



**Metodika hodnocení vláhových potřeb  
zemědělských plodin pro účely závlah**

Certifikovaná metodika

**Renata Duffková a kolektiv**

2020



# Metodika hodnocení vláhových potřeb zemědělských plodin pro účely závlah

Renata Duffková a kolektiv

Certifikovaná metodika

2020



## **Autorský kolektiv:**

### **VÝZKUMNÝ ÚSTAV MELIORACÍ A OCHRANY PŮDY, v.v.i. (40 %)**

Ing. Renata Duffková, Ph.D. ([duffkova.renata@vumop.cz](mailto:duffkova.renata@vumop.cz)), Ing. Petr Fučík, Ph.D., Ing. Jiří Holub, Ph.D., doc. Ing. Zbyněk Kulhavý, CSc., Ing. Tomáš Kheř, Ing. Tomáš Hejduk, Ph.D., Ing. Ivan Novotný, Ing. Jan Vopravil, Ph.D., Mgr. Igor Pelíšek, Ph.D.

### **ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE (20 %)**

Ing. Markéta Miháliková, Ph.D., prof. Ing. Svatopluk Matula, CSc., Ing. Kamila Bářková, MSc., Ph.D., Cansu Almaz

### **VÝZKUMNÝ ÚSTAV ROSTLINNÉ VÝROBY, v.v.i. (15 %)**

Ing. Jan Haberle, CSc., Ing. Pavel Svoboda, Ing. Gabriela Kurešová, Ph.D., Ing. Tomáš Šimon, CSc.

### **ČESKÝ HYDROMETEOROLOGICKÝ ÚSTAV (15 %)**

RNDr. Ing. Jaroslav Rožnovský, CSc., Mgr. Jáchym Brzezina, RNDr. Filip Chuchma, Ph.D.

### **MENDELOVA UNIVERZITA V BRNĚ (10 %)**

Doc. Ing. Bc. Hana Středová, Ph.D., Ing. Tomáš Středa, Ph.D.

## **Poděkování:**

Metodika byla zpracována jako plánovaný výstup z projektu Národní agentury pro zemědělský výzkum:

**QK1720285 „Metody korekce vláhových potřeb plodin zohledňující scénáře změn klimatu území ČR pro optimalizaci managementu závlah“** řešeného v letech 2017 – 2019.

Autoři děkují recenzentům metodiky, jejichž náměty vylepšily výslednou podobu publikace. Autoři dále děkují oběma oponentům celého projektu; Ing. Pavle Schwarzové, Ph.D. a prof. Ing. Janu Šálkovi, CSc. za cenné připomínky poskytované během řešení celého projektu. Za vhodné podněty k řešení děkujeme rovněž Doc. Ing. Václavu Kurážovi, CSc. z Českého vysokého učení technického a Ing. Janu Žižkovi z Ministerstva zemědělství.

Certifikaci metodiky provedl **Odbor environmentální a ekologického zemědělství** Ministerstva zemědělství ČR, osvědčením č. 27291/2020-MZE-18130 ze dne 27.5.2020. Smlouva o uplatnění certifikované metodiky mezi Výzkumným ústavem meliorací a ochrany půdy, v.v.i. a Zelinářskou unií Čech a Moravy ze dne 27.4.2020 je uložena ve VÚMOP, v.v.i.

### **Citace:**

Duffková R., Fučík P., Miháliková M., Haberle J., Rožnovský J., Holub. J., Kulhavý Z., Matula S., Středa T., Svoboda P., Khel T., Hejduk T., Brzezina J., Středová H., Kurešová G., Novotný I., Vopravil J., Chuchma F., Pelíšek I., Bátková K., Šimon T., Almaz C. 2020. Metodika hodnocení vláhových potřeb zemědělských plodin pro účely závlah. Certifikovaná metodika. VÚMOP, v.v.i. ISBN 978-80-88323-12-9 (tištěná verze), ISBN 978-80-88323-13-6 (online pdf).

### **Recenzovali:**

Doc. Ing. Martin Hanel, Ph.D.

Fakulta životního prostředí, Česká zemědělská univerzita v Praze, Praha 6-Suchdol

Ing. Marek Batysta, Ph.D.

Oddělení prostorových informací, Ministerstvo zemědělství ČR, Praha 1

Foto na 1. vnitřní straně: P. Fučík; čidla vlhkosti půdy a sacího tlaku s bezdrátovým přenosem dat, kapková závlaha, dolní Pojizeří

V roce 2020 v nákladu 200 ks vydal VÚMOP, v.v.i.

Tisk: Rhodos spol. s r.o., Vyšehradská 51, 128 00 Praha 2

ISBN 978-80-88323-12-9 (tištěná verze)

ISBN 978-80-88323-13-6 (online pdf)



## Obsah

Souhrn .....	7
I) Cíl metodiky .....	8
II) Vlastní popis metodiky .....	9
1. Úvod.....	9
2. Podnebí České republiky a jeho změny .....	10
3. Postup výpočtu vláhové bilance zemědělských plodin.....	13
4. Výsledky vláhové bilance vybraných zemědělských plodin .....	19
5. Vláhová potřeba pro vinice, sady a vybrané druhy zeleniny a ovoce .....	38
6. Řízení závlahového režimu pomocí půdních hydrolimitů a hloubky kořenů .....	40
6.1. Odhad polní vodní kapacity a bodu vadnutí pro konkrétní půdní podmínky ČR40	
6.2. Popis odhadu polní kapacity a bodu vadnutí programem k-Nearest .....	43
6.3. Mapy retenční vodní kapacity, bodu vadnutí a využitelné vodní kapacity pro okolí Benátek nad Jizerou .....	50
6.4. Problematika hloubky kořenů.....	55
6.5. Řízení závlahového režimu – praktický příklad .....	59
7. Možnosti využití drenážních systémů pro zlepšení vodní a živinné bilance odvodněných půd .....	67
8. Metody a nástroje dálkového průzkumu Země pro účely závlah .....	70
9. Odrůdové koeficienty pro zpřesnění hodnot plodinové evapotranspirace .....	71
IV) Srovnání „novosti postupů“ .....	72
V) Popis uplatnění Certifikované metodiky .....	73
VI) Ekonomické aspekty Certifikované metodiky.....	74
VII) Seznam použité související literatury .....	75
VIII) Seznam publikací, které předcházely metodice .....	81
English abstract.....	84

## Souhrn

Tato metodika popisuje teoretická východiska a přináší praktické postupy související se stanovováním vláhových bilancí a optimalizací závlahových dávek pro zemědělské plodiny v různých podmínkách a ve vazbě na změnu podnebí České republiky. Metodika navazuje na stávající ČSN 75 0434 (Meliorace – Potřeba vody pro doplňkovou závlahu) a na software IRRIPROG. Přináší v ČR novou metodu stanovení vláhové bilance (VB) a vláhové potřeby (Vc) vybraných zemědělských plodin, a to za použití tzv. metody FAO-56 pro zjištění Vc formou plodinové evapotranspirace (ETc) a zpřesněného hydropedologického přístupu pro zjištění využitelných zdrojů půdní vody. Dále jsou aktualizovány vazby závlah na hloubku a morfologii kořenů plodin. Metodika rovněž popisuje možnosti použití dat, nástrojů a metod dálkového průzkumu Země (DPZ), které jsou z hlediska závlah zatím využívány zejména v zahraničí. Jsou uvedeny i informace a podklady k vymezení ploch vhodných pro tzv. regulační drenáž, tj. systémů s volitelnou funkcí závlahy i odvodňování zemědělské půdy, jejichž potenciál je v ČR pro zmírňování projevů sucha na zemědělské půdě značný, ale – na rozdíl od mnoha zahraničních zemí - doposud nevyužitý. Tradičních odvodňovacích staveb je v ČR přes 1,1 mil. ha, pro regulaci se hodí cca 30-40 % těchto ploch, pro přestavbu na závlahovou stavbu cca 10 %.

Praktická část přináší srozumitelný návod a příklad pro závlaháře ke zjišťování optimálních závlahových dávek při využití základních a dostupných informací o pozemku, půdě a jednoduchých zařízeních pro měření půdní vlhkosti a počasí.

Je představen i volně dostupný nástroj Kalkulačka vláhové potřeby (KVP); <https://vlaha.vumop.cz/>, který umožňuje zjistit Vc a závlahová množství pro čtyřicet zemědělských plodin a pozemky registrované v LPIS pro aktuální klimatický normál (1981 – 2010) a pro dekádu 2009-2018.

Zpracovaná metodika je kromě výpočtů závlahových dávek použitelná i pro navrhování, lokalizaci a dimenzování zavlažovacích systémů, popř. dimenzování závlahových nádrží, jejichž kapacity bude pro efektivní využití závlahových systémů v ČR velmi pravděpodobně nezbytné navyšovat.

## **I) Cíl metodiky**

Cílem metodiky je představit teoretická východiska a praktické postupy související se stanovováním vláhových bilancí a optimalizací závlahových dávek pro zemědělské plodiny v různých podmínkách. Práce se opírá o zkušenosti z tříletého výzkumného projektu řešeného v letech 2017 – 2019 a poznatků ze zahraničí. Postupy zahrnují zohledňování klimatických ukazatelů, půdních parametrů, lokálně dostupných zdrojů vody, aspektů kořenových systémů plodin a dalších charakteristik pro odvozování dlouhodobých vláhových potřeb a závlahových množství zemědělských plodin v České republice.

## II) Vlastní popis metodiky

### 1. Úvod

Predikovaná klimatická změna, vyplývající z globálního oteplování Země, ovlivňuje i podnebí České republiky zvýšením výskytů různých druhů sucha. Výsledky již kolem r. 2000 signalizovaly a po r. 2009 s jistotou upozorňovaly, že globální oteplování je závažný problém, vyžadující zvýšenou pozornost i v ČR. Jedním z možných a potřebných adaptačních opatření je využití a efektivní řízení závlahových systémů.

Jedním ze základních předpokladů rentability závlah je kvalifikované řízení závlahového režimu plodin, tzn. operativní stanovování velikosti závlahových dávek a termínu jejich aplikace některou z vědecky podložených metod. Zejména ze zahraničí je známo, že odborné řízení závlah vede ke značným úsporám závlahové vody, elektrické energie a hnojiv. Navíc je tak dosaženo optimálních a kvalitních výnosů tržního produktu plodin a zároveň se snižuje riziko kontaminace podzemních vod dusičnany, rezidui pesticidů a jinými cizorodými látkami. Šetření vodou má mimořádný význam v zemědělsky vysoce produkčních oblastech s nízkými srážkami a nedostatečnými vodními zdroji. Potřebnost optimalizace závlah a šetření vodních zdrojů je v současné době neoddiskutovatelné ve vazbě na negativní dopady klimatických změn na vodní hospodářství.

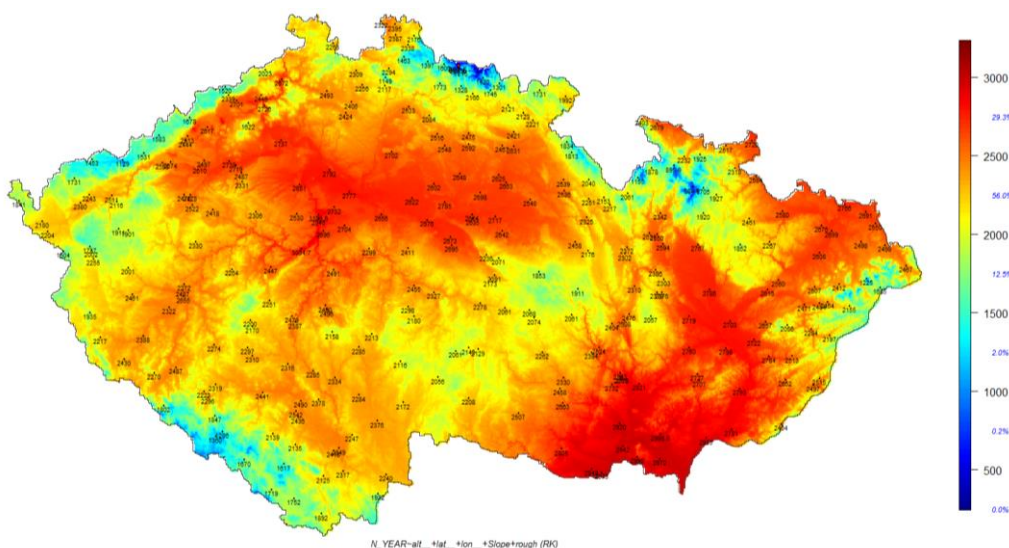
V předložených postupech pro efektivní řízení závlah autoři upozorňují na vhodnost komplexního přístupu, který v rámci adaptace na měnící se klima spočívá v potřebě kvalifikovaně zohledňovat využitelnou zásobu vody v půdě jak na začátku vegetačního období, tak i v průběhu roku. Jedná se o alternativu, spočívající v potenciálu různých forem regulace hypodermického odtoku, v praxi nejnádhěji dosahovanou prostřednictvím úprav či modernizací stávajících odvodňovacích drenážních systémů. Vzhledem k plošnému zastoupení drenážních systémů v ČR je tento potenciál využití gravitačně pohyblivé půdní vody pro optimalizaci vodního režimu zemědělských pozemků poměrně značný.

Zpracovaná metodika si neklade ambice předložit komplexní podklady pro všechna témata související s problematikou závlah. Neřeší tedy aspekty technického a technologického navrhování a provozu závlah, otázky současné a předpokládané dostupnosti vody pro závlahy z různých zdrojů v regionálních a širších měřítcích, jakost závlahových vod, ani vhodnou skladbu zemědělských plodin ve vazbě na změnu klimatu v delších časových horizontech.

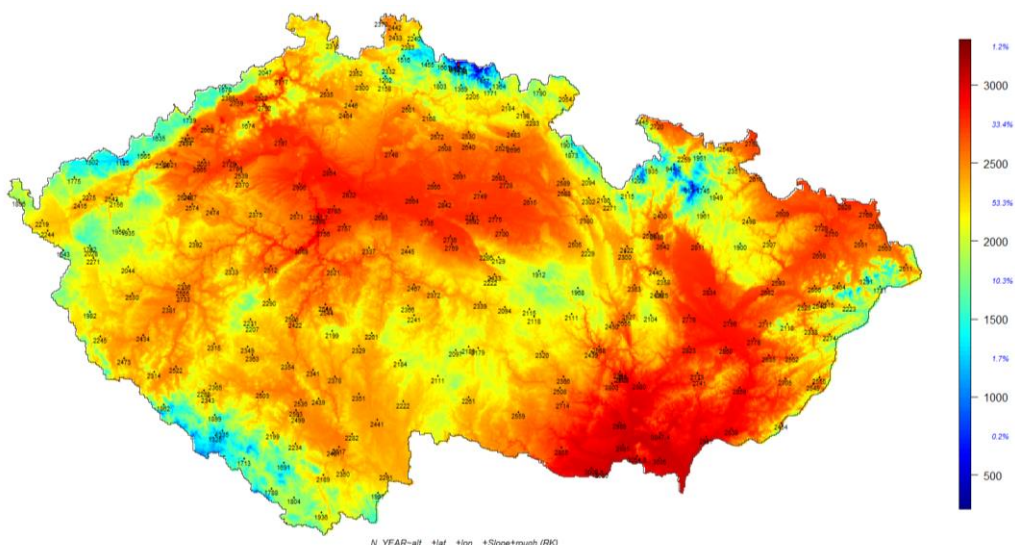
## 2. Podnebí České republiky a jeho změny

Naše podnebí je typické svou vysokou proměnlivostí, kolísáním klimatických prvků a v posledních dvou desetiletích rostoucími meteorologickými extrémy. Výsledky analýz teploty vzduchu od roku 1961 mají statisticky významný vzestup. Naopak roční úhrny srážek přes svou vysokou dynamiku neprokazují trend, tedy jejich změny nejsou statisticky významné (Rožnovský 2019). Na většině území ČR se jedná o zvýšení o 1,4-2,2 °C. Nárůst teploty vzduchu je prokazatelný u všech měsíců v roce. Nejvyšší vzestup teploty vzduchu je v letním období, nejnižší potom na jaře a na podzim (Střeščík et al. 2014). Z hlediska dopadů změn klimatu na počátek vegetačního období je významný vzestup teploty v zimě. Je však nutné zdůraznit, že růst teploty vzduchu vykazuje velkou dynamiku mezi jednotlivými roky, ale také v průběhu jednotlivých let, kdy jsou mnohé měsíce velmi rozdílné. Není výjimkou, že v roce jako celku velmi teplém jsou v zimě extrémní minimální teploty a v létě naopak maximální (např. rok 2003).

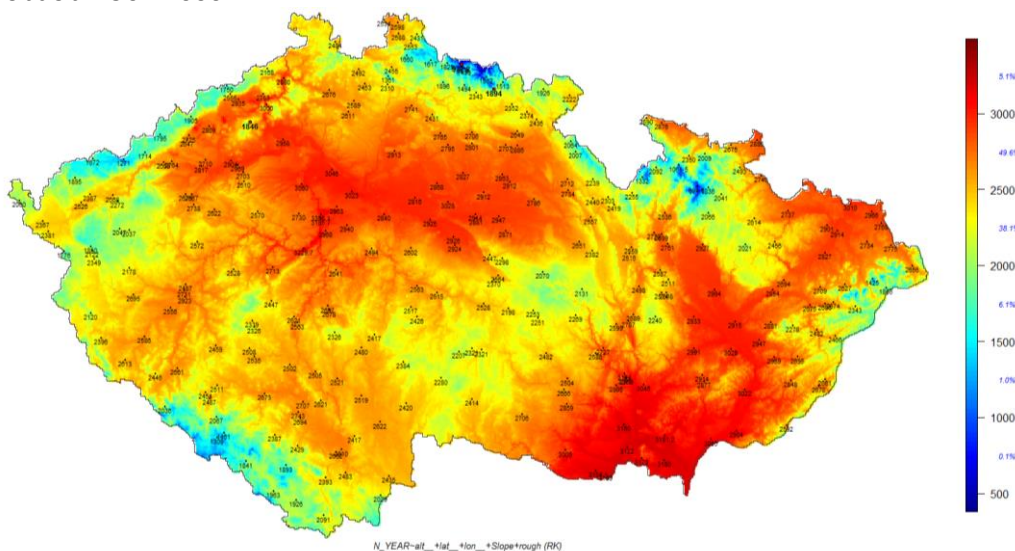
V letním období dochází ke zvýšení počtu tropických dnů, tedy denních maximálních teplot 30 °C a výše. Jejich počet v posledních letech překračuje dvojnásobek výskytů oproti průměrům za období 1961-2000. Z hlediska zemědělského je významný nárůst sumy průměrných denních teplot vzduchu  $\geq 10$  °C (**Obr. 1-3**), která je základním agroklimatickým ukazatelem pro rajonizaci (Kurpelová et al., 1975).



**Obrázek 1.** Suma průměrných denních teplot vzduchu  $\geq 10$  °C na území České republiky za období 1961-1990 (3. normálové období)



**Obrázek 2.** Suma průměrných denních teplot vzduchu  $\geq 10$  °C na území České republiky za období 1961-2000

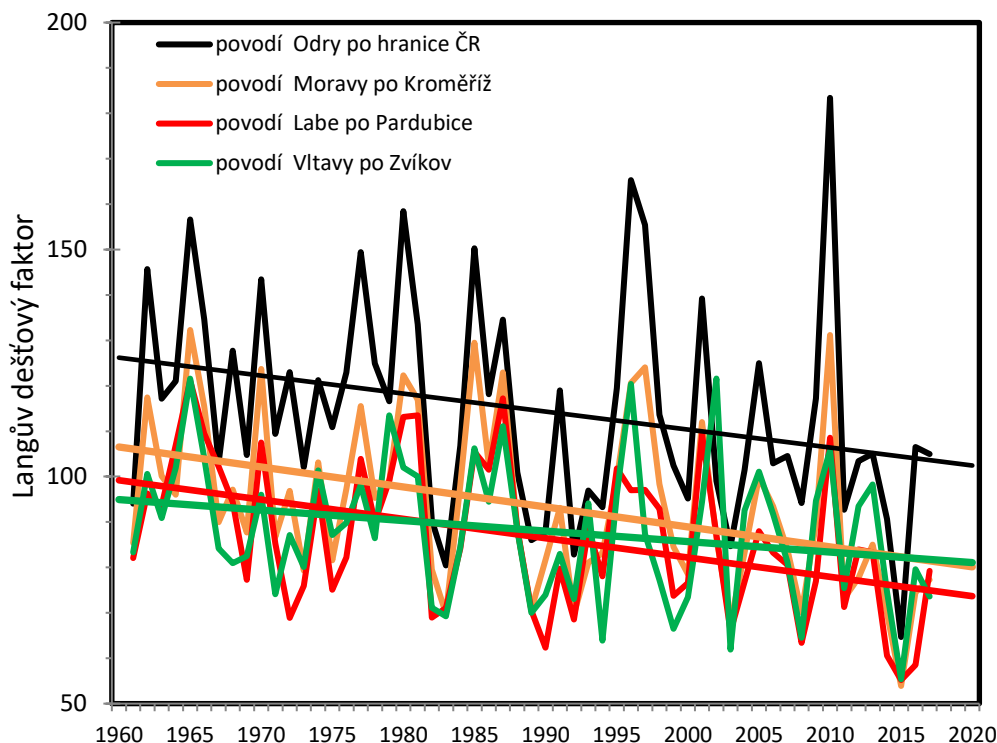


**Obrázek 3.** Suma průměrných denních teplot vzduchu  $\geq 10$  °C na území České republiky za období 1981-2010

### Indexy sucha

Pro hodnocení dynamiky sucha jsou užívány již tradiční indexy sucha, a to Langův dešťový faktor  $L$  a Minářova vláhová jistota  $M$ .  $L$  se rovná  $S/T$ , kde  $S$  je celkový roční srážkový úhrn a  $T$  je průměrná roční teplota vzduchu.  $M$  obsahuje korekci srážkových úhrnů a rovná se  $[S - 30 \times (T + 7)] / T$ . Obě veličiny mají velmi vysokou korelaci.

**Obrázek 4** dokládá klesající Langův dešťový faktor i Minářovu vláhovou jistotu, což znamená, že vzrůstá výskyt sucha.



**Obrázek 4.** Průběh Langova dešťového faktoru v jednotlivých povodích

### Odhad změny klimatu v ČR do konce 21. století

Pro odhady vývoje podnebí jsou využívány klimatické modely, ve kterých jsou využity fyzikální a chemické vztahy vyjadřující vazby mezi složkami klimatického systému pomocí matematických rovnic. Podle projekce klimatu (Štěpánek et al. 2016) dojde pravděpodobně v období 2021–2040 k oteplení o 0,6 °C oproti hodnocenému období (1981–2010). K většímu oteplení by mělo dojít kolem poloviny století (2041–2060), kdy se předpokládá nárůst ročních teplot o 1,7 °C. Přitom oteplení v jednotlivých měsících by mělo být rozdílné. Trend roční průměrné teploty vzduchu by měl být 0,28 °C za 10 let. Z jednotlivých sezón je nejvyšší zjištěný trend u zimy, a to o 0,34 °C za 10 let. Nejmenší nárůst teplot je na podzim, a to o 0,20 °C/10 let.

Srážky v ČR jsou velmi variabilní. Suché a vlhké roky/periody se významně střídají. Srážkové úhrny jsou i prostorově rozdílné. Proto analýza založená pouze na velmi malém území může být zavádějící a musí být porovnána i v kontextu celého území.

Podle Štěpánka et al. (2016) by mohly být vyšší srážky pozorovány do konce 21. století.

Statisticky významný trend (8,3 mm/10 let) byl zjištěn pro období 2061–2100. Emisní scénáře 8,5 udávají statisticky významný trend 16 mm/10 let v období 2021–2060 a 13 mm/10 let v období 2061–2100. Největší rozdíl se projevuje u zimních srážek, jejichž nárůst může být do konce 21. století až 35 %. Naopak v letních srážkách lze očekávat nejmenší změnu.

Nárůst teploty vzduchu do poloviny tohoto století je spojen s prohloubením deficitu vláhové bilance zemědělských plodin z důvodu nárůstu evapotranspirace. Například pro stanici Strážnice, kde roční úhrn referenční evapotranspirace v roce 2015 byl 746 mm, by kolem poloviny tohoto století mohl činit 760 až 770 mm. U stanice Kuchařovice by při úhrnu 907 mm v roce 2015 mohl být úhrn referenční evapotranspirace až 940 mm.

### 3. Postup výpočtu vláhové bilance zemědělských plodin

Dostupnost vody v půdě je klíčovým abiotickým faktorem, který limituje růst a vývoj rostlin. Probíhající klimatická změna, která se projevuje nárůstem teploty vzduchu a zvýšením četnosti extrémních jevů počasí (období sucha střídána přívalovými srážkami), nepříznivě ovlivňuje dostupnost vody pro zemědělské plodiny i v ČR (Falloon a Betts 2010). Zvyšující se teploty vzduchu vedou k **nárůstu plodinových vláhových potřeb**, a ačkoliv celkové roční sumy srážek se v ČR dlouhodobě nemění, jejich časová distribuce není pro vodní režim zemědělských plodin vyhovující (Trnka et al. 2014, Středová et al. 2013). Výsledkem je nárůst deficitu využitelných zdrojů půdní vody ve **vláhové bilanci** (VB). Tato situace nutí zemědělce změnit přístupy v rostlinné výrobě tak, aby vedly ke zvýšení dostupnosti vody v půdě a stabilizaci výnosů (Reidsma et al. 2010).

Udržitelnost plodinových výnosů v měnícím se klimatu souvisí s postupy zpracování půdy, aplikací organické hmoty do půdy, zaváděním suchovzdorných odrůd a změnou osevních postupů, které respektují lokální půdní a meteorologické podmínky (Trnka et al. 2004, Daryanto et al. 2016). Velký potenciál pro zvýšení retence vody v půdě mají v ČR odvodňovací (drenážní) systémy vyskytující se na ca ¼ zemědělské půdy (> 1 mil. ha, Fučík et al. 2015). Jedná se převážně o jednofunkční systémy, které vedle potenciálu redukovat povrchový odtok a půdní erozi snižují mělkou hladinu podzemní vody (HPV) a odvádí podpovrchovou vodu z krajiny i v době, kdy to není nutné. Přítomnost drenážních systémů také zpravidla zhoršuje jakost souvisejících povrchových vod, neboť odnáší rozpuštěné živiny a další polutanty z půdy (Fučík et al. 2017, Zajíček et al. 2018).

VB je v základní podobě vnímána jako agroklimatická charakteristika, která představuje rozdíl mezi úhrnem srážek a potenciální evapotranspirací za určité časové období. Znalost VB je základním předpokladem úspěšného pěstování zemědělských plodin. Během vegetačního období je za účelem zjištění VB porovnávána **plodinová evapotranspirace** (výpar z povrchu půdy a porostu, tj. evaporace a transpirace) s využitelnými zdroji půdní vody, tj. zásobou vody v půdě na počátku vegetačního období, sumou využitelných srážek a kapilárně vzlínající podzemní vody. VB určité plodiny se plošně mění v závislosti na dynamické změně meteorologických parametrů (teplota a vlhkost vzduchu, rychlost větru, intenzita slunečního záření), georeliéfu (nadmořská výška, sklonitost, expozice) a půdních a hydrogeologických podmínek. Aktuální využití disponibilní vody je na těchto faktorech silně závislé a limituje rajonizaci pěstování plodin. Navíc i vyrovnaná (nulová) VB, kdy celková vláhová potřeba odpovídá veškerým využitelným zdrojům vody, nemusí znamenat, že požadavek plodin na vodu byl plně uspokojen během jejich vývoje. Jde tedy i o optimální časové rozložení dostupnosti půdní vláhly pro plodiny. V ČR je rajonizace půdně klimatických podmínek pro zemědělskou výrobu a z toho plynoucí zaměření rostlinné výroby provedena **pomocí zemědělských výrobních oblastí (ZVO)**.

ZVO rajonizují zemědělskou půdu ČR podle půdně-klimatických podmínek a vymezují zaměření rostlinné výroby. V ČR jsou od r. 2003 čtyři ZVO: kukuřičná (KVO), řepařská (ŘVO), bramborářská (BVO) a horská (HVO) a jedenáct jejich podtypů (Budňáková 2009). Meteorologické, půdní a terénní charakteristiky jednotlivých ZVO představují **Tab. 1 a 2**.

**Tabulka 1.** Meteorologická data (průměrné teploty vzduchu, srážkový úhrn a referenční evapotranspirace,  $ET_0$ ) pro platný klimatický normál (1981- 2010) a dekádu (2009-2018) v jednotlivých ZVO

ZVO	Teplota vzduchu °C		Srážkový úhrn mm		$ET_0$ mm	
	1981-2010	2009-2018	1981-2010	2009-2018	1981-2010	2009-2018
KVO	9,7	10,8	523	504	732	749
ŘVO	9,0	10,2	588	574	666	694
BVO	8,0	9,0	659	648	633	647
HVO	6,6	7,5	815	813	602	589

**Tabulka 2.** Půdní a terénní parametry (využitelná vodní kapacita, VVK, nadmořská výška, svažitost půdních bloků, plocha půdních bloků se svažitostí > 10 %) pro jednotlivé ZVO

ZVO	VVK %	Nadm. výška m	Svažitost %	Svažitost >10 % km <sup>2</sup> (%)
KVO	19,7	204	3,9	88,5 (5,6)
ŘVO	20,0	272	4,4	483 (4,4)
BVO	18,4	468	6,1	823 (7,1)
HVO	17,8	590	8,7	90,5 (28,4)

Dále je uveden metodický postup pro zjištění dlouhodobé VB, plodinových vláhových potřeb (Vc) a kategorizace dostupnosti půdní vody (vodního stresu), který je založen na inovativním propojení metody FAO-56 pro zjištění Vc formou plodinové evapotranspirace ETc (Allen et al. 1998) a hydropedologického přístupu pro zjištění využitelných zdrojů půdní vody. Tento metodický postup bude v následující kapitole 4 uveden pro čtyři vybrané zemědělské plodiny (pšenice ozimá, silážní kukuřice, řepka ozimá a brambory polorané).

Dlouhodobá VB (**rovnice 1**) byla založena na porovnání Vc dle **FAO-56** s využitelnými zdroji vody (srážky, zásoba vody v půdě, kapilárně vzlínající podzemní voda) dle **ČSN 75 0434** (Meliorace – Potřeba vody pro doplňkovou závlahu). Některé složky zdrojů vody byly v porovnání s ČSN 75 0434 modifikovány (součinitel využitelnosti srážek  $\alpha$  a využitelné množství vzlínající podzemní vody). Výpočty byly provedeny na všech půdních blocích s ornou půdou > 0,5 ha a s informací o půdním druhu zařazených v ČR do LPIS (land-parcel identification system, evidence využití zemědělské půdy), tj. celkem na 479 645 půdních bloků (průměrná plocha 7,4 ha). VB byla počítána pro celé vegetační období, tzn., že nebyla posuzována vegetační dynamika jednotlivých složek VB. Meteorologické údaje potřebné pro zjištění VB (referenční evapotranspirace ET<sub>0</sub>, teplota vzduchu, srážkové úhrny) vycházely z denních průměrů platného klimatického normálu 1981-2010 a dekády 2009-2018 devadesáti stanic provozovaných Českým hydrometeorologickým ústavem ČHMÚ (**Obr. 5**). Z toho vyplývá, že nebylo možné počítat VB jednotlivých let, resp. posuzovat změny mezi počátkem a koncem hodnoceného období.

$$VB = r1 \cdot \alpha \cdot Sr + r2 \cdot Wz + Wk - Vc \quad (1)$$

kde:

- VB vláhová bilance vegetačního období [mm]
- r1 redukční součinitel pro úpravu  $\alpha$  pro sklon terénu > 10 %
- $\alpha$  součinitel využitelnosti srážek v závislosti na druhu půdy

Sr	srážkový normál vegetačního období [mm]
r2	redukční součinitel pro úpravu Wz v závislosti na druhu půdy a sklonu terénu
Wz	využitelná zásoba vody v půdě na začátku vegetačního období [mm]
Wk	využitelné množství vzlínající podzemní vody pro vegetační období [mm]
Vc	plodinová vláhová potřeba za vegetační období [mm]

**Srážkový normál za vegetační období (Sr)** byl vynásoben součinitelem využitelnosti srážek  $\alpha$ , který vyjadřuje vsak vody v závislosti na půdním druhu (písčítá = 0,60, hlinitopísčítá = 0,65, písčitohlinitá = 0,70, hlinitá = 0,75, jílovitohlinitá = 0,70, jílovitá = 0,60, velmi těžká-jíl = 0,50) a sklonitosti terénu. Půdní druhy byly zjištěny z 380 000 půdních sond provedených v rámci Komplexního průzkumu půd (KPP), který probíhal v Československu na 7,2 mil. ha zemědělské půdě v letech 1960 – 1972. Navzdory časovému odstupu jsou tato data (nyní v digitální formě) stále považována za velmi přesný zdroj informací. Součinitel  $\alpha$  byl dále redukován pro pozemky se sklonitostí > 10 % pomocí součinitele  $r_1 = 0,80$ , který byl vhodný pro nízký denní průměr srážek v rozmezí 0-4,9 mm (Spitz et al. 2011). Pro pozemky se sklonitostí < 10 % nebyla provedena žádná redukce (tj.  $r_1 = 1$ ). Je předpokládáno, že tato úprava součinitele  $\alpha$  lépe odráží proces infiltrace vody pro plodiny ve srovnání s ČSN 75 0434, kde je redukce součinitele  $\alpha$  vztažena k nadmořské výšce.

**Využitelná zásoba vody v půdě na začátku vegetačního období (Wz)** je závislá na půdním druhu, maximální účinné hloubce zakořenění dané plodiny a průměrném sklonu terénu. Pro výpočet VB byly použity tabelované průměrné hodnoty Wz (ČSN 75 0434) rovnající se polovině maximálního obsahu lehce přístupné vody zjištěného z půdních hydrolimitů\* polní vodní kapacity (PVK) a bodu snížené dostupnosti (BSD) podle **rovnice (2)**:

$$Wz = 0,5 \cdot (PVK - BSD) \cdot h_u \quad (2)$$

kde:

PVK	polní vodní kapacita ( % obj.)
BSD	bod snížené dostupnosti ( % obj.)
$h_u$	maximální účinná hloubka zakořenění (dm)

BSD bylo počítáno podle **rovnice (3)**:

$$BSD = BV + \% VVK \quad (3)$$

kde:

BV	hydrolimit bod vadnutí ( % obj.)
VVK	využitelná vodní kapacita, tj. PVK-BV ( % obj.)

% VVK            % podíl VVK dané plodiny po vyčerpání snadno dostupné půdní vláhy

Využitelnost  $W_z$  byla redukována součinitelem  $r_2$  v závislosti na vzrůstajícím sklonu terénu a obsahu jílnatých částic (ČSN 75 0434).

\* Půdní hydrolimity jsou smluvené půdní vlhkosti, které charakterizují pohyblivost a přístupnost půdní vody pro rostliny (více kap. 6).

**Využitelné množství vzlínající vody ( $W_k$ )** bylo odvozeno z tabulek ČSN 75 0434, a to pro jednotlivé plodiny, měsíce vegetačního období a půdní druhy na základě úrovně mělké HPV. V ČSN 75 0434 je uvedené  $W_k$  nereálně vysoké a tudíž její autoři ji doporučili snížit podle schopnosti jednotlivých půdních druhů přivádět vzlínající vodu ke kořenům plodin (o 50 % pro půdy písčitohlinité, hlinité, jílovitohlinité, jílovité a jílné; o 75 % pro půdy hlinitopísčité a o 100 % pro půdy písčité). Mělká HPV byla odvozena interpolační metodou kriging z dat KPP jako rastrová vrstva (v drtivé většině se nejednalo o pravou zvoď) v prostorovém rozlišení 100 x 100 m. Pokud v půdních sondách nebyla naměřena žádná HPV, byla použita fixní hodnota 180 cm, která byla pro tyto podmínky považována za pravděpodobnou průměrnou hodnotu.

**Plodinová vláhová potřeba ( $V_c$ )** za celé vegetační období představuje sumu evapotranspirace v podmínkách optimálních pro její vývoj. Odrůdové odlišnosti nebyly zohledněny. Hodnoty  $V_c$  byly zjištěny jako  $ET_c$  podle FAO-56 Penman-Monteith metody (Allen et al. 1998) od výsevu/výsadby po sklizeň jako součin  $ET_0$  a plodinového koeficientu ( $K_c$ ) v denním kroku a sumarizovány za celé vegetační období (Allen et al. 1998). Výpočet  $ET_0$  byl odvozen z originální Penman-Monteithovy rovnice (Monteith 1973). Referenční evapotranspirace čili evapotranspirace srovnávací plodiny či povrchu je definována jako evapotranspirace z hypotetické plodiny s předpokládanou výškou porostu (12 cm) a konstantním odporem porostu ( $70 \text{ s}\cdot\text{m}^{-1}$ ) a albedem 0,23. Je podobná evapotranspiraci z extenzivního povrchu zelené trávy stejné výšky, aktivně rostoucí, se zcela zastíněným povrchem půdy a netrpící nedostatkem vody a zahrnuje vliv regionálních odlišností klimatu. Plodinový koeficient se mění v průběhu vegetačního období podle vývoje plodiny (např. albedo, aerodynamický odpor, odpor porostu). Tabelované  $K_c$  pro počáteční stadium ( $K_{c_{ini}}$ , vysázení/vysetí až pokrytí cca 10 % povrchu), střední stadium ( $K_{c_{mid}}$ , plná pokrývnost až počátek zrání) a pozdní stadium ( $K_{c_{end}}$ , začátek zrání až sklizeň) jsou uvedeny v Allen et al. (1998). Hodnoty mezi  $K_{c_{ini}}$  a  $K_{c_{mid}}$  byly lineárně interpolovány. Dělení  $K_c$  do uvedených čtyř stadií se vztahuje pouze na rok sklizně. Pro rok výsevu u ozimé pšenice a řepky byla  $V_c$  počítána pomocí  $K_{c_{ini}}$  od výsevu do období dosažení

průměrné teploty vzduchu zastavující fyziologické aktivity včetně transpirace. V roce sklizně se  $V_c$  začala opět počítat pomocí  $K_{c_{ini}}$  v návaznosti na počátek vegetačního období, tj. na termín dosažení minimální růstové teploty. Pokud byly výsev/výsadba jarních plodin provedeny před dosažením minimální růstové teploty, tak do doby jejich dosažení byla  $V_c$  nulová. Termíny pro užití  $K_{c_{mid}}$  byly převzaty z plodinové databáze Výzkumného ústavu meliorací a ochrany půdy, v.v.i. (VÚMOP, v.v.i.) pro jednotlivé ZVO. V ČSN 75 0434 jsou  $V_c$  pro jednotlivé plodiny uvedeny pouze jako směrné hodnoty pro dvě nížinné oblasti, které vyžadují doplňkovou závlahu (Polabí a jižní Morava). Pro jiné oblasti jsou  $V_c$  redukovány pomocí koeficientu odvozeného z nadmořské výšky.

Vypočtené hodnoty VB byly **rozlišeny do čtyř kategorií (1-4) s různou dostupností zdrojů vody**, a to pomocí hydrolimitů (PVK, BSD a BV v % obj.) odvozených z pedotransferové funkce (PTF) podle Brežného (ČSN 75 0434) s využitím typických obsahů zrnitostní kategorie <0,01 mm pro daný půdní druh. Hodnoty VB byly převedeny z mm na % obj. (tj. /10). Plošné rozložení všech kategorií bylo závislé na dané plodině, resp. její schopnosti využívat půdní vláhu ( % VVK, rovnice 3). Ozimá pšenice nejlépe odolávala vodnímu stresu (BSD = 45 % VVK). Řepka měla menší schopnost využití půdní vody (BSD = 50 % VVK) a nejméně odolné vodnímu stresu byly brambory a silážní kukuřice (BSD = 55 % VVK).

**Kategorie 1** představovala kladnou VB, tzn., že množství využitelné vody pro evapotranspiraci bylo vyšší než  $V_c$ . Všechny ostatní kategorie měly zápornou VB (tj. nižší množství využitelných zdrojů vody ve srovnání s  $V_c$ ) a tudíž tyto oblasti vykazovaly pro hodnocené plodiny různou míru vodního stresu. **Kategorie 2** zahrnovala VB s absolutní hodnotou menší než je rozdíl mezi PVK a BSD. Vláhový deficit v půdě by tudíž neměl snižovat výnosy. **Kategorie 3** obsahovala VB s absolutní hodnotou větší než je rozdíl mezi PVK a BSD, ale menší než byla VVK. **Kategorie 4** představovala podmínky s nejhorší zásobeností vodou, kde absolutní hodnota VB byla větší než hodnota VVK. Kategorie 3 a 4 byly navrženy pro doplňkovou závlahu.

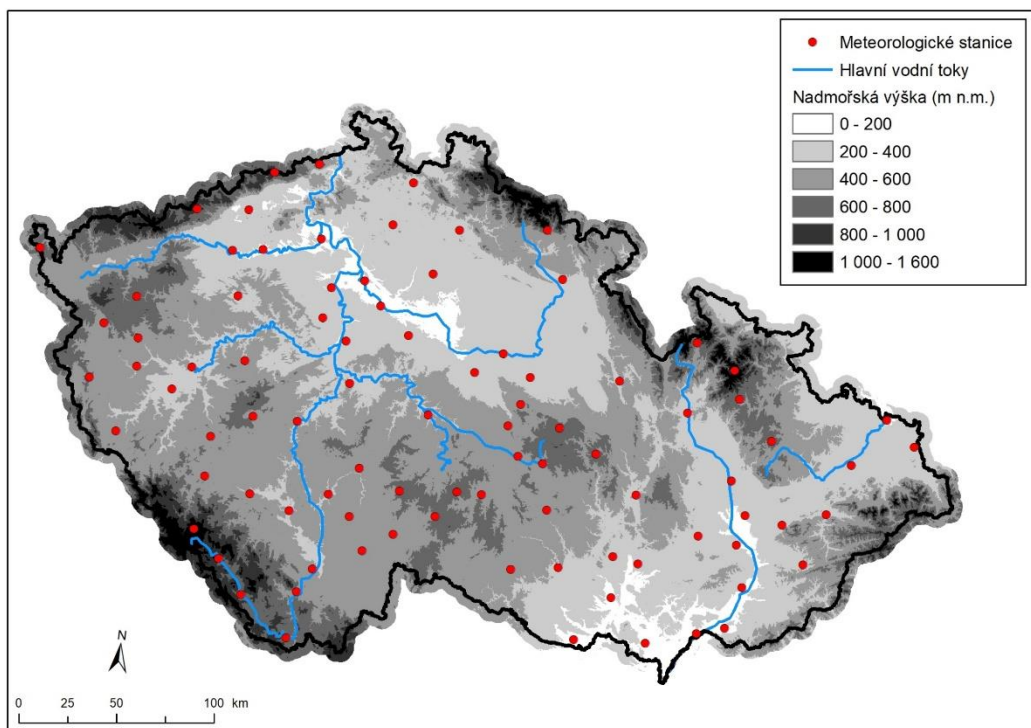
Na základě uvedené inovativní metody výpočtu  $V_c$  a VB vyvinul VÚMOP, v.v.i. v rámci funkčního úkolu pro Ministerstvo zemědělství (sml. č. 859-2016-10052) a následně zdokonalil v rámci projektu QK1720285 volně dostupný nástroj **Kalkulačka vláhové potřeby (KVP)**: <https://vlaha.vumop.cz/>, který umožňuje posouzení průměrné dlouhodobé vláhové potřeby, vodního deficitu a případně závlahového množství pro čtyřicet zemědělských plodin a kultur, resp. osevních postupů všech půdních bloků (PB) registrovaných v LPIS pro aktuální klimatický normál (1981–2010) a dekádu 2009–2018. Uvedená webová stránka obsahuje podrobný návod na práci s KVP a rovněž seznam doporučené literatury vč. ČSN 75

0434. KVP byla použita pro výpočet stávajících a odhad budoucích vláhových potřeb plodin (vč. vinic a sadů) v rámci Studie proveditelnosti závlahové soustavy v oblasti Hustopeče (2019 – 2020), zpracované pro Státní pozemkový úřad.

#### 4. Výsledky vláhové bilance vybraných zemědělských plodin

Jednotlivé složky dlouhodobé VB a kategorie dostupnosti půdní vody byly vypočítány pro čtyři zemědělské plodiny (pšenice ozimá, silážní kukuřice, řepka ozimá a brambory polorané) a jednotlivé ZVO pro platný klimatický normál 1981-2010 a dekádu 2009-2018. Bilanční rovnice (1) byla propojena s dalšími datovými zdroji (digitální model terénu, půdní druhy z digitalizace KPP, meteorologická data ČHMÚ, účinné půdní bloky LPIS, hranice ZVO). Pokud byl pozemek půdně heterogenní, tak byla VB stanovena pro převládající půdní druh. Agrotechnické termíny setí a sklizně plodin byly převzaty z databáze protierozní kalkulačky (internetová aplikace pro podporu rozhodování v oblasti protierozní ochrany půdy v ČR), která vychází z regionalizace území podle ZVO. Vliv zemědělského odvodnění vybudovaného na ca 25 % zemědělské půdy ČR nebyl v představených výpočtech VB (konkrétně Wk) zohledňován, a to z několika důvodů. Hladina podzemní vody odvozená z KPP nepostihuje 57,7 % výměry odvodněných ploch, na které byly drenážní systémy instalovány až po skončení KPP (po r. 1972) a relevantní údaje o HPV společně s informací o funkčnosti drenážních systémů ve sledovaném období neexistují. Průměrná HPV zjištěná z KPP na pozemcích s odvodněním byla 139 cm, což bylo považováno za přijatelnou hodnotu vstupující do výpočtu Wk. Na odvodněných plochách nebyl rovněž změněn koeficient  $r_1$ . Odvodněné plochy zemědělské půdy se částečně překrývají s vymezeným výskytem středního a silného vodního stresu (kategorie 3 a 4). Pro kategorii 3 se jedná o překryv na 25-27 % plochy a pro kategorii 4 o 26-38 % plochy v závislosti na plodině. Tato informace vypovídá o z dnešního pohledu nadbytečném odvodnění části zemědělských pozemků vyžadujících doplňkovou závlahu a o potřebě nápravných opatření v podobě snížení intenzity odvodnění či uplatnění regulační drenáže (Kulhavý et al. 2015, 2018).

Výpočet jednotlivých kategorií dostupnosti zdrojů půdní vody proběhl pomocí databázového systému PostgreSQL 9.6 s nadstavbou pro práci s prostorovými informacemi Postgis 2. 2. a pomocí aplikačního striptovacího jazyka PHP. Vizualizace (**Obr. 6-13**) byla provedena pomocí softwaru ArcGIS verze 10.4.



**Obrázek 5.** Meteorologické stanice ČHMÚ použité pro výpočet vláhové bilance

Výsledky VB pro jednotlivé plodiny jsou vztaženy k pozemkům s ornou půdou registrovaným v LPIS o celkové ploše 24 592 km<sup>2</sup>. Z této plochy je největší podíl v BVO (11 607 km<sup>2</sup>) a ŘVO (11 088 km<sup>2</sup>); podstatně menší plocha je v KVO (1 579 km<sup>2</sup>) a HVO (318 km<sup>2</sup>). **Tab. 3-10** obsahují plošné zastoupení, délku vegetačního období, VB, úhrn srážek, Vc a Wk pro jednotlivé kategorie dostupnosti půdní vody a ZVO v období 1981-2010 a 2009-2018. **Obr. 6-13** uvádějí celorepublikové vymezení kategorií dostupnosti půdní vody pro vybrané plodiny a období.

Dlouhodobá VB byla převážně negativní (kategorie 2-4), což znamená, že v průběhu vegetačního období nebyly Vc plně uspokojeny a plodiny byly vystaveny mírnému až silnému vodnímu stresu. I když v KVO a ŘVO byla vyšší VVK (**Tab. 2**), tak zde byl deficit VB vyšší (zejména v KVO) než v HVO a BVO. V KVO se kategorie 1 nevyskytovala téměř vůbec a kategorie 2 pro jařiny pouze ve velmi malém rozsahu. Důvodem byly obecně nízké srážky a vysoká Vc. V ŘVO byla kategorie 1 pro jařiny zastoupena ve velmi malém rozsahu (< 1 %) ve srovnání s ozimí. Vláhový deficit zde byl způsoben spíše nižšími srážkami. Nejvíce dostupné vody bylo v HVO, kde byly nejvyšší sumy srážek a nejnižší Vc, i když zde dostupnost srážek a zásoby vody v půdě po zimním období byly nejvíce redukovány kvůli svažitosti pozemků (**Tab. 2**).

Na základě porovnání dvou období 1981-2010 a 2009-2018 bylo zjištěno, že deficit VB se v poslední dekádě většinou prohloubil, nejvíce v KVO a ŘVO. Je to způsobeno výraznými vlnami sucha 2015 a 2018, které zvýšily průměrnou teplotu vzduchu a  $ET_0$  (**Tab. 1**). Výjimkou byla řepka v BVO a HVO a pšenice v HVO, kde byl deficit VB snížen, případně úplně eliminován z důvodu nárůstu srážek. Vláhová potřeba mezi uvedenými obdobími vzrostla u všech plodin a ve všech ZVO o 2-8 %. Srážky v BVO, ŘVO a HVO se zvýšily o 1-10 %, a to více u ozimů z důvodu prodloužení vegetačního období. V KVO zůstaly srážky nezměněny (řepka) nebo klesly o 3,5-5 % (ostatní plodiny).

Během dekády 2009-2018 se výrazně prodloužilo celkové vegetační období ozimů ve všech ZVO (o 14-19 dní), a to tím, že minimální růstová teplota vzduchu ukončila transpiraci na podzim později a na jaře naopak tento fyziologický proces zahájila dříve. V důsledku toho se ve většině ZVO (ŘVO, BVO a HVO) zvýšil úhrn srážek, případně i klesl deficit VB (HVO, pro řepku i v BVO). Délka vegetačního období pro jařiny zůstala stejná jako v období 1981-2010.

V dalším popisu výsledků jsou číselné hodnoty pro dekádu 2009-2018 uvedeny v závorce nebo zkratkou „resp.“.

### ***Pšenice ozimá***

Pšenice ozimá byla pěstována bez vodního stresu (kategorie 1 a 2) v ŘVO, BVO a HVO na 81 (72) % (9 022, resp. 7 963 km<sup>2</sup>), 81 (80) % (9 427, resp. 9 241 km<sup>2</sup>) a 76 (76) % (242 km<sup>2</sup>). Průměrný deficit VB (vážený průměr ze všech kategorií) byl v ŘVO, BVO a HVO 61 (87) mm, 44 (51) mm, resp. 43 (42) mm (**Tab. 3 a 4**). V KVO bylo 61 (21,5) % (959, resp. 340 km<sup>2</sup>) pozemků, kde růst a vývoj ozimé pšenice nebyl ovlivněn vodním stresem (kategorie 2) a průměrný deficit VB byl 109 (147) mm. V celé ČR nebylo postiženo vodním stresem 80 (72) % pozemků (19 648, resp. 17 785 km<sup>2</sup>) a průměrný deficit VB byl 56 (73) mm. Nejvyšší zastoupení kategorie 4 se silným vodním deficitem bylo v KVO (11, resp. 14 % = 172, resp. 218 km<sup>2</sup>) ve srovnání s ostatními ZVO (ŘVO 3,6, resp. 6 % = 399, resp. 674 km<sup>2</sup>, BVO 2,5, resp. 5 % = 289, resp. 544 km<sup>2</sup>, HVO 4,5, resp. 8,4 % = 14, resp. 27 km<sup>2</sup>). Nutnost doplňkové závlahy indikované kategoriemi 3 a 4 se projevila celkem na 20,1 (27,7) % pozemků (4 944, resp. 6 808 km<sup>2</sup>).

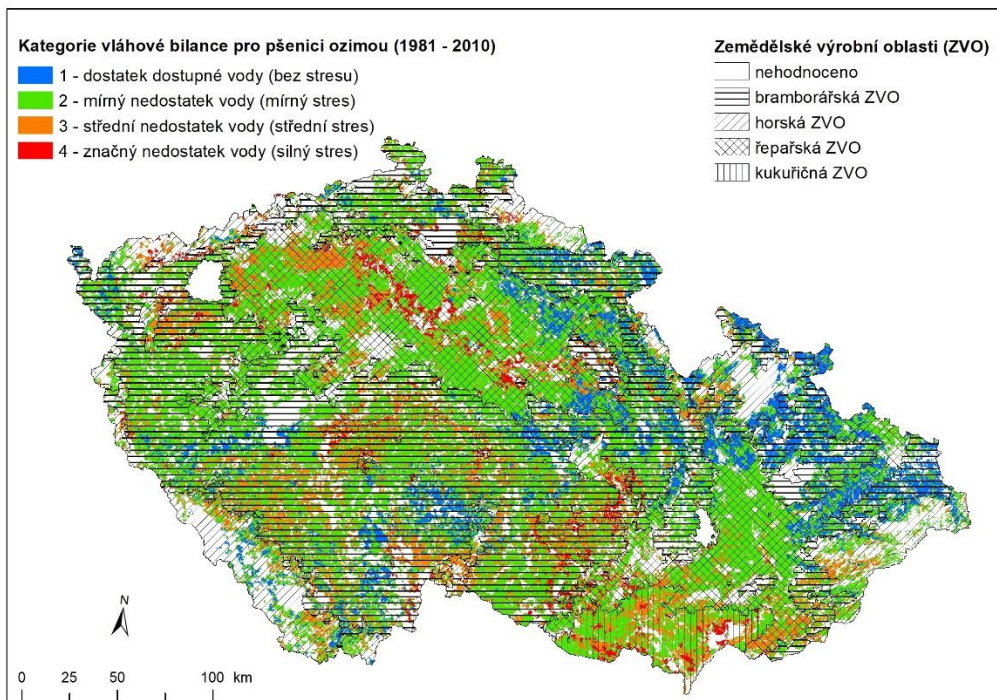
**Obr. 6 a 7** znázorňují kategorie vodního stresu pšenice ozimé pro obě hodnocená období. V poslední dekádě vzrostl deficit VB v KVO, ŘVO a BVO o 34 %, 41 % a 16 %, neboť celková  $V_c$  vzrostla o 6-8 %. Úhrn srážek v KVO klesl o 5 %, v ŘVO a BVO vzrostl o 3 %, resp. 7 %. Naopak v HVO klesl deficit VB o 2 %, neboť  $V_c$  vzrostla pouze o 4,5 % a srážky se zvýšily o 8 %.

**Tabulka 3.** Plošné zastoupení, délka vegetačního období, vláhová bilance, srážky, vláhová potřeba (Vc) a vzlínající podzemní voda (Wk) pro jednotlivé kategorie dostupnosti půdní vody a zemědělské výrobní oblasti za vegetační období **1981-2010: Ozimá pšenice**

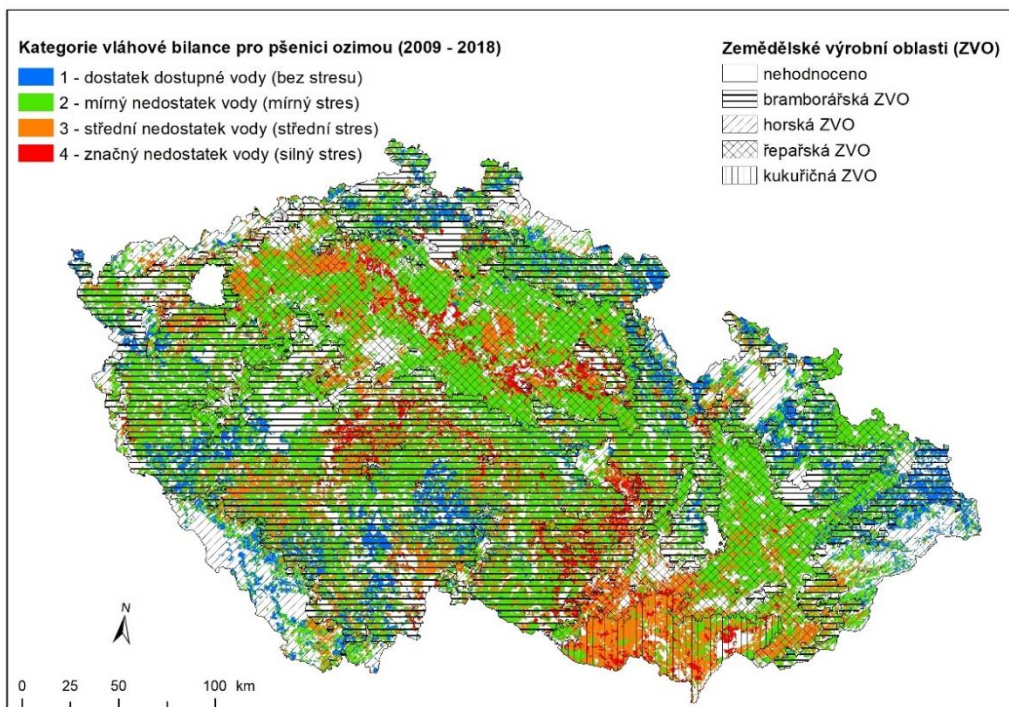
ZVO	Kategorie dostupnosti půdní vody	Plocha		Vegetační období	Vláhová bilance	Srážky	Vc	Wk
		%	km <sup>2</sup>	Dny		mm		
KVO	1	-	-	-	-	-	-	-
	2	60,7	959,0	166,8	-83,7	274,8	395,4	86,3
	3	28,4	448,2	166,8	-135,6	274,0	395,8	51,3
	4	10,9	172,1	167,9	-183,7	276,0	396,3	20,0
	Suma/vážený průměr	100	1 579,3	166,9	-109,3	274,7	395,6	69,1
ŘVO	1	10,9	1 213,8	164,3	14,8	338,9	363,5	100,0
	2	70,4	7 808,1	167,7	-51,3	302,6	373,2	78,6
	3	15,0	1 666,5	170,2	-134,4	290,1	379,2	35,9
	4	3,6	399,3	174,2	-181,8	289,5	385,4	8,9
	Suma/vážený průměr	100	11 087,7	167,9	-61,3	304,2	373,5	72,0
BVO	1	16,9	1 957,0	161,8	18,6	357,2	364,3	98,1
	2	64,4	7 469,8	163,1	-37,6	328,3	372,3	86,4
	3	16,3	1 892,0	164,3	-112,5	330,6	375,0	36,3
	4	2,5	288,6	167,6	-168,4	323,9	391,2	20,3
	Suma/vážený průměr	100	11 607,4	163,2	-43,6	333,4	371,9	78,6
HVO	1	30,6	97,2	166,9	27,8	399,8	376,8	95,7
	2	45,1	143,4	168,4	-45,1	382,6	385,0	78,5
	3	19,8	63,1	167,2	-116,5	370,1	385,2	34,3
	4	4,5	14,4	171,5	-169,0	365,4	396,5	20,3
	Suma/vážený průměr	100	318,1	167,9	-42,6	384,6	383,1	72,4

**Tabulka 4.** Plošné zastoupení, délka vegetačního období, vláhová bilance, srážky, vláhová potřeba (Vc) a vzlínající podzemní voda (Wk) pro jednotlivé kategorie dostupnosti půdní vody a zemědělské výrobní oblasti za vegetační období **2009-2018: Ozimá pšenice**

ZVO	Kategorie dostupnosti půdní vody	Plocha		Vegetační období Dny	Vláhová bilance	Srážky	Vc	Wk
		%	km <sup>2</sup>					
KVO	1	-	-	-	-	-	-	-
	2	21,5	340,1	181,2	-96,7	273,7	416,7	92,7
	3	64,7	1 021,1	182,2	-148,3	258,3	426,6	71,6
	4	13,8	218,0	182,7	-217,3	262,8	425,7	22,4
	Suma/vážený průměr	100	1 579,3	182,0	-146,7	262,2	424,4	95,47
ŘVO	1	1,6	182,8	180,5	10,4	376,8	397,1	103,7
	2	70,2	7 779,6	181,3	-61,7	317,7	401,9	83,8
	3	22,1	2 451,5	181,8	-142,5	299,2	412,6	46,9
	4	6,1	673,7	183,5	-194,8	302,3	417,0	16,8
	Suma/vážený průměr	100	11 087,7	181,5	-86,5	313,6	405,1	71,9
BVO	1	16,2	1 874,7	176,5	22,9	393,9	382,8	97,4
	2	63,5	7 365,8	178,9	-43,3	352,5	396,1	86,5
	3	15,7	1 822,6	180,3	-116,9	353,3	402,2	43,6
	4	4,7	544,2	183,6	-178,9	332,0	418,1	25,0
	Suma/vážený průměr	100	11 607,4	179,0	-50,5	358,4	396,0	78,6
HVO	1	31,2	99,2	182,0	40,0	447,7	391,5	93,9
	2	44,8	142,4	182,9	-43,2	412,0	398,5	74,1
	3	15,6	49,7	184,6	-118,2	388,7	409,4	45,7
	4	8,4	26,8	187,3	-194,6	345,6	425,1	26,7
	Suma/vážený průměr	100	318,1	183,3	-41,7	413,9	400,2	71,8



**Obrázek 6.** Kategorie vláhové bilance pro pšenici ozimou za období 1981 – 2010



**Obrázek 7.** Kategorie vláhové bilance pro pšenici ozimou za období 2009 - 2018

## **Silážní kukuřice**

Dostupnost vláhy pro pěstování silážní kukuřice byla nejvyšší v HVO s průměrným deficitem VB 42 (48) mm a 81 (75) % pozemků (tj. 257, resp. 239 km<sup>2</sup>) v kategorii 1 a 2 (**Tab. 5 a 6**). V BVO byl průměrný deficit VB 64 (71) mm a 73 (66) % pozemků (8 470,5, resp. 7 678 km<sup>2</sup>) nebylo postiženo vodním stresem. V ŘVO bylo zastoupení kategorií 1 a 2 pouze na 55 (31) % pozemků (6 119, resp. 3 463 km<sup>2</sup>) a průměrný deficit VB dosáhl 93 (111) mm. Silážní kukuřice pěstovaná v KVO byla postižena výrazným deficitem VB (145, resp. 166 mm) v důsledku nízkých srážek (266, resp. 257 mm). Průměrný deficit VB pro všechny ZVO byl 82 (95) mm. V celé ČR se vyskytlo celkem 60 (46) % pozemků (tj. 14 847, resp. 11 383 km<sup>2</sup>), kde pěstování silážní kukuřice nebylo ovlivněno vodním stresem.

Do kategorie 4 bylo v KVO zařazeno 11,4 (14,8) % pozemků (179, resp. 233 km<sup>2</sup>), tj. výrazně více než v ostatních ZVO (ŘVO 2, resp. 4,4 % = 243, resp. 493 km<sup>2</sup>, BVO 1, resp. 1,6 % = 107, resp. 184 km<sup>2</sup> a v HVO 0,2, resp. 1,1 % = 0,7, resp. 3,4 km<sup>2</sup>). Pěstování silážní kukuřice s doplňkovou závlahou (kategorie 3 a 4) by celkem zahrnovalo 39,6 (53,7) % pozemků (9 746, resp. 11 383 km<sup>2</sup>).

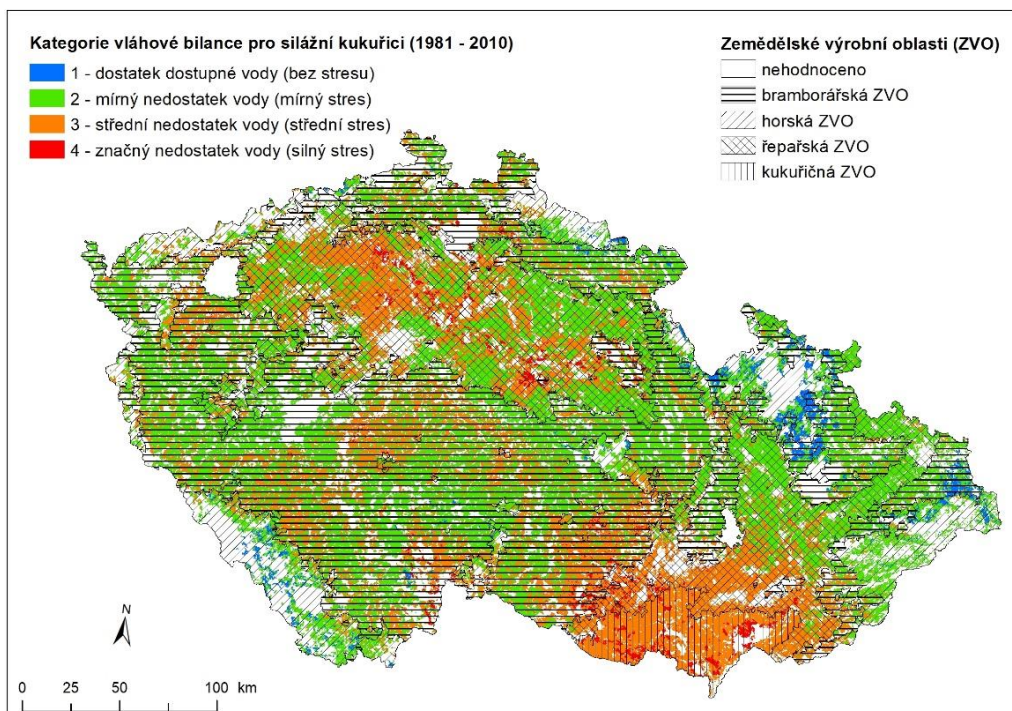
**Obř. 8 a 9** znázorňují kategorie vodního stresu silážní kukuřice pro obě hodnocená období. Vláhová potřeba vzrostla v poslední dekádě o 2 % (HVO) až 5 % (ŘVO). Deficit VB vzrostl o 12 % (BVO) až 20 % (ŘVO). Srážky se téměř nezměnily (v KVO nižší o 3,4 %, v BVO vyšší o 1,6 %, v HVO a ŘVO nezměněny).

**Tabulka 5.** Plošné zastoupení, délka vegetačního období, vláhová bilance, srážky, vláhová potřeba (Vc) a vzlínající podzemní voda (Wk) pro jednotlivé kategorie dostupnosti půdní vody a zemědělské výrobní oblasti za vegetační období **1981-2010: Silážní kukuřice**

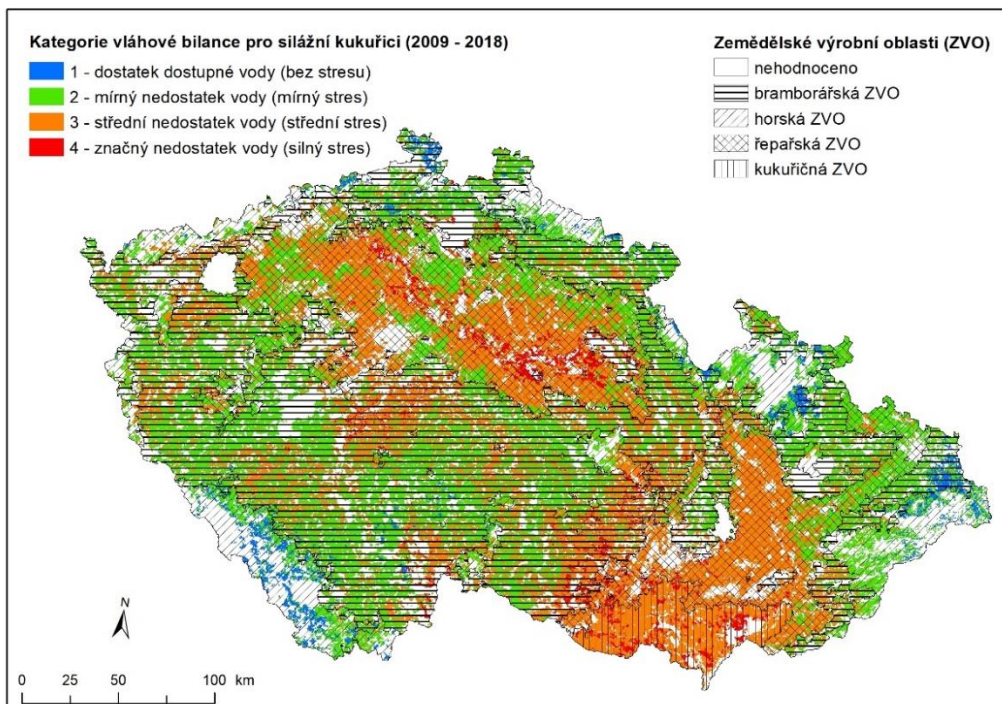
ZVO	Kategorie dostupnosti půdní vody	Plocha		Vegetační období	Vláhová bilance	Srážky	Vc	Wk
		%	km <sup>2</sup>	Dny		mm		
KVO	1	-	-	-	-	-	-	-
	2	0,1	1,1	132,9	-94,6	274,6	390,6	50,5
	3	88,6	1 398,7	133,0	-140,0	266,2	401,3	38,6
	4	11,4	179,4	133,0	-179,2	266,1	399,6	28,3
	Suma/vážený průměr	100	1579,3	133,0	-144,5	266,2	401,1	37,4
ŘVO	1	0,1	8,0	131,0	15,6	362,6	346,3	66,4
	2	55,1	6 110,7	132,7	-69,3	306,7	371,6	41,8
	3	42,6	4 726,3	132,8	-118,4	287,6	381,6	38,6
	4	2,2	242,6	132,8	-180,3	281,2	384,1	13,4
	Suma/vážený průměr	100	11 087,7	132,7	-92,6	298,1	376,1	39,9
BVO	1	1,5	170,2	129,1	14,0	375,2	347,0	49,0
	2	71,5	8 300,3	131,6	-50,7	327,4	354,6	43,0
	3	26,1	3 030,1	131,7	-100,1	317,2	360,8	37,7
	4	0,9	106,8	132,0	-157,8	302,4	379,0	21,1
	Suma/vážený průměr	100	11 607,4	131,6	-63,6	325,2	356,3	41,5
HVO	1	17,0	54,1	122,8	17,9	363,5	322,5	47,5
	2	63,7	202,6	124,5	-41,4	341,9	328,5	40,4
	3	19,1	60,7	126,0	-95,6	327,1	336,5	34,8
	4	0,2	0,7	126,5	-131,1	322,2	344,3	13,6
	Suma/vážený průměr	100	318,1	124,5	-41,9	342,7	329,0	40,5

**Tabulka 6.** Plošné zastoupení, délka vegetačního období, vláhová bilance, srážky, vláhová potřeba (Vc) a vzlínající podzemní voda (Wk) pro jednotlivé kategorie dostupnosti půdní vody a zemědělské výrobní oblasti za vegetační období **2009-2018: Silážní kukuřice**

ZVO	Kategorie dostupnosti půdní vody	Plocha		Vegetační období	Vláhová bilance	Srážky	Vc	Wk
		%	km <sup>2</sup>	Dny		mm		
KVO	1	-	-	-	-	-	-	-
	2	0,2	3,0	132,5	-88,5	295,6	382,7	41,3
	3	85,0	1342,9	133,0	-160,7	256,8	416,6	38,6
	4	14,8	233,3	133,0	-198,9	258,3	417,2	30,7
	Suma/vážený průměr	100	1579,3	133,0	-166,2	257,1	416,7	37,5
ŘVO	1	0,02	2,2	127,7	4,8	353,5	346,1	73,2
	2	31,2	3460,7	132,5	-73,7	315,2	382,5	42,5
	3	64,3	7132,0	132,8	-123,8	294,1	401,1	39,6
	4	4,4	492,7	132,9	-185,9	289,2	410,2	22,8
	Suma/vážený průměr	100	11087,7	132,7	-110,9	300,5	395,7	39,8
BVO	1	1,4	160,6	130,3	14,4	391,4	356,1	48,5
	2	64,8	7517,5	131,6	-53,8	335,6	363,9	43,1
	3	32,3	3745,8	131,7	-105,8	318,6	373,0	38,5
	4	1,6	183,5	132,0	-164,1	302,1	390,6	28,0
	Suma/vážený průměr	100	11607,4	131,6	-71,4	330,4	367,2	41,4
HVO	1	14,8	47,0	122,0	25,0	382,4	318,4	41,9
	2	60,4	192,3	125,2	-40,1	347,7	334,5	42,0
	3	23,7	75,4	124,7	-107,9	310,3	345,6	35,8
	4	1,1	3,4	129,0	-158,4	296,1	367,8	33,9
	Suma/vážený průměr	100	318,1	124,6	-47,9	343,4	335,1	40,4



**Obrázek 8.** Kategorie vláhové bilance pro silážní kukuřici za období 1981 – 2010



**Obrázek 9.** Kategorie vláhové bilance pro silážní kukuřici za období 2009 – 2018

## **Řepka ozimá**

V ŘVO, BVO a HVO byly z hlediska VB dobré podmínky pro pěstování řepky, neboť 85 (79) % (9 438, resp. 8 791 km<sup>2</sup>), 89 (88) % (10 274, resp. 10 238 km<sup>2</sup>) a 85 (85) % (272, resp. 270 km<sup>2</sup>) pozemků bylo klasifikováno do kategorií 1 a 2 (**Tab. 7 a 8**). Průměrný deficit VB zde dosáhl 35 (55) mm, 10 (9) mm a 1 (6) mm. Nejhorší VB pro pěstování řepky byla opět v KVO s průměrným deficitem 90 (118) mm a se zastoupením kategorie 1 a 2 na 66 (37) % pozemků (1 035, resp. 581 km<sup>2</sup>). Průměrný deficit VB pro všechny ZVO byl 26 (61) mm. V celé ČR se vyskytovalo celkem 86 (62) % pozemků (21 018, resp. 15 204 km<sup>2</sup>), kde pěstování řepky ozimé nebylo ovlivněno vodním stresem (kategorie 1 a 2).

Do kategorie 4 bylo více pozemků zařazeno opět v KVO (7, resp. 10,5 % = 111, resp. 165 km<sup>2</sup>) ve srovnání s ostatními ZVO (ŘVO 2,5, resp. 3,8 % = 275, resp. 418 km<sup>2</sup>, BVO 1, resp. 1,6 % = 123, resp. 185 km<sup>2</sup>, HVO 1,2, resp. 4,2 % = 4, resp. 13 km<sup>2</sup>). Pěstování řepky ozimé by vyžadovalo doplňkovou závlahu (kategorie 3 a 4) celkem na 15 (19) % pozemků (3 575, resp. 4 713 km<sup>2</sup>).

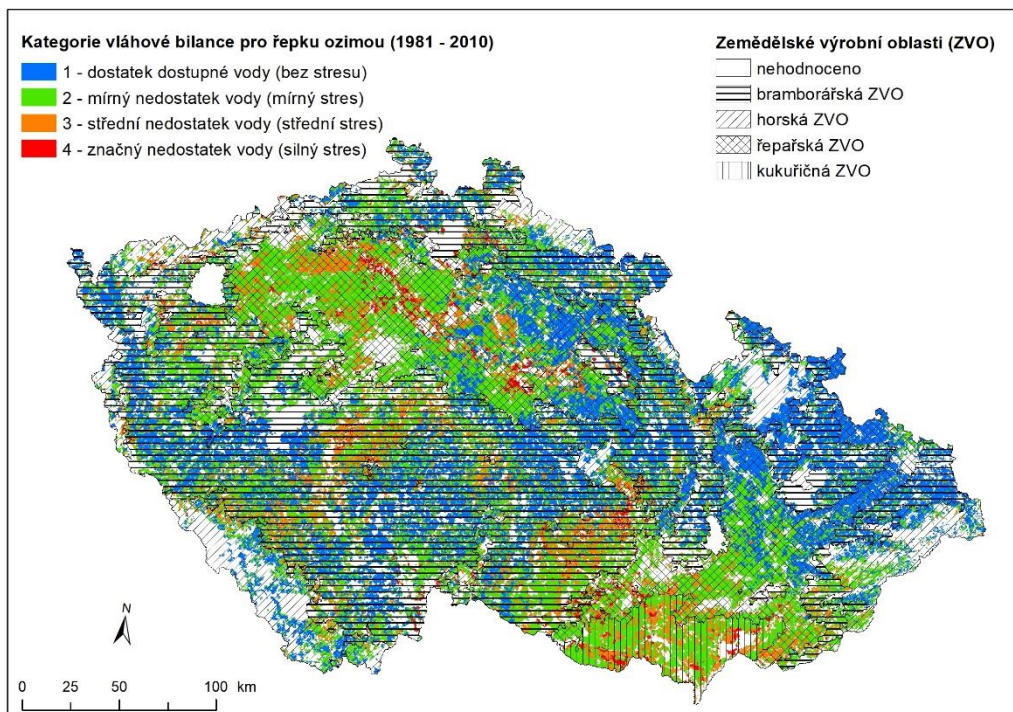
**Obr. 10 a 11** znázorňují kategorie vodního stresu řepky ozimé pro obě hodnocená období. Deficit VB vzrostl za poslední dekádu v KVO a ŘVO o 32 a 57 %, neboť zde výrazněji vzrostla celková Vc (o 7-8 %). Naopak úhrn srážek se v KVO nezměnil a v ŘVO vzrostl pouze o 5 %. V BVO deficit VB klesl o 9 % a v HVO byla VB kladná (6 mm). Vláhová potřeba vzrostla v BVO a HVO pouze o 5 % a srážky se zvýšily o 8-10 %.

**Tabulka 7.** Plošné zastoupení, délka vegetačního období, vláhová bilance, srážky, vláhová potřeba (Vc) a vzlínající podzemní voda (Wk) pro jednotlivé kategorie dostupnosti půdní vody a zemědělské výrobní oblasti za vegetační období **1981-2010: Řepka ozimá**

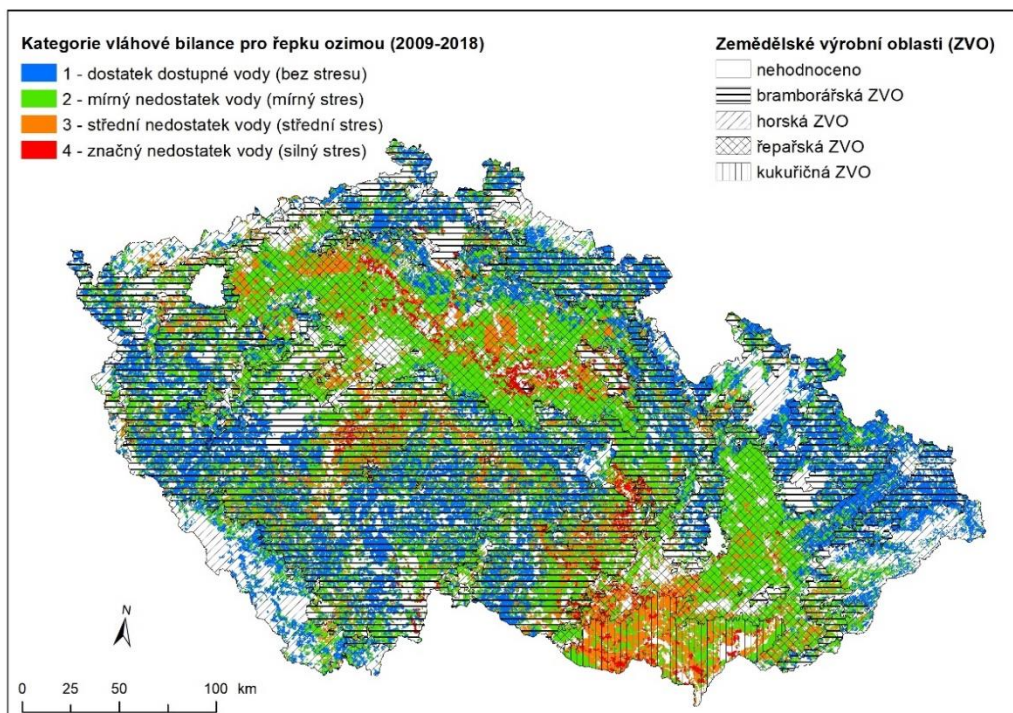
ZVO	Kategorie dostupnosti půdní vody	Plocha		Vegetační období	Vláhová bilance	Srážky	Vc	Wk
		%	km <sup>2</sup>	Dny		mm		
KVO	1	-	-	-	-	-	-	-
	2	65,5	1 034,7	207,8	-64,7	345,0	417,3	85,1
	3	27,5	434,0	207,9	-126,0	344,3	418,4	47,7
	4	7,0	110,6	208,6	-179,4	346,0	418,7	10,5
	Suma/vážený průměr	100	1 579,3	207,9	-89,5	344,9	417,7	69,6
ŘVO	1	30,3	3 359,0	208,0	28,0	410,8	387,1	94,5
	2	54,8	6 079,0	208,2	-44,1	368,1	394,4	71,1
	3	12,4	1 374,5	208,7	-122,8	356,2	396,8	31,7
	4	2,5	275,2	212,1	-171,0	353,7	403,1	6,0
	Suma/vážený průměr	100	11 087,7	208,3	-35,2	379,2	392,7	71,7
BVO	1	50,9	5 912,2	201,3	31,9	417,9	378,4	94,8
	2	37,6	4 361,4	202,2	-36,6	396,4	385,9	71,1
	3	10,4	1 210,9	202,6	-104,6	391,7	389,0	31,4
	4	1,1	123,0	205,3	-158,4	389,2	400,4	11,4
	Suma/vážený průměr	100	11 607,4	201,8	-10,1	406,8	382,6	78,4
HVO	1	53,3	169,4	195,5	51,0	459,1	374,4	92,4
	2	32,1	102,1	196,2	-37,1	441,0	379,1	60,3
	3	13,4	42,6	196,7	-108,0	426,6	383,5	29,0
	4	1,2	4,0	201,6	-157,0	421,9	399,7	10,8
	Suma/vážený průměr	100	318,1	196,0	-1,1	448,5	377,4	72,6

**Tabulka 8.** Plošné zastoupení, délka vegetačního období, vláhová bilance, srážky, vláhová potřeba (Vc) a vzlínající podzemní voda (Wk) pro jednotlivé kategorie dostupnosti půdní vody a zemědělské výrobní oblasti za vegetační období **2009-2018: Řepka ozimá**

ZVO	Kategorie dostupnosti půdní vody	Plocha		Vegetační období	Vláhová bilance	Srážky	Vc	Wk
		%	km <sup>2</sup>	Dny	mm			
KVO	1	0,1	0,8	214,4	16,7	402,1	399,5	99,1
	2	36,8	580,4	222,2	-75,1	354,4	442,1	91,3
	3	52,7	832,8	223,4	-131,4	341,5	450,3	64,6
	4	10,5	165,2	224,0	-200,4	345,0	449,6	19,7
	Suma/vážený průměr	100	1579,3	223,0	-117,8	346,7	447,2	69,7
ŘVO	1	15,4	1 703,3	222,8	23,0	440,6	412,7	94,9
	2	63,9	7 087,5	224,3	-46,6	392,1	424,6	78,1
	3	16,9	1 878,5	224,7	-130,4	379,1	432,7	38,6
	4	3,8	418,4	227,4	-184,5	378,6	441,4	12,0
	Suma/vážený průměr	100	11087,7	224,2	-55,3	396,8	424,8	71,5
BVO	1	50,5	5 861,0	217,7	37,3	454,4	397,6	94,2
	2	37,7	4 376,5	219,0	-37,9	425,0	407,1	71,0
	3	10,2	1 185,3	219,9	-108,1	415,7	411,3	34,5
	4	1,6	184,6	222,5	-170,8	396,9	428,1	18,9
	Suma/vážený průměr	100	11607,4	218,5	-9,2	438,4	403,0	78,2
HVO	1	57,1	181,6	214,4	61,9	516,1	393,4	88,8
	2	27,7	88,1	215,5	-36,4	477,3	399,7	58,1
	3	11,0	35,0	216,2	-109,3	437,0	409,1	38,8
	4	4,2	13,4	218,7	-179,3	403,0	426,3	24,9
	Suma/vážený průměr	100	318,1	215,1	5,6	491,9	398,2	72,1



**Obrázek 10.** Kategorie vláhové bilance pro řepku ozimou za období 1981 – 2010



**Obrázek 11.** Kategorie vláhové bilance pro řepku ozimou za období 2009 - 2018

## **Brambory polorané**

Nejvhodnější podmínky pro pěstování brambor byly v BVO, kde bylo do kategorie 1 a 2 zařazeno 72 (67) % pozemků (8 328,5, resp. 7 813 km<sup>2</sup>). Průměrný deficit VB zde byl 57 (64) mm (**Tab. 9 a 10**). V HVO bylo do kategorií 1 a 2 bez vodního stresu zařazeno 70 (66) % pozemků (222, resp. 210 km<sup>2</sup>) s průměrným deficitem VB 46 (51) mm. V ŘVO bylo do stejných kategorií začleněno 53 (40) % pozemků (5 860, resp. 4 414 km<sup>2</sup>) a průměrný deficit VB dosáhl 91,5 (106) mm. Nejhorší podmínky pro pěstování brambor byly v KVO, kde pouze 7 (2) % pozemků (105, resp. 30 km<sup>2</sup>) nebylo zasaženo vodním stresem (kategorie 2) a průměrný deficit VB byl 138 (160) mm. V celé ČR byl průměrný deficit VB 77 (89) mm a 59 (51) % pozemků (14 515, resp. 12 467,5 km<sup>2</sup>) nebylo při pěstování poloraných brambor postiženo vodním stresem.

Do kategorie 4 bylo v KVO zařazeno 11 (19) % pozemků (179, resp. 303 km<sup>2</sup>), v ŘVO se jednalo o 3 (6) % (362, resp. 626 km<sup>2</sup>), v BVO o 2 (4) % (268, resp. 482 km<sup>2</sup>) a v HVO o 3 (8) % (10, resp. 26 km<sup>2</sup>). Pěstování poloraných brambor by v rámci celé ČR vyžadovalo doplňkovou závlahu (kategorie 3 a 4) na 41 (49) % pozemků (10 077, resp. 12 125 km<sup>2</sup>).

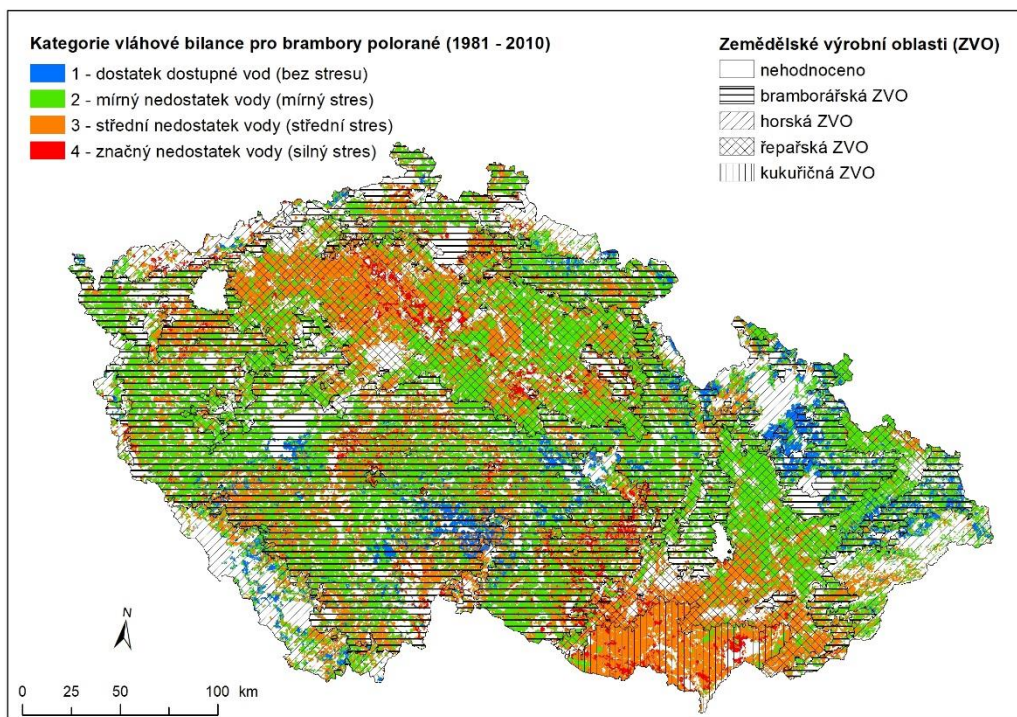
**Obr. 12 a 13** znázorňují kategorie vodního stresu poloraných brambor pro obě hodnocená období. Vláhová potřeba v jednotlivých ZVO vzrostla za poslední dekádu o 1,6 % (HVO) až 5 % (ŘVO). Deficit VB vzrostl výrazněji, a to o 12 % (BVO) až 16 % (ŘVO). Srážky se téměř nezměnily (nižší v KVO o 5 %, vyšší v BVO a ŘVO o 2 a 1,4 %, v HVO nezměněny).

**Tabulka 9.** Plošné zastoupení, délka vegetačního období, vláhová bilance, srážky, vláhová potřeba (Vc) a vzlínající podzemní voda (Wk) pro jednotlivé kategorie dostupnosti půdní vody a zemědělské výrobní oblasti za vegetační období **1981-2010: Polorané brambory**

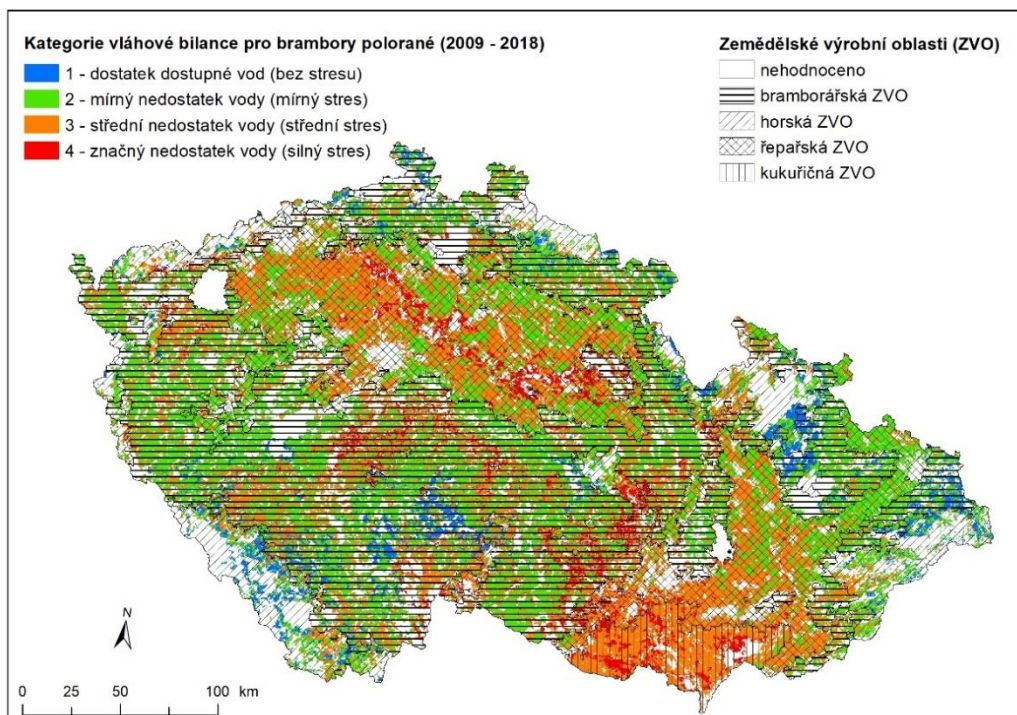
ZVO	Kategorie dostupnosti půdní vody	Plocha		Vegetační období	Vláhová bilance	Srážky	Vc	Wk
		%	km <sup>2</sup>	Dny	mm			
KVO	1							
	2	6,6	104,7	111,0	-89,6	221,2	343,4	60,5
	3	82,0	1 295,1	111,0	-136,4	216,1	349,2	37,8
	4	11,4	179,4	111,0	-181,1	216,6	347,6	12,1
	Suma/vážený průměr	100	1 579,3	111,0	-138,4	216,5	348,6	36,4
ŘVO	1	0,5	51,3	113,2	6,4	313,5	338,6	86,4
	2	52,4	5 809,1	111,6	-60,2	250,9	327,3	58,4
	3	43,9	4 865,6	111,5	-123,9	234,0	331,3	27,0
	4	3,3	361,7	111,5	-173,2	225,4	334,0	6,3
	Suma/vážený průměr	100	11 087,7	111,6	-91,5	243,0	329,3	43,0
BVO	1	8,6	994,8	123,6	13,0	329,0	353,4	103,0
	2	63,2	7 333,7	120,1	-40,6	294,9	347,6	82,9
	3	25,9	3 011,0	121,9	-108,4	296,7	353,0	38,9
	4	2,3	267,9	125,4	-165,4	294,3	373,7	23,0
	Suma/vážený průměr	100	11 607,4	121,0	-56,5	298,3	350,1	71,8
HVO	1	26,2	83,4	134,1	23,2	377,4	372,5	110,0
	2	43,4	138,1	132,1	-39,2	354,7	368,4	86,4
	3	27,1	86,4	134,2	-109,1	351,4	375,1	41,9
	4	3,2	10,3	136,2	-166,7	343,5	384,1	22,1
	Suma/vážený průměr	100	318,1	133,3	-45,9	359,4	371,8	78,4

**Tabulka 10.** Plošné zastoupení, délka vegetačního období, vláhová bilance, srážky, vláhová potřeba (Vc) a vzlínající podzemní voda (Wk) pro jednotlivé kategorie dostupnosti půdní vody a zemědělské výrobní oblasti za vegetační období **2009-2018: Polované brambory**

ZVO	Kategorie dostupnosti půdní vody	Plocha		Vegetační období	Vláhová bilance	Srážky	Vc	Wk
		%	km <sup>2</sup>	Dny	mm			
KVO	1	-	-	-	-	-	-	-
	2	1,9	30,0	111,0	-88,6	222,1	342,1	60,5
	3	78,9	1 246,0	111,0	-152,1	205,8	362,2	40,3
	4	19,2	303,2	111,0	-197,5	205,2	362,7	16,3
	Suma/vážený průměr	100	1 579,3	111,0	-159,6	206,0	361,9	36,1
ŘVO	1	0,05	5,4	115,0	7,4	319,6	341,9	85,6
	2	39,8	4 408,4	111,7	-66,2	255,4	342,8	63,6
	3	54,5	6 047,8	111,5	-127,4	240,6	348,1	31,7
	4	5,6	626,1	111,4	-180,1	235,8	354,8	10,7
	Suma/vážený průměr	100	11 087,7	111,6	-106,0	246,3	346,4	43,3
BVO	1	6,2	719,1	121,8	15,8	345,0	355,4	98,0
	2	61,1	7 094,1	120,1	-43,2	301,7	358,0	84,7
	3	28,5	3 312,5	121,8	-111,0	300,9	365,8	44,4
	4	4,1	481,6	125,5	-171,8	291,2	387,2	26,7
	Suma/vážený průměr	100	11 607,4	120,9	-64,2	303,7	361,3	71,6
HVO	1	22,0	69,8	135,2	33,1	400,7	372,7	106,6
	2	44,2	140,5	131,6	-37,0	358,8	373,2	87,9
	3	25,6	81,5	133,3	-105,6	349,4	381,6	48,9
	4	8,3	26,4	136,9	-184,0	317,7	404,1	32,5
	Suma/vážený průměr	100	318,1	133,2	-51,4	362,2	377,8	77,4



**Obrázek 12.** Kategorie vláhové bilance pro brambory polorané za období 1981 – 2010



**Obrázek 13.** Kategorie vláhové bilance pro brambory polorané za období 2009 – 2018

Navržené kategorie VB diferencují dostupnost půdní vody pro jednotlivé plodiny. Zařazení do kategorií 3 a 4 představuje pro plodiny vystavení střednímu a silnému stupni vláhového deficitu, který souvisí s půdní vlhkostí nižší než BSD (vyčerpáno 50-60 % z VVK), resp. nižší než BV (vyčerpáno 80-90 % VVK, tj. stav půdního sucha). Tyto podmínky už vedou k redukci plodinového výnosu. Míra výnosových ztrát závisí na období, intenzitě a délce vodního stresu (Plaut 1995). Ozimy s celkovým zastoupením kategorií 3 a 4 ve výši 20 (28) % (pšenice) a 14,5 (19) % (řepka) byly méně postiženy vodním stresem a výnosovými ztrátami ve srovnání s jařinami (brambory 41, resp. 49 %, kukuřice 40, resp. 54 %). Ozimá pšenice je více odolná vodnímu stresu, neboť pochází ze sušších oblastí a tudíž dokáže efektivně využít zásoby půdní vody (Daryanto et al. 2016). I když kořenový systém řepky je při čerpání vody z půdy stejně účinný jako u pšenice, je řepka na nižší obsah vody v půdě citlivější. To znamená, že účinnost využití vody pro tvorbu výnosu je nižší a snižování výnosů při vodním deficitu je intenzivnější (Hess et al. 2015). Nejnižší vodní stres u řepky zjištěný uvedenou metodou byl vysvětlen nejnižší denní  $V_c$  z vybraných plodin (1,8–2,0 mm ve srovnání s 2,2–2,4 mm pro pšenici, 2,6–3,1 mm pro kukuřici a 2,8–3,1 mm pro brambory). Brambory jakožto plodina mírného pásma jsou ve srovnání s uvedenými ozimami méně odolné vůči vodnímu stresu, neboť mají nižší schopnost využívat zásobu půdní vody a k poklesu jejich výnosu dojde již při vyčerpání 45-50 % VVK (Harris 1978, Haberle et al. 2015, Fleisher et al. 2013). Obdobně kukuřice pocházející z vlhčích oblastí je více citlivá na vodní stres. Vyšší míra vodního stresu u brambor a kukuřice byla způsobena i vyšší  $V_c$ .

Rozsah kategorie 3 a 4, indikující potřebu doplňkové závlahy, byl pro jednotlivé plodiny různý (pšenice 20, resp. 28 %, silážní kukuřice 40, resp. 54 %, polorané brambory 41, resp. 49 %, řepka 15, resp. 19 %). Využití stávajících závlahových systémů je v současné době v ČR neuspokojivé (Novák et al. 2016). Zatímco v roce 1989 zemědělské podniky využívaly závlahové soustavy na 75–80 % zavlažovatelné plochy, v roce 1994 to bylo na 35–40 % a v roce 1998 pouze na 12–15 % (Potopová et al. 2018). V současné době je zavlažováno 25–30 % zavlažovatelné plochy (Trnka et al. 2017). Nejvíce postiženými oblastmi s extrémně vysokými teplotami jsou střední Čechy a jižní Morava. Od 90. let 20. století dochází k plošnému rozšiřování výskytu tohoto jevu do ostatních oblastí ČR s výrazným nárůstem v západních Čechách. S očekávanými nižšími zdroji dostupné vody pro závlahu je vhodné uvažovat o tzv. deficitní závlaze (ca 60-75 % plné závlahy), která nutí rostliny adaptovat se na nižší množství vody při současném zvýšení účinnosti využití vody (Cid et al. 2018). Nevýhodou deficitní závlahy jsou nižší výnosy a riziko zasolení u kapkové závlahy. Vždy je však důležité vyvarovat se deficitnímu zavlažování v kritických obdobích růstu.

Vláhové potřeby plodin  $V_c$  počítané jako  $ET_c$  podle metody FAO-56 byly pro období 2009-2018 vyšší (pšenice o 4-8 %, kukuřice o 2-5 %, řepka o 5-8 %, brambory o 2-5 %) ve srovnání s klimatickým normálem (1981-2010). Takto počítaná  $V_c$  byla výrazně vyšší ve srovnání s  $V_c$  uvedenými v ČSN 75 0434, které vycházejí z výsledků závlahářských československých polních experimentů z 50.-70. let 20. století. Tato norma uvádí např. pro oblast jižní Moravy  $V_c$  pro ozimou pšenici 240 mm, pro silážní kukuřici 310 mm, pro řepku 240 mm a rané brambory 200 mm. I když byl zohledněn fakt, že metoda FAO-56 nadhodnocuje  $V_c$  v průměru o 9 % (Cid et al. 2018), tak přesto byly zjištěné rozdíly  $V_c$  pro pšenici, brambory a řepku oproti ČSN 75 0434 vyšší než 100 mm. Tento nárůst  $V_c$  lze vysvětlit jak klimatickou změnou, tj. nárůstem  $ET_0$ , tak i nárůstem výnosů v důsledku zvýšených dávek hnojiv a vyšlechtěním nových výnosnějších odrůd (např. krátkostébelných obilnin), tj. nárůstem  $K_c$ . Pro jižní Moravu (nejteplejší a nejsušší část ČR) uvádějí Žalud et al. (2013) nárůst deficitu VB v posledních dvou dekádách období 1961-2010 vzestupem teploty vzduchu pro 10 měsíců v roce o 0,5-1,7°C, poklesem srážek v jarních měsících o 3-12 mm a naopak nárůstem srážek v letních měsících o 7-16 mm.

## Závěr

Popsaný postup zjištění dlouhodobé VB umožňuje kategorizaci dostupnosti půdní vody pro čtyři polní plodiny v měřítku půdního bloku. Plodinové vláhové potřeby zjištěné metodou FAO-56 byly výrazně vyšší ve srovnání s vláhovými potřebami vypočítanými v 50.-70. letech 20. století. Představená metoda zjištění dlouhodobé VB a kategorizace dostupnosti půdní vody představuje vhodný nástroj pro hodnocení a navrhování plošných změn v osevních postupech a systémech zpracování půdy s cílem zlepšit dostupnost vody pro rostlinnou výrobu. Na základě kategorizace dostupnosti půdní vody je možné navrhnout efektivní umístění zavlažovacích systémů v oblastech postižených vodním deficitem v dlouhodobém horizontu, nebo navrhnout regulaci drenážního odtoku.

## 5. Vláhová potřeba pro vinice, sady a vybrané druhy zeleniny a ovoce

Pěstování révy vinné, ovocných stromů a zeleniny je v podmínkách ČR často závislé na doplňkové závlaze. Pokud spotřeba vody na závlahu není vyšší než vláhový deficit, tj. nepřesahuje  $V_c$ , je správcí vodních toků poskytována bezúplatně. Pěstitelé tuto skutečnost však musí prokazovat. Za tímto účelem jsou využívány hodnoty  $V_c$  z ČSN 75 0434 (tzv. směrné hodnoty), které, jak už bylo uvedeno, se většinou značně odchyľují od současných  $V_c$ . **Tab. 11** srovnává  $V_c$  dle metody FAO-56 z dekády 2009-2018 (pro vybrané půdní bloky dolního Pojizeří a Hustopečska) a směrné hodnoty ČSN 75 0434 pro vinice a vybrané druhy ovocných dřevin, zeleniny

a pro rané brambory. Ze srovnání vyplývá, že Vc z FAO-56 jsou pro většinu zelenin a pro rané brambory vyšší než směrné hodnoty (červeně zvýrazněno), což umožňuje vyšší bezplatné čerpání závlahové vody. Pro jednotlivé půdní bloky vedené v LPIS lze nezaplatněné množství závlahové vody zjistit pomocí KVP. Detailní postup je uveden v návodu ke KVP (str. 5), který je ke stažení na úvodní stránce aplikace (<https://vlaha.vumop.cz/>). Předpokladem užití tohoto postupu je znalost srážkového úhrnu pro danou vegetační sezónu.

**Tabulka 11.** Vláhová potřeba vybraných druhů plodin/kultur (směrné hodnoty z ČSN 75 0434 pro Polabí nebo Jižní Moravu a FAO-56 pro vybrané půdní bloky v dolním Pojizeří a okolí Hustopečí pro období 2009-2018). Červeně zvýrazněné jsou významně vyšší hodnoty Vc dle FAO-56.

Druh plodiny/kultury	Vegetační období	Vláhová potřeba Vc (mm)	
		ČSN 75 0434 Směrné hodnoty	FAO-56 (2009-2018)
		Jižní Morava	Hustopečsko
Vinice – stolní odrůdy	1.4.-31.8.	340	301
Meruňky	1.4.-31.8.	550	470
Broskvoně pozdní	1.4.-30.9.	650	640
		Polabí	Dolní Pojizeří
Celer	15.5.-31.10.	440	428
Květák pozdní	15.6.-30.9.	350	297
Mrkev (karotka)	15.3.-30.6.	200	307
Okurka (salátová)	1.5.-30.9.	400	411
Paprika	20.5.-30.9.	340	372
Rajčata	15.5.-15.9.	250	430
Červená řepa	15.4.-31.10.	350	453
Salát raný	15.3.-15.5.	180	131
Špenát pozdní	15.8.-15.11.	120	115
Zelí pozdní	15.5.-31.10.	380	414
Brambory rané	1.4.-30.6.	200	273

## 6. Řízení závlahového režimu pomocí půdních hydrolimitů a hloubky kořenů

### 6.1. Odhad polní vodní kapacity a bodu vadnutí pro konkrétní půdní podmínky ČR

#### Teoretický základ k praktickému použití PTF

Hydrofyzikální vlastnosti půdy popisující retenci vody v půdě jsou důležité pro mnoho aplikací, ať už k posouzení a modelování srážko-odtokových procesů, pohybu vody a kontaminantů ve vadózní zóně, tak i k ryze praktickým účelům v agronomii, jako je řízení a plánování závlah a aplikace agrochemikálií (Pachepsky et al. 2006).

Stanovení hydrofyzikálních vlastností půdy jsou však pro běžného zemědělce nedostupné, s výjimkou časově a finančně náročného stanovení ve specializovaných laboratořích. Zároveň lze říci, že dobré odhady namísto přímých měření mohou být dostatečně přesné a dobře použitelné ve zmíněných polních aplikacích. Důležité je vždy posoudit míru nejistoty odhadů (Minasny 2000, Wösten et al. 2001).

PTF jsou jedním z užitečných nástrojů pro odhad hydrofyzikálních dat z jednodušeji stanovitelných půdních vlastností (tzv. prediktorů). Termín PTF je původně definován jako statistické regresní rovnice vyjadřující vztahy mezi půdními vlastnostmi (Bouma 1989). Populární definice říká, že PTF převádí data, která máme, na data, která potřebujeme (Minasny et al. 1999).

Nejčastěji se jako prediktory používají zrnitostní kategorie, objemová hmotnost suché půdy a obsah organické hmoty (Nemes et al. 2003). Nezbytným předpokladem pro rozvoj PTF je dostupnost zdrojové databáze, která obsahuje potenciální prediktory i hydrofyzikální vlastnosti. V ČR byla shromážděna databáze hydrofyzikálních vlastností půd HYPRESCZ (Miháliková et al. 2013), která svou strukturou a zpracováním vychází z evropské databáze HYPRES (Wösten et al. 1999).

PTF by se neměly používat pro extrapolaci dat mimo území, pro které byly původně odvozeny (Wösten et al. 1999, Nemes et al. 2003, Nguyen et al. 2015, Zhang and Schaap 2017, Contreras and Bonilla 2018). Řada publikovaných prací se opírá o data z Evropy (Wösten et al. 1999, Tóth et al. 2015), globální databáze (Schaap et al. 2001) nebo data ze sousedních zemí (Vereecken et al. 1989), je ovšem doporučeno použít již odvozené PTF na data s podobným rozsahem prediktorů nebo z podobné pedologické kategorie (tj. podobná kombinace půdotvorných faktorů vedoucí k půdám s podobnou variabilitou hydraulických vlastností).

## Rozdělení PTF

PTF lze dělit podle několika kritérií (Minasny et al. 1999, Tomasella et al. 2003).

Podle místní použitelnosti a charakteru prediktorů:

- texturní
- kontinuální.

Podle charakteru odhadovaných dat:

- bodové
- parametrické
- fyzikálně-empirické.

**Texturní PTF:** Odhadují průměrné hydraulické charakteristiky pro dané zrnitostní třídy (půdní druhy). Jsou předkládány ve formě jednoduché tabulky.

**Kontinuální PTF:** Sada regresních rovnic, zkoumajících závislost modelového parametru či vlhkosti v určité tlakové výšce na hodnotách prediktorů. Spojitý výstup z těchto PTF je odhad hydraulické vlastnosti pro konkrétní půdu se známými (měřenými) prediktory.

**Bodové PTF:** Empirické funkce, které odhadují vlhkost v předem definovaných hodnotách potenciálů, nejčastěji při -10, -33 a -1500 kPa, které jsou potřeba při určení množství vody dostupné pro rostliny.

Odhad retenční čáry půdní vlhkosti tímto typem PTF byl proveden např. v pracích Gupty a Larsona (1979) nebo Šútora a Štekauerové (2000).

**Parametrické PTF:** Jsou založeny na předpokladu, že vztah půdní vlhkosti a vlhkostní tlakové výšky může být popsán rovnicí s určitým počtem parametrů, nejčastěji se používá rovnice van Genuchtena (1980), která byla použita např. v pracích autorů Scheinost et al. (1997), Schaap et al. (1998), Minasny et al. (1999), Wösten et al. (1999), Tomasella et al. (2003), Matula and Špongrová (2007), Matula et al. (2007) a Vereecken et al. (2010). Parametrický přístup převažuje ve studiích modelování transportních procesů, protože produkuje spojité funkce hydraulických vlastností, není tedy vázán měřením vlhkostí v určitých potenciálech a lze při odvozování funkce kombinovat vstupy měřené v různých potenciálech.

## Metody pro odvození PTF

Nejjednodušší metodou používanou pro odvození PTF je vícenásobná lineární a nelineární regrese (např. Gupta and Larson 1979, Rawls et al. 1982, Šutor a Štekauerová 2000, Minasny et al. 1999, Wösten et al. 1999, Minasny 2000). Často využívanou technikou jsou umělé neuronové sítě, z nichž nejznámější je Rosetta (Schaap et al. 2001). Dále se využívají nejrůznější neparametrické techniky, založené na rozpoznávání vzájemné podobnosti dat. Algoritmus v neznámé situaci

použije řešení, které bylo kladně přijato v situaci podobné, k čemuž slouží databáze osvědčených řešení. Vyřešené případy se však někdy musí přizpůsobit (změnit) podle nové situace.

V této metodice bude dále použita technika k-NN (k-nearest neighbor, metoda nejbližších vzdáleností nebo také metoda nejbližšího souseda), patřící k algoritmům tzv. líného učení (lazy learning). Aplikace této techniky znamená identifikaci a získání nejbližšího (nejvíce podobného) objektu k určitému počtu („k“) objektů uložených v paměti. Kvalita takovýchto odhadů závisí mj. na tom, jak jsou nastaveny objekty (jejich euklidovská vzdálenost), aby byly nejbližšími k cílovým objektům (Nemes et al. 2006). Metoda byla ověřena v řadě prací (Nemes et al. 1999, Patil et al. 2012, Miháliková et al. 2015, Miháliková et al. 2016, Haghverdi et al. 2015). V ČR byla tato metoda použita pro plošný odhad PVK a BV s využitím texturních PTF (Miháliková et al. 2014).

### **Půdní hydrolimity**

Cílem metody není odhadnout celou retenční čáru půdní vlhkosti, ale pouze dva základní agronomicky významné hydrolimity, PVK a BV. Tento koncept zavedli již Veihmeyer and Hendrickson (1927), následující popis je založen na práci Kutílka (1978).

**Polní vodní kapacita** je vlhkost půdy, kterou je půda schopna udržet delší dobu po závlaze (výtopě) a infiltraci do profilu. V terénu nelze dosáhnout rovnovážného stavu, jde o dynamický proces, proto je určení velmi přibližné. Odpovídá přibližně sacím tlakům v rozsahu -10 až -50 kPa. Polní vodní kapacita popisuje maximální vlhkost, která zůstává v půdě dva nebo tři dny poté, co byla půda zavlažena a volná drenáž je zanedbatelná. Tato hodnota kolísá v závislosti na dynamických vlastnostech půdního profilu, jako je hydraulický gradient, hystereze, rozvrstvení půdního profilu, bobtnání a smršťování či přítomnost nepropustné vrstvy nebo vysoká hladina podzemní vody, proto nelze obecně definovat hodnotu potenciálu pro tuto vlhkost. Nicméně pro výpočty a odhady je důležité asociovat polní kapacitu s hodnotou matričního potenciálu. Ve světě se často používá hodnota -33 kPa, rozšířená používáním amerických databází.

V ČR známé hydrolimity retenční vodní kapacita nebo maximální kapilární kapacita podle Nováka se stanovují v laboratoři podle přesně stanovených metodik místo obtížně získatelné polní vodní kapacity. Obecně platí, že hodnota polní vodní kapacity je nižší než hodnoty těchto empirických hydrolimitů.

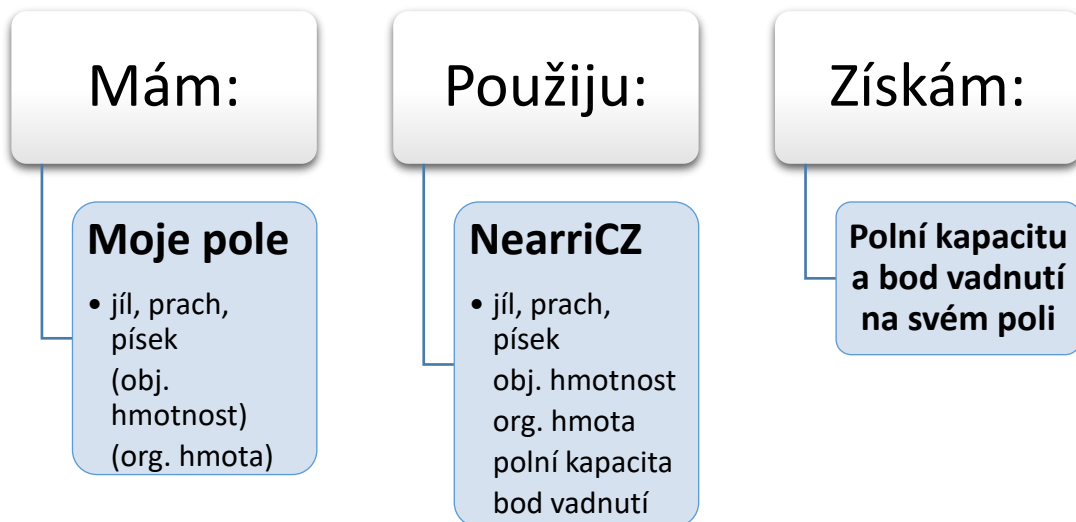
**Bod vadnutí** se považuje za spodní limit dostupnosti vody pro většinu rostlin. Je to vlhkost půdy, při které rostlina trvale vadne, absorpce vody kořeny je menší než transpirace a vadnutí nepřestává ani po vložení rostlin do atmosféry nasycené vodní

parou. Skutečný bod trvalého vadnutí je ve velké šíři hodnot, závisí na druhu rostliny, vegetačním stadiu, meteorologických faktorech, osmotickém tlaku půdního roztoku aj. Dohodou byl bod vadnutí stanoven jako vlhkost při sacím tlaku -1500 kPa (Richards and Weaver 1943).

**Využitelná vodní kapacita** je množství vody, které se udrží v půdě po delší dobu a které je rostlinami využitelné. Vypočte se jako rozdíl polní vodní kapacity a bodu vadnutí. Je důležité si uvědomit, že hranice vody využitelné rostlinami v půdním profilu sahají od povrchu půdy po konec kořenové zóny. Hloubka kořenů je však různá pro různé druhy rostlin a v průběhu růstu se mění (např. Svoboda, Haberle 2014, Svoboda et al. 2018). Dále jsou skutečné hranice využitelné vodní kapacity ovlivňovány heterogenitou a rozvrstvením profilu a fluktuací hladiny podzemní vody.

## 6.2. Popis odhadu polní kapacity a bodu vadnutí programem k-Nearest

Software k-Nearest (Nemes et al. 2008) je nástroj sloužící podobně jako PTF pro odhad vlhkosti půdy při matričních potenciálech -33 kPa a -1500 kPa, tedy tzv. hydrolimitů PVK a BV. Tento software, fungující na principu analogie (zde algoritmus líného učení), tzv. metodě nejbližšího souseda, odhaduje hydrolimity v cílové půdě pomocí známého zrnitostního rozboru (obsahy písku, prachu a jílu), a/nebo objemové hmotnosti suché půdy a obsahu organické hmoty. Schéma odhadu je znázorněno na **Obr. 14**. Metodu můžeme zařadit mezi kontinuální a bodové PTF.



**Obrázek 14.** Schéma použití programu k-Nearest

Program pracuje se dvěma základními soubory: referenční datový soubor a aplikační datový soubor.

- **Referenční datový soubor** je výchozí databáze půd, která je použita pro odhad neznámé polní kapacity a bodu vadnutí. Obsahuje identifikaci jednotlivých záznamů a půdní vlastnosti (prediktory) i změřené body retenční čáry půdní vlhkosti, v tomto případě pouze dva body – polní kapacitu a bod vadnutí. Program obsahuje základní referenční datový soubor vycházející z americké databáze NRCS-SCS Soil Characterization Database, ale je možné ho snadno vyměnit za jakoukoliv vlastní databázi (viz dále).
- **Aplikační datový soubor** je třeba připravit uživatelem podle instrukcí v manuálu (či podle přiloženého vzoru, viz dále **Obr. 16**). Obsahuje identifikaci záznamů, známé prediktory a připravené sloupce pro odhady polní kapacity a bodu vadnutí.

Nejistota odhadu je vyjádřena směrodatnou odchylkou, kterou program taktéž spočítá, a to pomocí tzv. „bootstrappingu“ i pro odhady s původně nezměřenými daty.

Odkaz ke stažení programu „Nearest Neighbor Soil Water Retention Estimator“: <https://www.ars.usda.gov/research/software/download/?softwareid=130&modecode=80-42-05-10#downloadForm>

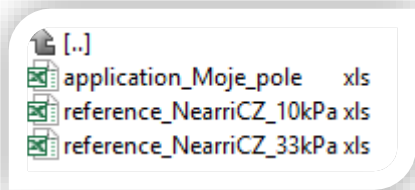
Vyplňte jednoduchý registrační formulář, stáhněte a nainstalujte program dle instrukcí. Program je freeware, má pouze 3,2 MB a nevyžaduje žádné další informace. Pro jeho správnou funkci je potřeba nastavit v operačním systému tečku jako desetinný oddělovač.

Program obsahuje detailní popis a uživatelskou příručku v anglickém jazyce.

Dále stáhněte databázi NearriCZ z tohoto odkazu:

<https://katedry.czu.cz/kvz/nearricz>

Databáze NearriCZ byla vytvořena z aktuálně dostupných dat orných půd z celé ČR. Rozbalte zazipovaný soubor do samostatné složky. Obsahuje tři sešity MS Excel (viz **Obr. 15**), dva referenční datové soubory a jeden vzorový aplikační soubor.



**Obrázek 15.** Soubory databáze NearriCZ

Oba referenční datové soubory jsou vlastně samostatné databáze půdních vzorků, které se liší hodnotou matričního potenciálu půdní vody (jinými slovy sacího tlaku půdy), při kterém byla stanovena půdní vlhkost asociovaná s polní kapacitou. Konkrétně jsou to hodnoty -10 kPa a -33 kPa.

- Databáze „Reference\_NearriCZ\_10kPa.xls“ obsahuje celkem 873 půdních vzorků a její použití je vhodné pro lehké, písčité půdy, které snadno vysychají, a dále pro plodiny citlivé na sucho.
- Databáze „Reference\_NearriCZ\_33kPa.xls“ obsahuje celkem 1003 půdních vzorků a její použití je vhodné pro ostatní půdy a plodiny.
- Soubor „Application\_Moje\_pole.xls“ je vzorová databáze půd uživatele (**Obr. 16**).

Program podporuje soubory typu \*.mdb, \*.xls (pozor, \*.xlsx není podporován!), \*.txt a \*.csv, následující příklad je popsán na souboru ve formátu MS Excel.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	SAMPLE	PEDON	SAND	SILT	CLAY	BD	OM	W33	W1500
2	1	moje_pole	0.5894	0.2643	0.1463	1.543	3.62	-999	-999
3	2	moje_pole	0.584	0.2853	0.1307	1.414	2.241	-999	-999
4	3	moje_pole	0.8302	0.1122	0.0576	1.35	0.001	-999	-999
5	4	moje_pole	0.3235	0.4668	0.2097	1.41	0.001	-999	-999
6	5	moje_pole	0.5757	0.2799	0.1444	1.664	3.62	-999	-999
7	6	moje_pole	0.5307	0.3068	0.1625	1.485	2.758	-999	-999
8	7	moje_pole	0.6245	0.2408	0.1347	1.497	3.276	-999	-999
9	8	moje_pole	0.5608	0.2599	0.1793	1.395	1.207	-999	-999
10	9	moje_pole	0.6715	0.2014	0.1271	1.426	0.001	-999	-999
11	10	moje_pole	0.097	0.498	0.405	1.548	2.414	-999	-999

**Obrázek 16.** Vzor aplikačního datového souboru

Požadavky programu k-Nearest na úpravu dat jsou detailně popsány v uživatelské příručce programu, zde jsou uvedeny hlavní zásady.

Aplikační soubor má vždy 9 sloupců (**Tab. 12**), první řádek obsahuje záhlaví sloupců přesně tak, jak je uvedeno ve vzorovém souboru. Nepoužívejte znaky s diakritikou.

**Tabulka 12.** Přehled údajů v aplikačním datovém souboru

Č. sloupce	Záhlaví (přesně dle vzoru)	Vlastnost půdy	Formát/jednotka
Sloupec 1	SAMPLE	Identifikace vzorku 1	Text, max. 20 znaků, bez mezer
Sloupec 2	PEDON	Identifikace vzorku 2	Text, max. 20 znaků, bez mezer
Sloupec 3	SAND	Písek (0,05 – 2 mm)	Číslo, rozsah: 0-1; [g/g]
Sloupec 4	SILT	Prach (0,002 – 0,05 mm)	Číslo, rozsah: 0-1; [g/g]
Sloupec 5	CLAY	Jíl (<0,002 mm)*	Číslo, rozsah: 0-1; [g/g]
Sloupec 6	BD	Objemová hmotnost suché půdy	Číslo, rozsah: 0-2.65; [g/cm <sup>3</sup> ]
Sloupec 7	OM	Organická hmota v půdě	Číslo, rozsah: 0-100; [%]
Sloupec 8	W33	Vlhkost půdy při -33 kPa	Číslo, rozsah: 0-1; [m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> ]
Sloupec 9	W1500	Vlhkost půdy při -1500 kPa	Číslo, rozsah: 0-1; [m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> ]

Chybějící údaje by měly být nahrazeny fiktivní hodnotou „-999“. Pokud pole necháte prázdná, může to vést k nereálným odhadům.

- Fiktivní hodnoty „-999“ jsou povoleny pouze v polích BD, OM, W33 a W1500.
- Hodnoty zadané pro SAND, SILT a CLAY se v součtu musí rovnat přesně 1. V těchto polích nejsou povoleny žádné chybějící hodnoty. Vzorky s chybějícími nebo fiktivními hodnotami v těchto polích jsou automaticky vyřazeny z výpočtu.
- \*Pokud je k dispozici pouze frakce jílu <0,001 mm, lze ji přepočítat na frakci <0,002 dle rovnice Němečka et al. (2011):  

$$y = 1,1503x + 2,3676 \quad (R^2 = 0,9748)$$
 kde: x- % částic <0,001 mm, y- % částic <0,002 mm, R<sup>2</sup>-determinační koeficient

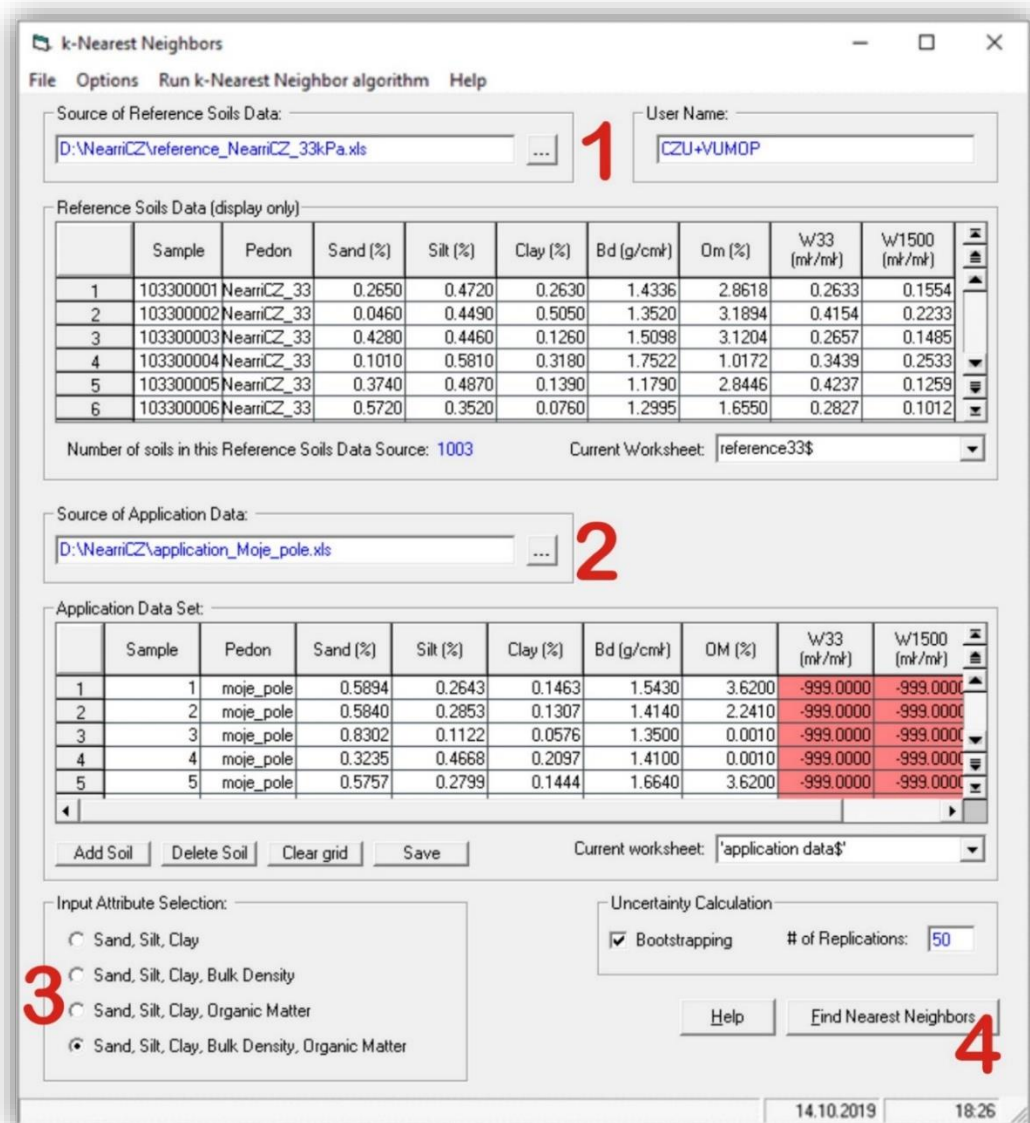
Spustíte program, objeví se následující okno (**Obr. 17**).

- Krok 1: Zvolte si jednu ze dvou databází NearriCZ (Reference\_NearriCZ\_10kPa.xls nebo Reference\_NearriCZ\_33kPa.xls) a zadejte k ní cestu v „Source of Reference Soils Data“. Provede se automatická kontrola konzistence dat a vygeneruje se zpráva.
- Krok 2: Zadejte cestu k aplikačnímu souboru, který byl předem připraven dle výše uvedených instrukcí. Provede se automatická kontrola konzistence dat a vygeneruje se zpráva, jako např. na **Obr. 18**. Zpráva oznamuje chybu, chybějící hodnoty hydrolimitů. To je v pořádku, můžeme pokračovat.
- Krok 3: Input Attribute Selection. V tomto kroku zvolte, které půdní vlastnosti mají být použity pro odhad.

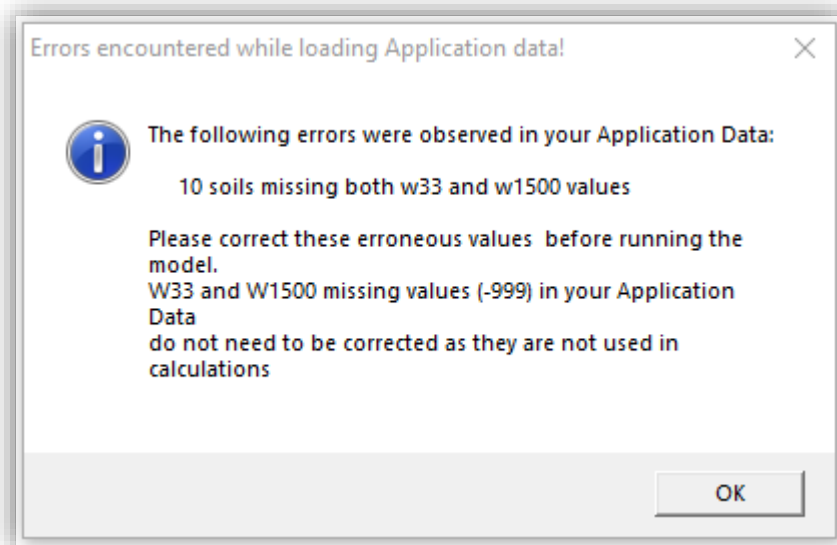
*Zrnitostní kategorie písek, prach a jíl jsou použity vždy. Pokud např. pro naši půdu známe obsah organické hmoty, ale neznáme její objemovou hmotnost, zvolíme třetí kombinaci a sloupec BD vyplníme fiktivními hodnotami -999. Pokud bychom zvolili*

druhou či čtvrtou kombinaci, program by vzorky s chybějícími hodnotami objemové hmotnosti automaticky vyřadil.

- Krok 4: Nastavení v poli Uncertainty Calculation není třeba měnit, takže stiskneme tlačítko „Find Nearest Neighbors“.

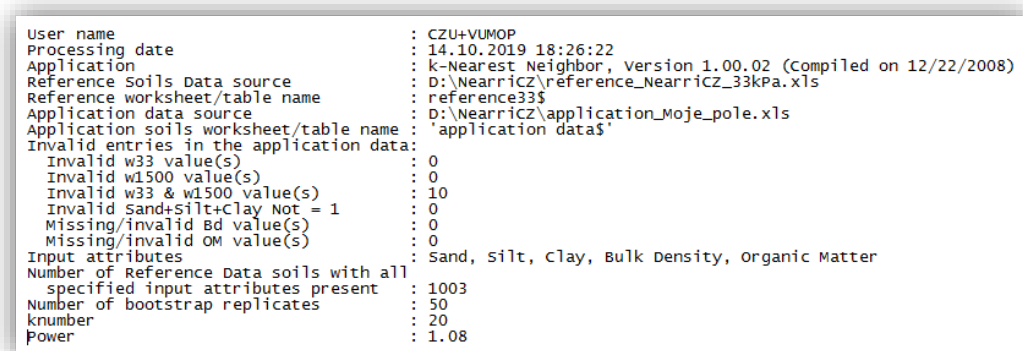


**Obrázek 17.** Hlavní okno programu k-Nearest. Číslice označující pracovní kroky jsou popsány v textu



**Obrázek 18.** Chybová zpráva o datech v aplikačním datovém souboru

Vygenerovaný soubor uložíme, nejprve však zvolíme formát výstupního souboru (např. tabulku \*.xls). V horní části uloženého souboru je výstupní zpráva (**Obr. 19**) obsahující mj. počty a kompletnost půdních vzorků.



**Obrázek 19.** Výstupní zpráva programu k-Nearest

Spodní část obsahuje výsledek: odhadnuté hydrolimity polní kapacitu (PRED33) a bod vadnutí (PRED1500), a dále směrodatnou odchylku těchto odhadů (STDEV33 a STDEV1500), viz **Obr. 20**. (Poslední sloupec „EXACTMATCH“ indikuje, zda se v referenčním datovém souboru nachází identický vzorek. Pokud ano, bude tam písmeno Y, pokud ne, bude tam písmeno N, jako ve vzorovém výpočtu.)

SAMPLE	PEDON	SAND	SILT	CLAY	BD	OM	W33	W1500	PRED33	STDEV33	PRED1500	STDEV1500	EXACTMATCH
1	moje_pole	0.589	0.264	0.146	1.543	3.62	-999	-999	0.2596	0.0143	0.1339	0.0109	N
2	moje_pole	0.584	0.285	0.13	1.414	2.241	-999	-999	0.2704	0.0131	0.1478	0.0087	N
3	moje_pole	0.83	0.112	0.057	1.35	0.001	-999	-999	0.1722	0.0409	0.075	0.0498	N
4	moje_pole	0.323	0.466	0.209	1.41	0.001	-999	-999	0.3169	0.0178	0.1484	0.0053	N
5	moje_pole	0.575	0.279	0.144	1.664	3.62	-999	-999	0.2496	0.0101	0.1218	0.0108	N
6	moje_pole	0.53	0.306	0.162	1.485	2.758	-999	-999	0.2796	0.0162	0.1516	0.0093	N
7	moje_pole	0.624	0.24	0.134	1.497	3.276	-999	-999	0.268	0.0141	0.1412	0.01	N
8	moje_pole	0.56	0.259	0.179	1.395	1.207	-999	-999	0.259	0.0081	0.1782	0.028	N
9	moje_pole	0.671	0.201	0.127	1.426	0.001	-999	-999	0.2644	0.0148	0.1194	0.0084	N
10	moje_pole	0.097	0.498	0.405	1.548	2.414	-999	-999	0.3586	0.0089	0.1665	0.018	N

**Obrázek 20.** Výstupní tabulka s výsledky odhadů polní kapacity a bodu vadnutí

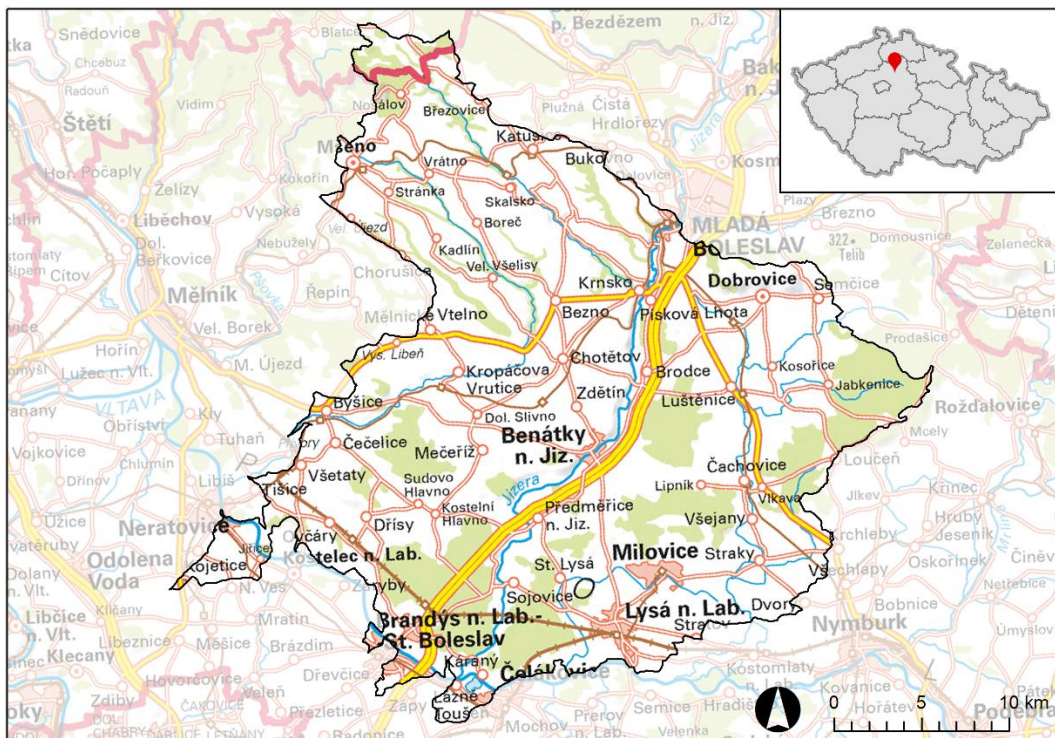
Odhadnuté hydrolimity lze využít pro řízení závlah (kap. 6.4.).

### Závěr

Pedotransferové funkce jsou empirické vztahy mezi půdními vlastnostmi, v tomto případě mezi snadno získatelnými údaji jako je např. zrnitostní složení půdy a obtížně měřitelnými hydrolimity. V této metodice a software se využívá ověřená neparametrická metoda nejbližších vzdáleností implementovaná v softwaru k-Nearest, který byl vyvinut Nemesem et al. (2008) pro odhad polní vodní kapacity a bodu vadnutí pomocí zrnitostního rozboru a variabilně také objemové hmotnosti a/nebo obsahu organické hmoty. Program původně obsahuje základní referenční datový soubor s daty z americké půdní databáze. V rámci řešení projektu byla shromážděna a verifikována data z ČR vhodná pro odhad hydrolimitů našich půd, nazvaná databáze NearriCZ, kterou se nahradí původní datový soubor, uživatel tak získá poměrně spolehlivé odhady polní vodní kapacity a bodu vadnutí platné na území ČR. Nejistota odhadu je vyjádřena směrodatnou odchylkou, kterou program automaticky spočítá. Odhad polní vodní kapacity lze realizovat pro dvě rozdílné hodnoty matričního potenciálu půdy, -10 kPa a -33 kPa, kdy prvně jmenovaná hodnota je vhodnější pro lehčí půdy a citlivé plodiny. Popsaná metoda se snaží vyhovět dvěma základním cílům: 1) co nejpřesněji odhadnout hydrolimity polní vodní kapacitu a bod vadnutí na základě konkrétních dat z určité lokality, 2) umožnit běžnému uživateli tuto metodu jednoduše použít.

### 6.3. Mapy retenční vodní kapacity, bodu vadnutí a využitelné vodní kapacity pro okolí Benátek nad Jizerou

Další možný postup pro odvození hydrolimitů, uplatnitelných zejména pro regionální měřítko, či v případě neexistence vzorků půd z předmětné lokality, uvádí VÚMOP, v.v.i. prostřednictvím map na geoportálu v sekci „Půda v mapách“ (<https://mapy.vumop.cz/>). V této kapitole jsou přestaveny mapové výstupy obsahující půdní hydrolimity (retenční vodní kapacita RVK, BV a VVK) pro vybrané modelové území v okolí Benátek nad Jizerou (**Obr. 21**), kde je velmi časté užívání závlahových systémů. Pro jejich tvorbu byly využity půdní sondy s přesnou taxonomickou a bonitační kategorizací a k nim dostupné analýzy fyzikálního stavu půdy (zrnitost, pórovitost, maximální kapilární vodní kapacita, RVK, objemová hmotnost) minimálně ve svrchních 2-3 půdních horizontech. V případě map RVK a VVK jsou výsledné hodnoty daného parametru součtem hodnot stanovených pro ornici (0-30 cm) a podorničí (30-100 cm).



**Obrázek 21.** Hranice modelového území

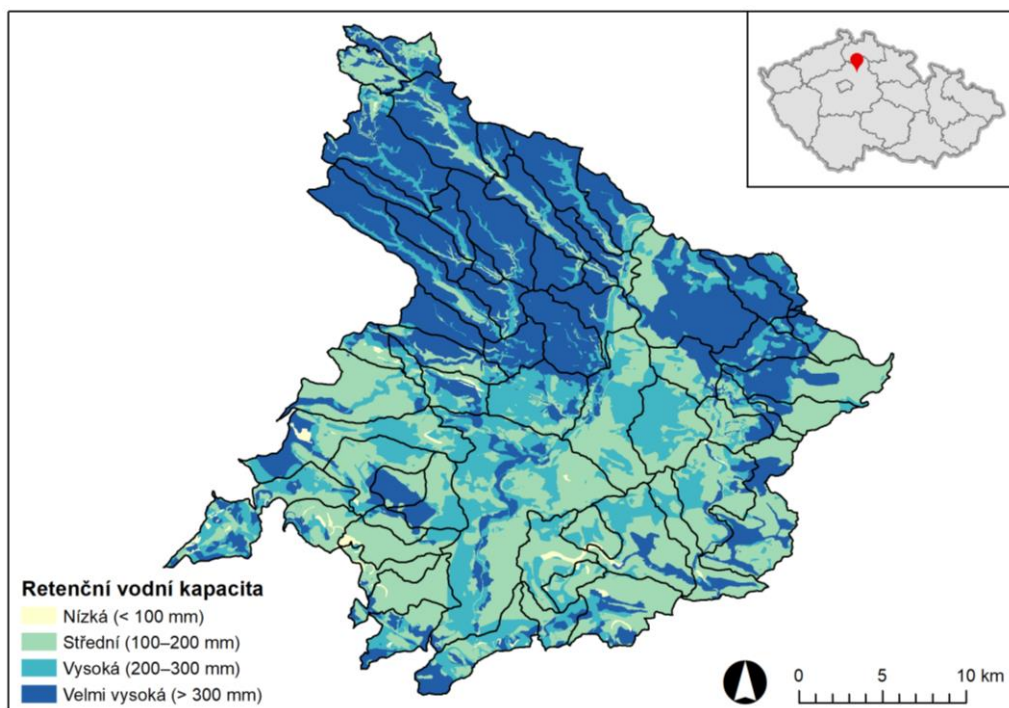
#### Retenční vodní kapacita

Retenční vodní kapacita (schopnost půdy dlouhodobě zadržet vodu) byla stanovena z Kopeckého válečků po 24 hodinách (příp. 2 hodinách) odsávání po maximálním

zaplnění pórů. Ve shodě s předchozí verzí map (Novák et al. 2007) byly hodnoty kalkulovány na skutečnou hloubku půdního profilu a redukovány podle stupně hydromorfismu (zaplnění pórů vodou). Kategorizaci RVK na modelovém území ukazuje **Obr. 22**, který je doplněn **Tab. 13** a **14** se slovním popisem kategorizace, resp. plošným zastoupením jednotlivých kategorií.

**Tabulka 13.** Kategorizace retenční vodní kapacity pro mapové zobrazení

RVK (mm)	slovní popis
<100	nízká
100-200	střední
200-300	vysoká
>300	velmi vysoká



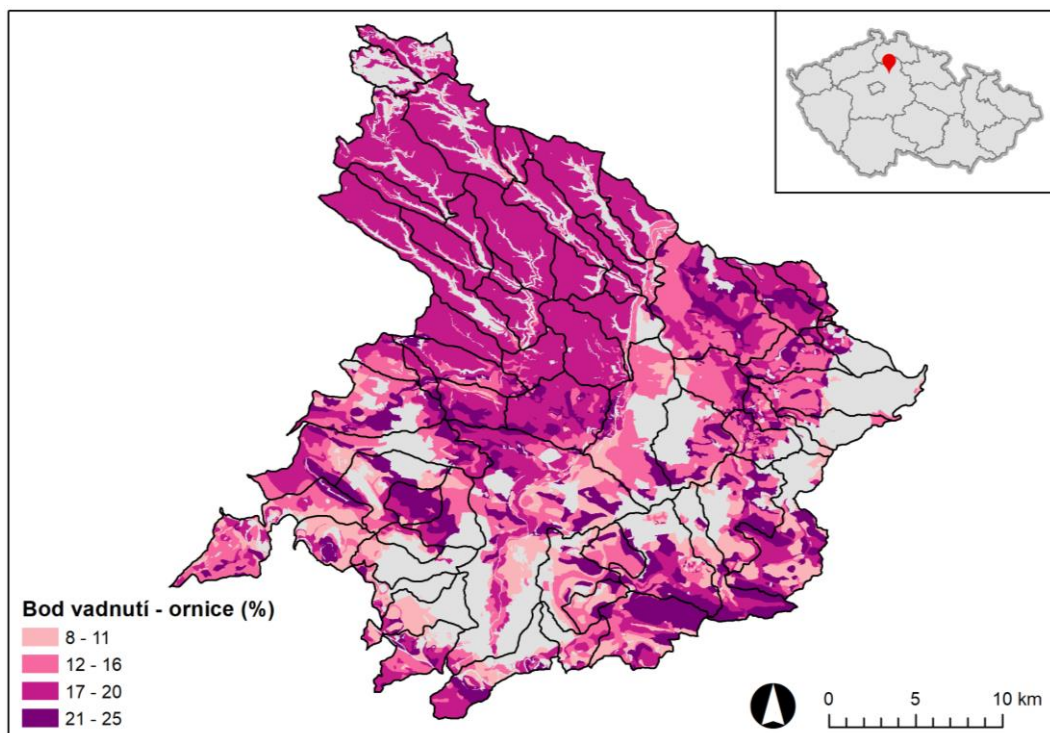
**Obrázek 22.** Mapa retenční vodní kapacity modelového území

**Tabulka 14.** Plošné zastoupení kategorií retenční vodní kapacity na modelovém území

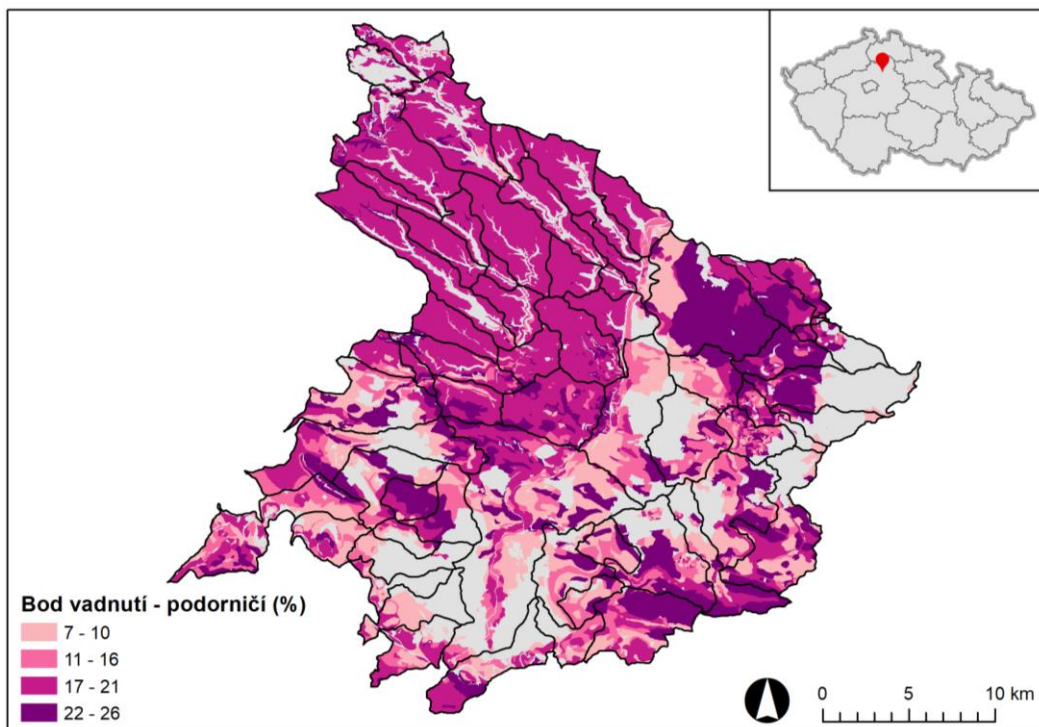
RVK	Plocha (ha)
Nízká (< 100 mm)	752
Střední (100–200 mm)	31 483
Vysoká (200–300 mm)	18 557
Velmi vysoká (> 300 mm)	31 490

### Bod vadnutí

Bod vadnutí byl stanoven na Kopeckého válečcích v přetlakovém přístroji při 1 500 kPa. U některých půdních typů však hodnoty BV chyběly a bylo nutné je doplnit pomocí PTF (Miháliková et al. 2013 a 2014). Hodnoty BV pro orniční vrstvu, resp. podorničí znázorňují **Obr. 23 a 24**.



**Obrázek 23.** Mapa bodu vadnutí modelového území pro ornici (0-30 cm)



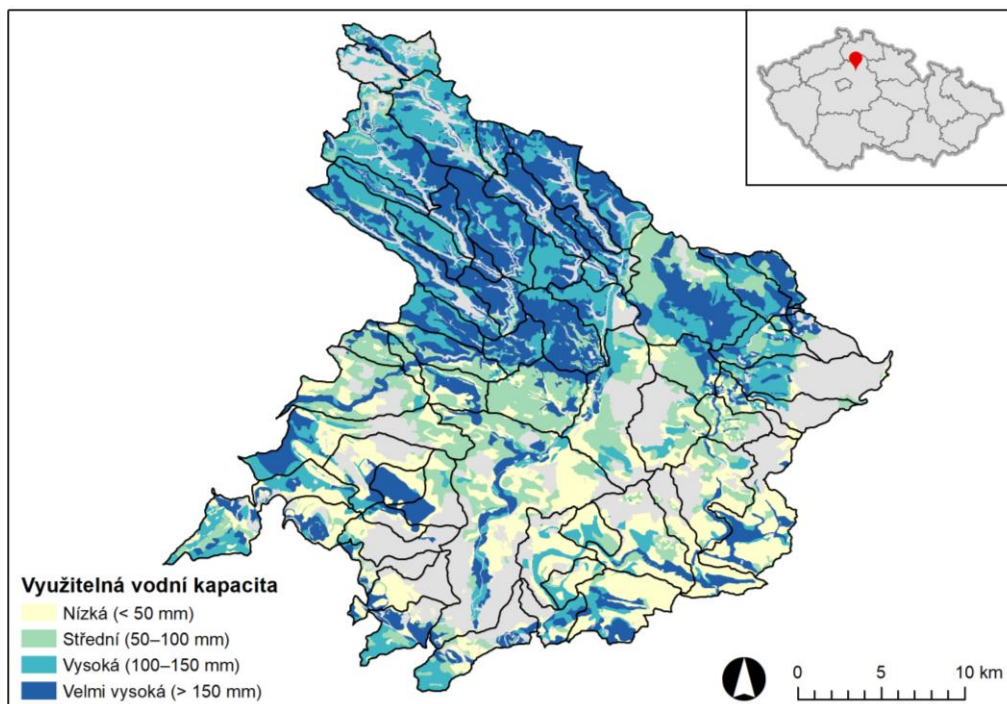
**Obrázek 24.** Mapa bodu vadnutí modelového území pro podorníčí (30-100 cm)

### Využitelná vodní kapacita

Mapa VVK (**Obr. 25**) vznikla na základě rozdílu hodnoty RVK a BV, a to pro každou hlavní půdní jednotku (HPJ). **Tabulky 15 a 16** uvádějí slovní popis kategorizace, resp. plošné zastoupení jednotlivých kategorií VVK.

**Tabulka 15.** Kategorizace využitelné vodní kapacity pro mapové zobrazení

VVK (mm)	Slovní popis
<50	nízká
50-100	střední
100-150	vysoká
>150	velmi vysoká



**Obrázek 25.** Mapa využitelné vodní kapacity modelového území

**Tabulka 16.** Plošné zastoupení kategorií využitelné vodní kapacity na modelovém území

VVK	Plocha (ha)
Nízká (< 50 mm)	15 177
Střední (50–100 mm)	12 764
Vysoká (100–150 mm)	15 583
Velmi vysoká (> 150 mm)	19 601

Mapy popisovaných hydrolimitů (kromě hodnoty BV) jsou volně dostupné na <https://mapy.vumop.cz/>. Po zaškrtnutí políčka aktivujícího zobrazení „Hydrologických funkcí půd“ na pravé straně je možné s využitím nástroje aplikace dohledat patřičnou oblast a hodnoty konkrétní funkce.

#### 6.4. Problematika hloubky kořenů

Optimální termín a závlahová dávka, které zajistí vysoký výnos a kvalitu plodin, vychází nejen z aktuálně dostupného množství vody v půdě konkrétního pozemku se zohledněním předpovědi srážek, ale i z hloubky zakořenění, která souvisí s hloubkou zavlažení.

Hloubka kořenů rostlin je důležitým ukazatelem pro efektivní zavlažování. Česká norma ČSN 75 0434 uvádí hodnoty účinné hloubky navlažení (ČSN 75 0434, tab. D.1). Pro výpočet Směrodatné závlahové dávky se využívá koeficient  $h_u$ , definovaný jako „účinná hloubka zakořenění směrodatné plodiny v kritickém období“ (ČSN 75 0434, kap. 6.2.). V programu IRRIPROG (Spitz et al. 2011) jsou maximální hloubka zavlažení ( $h_{z, \max}$ ) a přírůstek obsahu vody v půdě ( $dW_{hi}$ ) počítány pro vrstvu půdy odpovídající aktuální hloubce kořenů. Podobně se i v zahraničí respektuje hloubka kořenů, například bavorská metodika pro závlahy uvádí, že „Při určování závlahové dávky musí být zahrnuta také hloubka půdy, ze které mohou kořeny využívat podzemní vodu. Hranice jsou určovány půdními podmínkami a také závisí na kořenovém systému dané plodiny“. Hloubka kořenové zóny, kořenů dané plodiny, je důležitý vstupní parametr pro stanovení potřeby vody a optimální závlahovou dávku v plodinových modelech.

Údaje o hloubce navlažení v ČSN 75 0434 a maximální hloubka zavlažení (Spitz et al. 2011) většinou rámcově odpovídají údajům o hloubce kořenů zjištěné autory u zavlažovaných i nezavlažovaných plodin, včetně zelenin (Svoboda et al. 2017, 2018, Svoboda a Haberle 2014, **Tab. 17**). Určitou výjimku představují brukvovité zeleniny, u kterých (zvláště pozdního zelí) doporučujeme zvýšit maximální hloubku zavlažení o 10-30 cm.

**Tabulka 17.** Porovnání hodnot účinné hloubky zavlažení /1 a 2/, efektivní hloubky pro odběr dusíku kořeny /3/ a pozorované maximální hloubky kořenů na různých lokalitách ČR pro vybrané druhy zeleniny a polních plodin

Zdroj:		/1/	/2/	/3/	ČR
<b>Skupina plodin</b>	<b>Charakteristika hloubky kořenů</b>	<b>Účinná hloubka navlažení (cm)</b>	<b>Hloubka zavlažení (max.)</b>	<b>Hloubka kořenů (cm)</b>	<b>Experimentální údaje (cm)</b>
salát, ředkvička	mělký		20	30	25-30
salát ledový	mělký		20	45	30-40
špenát			20		30
luštěniny	mělký-střední	30-70	30		
hrách na zeleno/hrách na zrno,	mělký-střední	50			40/60
kopr	mělký				40
cibuloviny (cibule, česnek)	střední			60	40-60
cibule svazečková na zeleno	mělký			30	30
brambory rané, rychlené	mělký	40	40		40-50
brambory polorané	mělký-střední	50	50		50-60
brambory pozdní	střední	60	60		60-80
celer s natí/celer pro bulvy	střední-hluboký		45	90	40/70
červená řepa	střední-hluboký			60	60-80
mrkev, petržel kořenová, pastináč	střední-hluboký		40	90	50-90
brokolice	střední-hluboký			90	70-90
brukev-kedlubna	střední		30	75	60-80
zelí (na uskladnění aj.)	hluboký		40	90	70-100
mák (ozimý)					60-80
jarní obilniny	střední-hluboký	60	60		60-100
jarní řepka, hořčice	střední-hluboký				65 - 75
oz. pšenice	hluboký	80	80		80-150
řepka ozimá	hluboký	60	60		80-120
kukuřice na siláž, na zrno	hluboký	80	80		60-140
slunečnice	velmi hluboký	80	80		90-180

Odkazy: 1/ ČSN 75 0434, 2/ Spitz et al. (2011), 3/ Fertiliser Manual (RB209). DEFRA 2011. <http://www.ahdb.org.uk/rb209>  
<http://adlib.everysite.co.uk/adlib/defra/content.aspx?id=2RRVTHNXTS.88UEZKC2FWLSS>

Tabulkové údaje o maximální hloubce zavlažení, odpovídající hloubce kořenů, představují vždy jen průměrné, referenční údaje. I když v případě sucha rostliny využívají vodu z celého profilu do maximální hloubky kořenů, je třeba připomenout, že pro účely zavlažování nebo využití půdního dusíku se uvádějí hodnoty efektivní hloubky kořenů, tj. hloubky, z které dokážou kořeny odčerpat podstatnou část vody a živin (DEFRA 2011, Kautz et al. 2013, Haberle a Svoboda 2014, Thorup-Kristensen et al. 2020). Termín efektivní hloubka však nemá přesnou ustálenou definici. Hloubka kořenů je vždy více či méně ovlivněna podmínkami konkrétního stanoviště, pozemku a použitou agrotechnikou. Samotný příjem vody z ornice a vrstev podorničí (tzv. distribuce příjmu) je také závislý na vlhkosti půdy, přesněji obsahu dostupné vody v těchto vrstvách. Negativní vliv na hloubku kořenů má především utužení půdy, obecně špatný fyzikální a chemický stav půdy, zamokření, nedostatek kyslíku, produkty rozkladu zbytků rostlin. Rozvoj kořenů zhoršují i neprostupné vrstvy jílu nebo hrubého písku a štěrku. Tyto podmínky se často vyskytují u fluvialních půd v blízkosti řek, kde jsou pěstovány z hlediska ztrát vody a vyplavení živin rizikové, mělce kořenicí zeleniny a rané brambory, jako je tomu u výše uvedené oblasti (**Obr. 21**) dolního Pojizeří (Kadlecová et al. 2018, Klír et al. 2018, Haberle et al. 2018a, Bruthans et al. 2019). V těchto případech je nutné při výpočtu, podle konkrétních podmínek, snížit maximální hloubku zavlažení u dané plodiny o 1/4 až 1/3.

Šetření vodou a snížení zátěže zdrojů vod se stává rozhodujícím hlediskem zemědělské produkce. Pro zpřesnění maximální hloubky závlahy lze doporučit přímé pozorování hloubky a distribuce kořenů, například na stěně výkopu (transektu). Na řezu profilem je vidět rozložení kořenů, hloubka a hustota, a současně jsou dobře patrné případné překážky pro růst kořenů, jako je utužené podorničí (podorniční podlaha), vrstvy štěrku nebo jílu s nepříznivými fyzikálními vlastnostmi. Postup sledování kořenů v provozních podmínkách zemědělských podniků, bez potřeby speciálního vybavení, popisuje Středa et al. (2017). Údaje o rozložení kořenů a specifických půdních podmínkách lze současně využít pro výpočet rizika vyplavení nitrátů v mimovegetačním období a pro výpočet vyčerpání dostupné vody a odhad nástupu stresu (Haberle a Svoboda 2015, Haberle et al. 2015, Haberle et al. 2018a). Existuje obava, že při nadbytku vody a živin v ornici (zvláště dusíku) se snižuje hustota kořenů v podorničí. Podle výsledků získaných autory nejsou rozdíly při běžných dávkách závlahové vody pro určení maximální hloubky zavlažení zásadní (Svoboda et al. 2020). Významnou redukci hloubky kořenů lze očekávat v případě nadměrné, luxusní, dostupnosti vody a živin v povrchové vrstvě a při nepříznivých podmínkách v podorničí.

### **Stanovení diskriminace izotopu $^{13}\text{C}$ v rostlinách jako indikátor zásobení vodou**

S častým výskytem sucha v posledních letech vystupuje nutnost racionálního hospodaření s vodou. Sledování spotřeby a hospodaření plodin s vodou není jednoduché, vyžaduje monitoring obsahu dostupné vody v půdě a výdeje vody rostlinami, které jsou metodicky a přístrojově náročné.

Nepřímou metodu hodnocení hospodaření rostlin s vodou nabízí stanovení diskriminace izotopu  $^{13}\text{C}$  ( $\Delta^{13}\text{C}$ ) v semenech nebo vegetativních částech (nejčastěji listech) rostlin. Hodnota  $\Delta^{13}\text{C}$  indikuje, zda rostlina měla v průběhu vegetace k dispozici dostatek vody pro zajištění potřeby transpirace nebo musela šetřit vodou uzavíráním průduchů (Farquhar et al. 1989), což má potom dopady na fotosyntézu, tvorbu biomasy a výnosy. Hodnota  $\Delta^{13}\text{C}$  v orgánech rostlin integruje delší časové období růstu. Porovnání hodnoty  $\Delta^{13}\text{C}$  u polních plodin a zelenin s různou dostupností vody v průběhu růstu (Raimanová et al. 2018) odlišilo zřetelně skupinu silně stresovaných rostlin ( $\Delta^{13}\text{C} < 18 \text{ ‰}$ ) a naopak rostlin dlouhodobě dobře zásobených vodou ( $\Delta^{13}\text{C} > 20 \text{ ‰}$ ). Silný korelační vztah mezi hodnotou diskriminace izotopu a dodávkou vody (srážkami a závlahou) nebo dostupností vody byl potvrzen v polních i nádobových pokusech (Raimanová et al. 2016), kde přesně monitorujeme spotřebu a bilanci vody. Tento korelační vztah je v běžných provozních podmínkách ovlivněn dalšími faktory. Z výsledků autorů je patrná významně nižší hodnota  $\Delta^{13}\text{C}$  zásobních orgánů (hlízy brambor, cibule, bulvy celeru nebo kořeny mrkve) než u nadzemních částí, které jsou pro porovnání dopadů sucha zřejmě vhodnější.

### **Variabilita půdních podmínek a riziko ztrát vody**

Respektování variability půdy a porostu a přizpůsobení agrotechnických postupů jsou základem pro systémy precizního zemědělství. Závlahy jsou aplikovány paušálně na celou plochu pozemků a v současnosti u nás nejsou v závlahách principy precizního zemědělství, tzv. precizní zavlažování (PZ), uplatňovány. Podle přehledu Sadlera et al. (2005) může PZ uspořit 10-15 % závlahové vody, ale její větší rozšíření lze očekávat především v podmínkách silně omezených zdrojů vody a energie a většího důrazu na environmentální dopady závlahy. Právě půdy vytvořené na aluviálních vrstvách v blízkosti vodních toků, využívané přednostně pro pěstování zavlažovaných zelenin a brambor, se vyznačují vysokou variabilitou. Tyto vlastnosti indikují vysoké riziko ztrát vody i dusíku vyplavením nitrátů (Kadlecová et al. 2018, Haberle et al. 2019, 2018b, Bruthans et al. 2019).

Vzhledem k závislosti teploty porostu plodin na dostatku vody pro transpiraci, a tím ochlazování povrchu rostlin, jsou dobrým indikátorem míry zásobení plodin vodou nebo schopnosti odrůdy využít vodu z půdy termální snímky (Idso 1982, Lukáš et al. 2019). I v rámci jednoho pozemku snímky teploty porostu jasně indikují

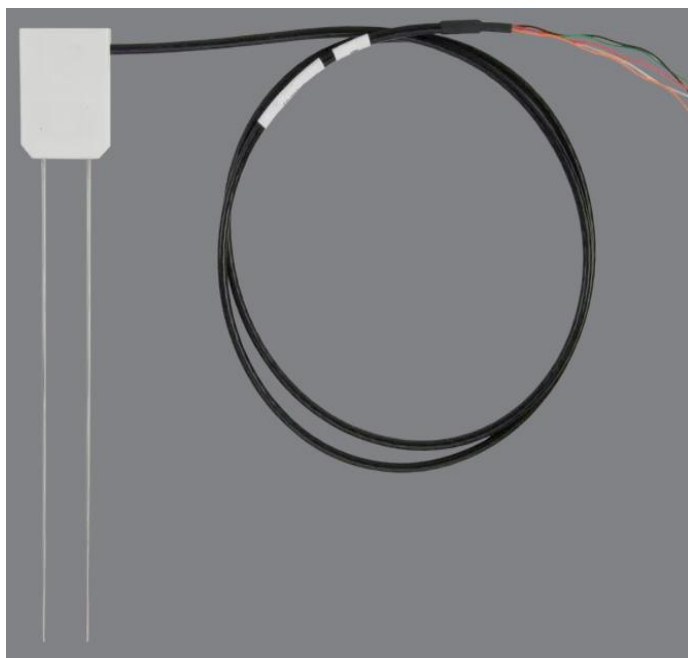
variabilitu dostupnosti vody způsobenou především půdními vlastnostmi, ale i nerovnoměrnou závlivkou nebo výživou; z hlediska efektivnosti závlah je důležitá především rychlost infiltrace a vodní kapacita, která rozhoduje o ztrátách vody průsakem pod kořenovou zónu (Duffková et al. 2012). Silný vztah půdních podmínek a snímků pozemků nebo porostů pomocí UAV, letadel i satelitů, umožňuje detailní mapování v rozměru několik málo metrů, které není dosažitelné běžnými postupy terénního vzorkování půd (Haberle et al. 2018b, 2019); podrobněji viz samostatná kapitola.

### 6.5. Řízení závlahového režimu – praktický příklad

V praxi se pro stanovení závlahových dávek a termínů přistupuje většinou empiricky, často spíše podle kapacity závlahových zařízení s tendencí navyšování nad skutečnou vláhovou potřebu. Nadměrné dávky u zavlažovaných zelenin a brambor zvyšují již tak vysoké riziko vyplavení nitrátů a dalších nutrientů nebo reziduí agrochemikálií (Novák et al. 2017, Klír et al. 2018, Šupíková et al. 2018, Haberle et al. 2018a, 2019) a rovněž mohou poškozovat rostliny zamokřením a vyšším výskytem houbových a dalších chorob. Tomu zamezí správná velikost a načasování závlahových dávek, které zajistí optimální zásobování plodin vodou podle jejich vláhové potřeby. Spotřeba vody při řízené závlaze nepřesahuje vláhový deficit  $V_d$  (odpovídá  $M_z$  za všechny zavlažované plodiny – viz Metodický pokyn MZE č.j. 15194/2002-6000) a není tudíž zpoplatněna. Dalším důvodem pro řízení závlah je snižující se dostupnost vody pro závlahové účely v důsledku sucha v posledních letech, tudíž nutnost s touto vodou účelně hospodařit.

Závlahový režim lze řídit měřením půdní vlhkosti a jejím porovnáním s půdními hydrolimity (BSD a PVK). Informace o půdní vlhkosti lze získat pomocí čidel (např. **Obr. 26**), z kterých jsou data k uživateli běžně předávána přes internet. Vysoký uživatelský komfort mohou poskytnout již dnes dostupné měřící soupravy s real-time výpočtem a okamžitou on-line vizualizací závlahových dávek (test bude proveden v rámci pokusných aktivit VÚMOP, v.v.i. ve vegetačním období 2020). Využity mohou být i sítě senzorů s bezdrátovým přenosem (viz foto na 1. vnitřní straně). Půdní vlhkost by měla být na jednom místě měřena alespoň ve dvou hloubkách, které odpovídají minimální a maximální hloubce zavlažování. Počet měřících souprav na pozemku souvisí s půdní heterogenitou (na půdně variabilním pozemku je více měřících souprav) a možností modifikovat množství závlahové vody v průběhu aplikace. Půdní vlhkost a pohyb vody v půdě pro účely závlah je také možné modelovat matematickými modely, či za použití dat a metod DPZ, jak uvádí řada studií (Babaeian et al. 2019; Sadeghi et al. 2017; Zhou et al. 2019).

Přesnost závlahové dávky závisí na typu použitých čidel a na přesnosti stanovení půdních hydrolimitů. Autoři metodiky mohou zájemcům o řízení závlahového režimu poskytnout více informací.



**Obrázek 26.** Čidlo na měření půdní vlhkosti CS650 – vhodný a přesný nástroj pro řízení závlahového režimu

V následujícím textu je uveden podrobný postup pro zjištění závlahové dávky pomocí měření půdní vlhkosti, který je rozdělen na část A s požadovanými vstupními parametry a na část B popisující dosažení výstupních parametrů vč. odvození závlahové dávky. **V postupu jsou uvedeny odkazy na tabulky (tab.), sloupce (sl.) a řádky (ř.), které jsou obsaženy ve vzorovém výpočtovém xls souboru pro polorané brambory** (odkaz [zde](#) nebo <https://vlaha.vumop.cz/>). Po úpravě vstupních parametrů lze vzorový soubor použít i pro další plodiny.

## Část A – vstupní parametry

### 1. Půdní charakteristiky (Obr. 27)

**Tab. 1a: hydrolimity PVK a BV a minimální zásoba půdní vody Z v, min,**

**Tab. 1b: orientační hodnoty zrnitostní kategorie I. (< 0,01 mm)**

Hydrolimity PVK a BV jsou zjišťovány nejčastěji ze zrnitostního rozboru pomocí PTF (ČSN 75 0434 – podle Brežného ze zrnitostní kategorie < 0,01 mm nebo pomocí programu k-Nearest v kap. 6.2. této metodiky), příp. (výjimečně) z retenčních čar.

V tab. 1a jsou hydrolimity PVK a BV odhadnuty podle Brežného. Ve sl. B v ř. 15 -18 jsou zadány laboratorně zjištěné hodnoty zrnitostní kategorie I. (< 0,01 mm) pro čtyři odběrové hloubky, vč. hloubky odpovídající maximální hloubce zavlažování (0-10 cm, 10-20 cm, 20-30 cm a 30-40 cm) a ve stejných řádcích sl. C a D je proveden výpočet PVK a BV. Ve sl. D, ř. 19 je uvedená minimální zásoba půdní vody  $Z_{v, \min}$  (tj. % z VVK, které odpovídá BSD). Pokud dojde k poklesu zásoby vody v půdě pod  $Z_{v, \min}$ , znamená to snížení výnosů v důsledku nedostatku vody pro Vc. Minimální zásoba půdní vody pro jednotlivé plodiny je uvedena (odkaz [zde](#) nebo <https://vlaha.vumop.cz/>).

Tab. 1b uvádí orientační hodnoty zrnitostní kategorie <0,01 mm v závislosti na půdním druhu, které jsou využitelné při absenci laboratorních zrnitostních rozborů.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I		
1	Název uživatele závlahy:			XXXX							
2											
3	tyrkysové buňky - hodnoty zadávané ručně										
4	bílé buňky - hodnoty automaticky počítané										
5	Plodina:	Brambory polorané									
6	Pozemek:	XXXX									
7	Rok:	2019									
8											
9	<b>Tabulka 1. Půdní charakteristiky</b>										
10	Tab. 1a Výpočet půdních hydrolimitů podle Brežného ( $\Theta_{PK}$ )					Tab. 1b Orientační hodnoty I. zrnitostní kategorie v závislosti					
11	a $\Theta_{BV}$ v závislosti na obsahu zrn I. kategorie (<0.01 mm):					na druhu půdy:					
12		Obsah	Polní vodní	Bod		Druhy půd		Obsah I. zrnitostní kategorie			
13		zrn I. kat.	kapacita $\Theta_{PK}$	vadnutí $\Theta_V$				od	do	stř. hodnota	
14		[%]	[% obj.]	[% obj.]				[%]	[%]		
15	0-10 cm	8.8	15.1	5.8		lehké	písečné	0	10	5	
16	10-20 cm	8.5	14.8	5.7			hlinito-písečné	10	20	15	
17	20-30 cm	9.1	15.4	5.9		střední	písečno-hlinité	20	30	25	
18	30-40 cm	5.7	12.3	4.8			hlinité	30	45	37.5	
19	Min. zásoba půdní vody $Z_{v, \min}$ [měsíc, den, % $\Theta_P$ ]:				55		těžké	jílovito-hlinité	45	60	52.5
20								jílovité	60	70	65
21	Poznámka: $\Theta_P$ je tzv. využitelná vodní kapacita, pro kterou platí vztah $\Theta_P = \Theta_{PK} - \Theta_V$										
22	% $\Theta_P$ = část využitelné půdní vody (v případě brambor 55 %), která je potřebná v půdě, aby se nesnížily výnosy										

**Obrázek 27.** Sloupce A-I a řádky 1-22 vzorového xlsx souboru pro výpočet závlahových dávek

## 2. Agronomické charakteristiky (Obr. 28)

**Tab. 2: termín sázení/setí plodiny:** sl. D-E, ř. 26, předpokládaný **termín sklizně:** sl. D-E, ř. 27, **minimální a maximální hloubka zavlažování:** sl. D, ř. 28-29

	A	B	C	D	E	F
1	Název uživatele závlahy:			XXXX		
2						
24	<b>Tabulka 2. Agronomické charakteristiky</b>					
25						
26	Agr. termín sázení [měsíc, den, počet dnů od 1.1.]:			4	1	91
27	Agr. termín začátku sklizně [měsíc, den, počet dnů od 1.1.]:			7	25	206
28	Min. hloubka zavlažování $h_{z,min}$ [cm]:			20		
29	Max. hloubka zavlažování $h_{z,max}$ [cm]:			40		

**Obrázek 28.** Sloupce A-F a řádky 1, 2 a 24-29 vzorového xlsx souboru pro výpočet závlahových dávek

## 3. Zásoba vody v půdě (Obr. 29)

**Tab. 3: půdní vlhkost** v % obj. pro dvě hloubky měření (sl. J-K)

### Část B - výstupní parametry

#### 1. Zásoba vody v půdě – vše tab. 3 (Obr. 29)

##### a. průběžný přírůstek hloubky zavlažování a průběžná hloubka zavlažování (sloupce E-F, Obr. 29)

Výpočet je proveden na základě minimální a maximální hloubky zavlažování, která je odvozena z předpokládaného lineárního nárůstu hloubky kořenů v průběhu vegetační sezóny (IRRIPROG, Spitz et al. 2011, odkaz [zde](#) nebo <https://vlaha.vumop.cz/>). Minimální hloubka zavlažování odpovídá termínu sázení/výsevu a maximální hloubka předpokládanému termínu sklizně.

##### b. zásoba vody v půdě při BV (sl. G) do průběžné hloubky zavlažování (Obr. 29)

Zjistí se ze součtu vlhkostí BV do hloubky zavlažení (sl. D, ř. 15-18, **Obr. 27**). To znamená, že vlhkost BV v některé hloubce k určitým termínům může být použita pouze částečně nebo nepoužita vůbec.

**c. zásoba vody v půdě při PVK (sl. H) do průběžné hloubky zavlažování (Obr. 29)**

Zjistí se ze součtu vlhkostí PVK do hloubky zavlažení (sl. C, ř. 15-18, **Obr. 27**). To znamená, že vlhkost PVK v některé hloubce k určitým termínům může být použita pouze částečně nebo nepoužita vůbec.

**d. zásoba vody v půdě při BSD (sl. I) do průběžné hloubky zavlažování (Obr. 29)**

Zjistí se jako součet vlhkostí BV (sl. G) a % VVK (=  $Z_{v, \min} * VVK$ , sl. D, ř. 19, **Obr. 27** a sl. G a H).

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1	Název uživatele závlahy:			XXXX							
2											
32	<b>Tab. 3 Zásoba půdní vody - začíná dnem sázení/seti</b>										
33	Měsíc	Den	Počet dní v roce od 1. ledna	Denní srážka S [mm]	Průběžný přírůstek hloubky zavlažování $dh_{zi}$ [cm]	Průběžná hloubka zavlažování $h_{zi}$ [cm]	Zásoba vody v půdě při			Půdní vlhkost 15 cm [% obj.]	Půdní vlhkost 35 cm [% obj.]
34							bodů vadnutí $WO_{bv}$ [mm]	polní vodní kapacitě $WO_{pk}$ [mm]	bodů snížené dostupnosti $WO_{bsd}$ [mm]		
35	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)
37	4	1	91	není nutné	0.0	20.0	11.5	29.9	21.6		
38	4	2	92	pro	0.2	20.2	11.6	30.2	21.8		
40	4	3	93	výpočet	0.4	20.4	11.7	30.5	22.0		
41	4	4	94	ale vhodné	0.6	20.6	11.8	30.8	22.2		
42	4	5	95	pro zjištění	0.7	20.7	11.9	31.1	22.5		
43	4	6	96	sumy srážek	0.9	20.9	12.0	31.4	22.7		
44	4	7	97	za vegetační	1.1	21.1	12.1	31.6	22.9		
45	4	8	98	období	1.3	21.3	12.2	31.9	23.1		
46	4	9	99		1.5	21.5	12.3	32.2	23.3		
47	4	10	100		1.7	21.7	12.4	32.5	23.5		
48	4	11	101		1.9	21.9	12.6	32.8	23.7		
49	4	12	102		2.0	22.0	12.7	33.1	23.9		
50	4	13	103		2.2	22.2	12.8	33.4	24.1		
51	4	14	104		2.4	22.4	12.9	33.6	24.3		
52	4	15	105		2.6	22.6	13.0	33.9	24.5		
53	4	16	106	1	2.8	22.8	13.1	34.2	24.7	8.2	10.9
54	4	17	107	0	3.0	23.0	13.2	34.5	24.9	8.1	10.9
55	4	18	108	0	3.1	23.1	13.3	34.8	25.1	8.1	10.9

**Obrázek 29.** Sloupce A-K a řádky 1 a 31-47 vzorového xlsx souboru pro výpočet závlahových dávek

**e. aktuální zásoba vody v půdě (sl. L) do průběžné hloubky zavlažování (Obr. 30)**

Zjistí se z měřené půdní vlhkosti v % obj. (sl. J a K, **Obr. 29**), která zároveň představuje zásobu vody v 10 cm půdní vrstvě. Při užití dvou čidel na jednom měrném místě je vlhkost čidla uloženého výše používána pro vrstvu půdy od povrchu až do hloubky, která se rovná polovině rozdílu mezi horním a spodním čidlem. Vlhkost dolního čidla se používá pro půdní vrstvu od poloviny rozdílu mezi horním a dolním čidlem do maximální hloubky zavlažení.

**f. minimální závlahová dávka (sl. O), tzv. „Alarm pro BSD“ (Obr. 30)**

Minimální závlahová dávka je zjištěna pokud v půdě není žádná zásoba snadno dostupné vody, tj. rozdíl mezi zásobou vody v půdě při BSD (sl. I) a aktuální zásobou vody v půdě (sl. L) je kladný. Velikost minimální závlahové dávky je dána tímto rozdílem.

**g. maximální závlahová dávka (sl. P), tzv. „Alarm pro PVK“ (Obr. 30)**

Maximální závlahová dávka je dána rozdílem mezi zásobou vody v půdě při PVK (sl. H) a aktuální zásobou vody v půdě (sl. L). Tato závlahová dávka by nikdy neměla být překročena, neboť by se jednalo o nevhodné plýtvání vodou (často s negativním dopadem na vývoj porostu).

L	M	N	O	P
aktuální měřená zásoba vody v půdě $W$ [mm]	Závlaha pro dolní hranici ( $W_{\text{BSD}}$ ) [mm]	Závlaha pro horní hranici ( $W_{\text{PK}}$ ) [mm]	ALARM pro $W_{\text{BSD}}$ [mm]	ALARM pro $W_{\text{PK}}$ [mm]
(12)	(13)	(14)	(15)	(16)
			rozpětí závlahové dávky	
18.6	6.0	15.4	6.0	15.4
18.5	6.2	15.7	6.2	15.7
18.6	6.3	15.9	6.3	15.9
18.7	6.4	16.0	6.4	16.0
14.3	11.0	20.7	11.0	20.7
14.4	11.1	20.9	11.1	20.9
14.4	11.3	21.1	11.3	21.1
14.4	11.5	21.4	11.5	21.4
14.5	11.6	21.6	11.6	21.6

**Obrázek 30.** Sloupce L-P vzorového xlsx souboru pro výpočet závlahových dávek

V praxi je doporučována dávka blízká se PVK přepočtená pro hloubku zavlažení, která zabezpečí dostupnost půdní vody nejdéle. Příliš nízká závlahová dávka, která zajistí jen mírné přesažení BSD, nemusí u některých způsobů závlahy využít plně technické možnosti instalovaných závlahových zařízení a kvůli rychlejšímu vyčerpání dostupné zásoby vody vyžaduje častější opakování aplikace. Závlahová dávka musí být zvýšena příslušným ztrátovým součinitelem podle způsobu závlahy uvedeným v ČSN 75 0434.

Pro doporučení závlahových dávek je vhodné instalovat měřicí soupravy na 1-3 místech pozemku (podle jeho velikosti a půdní heterogenity), a to na převládajících půdních typech. Je nutné se však vyhnout měřením na písčitéch částech pozemku, kde dosažení půdní vlhkosti na úroveň PVK je prakticky nemožné, neboť voda pískem velmi rychle zasakuje. Zavlažování podle měření na písčité půdě by vedlo k vysoké spotřebě vody, která by byla neefektivně využita (ztráty průsakem či hromadění vody na povrchu na méně propustných částech pozemku). Nejvhodnější je umístění čidel na lehčích (hlinitopísčitéch) až středně těžkých (písčitolhinitých a hlinitých) půdách bez povrchové akumulace většího množství srážek. Odhad hydrolimitů PVK a BV pro tento praktický příklad byl, jak již bylo uvedeno, proveden podle Brežného (ČSN 75 0434) pomocí **rovníc (4) a (5)** s využitím zrnitostní kategorie ( $\%$ )  $< 0,01$  mm:

$$PVK = 6,66 + 1,03 * (\% \text{ zrn. kat. } < 0,01 \text{ mm}) - 0,008 * (\% \text{ zrn. kat. } < 0,01 \text{ mm})^2 \quad (4)$$

$$BV = 2,97 + 0,33 * (\% \text{ zrn. kat. } < 0,01 \text{ mm}) - 0,0012 * (\% \text{ zrn. kat. } < 0,01 \text{ mm})^2 \quad (5)$$

**Tab. 18** porovnává hydrolimity PVK a BV zjištěné pomocí retenčních čar půdní vlhkosti, PTF podle Brežného a pomocí programu k-Nearest (kap. 6.2.). Pro odhad PVK pro půdní druhy písčité a hlinitopísčité byl použit referenční datový soubor -10 kPa a pro ostatní půdy -33 kPa. Z uvedeného vyplývá, že hydrolimity odhadnuté pomocí programu k-Nearest vykazaly dobrou shodu s retenčními čarami nejčastěji v případě středně těžkých až těžkých půd (ph, h, jh), naopak v případě lehkých půd (p, hp) byla častěji přesnější PTF podle Brežného.

**Tabulka 18.** Půdní hydrolimity (obj. %) polní vodní kapacita (PVK) a bod vadnutí (BV) z retenčních čar půdní vlhkosti (R), z PTF podle Brežného (PTF) a z programu k-Nearest (Near) na vybraných pozemcích v dolním Pojizeří (okolí Benátek nad Jizerou a Předměřic nad Jizerou)

Vzorek	Půdní typ	Půdní druh	Hloubka odběru	PVK R	BV R	PVK PTF	BV PTF	PVK Near	BV Near
KS1	FLr	p	0-18	16,9	6,2	13,6	5,3	20,8	9,8
KS1	FLr	p	18-40	19,4	8,7	10,7	4,3	19,9	9,2
KS2	LUM	ph	0-35	28,1	14,5	24,6	9,3	27,8	14,1
KS2	LUM	h	45-70	23,7	16,4	34,1	13,7	30,8	16,1
P7	FLm	jh	0-35	37,3	22,6	38,0	16,3	35,1	20,3
P7	FLm	jh	35-67	32,4	21,9	37,3	15,8	36,9	19,8
P12	FLm	h	0-38	32,4	20,7	33,4	13,3	32,4	15,5
P12	FLm	h	38-67	37,9	20,1	36,7	15,3	37,3	16,4
S6	FLm	hp	12-16	28,5	16,0	23,3	8,8	29,8	14,9
S6	FLm	ph	40-44	31,3	15,9	26,8	10,2	34,5	17,9
S8	RGy	p	10-14	14,9	6,3	15,6	6,0	28,3	16,7
S8	RGy	p	42-46	3,3	1,6	16,3	6,2	32,8	20,9
V1	RGr	hp	10-14	14,9	5,8	14,4	5,5	20,9	9,8
V1	RGr	hp	34-38	10,7	5,0	16,8	6,4	27,4	15,5
V3	FLr	hp	10-14	16,0	6,8	13,9	5,4	20,5	9,4
V3	FLr	hp	38-42	13,1	3,8	10,9	4,4	16,2	13,3
V4	PRr	hp	13-17	16,8	6,9	14,7	5,6	21,3	10,4
V4	PRr	ph	38-42	16,6	7,1	23,3	8,8	25,4	14,7

**Zkratky:** FLm – fluvizem modální, FLr – fluvizem arenická, LUM-luvizem modální, PRm-pararendzina modální, PRr – pararendzina arenická, RGr – regozem arenická, RGy – regozem psefitická, p – písčité, hp – hlinitopísčité, ph – písčitohlinité, h – hlinité, jh – jílovitohlinité

## 7. Možnosti využití drenážních systémů pro zlepšení vodní a živinné bilance odvodněných půd

Jak již bylo uvedeno v předchozích kap. 3. a 4., drenážní systémy, kromě některých negativních projevů na vodní a živinný režim zemědělského pozemku, mají i potenciál pro zvýšení retence vody v půdě. Snižování (mělké) HPV v důsledku jednofunkčních staveb odvodnění se projevuje intenzivně až na úroveň uložení drénů, tj. do hloubky ca 80-120 cm; starší systémy jsou uloženy i hlouběji. Pokud je takový pozemek současně zavlažován (nejčastěji závlahou z povrchu - např. postřikem, kapkovou závlahou), může docházet k nevhodnému využívání závlahové vody tím, že drenáž odvede i tu vodu, kterou by bylo účelné v půdním profilu zadržet a kterou je nutné závlahou zpětně dodat. Dalším rizikem je intenzivní promývání půdního profilu a nežádoucí vyplavování živin do drenážních vod.

V současné době s probíhající změnou klimatu, kdy se prodlužují období bez srážek, je nepříznivé to, že HPV dále zaklesává až pod úroveň uložení drénů, což má za následek další snižování intenzity vztlínání vody z HPV. Požadavek na rychlost snížení HPV je v ČR nejčastěji 3 dny (obecně 2 až 7 resp. 10 dní) – viz ČSN 75 4200 Tabulka A.1 – Návrhová doba odvodnění plodin (tj. z přemokřeného pozemku, kdy je HPV v úrovni terénu, na hloubku HPV zpravidla 60-80 cm pod terénem – viz Tabulka A.5 citované normy). Specifický denní návrhový drenážní odtok pro tyto stavy je kolem 1,0 l/s/ha (s krátkodobými maximy až 3 l/s/ha). Přesnější výpočty umožňují drenážní kalkulátory (Štibinger a Kulhavý 2010). Drenáž odvádí vodu z gravitačních půdních pórů, resp. z pórů semikapilárních. Voda vázaná v kapilárních půdních pórech je existencí drenáže nedotčena a "zůstává" na pozemku. Dále se do půdy s drenáží dostává voda kapilárním zdvihem z HPV (např. TNV 75 4221, Tab. 4). Drenáží přitom odtékají objemy vod, které by jinak (bez existence stavby odvodnění) mohly dosytit semikapilární póry a částečně by tak snížily období deficitu vláhy na pozemku. Jinou otázkou je objektivní potřeba odvodnění pozemku (např. pro optimalizaci vláhových režimů pro pěstované plodiny nebo pro zpřístupnění pozemku pro zemědělskou techniku). Tyto protichůdné požadavky lze v určitých podmínkách vyřešit změnou stávajících jednofunkčních drenážních systémů na systémy **vícefunkční s uplatněním principu regulace drenážního odtoku (RDO)**, s regulací vod *vlastních* či s regulací vod *cizích*, kdy pak mluvíme o tzv. **regulační drenáži (RD)**.

U takovýchto vícefunkčních systémů probíhá závlaha porostu tzv. podmokem (TNV 75 4221). Tím lze výrazně zlepšit hospodaření se srážkovými, podzemními či závlahou dodávanými vodami přímo v ploše povodí a pěstovaným plodinám optimalizovat v čase úroveň HPV.

U staveb s RDO je HPV zvyšována podle druhu půdy a plodiny o 25 až 60 cm. Pokud bude uvažováno průměrné zvýšení HPV pomocí RDO o 40 cm, může toto množství vody u hlinitých půd představovat až 8 cm vodního sloupce ( $P_{grav.} = 20 \%_{obj.}^1$ ;  $H = 40 * 0,2 = 8$  cm), což při průměrné denní evapotranspiraci kolem 3 mm/den v pozdním jarním období zkrátí dobu deficitu vláhy o 27 dní, resp. nahradí dodávku závlahové vody o objemu 800 m<sup>3</sup> na každý hektar zavlažovaného a současně odvodněného pozemku.

V řadě oblastí na celém světě jsou systémy RD a RDO známy pod souhrnným termínem **controlled drainage** a jsou významným prvkem zemědělského vodohospodářského managementu v řadě států (USA, Kanada, Švédsko, Dánsko, Polsko, Pobaltské země, Velká Británie, Francie, Německo, Nový Zéland, aj.). Pro tyto postupy existuje také v ČR již několik novějších specializovaných podkladů (Kulhavý et al. 2015, 2017, TNV 75 4221). Mezi lokality vhodné k regulaci na drenážním systému lze zařazovat ty zemědělské pozemky s HPJ (2. a 3. číslo kódu bonitovaných půdně ekologických jednotek), které vykazují znaky hydromorfizmu (morfologické znaky periodického a trvalého zamokření a tomu odpovídající půdní reakce, **Tab. 19**).

**Tabulka 19.** Hlavní půdní jednotky splňující kritéria hydromorfizmu půd

15, 43, 44, 45, 46, 47, 49, 50, 52, 53, 64, 67, 68, 69, 72, 73, 74, 75, 76
--

Jako další vhodné půdy pro RDO či RD jsou doplněny půdy s vláhovými poměry charakterizovanými převlhčením (trvalým nebo periodickým, **Tab. 20**).

**Tabulka 20.** Hlavní půdní jednotky s charakteristikou vláhových poměrů "mírně převlhčené půdy" a "periodicky převlhčené půdy".

03, 06, 07, 08, 11, 12, 18, 19, 23, 24, 25, 26, 29, 34, 35, 36, 48, 60, 61, 62, 70, 71
--

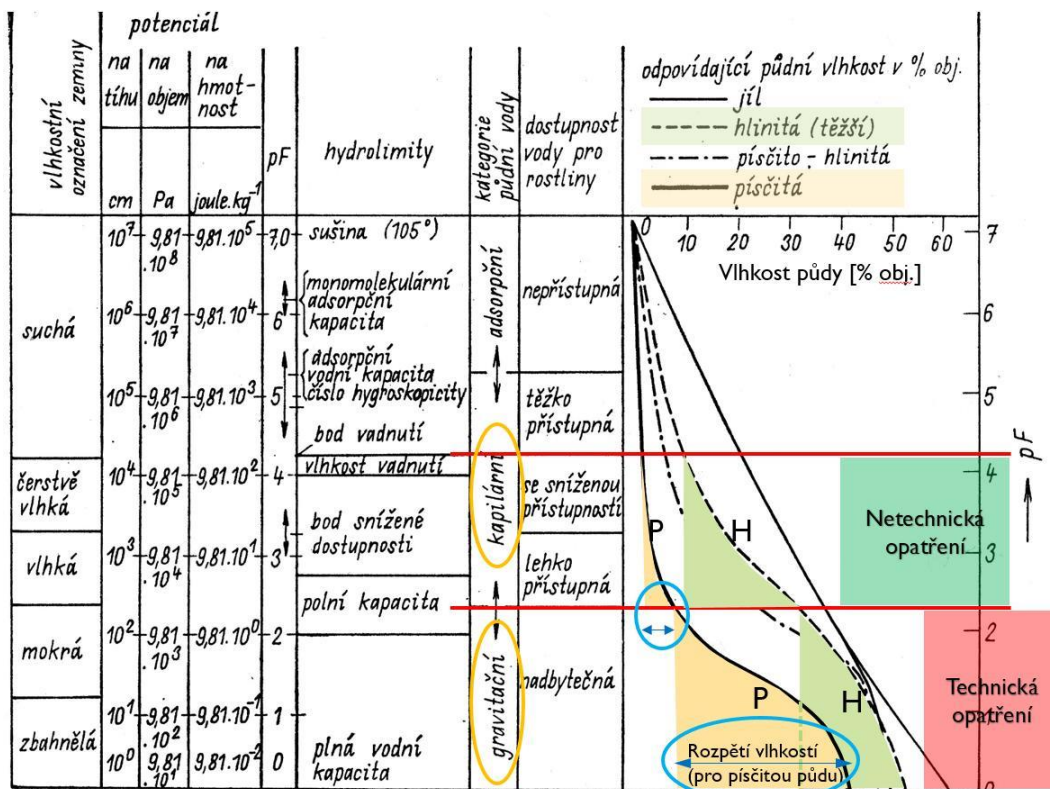
Pro efektivní provoz vícefunkčních drenážních staveb jsou z uvedených HPJ vhodné ty plochy zemědělské půdy, které mají sklonitost do 5 %. Tyto lokality je dále možné

---

<sup>1</sup>  $P_{grav.}$  = objem gravitačních pórů středně těžké půdy. V uvedeném příkladu je použito výsledků laboratorní zkoušky, kde z celkové pórovitosti 49 % náleží kapilární pórovitosti 25 %, semikapilární pórovitosti 7 % a nekapilární pórovitosti 17 % objemových. Použitá výsledná hodnota objemu gravitačních pórů se pak skládá z celého objemu nekapilárních pórů a z cca ½ semikapilárních pórů, tj.  $P_{grav.} = 17 + 3 = 20$  %. Objem gravitačních pórů (tj. rychle se pohybující půdní vody, která je ovlivněna stavbou odvodnění) lze stanovit také z retenčních čar – viz **Obr. 31**.

roztřídit na plochy vhodné pro RD (optimálně 0 až 0,5 %, maximálně do 2 %) a pro RDO (optimálně 0,5 % až 3,0 %; maximálně do 5 %).

V rámci ČR se – na plochách s evidovanými stavbami odvodnění dle bývalé Zemědělské vodohospodářské správy s potenciálem pro regulaci-jedná o celkovou výměru **463 812** ha.



**Obrázek 31.** Porovnání efektů řízené retence vody v půdě na příkladu retenčních čar vlhkosti. Mezi technická opatření lze řadit manipulaci s HPV pomocí hradítek na drenážním systému (regulace drenážního odtoku). V rámci netechnických opatření se v obrázku uplatňuje závlaha, využívající přirozenou retenční schopnost půdního profilu. Vztahy mezi hydroimity a vlhkostí půdy je dokumentován na obrázku, převzatém z Vodohospodářské pedologie (1978) prof. M. Kutílka

## 8. Metody a nástroje dálkového průzkumu Země pro účely závlah

V posledních přibližně 20-ti letech se intenzivně rozvíjejí provozní možnosti použití metod, nástrojů a dat dálkového průzkumu Země (DPZ) pro hodnocení stavu porostů plodin, půd a odvozování optimálních plošně a časově diferencovaných dávek hnojiv, prostředků na ochranu rostlin a závlahové vody. Metody založené na DPZ mohou poskytovat efektivní (tj. operativní, spolehlivé a dostupné) postupy pro časoprostorově dynamický odhad potřeby závlahy vybraných plodin, který může přinést značné zefektivnění jejich provozu (úspora zdrojů, snížení rizika znečištění vod, aj.).

Postupy DPZ využívají retrospektivního a zejména „real-time“ stanovování plodinových koeficientů nejčastěji pomocí tzv. vegetačních indexů odvozených z optických družicových dat (Landsat 8 a Sentinel 2A a 2B), a to pro celou škálu plodin, vč. sadů a vinic (Vuolo et al. 2015, Calera et al. 2017, Marshall et al. 2016). Vegetační indexy vyjadřují vztah mezi odrazivostí v intervalu červené viditelné části spektra (600–700 nm) a blízké infračervené části spektra (ca 700 – 900 nm). Existuje jich velké množství (např. NDVI – Normalized Differentiated Vegetation Index, EVI – Enhanced Vegetation Index, SAVI – Soil Adjusted Vegetation Index, aj.) a většinou jsou funkčně ekvivalentní. Plodinové koeficienty jsou z vegetačních indexů odhadnuty pomocí empirických vztahů s následným stanovením  $V_c$  pomocí  $ET_0$ . Uvedená družicová data jsou volně (zdarma) dostupná a předzpracovaná, v intervalech snímání stejného místa cca 3 – 7 dnů (v rozlišení 30x30 m, resp. 10x10 m), i když oblačnost, zejména v podmínkách střední Evropy, interval použitelných dat prodlužuje. Satelitní data s vyšší přesností, resp. rozlišením (5x5 m, aj.) poskytuje řada komerčních systémů (Gaofen, RapidEye, WorldView, aj.).

Dávky závlahy stanovené z dat DPZ bývají doplňovány ověřenými empirickými či jinými modely, které hodnotí závlahový režim pomocí denní bilance zásoby vody v půdě na základě in-situ měřených či modelovaných dat a postupy pro zpřesnění hodnot plodinových koeficientů pomocí přímého měření hodnot transpirace a některých fyziologických reakcí u vybraných polních plodin. Takto ověřené postupy jsou implementovány do prostředí WEB-GIS nástrojů, které umožňují poloautomatizované stanovování týdenních vláhových potřeb (dávek) pro vybrané polní plodiny na rozsáhlých územích podle přírodních a zemědělských podmínek, typu závlah apod.

Tohoto přístupu využívají některé lokální systémy pro plánování a předpovídání potřeby závlahových dávek přenášející výsledné informace k uživatelům pomocí webových GIS nástrojů a aplikací na smartphonech; např.:

- EO4WATER – Rakousko (<https://eo4water.com>)

- SPIDER – Španělsko, Portugalsko (<http://www.spiderwebgis.org>)
- IrriSat-SMS – Austrálie (<https://irrisat-cloud.appspot.com>)
- TOP-SIMS – Kalifornie, aj.

V této metodice tyto přístupy plánovány ani uplatněny nebyly.

## 9. Odrůdové koeficienty pro zpřesnění hodnot plodinové evapotranspirace

Pro výpočetní algoritmy související s evapotranspirací, včetně kvantifikace závlahové dávky, je plodinový, resp. odrůdový koeficient často zásadní neznámou s poměrně značným rozpětím „relevantních“ hodnot (liší se v rámci literatury a autorů běžně o desítky procent). Jeho hodnota je variabilní nejen s růstovou fází, ale závisí výrazně i na genotypu (odrůdě). To je relevantní zejména u druhů s genotypově výrazně odlišnou dynamikou růstu (raností), mezi které patří kukuřice (ranost definována dle čísla ranosti FAO) a slunečnice. Ověření a případné zpřesnění hodnot plodinových koeficientů je realizováno pomocí přímého měření hodnot transpirace (sap-flow) vybraných polních plodin a jejich odrůd. Transpirace je úzce spjata s tokem vody v xylému (sap-flow). „Stem heat balance method“ (SHB) je metoda, která pro měření využívá přímý el. ohřev pletiv a vnitřní měření teploty (Kučera et al. 1977). Metodu lze aplikovat u plodin s větším průměrem stonku. Mnozí autoři potvrzují schopnost metody měření sap-flow zaznamenat rozdíly ve spotřebě vody rostlin pěstovaných v různých závlahových režimech i v polních podmínkách.

### Termální snímkování porostů

Při stavu otevřených průduchů odpařující se voda ochlazuje list. Zavřením průduchů se rostlina brání vůči ztrátám vody. Změnou vodivosti průduchů se ale zároveň zvýší teplota povrchu listů. Genotyp tolerantnější k suchu by měl na nepříznivé podmínky (sucho) zareagovat rychlejším zavřením průduchů a tím zamezit ztrátám vody transpirací. Bylo např. zjištěno, že odrůdy zareagovaly zvýšením teploty povrchu listů vlivem sucha, které bylo vyvoláno exogenní aplikací kyseliny abscisové. Meziodrůdové diference při různé intenzitě transpirace jsou zřejmé při snímání teploty porostu v termálním spektru záření. Je tak možno identifikovat případný vodní stres pro stanovení termínu závlahy; identifikovány budou rozdíly mezi genotypy (odrůdami) s vazbou na plodinový koeficient a jeho meziodrůdové diference.

Tyto postupy jsou využitelné zejména ve výzkumných či poloprovozních zemědělských režimech.

#### **IV) Srovnání „novosti postupů“**

Metodika obsahuje velké množství nových, v ČR dosud nepoužitých postupů, jejichž využívání na sebe logicky navazuje. V rámci zjišťování dlouhodobé průměrné VB je využit výpočet Vc podle celosvětově doporučené metody FAO-56, která však dosud pro tyto účely nebyla v podmínkách ČR využita. Ve srovnání s tím jsou Vc v ČSN 75 0434 pro jednotlivé plodiny uvedeny pouze jako směrné hodnoty pro dvě nížinné oblasti (Polabí a jižní Morava) a pro jiné oblasti jsou Vc redukovány pomocí koeficientu odvozeného z nadmořské výšky. Výpočet Vc metodou FAO-56 je využit v KVP, a to až pro úroveň jednotlivých půdních bloků.

Dalším inovativním postupem, uvedeným v metodice, je vylepšené uplatnění pedotransferových funkcí. Jejich prostřednictvím je umožněn odhad půdních hydrolimitů pro celé území ČR založený na databázi NearriCZ a použití programu k-Nearest. Uživatel tímto automatizovaným postupem získá rychle a jednoduše poměrně spolehlivé odhady PVK a BV založené na verifikaci aktuálně dostupných dat orných půd z celé ČR. Takto odhadnuté hydrolimity lze využít při uživatelsky přívětivém řízení závlahového režimu, které je založené na měření půdní vlhkosti a porovnání aktuální zásoby vody v půdě se zásobou snadno dostupné půdní vody vymezené hydrolimity BSD a PVK. Tato metoda řízení závlah je přesnější než program IRRIPROG, který půdní vlhkost počítá z vodní bilance zatížené zdroji nepřesností a nejistoty. Při použití aktuálních dat o vlhkosti půd se jedná o metodu, použitelnou v real-time režimu.

## **V) Popis uplatnění Certifikované metodiky**

Uplatnění metodiky se předpokládá v rostlinné výrobě s cílem zlepšit dostupnost vody pro rostliny prostřednictvím využití předložených metodických postupů pro hodnocení a navrhování plošných změn v osevních postupech a systémech zpracování půdy. Na základě kategorizace dostupnosti půdní vody a vláhové potřeby plodin je možné navrhnout efektivní umístění a dimenzování zavlažovacích systémů v oblastech postižených vodním deficitem v dlouhodobém horizontu. Dále je metodika využitelná jako podklad pro návrh regulace drenážního odtoku na odvodněných pozemcích. Metodiku lze také uplatnit pro řízení závlahového režimu a pro zpřesnění metod zjišťování nezaplatněného množství závlahové vody k vyrovnání vláhového deficitu zemědělských plodin.

Tato metodika je na základě smlouvy o využití výsledku uplatněna Zelinářskou unií Čech a Moravy, neboť pěstování zeleniny je velmi často spojené s užíváním závlahových systémů a tudíž problematika řízení závlahových dávek je v zelinářské produkci velmi potřebná a aktuální. Na základě výše uvedených skutečností může být metodika uplatněna nejen všemi uživateli a provozovateli závlahových soustav a správci vodních toků, ale i zemědělskými subjekty, které sice plodiny nezavlažují, ale mají zájem zlepšit dostupnost a využití půdní vody pro pěstované plodiny.

## **VI) Ekonomické aspekty Certifikované metodiky**

Použití představených metodických postupů umožňuje z dlouhodobého hlediska efektivnější využití vody dodávané ve formě doplňkové závlahy a optimalizaci výnosů zemědělských plodin. Ekonomický přínos metodiky je však obtížně vyčíslitelný, neboť ten je silně variabilní, závislý na druhu pěstované plodiny a přírodních (zejména půdních) podmínkách.

Náklady na pořízení měřící soupravy pro řízení doplňkové závlahy, skládající se ze dvou půdních čidel s přenosem dat k uživateli přes internet, se pohybují mezi 30 – 40 tis. Kč pro jedno měrné místo. Počet měrných míst na zavlažovaném pozemku je závislý na variabilitě půdních podmínek a možnostech plošných změn závlahové dávky během aplikace. Monitoring půdně vyrovnaného pozemku by mohl být založen na jedné měřící soupravě s následnou plošně homogenní dávkou závlahové vody. Naopak půdně heterogenní pozemek by vyžadoval více měřících souprav (resp. půdních čidel), které by informovaly o plošně variabilních nárocích porostu na závlahovou dávku a efektivita využití této informace by se projevila pouze za předpokladu možnosti precizního (plošně variabilního) zavlažování. Tento přístup by mohl uspořit, ve vazbě na použitý typ závlahy a plodinu, přibližně 10-15 % závlahové vody a zajistit vyrovnané výnosy zavlažovaných plodin.

## VII) Seznam použité související literatury

- Allen R. G., Pereira L., S., Raes D., Smith M. 1998. Crop evapotranspiration, Guidelines for computing crop water requirements, FAO irrigation and drainage paper, 56, Food and agriculture organization of the united nations, Rome, 300 s. ISBN 92-5-304219-2.
- Babaeian, E., Sadeghi, M. et al. 2019. Ground, Proximal, and Satellite Remote Sensing of Soil Moisture. *Reviews of Geophysics* 57, 2, <https://doi.org/10.1029/2018RG000618>
- Bouma J. 1989. Using soil survey data for quantitative land evaluation. *Advanced Soil Science* 9: 177-213.
- Bruthans J., Kůrková I., Kadlecová R. 2019. Factors controlling nitrate concentration in space and time in wells distributed along an aquifer/river interface (Káraný, Czechia). *Hydrogeology Journal* 27: 195-210. DOI 10.1007/s10040-018-1854-7.
- Budňáková M. (Ed.). 2009. Situační a výhledová zpráva Půda. Ministerstvo zemědělství ČR – odbor rostlinné výroby. Praha. ISBN 80-7084-800-5. 91 s.
- Calera A., Campos I., Osann A., D'Urso G., Menenti M. 2017. Remote Sensing for Crop Water Management: From ET Modelling to Services for the End Users. *Sensors* 17, 1104. DOI:10.3390/s17051104.
- Cid P., Taghvaeian S., Hansen N.C. 2018. Evaluation of the FAO-56 methodology for estimating maize water requirements under deficit and full irrigation regimes in semiarid North-eastern Colorado. *Irrig. Drain.* 67: 605–614.
- Contreras C.P., Bonilla C.A. 2018. A comprehensive evaluation of pedotransfer functions for predicting soil water content in environmental modeling and ecosystem management. *Science of The Total Environment* 644: 1580-1590.
- ČSN 75 0434 Meliorace – Potřeba vody pro doplňkovou závlahu. Účinnost od 4/2017. Česká technická norma, ICS 13.060.10, 65.020.20
- ČSN 75 4200 Hydromeliorace – Úprava vodního režimu zemědělských půd odvodněním. Účinnost od 1/1994.
- Daryanto S., Wang L., Jacinthe P.A. 2016. Global synthesis of drought effects on maize and wheat production. *PLoS ONE* 11, e0156362.
- DEFRA Fertiliser Manual (RB209). 2011. <http://www.ahdb.org.uk/rb209>
- Duffková D., Brom J., Žížala D., Zemek F., Procházka J., Nováková E., Zajíček A., Kvítek T. 2012. Určení infiltračních oblastí pomocí vodního stresu vegetace na základě dálkového průzkumu Země a pozemních měření. Certifikovaná metodika. VÚMOP, v.v.i. ISBN: 978-80-87361-15-3.
- Falloon P., Betts R. 2010. Climate impacts on European agriculture and water management in the context of adaptation and mitigation—the importance of an integrated approach. *Science of the Total Environment* 408: 5667-5687.
- Farquhar G.D., Ehleringer J.R., Hubick K.T. 1989. Carbon isotope discrimination and photosynthesis. *Annual Review of Plant Biology* 40: 503–537.
- Fleisher D.H., Barnaby J., Sicher R., Resop J.P., Timlin D.J., Reddy V.R. 2013. Effects of elevated CO<sub>2</sub> and cyclic drought on potato under varying radiation regimes. *Agric. For. Meteorol.* 171–172: 270–280.
- Fučík P., Zajíček A., Duffková R. 2015. Water Quality of Agricultural Drainage Systems in the Czech Republic — Options for Its Improvement. In *Research and Practices in Water Quality Teang Shui Lee* (Ed.): 239-262. InTech. ISBN 978-953-51-2163-3.
- Fučík P., Zajíček A., Kaplická M., Duffková R., Peterková J., Maxová J., Takáčová Š. 2017. Incorporating rainfall-runoff events into nitrate-nitrogen and phosphorus load assessments for small tile-drained catchments. *Water* 9, 712, DOI:10.3390/w9090712.

- Gupta S.C., Larson, W.E. 1979. Estimating soil water characteristic from particle size distribution, organic matter percent, and bulk density. *Water Resources Research* 15: 1633-1635.
- Haberle J., Svoboda, P. 2014. Impacts of use of observed and exponential functions of root distribution in soil on water utilization and yield of wheat, simulated with a crop model. *Archives of Agronomy and Soil Science* 60: 1533–1542.
- Haberle J., Vlček V., Kohut M., Středa T., Dostál J., Svoboda P. 2015. Balance a určení dostupné zásoby vody v kořenové zóně plodin. *Metodika pro praxi. VÚRV, v.v.i.* ISBN 978-80-7427-173-1.
- Haberle J., Svoboda P. 2015. Calculation of available water supply in crop root zone and water balance of crops. *Contributions to Geophysics and Geodesy* 45: 285–298.
- Haberle J., Svoboda P., Šimon T., Kurešová G., Neumannová A., Klír J. 2018a. Distribution of mineral nitrogen in soil in relation to risk of nitrate leaching in farms with irrigated vegetables and early potatoes. *Journal of Horticultural Research* 26(2), 47-54. DOI: 10.2478/johr-2018-0015.
- Haberle J., Svoboda P., Lukáš J., Duffková R. 2018b. Identifikace kritických zdrojových lokalit pro oblast Kochánků a Sojovic. *Soubor specializovaných map s odborným obsahem, VÚRV, v.v.i.* ISBN 978-80-7427-302-5.
- Haberle J., Lukas V., Svoboda P., Lukáš J., Raimanová I. 2019. Mapy výnosového potenciálu v oblasti dolního Pojizeří. *Soubor specializovaných map s odborným obsahem, VÚRV, v.v.i., Mendelova univerzita v Brně.* ISBN 978-80-7427-323-0.
- Haghverdi A., Leib B.G., Cornelis W.M. 2015. A simple nearest neighbor technique to predict the soil water retention curve. *Trans. ASABE* 58(3): 697–705.
- Harris P.M. 1978. Water. In *The Potato Crop*, 1st ed., Harris P.M. (Ed.), Chapman & Hall: London, UK: 244–277.
- Hess L., Meir P., Bingham I.J. 2015. Comparative assessment of the sensitivity of oilseed rape and wheat to limited water supply. *Ann. Appl. Biol.* 167: 102–115.
- Idso S.B. 1982. Non-water-stressed baselines: a key to measuring and interpreting plant water stress. *Agriculture Meteorology* 27: 59–70.
- Kadlecová R., Bruthans J., Grundloch J., Gvoždík L., Haberle J., Klír J., Kůrková I., Milický M., Růžek P., Herčík L. 2018. *Kvartérní sedimenty, podzemní voda a zemědělství. Čes. geol. služba, Praha, 85 s.* ISBN 978-80-7075-936-3.
- Kautz T., Amelung W., Ewert F., Gaiser T., Horn R., Jahn R., Javaux M., Kemna A., Kuzyakov Y., Munch J., ..... Köpke U. 2013. Nutrient acquisition from arable subsoils in temperate climates: A review. *Soil Biology and Biochemistry* 57: 1003–1022.
- Klír J., Haberle J., Růžek P., Šimon T., Svoboda P. 2018. Postupy hospodaření pro efektivní využití dusíku a snížení jeho ztrát. *Certifikovaná metodika. VÚRV, v.v.i.* ISBN 978-80-7427-273-8.
- Kučera J., Čermák J., Penka M. 1977. Improved thermal method of continual recording the transpiration flow rate dynamics. *Biol. Plant.* 19: 413-420. DOI: 10.1007/BF02922976
- Kulhavý Z., Čmelík M., Štibinger J., Macek L., Škripko J. 2015. Rekonstrukce staveb odvodnění s uplatněním principu regulace drenážního odtoku. *Certifikovaná metodika, 58 str.,* ISBN 978-80-87361-47-4.
- Kulhavý Z., Zajíček A., Březina K.B., Kvítek T., Pelíšek I., Lexa M. et al. 2018. Odvodňovací stavby v povodí, kapitola 1.8 in *Retence a jakost vody v povodí vodárenské nádrže Švihov na Želivce, Kvítek T. (Ed.) et al. Povodí Vltavy, státní podnik, s. 272,* ISBN: 978-80-270-2488-9.
- Kulhavý Z., Pelíšek I., Švihla V., Hanák J., Kraus J., Kvítek T. 2017. Postupy pro dosažení udržitelnosti hydromelioračních opatření v podmínkách České republiky. *Certifikovaná metodika. VÚMOP, v.v.i.* 145 s. ISBN 978-80-87361-75-7.
- Kurpelová M., Coufal L., Čulík J. 1975. *Agroklimatické podmienky ČSSR.* Bratislava, *Príroda*, 270 s.
- Kutílek, M. 1978. *Vodohospodářská pedologie. Druhé, přepracované vydání. SNTL. Praha.* 296 s.

- Lukáš J., Haberle J., Chrpová J., Madaras M., Kroulík M., Brandt V., Sova J. 2019. Metodika detekce vodního stresu polních plodin termokamerovým systémem. Certifikovaná metodika. VÚRV, v.v.i.
- Marshall M., Thenkabail P.S., Biggs T., Post K. 2016. Hyperspectral narrowband and multispectral broadband indices for remote sensing of crop evapotranspiration and its components (transpiration and soil evaporation). *Agricultural and Forest Meteorology* 218–219: 122–134.
- Matula S., Mojrová M., Špongrová K. 2007. Estimation of the soil water retention curve (SWRC) using pedotransfer functions (PTFs). *Soil & Water Research* 2(4): 113-122.
- Matula S., Špongrová K. 2007. Pedotransfer function application for estimation of soil hydrophysical properties using parametric methods. *Plant, Soil and Environment* 53(4): 149-157.
- Miháliková M., Matula S., Doležal F. 2013. HYPRESCZ – database of soil hydrophysical properties in the Czech Republic. *Soil & Water Res.* 8 (1): 34-41.
- Miháliková M., Matula S., Doležal F. 2014. Application of k-Nearest Code for the Improvement of Class Pedotransfer Functions and Countrywide Field Capacity and Wilting Point Maps. *Soil & Water Res.* 9 (1): 1–8.
- Miháliková M., Başkan O., Dengiz O. 2015. Capability of different interpolation models and pedotransfer functions to estimate soil hydraulic properties in Büyükcay Watershed. *Environmental Earth Sciences* 74(3): 2425-2437.
- Miháliková M., Özyazici M., Dengiz O. 2016. Mapping Soil Water Retention on Agricultural Lands in Central and Eastern Parts of the Black Sea Region in Turkey. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering* 142 (12). 05016008.
- Miháliková M., Khel T., Almaz C., Duffková R., Matula S., Fučík P., Vopravil J., Kara R.S., Havelková L., Bátková K., Vlčková M. 2019. NearriCZ: Databáze pro odhad polní vodní kapacity a bodu vadnutí v zemědělských půdách ČR pro účely řízení závlah [on-line]. Databáze. Česká zemědělská univerzita v Praze. <https://katedry.czu.cz/kvz/nearricz>.
- Minasny B., McBratney A., Bristow K.L. 1999. Comparison of different approaches to the development of pedotransfer functions for water retention curves. *Geoderma* 93(3-4): 225-253.
- Minasny B. 2000. Efficient methods for predicting soil hydraulic properties [on-line]. Doctoral thesis. University of Sydney. Dept. of Agricultural Chemistry and Soil Science, Faculty of Agriculture. Sydney. p. 352.
- Monteith J.L. 1973. *Principles of Environmental Physics*, Edward Arnold, London.
- Nemes A., Wösten J.H.M., Lilly A., Oude Voshaar J.H. 1999. Evaluation of different procedures to interpolate particle-size distributions to achieve compatibility within soil databases. *Geoderma* 90: 187-202.
- Nemes A., Schaap M.G., Wösten J.H.M. 2003. Functional Evaluation of Pedotransfer Functions Derived from Different Scales of Data Collection. *Soil Science Society of America Journal* 67(4): 1093-1102.
- Nemes A., Rawls W.J., Pachepsky Y.A., van Genuchten M.T. 2006. Sensitivity Analysis of the Nonparametric Nearest Neighbor Technique to Estimate Soil Water Retention. *Vadose Zone Journal* 5: 1222-1235.
- Nemes A., Roberts R.T., Rawls W.J., Pachepsky Y.A., van Genuchten M.T. 2008. Software to estimate -33 and -1500 kPa soil water retention using the non-parametric k-Nearest Neighbor technique. Version 1.00.02. *Environmental Modelling & Software* 23(2): 254-255.
- Nguyen P.M., Van Le K., Botula Y.D., Cornelis W.M. 2015. Evaluation of soil water retention pedotransfer functions for Vietnamese Mekong Delta soils. *Agricultural Water Management* 158: 126-138.

- Novák P., Vopravil J., Chramostová B., Lagová J., Vetišková D. 2007. Analýza a mapování infiltračních a retenčních schopností půd České republiky. Závěrečná zpráva projektu VaV 1D/1/5/05. VÚMOP, v.v.vi.
- Novák P., Kulhavý Z., Pelíšek I., Podhrázská J., Novotný I., Skokanová E., Batysta M., Marval Š., Podhrázský A., Berka M. et al. 2016. Studie ověření stavu závlahových systémů a jejich inventarizace. VÚMOP, v.v.i. Studie pro MZe, smlouva o dílo č. 336-2016–15150. 52 s.
- Novák P., Zajíček A., Marval Š., Hejduk T., Maxová J. 2017. Systematická ochrana vodních zdrojů před rizikem znečištění pesticidy a jejich metaboliky (SOPOR). Mapa zranitelnosti podzemních vod 1:10 000. Specializovaná mapa s odborným obsahem, projekt TH031187. ISBN 978-80-87361-80-1.
- Pachepsky Y.A., Rawls W.J., Lin H.S. 2006. Hydropedology and pedotransfer functions. *Geoderma* 131(3-4): 308-316.
- Patil N.G., Pal D.K., Mandal C., Mandal D.K. 2012. Soil water retention characteristics of vertisols and pedotransfer functions based on nearest neighbor and neural networks approaches to estimate AWC. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering* 138(2): 177-184.
- Plaut Z. 1995. Sensitivity of crop plants to water stress at specific developmental stages: Re-evaluation of experimental findings. *Isr. J. Plant Sci.* 43: 99–111.
- Potopová V., Türkott L., Soukup J., Zehnálek P. 2018. Vyhodnocení reakce souboru odrůd řepky olejky na meteorologické faktory. In Rožnovský, J., Litschmann, T. (Eds.): *Hospodaření s vodou v krajině, Třeboň 21.-22. 6. 2018*, ISBN 978-80-87361-83-2.
- Raimanová I., Svoboda P., Kurešová G., Henzlová B., Haberle J. 2018. Diskriminace <sup>13</sup>C zavlažovaných a nezavlažovaných polních plodin a zelenin. *Úroda* 66 (12), 4 s. (CD).
- Raimanová I., Svoboda P., Kurešová G., Haberle J. 2016. The effect of different post-anthesis water supply on the carbon isotope discrimination of winter wheat grain. *Plant, Soil & Environment* 62(7): 329-334.
- Rawls W.J., Brakensiek D.L., Saxton K.E. 1982. Estimation of Soil Water Properties. *TRANSACTIONS of the ASAE* 25(5): 1316-1320.
- Reidsma P., Ewert F., Lansink A. O., Leemans R. 2010. Adaptation to climate change and climate variability in European agriculture: the importance of farm level responses. *European Journal of Agronomy* 32: 91-102.
- Richards L.A., Weaver L.R. 1943. Fifteen-Atmosphere Percentage As Related To the Permanent Wilting Percentage. *Soil Science* 56(5): 331-339.
- Rožnovský J. 2019. Water Balance and Phase of Hydrocycle Dynamics. In: Zelenáková M., Fialová J. a Negm A.M. (Eds.). *Assessment and Protection of Water Resources in the Czech Republic*. Springer Water, 403-414. ISBN 978-3-030-18362-2.
- Sadeghi, M.; Tabatabaenejad, A.; Tuller, M.; Moghaddam, M.; Jones, S.B. 2017. Advancing NASA's AirMOSS P-Band Radar Root Zone Soil Moisture Retrieval Algorithm via Incorporation of Richards' Equation. *Remote Sens.*, 9, 17. <https://doi.org/10.3390/rs9010017>
- Sadler E.J., Evans R.G., Stone K.C., Camp C.R. 2005. Opportunities for conservation with precision irrigation. *Journal of Soil Water Conservation* 60: 371–378.
- Schaap M.G., Leij F.L., van Genuchten M.T. 1998. Neural network analysis for hierarchical prediction of soil hydraulic properties. *Soil Science Society of America Journal* 62(4): 847-855.
- Schaap M.G., Leij F.J., van Genuchten M.T. 2001. ROSETTA: A computer program for estimating soil hydraulic parameters with hierarchical pedotransfer functions. *Journal of Hydrology* 251: 163-176.
- Scheinost A.C., Sinowski W., Auerswald K. 1997. Regionalization of soil water retention curves in a highly variable soilscape, I. Developing a new pedotransfer function. *Geoderma* 78(3-4): 129-143.

- Spitz P., Zavadil J., Duffková R., Korsuň S., Nechvátal M., Hemerka I. 2011. Metodika řízení závlahového režimu plodin výpočetním programem IRRIPROG. Metodika pro praxi. VÚMOP, v.v.i. 41 s. ISBN: 978-80-87361-11-5.
- Středa T., Haberle J., Klimešová J., Svoboda P., Středová H., Khel T. 2017. Metodika odběru a hodnocení kořenového systému polních plodin. Certifikovaná metodika. Mendelova Univerzita v Brně (ISBN 978-80-7509-530-5), VÚRV, v.v.i. Praha (ISBN 978-80-7427-216-5).
- Středová H., Rožnovský J., Středa T. 2013. Predisposition of drought occurrence in selected arid areas of the Czech Republic. *Contrib. Geophys. Geodesy* 43: 237–252.
- Střeštík J., Rožnovský J., Štěpánek P., Zahradníček P. 2014. Increase of annual and seasonal air temperatures in the Czech Republic during 1961–2010. In: Rožnovský J. a Litschmann T. (Eds.). *Mendel and Bioclimatology. Conference proceedings, Brno, 3rd–5rd Sep. 2014* [CD]. Brno: 2014. ISBN 978-80-210-6983-1.
- Svoboda P., Haberle J. 2014. Hloubka kořenů polních plodin. *Úroda*, 62 (12 věd.př.): 433–436.
- Svoboda P., Kurešová G., Neumannová A., Haberle J. 2017. Riziko vyplavení nitrátů u zelenin a plodin s různou hloubkou kořenů. *Úroda* 65 (12): 493–496.
- Svoboda P., Raimanová I., Duffková R., Fučík P., Kurešová G., Haberle J. 2020. The effects of irrigation on root density profiles of potato, celery, and wheat. *Agronomy Research* 18(1), 14 p. (in print)
- Štěpánek P., Zahradníček P., Farda A., Skalák P., Trnka M., Meitner J, Rajdl K. 2016. Projection of drought-inducing climate conditions in the Czech Republic according to Euro-CORDEX models. *Clim Res* 70: 179–193.
- Štibinger J., Kulhavý Z. 2010. Úpravy vodního režimu krajiny odvodněním. Monografie. VÚMOP, v.v.i., ČZU v Praze, ISBN 978-80-213-2132-8. Drenážní kalkulátor přístupný na: <http://www.hydrmeliorace.cz/registrace/login.php?sw=4>
- Šupíková I., Novák P., Ocelka T., Kohout P., Mráz A., Skalický M., Hejduk T. 2018. Metodika cíleného monitoringu výskytu reziduí pesticidů ve zdrojových oblastech jímacího území. Certifikovaná metodika. VÚMOP, v.v.i. ISBN 978-80-87361-84-9.
- Šútor J., Štekauerová V. 2000. Hydrofyzikálne charakteristiky pôd Žitného ostrova. Ústav hydrologie SAV. Bratislava. 163 s. ISBN 80-968 480-1-1.
- Thorup-Kristensen K., Halberg N., Nicolaisen M., Olesen J.E., Crews T.E., Hinsinger P., Kirkegaard J., Pierret A., Dresbøll D.B. 2020. Digging deeper for agricultural resources, the value of deep rooting. *Trends in Plant Science* 25(4): 406–417.
- TNV 75 4221. Regulace a retardace odtoku na zemědělských pozemcích odvodněných trubkovou drenáží. Účinnost od 2/2004.
- Tomasella J., Pachepsky Y., Crestana S., Rawls W.J. 2003. Comparison of Two Techniques to Develop Pedotransfer Functions for Water Retention. *Soil Science Society of America Journal* 67(4): 1085–1092.
- Tóth B., Weynants M., Nemes A., Makó A., Bilas G., Tóth G. 2015. New generation of hydraulic pedotransfer functions for Europe. *European Journal of Soil Science* 66(1): 226–238.
- Trnka M., Dubrovský M., Žalud Z. 2004. Climate change impacts and adaptation strategies in spring barley production in the Czech Republic. *Clim. Chang.* 64: 227–255.
- Trnka M., Rötter R.P., Ruiz-Ramos M., Kersebaum K.C., Olesen J.E., Žalud Z., Semenov M.A. 2014. Adverse weather conditions for European wheat production will become more frequent with climate change. *Nat. Clim. Chang.* 4: 637–643.
- Trnka M., Drbal K., Dumbrovský M., Novotný I., Žalud Z., Vizina A., Chuchma F., Růžek P., Trantinová M. 2017. *Generel vodního hospodářství krajiny České republiky*. Státní pozemkový úřad Brno, 423 s.
- van Genuchten M.T. 1980. A Closed-form Equation for Predicting the Hydraulic Conductivity of Unsaturated Soils. *Soil Science Society of America Journal* 44(5): 892–898.

- Veihmeyer F.J., Hendrickson A.H. 1927. Soil moisture conditions in relation to plant growth. *Plant Physiology*. January; 2(1): 71-82.
- Vereecken H., Maes J., Feyen J., Darius P. 1989. Estimating the soil moisture retention characteristic from texture, bulk density, and carbon content. *Soil Science* 148(6): 389-403.
- Vereecken H., Weynants M., Javaux M., Pachepsky Y., Schaap, M.G., Genuchten M.T. 2010. Using pedotransfer functions to estimate the van Genuchten–Mualem soil hydraulic properties: A review. *Vadose Zone Journal* 9(4): 795-820.
- Vuolo F., D'Urso G., De Michele C., Bianchi B., Cutting M. 2015. Satellite-based irrigation advisory services: A common tool for different experiences from Europe to Australia. *Agric. Water Manag.* 147: 82–95.
- Wösten J.H.M., Lilly A., Nemes A., Le Bas C. 1999. Development and use of a database of hydraulic properties of European soils. *Geoderma* 90(3-4): 169-185.
- Wösten J.H.M., Pachepsky Y.A., Rawls W.J. 2001. Pedotransfer functions: bridging the gap between available basic soil data and missing soil hydraulic characteristics. *Journal of Hydrology* 251(3-4): 123-150.
- Zajíček A., Fučík P., Kaplická M., Liška M., Maxová J., Dobiáš J. 2018. Pesticide leaching by agricultural drainage in sloping, mid-textured soil conditions – the role of runoff components. *Water Science and Technology* 77(7-8): 1879-1890. DOI: 10.2166/wst.2018.068.
- Zhang Y., Schaap M.G. 2017. Weighted recalibration of the Rosetta pedotransfer model with improved estimates of hydraulic parameter distributions and summary statistics (Rosetta3). *Journal of Hydrology* 547: 39-53.
- Zhou, H., Zhao, W. 2019. Modeling soil water balance and irrigation strategies in a flood-irrigated wheat-maize rotation system. A case in dry climate, China. *Agricultural Water Management* 221, p. 286 - 302
- Žalud Z., Brotan J., Hlavinka P., Trnka M. 2013. Trends in temperature and precipitation in the period of 1961–2010 in Žabčice locality. *Acta Univ. Agric. Silv. Mendel. Brun.* 61: 1521–1531.



- Litschmann T., Rožnovský J., Salaš P. 2018. Teplotní a vlhkostní režim písčitých půd z hlediska zásobování rostlin vláhou v období 2009–2015. In: Hospodaření s vodou v krajině [CD]. VÚMOP, v.v.i. ISBN 978-80-87361-83-2.
- Miháliková M. et al. 2018. Hydrophysical properties of biochar treated soils in a laboratory study. Poster. 10th International Soil Science Congress on "Environment and Soil Resources Conservation", 17–19 October, 2018, Almaty, Kazachstan.
- Miháliková M., Dengiz O. 2019. Towards more effective irrigation water usage by employing land suitability assessment for various irrigation techniques. *Irrigation and Drainage* 68: 617-628.
- Miháliková M., Khel T., Almaz C., Duffková R., Matula S., Fučík P., Vopravil J., Kara R.S., Havelková L., Bátková K., Vlčková M. 2020. NearriCZ: Databáze pro odhad polní vodní kapacity a bodu vadnutí v zemědělských půdách ČR pro účely řízení závlah [on-line]. Specializovaná databáze. Česká zemědělská univerzita v Praze, Praha. <https://katedry.czu.cz/kvz/nearricz>
- Raimanová I., Svoboda P., Kurešová G., Henzlová B., Haberle J. 2018. Diskriminace <sup>13</sup>C zavlažovaných a nezavlažovaných polních plodin a zelenin. *Úroda* 66 (12): 4 s. (CD).
- Rožnovský J., Chuchma F., Fiala R. 2017. Dynamika vláhové bilance během vegetačního období na území ČR v roce 2017. In: Čelková A. (Ed.) Transport vody, chemikálií a energie v systémech půda-rastlina-atmosféra. Zborník recenzovaných příspěvků. 24. Posterový deň s medzinárodnou účasťou a Deň otvorených dverí na ÚH SAV, 8.11. 2017, Bratislava [CD]. Bratislava: Ústav hydrologie SAV, str. 236–244. ISBN 978-80-89139-40-8.
- Rožnovský J., Chuchma F., Fiala R., Brzezina J. 2017. Proč je ohrožena dostupnost vody ve volné krajině? In: Aktuální otázky bioklimatologie zvířat 2017, Mendelova univerzita v Brně, 29. listopadu 2017. VÚŽV, v.v.i., s. 65–69. ISBN 987-80-7403-170-0.
- Rožnovský J., Soukalová E. 2017. Dynamika srážek a stav podzemních vod v ČR. In: Zadržování vody v krajině-Cesta k vodnímu komfortu, Brno, 6. dubna 2017. Brno: Evropský institut pro zadržování vody v krajině, s. 24–31. ISBN 978-80-270-1479-8.
- Rožnovský J., Středová H., Středa T. 2017. Vývoj změn našeho podnebí a jeho vliv na půdu a pěstování zemědělských plodin. *Úroda* 65(12), vědecká příloha, s. 97-104. ISSN 0139-6013.
- Rožnovský J., Chuchma F., Fiala R. 2018. Základní vláhová bilance, ukazatel sucha na území České republiky. *Acta Hydrologica Slovaca* 19(2): 171-178.
- Rožnovský J., Chuchma F., Fiala R. 2018. Základní vláhové bilance na území ČR v suchých letech. In: Vplyv antropogénnej činnosti na vodný režim nížinného územia, zborník recenzovaných příspěvků X. vedecká konferencia s medzinárodnou účasťou, Zemplínska Širava, 22. 5. – 24. 5. 2018. Ústav hydrologie SAV Bratislava, Výskumná hydrologická základňa Michalovce. ISBN 978-80-89139-41-5.
- Rožnovský J., Salaš P., Burgová J., Vlk R. 2019. Vliv povrchů města na vlhkost půdy. In: Rožnovský J. a Litschmann T. (Eds). Sborník příspěvků z mezinárodní konference: Hospodaření s vodou v krajině, Třeboň 13.–14.6.2019 [CD]. Český hydrometeorologický ústav. ISBN 978-80-87577-88-2.
- Rožnovský J. 2019. Water Balance and Phase of Hydrocycle Dynamics. In: Zelenáková M., Fialová J. a Negm A.M. (Eds.). Assessment and Protection of Water Resources in the Czech Republic. Springer Water, s. 403-414. ISBN 978-3-030-18362-2.
- Rožnovský J., Střeščík J. 2019. Dynamika a trendy teploty vzduchu na území České republiky. *Úroda* 67(12): 65-71. ISBN 978-80-907141-3-7.
- Rožnovský J., Střeščík J. 2019. Dynamika a trendy hodnot klimatologických ukazatelů sucha. In: Salaš, P. (Ed): Rostliny v suchých oblastech a klimatická změna. Lednice, 23.-24.10.2019 Zahradnictví: Vědecká příloha. Praha: Profi Press, XVIII(11): 248-256. ISSN 1213-7596.

- Rožnovský J., Šiška B., Salaš P. 2017. Proč „Mrazy a jejich dopady.“ In: Mrazy a jejich dopady – CD ROM, Hrubá Voda 26.–27. 4. 2017. Praha: Český hydrometeorologický ústav. ISBN 978-80-87577-69-1.
- Spitz P., Zavadil J., Duffková R., Korsuň S., Nechvátal M., Hemerka I. 2011. Metodika řízení závlahového režimu plodin výpočetním programem IRRIPROG. Metodika pro praxi. VÚMOP, v.v.i. 41 s., ISBN: 978-80-87361-11-5.
- Středa T., Haberle J., Klimešová J., Svoboda P., Středová H., Khel T. 2017. Metodika odběru a hodnocení kořenového systému polních plodin. Certifikovaná metodika. Mendelova Univerzita v Brně, VÚRV, v.v.i., 54 s.
- Středa T., Středová H., Chuchma F., Kučera J., Chuchma F. 2019. Smart method of agricultural drought regionalization: A winter wheat case study. *Contributions to Geophysics and Geodesy* 49(1): 25-36.
- Svoboda P., Haberle J., Kurešová G. 2018. Hloubka kořenů polních plodin a zelenin a stanovení závlahové hloubky. In: „Vliv abiotických a biotických stresorů na vlastnosti rostlin 2018“ Zvolen, SR, září 2018: 4 s.
- Svoboda P., Kurešová G., Neumannová A., Haberle J. 2016. Efektivnost využití vody ozimou pšenicí při diferencované dostupnosti vody. In: Vliv abiotických a biotických stresorů na vlastnosti rostlin. Mez. konference 12.-14.6.2016, ÚEL SAV Zvolen, 4 s.
- Svoboda P., Kurešová G., Raimanová I., Haberle J. 2018. Root depth of field crops and vegetables in the Czech Republic. In: 15th ESA Congress, Ženeva, srpen 2018: 2 s.
- Svoboda P., Raimanová I., Duffková R., Fučík P., Haberle J. 2019. Vliv závlahy na kořenový systém vybraných plodin. In: Aktuální poznatky v pěstování, šlechtění, ochraně rostlin a zpracování produktů, Brno. *Úroda* 67(12): 5 s. (CD).
- Svoboda P., Raimanová I., Duffková R., Fučík P., Kurešová G., Haberle J. 2020. The effects of irrigation on root density profiles of potato, celery, and wheat. *Agronomy Research* 18(1): 14 p. (in print).
- Truneh L.A., Matula S., Bátková K. 2019. Irrigation Water Management in Ethiopia – Review. 26. Posterový den s mezinárodní účastí a Deň otvorených dverí na ÚH SAV "Transport vody, chemikálií a energie v systéme poda/rastlina/atmosféra", 6.11.2019, Ústav hydrologie SAV, Bratislava, SK (ISBN 978-80-89139-44-6), poster na konferenci, publikovaný abstrakt ve sborníku abstraktů a recenzovaný příspěvek na CD.

## English abstract

### Assessment of crop water requirements for effective irrigation in Czechia – a certified methodology

This methodology presents theoretical background as well as practical procedures applicable by farmers, engineers or state offices for assessment of crop water requirements for effective planning and operation of irrigation systems. The previous approach, used in the Czech Republic, based on fixed crop water requirements derived at 1960's, has been now improved by incorporation of the FAO-56 method, combined with an assessment of soil hydrological characteristics done by enhanced pedotransfer functions. Moreover, a thorough intergration of crop roots, and sources of locally available water from precipitation, soil, and shallow groundwater is provided. The methodology further briefly describes the possible use of remote sensing approaches and methods, exploitable by farmers and other stakeholders in agricultural soil and crop water management, especially irrigation. The brochure also mentions the large potential of adaptation options for land drainage systems, which cover more than 1.1 mil. hectares of agricultural land in Czechia. The methodology shortly introduces the criteria for delineation of s.c. controlled drainage and describes the benefits in improvement of water balance in different conditions and periods.

The practical section of the methodology presents a detailed, yet simple farmer-oriented description of devices and steps for field soil and water sampling, measurements as well as methods for derivation of optimal irrigation doses.

The presented approach enables the calculation and categorization of average crop water balance and irrigation doses for more than 40 field crops, including vegetables, orchards and vineyards also by an online crop water requirement calculator <https://vlaha.vumop.cz/> (in Czech); using and/or comparing two climatic periods (1981-2010 and 2009-2018).

Given there was around 160 000 hectares of irrigation systems built in the past and, currently, around 65 000 hectares are being in use in Czechia, the need of the effective irrigation planning and operation is of a high priority, considering the aspects of the climate change.

**Citation:** Duffková R., Fučík P., Miháliková M., Haberle J., Rožnovský J., Holub. J., Kulhavý Z., Matula, S., Středa, T., Svoboda, P., Khel, T., Hejduk, T., Brzezina, J., Středová, H., Kurešová, G., Novotný, I., Vopravil, J., Chuchma, F., Pelíšek, I., Bátková, K., Šimon, T., Almaz, C. 2020. Assessment of crop water requirements for effective irrigation in Czechia – a certified methodology. VÚMOP, v.v.i. ISBN 978-80-88323-12-9 (printed version), ISBN 978-80-88323-13-6 (online pdf). In Czech.

**Acknowledgement:** This research was supported by project No. QK1720285 *New methods for adjustment of altered crop water requirements in irrigation systems across Czechia as affected by soil and climate changes (2017-2019)*, funded by Czech Ministry of Agriculture.

## Seznam zkratk

BSD = bod snížené dostupnosti

BV = bod vadnutí

BVO = bramborářská výrobní oblast

ČHMÚ = Český hydrometeorologický ústav

ET<sub>0</sub> = referenční evapotranspirace

ETc = plodinová evapotranspirace

HPJ = hlavní půdní jednotk

HPV = hladina podzemní vody

HVO = horská výrobní oblast

Kc = plodinový koeficient

KVO = kukuřičná výrobní oblast

PTF = pedotransferová funkce

PVK = polní vodní kapacita

RD = regulační drenáž

RDO = drenážní systém s regulací drenážního odtoku

ŘVO = řepařská výrobní oblast

VB = vláhová bilance

Vc = vláhová potřeba

VVK = využitelná vodní kapacita

ZVO = zemědělská výrobní oblast

KPP = komplexní průzkum půd

LPIS = land-parcel identification systém, evidence využití zemědělské půdy

Wz = využitelná zásoba vody v půdě na začátku vegetačního období

Wk = využitelné množství vzlínající podzemní vody pro vegetační období

## Seznam obrázků

- Obrázek 1.** Suma průměrných denních teplot vzduchu  $\geq 10$  °C na území České republiky za období 1961-1990 (3. normálové období)
- Obrázek 2.** Suma průměrných denních teplot vzduchu  $\geq 10$  °C na území České republiky za období 1961-2000
- Obrázek 3.** Suma průměrných denních teplot vzduchu  $\geq 10$  °C na území České republiky za období 1981-2010
- Obrázek 4.** Průběh Langova dešťového faktoru v jednotlivých povodích
- Obrázek 5.** Meteorologické stanice ČHMÚ použité pro výpočet vláhové bilance
- Obrázek 6.** Kategorie vláhové bilance pro pšenici ozimou za období 1981 – 2010
- Obrázek 7.** Kategorie vláhové bilance pro pšenici ozimou za období 2009 – 2018
- Obrázek 8.** Kategorie vláhové bilance pro silážní kukuřici za období 1981 – 2010
- Obrázek 9.** Kategorie vláhové bilance pro silážní kukuřici za období 2009 – 2018
- Obrázek 10.** Kategorie vláhové bilance pro řepku ozimou za období 1981 – 2010
- Obrázek 11.** Kategorie vláhové bilance pro řepku ozimou za období 2009 – 2018
- Obrázek 12.** Kategorie vláhové bilance pro brambory polorané za období 1981 – 2010
- Obrázek 13.** Kategorie vláhové bilance pro brambory polorané za období 2009 – 2018
- Obrázek 14.** Schéma použití programu k-Nearest
- Obrázek 15.** Soubory databáze NearriCZ
- Obrázek 16.** Vzor aplikačního datového souboru
- Obrázek 17.** Hlavní okno programu k-Nearest. Číslice označující pracovní kroky jsou popsány v textu
- Obrázek 18.** Chybová zpráva o datech v aplikačním datovém souboru
- Obrázek 19.** Výstupní zpráva programu k-Nearest
- Obrázek 20.** Výstupní tabulka s výsledky odhadů polní kapacity a bodu vadnutí
- Obrázek 21.** Hranice modelového území
- Obrázek 22.** Mapa retenční vodní kapacity modelového území
- Obrázek 23.** Mapa bodu vadnutí modelového území pro ornici (0-30 cm)
- Obrázek 24.** Mapa bodu vadnutí modelového území pro podorničí (30-100 cm)
- Obrázek 25.** Mapa využitelné vodní kapacity modelového území
- Obrázek 26.** Čidlo na měření půdní vlhkosti CS650 – vhodný a přesný nástroj pro řízení závlahového režimu
- Obrázek 27.** Sloupce A-I a řádky 1-22 vzorového xlsx souboru pro výpočet závlahových dávek
- Obrázek 28.** Sloupce A-F a řádky 1, 2 a 24-29 vzorového xlsx souboru pro výpočet závlahových dávek
- Obrázek 29.** Sloupce A-K a řádky 1 a 31-47 vzorového xlsx souboru pro výpočet závlahových dávek
- Obrázek 30.** Sloupce L-P vzorového xlsx souboru pro výpočet závlahových dávek
- Obrázek 31.** Porovnání efektů řízení retence vody v půdě na příkladu retenčních čar vlhkosti. Mezi technická opatření lze řadit manipulaci s HPV pomocí hradítek na drenážním systému (regulace drenážního odtoku). V rámci netechnických opatření se v obrázku uplatňuje závlaha, využívající přirozenou retenční schopnost půdního profilu. Vztahy mezi

hydrolimity a vlhkostí půdy je dokumentován na obrázku, převzatém z Vodohospodářské pedologie (1978) prof. M. Kutílka

## Seznam tabulek

**Tabulka 1.** Meteorologická data (průměrné teploty vzduchu, srážkový úhrn a referenční evapotranspirace,  $ET_0$ ) pro platný klimatický normál (1981- 2010) a dekádu (2009-2018) v jednotlivých ZVO

**Tabulka 2.** Půdní a terénní parametry (využitelná vodní kapacita, VVK, nadmořská výška, svažitost půdních bloků, plocha půdních bloků se svažitostí > 10 %) pro jednotlivé ZVO

**Tabulka 3.** Plošné zastoupení, délka vegetačního období, vláhová bilance, srážky, vláhová potřeba ( $V_c$ ) a vztlínající podzemní voda ( $W_k$ ) pro jednotlivé kategorie dostupnosti půdní vody a zemědělské výrobní oblasti za období **1981-2010: Ozimá pšenice**

**Tabulka 4.** Plošné zastoupení, délka vegetačního období, vláhová bilance, srážky, vláhová potřeba ( $V_c$ ) a vztlínající podzemní voda ( $W_k$ ) pro jednotlivé kategorie dostupnosti půdní vody a zemědělské výrobní oblasti za období **2009-2018: Ozimá pšenice**

**Tabulka 5.** Plošné zastoupení, délka vegetačního období, vláhová bilance, srážky, vláhová potřeba ( $V_c$ ) a vztlínající podzemní voda ( $W_k$ ) pro jednotlivé kategorie dostupnosti půdní vody a zemědělské výrobní oblasti za období **1981-2010: Silážní kukuřice**

**Tabulka 6.** Plošné zastoupení, délka vegetačního období, vláhová bilance, srážky, vláhová potřeba ( $V_c$ ) a vztlínající podzemní voda ( $W_k$ ) pro jednotlivé kategorie dostupnosti půdní vody a zemědělské výrobní oblasti za období **2009-2018: Silážní kukuřice**

**Tabulka 7.** Plošné zastoupení, délka vegetačního období, vláhová bilance, srážky, vláhová potřeba ( $V_c$ ) a vztlínající podzemní voda ( $W_k$ ) pro jednotlivé kategorie dostupnosti půdní vody a zemědělské výrobní oblasti za období **1981-2010: Řepka ozimá**

**Tabulka 8.** Plošné zastoupení, délka vegetačního období, vláhová bilance, srážky, vláhová potřeba ( $V_c$ ) a vztlínající podzemní voda ( $W_k$ ) pro jednotlivé kategorie dostupnosti půdní vody a zemědělské výrobní oblasti za období **2009-2018: Řepka ozimá**

**Tabulka 9.** Plošné zastoupení, délka vegetačního období, vláhová bilance, srážky, vláhová potřeba ( $V_c$ ) a vztlínající podzemní voda ( $W_k$ ) pro jednotlivé kategorie dostupnosti půdní vody a zemědělské výrobní oblasti za období **1981-2010: Polorané brambory**

**Tabulka 10.** Plošné zastoupení, délka vegetačního období, vláhová bilance, srážky, vláhová potřeba ( $V_c$ ) a vztlínající podzemní voda ( $W_k$ ) pro jednotlivé kategorie dostupnosti půdní vody a zemědělské výrobní oblasti za období **2009-2018: Polorané brambory**

**Tabulka 11.** Vláhová potřeba vybraných druhů plodin/kultur (směrné hodnoty z ČSN 75 0434 pro Polabí nebo Jižní Moravu a FAO-56 pro vybrané půdní bloky v dolním Pojizeří pro období 2009-2018). *Červeně zvýrazněné jsou významně vyšší hodnoty  $V_c$  dle FAO-56*

**Tabulka 12.** Přehled údajů v aplikačním datovém souboru

**Tabulka 13.** Kategorizace retenční vodní kapacity pro mapové zobrazení

**Tabulka 14.** Plošné zastoupení kategorií retenční vodní kapacity na modelovém území

**Tabulka 15.** Kategorizace využitelné vodní kapacity pro mapové zobrazení

**Tabulka 16.** Plošné zastoupení kategorií využitelné vodní kapacity na modelovém území

**Tabulka 17.** Porovnání hodnot účinné hloubky zavlažení /1 a 2/, efektivní hloubky pro odběr dusíku kořeny /3/ a pozorované maximální hloubky kořenů na různých lokalitách ČR pro vybrané druhy zeleniny a polních plodin

**Tabulka 18.** Půdní hydrolimity (obj. %) polní vodní kapacita (PVK) a bod vadnutí (BV) z retenčních čar půdní vlhkosti (R), z PTF podle Brežného (PTF) a z programu k-Nearest (Near) na vybraných pozemcích v dolním Pojizeří (okolí Benátek nad Jizerou a Předměřic nad Jizerou)

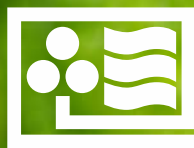
**Tabulka 19.** Hlavní půdní jednotky splňující kritéria hydromorfizmu půd

**Tabulka 20.** Hlavní půdní jednotky s charakteristikou vláhových poměrů "mírně převlhčené půdy" a "periodicky převlhčené půdy"

### **Prohlášení předkladatelů metodiky**

Předkladatelé metodiky prohlašují, že zpracovaná metodika nezasahuje do práv jiných osob z průmyslového nebo jiného duševního vlastnictví.

Předkladatelé metodiky souhlasí s uveřejněním metodiky na webových stránkách Ministerstva zemědělství.



**Výzkumný ústav meliorací  
a ochrany půdy, v.v.i.**

Název	Metodika hodnocení vláhových potřeb zemědělských plodin pro účely závlah.
Autoři	Duffková, R., Fučík, P., Miháliková, M., Haberle, J., Rožnovský, J. a kolektiv
Vydal	Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, v.v.i.
Vydání	5/2020
Počet stran	90
Náklad	200 ks
Tisk	Rhodos spol. s r. o., Vyšehradská 51, 120 00 Praha 2
Distribuce	Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, v.v.i.
ISBN	978-80-88323-12-9 (tištěná verze), 978-80-88323-13-6 (pdf verze)