2009) a po revitalizaci (foto Brůžek 2022)



8 Závěr

Práce se zabývá vyhodnocením hydrologických, hydrogeologických a klimatických dat pro období 2008–2020 na experimentální lokalitě A v ochranném pásmu NPR Rašeliniště Jizery. Data za celé měřené období byla vyhodnocena pomocí krabicových grafů a pro porovnání byly krabicové grafy vytvořeny i pro dílčí data srážkově podnormálních a teplotně nadnormálních let 2015 a 2018, pro které byl následně vytvořen matematický model proudění vody v nenasyceném rašelinném půdním profilu.

Z vyhodnocení pomocí programu Hydrus 1D vyplývá, že vliv revitalizace je pozitivní a půdní vlhkost se na lokalitě v jejím důsledku zvýšila. Zároveň by ale současný stav mohl být lepší, kdyby výstavba přehrážek proběhla přesně dle návrhu Martínkové (2009) a úroveň vodní hladiny by na popud lesního správce nebyla snížena. To je patrné jak z výsledků vypočtených programem, tak ze snímků současného stavu, ze kterých je viditelné zaklesnutí hladiny v příkopu pod okolní terén a vliv zvýšené hladiny je tak značně omezen a není propagován do širšího okolí příkopu, ke kterému by došlo při jejich zvýšení. Z pořízených fotografií na místě je také viditelný nárůst populace borovice kleče, které nejspíš současný stav vyhovuje a který nebyl účelem revitalizace.

Hodnoty jsou již na lokalitě zaznamenávány relativně dlouho a jedná se o poměrně vzácnou sadu měřených hodnot, pomocí kterých můžeme popsat chování rašeliny při různých úrovních hladiny podzemní vody, jejíž hodnoty budou v souvislosti s nově budovaným hrazením v celém území ochranného pásma opět ovlivněny a bude tak snad podpořeno ještě větší zamokření území. Zajímavé by bylo také vyhodnocení změn v pokryvnostech rostlinných druhů, které bude vodním režimem silně ovlivněno a dalo by nám určitý pohled na to, jak změna podmínek svědčí rostlinám vyskytujícím se v zájmové lokalitě.



Použitá literatura

BACHTÍKOVÁ, Petra. *Vodní režim rašelinišť a jeho změny*. Praha, 2013. Diplomová práce. Univerzita Karlova.

BUFKOVÁ, Ivana. Náprava narušeného vodního režimu rašelinišť. *Ochrana přírody* [online]. 21.6.2013, roč. 2013, č. 2 [cit. 2023-02-14]. Dostupné z: <https://www.casopis.ochranaprirody.cz/pece-o-prirodu-a-krajinu/naprava-naruseneho-vodniho-rezimu-raselinist/>.

CÍSLEROVÁ, Milena. *Inženýrská hydroopedologie*. Praha: Ediční středisko ČVUT, 1989. ISBN 80-01-00052-4.

CÍSLEROVÁ, Milena, Tomáš Vogel. *Transportní procesy*. Praha: Vydavatelství ČVUT, 1998. ISBN 80-01-01866-0.

DOHNAL, Z. A. D. Československá rašeliniště a slatiniště, Nakladatelství Československé akademie věd. 1965.

HOLDEN, J. Chapter 14 Peatland hydrology *Developments in Earth Surface Processes*. Elsevier. 2006, vyd. 9, s. 319-346, ISSN 0928-2025, ISBN 9780444528834.

HOLDEN, J., P. J. Chapman, S. N. Lane, C. Brookes. Chapter 22 Impacts of artificial drainage of peatlands on runoff production and water quality, *Developments in Earth Surface Processes*. Elsevier. 2006, vyd. 9, pages 501–528, ISSN 0928-2025, ISBN 9780444528834.

JARUŠKOVÁ, Daniela. *Pravděpodobnost a matematická statistika 12*. Praha: České vysoké učení technické, 2000. ISBN 80-010-2253-6.

JIROUŠEK, Martin, Martin Šanda, Eva Mikulášková, Jana Jiroušková. *Dynamika rašeliništní vegetace na narušených rašeliništích Jizery a Jizerky*. Studie pro AOPK. Rožnov pod Radhoštěm, 2011. č. studie popfk-003b/52/11. ACTAEA o. s. – společnost pro přírodu a krajinu.

JÓŽA, Miroslav, Pavel Vonička. *Jizerskohorská rašeliniště*. Liberec: Jizersko-ještědský horský spolek, 2004. ISBN 80-903-2523-8.

KARPAŠ, Roman, et al. *Jizerské hory, O mapách, kamenní a vodě*. Liberec, Karpaš RK, 2009. ISBN 978-80-87100-08-0.

KARPAŠ, Roman, et al. *Velká Jizera – Orle*. Liberec: Karpaš RK, 2022. ISBN 978-80-87100-50-9.



KISELEV, M. V., Voropay Nadezhda, Egor A. Dyukarev, Yu. I. Preis, 2019. Temperature regimes of drained and natural peatlands in arid and water-logged years. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* [online]. IOP Publishing, roč. 386, č. 012029 [cit. 2023-04-16]. ISSN 1755-1315. DOI: 10.1088/1755-1315/386/1/012029.

KREYLING, Juergen, Franziska Tanneberger, Florian Jansen, Gerald Jarasinski. Rewetting does not return drained fen peatlands to their old selves. *Nature Communications*. 2021. roč. 12, č. 5693. DOI: 10.1038/s41467-021-25619-y.

KUTÍLEK, Miroslav, Václav Kuráž, Milena Císlerová. *Hydropedologie 10*. Vyd. 2. přeprac. Praha: České vysoké učení technické, 2000. ISBN 80-010-2237-4.

MARTÍNKOVÁ, Hana. *Návrh hrazení drenážních příkopů k revitalizaci NPR Rašeliníště Jizery*. Praha, 2009. Bakalářská práce. České vysoké učení technické v Praze.

O rašelištích. *LIFE for MIREs: Život pro mokřady – projekt NP Šumava* [online]. [cit. 2023-01-27]. Dostupné z: <https://life.npsumava.cz/o-vode-a-mokradech/o-raselinistich/>.

PUSHKAREVA, Vesta. *Vyhodnocení vodního režimu revitalizovaného jizerského rašeliníště*. Praha, 2021. Bakalářská práce. České vysoké učení technické v Praze.

RYŠAVÁ, Nina. *Příčiny degradace a možnosti obnovy vrchovištních rašeliníšť Jizerských hor*. Brno, 2019. Bakalářská práce. Mendelova univerzita v Brně.

SEDLMAIEROVÁ, Pavlína. *Vyhodnocení vodního režimu rašeliny na lokalitě NPR Rašeliníště Jizery*. Praha, 2017. Diplomová práce. České vysoké učení technické v Praze.

SKALOVÁ, Veronika, Michal Dohnal, Jana Votrubová, Tomáš Vogel, Martin Šanda. Inter-annual variability of catchment water balance in a montane spruce forest. *Hydrological Sciences Journal* [online]. 29.7.2022 [cit. 2023-04-16]. DOI: 10.1080/02626667.2022.2093643.

ŠIMŮNEK, J., M. Šejna, H. Saito, M. Sakai, M. Th. Van Genuchten. *The HYDRUS-1D Software Package for Simulating the One-Dimensional Movement of Water, Heat, and Multiple Solutes in Variably-Saturated Media*. [online]. PC-Progress, 2008 [cit. 2023-04-16]. Dostupné z: http://www.pc-progress.com//Downloads/Pgm_Hydrus1D/HYDRUS1D_4.pdf

TAYLOR, K., A. P. Rowland a H. E. Jones. *Molinia caerulea* (L.) Moench. *Journal of Ecology*. 2001. roč. 89, č. 1, s. 126-144. DOI: 10.1046/j.1365-2745.2001.00534.x.



Ústav pro hydrodynamiku Akademie věd České republiky, v. v. i.: Hydrologický režim rašelinišť [online]. [cit. 2023-01-27]. Dostupné z: https://www.ih.cas.cz/vyzkumna_temata/hydrologicky-rezim-raselinist.

VACKÁŘ, František. *Hydrologický režim revitalizovaných rašelinišť*. Praha, 2016. Diplomová práce. České vysoké učení technické v Praze.

VLČEK, Lukáš, Václav Šípek, Jitka Kofroňová, Jan Kocum, Tomáš Doležal, Bohumír Janský. Runoff formation in a catchment with Peat bog and Podzol hillslopes. *Journal of Hydrology*. 2021, roč. 593, č.125633. ISSN 0022-1694.

ZÍKOVÁ, Kristýna. *Ekologické funkce rašelinišť a jejich monitoring*. České Budějovice, 2021. Bakalářská práce. Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích.