

Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, v.v.i.
České vysoké učení technické v Praze
Česká zemědělská univerzita v Praze
Mendelova univerzita v Brně

METODIKA

Stanovení faktoru ochranného vlivu vegetace pomocí simulátoru deště

**Martin Mistr a kol.
2016**

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

České vysoké učení technické v Praze

Česká zemědělská univerzita v Praze

Mendelova univerzita v Brně

Stanovení faktoru ochranného vlivu vegetace pomocí simulátoru deště

Certifikovaná metodika

Praha 2016

Kolektiv autorů:

Martin Mistr, Ing. Ph.D.

Ivan Novotný, Ing.

Tomáš Dostál, doc. Ing. Dr.

Josef Krása, doc. Ing. Ph.D.

David Zumr, Ing. Ph.D.

VÚMOP, v.v.i.

Kapitoly: I, II.1, II.2,

ČVUT v Praze

Kapitoly: II.4, II.5, II.7

Václav Brant, doc. Ing. Ph.D.

Milan Kroulík, doc. Ing. Ph.D.

Jan Pivec, Dr. Ing.

Tomáš Středa, Ing. Ph.D.

Hana Středová, doc. Ing. Ph.D.

ČZU v Praze

Kapitola: II.3 II.7

MENDELU

Kapitola: II.6

Recenzovali:

doc. RNDr. Zdeněk Kliment, CSc. - Univerzita Karlova v Praze, Přírodovědecká fakulta

Ing. Václav Kadlec, Ph.D. – Ministerstvo zemědělství, Odbor strategie a trvale udržitelného rozvoje

Metodika je certifikována a doporučena MZe, Odborem strategie a trvale udržitelného rozvoje podle osvědčení číslo: 74408/2016-MZE-10052

Poděkování:

Metodika vznikla jako výstup projektu QJ1530181 „Stanovení aktuálních hodnot ochranného účinku vegetace za účelem kvantifikace a zefektivnění protierozní ochrany zemědělské půdy v České republice“

Program:

Komplexní udržitelné systémy v zemědělství 2012 – 2018 „KUS“

ISBN: 978-80-87361-65-8

I.	Cíl metodiky.....	7
II.	Vlastní popis metodiky.....	8
II.1	<i>Výběr a příprava ploch pro simulaci</i>	8
II.1.1	Půdní podmínky.....	8
II.1.2	Uspořádání polního testování	9
II.2	<i>Vlastní simulace</i>	10
II.2.1	Velikost zadešťované plochy a intenzita srážky.....	11
II.2.2	Doba simulace	12
II.2.3	Odběry vzorků před a během simulace.....	14
II.3	<i>Stanovení vegetačního pokryvu, výšky porostu a produkce biomasy.....</i>	16
II.3.1	Stanovení pokrývnosti půdy	16
II.4	<i>Metodika výpočtu hodnot C faktoru z naměřených dat.....</i>	18
II.4.1	Výpočet C faktoru jako průměrné roční hodnoty.....	18
II.4.2	Výpočet SLR konkrétního jednoho experimentu.....	19
II.4.3	Vyhodnocení dat z experimentálních měření.....	21
II.5	<i>Příklad výpočtu C faktoru pro ječmen jarní.....</i>	22
II.6	<i>Termíny simulací pro hlavní druhy plodin</i>	25
II.6.1	Fenologické fáze hlavních polních plodin.....	26
II.6.2	Vývojové a růstové fáze dle BBCH	27
II.6.3	Termíny simulací odvozené z růstových fází BBCH	28
II.7	<i>Index listové plochy jako nástroj pro odvození ochranného vlivu vegetace pro podobné druhy rostlin</i>	29
II.7.1	Obecné principy a metody stanovení indexu listové plochy	29
II.7.2	Metodika stanovení indexu listové plochy na základě analýzy infrasinímku	31
II.7.3	Stanovení dynamiky indexu listové plochy v čase	33
II.7.4	Stanovení doplňkových charakteristik.....	34
II.7.5	Využití indexu listové plochy pro odvození C faktoru	35

III.	Srovnání novosti postupů.....	37
IV.	Popis uplatnění Certifikované metodiky	37
V.	Ekonomické aspekty	38
VI.	Seznam použité související literatury.	40
VII.	Seznam publikací, které předcházely metodice	43
VIII.	Příloha.....	44
VIII.1	<i>Fenologická data ČHMÚ a jim odpovídající kód stupnice BBCH</i>	<i>44</i>

I. Cíl metodiky

Ochranný účinek vegetace má zásadní vliv při řešení protierozní ochrany půdy. Plodiny chrání půdu před účinky dopadajících dešťových kapek, zpomalují povrchový odtok a jejich kořeny půdu mechanicky zpevňují. Plodiny také ovlivňují množství organické hmoty v půdě, tedy i její vlastnosti jako odolnost před erozí, infiltrační schopnost atd. U nás i ve světě je vodní eroze nejčastěji kvantifikována pomocí dlouhodobého průměrného smyvu půdy, který je počítán podle Univerzální rovnice ztráty půdy (USLE) (Wischmeier a Smith, 1978). Jedním z faktorů zahrnutým do rovnice je i faktor ochranného vlivu vegetace (C faktor), vyjádřený v závislosti na vývoji vegetace a použité agrotechnice.

Aktuálně používané hodnoty C faktoru byly převzaty z katalogů původních, odvozených v USA současně s celou rovnicí USLE a jejich aktualizace a validace pro naše podmínky proběhla jen minimálně. V katalozích zcela chybí některé typické evropské plodiny (tritikale, řepka, čirok, slunečnice atd.) a nelze opomenout skutečnost, že v důsledku změny odrůdové skladby se mění i parametry porostů (počty rostlin na jednotku plochy, počty odnoží u obilnin, výška rostlin, nástup růstových fází apod.), dochází ke změně agrotechnických termínů výsevů, následně ke změně dynamiky vývoje porostů v čase a v konečném důsledku i k posunům termínů sklizně.

Je proto nezbytné experimentálně ověřovat tyto hodnoty ať již pro nové plodiny, tak plodiny s hodnotou převzatou z původních katalogů.

Cílem metodiky je prezentovat způsob stanovení faktoru ochranného vlivu vegetace na základě dostupných zdrojů a dat získaných z předchozích měření a stanovit jednotný postup pro provádění simulací tak, aby bylo dosahováno srovnatelných výsledků.

Tato metodika řeší:

- způsob výběru experimentálních lokalit (Mistr et al. 2013),
- termíny a počty simulací v závislosti na vývoji porostu – vazba na (Wischmeier a Smith 1978) i (Janeček et al. 2012),
- nastavení parametrů polního simulátoru deště, způsob provádění měření
- způsob provádění odběrů vzorků z experimentálních ploch, jejich analýz a vyhodnocení
- postup výpočtu hodnot C faktoru z naměřených dat

II. Vlastní popis metodiky

Hodnotu C faktoru ovlivňuje konkrétní kombinace vegetačního pokryvu, sledu plodin, použité agrotechniky, také však záleží na aktuální fázi vývoje rostliny a na ochraně půdy, kterou poskytují rostlinné zbytky a vybrané agrotechnické operace v okamžiku přivalového deště (Wischmeier a Smith 1978). Účinnost vegetačního pokryvu se v průběhu roku postupně mění a tomu musí odpovídat počty a termíny experimentů tak, aby bylo možné účinnost vegetačního pokryvu vyhodnotit.

V metodice jsou popsány postupy a kroky, které jsou klíčové pro dosažení homogenních a srovnatelných výsledků – nastavení parametrů zadržovacího zařízení, způsob provádění měření, odběrů vzorků a jejich analýz a vyhodnocení tak, aby bylo každé měření prováděno podle standardizovaných požadavků, a to jak v rámci jednotlivých pracovišť zapojených do projektu, tak i výzkumných týmů, které vlastní polní simulátor deště obdobné konstrukce a provádějí polní měření. V metodice je prezentován postup stanovení roční hodnoty faktoru ochranného vlivu vegetace (C faktoru) na základě naměřených hodnot z polních simulací deště a text je doplněn o kapitulu popisující růst a vývoj rostlin, respektive jejich porostů, mající významný vliv na hodnoty C faktoru.

II.1 Výběr a příprava ploch pro simulaci

Experimentální plochy by měly být vybírány tak, aby co nejvíce odpovídaly parametrům, při kterých byla ověřována univerzální rovnice dlouhodobé ztráty půdy USLE (Wischmeier a Smith 1958). Jedná se zejména o sklonitost experimentálních ploch, která by měla být ideálně 9 % (tj. 5,16°) a dále o délku experimentální plochy, která by měla ideálně být 22,13 m. Z praktického hlediska konstrukce polního simulátoru je však tato délka redukována. Dále je při výběru experimentálních ploch nutné dát důraz také na výběr reprezentativních půdních podmínek a dostupnost dostatečné plochy s homogenními podmínkami pro dosažení vhodného uspořádání experimentálních ploch. Z praktického pohledu by pak experimentální plochy měli být umístěovány na orné půdě, nejlépe zemědělců, kteří testované technologie využívají a mají s nimi dostatek zkušeností.

II.1.1 Půdní podmínky

Pro experimentální měření pomocí polního simulátoru deště by měly být vybírány půdy typické pro naše podmínky, tedy především kambizemě, jako náš nejzastoupenější půdní typ, středně hluboké, hlinité až písčitohlinité.

Vhodné půdní podmínky

- kambizem jako nejzastoupenější půdní typ,
- středně hluboké až hluboké,
- skeletovitost 0 - 1,
- sklonitost kolem 9 % (tj. 5,16°),
- půda vedená v LPIS jako orná.

Pro výběr vhodných ploch je možné použít klasifikaci půd dle bonitovaných půdně ekologických jednotek (BPEJ) (Novotný et al. 2013)

Parametry BPEJ pro výběr vhodných lokalit

- | | |
|-------------------------|---------------------------|
| • HPJ | 24 – 26, 28 – 30, 33 – 36 |
| • Sklonitost/expozice | 1, 2, 3 |
| • Skeletovitost/hloubka | 0, 1, 7 |

Vhodnost pozemku pro simulaci musí být vždy ověřena na místě pomocí vpichovaných sond sondovací tyčí. Je třeba klást důraz na zjištění stratigrafie půdního profilu, mocnost jednotlivých genetických půdních horizontů, přítomnost morfologických znaků i subjektivní vyhodnocení skeletovitosti, struktury a zrnitosti půdy. Rovněž důležité je ověření sklonu plochy vytyčených experimentálních ploch a to na několika místech.

Experimentální parcely vyhovují v případě, že v celé ploše:

vykazují homogenitu testovaných podmínek (shodný půdní typ, shodná kategorizace zrnitosti),

je shodná kategorizace sklonitosti pozemku na ploše s vegetací a úhorem (rozdíl méně než 1 %),

je shoda obsahu skeletu (s příměsí, slabě štěrkovitá, středně štěrkovitá).

II.1.2 Uspořádání polního testování

Pro vyšší efektivitu měření je vhodné vytyčit více parcel vedle sebe tak, aby hodnoty naměřené na parcele s úhorem mohly být použity pro ostatní varianty. Při ověřování dané plodiny/technologie je vždy testována daná varianta (**X, Y, Z**) s variantou **kypřeného úhoru**.

Velikost pozemku vyčleněného ke každé variantě musí být minimálně 6 x 20 m dle konstrukce simulátoru deště, situování pozemků je ideálně vedle sebe.

varianta X		varianta Y		úhor		varianta Z		varianta ...		délka 20 m
manip. plocha		manip. plocha		manip. plocha		manip. plocha		manip. plocha		
šířka 6 -8 m		šířka 6 -8 m		šířka 6 -8 m		šířka 6 -8 m		šířka 6 -8 m		

Obr. 1: Návrh na uspořádání parcel pro simulaci deště, varianta vícenásobné zadešťování

Vícenásobné zadešťování jedné plochy vysokými intenzitami srážky je spojené s rizikem „vymytí“ povrchu a hrozí, že naměřené hodnoty smyvu nebudou odrážet pouze vliv rostoucí vegetace.

Pokud hrozí riziko „vymytí“ povrchu, měla by být nová simulace deště prováděna vždy na nezadešťovanou plochu (Obr. 2.). Při této variantě je však potřeba třikrát větší zadešťovaná plocha, což způsobuje větší riziko nehomogenit (půdní podmínky, vlhkost půdy, sklonitost), které zhoršují porovnatelnost s úhorem i mezi jednotlivými simulacemi na stejné plodině v průběhu vegetace.

varianta X				varianta Y				úhor				varianta Z				varianta ...				délka 20 m			
1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4		1	2	3
šířka 12-18 m				šířka 12-18 m				šířka 12-18 m				šířka 12-18 m				šířka 12-18 m							

Obr. 2.: Návrh uspořádání parcel pro simulaci deště, varianta zadešťování vždy na novou plochu

II.2 Vlastní simulace

Tým ČVUT ve fázi přípravy projektu QJ1530181 „Stanovení aktuálních hodnot ochranného účinku vegetace za účelem kvantifikace a zefektivnění protierozní ochrany zemědělské půdy v České republice“ v letech 2013 a 2014 provedl rozsáhlou rešerši způsobů stanovení hodnot faktoru C v rámci USLE a RUSLE, včetně diskuzí s experty z West Lafayette a USDA, kteří se na odvození a kalibraci RUSLE přímo podíleli, nicméně nepodařilo se získat jednoznačný návod, jak byly prováděny terénní experimenty, na kterých je celá rovnice postavena. Nejistoty zůstávají především v otázkách:

- intenzita srážky během experimentu,
- doba trvání experimentu,
- způsob vyhodnocení jednotlivého experimentu

Otázka spočívá především v nastavení intenzit a doby trvání srážky tak, aby:

kombinace intenzity a doby trvání srážky odpovídala možnému výskytu přirozených srážek, aby spolehlivě došlo ke vzniku povrchového odtoku jak na ploše s vegetací tak na referenčním černém úhoru.

Na obě tyto otázky byla hledána odpověď současně s definováním způsobu výpočtu hodnot faktoru C z naměřených dat (viz. kapitola II.4).

II.2.1 Velikost zadešřované plochy a intenzita srážky

Velikost zadešřované plochy je dána konstrukcí daného simulátoru dešř. Konstrukce a metodika ovládání polních simulátorů dešř týmů VÚMOP, v.v.i. a ČVUT jsou detailně popsány v redakčně upravené zprávě k projektu „Stanovení aktuálních hodnot ochranného účinku vegetace za účelem kvantifikace a zefektivnění protierozní ochrany zemědělské půdy v ČR (Mistr 2016b). Pro porovnatelnost měření je důležitá srovnatelná zadešřovaná plocha a shodná délka zadešřované plochy po spádnicí. Ta je u simulátoru VÚMOP, v.v.i. konstantních 870 cm, simulátor ČVUT je možné díky variabilitě konstrukce na tuto délku nastavit.

Tab. 1: Parametry simulátorů dešř používaných na pracovišřích VÚMOP, v.v.i. a ČVUT

zadešřovaná plocha	VÚMOP	ČVUT
šířka (m)	2,35	2,00
délka (m)	8,70	8,70
Plocha (m ²)	20,45	17,40

Pro správné stanovení C faktoru by měla být k dispozici sada měřených hodnot dílčích příspěvků „poměrů ztráty půdy“ (anglicky SLR) pro všechny přirozené srážky (statistický soubor za řadu let měření) z každého vegetačního období. Každé individuální období by mělo vycházet ze statistického souboru hodnot SLR stanovených pro všechny reprezentativní srážky, jež se v daném období vyskytují. Předpoklad je, že tento nedostatek je částečně možno kompenzovat zpracováním dílčích údajů z měření na dešřovém simulátoru a odvozením poměrů SLR pro několik příčinných srážek svou erozivitou odpovídajících rozložení a erozivité srážek v daných vegetačních obdobích.

Pro Českou republiku je k dispozici řada údajů o celkovém dlouhodobém průměrném ročním R-faktoru (Krása et al. 2014), předpokládané hodnoty se pohybují cca v rozmezí 35 – 70 [N/h/rok]. Přitom třicetiminutová srážka s intenzitou 60 [mm/hod] představuje dle Wischmeierova výpočtu již hodnotu R-faktoru rovnou 49 [N/h/rok]. Energie srážky je konstantní, za každou minutu srážky je rovna 0,273 [MJ/ha/mm]. Sumární hodnota SLR za takto provedený experiment proto již reprezentuje ochranný účinek vegetace při srážce v řadě obdobíh překračující běžnou (statisticky reprezentativní) srážku odpovídající jedné vegetační periodě. Pro stanovení C faktoru je nezbytné znát procentické rozložení hodnot R faktoru v průběhu roku, respektive v období výskytu erozně nebezpečných dešřů.

V roce 2016 ČHMÚ analyzoval procentickou distribuci R-faktoru na základě výstupů ze 106 stanic za třicetileté období 1986 až 2015. Zjišřená měsíční a dekádní distribuce R-faktoru je uvedena v Tab. 2.

Tab. 2: Měsíční a dekádní distribuce R-faktoru (dle ČHMÚ 2016) ¹

měsíc	dekáda	dekádní % R	měsíční % R
IV	N11	1,5	4,0
	N12	2,5	
V	N13	3,8	15,9
	N14	5,3	
	N15	6,8	
VI	N16	8,2	27,7
	N17	9,4	
	N18	10,1	
VII	N19	10,2	29,2
	N20	9,9	
	N21	9,1	
VIII	N22	7,8	18,7
	N23	6,2	
	N24	4,6	
IX	N25	3,0	4,7
	N26	1,7	
kontrola		100,0	100,0

Rozdělení R-faktoru během roku lze přímo využít pro přiřazení významu naměřeného SLR v jednotlivých vegetačních obdobích.

II.2.2 Doba simulace

Simulace musí být nejméně tak dlouhá, aby na obou plochách (plodina, úhor) vznikl povrchový odtok a trval po určitou dobu, aby bylo možno vypočítávat poměry (SLR). Na druhou stranu, by doba trvání měla být vždy stejná (pro porovnání mezi jednotlivými experimenty) a co nejkratší, z důvodu úspory jak provozního času v terénu, tak vody. Všechny tyto parametry jsou velmi důležité a ovlivní celkový počet experimentů, které je možné v praxi provést.

Zásadním faktorem je zjištění, že dnes nejčastěji používané simulátory deště založené na Full Jet tryskách s elektromagnetickými ventily i přes jejich progresivní konstrukci nejsou schopny dosáhnout identické kinetické energie při srážkách s obdobnou intenzitou jako u přirozených dešťů (Iserloh et al. 2013). Na mobilních zařízeních nelze vyprodukovat dostatečný podíl velkých kapek s pádovou rychlostí, která odpovídá charakteru konvektivní přirozené srážky. Za minimální vhodnou hodnotu kinetické energie pro erozní experimenty je považována $KE = 10 \text{ J/m}^2/\text{mm}$ (Davidova 2015), přičemž v ČR používané mobilní simulátory založené na tryskách Full Jet dosahují při intenzitách deště 60 mm/h měřené hodnoty střední $KE = 12 - 16 \text{ [J/m}^2/\text{mm]}$.

¹ Výstup v rámci úkolu zadaného ČHMÚ Ministerstvem životního prostředí, čj. 14644/ENV/16, (doposud nepublikováno)

Celková hodnota R-faktoru zátěžové srážky se určí podle Rovnice 1.

$$R = E_d \times I_{30} \quad \text{Rovnice 1}$$

R	faktor erozní účinnosti jedné srážky [N/h]
E_d	celková kinetická energie jednoho deště [MJ.ha ⁻¹]
I_{30}	maximální třicetiminutová intenzita tohoto deště [cm.h ⁻¹]

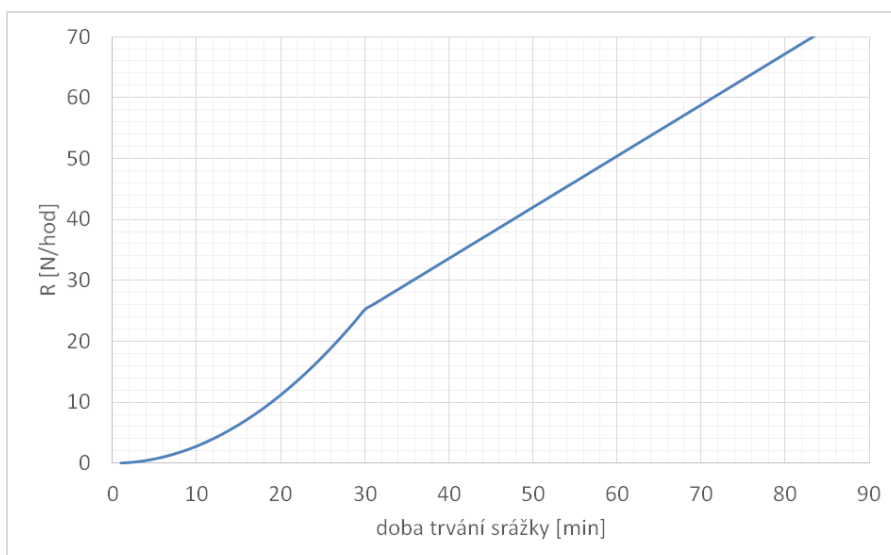
Celková kinetická energie každého deště s konkrétní dobou trvání se přitom určí dle vztahu

$$E_d = \sum_1^s [e_s \times H_s] \quad \text{Rovnice 2}$$

E_d	celková kinetická energie deště [MJ.ha ⁻¹]
e_s	energie konstantního úseku deště [MJ.ha ⁻¹ .mm ⁻¹]
H_s	úhrn daného úseku přívalového deště [mm]
s	počet úseků (s konstantní intenzitou) daného deště

Pro příklad

dešťový simulátor využívající trysky SS WSQ 40, Full Jet, jehož KE při intenzitě 60 [mm/hod] odpovídá $e_s = 0,14$ [MJ.ha⁻¹.mm⁻¹], graficky závislost R faktoru na délce trvání zadeštění vyjadřuje Obr. 3. Na základě výpočtu R faktoru pro území ČR v posledním klimatickém období (Rožnovský et al. 2013) je průměrná roční hodnota R faktoru pro ČR rovna 69 [N/h]. Předchozí výzkumy ukazovaly na dlouhodobé průměrné hodnoty v rozmezí cca 40 – 70 [N/h]. Pokud přijmeme tyto hodnoty jako erozivitou způsobenou průměrnou sumou srážek za vegetační období v ČR, pro dešťový simulátor s energií $e_s = 0,14$ [MJ.ha⁻¹.mm⁻¹] odpovídá hodnotě $R = 70$ [N/h] zadešťování v délce přibližně 84 minut.



Obr. 3: Závislost R-faktoru na době trvání srážky pro dešťový simulátor dosahující střední kinetické energie $KE = 14 \text{ [J/m}^2\text{/mm]}$ při intenzitě srážky 60 [mm/h] .

Na základě rozboru křivek růstových fází a jejich porovnání s vegetačními fázemi metody USLE byl určen minimální počet tří zadešťovacích experimentů jako efektivní a reprezentativní na každé analyzované plodině (Mistr et al. 2015). Pro plánovaný počet 3 experimentů během vývoje rostliny lze doporučit minimální délku každé jednotlivé simulace rovnou 28 minut pro dosažení třetiny průměrného maximálního ročního R faktoru na měřené lokalitě (v případě simulátoru s $KE = 14 \text{ [J/m}^2\text{/mm]}$). Analogicky lze dle výše uvedených vztahů odvodit vhodnou délku simulace pro libovolný simulátor deště jakoukoliv jinou známou kinetickou energií produkované srážky.

II.2.3 Odběry vzorků před a během simulace

Během provádění simulací s dešťovým simulátorem na testovaných plochách jsou odebírány dva typy vzorků:

- vzorky půdy
- vzorky kalu (viz. stanovení nerozpuštěných látek)

Vzorky půdy jsou určeny k základnímu popisu vlastností svrchních „orničních“ horizontů a jsou standardně odebírány pro jednotlivé měřené plošky (z hloubky 5-10 cm) před každým pokusem zadeštění. Standardně jsou odebírány porušené vzorky půdy k stanovení zrnitosti, obsahu organického uhlíku a počáteční vlhkosti půd (stanovení hmotnostní vlhkosti). Zároveň jsou odebírány i neporušené vzorky půd (Kopeckého válečky 100 cm^3) pro stanovení OHR (objemová hmotností relativní) a počáteční vlhkosti objemové.

Rozsah stanovení zrnitostních tříd je volen tak, aby bylo možné na základě metodiky (Janeček et al. 2012) stanovit faktor erodovatelnosti půdy K.

Popis půd je na každé z hodnocených lokalit standardně doprovázen pedologickým průzkumem, který má za cíl popsat dílčí specifika půdního profilu, popř. zhodnotit strukturně zrnitostní povahu půdního povrchu jednotlivých variant měření. Hodnocení půdního profilu je prováděno pomocí sondovací tyče „vpichované půdní sondy“ zarážené do hloubky cca 70 cm. Pokryvnost posklizňových zbytků a kamenitost je hodnocena metodami fotogrammetrie. Pouze na „jednotném“ půdním profilu s popsanými vlastnostmi povrchu půdy je možné relativně porovnat rozdíly mezi měřenými variantami.

K detailnímu popisu povrchových vlastností půd jsou pro každou plochu simulované srážky hodnoceny testy stability půdní struktury (MWD) pro jednotlivé varianty. Parametr MWD (mean weight diameter) klasifikuje rozpad půdních agregátů velikosti 3-5mm při laboratorním testu - simulace erozního účinku deště (ISO/DIS 10930).

K relativnímu porovnání účinku simulovaných srážek, popř. sjednocení výpočtu C-faktoru bylo především nutné sjednotit laboratorní postupy mezi zúčastněnými pracovišti. Zásadním krokem bylo sjednocení analýz odebíraných vzorků kalu ze simulované srážky (Stanovení nerozpuštěných látek NL).

Stanovení nerozpuštěných látek (NL)

Během dešťové simulace probíhá podle předem určeného časového schématu odběr vzorků sedimentu. Po zahájení odtoku je sediment jímán do 1 l plastových. Roztok se sedimentem je v laboratoři přefiltrován přes předem vysušený filtrační papír. Filtrační papír s obsahem sedimentu je zvážen a vysušen při 105 °C po dobu 24 hodin. Po vysušení je filtrační papír se sedimentem opět zvážen. Z rozdílu hmotnosti před a po vysušení je stanoveno množství nerozpuštěných látek (NL) v roztoku.

$$NL = \frac{m_{\text{před}} - m_{\text{po}}}{V} \quad \text{Rovnice 3}$$

kde

NL	nerozpuštěné látky (g/cm ³)
m _{před}	hmotnost roztoku se sedimentem před vysušením (g)
m _{po}	hmotnost roztoku se sedimentem po vysušení při 105 °C (g)
V	objem roztoku (cm ³)

Výstupem každé simulace je proto soubor hodnot / koncentrací NL v čase, které jsou integrovány do časového průběhu povrchového odtoku a slouží k výpočtu celkové ztráty „půdy“. Tento faktor je následně klíčovým parametrem pro přímé stanovení hodnoty C faktoru.

II.3 Stanovení vegetačního pokryvu, výšky porostu a produkce biomasy

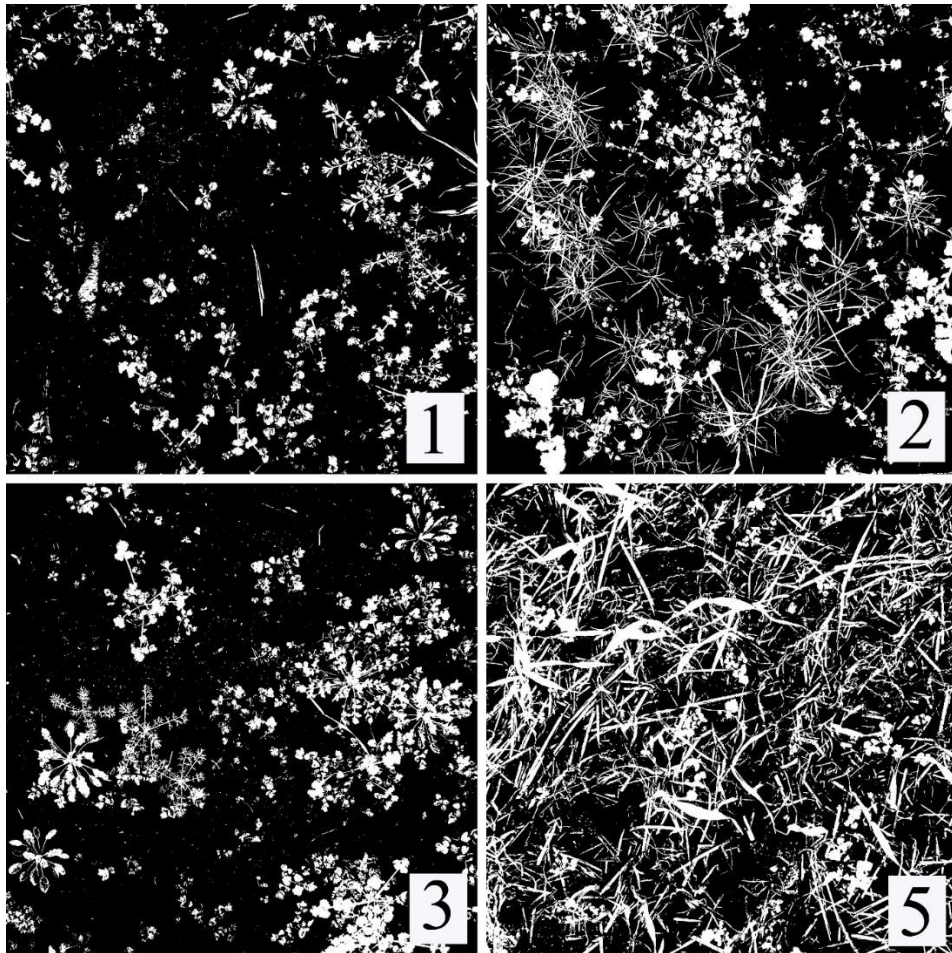
Souběžně se simulací deště na vybraných plodinách v různých fázích vývoje je třeba pro tyto vybrané plodiny stanovit míru vegetačního pokryvu v době provádění simulace a určit výšku porostu, případně počet rostlin na m² tak, aby naměřené hodnoty mohly být využity pro odvození hodnot ochranného vlivu vegetace podobných druhů rostlin. Blíže o stanovení vegetačního pokryvu půdy během vegetace pojednává Kapitola II.7.

II.3.1 Stanovení pokryvnosti půdy

Metody stanovení pokryvnosti půdy lze na základě principu měření rozdělit na metody bodové a grafické. Bodové metody vycházejí ze stanovení vlastnosti povrchu půdy (holá půda, mulč, rostlina apod.) na základě výskytu těchto vlastností v místě rozmístěných bodů, principiálně vycházejí z tzv. bodové metody využívané pro stanovení horizontální a vertikální pokryvnosti porostů (Moravec 2004).

Grafické metody v sobě zahrnují značné množství metodických postupů. V určitých případech lze využít klasické fytoecologické metody, které v sobě zahrnují i možnost specifikace rostlinných druhů a jejich podílu na celkové pokryvnosti půdy, zde se jedná o metody vycházející z grafického ručního záznamu pokryvu jednotlivých druhů na základě využití čtverce s pravoúhlou sítí (Moravec 2004) a s možností následné obrazové analýzy pro vyjádření pokryvnosti půdy (celkové, druhové apod.)

Dominantní postavení v současné době mají klasické obrazové analýzy vycházející z tvorby fotografie povrchu půdy a následnou obrazovou analýzou. Zde se jedná o obrazovou analýzu standardní barevné fotografie, případně snímku pořízeného v blízkém infračerveném spektru pomocí multispektrální kamery.



Obr. 4 Pokryvnost půdy rostlinami a rostlinnými zbytky (bílá barva) na rozdílných variantách před výsevem kukuřice seté (1 – urovnání povrchu půdy po provedení orby na podzim (pokryvnost 24,2 %), 2 - rovnání povrchu půdy po provedení orby na podzim a výsev jílku vytrvalého (pokryvnost 34,1 %), 3 - urovnání povrchu půdy po provedení orby na podzim a výsev hořčice bílé (pokryvnost 25,5 %), 5 - urovnání povrchu půdy po provedení mělkého kypření na podzim po pšenici ozimé (pokryvnost 61,2 %) – Brant et al. 2011.

Vhodnost využití multispektrální kamery spočívá především v dobrém odlišení živého, zeleného, porostu od povrchu půdy díky spektrálním vlastnostem porostu v NIR vlnových délkách. Princip stanovení rostlinného pokryvu je shodný jako při stanovení hodnoty LAI (viz. kapitola II.7.2). V polních podmínkách je vhodné pořídít infrasnímek po zadeštění, případně hodnocenou plochu zvlhčit jemným postřikem vody, které přispěje ke zvýšení kontrastu snímku, je-li povrch půdy při hodnocení suchý. Při slunečném počasí může docházet k vrhání stínů rostlinami a k velkému kontrastu ploch, které překračuje dynamický rozsah fotoaparátu, proto je nutné hodnocenou plochu zastínit vhodnou clonou. Obr. 4 dokumentuje stav povrchu půdy v závislosti na technologii tvorby mulče pomocí analýzy obrazu infrasnímku (Brant et al. 2011).

II.4 Metodika výpočtu hodnot C faktoru z naměřených dat

Na základě provedené rešerše (Mistr 2016a) je patrné, že nejjednodušší a zjevně i nejsprávnější postup důsledně kopírující původní způsob odvození hodnot faktoru C autory USLE, případně RUSLE, je paralelní provádění dešťových experimentů na plodině a úhoru, přičemž časové rozložení experimentů během roku by mělo pokrývat ideálně celou růstovou křivku plodin (BBCH). To je však v praxi nereálné z časového a finančního hlediska. Kritickým prvkem je i doba trvání simulace. Ta musí být nejméně tak dlouhá, aby na zadešťované ploše plodiny i kypřeného úhoru vznikl povrchový odtok a trval po určitou dobu, aby bylo možno vypočítávat poměry SLR.

V této kapitole jsou popsány možné přístupy ke stanovení hodnot C faktoru na základě naměřených hodnot ze simulací deště, které jsou na závěr doplněny o praktický výpočet.

II.4.1 Výpočet C faktoru jako průměrné roční hodnoty

Dle metodiky AH537 – USLE (Wischmeier a Smith 1978) i následné AH703 – RUSLE (Renard et al. 1997) je C faktor výslednou dlouhodobou průměrnou hodnotou ochranného účinku vegetace a agrotechniky, obvykle formou ročního průměru. Roční výsledný C faktor se skládá z dílčích příspěvků SLR v jednotlivých pěstebních obdobích, násobených jim odpovídajícími částmi celkového ročního R faktoru. Pomocí polních pokusů jsou odvozovány hodnoty SLR v jednotlivých fázích růstu a stavu pozemku.

$$C = \frac{\sum C_i \times R_i}{R} = \frac{\sum SLR \times R_i}{R} \quad \text{Rovnice 4}$$

C	výsledný C faktor
C _i	odpovídá hodnotě SLR
R _i	část R faktoru pro odpovídající roční periodu
R	celkový roční R faktor

Záměrně je zmíněn stav pozemku, protože může mít na SLR významný vliv. Např. v metodice RUSLE jsou považovány za významné a do hodnoty C faktoru promítané následující dílčí parametry SLR (Renard et al. 1997).

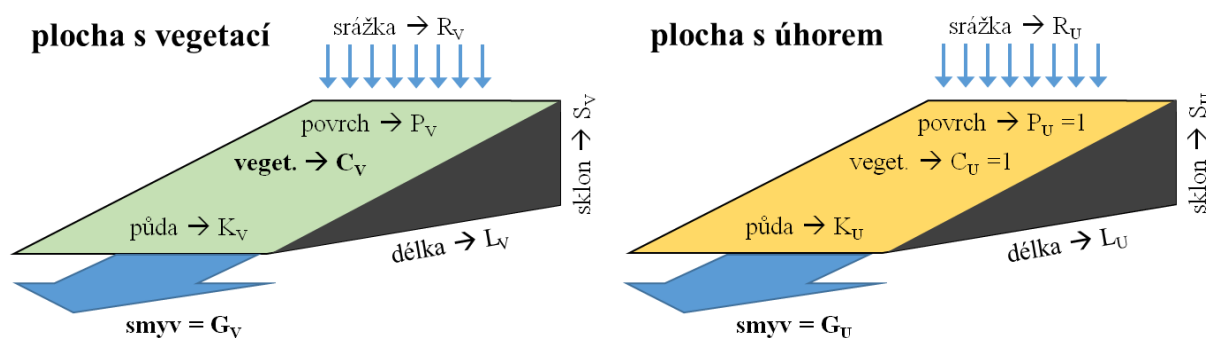
CC	pokryvnost povrchu (canopy cover)
SR	drsnot povrchu (surface roughness)
SC	posklizňové zbytky a mulč (surface cover)
PLU	předchozí využití pozemku = kořeny, posklizňové zbytky v půdě aj. (prior landuse)

Při polních pokusech je proto vhodné zaznamenávat maximální možné množství doplňujících údajů pro interpretaci variability jednotlivých měření, a to i na srovnávacích úhorových plochách.

Ve vyhodnocení polních pokusů s dešťovým simulátorem je třeba po experimentálním určení každého SLR na dané plodině přiřadit celému reprezentativnímu období váhu určenou dílčí hodnotou R_i a roční C faktor dopočítat dle výše uvedeného vztahu (Rovnice 4). Časové členění dle dekád uvedené v Tab. 2 lze s výhodou přímo využít pro přiřazení významu naměřeného SLR v jednotlivých vegetačních obdobích v rámci Rovnice 4.

II.4.2 Výpočet SLR konkrétního jednoho experimentu

Pro vztah mezi všemi sledovanými parametry povrchů i zadeštění obou prováděných experimentů na úhorové i vegetační ploše lze vycházet z definice USLE (Wischmeier a Smith 1978). Je však nutné mít na paměti, že rovnice USLE vychází z rozsáhlých statistických souborů. Pro konkrétní experiment jsou dílčí faktory stanoveny pouze na základě jednotlivých měření, tudíž je každá hodnota zatížena nejistotou a může se pohybovat ve značném rozmezí v rámci původních statistických souborů. Konkrétní parametry obou paralelně prováděných experimentů (na úhoru a vegetaci) jsou znázorněny na obrázku Obr. 5.



Obr. 5: Parametry erozních experimentů

Pro smyv na úhoru a smyv na vegetační ploše proto platí následující obecné rovnice

$$G_U = R_U \times K_U \times L_U \times S_U \times C_U \times P_U \quad \text{Rovnice 5}$$

$$G_V = R_V \times K_V \times L_V \times S_V \times C_V \times P_V \quad \text{Rovnice 6}$$

G_U smyv na úhoru za experiment [g]

G_V smyv na ploše s vegetací za experiment [g]

$R_U, K_U, L_U, S_U, C_U, P_U$ parametry USLE na úhoru

$R_V, K_V, L_V, S_V, C_V, P_V$ parametry USLE na ploše s vegetací

Platí, že úhor je specifický případ, kdy $C = 1$ a $P = 1$, tedy

$$G_U = R_U \times K_U \times L_U \times S_U \quad \text{Rovnice 7}$$

Pokud porovnáváme dvě simulace provedené na totožné lokalitě, kdy jsou délka, sklon i půda na obou plochách identické, můžeme parametry K , L , S považovat pro obě simulace za shodné. Podaří-li se dodržet identickou intenzitu a délku srážky, můžeme rovněž R považovat za shodný pro oba experimenty. Potom platí

$$G_U = R \times K \times L \times S \quad \text{Rovnice 8}$$

$$G_V = R \times K \times L \times S \times C_V \quad \text{Rovnice 9}$$

Vyjádřením C_V a spojením obou rovnic dostaneme vztah

$$C_V = \frac{G_V}{R \times K \times L \times S} = \frac{G_V}{G_U} = \mathbf{SLR} \quad \text{Rovnice 10}$$

Z výše uvedeného je zřejmé, že pokud se podmínky obou pokusů neliší v půdě, sklonu, délce simulované plochy ani parametrech srážky a počáteční vlhkosti půdy, je dílčí hodnota SLR vypočtena jako podíl smyvů z obou simulací – vždy po identickém zátěžovém stavu, tedy po stejné době trvání srážky (Rovnice 10) – jak plyne z definice C faktoru dle metodik AH537, AH703 i (Janeček a kol., 2012).

Pouze v případě, že bychom neměli k dispozici srovnávací měření nebo by se některý z parametrů měření mezi dvěma experimenty změnil, museli bychom pro přepočet C_V využít výše uvedených rovnic se zahrnutím odlišného parametru, jako podílu dvou změřených parametrů uvedené rovnice USLE.

Takový postup obecně pro odvozování C faktoru nedoporučujeme, neboť, jak bylo výše řečeno, v reálném prostředí pokusů se hodnoty všech parametrů pohybují v širokém rozmezí okolo středních hodnot, a zejména parametry půdy se mohou vlivem předchozích meteorologických podmínek mezi měřeními výrazně lišit.

Proto je doporučeno obě srovnávací měření provést vždy na stejné lokalitě a ve stejný den s cílem vyloučit variabilitu ostatních parametrů mezi experimentem na vegetaci a na úhoru a parametry zpětně nedopočítávat. Navíc je velmi vhodné (žádoucí), aby iniciální podmínky „suché“ simulace představovaly skutečně co nejsušší půdu – nikoliv stav blížící se nasyceným podmínkám.

Výše uvedené rovnice je nicméně možno efektivně využít například pro výpočet K faktoru předmětného pozemku v době konkrétního experimentu.

Pro správné stanovení C faktoru bychom měli mít k dispozici sadu měřených hodnot SLR pro všechny přirozené srážky (statistický soubor za řadu let měření) z každého vegetačního období. Každé individuální období by mělo tedy vycházet ze statistického souboru hodnot SLR stanovených pro všechny reprezentativní srážky, jež se v daném období vyskytují. Předpoklad je, že nedostatek dat je částečně možno kompenzovat zpracováním dílčích údajů z měření na dešťovém simulátoru. Poměry SLR lze odvodit pro několik příčných srážek, které odpovídají svou erozivitou rozložení erozivitě srážek v daných vegetačních obdobích.

II.4.3 **Vyhodnocení dat z experimentálních měření**

Za jednu simulaci je považován experiment s konkrétní dobou trvání jednotlivé srážky, který od počátku zadeštění vede k určení hodnoty SLR dle Rovnice 10.

Dle testovaných a používaných metodik je doporučeno k odvození C faktoru provést v každé vegetační fázi opakovanou simulaci při „suchém“ a „nasyčeném“ stavu půdního profilu. Technicky se jedná o dva opakované experimenty (v popisovaném příkladu výpočtu s dešťovým simulátorem, produkujícím srážku s kinetickou energií deště $14 \text{ [J/m}^2\text{/mm]}$ vždy délky 28 min). První měření je provedeno na „suchém“ pozemku, následně je dodržena 30 min pauza a opakované druhé měření na „nasyčené“ ploše. Tento postup je realizován jak na pozemku s vegetací, tak na pozemku s připraveným kultivovaným úhorem. Data za každé měření jsou zpracována nezávisle a pro „suché“ i „nasyčené“ měření je určena hodnota SLR.

Vypočtené hodnoty tvoří obalovou křivku možných dosahovaných hodnot SLR při různých vlhkostních stavech pozemku (s rozdílnou hodnotou indexu předchozích srážek). V případě optimálního průběhu obou experimentů jsou hodnoty smyvu i SLR (a potažmo C faktoru) nižší pro suché podmínky, které umožňují rychlejší infiltraci a půdní agregáty na povrchu s vegetací nejsou rozrušeny předchozí intenzivní srážkou. V případě kvalitně zapojeného vegetačního krytu (letní období) na ploše s vegetací se může stát, že ani intenzivní srážka v délce trvání 28 minut nevyvolá významný povrchový odtok ani smyv, případně k němu dojde až na konci experimentu. V současnosti doporučovaná metodika požaduje celkovou dobu simulace na suchém povrchu v trvání 30 minut od počátku vzniku povrchového odtoku. Tato podmínka je důležitá pro to, aby byly zajištěny srovnatelné podmínky pro následnou „nasyčenou“ simulaci, kdy je od počátku předpokládána plná saturace půdy. Potom je sumární hodnota smyvu na vegetačním pozemku velmi nízká a hodnota SLR pro „suchý“ experiment proto může v extrémních případech být blízká nebo rovna 0. Při opakovaném experimentu na nasyčeném pozemku obvykle dochází k povrchovému odtoku i na ploše s vegetací ihned na počátku experimentu, sumární hodnota smyvu za celou dobu experimentu je tak nenulová, stejně jako vypočtená hodnota SLR.

Cílovou hodnotu SLR pro danou růstovou fázi je doporučeno vypočítat jako aritmetický průměr z hodnot SLR získaných pro „suché“ a „nasyčené“ podmínky.

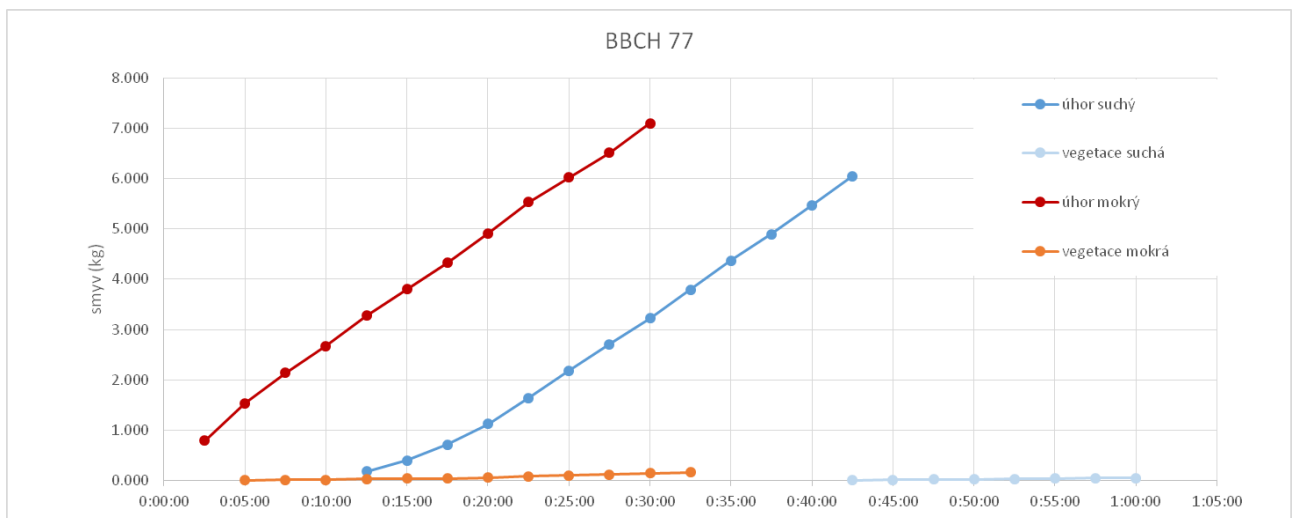
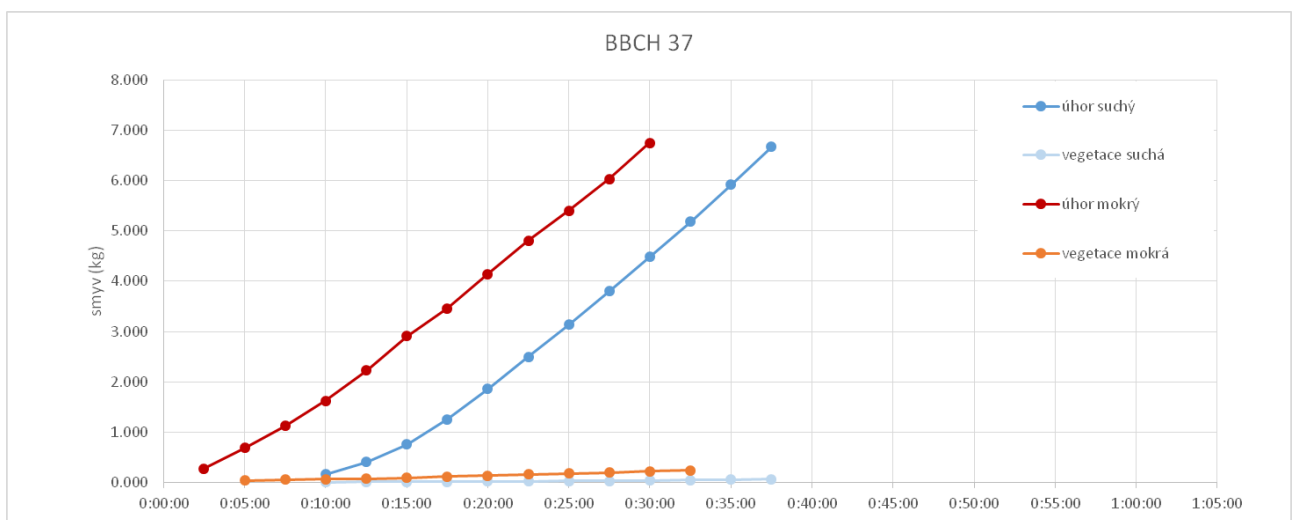
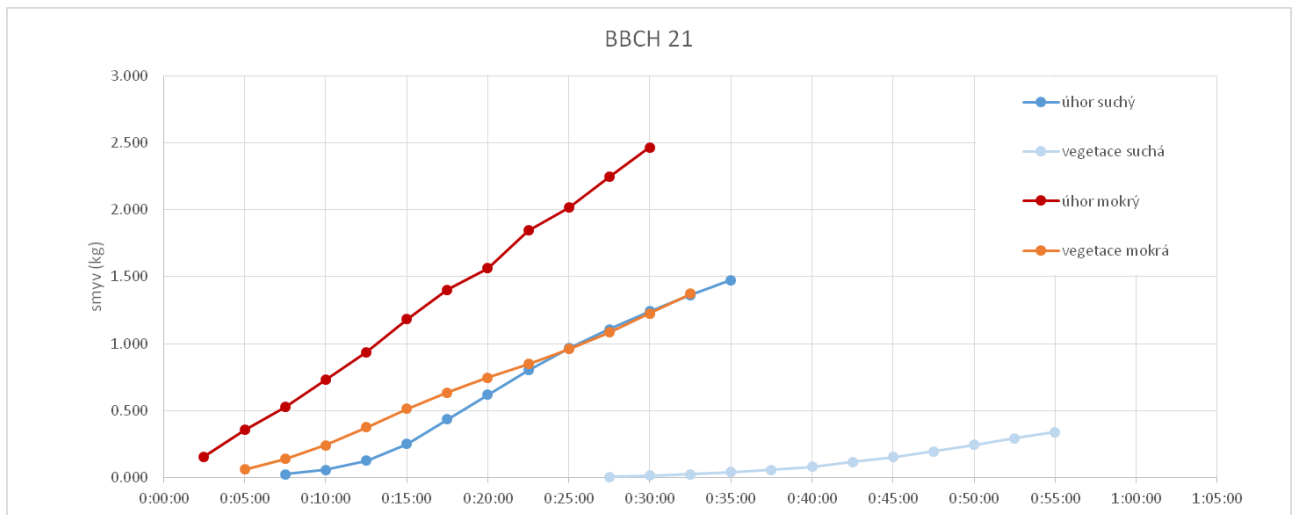
Aby získané minimální i maximální hodnoty smyvu a SLR byly relevantní, experiment na „suchém“ pozemku by měl proběhnout skutečně v podmínkách, kdy půdní profil není nasycen předchozími srážkami. Počáteční stav by měl být ověřen určením objemové (hmotnostní) vlhkosti půdy před zahájením experimentu.

Pokud nelze konkrétní experiment provést v ideálních počátečních podmínkách z hlediska předchozího nasycení, je třeba vyhodnotit pokus na základě výsledků ostatních experimentů na řešené lokalitě (např. všech úhorových měření a měření na plodinách s obdobným ochranným účinkem). Při vyhodnocení dat je nutné zohlednit předchozí nasycení při určení poměru SLR pro „suchý“ experiment namísto prostého výpočtu aritmetického průměru obou měření, doporučeného pro experimenty v optimálních podmínkách. Jako minimální sadu parametrů je vhodné trvale evidovat iniciální půdní vlhkost a objemovou hmotnost testovaných půdních profilů.

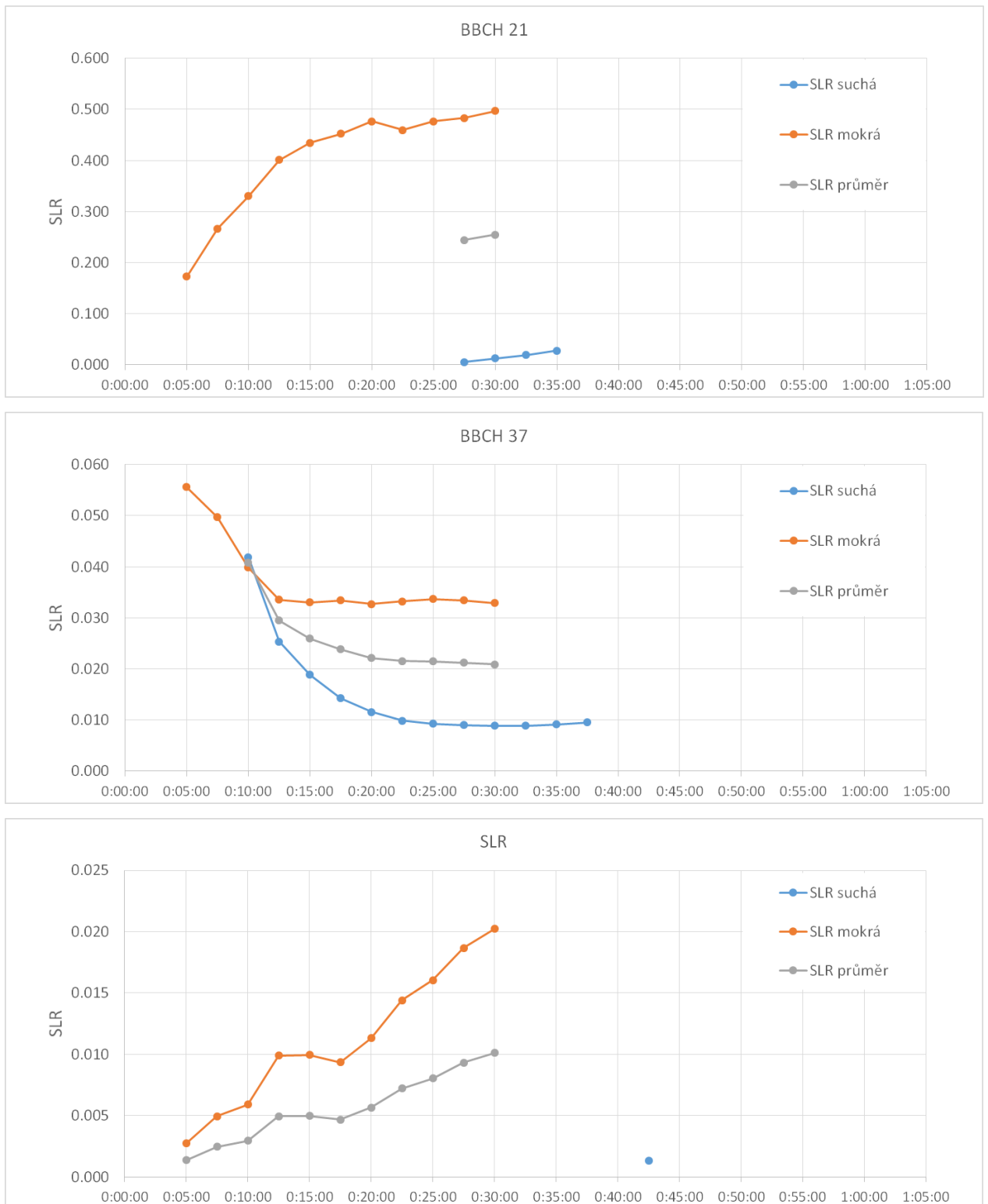
Po naměření a vypočtení všech hodnot SLR na konkrétní plodině (technologii) v průběhu sezóny je každé hodnotě SLR přiřazena váha odpovídající celkové sumě R faktoru za vegetační období (Tab. 2), které je danou hodnotou SLR reprezentováno. Výsledná hodnota C faktoru pro plodinu (technologii) je následně vypočtena dle Rovnice 4.

II.5 Příklad výpočtu C faktoru pro ječmen jarní

Následující kapitola uvádí příklad vyhodnocení tří podle výše uvedené metodiky reálně provedených a vyhodnocených experimentů a z nich odvozenou hodnotu faktoru C pro ječmen jarní (experimenty realizovány týmem ČVUT ve vegetační sezoně 2016 na lokalitě Řisuty).



Obr. 6: Kumulativní průběhy smývu pro tři experimenty na ječmenu jarním.



Obr. 7: Průběhy vypočteného SLR pro tři experimenty v různých fenofázích na ječmenu jarním.

Pro každý z provedených experimentů (BBCH 21, BBCH 37 a BBCH 77 – růstové fáze dle Meier 2001) byla stanovena průměrná hodnota SLR ze dvou zátěžových stavů („suchý“ a „saturovaný“ pozemek) pro 28 minutovou srážku s intenzitou 60 [mm/hod] a celkovým R faktorem rovným 28 [N/hod] – Tab. 3

Tab. 3: Výpočet C faktoru na základě provedených experimentů na ječmenu jarním

vegetační fáze testované plodiny (ječmen jarní)	BBCH 21	BBCH 37	BBCH 77
datum provedení experimentu	19.5.2016	21.6.2016	20.7.2016
počátek reprezentované periody	1.4.	10.6.	20.7.
konec reprezentované periody	9.6.	19.7.	31.10.
procento celkové hodnoty R-faktoru pro reprezentovanou vegetační fázi	19,5	42	38,5
doba zadeštění [min]	28	28	28
hodnota SLR pro suchý pozemek	0,010	0,099	0,000
hodnota SLR pro plně nasycený pozemek	0,490	0,033	0,019
výsledná průměrná hodnota SLR v dané fázi	0,250	0,066	0,010
výsledná hodnota C-faktoru	0,080		

II.6 Termíny simulací pro hlavní druhy plodin

Faktor ochranného vlivu vegetace je definován jako poměr ztráty půdy ze specificky obdělávaného pozemku k odpovídající ztrátě půdy z pozemku udržovaného jako trvalý kypřený úhor. Účinnost vegetačního pokryvu se v průběhu roku postupně mění, proto je z praktických důvodů rok rozdělen do několika období definovaných tak, že v rámci jedné fáze jsou vegetační pokryv a použitá technologie přibližně stejné.

(Wischmeier a Smith 1978) v metodice pro výpočet faktoru C definují 6 období.

1. Fáze F: od orby pluhem (inversion plowing) do dalšího zpracování půdy (rough fallow).
2. Fáze S: období od přípravy k setí/sázení až do 10 % vegetačního pokryvu (seedbed).
3. Fáze 1: období od 10 % do 50 % vegetačního pokryvu (establishment).
4. Fáze 2: období od konce fáze 1 do 75 % vegetačního pokryvu (development).
5. Fáze 3: zrání úrody, období od 2. fáze do sklizně (maturing crop).
6. Fáze 4: od sklizně po orbu nebo nové setí (residue or stubble).

V České republice je používáno upravené rozdělení do 5 pěstebních období dle (Wischmeier a Smith 1965), bez závislosti na přesných stavech vegetačního pokryvu (Janeček et al. 2007), (Janeček et al. 2012):

1. období podmítky a hrubé brázdy,
2. období od přípravy pozemku k setí do jednoho měsíce po zasetí nebo sázení,
3. období po dobu druhého měsíce od jarního nebo letního setí či sázení, u ozimů do 30. 4.,
4. období od konce 3. období do sklizně,
5. období strniště.

Pro výpočet průměrné roční hodnoty C faktoru se stanovují hodnoty „poměrů ztráty půdy“ (SLR) pro jednotlivá období viz kapitola II.4.2. Pro odvození závislosti ztráty půdy na pěstebních obdobích jsou důležité rané fáze růstu, kdy pokryv nedosahuje 100 %, proto by simulace měly být prováděny hlavně v těchto obdobích.

II.6.1 Fenologické fáze hlavních polních plodin

Nejstarší záznamy souvislých fenologických pozorování jsou zpravidla k dispozici od 20. let 20. století. Fenologické pozorování se provádělo ve formě tzv. fenologických pokusů na 10 až 15 pokusných plochách, na kterých každoročně probíhalo sledování fenologických projevů vybraných polních plodin nebo jejich odrůd, které se v rámci daného osevního postupu pěstují. Do roku 2012 zajišťoval kontinuální fenologická pozorování polních plodin Český hydrometeorologický ústav (dále jen ČHMÚ), kdy na 83 stanicích prováděl sledování až 15 polních plodin. V roce 2012 došlo ke zrušení sítě stanic polních plodin a ovocných dřevin. K dispozici jsou tak fenologická data od počátků pozorování do roku 2012, kde metodickým mezníkem je období 1983 až 1985.

Doposud nejrozsáhlejší agroklimatologické dílo „**Agroklimatické podmienky ČSSR**“ (Kurpelová, Coufal a Čulík 1975) obsahuje tabulky s nástupy fenofází u pšenice ozimé, ječmene jarního, brukve řepky olejné a kukuřice seté z období 1931 – 1960 nebo kratší.

V roce 2012 byl vydán „**Atlas fenologických poměrů Česka**“, který obsahuje mapové a tabelární vyjádření některých fenofází pro čtyři polní plodiny za období 1991 až 2010. Na základě této publikace byla zpracována Tab. 4, která prezentuje dlouhodobé průměrné hodnoty nástupu jednotlivých fenofází a jejich časový odstup pro vybrané plodiny pro jednotlivá výšková pásma pro 87 stanic rovnoměrně rozmístěných po ČR.

Tab. 4: Průměrné hodnoty fenologických fází vybraných plodin a jejich časový odstup pro různá výšková pásma

plodina	fenologická fáze	výškové pásmo								
		150-200	201-250	251-300	301-350	351-400	401-450	451-500	500-600	nad 600*
pšenice ozimá	VZ	275	280	279	285	287	289	289	289	291
	PP	103	107	109	107	110	112	111	115	115
	DN	121	128	131	133	135	135	136	136	143
	ME	146	148	153	153	153	156	157	157	159
	PK	149	156	159	159	160	163	163	164	167
	ZZ	188	190	194	195	198	199	200	199	205
	PZ	197	203	210	208	208	211	213	215	218
	PP-VZ	193	192	194	187	187	187	187	191	189
	DN-VZ	212	213	217	213	213	211	212	211	217
	ME-VZ	237	233	239	233	231	231	233	232	233
	PK-VZ	239	241	245	240	237	238	239	240	241
	ZZ-VZ	278	274	280	276	275	275	276	275	279
	PZ-VZ	287	287	296	288	286	287	289	290	292
ječmen jarní	VZ	99	103	108	110	109	111	113	114	116
	OD	118	121	126	127	129	131	132	131	133
	PP	120	123	130	135	132	135	136	137	139
	DN	145	148	152	153	156	155	158	158	161
	ME	160	162	166	166	168	168	170	171	172
	PK	163	168	170	172	174	173	176	177	179
	ZZ	192	194	199	201	203	204	205	205	211
	PZ	204	206	214	215	217	216	218	216	225
	OD-VZ	19	18	18	17	20	20	18	17	16
	PP-VZ	20	20	22	25	23	24	23	23	23
	DN-VZ	46	46	45	43	47	44	45	44	44
	ME-VZ	61	59	59	55	58	57	57	57	56
	PK-VZ	64	65	62	62	64	62	62	63	62
kukuřice setá	VZ	128	130	133	135	135	138	137	139	141
	ME	190	190	196	198	201	200	199	204	204
	MV	232	240	241	243	246	245	247	252	257
	ME-VZ	62	60	63	63	66	63	63	66	63
brukev řepka	MV-VZ	104	110	108	108	111	108	111	113	116
	VZ	247	246	249	252	253	252	252	256	257
	PK	119	120	121	123	125	125	125	127	128
	KK	141	141	146	148	149	149	150	152	154
	ZZ	181	183	184	187	190	193	192	193	196
	PK-VZ	228	230	228	227	227	228	229	227	227
	KK-VZ	250	251	253	252	252	253	254	253	252
ZZ-VZ	396	398	394	395	397	400	398	396	398	

Pozn.: uvedeno jako pořadové číslo dne v roce; * maximální nadmořská výška byla 725 m n.m.

II.6.2 Vývojové a růstové fáze dle BBCH

Pro stanovení termínů simulací deště byla použita mezinárodně používaná stupnice vývojových a růstových stádií rostlin (fenologických fází, fenofází) BBCH (Biologische Bundesanstalt, Bundessortenamt, Chemische Industrie) (Meier 2001). Stupnice BBCH je stupnice používaná především v EU. Vychází ze Zadoksovy stupnice. Tvoří ji dvoumístné číselné kódy od 00 do 99, které označují vývojové a růstové fáze příslušných plodin nebo druhů rostlin. Jsou rozděleny do několika skupin a podskupin. Přehled polních plodin a fenologických fází pozorovaných Českým hydrometeorologickým ústavem (ČHMÚ) a číselný kód příslušné relevantní fenofáze dle světově uznávané stupnice BBCH je uveden v kapitole VIII.1.

II.6.3 Termíny simulací odvozené z růstových fází BBCH

Kukuřice

1. BBCH 13: 3 pravé listy, listové páry nebo přesleny rozvinuty
2. BBCH 39: stonek dosáhl konečné délky, nebo růžice konečného průměru
3. BBCH 61 – 63: počátek kvetení: 10 % květů otevřených nebo 10 % kvetoucích rostlin
30 % květů otevřených nebo 30 % kvetoucích rostlin

Ozimé obilniny (pšenice ozimá)

1. BBCH 12 – 13: rostliny mají tři až pět pravých listů – asi 2 týdny po zasetí
2. BBCH 20 - 22: odnožování rostlin, většinou časně jaro
3. BBCH 37: viditelný praporcový list, nejhustější porost
4. BBCH 75 – 77 před fází zrání, rostliny téměř bez listů

Jarní obilniny (ječmen jarní)

1. BBCH 12 – 13: rostliny mají tři až pět pravých listů – asi 1 až 2 týdny po zasetí
2. BBCH 20 - 22: odnožování rostlin, většinou časně jaro
3. BBCH 37: viditelný praporcový list, nejhustější porost
4. BBCH 75 – 77 před fází zrání, rostliny téměř bez listů

Řepka ozimá

1. BBCH 13 – 15: rostliny mají tři až pět pravých listů – asi 2 až tři týdny po zasetí,
2. BBCH 18 – 20: rostliny mají 8 až 10 pravých listů – září až říjen,
3. BBCH 18 – 22: rostliny mají 8 až 12 pravých listů – březen
4. BBCH 30: začátek prodlužovacího růstu – duben, vysoká pokryvnost, porost kolem 30 cm
5. BBCH 60: začátek kvetení – květen, výška porostu 100 cm, plné olistění

Jeteloviny

Jeteloviny nemají BBCH fáze, proto jsou specifikovány termíny především podle termínů pracovních operací.

1. po seči krycí plodiny
2. po seči v druhém roce

3. výška lodyh 15 – 20 cm
4. před sečí, tj. na začátku fáze kvetení

Meziplodiny - strniskové

Pelůška, hrách, řepka,

Provedení zadeštění (jedno- a dvouděložné - obecná stupnice BBCH)

1. BBCH 12 – 13 (po vzejití porostu)
2. BBCH 16 a více (6 a více pravých listů)
3. BBCH 30: začátek prodlužování, je-li to pro daný druh možné

II.7 Index listové plochy jako nástroj pro odvození ochranného vlivu vegetace pro podobné druhy rostlin

Turner et al. 1999 považují hodnotu *indexu listové plochy* za významný faktor pro stanovení vlivu rostlinného pokryvu půdy na půdní úrodnost, protože rostlinný pokryv půdy má pozitivní vliv na kvalitu půdy (Foody 2002). Index listové plochy (*LAI*, Leaf Area Index) je bezrozměrná veličina a byla definována jako celková plocha horní části listu na jednotku plochy půdy (Watson 1947). Hodnota *LAI* je velmi často využívána pro stanovení fotosyntetických procesů rostlinných společenstev, ale i rostlin jako jedince. Zásadní význam má i pro specifikaci intenzity růstu rostlin (Barclay 1998). Index listové plochy ovlivňuje mikroklima porostu, určuje intercepční procesy, využití slunečního záření, výměnu vody a plynů porostem a představuje jeden ze základních parametrů pro stanovení biochemických cyklů ekosystémů (Bréda 2003). Zároveň je hodnota *LAI* používána i pro specifikaci erozních procesů (Davie a Durocher 1997).

II.7.1 Obecné principy a metody stanovení indexu listové plochy

Zásadním problémem z hlediska stanovení hodnoty *LAI* je značný počet rozdílných metod a následně srovnatelnost výsledků. Obecně uznávaná definice *LAI* (Watson 1947) je platná za předpokladu, že se jedná o ploché listy bez ohybů a plošných deformací a vrchní a spodní plocha listu jsou shodné. Ohnutí či deformace listů vede ke skutečnosti, že horní a spodní plocha listu nejsou stejně velké, čímž nelze plochu horního povrchu listu jednoznačně definovat. Z tohoto důvodu je snaha do stanovení výpočtu *LAI* zahrnout i vertikální deformace a tím získat jeho hodnoty pro listy, které nejsou horizontálně ploché (např. Lang et al. 1991 a Chen a Black 1991).

Dalším zásadním problémem stanovení *LAI* je silná závislost tohoto parametru na druhovém složení porostů, růstové fázi a na podmínkách stanoviště, včetně vlivu ročníku (Jonckheere et al. 2004). S vývojem rostlin dochází rovněž ke změně prostorového umístění listů (Paltineanu a Starr 2000).

Při stanovení hodnoty *LAI* pro potřeby hodnocení fotosyntézy je většinou počítáno pouze s fotosynteticky aktivní plochou. Plocha listů vykazující absenci chlorofylu, či nekrotizovaná nebo odumřelá plocha listů, není do celkové hodnoty *LAI* počítána. Tím dochází ke zkreslení vlivu pokrývnosti listů zejména při stanovení působení porostu na distribuci srážek a na následné erozní procesy.

Metody stanovení indexu listové plochy vycházejí z potřeb daného výzkumného cíle. Způsob stanovení *LAI* je rovněž závislý na potřebách stanovené problematiky. Primárně lze metody stanovení *LAI* rozdělit na přímé a nepřímé (např. Gower et al. 1999; Kussner a Mosandl, 2000). Přímé metody jsou obecně považovány za velmi přesné, ale mají tu nevýhodu, že jsou značně časově náročné, čímž je omezeno jejich velkoplošné požití. Přímé metody v současné době vycházejí z přímého stanovení listové plochy planimetricky nebo hmotnostně (Daughtry 1990). Základem planimetrických měření je stanovení plochy naskenovaného listu například pomocí obdélníkové aproximace, nebo vycházejí z rozdílných způsobů analýzy obrazu (fluorescenční světelný zdroj). Další možností je stanovení plochy listů na základě infranímku listů na černém pozadí (Brant et al. 2014). Za velice perspektivní je v současné době považováno stanovení *LAI* pomocí 3D skenování laserovými skenery (Kjaer a Ottosen 2015). Určení *LAI* pomocí 3D vizualizace je používáno běžně v nepřímých metodách stanovení, zde se jedná zejména o využití radarů (Zheng a Moska 2009, Sabol et al. 2014)

Hmotnostní metody vycházejí ze stanovení hmotnosti plochy listu (*LMA*, leaf mass per area). Hodnoty *LMA* se však mění s vývojem rostlin, expozicí ke světlu apod. (např. Le Roux *et al.* 1999). Pomocí metody je možné zpracovat větší množství vzorků ve srovnání s přímým stanovením plochy listu. Bréda (2003) za přímé metody stanovení *LAI* považuje ty, které stanovují přímo plochu listů pomocí měřiče plochy. Dále rozlišuje tzv. metody polo-přímé (semi-direct methods) vycházející ze specifických vztahů mezi plochou listu a dalším parametrem, kam řadí i hmotnostní metodu. Dále se jedná o tvarové koeficienty listů (Blanco and Folegatti 2003). Z hlediska dalšího členění přímých metod se jedná o metody destruktivní a nedestruktivní (Bréda 2003, Jonckheere et al. 2004). Destruktivní metody jsou spojeny s potřebou oddělení listů od rostliny a s jejich následnou analýzou, nedestruktivní metody umožňují kontinuální hodnocení téhož listu, či listů, v době růstu rostliny.

S vývojem nových měřících systémů se rozvíjí především nepřímé metody stanovení *LAI*. Metody jsou použitelné zejména pro mapování větších zájmových ploch. Nepřímé metody jsou stanoveny na základě určení dalších proměnných, ze kterých je následně vyvozena hodnota *LAI*. Tyto metody jsou ve srovnání s přímými metodami považovány za rychlejší, umožňují vyšší míru automatizace a představují metody, kterými lze listovou plochu odvodit z pozorování další proměnné.

Jako nedestruktivní nepřímá metoda stanovení indexu *LAI* se nabízí pořizování fotografií porostu pomocí rybího oka, kdy je objektiv orientován buď nahoru, nebo směruje pohledem dolů. Díky rybímu oku můžeme hodnotit mezery mezi listovou plochou porostu ve všech směrech, což zvyšuje přesnost odvozených hodnot *LAI*.

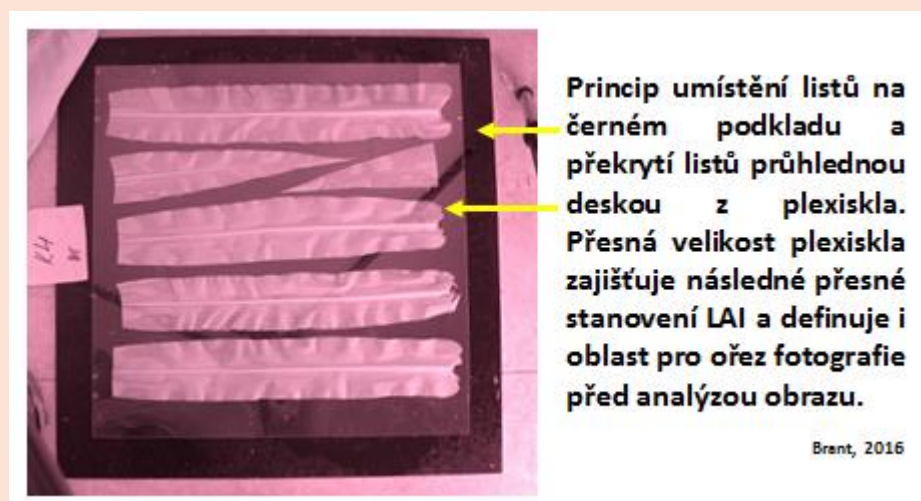
II.7.2 Metodika stanovení indexu listové plochy na základě analýzy infrasnímku

Metoda stanovení *LAI* pomocí infrasnímku listů vychází i z principu odlišného odrazu světla organickou hmotou rostlinného původu v infračerveném spektru. Objekty rostlinného původu (kořeny, stonky, listy apod.) umístěné na černém, případně tmavém podkladě (plast, kov, vlhká půda apod.) vykazují na infrasnímecích výrazně odlišné barvy než anorganický podklad.

Metodu lze zařadit mezi metody přímé. Z hlediska potřeb a podmínek hodnocení *LAI* může být použita jako destruktivní i nedestruktivní (Náměstek 2008, Brant et al. 2014).

Příklad použití

Pro vytváření infrafotografií byl upraven digitální fotoaparát Nikon Coolpix 995 odstraněním NIR filtru (modifikovat lze i jiné typy fotoaparátů). Fotoaparát byl před čočkou osazen filtrem Infrared R72 (Hoya, Japan). Focení listů probíhalo na plastovém podkladu černé matné barvy. Rostliny byly snímány v horizontální rovině. Všechny snímky byly pořízeny při shodném rozlišení a shodné ohniskové vzdálenosti. Na této podložce byla umístěna průhledná plexisklová deska o rozměrech 0,6 x 0,6 m (síla desky činila 5 mm), která zamezovala deformaci a pohybu listů při focení (Obr. 1). Tato deska následně sloužila pro přesné oříznutí fotografie, která byla následně využita pro analýzu obrazu. Pomocí analytického software Adobe Photoshop byl pro každou rostlinu stanoven počet pixelů, které ve snímku pokrývá. Následnou kalibrací velikosti pixelů byla vypočtena skutečná plocha rostlin.



Obr. 8: Princip umístění listů na černém podkladu a překrytí listů průhlednou deskou z plexiskla na fotografii získané v infračerveném spektru

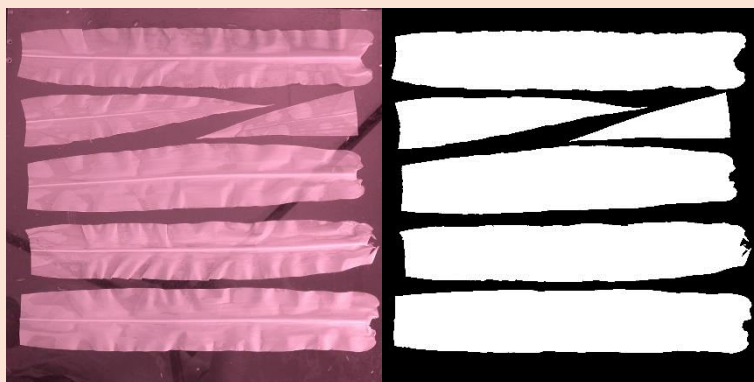
V rámci odběrů rostlin byl dle vývojové fáze rostlin odebrán jejich rozdílný počet. Pro hodnocení v první polovině vegetace bylo pro analýzu odebráno min. 20 kusů rostlin z hodnocené plochy, od druhé poloviny vegetace poté min. 10 rostlin.

U druhů vytvářejících jeden stonek (např. ozimá řepka, kukuřice setá, slunečnice roční apod.) byly rostliny odděleny v místě kořenového krčku od kořenového systému). U plodin tvořících odnože nebo rozvětvlující se již v blízkosti půdy byly odebrány rostliny i s kořenovým systémem, čímž byl zajištěn odběr kompletní nadzemní biomasy.

Rostliny byly transportovány v igelitových pytlích, aby nedošlo k jejich zavadnutí. Před focením plochy listů byly z rostlin listy odděleny. Listy s řapíky byly odstříženy nebo odříznuty v místě nasazení řapíku na stonek a plocha řapíku byla započtena do plochy LAI. Listy přisedající ke stonku čepelí, byly odděleny v místě bočního kontaktu listu se stonkem.

Oddělené listy byly následně rozmístěny na černou podložku, tj. do plochy o velikosti 0,6 x 0,6 m. Listy přesahující tento rozměr (0,6 m) byly rozděleny na více částí. Plocha listů se nepřekrývala. Vhodné je mezi listy ponechat vzdálenost min. 5 mm z důvodu eliminace chyb při analýze obrazu. Základovou černou desku lze rovněž navlhčit vodou (použití rozprašovače), která zajistí lepší přilnutí listů k podložce. Při ukládání listů na podložku je potřebné eliminovat znečištění desky nečistotami (částice půdy a úlomky listů), které následně zvyšují nároky na úpravu snímku před analýzou.

Po zpracování snímku a provedení analýzy byl použit program Adobe Photoshop CS5. Nejdříve bylo provedeno oříznutí zdrojového snímku dle ohraničení plexisklové desky. Následně byl snímek převeden pomocí nástrojů tohoto software do černobílé fotografie a upraven práh snímku (Obr. 2). Dle potřeby je nutné z oblastí mezi snímky odstranit bílé plochy (nečistoty) a převést je na černou barvu. Následně je pomocí programu stanoven podíl (procentuální) plochy bílé barvy z plochy snímku. Plocha listů je poté vypočtena jako procentuální podíl ze skutečné plochy snímku určené velikostí kalibrační (plexisklové) desky. U větších rostlin se celková plocha listů skládá z většího počtu snímků. Výsledkem metody je stanovení plochy všech listů na jednu rostlinu. Pro přepočítání na jednotku plochy půdy je potřebné znát počet rostlin na tuto plochu.



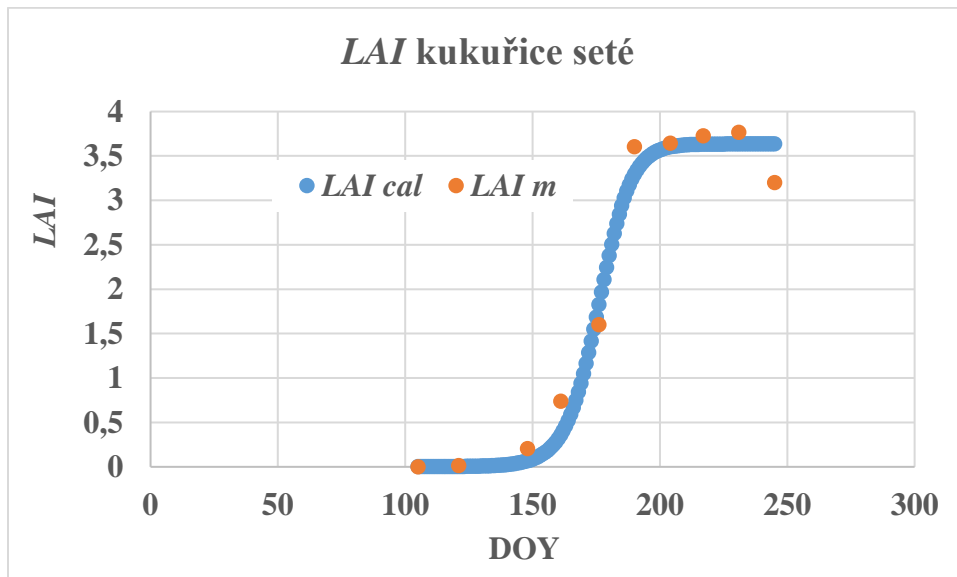
Obr. 9: Oříznutý snímek před převedením do černobílé fotografie (vlevo) a po převodu (vpravo)

II.7.3 Stanovení dynamiky indexu listové plochy v čase

Stanovení LAI přímými, ale i nepřímými, metodami je většinou ambulantní měření. Z hlediska vývoje porostu je však potřebné znát vývoj dynamiky LAI v čase. Pro výpočet denních hodnot LAI byl použit algoritmus Rovnice 11,

$$LAI_{cal} = \frac{par1}{par2 + \exp(-(\text{DOY}/par3)^2)} \quad \text{Rovnice 11}$$

kde LAI_{cal} je vypočtená denní hodnota LAI a DOY je číslo dne v roce, $par 1$ až 3 jsou parametry rovnice. Algoritmus byl stanoven v programu Mini32 ver. 404.04. Vypočten byl na základě znalosti naměřených hodnot LAI (LAI_m) v daných dnech v daném roce a ohraničen byl časovou periodou odpovídající dané délce vegetace. Obr. 10 dokumentuje vypočtené denní hodnoty LAI_{cal} a naměřené hodnoty LAI_m u kukuřice seté v roce 2014. Koeficient korelace mezi hodnotami LAI_{cal} a LAI_m činí 0,989. Problémem výpočtu LAI_{cal} je pokles hodnoty LAI na samém konci vegetace v důsledku odumírání a opadu listů. Tento pokles se projevuje většinou dva až tři týdny před sklizní porostů a stanovené výpočtové modely zcela tyto poklesy nepostihují. Z hlediska stanovení ochranného vlivu vegetace pro hodnocení erozních procesů lze však předpokládat, že v této době již nebude hrát tento pokles zásadní roli.

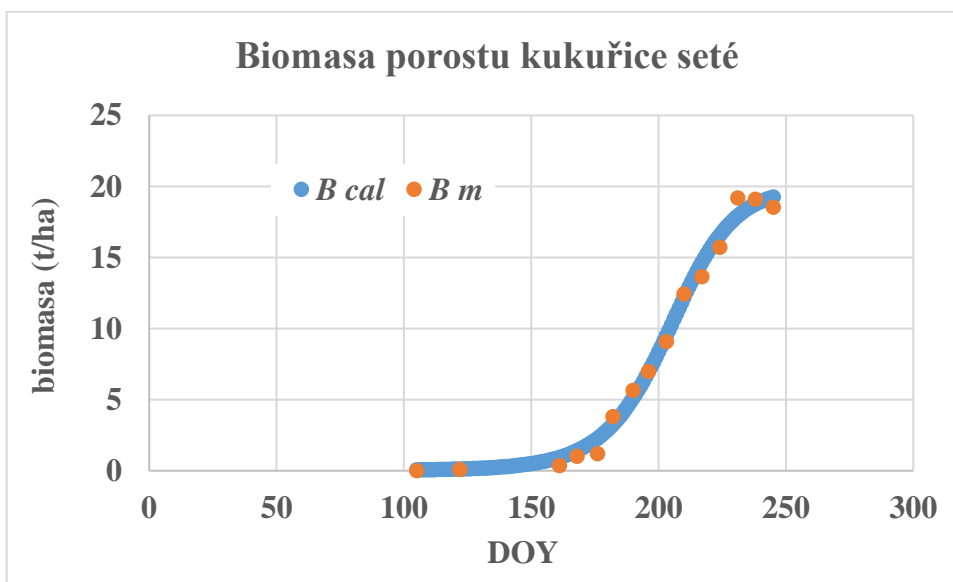


Obr. 10: Grafické znázornění vypočtených denních hodnot LAI_{cal} a naměřených hodnot LAI_m u kukuřice seté

II.7.4 Stanovení doplňkových charakteristik

V rámci sledování *LAI* je vhodné u přímých metod stanovení hodnotit i další parametry porostů. Z hlediska růstu rostlin má zásadní vliv určení růstové fáze pomocí stupnice BBCH. Další možností je stanovení suché produkce nadzemní biomasy porostů na jednotku plochy. Zde se jedná o odběr rostlin z jednotky plochy, nejčastěji z plochy 0,25 až 1 m², její vysušení do konstantní hmotnosti při teplotě 105°C a následné stanovení produkce na požadovanou plochu. Druhou možností, která je vhodnější u širokořádkových kultur, je odběr jednotlivých rostlin. Po stanovení průměrné suché hmotnosti nadzemní biomasy rostliny je pomocí počtu rostlin na jednotku plochy stanovena produkce nadzemní biomasy. Důležitým faktorem je oddělení nadzemní biomasy rostlin těsně u povrchu půdy z důvodu jednotnosti metodiky. Další otázkou je metodika stanovení počtu a umístění odběrových ploch ve vztahu k velikosti zájmové plochy, variability porostů apod.

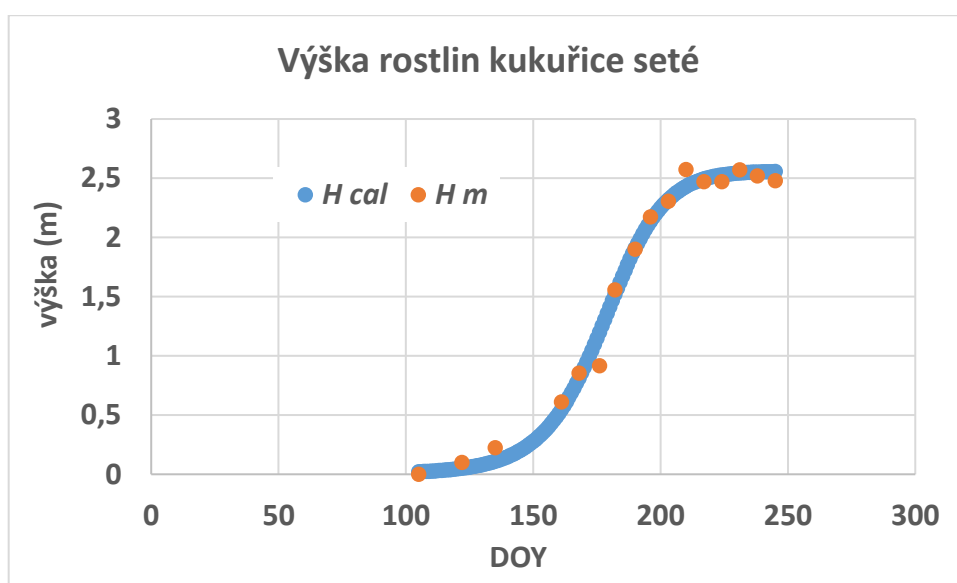
Dynamika produkce nadzemní biomasy, ale i délky rostliny, vykazuje obdobné průběhy v čase jako *LAI*, proto může být použita i pro nepřímé stanovení *LAI*. Z měřených hodnot suché nadzemní biomasy B_m (t/ha) je opět potřebné stanovit průměrné denní hodnoty během vegetace B_{cal} (t/ha). Pro výpočet lze použít vztah Rovnice 11, kdy na pravé straně rovnice bude následně hodnota B_{cal} . Obr. 11 dokumentuje vypočtené denní hodnoty B_{cal} a naměřené hodnoty B_m u kukuřice seté v roce 2014. Koeficient korelace mezi hodnotami B_{cal} a B_m činil 0,996.



Obr. 11: Grafické znázornění vypočtených denních hodnot B_{cal} (t/ha) a naměřených hodnot B_m (t/ha) u kukuřice seté

Při odběru rostlin pro stanovení *LAI* je možné rovněž provést měření délky rostliny. Následně se předpokládá, že délka rostliny odpovídá výšce porostu. Délka rostlin stanovená na rostlinách odstřižených těsně u země nebo odebraných i s kořenovým systémem není přesným vyjádřením výšky

porostu, ale eliminuje vlivy abiotických a biotických faktorů, které výšku porostu modifikují. Délka rostlin se měří od kořenového krčku po nejdelší část rostliny. V době nevytvoření květenství se jedná o délku po natažený poslední plně vyvinutý list. Po vytvoření květenství poté po jeho vrchol. Rostliny jsou při měření pokládány na vodorovnou podložku. Délku rostlin je vhodné stanovovat minimálně na dvojnásobném počtu rostlin odebíraných pro stanovení LAI . Při měření jsou následně získány hodnoty délky rostlin (m). Z vypočtených průměrných hodnot délek rostliny H_m (m) je opět potřebné vypočítat denní hodnoty délky pro dobu vegetace H_{cal} (m). Pro výpočet lze opět použít vztah viz. Rovnice 11. Obr. 12 dokumentuje vypočtené denní hodnoty H_{cal} a naměřené hodnoty H_m u kukuřice seté v roce 2014. Koeficient korelace mezi hodnotami H_{cal} a H_m činil 0,995.



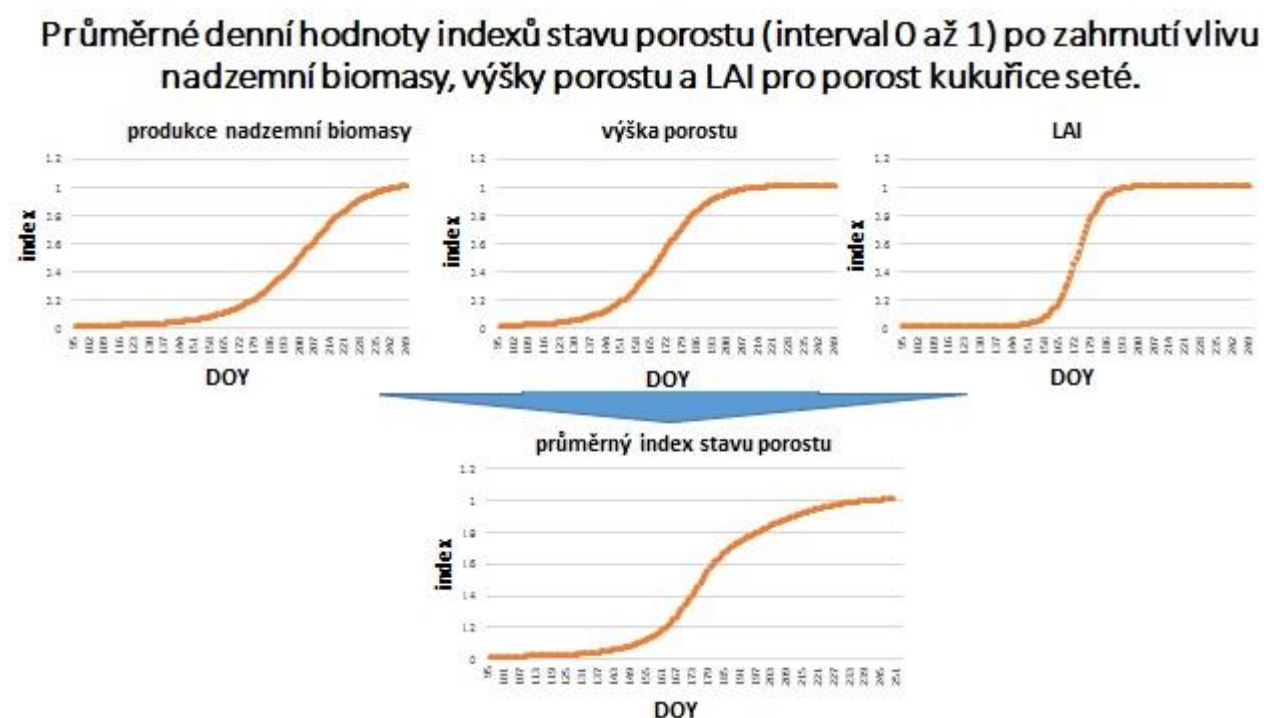
Obr. 12: Grafické znázornění vypočtených denních hodnot H_{cal} (m) a naměřených hodnot H_m (m) u kukuřice seté

II.7.5 Využití indexu listové plochy pro odvození C faktoru

Index listové plochy je jedním z dlouhodobě využívaných parametrů pro stanovení biometrických parametrů rostliny a porostů. Z hlediska reálného stavu však v sobě nezahrnuje informace o prostorovém rozmístění listové plochy. Tyto skutečnosti lze stanovit pomocí 3D metod vizualizace, jejichž využití v rámci polních podmínek je ve fázi ověřování.

Z tohoto důvodu lze tedy dynamiku hodnoty LAI během vegetace považovat z jeden z údajů, který je v současné době schopen poskytnout přesnější údaje o vývoji rostliny a porostů. V kombinaci s údaji o výšce rostlin (nebo porostu) a produkci biomasy lze daný údaj o vývoji nadzemní biomasy porostů integrovat do jednoho parametru. Jednou z možností je vyjádření denních hodnot doplňkových parametrů (LAI , produkce nadzemní biomasy a výška porostů) v intervalu hodnot od 0 do 1. Hodnota 0 odpovídá hodnotě daných parametrů v termínu založení porostů a hodnota 1 představuje nejvyšší hodnotu

doplňkového parametru během hodnoceného průběhu (vypočtené denní hodnoty). Výsledná hodnota stavu vegetačního pokryvu je poté vyjádřena jako průměr daných indexů pro hodnocenou plodinu (Obr. 13). Z hlediska následného hodnocení vlivu vegetace ve vztahu k eliminaci SLR lze předpokládat, že narůstající hodnota stanoveného průměrného indexu během vegetace kulturní rostliny bude vést ke zvýšení ochranného vlivu vegetace. Na základě modelového stanovení SLR zadešťováním a vztahením daných výsledků k indexům stavu porostu během vegetace lze určit minimální hodnoty indexů v intervalu 0 - 1, při kterých dochází k eliminaci SLR. Tím bude možné specifikovat období, kdy porost nepřispívá ke snížení hodnot SLR.



Obr. 13: grafické znázornění vypočtených denních hodnot indexů stavu porostu u kukuřice seté.

Stanovení hodnot LAI u všech zemědělských plodin zastoupených na orné půdě v ČR je časově náročné a jedná se o dlouhodobý proces. Z hlediska průběhu křivek průměrných indexů stavu porostu lze však vytvořit základní kritéria pro odvození C faktoru pro plodiny, které nejsou v rámci metodiky podrobně hodnoceny. Jedná se zde o plodiny, které z hlediska dynamiky růstu vykazují obdobné parametry vývoje z hlediska tvorby nadzemní biomasy. Základem pro ověření navrhovaných časových úseků, kdy lze očekávat ochranný vliv vegetace přímo naměřených porostů, je stanovení indexů stavu vegetace u těchto plodin na základě stanovení výšky porostů pro časovou periodu vývoje dané plodiny na pozemku v daných půdně-klimatických podmínkách.

III. Srovnání novosti postupů

Hodnoty erozní ohroženosti zemědělské půdy a její potenciální ztráta jsou v rámci běžné praxe obvykle určovány empirickými modely, jejichž základem je Univerzální rovnice dlouhodobé ztráty půdy (USLE). Pro řadu parametrů této rovnice doposud chyběla v ČR verifikovaná data, ověřená experimentálními pokusy provedenými v klimatických podmínkách srovnatelných s ČR.

Aktuálně používané hodnoty C faktoru byly převzaty z katalogů původních (Mistr et al. 2013), odvozených v USA současně s celou rovnicí USLE a jejich aktualizace pro naše podmínky proběhla jen minimálně.

Nové nebo pro Evropu specifické plodiny (tritikale, řepka, čirok, topinambur, technické konopí, mák, slunečnice atd.) v katalozích zcela chybí. Z hlediska plodin, pro které jsou hodnoty C faktoru stanoveny, nelze opomenout i skutečnost, že se v důsledku změny odrůdové skladby mění i parametry porostů jako počty rostlin na jednotku plochy, počty odnoží u obilnin, výška rostlin, nástup růstových fází apod. V posledních letech jsou zaváděny a používány nové technologie, založené na kypření půdy bez jejího obracení, nebo stále více využívané páskové zpracování půdy (Strip tillage).

S využitím simulátoru deště a metodických postupů popsaných v této publikaci bude možné v relativně krátkém čase (3 – 5 let) experimentálně stanovit hodnotu faktoru ochranného vlivu vegetace pro chybějící plodinu nebo technologii.

IV. Popis uplatnění Certifikované metodiky

Cílem projektu QJ1530181 „Stanovení aktuálních hodnot ochranného účinku vegetace za účelem kvantifikace a zefektivnění protierozní ochrany zemědělské půdy v České republice“ je vytvoření souboru hodnot faktoru ochranného vlivu vegetace pro hlavní skupiny plodin. Přestože vznikne takový soubor naměřených hodnot, který v ČR ani v sousedních zemích nemá obdoby, stále budou plodiny, pro které nebude existovat naměřená nebo odvozená hodnota C faktoru a budou nasazovány nové technologie zpracování půdy a setí, pro které bude třeba prakticky stanovit relevantní hodnoty.

Metodika tak vzhledem ke své odbornosti nalezne uplatnění u výzkumných týmů, které se zabývají vodní erozí a vlastní, nebo uvažují o pořízení polního simulátoru deště a chtějí se zapojit do tvorby katalogu hodnot C faktoru pro plodiny pěstované nejen v ČR ale i v střední Evropě.

Metodika obsahuje ucelený přehled postupů počínaje výběrem pozemku, přes popis průběhu a organizace experimentálních měření až po konečné vyhodnocení naměřených hodnot tak, aby stanovení hodnot faktoru ochranného vlivu vegetace pro další plodiny a technologie mohlo být prováděno nezávisle na týmu řešitelů projektu.

To je důležité pro MZe, jako uživatele výsledků, které získá nejen metodický postup pro stanovení hodnot C faktoru, ale na základě použití této metodiky i unikátní datový soubor, popisující srážko-odtokový a erozní proces v různých podmínkách a různých stavech vegetace, který v budoucnu umožní řadu dalších analýz a vyhodnocení.

Praktická aplikace je nasnadě, protože posouzení erozní ohroženosti je v praxi součástí všech projektů pozemkových úprav a je nutnou součástí posouzení nároku na dotace z podpůrných programů EU pro zemědělství.

Výstupy jsou využitelné pro nastavení politik i jako poradenské pomůcky, neboť jedním z výstupů projektu je stanovení závislosti mezi fenologickou fází růstu, mírou vegetačního pokryvu, výšky porostu a případně dalšími veličinami pro vybrané plodiny, na základě kterých bude moci být v budoucnu sestaven průběh hodnot faktoru ochranného vlivu vegetace v době vegetace pro různé agrotechnické lhůty a regiony.

Výstupy tak budou moci být s výhodou využity pro modelování či stanovování půdoochranného efektu osevních postupů například pomocí protierozní kalkulačky² a najdou využití i při definování podmínek ochrany zemědělského půdního fondu, například ve „Vyhlášce o stanovení hodnocení erozního ohrožení zemědělské půdy, přípustné míry erozního ohrožení zemědělské půdy a opatření k jeho snížení, a o stanovení půd nevhodných pro změnu trvalého travního porostu na ornou půdu dle §22 odst. 1 písm. a) a d) zákona č. 334/1992 Sb., o ochraně zemědělského půdního fondu, ve znění zákona č. 41/2015 Sb.

V. Ekonomické aspekty

Komericializace v pravém slova smyslu, tedy tržní zhodnocení výsledku zřetelně nelze očekávat. Výsledky budou v praxi nicméně velmi žádané a dosud podobný materiál v České Republice ani v zemích EU není k dispozici. Uplatnění a zhodnocení spočívá v tom, že díky jasně standardizované metodice bude možno získat unikátní datový soubor (jen během realizace projektu bude provedeno 350 terénních simulací), který bude možné postupně doplňovat při zachování plné kompatibility výsledků. Ekonomický přínos lze spatřovat v tom, že metodika nepřímo umožní kvalitnější navrhování protierozních opatření v rámci pozemkových úprav, v rámci ochrany kvality vody v Plánech oblastí povodí i efektivnější vynakládání státních prostředků na podpůrné programy v zemědělství.

² Protierozní kalkulačka je provozována VÚMOP, v.v.i. a je dostupná na adrese <http://kalkulacka.vumop.cz/>

Efektivnější posuzování erozních procesů, erozní ohroženosti a navrhování ochranných opatření významně přispěje k redukci největších škod způsobených povrchovým odtokem a především erozními procesy zejména na vodních zdrojích a infrastruktuře. Za předpokladu, že by na základě zpřesněných hodnot faktoru ochranného vlivu vegetace, potažmo erozního ohrožení, vyjádřeného průměrnou dlouhodobou ztrátou půdy, došlo ke snížení smyvu půdy pouze o 1 %, půjde o částku 43 mil. Kč ročně!

Jednoznačný bude i vzrůst prestiže české vědy na mezinárodním poli a s tím související nárůst konkurenceschopnosti českých výzkumných institucí.

VI. Seznam použité související literatury.

- BARCLAY H. J. a J. A. TROFYMOW, 2000. Relationship of readings from the LI-COR canopy analyser to total one-sided leaf index and stand structure in immature Douglas-fir. *Forest Ecology and Management*. 132. s. 121–126.
- BARCLAY, H. J., 1998. Conversion of total leaf area to projected leaf area in lodgepole pine and Douglas-fir. *Tree Physiology*. 18. s. 185–193.
- BLANCO, F. F. a M. V. FOLEGATTI, 2003. A new method for estimating the leaf area index of cucumber and tomato plants. *Horticultura Brasileira*, 21(4), s. 666–669.
- BRÉDA, N. J. J., 2003. Ground-based measurements of leaf area index: a review of methods, instruments and current controversies. *Journal of Experimental Botany*. 54(392). s. 2403–2417.
- BRENNER, A. J., M. C. ROMERO, G. J. HARO, M. A. GILABERT, L. D. INCOLL, M. J. FERNANDEZ, E. PORTER, F. I. PUGNAIRE a M. T. YOUNIS, 1995. A comparison of direct and indirect methods for measuring leaf and surface areas of individual bushes. *Plant, Cell and Environment*. 18. s. 1332–1340.
- BUSEMEYER, L., MENTRUP, D., MOLLER, K., WUNDER, E., ALHEIT, K., HAHN, V. a RUCKENHAUSEN, A. 2013. BreedVision — A Multi-Sensor Platform for Non-Destructive Field-Based Phenotyping in Plant Breeding. *Sensors (Basel, Switzerland)*. 13. s. 2830–2847.
- CONFALONIERI, R., M. FOI, R. CASA, S. AQUARO, E. TONA, M. PETERLE, A. BOLDINI, G. DE CARLI, A. FERRARI, G. FINOTTO, T. GUARNERI, V. MANZONI, E. MOVEDI, A. NISOLI, L. PALEARI, I. RADICI, M. SUARDI, D. VERONESI, S. BREGAGLIO, G. CAPPELLI, M.E. CHIODINI, P. DOMINONI, C. FRANCONI, N. FRASSO, T. STELLA a M. ACUTIS, 2013. Development of an app for estimating leaf area index using a smartphone. Trueeness and precision determination and comparison with other indirect methods. *Computers and Electronics in Agriculture*. 96. s. 67–74.
- DAUGHTRY, C. S. T., 1990. Direct measurements of canopy structure. *Remote Sensing Reviews*. 5. s. 45–60.
- DAVIE, T. J. A. a M. G. DUROCHER, 1997. A model to consider the spatial variability of rainfall partitioning within deciduous canopy. I. Model description. *Hydrological Processes*. 11. s. 1509–1523.
- DOVEY, S. B. a B. D. TOIT, 2006. Calibration of LAI - 2000 canopy analyser with leaf area index in a young eucalypt stand. *Trees*. 20. s. 273–277.
- FASSNACHT, K. S., S. T. GOWER, J. M. NORMAN, a R. E. McMURTRIE, 1994. A comparison of optical and direct methods for estimating foliage surface area index in forests. *Agricultural and Forest Meteorology*. 71. s. 183–207.
- FOODY, G. M., 2002. Status of land cover classification accuracy assessment. *Remote Sensing of Environment*. 80. s. 185–201.
- GOWER, S. T., C. J. KUCHARIK a J. M. NORMAN, 1999. Direct and indirect estimation of leaf area index, FPAR, and net primary production of terrestrial ecosystems. *Remote Sensing of Environment*. 70. s. 29–51.
- CHASON, J. W., D. D. BALDOCCHI a M. A. HUSTON, 1991. Comparison of direct and indirect methods for estimating forest canopy leaf-area. *Agricultural and Forest Meteorology*. 57. s. 107–128.

- CHEN, J. M., a T. A. BLACK, 1991. Measuring leaf area index of plant canopies with branch architecture. *Agricultural and Forest Meteorology*. 57. s. 1–12.
- ISERLOH, T., J. B. RIES, J. ARNÁEZ, C. BOIX-FAYOS, V. BUTZEN, A. CERDÀ, M. T. ECHEVERRÍA, J. FERNÁNDEZ-GÁLVEZ, W. FISTER, C. GEISSLE, J. a. GÓMEZ, H. GÓMEZ-MACPHERSON, N. J. KUHN, R. LÁZARO, F. J. LEÓN, M. MARTÍNEZ-MENA, J. F. MARTÍNEZ-MURILLO, M. MARZEN, M. D. MINGORANCE, L. ORTIGOSA, P. PETERS, D. REGÜÉS, J. D. RUIZ-SINOGA, T. SCHOLTEN, M. SEEGER, A. SOLÉ-BENET, R. WENGEL a S. WIRTZ, 2013. European small portable rainfall simulators: A comparison of rainfall characteristics. *Catena* [online]. B.m.: Elsevier B.V., roč. 110, s. 100–112. ISSN 03418162. Získáno z: doi:10.1016/j.catena.2013.05.013
- JANEČEK, M., a KOL., 2007. Ochrana zemědělské půdy před erozí [online]. 1. vyd. B.m.: Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, v.v.i. ISBN 9788025409732. Získáno z: <http://knihovna.vumop.cz/documents/415>
- JANEČEK, M., a KOL., 2012. Ochrana zemědělské půdy před erozí. 1. vyd. Praha: Powerprint. ISBN 978-80-87415-42-9.
- JONCKHEERE, I., S. FLECK, K. NACKAERTZ, B. MUYS, P. COPPING, M. WEISS a F. BARET, 2004. Methods for leaf area index determination - Part I: Theories, Techniques and Instruments. Leuven [u.a.]. <http://dx.doi.org/10.1016/j.agrformet.2003.08.027>.
- KALISPERAKIS, I., C. STENTOUMIS, L. GRAMMATIKOPOULOS, a K. Karantzalos, 2015. Leaf area index estimation in vineyards from Uav hyperspectral data, 2d Image Mosaics and 3d Canopy Surface Models. *The International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. 40. s. 299.
- KJAER, K. H. a C. O. OTTOSEN, 2015. 3D Laser triangulation for plant phenotyping in challenging environments. *Sensors*. 15. s. 13533–13547.
- KUBÁTOVÁ, E., M. JANEČEK a D. KOBZOVÁ, 2009. Time Variations of Rainfall Erosivity Factor in the {Czech Republic}. *Soil & Water Research*. roč. 4, č. 4, s. 131–141.
- KURPELOVÁ, M., L. COUFAL, aj. ČULÍK, 1975. *Agroklimatické podmienky ČSSR*, 1. vyd. Bratislava: Príroda, 270 s.
- KUSSNER, R., a R. MOSANDL, 2000. Comparison of direct and indirect estimation of leaf area index in mature Norway spruce stands of eastern Germany. *Canadian Journal of Forest Research*. 30. s. 440–447.
- LANG, A. R. G., R. E. McMURTRIE a M. L. BENSON, 1991. Validity of surface area indices of *Pinus Radiata* estimated from transmittance of the sun's beam. *Agricultural and Forest Meteorology*. 57. s. 157–170.
- LE ROUX, X., H. SINOQUET a M. VANDAME, 1999. Spatial distribution of leaf dry weight per area and leaf nitrogen concentration in relation to local radiation regime within an isolated tree crown. *Tree Physiology*. 19. s. 181–188.
- LEVY, P. E., a P. G. JARVIS, 1999. Direct and indirect measurements of LAI in millet and fallow vegetation in Hapex-Sahel. *Agricultural and Forest Meteorology*. 97. s. 199–212.
- MEIER, U, ed., 2001. Growth stages of mono-and dicotyledonous plants BBCH Monograph [online]. Získáno z: <http://pub.jki.bund.de/index.php/BBCH/article/view/515/464>

- Moravec, J., 2004. Fytcenologie. Academia, Praha, 403 s.
- NÁMĚŠTEK, J., 2008. Biologie a geografické rozšíření chundelky metlice (*Apera spica-venti* (L.) P. B.) v ČR a studium její senzitivity k vybraným herbicidům. Disertační práce, ČZU, s. 108.
- OGUNTUNDE, P. G., J. O. OLUKUNLE, J. T. FASINMIRIN a O. A. ABIOLU, 2012. Performance of the sunscan canopy analysis system in estimating leaf area index of maize Agricultural Engineering International: CIGR Journal. 14(31). www.cigrjournal.org.
- PALTINEANU, I. C. a J. L. STARR, 2000. Preferential water flow through corn canopy and soil water dynamics across rows. Soil Science Society of America Journal. 64. s. 44–54.
- PEPER, P. J. a MCPHERSON E. G., 1998. Comparison of five methods for estimating leaf area index of open grown deciduous trees. Journal of Arboriculture. 24(2).
- PILAU, F. G. a L. R. ANGELOCCI, 2015. Leaf area and solar radiation interception by orange tree top. Bragantia. 74(4).
- RENARD, Kg, Gr FOSTER, Ga WEESIERS, Dk MCCOOL a Dc YODER, 1997. Predicting soil erosion by water: a guide to conservation planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE) [online]. B.m.: USDA. Získáno z: http://www.ars.usda.gov/SP2UserFiles/Place/64080530/RUSLE/AH_703.pdf
- SABOL, J., Z. PATOČKA a T. MIKITA, 2014. Usage of lidar data for leaf area index estimation. GeoScience Engineering. 3. s. 10–18.
- TURNER, D. P., W. B. COHEN, R. E. KENNEDY, K. S. FASSNACHT a J. M. BRIGGS, 1999. Relationships between leaf area index, fapar, and net primary production of terrestrial ecosystems. Remote Sensing of Environment. 70. s. 52–68.
- VALTER, J., 1982. Metodický předpis č. 2 – Návod pro činnost fenologických stanic. Polní plodiny. Praha: ČHMÚ.
- WATSON, D. J., 1947. Comparative physiological studies in the growth of field crops. I: Variation in net assimilation rate and leaf area between species and varieties, and within and between years. Annals of Botany. 11. 41–76.
- WILSON, J. W., 1960. Inclined point quadrats. New Phytol., 59. s. 1-8.
- WISCHMEIER, W. H. a D. D. SMITH, 1978. Predicting rainfall erosion losses, a Guide to conservation planning. US. Dept. of Agriculture, Agr. Handbook. č. 537, s. 1–67.
- WISCHMEIER, Wh a Dd SMITH, 1958. WISCHMEIER 1958_Evaluation of factors in USLE.pdf. Agricultural Engineering. roč. August.
- WISCHMEIER, Wh a Dd SMITH, 1965. Predicting Rainfall-Erosion Losses from Cropland East of the Rocky Mountains: Guide for Selection of Practices for Soil and Water Conservation. 1965.
- ZHENG, G. a L. M. MOSKA, 2009. Retrieving leaf area index (LAI) using remote sensing: Theories, Methods and Sensors. Sensors. 9. s. 2719–2745.

VII. Seznam publikací, které předcházely metodice

- BRANT, V., M. KROULÍK, J. PIVEC, J. HOLEC, P. CIHLÁŘ, P. FUKSA, a L. PROCHÁZKA, 2011. Uplatnění pásového zpracování půdy v porostech silážní kukuřice. *Agromanuál*, 3(6), 76-79.
- DAVIDOVA, T., 2015. Posouzení vlivu vegetace na erozní procesy. B.m. CTU in Prague.
- BRANT, V., J. PIVEC, K. HAMOUZOVÁ, P. ZÁBRANSKÝ, J. SATRAPOVÁ a M. ŠKEŘÍKOVÁ, 2014. Determination of the influence of herbicides on dicotyledons plant transpiration using the sap flow method. *Plant Soil Environment*. 60(12). s. 562–568.
- KRÁSA, J., H. STŘEDOVÁ, T. DOSTÁL a I. NOVOTNÝ, 2014. Rainfall erosivity research on the territory of the Czech Republic. *Mendel a bioklimatologie*. Brno, 3. – 5. 9. 2014. roč. 17, s. 20.
- MISTR, M., 2016a. Stanovení aktuálních hodnot ochranného účinku vegetace za účelem kvantifikace a zefektivnění protierozní ochrany zemědělské půdy v České republice. Projekt QJ1530181, periodická zpráva: 1.vyd. B.m.: Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, v.v.i.
- MISTR, M., 2016b. Stanovení aktuálních hodnot ochranného účinku vegetace za účelem kvantifikace a zefektivnění protierozní ochrany zemědělské půdy v České republice. Projekt QJ1530181 redakčně upravená zpráva: 1.vyd. B.m.: Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, v.v.i.
- MISTR, M, I. NOVOTNÝ, J. ROŽNOVSKÝ, T. DOSTÁL, V. VÁŇOVÁ, P. KULÍŘOVÁ, J. VOPRAVIL, D. HEŘMANOVSKÁ, T. KHEL, H. KRISTENOVÁ, T. STŘEDA, H. STŘEDOVÁ, J. KRÁSA a V. BRANT, 2013. Stanovení aktuálních hodnot ochranného účinku vegetace za účelem kvantifikace a zefektivnění protierozní ochrany v ČR. *Výstup funkčního úkolu MZe ČR č. 41628/2013-MZE-14143*. s. 142.
- STEHNOVÁ, E., a H. STŘEDOVÁ, 2016 Phenological phases and meteorological elements interaction. In *Mendelnet2016*. 23. vyd. Brno Czech Republic: Mendel University in Brno, 504-509.
- STEHNOVÁ, E., H. STŘEDOVÁ, a J. ROŽNOVSKÝ, 2016. Retrospektivní analýza fenologických fází pšenice ozimé (*Triticum aestivum* L.) v podmínkách klimatu České republiky. In *Půdní a zemědělské sucho*. Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, 391-401.
- STEHNOVÁ, E., H. STŘEDOVÁ, a E. STEHNOVÁ, 2016. Retrospective analysis of the phenological phases spring barley and its impact on soil erosion. In *Mendelnet2016*. 23. vyd. Brno Czech Republic: Mendel University in Brno, 510-515.
- STEHNOVÁ, E., H. STŘEDOVÁ, A. SVEJKOVSKÁ, 2016. Analýza nástupu vybraných fenologických fází ječmene jarního (*Hordeum vulgare*). *Úroda*. 64 (12), 429-432.
- STEHNOVÁ, E., A. SVEJKOVSKÁ, a H. STŘEDOVÁ, 2016. Růstové a vývojové projevy polních plodin v dlouhodobém měřítku. In *Vliv abiotických a biotických stresorů na vlastnosti rostlin 2016*. Praha, Zvolen: ČZU v Praze, ÚEL SAV, 209-212.

VIII.1 Fenologická data ČHMÚ a jim odpovídající kód stupnice BBCH

Podle návodů pro pozorovatele ČHMÚ se fenologickou fází (fenofází) rozumí určitý zevně dobře rozpoznatelný, zpravidla každoročně se opakující projev vývinu orgánů (stonků, kořenů, listů, květů plodů). Výjimečně je za fenofázi považována i agrotechnická operace např. setí nebo sklizeň. Přehled polních plodin a fenofází pozorovaných ČHMÚ a číselný kód příslušné relevantní fenofáze dle světově uznávané stupnice BBCH je uveden v Tab. 5.

Tab. 5: Pozorované fenofáze na stanicích ČHMÚ u jednotlivých plodin a jim odpovídající kód stupnice BBCH

Zkr.	Plodina	Fenofáze													
		BBCH													
PO	Pšenice ozimá	ST	VZ	OD	PP	PN	DN	NP	ME	PK	KK	ZM	ZZ	ZP	SK
		00	10	21	30	31	32	45	55	61	69	73	85	89	99
ZO	Žito ozimé	ST	VZ	OD	PP	PN	DN	NP	ME	PK	KK	ZM	ZZ	ZP	SK
		00	10	21	30	31	32	45	55	61	69	73	85	89	99
JJ	Ječmen jarní	ST	VZ	OD	PP	PN	DN	NP	ME	PK	KK	ZM	ZZ	ZP	SK
		00	10	21	30	31	32	45	55	61	69	73	85	89	99
PJ	Pšenice jarní	ST	VZ	OD	PP	PN	DN	NP	ME	PK	KK	ZM	ZZ	ZP	SK
		00	10	21	30	31	32	45	55	61	69	73	85	89	99
OV	Oves setý	ST	VZ	OD	PP	PN	DN	NP	ME	PK	KK	ZM	ZZ	ZP	SK
		00	10	21	30	31	32	45	55	61	69	73	85	89	99
KU	Kukuřice	ST	VZ	ME	KA	KG	ZM	MV	ZP	SK					
		00	10	55	63	65	73	83	89	99					
CU	Cukrovka	ST	VZ	PD	ZS	SK									
		00	10	x	95	99									
RK	Řepa krmná	ST	VZ	PD	ZS	SK									
		00	10	x	95	99									
BR	Brambory	ST	VZ	RZ	UZ	BT	PK	PR	KK	ON	SK				
		00	10	x	37	51	61	65	69	95	99				
BO	Bob obecný	ST	VZ	BT	PK	PR	ZK	ZZ	ZP	SK					

Zkr.	Plodina	Fenofáze														
		BBCH														
		00	10	51	61	65	71	x	89	99						
HS	Hrách setý	ST	VZ	BT	PK	PR	ZK	ZZ	ZP	SK						
		00	10	51	61	65	71	x	89	99						
FO	Fazol obecný	ST	VZ	BT	PK	PR	ZP	SK								
		00	10	51	61	65	89	99								
LS	Len setý	ST	VZ	BT	PK	PR	KK	ZZ	SK							
		00	10	51	61	65	69	81	99							
RO	Řepka ozimá	ST	VZ	PL	PP	PK	PR	KK	ZZ	SK						
		00	10	12	32	61	65	69	81	99						
MS	Mák setý	ST	VZ	PP	PK	PR	KK	ZP	SK							
		00	10	32	61	65	69	89	99							
VS	Vojtěška setá	PL	BT	PK	PS	(BT)	(PK)	DS	(BT)	(PK)	TS	(CS)				
		11	51	61	x	51	61	x	51	61	x	x				
JL	Jetel luční	PL	BT	PK	PD	(BT)	(PK)	DS	(BT)	(PK)	TS	(CS)				
		11	51	61	x	51	61	x	51	61	x	x				
SV	Svazenka vratičolistá	ST	VZ	BT	PK	PR	KK	ZZ	SK							
		00	10	51	61	65	69	81	99							
PL	Peluška ozimá	ST	VZ	BT	PK	PR	ZP	SK								
		00	10	51	61	65	89	99								
Či	Čiřok	ST	VZ	ME	PK	KK	ZM	ZP	SK							
		00	10	55	63	65	73	89	99							
HB	Hořčice bílá	ST	VZ	PL	PP	PK	PR	KK	ZZ	SK						
		00	10	12	32	61	65	69	81	99						
SL	Slunečnice	ST	VZ	PK	KK	ZP	SK									
		00	10	61	69	89	99									
SO	Sója	ST	VZ	BT	PK	PR	ZP	SK								
		00	10	51	61	65	89	99								

Zkr.	Plodina	Fenofáze													
		BBCH													
KS	Kukuřice na siláž	ST	VZ	ME	KA	KG	ZM	MV	SK						
		00	10	55	63	65	73	83	99						
JM	Jílek mnohokvětý jednoletý	BT	PK (10%)	PK (50%)	PK (100%)	KK	ZP (10%)								
		51	61	65	67	69	81								
ÚP	Úhor s porostem														
ÚH	Úhor														

Legenda:

Plodiny sledované ČHMÚ	
Plodiny sledované ČHMÚ a testované v projektu	
Plodiny testované v rámci projektu, ale nesledované ČHMÚ	

Popis sledovaných fenologických fází (Valter 1982):

ST – Setí:

Do půdy na pokusné ploše bylo vpraveno (nerychlené) osivo.

VZ – Vzházení:

Obilniny – rostliny na pokusné ploše vzházejí a začínají řádkovat (rostlina vzhází, jakmile na povrch půdy pronikne její hrot a její zárodečné pochvy; vzházení nastupuje, je-li popsán stav zjištěn alespoň na 10 % pokusné plochy.);

Cukrovka – nad povrch půd pronikne poddélžní článek nesoucí na svém k zemi ohnutém vrcholu dva děložní lístky, které jsou k sobě přitisknuty. Fáze nastupuje, pokud je již minimálně na 10 % plochy patrné řádkování vzházejících rostlin.

OD – Odnožování:

Pupeny odnoží se u obilnin tvoří v paždí zárodečné pochvy nebo prvního, druhého, případně i mladšího listu. Odnož je zpočátku skryta v pochvě listu a pak prorůstá touto pochvou po celé její délce, až hrot prvního trubičkovitě svinutého listu odnože pronikne z pochvy ven v paždí příslušné listové čepele. Pod tlakem rostoucí odnože se často tato pochva ve své horní části podélně rozevře. Za nástup fenofáze se považuje stav, kdy z paždí některého ze spodních listů právě vyčnívá alespoň 1 cm dlouhý hrot listu první odnože. Dost často je odnož během úvodního období vývoje skryta pod zemí. V takových případech se za počátek odnožování považuje okamžik, kdy tyto odnože začínají vyrůstat nad povrch půdy. Fáze nastupuje, je-li popsán stav zjištěn alespoň u poloviny rostlin.

PP – Počátek prodlužování listových pochev:

V době pokročilého odnožování rostliny mívají plně vyvinuty alespoň čtyři listy a jejich rané odnože tvoří druhý až třetí list. Tehdy začíná prodlužování listových pochev; u poléhavých a polovzpřímených odrůd se rostliny současně začínají napřimovat. Během tohoto procesu se vzdálenosti mezi původně těsně nad sebou stojícími bázemi listových čepelí zvětšují – tvoří se tzv. nepravé stéblo; jde v podstatě o soustavu do sebe nasunutých trubicovitých listových pochev, skrze něž teprve později (během sloupkování) proroste skutečné stéblo nesoucí na svém vrcholu základy květenství. Fenofáze nastupuje, jakmile je popsán proces prodlužování listových pochev a napřimování rostlin zřetelný alespoň u poloviny rostlin.

DN – Druhé kolénko:

Tato fenofáze je součástí procesu sloupkování obilnin; jeho podstata spočívá v růstu pravého stébla. Stéblo, jehož hlavní součástí (kolénka a stébelné články) jsou náznakově založeny již v předchozím období, se začíná prodlužovat. Je třeba si přitom uvědomit, že těsně před začátkem sloupkování je celé stéblo velmi malé a krátké, ukryté v dolní části dutiny nepravého stébla těsně nad bází rostliny; nyní se však prodlužuje a postupně prorůstá listovými pochvami. Růstová zóna je přitom umístěna v dolní části každého článku; kolénka, původně hustě nahlučená nad sebou, se nyní oddalují – nejdříve se prodlužuje nejspodnější článek. Zevně se objevuje zduřenina prvního kolénka, kterou lze vidět těsně nad bází rostliny a je možné ji dobře nahmatat jakožto tvrdé oblé těleso uvnitř pochvy nejnižšího postaveného článku. Právě tento stav odpovídá nástupu fenofáze první kolénko na jednotlivé rostlině. Později se nad prvním kolénkem obdobným způsobem objeví druhé kolénko, posléze i třetí atd. V rámci fenologického pokusu fenofáze nastupuje, jakmile je druhé kolénko viditelné alespoň u poloviny z celkového počtu rostlin.

ME – Metání:

Jedná se o závěrečnou etapu v utváření a růstu stébla obilnin. Jde v podstatě o rychlý růst posledního stébelného článku, který nese na svém vrcholu klas. Utváření květenství na vzrostném vrcholu stébla probíhá již od raných etap jejího vývinu. Při metání dochází k uvolňování téměř vyvinutého květenství z pochvy posledního listu. Pochva se v horní části podélně rozevívá a květenství z ní proniká ven. Za

nástup fenofáze u se považuje stav, kdy z pochvy posledního listu vyčnívá právě polovina klasu (osiny se do délky nezapočítávají). Za nástup fenofáze se považuje situace, kdy popsany stav je zjištěn alespoň u poloviny rostlin. U kukuřice se tato fáze sleduje na samčím květenství.

PK – Počátek kvetení:

Fenofáze nastupuje, jakmile ve střední části klasu (laty) dojde k prasknutí prašníků na již vyvinutých, z květu vyčnívajících tyčinkách a následnému uvolnění pylu (rostliny „práší“; u některých obilnin jsou za pěkného počasí často vidět celá oblaka takto se uvolňujícího pylu). V rámci fenologického pokusu fenofáze PK nastupuje, odpovídá-li uvedenému popisu alespoň jedna desetina rostlin. U brukve značí počátek fáze, že se na rostlině právě otevřely první květy.

KK – Konec kvetení:

Fenofáze nastupuje, jakmile je kvetení ukončeno i ve spodní části květenství, kde probíhá nejpozději. Prašníky a nitky tyčinek jsou tou dobou zaschlé, ve střední části květenství přitom začíná nalévání zrna. V rámci fenologického pokusu fenofáze KK nastupuje, odpovídá-li uvedenému popisu alespoň polovina rostlin. U brukve řepky olejky tato fáze začíná odkvetením i nejpozději kvetoucích květů.

ZZ – Žlutá zralost:

V této fázi je většina listů již odumřelá a křehká, lámavá; stéblo je však ještě dosti pružné a ohebné. Spodní kolénka jsou zaschlá a svažtělá, střední zasychají a pouze 2 – 3 horní kolénka jsou ještě zelenavá, zduřelá a pružná. Obilka ze střední části klasu (laty) je již žlutá až načervenalá. Obsah obilky (endosperm) lze hníst mezi prsty, je voskovité konzistence. Pluchy mají v době žluté zralosti slámovou barvu. V rámci fenologického pokusu fenofáze ZZ nastupuje, jestliže odpovídá uvedenému popisu alespoň polovina z celkového počtu rostlin. U brukve je stonek již bezlistý (listy opadly), avšak ještě zelenožlutě zbarvený, pružný, nezdřevnatělý. Šešule ve střední části rostliny jsou rovněž převážně žlutozelené. Semena se začínají probarvovat (mají červená líčka).

MV – Mléčná vosková zralost:

Zrna ve střední části palice uvolňují po zmáčknutí hustý kašovitý, škrobnatý obsah. V horní části palice jsou zrna ještě ve stádiu mléčné zralosti. V rámci fenologického pokusu fenofáze MV nastupuje, jestliže uvedenému popisu odpovídá alespoň polovina z celkového počtu rostlin.

ZP – Plná zralost:

Listy jsou již zcela odumřelé a kolénka jsou hnědá a svažtělá. Stéblo je slámově vybarvené, zachovává si ještě určitou pružnost. Obilky je možno z klasu snadno uvolnit, jsou tvrdé, mezi prosty je nelze deformovat. Na příčném řezu je patrný moučnatý až sklovitý vzhled tvrdého endospermu. Fenofáze nastupuje, odpovídá-li uvedenému popisu alespoň polovina z celkového počtu rostlin.

ZS – Sklizňová zralost:

U cukrovky tato fáze nastupuje, je-li z celkového počtu listů v listové růžici polovina až dvě třetiny listů odumřelých a pokud je tento stav pozorován cca na polovině z celkového počtu rostlin. Pro obilniny není již v aktualizované verzi metodiky sledování tato fáze specifikována.

PN – První kolénko:

Tato fenofáze je součástí procesu sloupkování obilnin. Jedná se o růst pravého stébla rostliny. Stéblo, jehož hlavní součástí jsou náznakově založeny již v předchozím období, se začíná prodlužovat. Těsně před sloupkováním je stéblo velmi malé a krátké, ukryté v dolní části dutiny nepravého stébla těsně nad bází rostliny. V této fázi dochází k prodlužování a postupně prorůstá listovými pochvami. Růstová zóna je umístěna v dolní části každého článku. Kolénka, která byla původně hustě nahloučena nad sebou, se nyní oddalují. Nejdříve se prodlužuje nejspodnější článek. Zevně se objevuje zduřenina prvního kolénka, kterou lze vidět těsně nad bází rostliny a je možné ji dobře nahmatat jakožto tvrdé oblé těleso uvnitř pochvy nejnižšího postaveného listu. V rámci fenologického pokusu se za nástup fenofáze PN považuje okamžik, kdy uvedenému popisu právě odpovídá alespoň polovina z celkového počtu rostlin.

NP – Naduření pochvy posledního listu:

V době vývinu posledního (nejmladšího a nejvýše postaveného) listu dochází k rychlému růstu květenství (klasu, laty u ovsa), které je vrcholem prorůstajícího stébla a je nyní ukryto v pochvě posledního listu. Zvětšování objemu květenství se projevuje naduřením (vřetenovitým rozšířením) pochvy posledního listu. Současně se tato pochva postupně osvobozuje z pochvy listu níže postaveného. Společný výskyt obou těchto znaků je projevem nástupu fenofáze NP. V rámci fenologických pokusů fenofáze NP nastupuje, jakmile je naduření pochvy posledního listu a jejich uvolnění zjištěno alespoň u poloviny z celkového počtu rostlin.

ZM – Mléčná zralost:

Při nástupu této fenofáze převládá zelená barva všech nadzemních částí rostliny. Pouze dva až tři spodní listy jsou již odumřelé. Jejich kolénka jsou však ještě zelená a šťavnatá. Listy ve střední části stébla se nacházejí v různých stadiích odumírání. List zpravidla žloutne a odumírá postupně shora dolů tj. od hrotu čepele po celé její délce přes pochvu až ke kolénku, které přebarvuje a odumírá nejpozději. Nejvyšší listy jsou většinou ještě zelené. Objem vyvinutých obilek odpovídá velikosti zralého zrna. Všechny obilky jsou zelené, na omak měkké, při silnějším stisknutí se z nich uvolňuje mléčně zbarvená šťáva. Pluchy, mezi nimiž je obilka umístěna, mají v době mléčné zralosti žlutozelenou barvu. Nástup této fenofáze nastává, jestliže popisu odpovídá alespoň polovina z celkového počtu rostlin.

SK – Sklizeň:

Jedná se o den, kdy je na pokusné ploše započato sklizení rostlin.

KA – Počátek kvetení samčích květů:

Na metající latě začnou uvolňovat pyl („prášit“) první prašníky. V rámci fenologických pokusu fenofáze KA nastupuje, odpovídá-li uvedenému popisu alespoň jedna desetina z celkového počtu rostlin.

KG – Počátek kvetení samičích květů:

Ze samičího květenství, založeného v paždí některého z listů ve střední části stonku a ukrytého do blanitého listenu, proniknou ven svazečky dlouhých nitkovitých blizen. Tato fenofáze nastává, pokud alespoň jedna desetina rostlin z celkového počtu odpovídá tomuto popisu.

PD – Počátek dekortikace:

Dekortikace je odlučování svrchní vrstvy buněk na povrchu mladého kořene tzv. primární kůry v důsledku tloustnutí kořene (bulvy). Dochází ke vzniku tenkých světlých trhlinek, které se postupně rozšiřují. Počátek dekortikace se rozumí vznik prvních viditelných trhlinek na povrchu horní, ze země vyčnívající části bulvy. Toto nastává v době, kdy rostlina vytvořila 3. - 4. list. Trhlinky jsou málo zřetelné a proto je nutné rostliny prohlížet z bezprostřední blízkosti. V rámci fenologických pokusů tato fenofáze nastává, jakmile je uvedený stav zjištěn zhruba na polovině z celkového počtu rostlin.

RZ – Řádkové zapojení porostu:

Původně dobře patrné mezery mezi jednotlivými, vedle sebe stojícími rostlinami se uzavřely v důsledku rozrůstání rostlin ve směru řádku. Fenofáze nastupuje, jakmile je uvedený stav zjištěn alespoň u poloviny z celkového počtu rostlin.

UZ – Úplné zapojení porostu:

Původně dobře parné mezery mezi jednotlivými sousedícími řádky rostlin se uzavřely v důsledku rozrůstání rostlin ve směru kolmo na řádky. Fenofáze nastupuje, jakmile je uvedený stav zjištěn u většiny řádků.

BT – Butonizace:

Na rostlině jsou již patrná drobná zelená, dosud nerozvinutá květenství vyrůstající v paždí listů v horní části rostliny. Fenofáze nastupuje, odpovídá-li uvedenému popisu alespoň polovina z celkového počtu rostlin.

PR – Plný rozkvět:

Počet rozkvetlých rostlin na pokusné ploše (odpovídajících fenofázi PK nebo pokročilejších) právě překročil polovinu z celkového počtu rostlin.

ON – Odumírání nati:

Většina listů je již nezelená (zažloutlá, žlutohnědá, hnědá apod.), podobně zasychají i stonky. Fenofáze nastupuje, odpovídá-li uvedenému popisu alespoň polovina z celkového počtu rostlin.

ZK – Zelená (konzervárenská) zralost:

Nástup fenofáze ZK je určen stavem lusku, vyvíjejících se ve střední části rostliny (jde o nejnižší postavené plody na rostlině). Tyto lusky jsou v době ZK ještě zelené, avšak již normálně dlouhé, s plnými měkkými semeny. Fenofáze nastupuje, odpovídá-li uvedenému popisu alespoň polovina celkového počtu rostlin.

PL – První listy:

Fenofáze nastupuje, jakmile se po vzejití objeví první pár pravých listů. Čepel těchto listů bývají široce vejčitého tvaru, na okrajích hrubě zubaté až laločnaté, ochlupené. První pár pravých listů se nesmí zaměňovat s páry děložních lístků, které jsou ledvinitého tvaru a které se objevují již při vzházení rostliny. Fenofáze nastupuje, odpovídá-li uvedenému popisu alespoň polovina z celkového počtu rostlin.

PS/PD – První seč:

Na pokusné ploše začalo kosení porostu nezávisle na použitém technologickém postupu.

DS – Druhá seč:

Platí popis uvedený pro první seč. TS – Třetí seč:

Platí popis uvedený pro první seč. Další seče se nepozorují.



Vydal:
Výzkumný ústav meliorací a ochrany pudy, v.v.i.
ISBN 978-80-87361-65-8