

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

FAKULTA AGROBIOLOGIE, POTRAVINOVÝCH A PŘÍRODNÍCH
ZDROJŮ

KATEDRA AGROEKOLOGIE A BIOMETEOROLOGIE



Vliv porostu a mulče na distribuci srážek a úrovně kapkové eroze

Autor práce: Ing. Michaela Škeříková

Vedoucí práce: doc. Ing. Václav Brant, Ph.D.

PRAHA 2018

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem práci ke státní doktorské zkoušce na téma „Vliv porostu a mulče na distribuci srážek a úroveň kapkové eroze“ vypracovala samostatně s použitím jen pramenů, které cituji a uvádím v přiložené bibliografii.

V Praze dne:

Podpis:

Poděkování:

Ráda bych touto cestou poděkovala svému školiteli doc. Ing. Václavu Brantovi Ph.D. za odborné a trpělivé vedení při mém studiu. Ing. Petru Zábranskému, Ph.D. a Doc. Ing. Milanu Kroulíkovi, Ph.D. děkuji za pomoc s experimenty a vyhodnocením dat. Děkuji také vedoucímu katedry prof. Ing. Josefu Soukupovi, CSc. a celému kolektivu katedry agroekologie a biometeorologie za podporu a zázemí.

1. Obsah

1. Úvod.....	5
2. Literární přehled	6
2.1. Vodní bilance agrofytocenóz	6
2.1.1. Evapotranspirace.....	6
2.1.2. Evaporace.....	7
2.1.3. Transpirace.....	7
2.2. Distribuce srážek vegetačními pokryvy	8
2.2.1. Stok vody po rostlině (stem-flow)	9
2.2.2. Porostní srážka (throughfall)	11
2.2.3. Intercepce.....	12
2.2.4. Význam hodnocení distribuce srážek	13
2.2.5. Vliv struktury porostu na distribuci srážek v porostech kukuřice seté	14
2.2.6. Metody měření stoku vody po rostlině	16
2.2.7. Metody měření porostní srážky	17
2.2.8. Metody měření intercepce	18
2.3. Eroze	18
2.3.1. Erozní procesy	19
2.3.2. Formy vodní eroze	22
2.3.3. Metody měření kapkové eroze.....	24
2.3.4. Faktory ovlivňující kapkovou erozi.....	26
2.3.5. Erozní procesy probíhající v porostech polních plodin a jejich eliminace	29
3. Vědecké hypotézy a cíle práce.....	33
4. Publikované práce.....	35
5. Celková diskuse dosažených výsledků	86
6. Závěr	95
7. Seznam literatury:	97
8. Publikační činnost autorky.....	111

1. Úvod

V České republice je 35 % orné půdy středně až extrémně ohroženo vodní erozí. Tento problém se nejvíce projevuje v porostech širokořádkových plodin. Na počátku erozního procesu je kinetická energie dešťové kapky dopadající na nechráněný povrch půdy. Tato energie působí destruktivně na půdní agregáty, což se projevuje poklesem infiltrace vody do půdy a tvorbou půdního škraloupu. Míra rozpadu půdních agregátů závisí na třech významných faktorech. Primárně na vlastnostech atmosférické srážky, tedy na velikosti, rychlosti, množství a úhlu dopadajících kapek na povrch půdy. Sekundárně závisí na půdních vlastnostech, jako jsou půdní druh a typ, objemová hmotnost, struktura a stabilita půdních agregátů, obsah organické hmoty, vlhkost a infiltrační kapacita. Třetím faktorem ovlivňujícím rozpad půdní struktury je ochrana povrchu půdy živým či mrtvým mulčem modifikujícím distribuci srážky.

Rostlinný pokryv půdy hraje nezastupitelnou roli v ochraně půdy před erozí, neboť snižuje kinetickou energii dopadajících dešťových kapek, půdu mechanicky zpevňuje kořeny a svádí stékající vodu po rostlině přímo do půdy. Vegetační pokryv půdy na eliminaci erozního procesu působí i nepřímo omezením zanášení půdních pórů či zvyšováním obsahu organické hmoty v půdě. Vlivem odlišného habitu pěstovaných polních plodin je jejich vliv na distribuci srážky v porostu a následně na kapkovou erozi odlišný. Poměr stoku vody po rostlině, propadu srážky a intercepčního výparu je závislý na růstové fázi porostu, velikosti listové plochy, přítomnosti trichomů na listech, úhlu postavení listů. Vhodným systémem založením porostu je možné aktivně ovlivnit jeho strukturu z hlediska hustoty, orientace a překrývání se listů či tvaru kořenové soustavy a hloubky prokořenění půdy.

Kvantifikace propadu srážky porostem do jednotlivých zón meziřádku v různých plodinách je důležitá nejen z hlediska eliminace erozního procesu, ale i vývoje způsobů zpracování půdy a efektivních systémů hnojení. Na základě znalosti vlivu plodiny na propad srážky porostem je možné cíleně kypřit půdu za účelem zvýšení infiltrace dešťové vody a specifikovat místa ukládání hnojiv, aby nedocházelo k jejich předčasnému vyplavení. Znalost distribučního vlivu porostů na atmosférickou srážku je důležitá pro omezení kapkové eroze v porostech polních plodin prostřednictvím agrotechnických opatření a z důvodu zvýšení využití přirozených srážek porosty v obdobích nedostatku vláhy. Proto je předkládaná práce nazvaná „Vliv porostu a mulče na distribuci srážek a úroveň kapkové eroze“ zaměřena na řešení výše uvedené problematiky.

2. Literární přehled

2.1. Vodní bilance agrofytocenóz

Voda, jako základní přírodní zdroj, je předpokladem veškerého života na zemi. Voda je pro život rostlin naprosto nezbytná. Rostliny získávají vodu z půdy kořeny a jejím transportem skrz rostlinu dochází k ochlazení rostliny transpirací (výparem), a tak i k udržení optimální teploty rostliny. Výše efektivity využití vody je ovlivnitelná strukturou porostu a délkou jeho vegetace (San José *et al.*, 2003). Voda je také esenciální prostředí pro průběh biochemických reakcí a transport prvků. Rozvádí živiny po rostlině i odvádí z jejího těla nežádoucí látky.

Spotřeba vody rostlinami je významnou složkou vodní bilance krajiny (Merta *et al.*, 2001). Stanovení vláhových potřeb plodin je spojeno s hodnocením energetických toků a efektivitou využití vody (Corbeels *et al.*, 1998) a transformace energie v krajině (Ripl, 1995). Rovnice vodní bilance porostů dle Larchera (1988):

$$Pr - L_i = \Delta W + L_E + L_O$$

Pr = celkové srážky

L_i = ztráta vody zachycením porostem a následným výparem (intercepce)

ΔW = zásoba vody v biomase

L_E = ztráta vody evapotranspirací

L_O = ztráta vody odtokem

Vodní bilance je významným krajinnotvorným prvkem a vyjadřuje vztah mezi složkami příjmu, akumulace a výdeje vody pro určitý objekt či místo v určitém čase. V literatuře lze najít různé verze rovnic vodní bilance. Někdy je vedle povrchového odtoku v rovnici zařazen i podpovrchový odtok (Rožnovský a Havlíček, 2002) a výpar z povrchu půdy (Brisson *et al.*, 1980).

2.1.1. Evapotranspirace

Evapotranspirace je obvykle dělena na dvě části – na výpar způsobený fyzikálně, tedy evaporaci, která je závislá na dostupnosti vody, energie a intenzitě turbulentních procesů; a na transpiraci, která je dána fyziologickými procesy v rostlinách, saturací vody a fotosynteticky aktivní radiací. Součet těchto hodnot je nazýván „evapotranspirace“ (Foken, 2008).

Rosenberg (1974) uvádí, že potenciální evapotranspirace je výpar ze zapojeného travního porostu, který je plně saturován vodou. Potenciální evapotranspirace nikdy nemůže být vyšší než evaporace z vodní hladiny za stejných klimatických podmínek.

Struktura porostu (např. počet a velikost jedinců) může přispět k navýšení či snížení indexu listové plochy, a tím k ovlivnění evaporace, transpirace i evapotranspirace. Omezení evaporace z půdy a transpirace plevelů také ovlivňuje evaporaci a transpiraci porostu kulturní plodiny. Jsme zde však limitováni efektivitou využití vody (Kirkham, 2005).

Hodnocení evapotranspirace porostu kukuřice prováděli Pivec a Brant (2010). Zjistili, že u kukuřice seté je podíl transpirace na evapotranspiraci 32 – 35 %. Evapotranspiraci ovlivňuje i systém zavlažování, kdy u rajčat, která jsou zavlažována řádkově, činila evapotranspirace 648 mm za rok a u podpovrchové kapkové závlahy byla o 117 mm nižší. Hanson *et al.* (2006) uvádějí, že u podpovrchové kapkové závlahy je nižší evaporace z půdy.

2.1.2. Evaporace

Světová meteorologická organizace (2008) definuje (aktuální) evaporaci jako množství odpařené vody z vodní hladiny či z povrchu půdy. Dále definuje potenciální evaporaci jako množství odpařené vody z vodní hladiny na jednotku plochy a jednotku času za definovaných atmosférických podmínek.

Evaporace může probíhat ze zemského povrchu, z vodní hladiny a zavlažovaných porostů (Foken, 2008).

2.1.3. Transpirace

Transpirace je dle World Meteorological Organization (2008) proces, kdy voda z rostlin přechází do atmosféry v podobě páry. Voda se z rostlin vypařuje průduchy. V případě, že je atmosférický tlak nižší než tlak vodní páry v rostlině, voda se v rostlině pohybuje xylémem vzestupně. Tlak potřebný pro kapilární vztlínání je -3 MPa (Baranowski *et al.*, 2005).

Intenzita transpirace je ovlivněna diferencí vodního potenciálu v rostlině a v atmosféře. Potenciál vodní páry v atmosféře při relativní vlhkosti 50 % a teplotě 20 °C je -94,1 MPa. V listech je při stejných podmínkách vodní potenciál o několik MPa menší. Rozdíl v potenciálech vytváří podtlak, který způsobuje pohyb vody z rostliny do atmosféry. Ztráty vody z rostliny transpirací jsou nahrazeny vodou odebranou z půdy, opět v závislosti na rozdílných potenciálech mezi rostlinou a půdou (Baranowski *et al.*, 2005).

Faktory limitující transpiraci jsou např. nedostatek vody v půdě, či její nadbytek spojený s nedostatkem vzduchu nebo také zdravotní stav porostů (Čermák a Naděždina, 2005). Dalšími faktory ovlivňujícími transpiraci jsou: hloubka orby, struktura porostu a množství plevelných rostlin (McAneney *et al.*, 1993).

Pivec a Brant (2008) uvádějí, že denní hodnoty transpiračního toku v jedincích různých měřených druhů kulturních či plevelných rostlin se na základě provedených měření pohybovaly v rozmezí od 0,016 do 0,193 kg⁻¹·H₂O⁻¹·den. Hodnoty maximálních denních hodnot poté v rozmezí od 0,025 do 0,309 kg⁻¹·H₂O⁻¹·den. Dále popisují, že průměrná denní spotřeba vody porostem řepky ozimé o 30 – 50 jedincích na metr čtvereční se může pohybovat na základě přepočtu transpiračních nároků v rozmezí 1,650 až 2,750 kg⁻¹·H₂O⁻¹·den⁻¹·m⁻².

Dugas *et al.* (1997) hodnotili průměrné denní hodnoty transpirace v závislosti na koncentraci CO₂ u rostlin čiroku obecného a vojtěšky seté. U obou druhů nebyl prokázán rozdíl v indexu listové plochy při zvýšení koncentrace CO₂. Jejich výsledky dokládají, že transpirace na jednotku listové plochy klesá se vzrůstajícím množstvím CO₂ v atmosféře.

Se zvyšující se intenzitou slunečního záření lineárně stoupá i poměr transpirace a fotosyntézy. Proto je efektivita využití vody k výrobě sušiny nižší v oblastech s vysokou radiací (Kirkham, 2005).

2.2. Distribuce srážek vegetačními pokryvy

Dosavadní znalosti distribuce srážek pocházejí především ze studia lesních společenstev či ze sadů ovocných dřevin (např. Crockford *et al.*, 1996; Davie a Durocher, 1997; Tobón Marin *et al.*, 2000; Nakanishi *et al.*, 2001). Znalosti o distribuci srážek v porostech polních plodin se týkají zejména plodin širokořádkových.

Vegetační kryt půdy výrazně ovlivňuje množství srážky, které dopadá na povrch půdy, a zároveň modifikuje rovnoměrnost jejího rozložení na jednotku plochy. Po dopadu dešťových kapek na porost dochází k jejich částečnému zachycení na rostlinách, převážně na listech, a část srážky propadá přímo na půdu, mezerami mezi vegetací. Při srážkách, jejichž velikost převažuje zadržovací schopnost povrchu rostlin, dochází k odkapu vody z listů a k odtoku vody směrem ke stonku a následně stoku vody na zem (Brant *et al.*, 2014). U bylinných společenstev je přerozdělování srážky ovlivňováno překrýváním listů (Bui a Box, 1992).

Základem stanovení jednoznačných zákonitostí mezi intenzitou a úhrnem srážky a hodnotami stoku vody po lodyze s hodnotou porostní srážky v závislosti na vývoji porostů je kontinuální záznam všech sledovaných parametrů. K měření stoku vody po stonku je možné použít metody využívající kontinuální přítomnosti sběrného zařízení na rostlině (Bui a Box, 1992; Paltineanu a Starr, 2000), nebo tzv. lahvové metody (Van Dijk a Bruijnzeel, 2001), u které však dochází k destrukci rostliny.

Dle literárních údajů (Bui a Box, 1992) může až jedna třetina stoku vody po stéble kukuřice seté přispět ke vzniku povrchového odtoku. Paltineanu a Starr (2000) poukazují na skutečnost, že při nižších srážkových úhrnech vzrůstá v porostu kukuřice poměr mezi stokem a porostní srážkou. S nárůstem srážky hodnota tohoto podílu klesá. Hodnoty distribuce srážek byly měřeny také v porostech pšenice obecné (Butler a Husband, 1985).

Důležitou roli v přerozdělování srážky hraje u stromů úhel sklonu větví. Větve přikloněné ke kmeni soustřeďují vodu k bázi větví. Se stářím rostliny se zvětšuje i úhel odklonění větví od kmene. Z větví, které směřují k zemi, odkapává voda přímo na povrch a jedná se o porostní srážku. V lesních společenstvech je více vody zadrženo ve svrchním patře (Ford a Deans, 1978).

Vegetace působí jako ochranná vrstva mezi atmosférou a zemským povrchem. Součástí nadzemního rostlinného pokryvu půdy – listy a větve – absorbují část kinetické energie dešťových kapek, vody odtékající po povrchu a větru, což snižuje míru působení na povrch půdy a kořeny rostlin zpevňují půdu mechanicky (Morgan, 2005).

To potvrzují i Noble a Morgan (1983), kteří ve svých výzkumech zjistili, že v porostu růžičkové kapusty dopadá na zemský povrch o 10 – 25 % méně vody, než na povrch nechráněný vegetací, a že kinetická energie dopadajících kapek byla snížena o 10 – 81 %.

2.2.1. Stok vody po rostlině (stem-flow)

Část srážek zachycených na rostlině je sváděna dolů po stonku či kmeni. Tento proces je nazýván stok vody po rostlině, či anglicky „stem-flow“ (Schroth *et al.*, 1999). Rowland *et al.* (2005) uvádí, že u polních plodin je větší podíl srážky sveden po rostlinách, než je tomu v případě lesního společenstva.

Stok vody po rostlině je ovlivněn množstvím a intenzitou srážek, pokud tedy dojde k nízkému úhrnu srážek, proces stoku vody po rostlině nemusí nastat (Tang, 1996). Na množství vody vedené po rostlině má vliv sklon a plocha větví, v případě bylin sklon a plocha listoví. Další studie zmiňují, že stok vody po rostlině je ovlivňován i povrchem a délkou kmene (stonku). Vyšší a mohutnější stromy svádějí po kmeni více vody, neboť mají větší plochu pro zachytávání kapek (Ford a Deans, 1978; Bui a Box, 1992; Crockford a Richardson, 2000).

Voda stékající po stonku či kmeni rostliny je soustředěna k bázi rostliny a je považována za bodový vstupní zdroj vláhy pro větší hloubky, než voda dopadající na povrch půdy přímo (Tang, 1996). To potvrzují i Taniguchi *et al.* (1996), kteří zjistili, že 19 % z celkové zásoby půdní vody v borovicovém lese pocházelo ze stoku vody po rostlině.

Oyarzún *et al.* v roce 2011 porovnávali složky po distribuci srážek v deštných pralesech v Andách v Chile. Měření probíhala v 714 m n. m. (roční úhrn srážek 3 453 – 4 660 mm) a na lokalitě s 815 m n. m. s ročním úhrnem srážek 4 061 – 5 308 mm. Tito autoři zjistili, že množství vody svedené po rostlině se v jejich podmínkách pohybuje mezi 0,3 – 3,4 % z nadporostní srážky a jeho množství je ovlivněno rostlinným druhem. Hutchinson a Roberts již v roce 1981 zdokumentovali, že stok vody po kmenech v javorovém lese je okolo 2 % z nadporostní srážky. U dřevin byl stok vody po rostlině hodnocen relativně často, jak dokládají i australská data (Staelens *et al.*, 2008), kde stok vody po rostlině činil 8 % z celkové roční srážky.

Van Elewijck (1989) uvádí, že kukuřice setá soustředí velké množství srážkové vody vedené po stéble, což ovlivňuje nejen zásobení půdy vodou, ale i růst rostliny, výnos plodin a povrchový odtok. Rostliny kukuřice seté mají široké listy, které pomáhají koncentrovat velké množství vody. Podle výsledků Pivce *et al.* (2014) v porostech kukuřice seté může docházet k překrývání listů. Brant *et al.* (2013) dokládají, že při pěstování kukuřice seté v užších řádcích (0,45 m) byl stok vody po rostlině vyšší o 28 % než u standardní rozteče řádků (0,75 m). V pokusech Van Elewijcka (1989) bylo prokázáno, že až 49 % srážky je při rozteči řádků 0,50 m transformováno na stok vody po rostlině.

Stok vody po rostlině je důležitá součást hydrologických procesů, která ovlivňuje biogeochemický koloběh živin. Vzhledem k bodovému vstupu vody do půdy přes bázi rostliny dochází k ovlivnění chemického složení půdního roztoku, živin v půdě, půdní vlhkosti, obsahu půdní vody a k ovlivnění povrchu svažitých pozemků. Voda stékající po stonku rostlin vyluhuje hnojiva umístěná v blízkosti rostlin a ovlivňuje tak i výnos plodin. Množství vody svedené po

stonku a její chemické složení je dáno komplexem faktorů, jako jsou sezónní meteorologické podmínky, vlastnosti a struktura porostu (Levia, 2003), či atmosférické polutanty (Levia a Frost, 2003).

2.2.2. Porostní srážka (throughfall)

Srážková voda, která není zachycena vegetací a volně propadá na povrch půdy, se nazývá porostní srážka (Trinh a Chui, 2012). Patří sem i voda odkapávající z listů na povrch půdy (Staelens *et al.*, 2008).

Tang (1996) uvádí, že k odkapu vody z listů dochází až po smáčení listů a naplnění jejich zadržovací kapacity. V borovicovém lese byl propad srážky zaznamenán až po 20 – 40 minutách deště. V případě větrného počasí může propad srážky pokračovat i po ukončení srážkové události. Propad srážky v tomto dokumentovaném experimentu činil 45 – 75 % z celkové nadporostní srážky. Porostní srážka je tedy podstatná část přerozdělené srážky, a tak i po infiltraci důležitý zdroj zásobení půdní vody.

Hlavními faktory ovlivňujícími propad srážky porostem (a okap vody z listů) jsou dle Crockforda a Richardsona (2000): velikost koruny; tvar, velikost, orientace a struktura listů; úhel větví (listů na rostlině) a mezerovitost mezi rostlinami. Na množství propadlé srážky má vliv intenzita srážky (Goméz *et al.*, 2002) a směr větru (David *et al.*, 2006).

Dopadající porostní srážka (vč. odkapu vody z listů) má velmi významný vliv na půdní strukturu a stabilitu půdních agregátů. Voda, která se dočasně zachytí na listech, splývá a odkapává v kapkách o průměru i více než 4 mm. Větší kapky mají větší kinetickou energii a při dosažení zemského povrchu působí na půdní agregáty větší silou, a dochází tak k jejich destrukci (Noble a Morgan, 1983).

Paltineanu a Starr (2000) hodnotili propad srážky porostem kukuřice seté v průběhu vegetace. Zjistili, že procesem stárnutí rostliny dochází k postupnému ohýbání listů směrem k povrchu půdy, což velmi ovlivňuje hodnoty porostní srážky. V průběhu vegetace byly průměrné hodnoty propadu srážky 34 – 40 %, avšak před sklizní se hodnoty zvýšily na 68 – 74 % z celkové nadporostní srážky. Propad srážky je tedy závislý nejen na výše uvedených faktorech, ale i na vývojové fázi rostliny.

Chemické složení srážky propadlé porostem je modifikováno především vodou odkapanou z povrchu listů. Moore (1983) dle analýz pH odhaduje, že změny pH v propadlé srážce jsou pravděpodobně závislé na depozici atmosférických polutantů na listech v obdobích mezi

srážkovými událostmi, a/nebo na pohybu živin a chemických látek v rostlině, které jsou schopny prodloužit setrvání vody na rostlině k vyluhování živin, jakož i na rychlosti, kterou jsou živiny schopny se vyluhovat.

Charakteristiky propadu srážky v tropickém lese v Andách (1000 – 3000 m n. m.) v Kolumbii zkoumal Vis (1986). V jeho práci se uvádí, že kapky dopadající na zemský povrch v otevřeném prostoru jsou podobné velikosti. Naproti tomu v lesním společenstvu jsou vodní kapky dvou velikostních typů, kdy ve větším procentu padají kapky relativně větší. Kinetická energie propadajících dešťových kapek je vyšší o 20 – 70 % než v otevřeném prostoru.

2.2.3. Intercepce

Intercepce je část srážky, která je zachycena na povrchu vegetace a následně dochází k jejímu výparu (Crockford *et al.*, 1996a). Míru intercepce ovlivňují počty stromů (rostlin) jednotku plochy; úhel větví či listů; homogenita tvaru rostlin a jejich výšky; struktura a tloušťka kůry; tvar, sklon a plocha listů (Crockford a Richardson, 2000). Srážka zachycená porostem je neměřitelná, je nutné ji dopočítat (Dunkerley, 2000):

$$I = P - T - S$$

I = intercepce

P = celková nadporostní srážka (precipitation)

T = propad srážky porostem (throughfall)

S = stok vody po rostlině (stem-flow)

Množství vody zadržené na povrchu listů rostlin je dáno jejich zachytnou kapacitou, která určuje dobu, po kterou jsou schopny vodu zadržet a následně vypařovat. V případě naplnění této kapacity nedochází k výparu, ale dochází k odkapu srážky či stem-flow. Zachycením vody na povrchu rostlin a následným výparem je ochuzována o vodu půda (Dunkerley, 2000). Srážka dopadající na povrch vegetace je ovlivněna úhlem, pod kterým dopadá. Hlavní roli pak hraje vzrostlý vrchol rostliny (Noble a Morgan, 1983).

Ford a Deans (1978) uvádějí, že v průběhu sledovaného ročníku byl úhrn srážek na smrkové plantáži 1 639 mm. Prerozdělení srážky proběhlo v poměru 27 % stok vody po rostlině, 43 % propad srážky porostem a 30 % intercepce. Tyto poměry byly v průběhu roku relativně konzistentní, avšak pouze v zimním období (leden – březen) vzrostl propad srážky na 57 % a

intercepce klesla na 15 %. V pokusech s růžičkovou kapustou se intercepce pohybovala mezi 10 – 25 % (Noble a Morgan, 1983).

V brazilské Amazonii bylo přerozdělení srážky v poměru 90,2 % propad srážky se stem-flow a 6,4 % intercepce. Ovšem na monokulturní palmové plantáži byly již poměry jiné. Stok vody po rostlině dosahoval cca 20 % z celkového propadu srážky, který činil 86 – 88 %, zbývajících 12 – 14 % z celkové nadporostní srážky vychází na intercepce (Schroth *et al.*, 1999). Bellot a Escare (1998) naměřili intercepce v porostu dubu letního 12,9 % z nadporostní srážky a v pralesních nížinách na Borneu, kde byl roční úhrn srážek 2 292 mm, byla intercepce 14,5 % z nadporostní srážky (Manfroi *et al.*, 2004).

Na základě výzkumu distribuce srážek ve středozezemním dubovém lese uvádějí David *et al.* (2006), že se zvyšující se intenzitou srážky se zvyšuje i ztráta vody intercepce, avšak relativní ztráta vody intercepce (poměr intercepční ztráty k celkové srážce) klesá s vyšší intenzitou deště. Intercepce má významnou roli v přerozdělování srážek v porostu zejména při hodnotách nadporostní srážky nižších než 5 mm (Tang, 1996).

2.2.4. Význam hodnocení distribuce srážek

Vegetace hraje důležitou roli v regulaci povrchového hydrologického procesu. Rostlinný pokryv přirozeně tlumí energii srážek (Vásquez-Méndez *et al.*, 2010). Zhodnocení ztrát vody intercepce je důležité zejména v aridních a semiaridních oblastech, kde je obsah půdní vlhkosti faktor limitující rostlinnou produkci a kde odtok a doplnění podzemní vody je nezbytné ke splnění nároků zemědělství, průmyslu a společnosti (Carlyle-Moses, 2004). Levia a Forst (2003) uvádějí, že lepší porozumění distribuci srážek povede k vylepšení výpočetních modelů chování vody v porostu, k lepšímu porozumění vlivu porostní srážky na chemické složení půdního roztoku, stavu podzemní vody, vyplavování hnojiv aplikovaných v blízkosti rostliny a biogeochemickém cyklu vody.

Dopad dešťových kapek na povrch půdy je spojen se změnou struktury povrchu půdy, zejména s rozpadem půdních agregátů a vznikem půdního škraloupu (Le Bissonnais *et al.*, 1996). Míra rozpadu půdních částic pomocí dešťových kapek závisí na vlastnostech srážky, tj. na velikosti a množství kapek, jejich kinetické energii a úhlu, pod kterým dopadají na zem (Cruse *et al.*, 2000). Rozpad půdních agregátů dále závisí na půdních vlastnostech, jako jsou půdní typ a druh, objemová hmotnost, struktura, stabilita agregátů, obsah organické hmoty, vlhkost půdy a její infiltrační kapacita (Nearing *et al.*, 1988). Množství srážky a velikost kapek propadlých

porostem na zem jsou ovlivněny velikostí a tvarem rostliny, orientací a strukturou listů a mezerovitostí mezi rostlinami (Crockforda a Richardson, 2000).

Kromě toho, že rostlinný pokryv mění velikost vodních kapek dopadajících na zem, ovlivňuje taky jejich prostorové rozmístění v dopadu na zemský povrch. Voda, která odkapává z listů, se koncentruje v jednom dopadovém místě, toto množství může výrazně převyšovat infiltrační kapacitu a hraje tak důležitou roli v povrchovém odtoku (Morgan, 2005).

Znalost distribuce srážek v daném prostoru ve vztahu k jeho parametrům lze využít k cílené eliminaci eroze, k podpoře infiltrace do půdy v místech soustředěného transportu vody na půdu, k podpoře využití hnojiv při jejich cílené aplikaci, k omezení vodního stresu apod. (Brant *et al.*, 2014).

2.2.5. Vliv struktury porostu na distribuci srážek v porostech kukuřice seté

Distribuce srážek v porostech kukuřice seté závisí na rozteči řádků. Sharrat a McWilliams (2005) uvádějí, že vzdálenost řádků ovlivňuje vývoj rostliny a následně průnik světla, vody a živin do porostu. Vzdálenost rostlin mezi sebou pak ovlivňuje i místo, kde se voda dostane do kontaktu s povrchem půdy. V užších řádcích je větší uniformita v distribuci kořenů a listů, což napomáhá využití půdní vody a světelného záření a redukuje teplotu půdy a výpar v porovnání se standardní šířkou řádků.

U kukuřice seté dochází k zachycení podstatného množství srážky porostem. Zda bude voda vedena po rostlině či bude odkapávat z listů, záleží na úhlu sklonu listu. Z listů směřujících ke stonku stéká voda převážně po rostlině. Stárnutím rostliny může docházet k ohýbání listů směrem k zemi, a zvyšuje se tak hodnota porostní srážky. Úhel sklonu listů kukuřice seté není dán pouze stářím, ale i typem odrůdy – rozeznáváme planofilní a erektofilní typy listů (Ford a Deans, 1978; Paltineanu a Starr, 2000; Brant *et al.*, 2014).

Martello *et al.* (2015) hodnotili v porostech kukuřice seté distribuci srážek a půdní vlhkost v řádku a meziřádku. Autoři uvádějí, že v průměru bylo 78 % srážek zachyceno porostem a svedeno po rostlině a pouze 22 % vody propadlo porostem na povrch půdy. Poměr stem-flow a propadu srážky se logaritmicky snižuje se vzrůstajícím úhrnem srážky, kdy kapacita rostlin omezuje stok vody po rostlině ke kořenům. Při atmosférické srážce nižší než 10 mm naměřili stok vody po rostlině čtyřnásobně převyšující propad srážky porostem. Při atmosférické srážce 35 mm poměr mezi stokem vody po rostlině a propadem srážky porostem na povrch půdy poklesl na 2,6. Tento fakt vysvětlují omezenou kapacitou rostlin svádět po své lodyze (stonku)

zachycenou vodu. Což potvrzují tím, že při nízkých srážkách je vyšší vlhkost půdy v řádku, než v meziřádku. Že při nízkých srážkách je téměř 100 % vody svedeno po rostlině uvádějí i Paltineanu a Starr (2000). Dále uvádějí, že propad srážky se v průběhu vegetace mění v souvislosti s vývojem porostu. V největším zapojení porostu je propad srážky 37 % a před sklizní, kdy jsou listy svěřené k zemi, 70 procent.

Liu *et al.* (2015a) měřili stok vody po rostlině u kukuřice seté. Měření probíhala v růstovém intervalu, kdy výška rostlin vzrůstala z 0,1 až do 2,3 m a index listové plochy vzrůstal z 1 až na hodnotu 4,5. Měřené srážkové události se pohybovaly od 0,4 do 12,6 mm s intenzitou 0,4 – 35 mm·h⁻¹. Jejich závěry jsou, že hodnoty stoku vody po rostlině stoupaly spolu s úhrnem srážek a indexem listové plochy, avšak stoupající intenzita srážek měla na množství svedené vody po rostlině negativní vliv. Při úhrnu srážek 30 – 135 mm bylo stem-flow 10 – 70 mm s průměrnou hodnotou 0,42 % srážky.

Vliv rozdílné šířky řádků na distribuci srážek dokumentují Pivec *et al.* (2014). Ti hodnotili varianty se šířkou řádků 0,75 m a 0,45 m. U porostů s řádky 0,75 m činila hodnota stem-flow 11,1 mm a u porostů s řádky 0,45 m 7,8 mm z naměřené nadporostní srážky 13,9 mm. Spíše se ukazuje, že u porostů s šířkou řádků 0,45 m dochází k rovnoměrnějšímu pokrytí půdy díky větší zachytné ploše listů. Druhý dokumentovaný případ je rozdělení celkové nadporostní srážky 20,2 mm. Kde stok vody po rostlině činil 14,7 mm na plochách s řádky 0,75 m a 12,9 na plochách s řádky 0,45 m. Propad srážky porostem na povrch půdy byl na plochách o rozteči řádků 0,75 m 19 % a na plochách s roztečí řádků 0,45 17,5 %. Na intercepční výpar bylo kalkulováno 8 % nadporostní srážky (řádky 0,75 m), resp. 18 % (řádky 0,45 m).

Paltineanu a Starr měřili rozdíly ve vsakování vody do půdy v porostu kukuřice při rozdílném zpracování půdy. Pokusy byly založeny konvenčním zpracováním půdy a bez zpracování půdy (no-tillage) a řádky 0,76 m. Při nižších srážkách docházelo k lepšímu zasakování vody v řádcích kukuřice na nezpracované půdě. U orebného zpracování půdy byla větší retence vody zaznamenána v kolejovém meziřádku, zřejmě z důvodu sklonu půdy, půdního škraloupu apod. Obecně při vyšších srážkách docházelo k lepší infiltraci vody do půdy na nezpracované půdě. V řádcích kukuřice zaseté do nezpracované půdy byla retence vody 2x rychlejší než v řádcích založených na oraných plochách. U no-tillage zpracování půdy také docházelo k zasakování vody do větších hloubek.

Porostní srážka má vliv na erozní procesy. Bui a Box (1992) zkoumali erozní procesy v porostech kukuřice seté s šířkou řádků 0,33 m a čiroku s šířkou řádků 0,25 m. Významnou

roli v redistribuci srážek hrál počet, plocha a umístění listů na rostlině; vzdálenost rostlin v řádku a i mezi řádky. Přes větší hustotu rostlin v porostu čiroku byla vyšší průměrná hodnota stoku vody po rostlině naměřená v porostu kukuřice. Až 1/3 množství této vody odtekla po povrchu a zbytek byl infiltrován se zbytkem porostní srážky. U čiroku bylo infiltrováno celkové množství vody ze stemflow a pouze část porostní srážky tvořila povrchový odtok. Stok vody po rostlině může být významným erozním činitelem v případě, že je vyšší obsah půdní vody. Pak dochází k nižší infiltraci, voda zůstává na povrchu a způsobuje pohyb půdních částic.

2.2.6. Metody měření stoku vody po rostlině

V lesních společenstvech probíhá měření stoku vody po rostlině pomocí několika způsobů. Někteří autoři uvádějí, že k měření použili podélně rozříznutou hadici, kterou pomocí silikonového tmelu spirálovitě připevnili ke kmeni rostliny (Herwitz, 1987; Crockford a Richardson, 1996b; Manfroi *et al.*, 2004). Brinson *et al.* (1980) sběrný kanálek vytvořili z uretanové pěny. Takto zachycená voda pak byla vedena do sběracích nádob, které měly ještě rezervní zásobníky, aby nedošlo k jejich přeplnění. Serrato a Diaz (1998) měřili stem-flow relativně komplikovaně, kdy u báze rostliny umístili kovový prstenec jako bariéru a povrch půdy zaizolovali silikonem. Voda svedená po rostlině byla odváděna hadicí z tohoto „bazénku“ do sběrné nádoby.

U polních plodin se stok vody po rostlině měří principiálně stejně. U kukuřice seté, jak uvádějí Paltineanu a Starr (2000), bylo k měření stem-flow použito polyetylenových pytlů připevněných ke stonku rostliny. Zachycená voda byla z pytlů přečerpávána do sběrných nádob. Bui a Box (1992) použili kelímky, kterými obemkli stonek rostliny. Van Elewijck (1989) měřil stok vody po rostlině v laboratorních podmínkách. Na stonek rostliny umístil nálevku a voda z ní byla hadičkou odváděna do odměrného válce.

Naprosto unikátní systém měření stoku vody po rostlině použili Liu *et al.* (2015a). V jejich případě byly použity pásy 0,1 x 0,2 m z vysokoabsorbčního materiálu, které byly schopny zasáknout až 1 kg vody. Před srážkovou událostí byly pásy zváženy, připevněny na stonek rostliny a dole utěsněny, aby voda nemohla prosakovat. Po dokončení srážky byly pásy urychleně odstraněny a zváženy. Maximální množství zachycené vody bylo 270 g při srážce 5,7 mm a výšce rostliny 2,27 m. Že se jim podařilo zachytit veškerou vodu stékající z rostliny, potvrzují tím, že po srážce byl povrch půdy u báze rostliny suchý.

Martello *et al.* (2015) použili k zachytávání stem-flow kuželovité nálevkovité PVC kolektory o výšce 0,18 m a horním průměru 5 cm. Voda z této nálevky byla hadičkou přečerpána do sběrné nádoby. Brant *et al.* (2017) využívali při hodnocení stoku vody po rostlině patentovaného zařízení pro měření stoku vody po rostlině dle Brant *et al.* (patentový spis č. 306 942). Toto zařízení spočívá v rozevratelné nádobce instalované na lodyze rostliny, která díky těsnění z polyuretanové pěny může flexibilně reagovat na růst rostliny. Nádobka je propojena s automatickým srážkoměrem plastikovou hadičkou.

2.2.7. Metody měření porostní srážky

Pro měření porostní srážky v lesních společenstvech se obvykle používají improvizované srážkoměry skládající se ze záchytné nálevky a sběrné nádoby, potažmo je voda z nálevky sváděna potrubím do jednoho sběrného místa. Záchytné trychtýře jsou většinou opatřeny ochrannými sítky – proti usazování nečistot (Brinson *et al.*, 1980; Vis, 1986; Chiwa *et al.*, 2010; Muoghalu a Johnson, 2010; Oyarzún *et al.*, 2011). Brinson *et al.* (1980) měli na ploše 0,5 ha umístěno 15 nálevek. Gómez *et al.* (2002) použili pod každý olivovník 36 plastových lahví o objemu 1,5 l a záchytné nálevky o průměru 0,12 m. Nálevky byly ve výšce 40 cm nad zemským povrchem. Staelens *et al.* (2008) měli ke sběrným nálevkám místo nádob instalované automatické překlopné srážkoměry.

Bui a Box (1992) porostní srážku v porostu kukuřice neměřili, pouze ji vypočítali jako množství vody zbylé po odečtení množství vody svedené po rostlině od celkové srážky. Ovšem do svého výpočtu nezahrnuli intercepční výpar.

Noble a Morgan (1983) použili v laboratorních měřeních desku, kterou umístili pod rostlinu růžičkové kapusty. Deska byla vyspádována, a tak zachycená voda mohla stékat do záchytné nádoby.

Dalším způsobem měření porostní srážky je umístění skleněných nádob na dřevěné desce, které byly instalovány kolmo k řádkům kukuřice seté. Pro zamezení výparu zachycené srážkové vody bylo do každé sklenice přidáno malé množství oleje z důvodu zamezení vysychání (Paltineanu a Starr, 2000). Porostní srážka může být i měřena pomocí PVC žlabů instalovaných kolmo napříč řádky. McJannet *et al.* (2007) uvádějí, že jejich délka byla 6 m a šířka 0,1 m. Martello *et al.* (2015) instalovali záchytné žlábků na rostliny kukuřice seté o rozměrech 0,75 x 0,2 m s centrálním otvorem 0,05 m, aby nedošlo ke smísení s vodou stékající po rostlině. Zachycená voda byla hadičkou vedena do kanystru a následně vážena.

2.2.8. Metody měření intercepce

Množství vody, které se zachytí na listech rostlin, ať stromů či bylin, a následně se vypaří, není měřitelné. V dostupné literatuře se uvádí, že intercepce se vypočítává jako jedna ze složek rovnice distribuce srážek, kdy je zbytek z nadporostní srážky po odečtení propadu srážky a stem-flow (Skau, 1964; Dunkerley, 2000; Carlyle-Moses, 2004; David *et al.*, 2006; Morello *et al.*, 2015).

2.3. Eroze

Záznamy o degradaci půdy erozí jsou staré více než 7 000 let. Erozi lze charakterizovat jako přírodní proces, při kterém působením vody, větru, ledu, popř. jiných činitelů dochází k rozrušování povrchu půdy a k transportu půdních částic (Janeček *et al.*, 2002). Podle intenzity procesů dělíme erozi na normální a zrychlenou. Normální eroze neustále přetváří reliéf území. Tyto procesy probíhají postupně a jsou z hlediska lidské generace prakticky nepozorovatelné. Ke zrychlené erozi dochází po změně přírodních podmínek lidskou činností. Její intenzita je 10 – 1 000x vyšší než normální eroze. Zrychlená eroze vede k degradaci půdy a následně k devastaci krajiny (Šarapatka *et al.*, 2002).

Geologická (normální) eroze je běžný proces zvětrávání, který se v malé míře objevuje na všech půdách a je součástí půdotvorného procesu. Probíhá po dlouhá geologická období a antropogenní činností není ovlivněna. Odnoš a transformace hornin a tvorba půdních profilů jsou procesy ovlivněné pomalou leč kontinuální geologickou erozí. Když ovšem míra eroze překročí kritickou hodnotu, nastává proces zrychlené eroze. Tento typ eroze je vyvolán antropogenním působením, jako je odlesňování, žďáření, intenzivní orba, intenzivní a nekontrolované vypásání či spalování biomasy (Blanco a Lal, 2008).

Morgan (2005) definuje erozi jako dvoufázový proces skládající se z oddělení jednotlivých půdních částic z povrchu půdy a následně jejich transportu erozivními činiteli, jako je voda či vítr. Ve chvíli, kdy již není dostatečné množství energie k přemístování částic, dochází k třetí fázi – k jejich uložení.

Podle erozních činitelů je možné erozi roztrždit na erozi vodní (akvatickou), větrnou (eolickou), ledovcovou (glaciální), sněžnou a biologickou (Janeček *et al.*, 2002; Šarapatka *et al.*, 2002). Morgan (2005) dále dělí erozní činitele na ty, které působí plošně a odstraňují relativně stejnoměrnou vrstvu půdy, a na původce, kteří působí jen lokálně. Do první skupiny patří kapková eroze, povrchový odtok a vítr. Do druhé skupiny patří rýhová a výmolová eroze.

Vodní eroze spočívá v rozrušování zemského povrchu dešťovými kapkami a povrchovým odtokem a podle formy se dělí na erozi plošnou, rýhovou, výmolovou a proudovou (Janeček *et al.*, 2002). Blanco a Lal (2008) tento proces popisují širěji. Podle nich je vodní eroze proces, při kterém jsou půdní částice přemísťovány dešťovou vodou, povrchovým odtokem, odtokem při tání sněhu a závlahou. Jako hlavního erozního činitele uvádějí dešťovou vodu ve formě povrchového odtoku. Vodní erozi dělí na kapkovou, rýžkovou, rýhovou, výmolovou, břehovou a tunelovou.

Přímé dopady zrychlené eroze jsou především na zemědělské půdě, kde dochází k přemístění půdních částic nejen na poli, ale i k odnosu půdy z pozemku (Morgan, 2005). Zemědělská půda je k erozi nejvíce náchylná, neboť je často bez vegetačního pokryvu, potažmo s minimem posklizňových zbytků na povrchu půdy. Během vegetace jsou ohroženy erozí především širokořádkové plodiny (Blanco a Lal, 2008).

1. 2.3.1. Erozní procesy

Proces vodní eroze je iniciován pohybem vody po vegetačním pokryvu a povrchu pozemku. Část srážkové vody dopadá přímo na povrch půdy. Voda, která se ocitne na povrchu půdy, se může hromadit na povrchu půdy v malých otvorech a prohlubních, nebo se může zasáknout do půdy (Morgan, 2005).

Množství vody, které je půda schopná pojmout, je dáno tzv. infiltrační kapacitou půdy. Infiltrace vody do půdy je zapříčiněna gravitačními a kapilárními silami. Pokud vstoupí do půdy, je zde zadržena jako tenká vrstvička okolo půdní částice (Morgan, 2005). Voda se v půdě může pohybovat. Pohybuje-li se vertikálně, jedná se o hypodermický neboli podpovrchový odtok (Morgan, 2005). Od základního odtoku se liší tím, že infiltrovaná voda stéká po málo propustné vrstvě a vyvěrá opět na povrch (Janeček *et al.*, 2002).

Podle Chmelové a Šarapatky (2002) je popis vlastní eroze následující: eroze svrchní vrstvy půdy se objevuje ve chvíli, kdy dojde k oddělení jednotlivých půdních agregátů od větších hrud. Tento proces se děje díky energii dopadajících dešťových kapek. Pokud se na povrchu půdy nenachází rostlinné zbytky či živá vegetace, tedy bariéra, která by pohltila energii dopadajících kapek, mají dešťové kapky kinetickou energii překvapivě velkou. Během intenzivní bouře může dojít k odnosu až 246 t zeminy z hektaru.

Kapka vody při dopadu na vrstvu vody oddělí půdní částice snadněji, než při dopadu na suchou půdu. Míra oddělení půdních částic vzrůstá se vzrůstající vrstvou vody, což platí do výšky

průměru dešťových kapek, potom vrstva vody naopak působí jako bariéra pohlcující energii při dopadu kapky (Chmelová a Šarapatka, 2002).

Množství srážky může překročit horní mez absorpční kapacity půdy. Přebývající voda se poté hromadí na povrchu půdy a může dojít k jejímu povrchovému odtoku. Na povrchu půdy působí zároveň energie dopadajících kapek, což může přispět k uzavření povrchu půdy, které snižuje možnost infiltrace, a vede tedy k dalšímu povrchovému odtoku (Chmelová a Šarapatka, 2002). Morgan (2005) vysvětluje snížení schopnosti půdy přijímat vodu zaplněním prostoru mezi půdními částicemi vodou, což vede ke snížení kapilárních sil.

Pokud by došlo k zasáknutí veškeré vody, která se dostane na zemský povrch, došlo by pouze k minimálnímu oddělování a rozstříku půdy. Množství splavené zeminy by bylo nízké (Chmelová a Šarapatka, 2002). Ve chvíli, kdy je však půda již vodou nasycena, nedochází k zasakování vody a nastává povrchový odtok. Janeček *et al.* (2002) uvádějí, že plošný odtok začíná tenkou vrstvou. Morgan (2005) dodává, že tento plošný odtok velmi rychle přechází ve formu rýžkovou či výmolovou a v extrémních případech až odtok velkými koryty, který může tvořit až strže.

Zatím nejdokonaleji vyjadřuje kvantitativní účinek hlavních faktorů ovlivňujících vodní erozi způsobenou přívalovými dešti tzv. „univerzální rovnice“ pro výpočet průměrné dlouhodobé ztráty půdy erozí z pozemků dle Wischmeiera a Smithe (1978):

$$G = R \cdot K \cdot L \cdot S \cdot C \cdot P$$

G = průměrná dlouhodobá ztráta půdy

R = faktor erozní účinnosti deště (v závislosti na četnosti výskytu, úhrnu, intenzitě a kinetické energii deště)

K = faktor erodovatelnosti půdy – vlastnosti půdy ovlivňují infiltrační schopnost půdy, odolnost povrchu půdy a stabilitu půdních agregátů proti rozrušujícímu účinku dopadajících dešťových kapek a transportu povrchovým odtokem. Faktor náchylnosti půdy k erozi je v univerzální rovnici definován jako odnos půdy v t.ha⁻¹ na jednotku dešťového faktoru D ze standardního pozemku o délce 22,13 m a sklonu 9 %, který je udržován jako nakypřený černý úhor s kultivací po směru sklonu svahu.

L = faktor délky svahu – vyjadřující vliv nepřerušené délky svahu na velikost ztráty půdy erozí

S = faktor sklonu svahu – vyjadřující vliv sklonu svahu na velikost ztráty půdy erozí

C = faktor ochranného vlivu vegetačního pokryvu vyjádřený v závislosti na vývoji vegetace a agrotechnice

P = faktor účinnosti protierozních opatření

Vypočtená hodnota udává množství půdy, které může být v dlouhodobém měřítku za daných podmínek uvolněno z pozemku plošnou erozí (Vopravil *et al.*, 2010).

Erozi je možné třídit podle její intenzity. Čím je půda skeletovitější, tím dříve od počátku erozního procesu dochází ke snížení intenzity plošné eroze. Intenzita plošné, vodní a větrné eroze se zpravidla vyjadřuje ztrátou, resp. odnosem půdy v mm, t·ha⁻¹, popř. m³·ha⁻¹ za určité časové období, zpravidla za 1 rok. Intenzitu rýhové eroze je možné vyjadřovat délkou, resp. hustotou rýh v km·km⁻² (Janeček *et al.*, 2002).

Větrná eroze nastává ve chvíli, kdy je síla větru dostatečná k posunu či uzvednutí a přemístění půdních částic. Jejich mobilita je zapříčiněná půdními charakteristikami (půdní druh a typ, struktura půdy, obsah organické hmoty či půdní vlhkost) a nedostatečnou ochranou povrchu půdy vegetací, větší půdní strukturou či sněhem (Bärring *et al.*, 2003; Borreli *et al.*, 2014). Drsnost půdního povrchu má vliv na rychlost přízemního větru a tím na sílu ovlivňující odnos půdních částic. Vegetační kryt snižuje rychlost větru při povrchu půdy, absorbuje značnou část této síly a chrání půdní částice před přímým nárazem větrného proudu (Vopravil *et al.*, 2010). Proces větrné eroze poškozuje především klíčící rostliny a znečišťuje ovzduší (Vopravil *et al.*, 2010).

Posledním procesem, který je možno pro úplnost přidat do výčtu typů eroze, je eroze sklizňová, spočívající ve ztrátě půdy z pozemku spolu se sklizenou plodinou. I tento proces dosud nebyl v ČR výrazněji hodnocen i přesto, že v Evropě bylo prokázáno, že ztráty půdy například při sklizni cukrovky mohou dosahovat hodnot srovnatelných s intenzivní vodní erozí. Hlavní vliv na míru ztráty půdy má v tomto případě způsob sklizně, vlhkost půdy a její vlastnosti. Půdní částice jsou při zpracování plodiny odstraněny propírkou (například v cukrovaru), nicméně materiál se jen zřídka vrací zpět na místo, odkud byl odvezen (Novotný *et al.*, 2014).

2.3.2. Formy vodní eroze

Klasifikace druhů eroze se v české a zahraniční literatuře poněkud liší. Dle metodiky Ministerstva zemědělství se v České republice rozeznávají následující formy eroze: plošná, rýžková, brázdová, rýhová, výmolná a stržová (Novotný *et al.*, 2014). V zahraniční literatuře jsou popisované typy podle Blanco a Lal (2008): eroze kapková (splash erosion), rýžková (interrill), rýhová (rill), výmolová (gully), břehová a eroze tunelová. Někteří autoři dále uvádějí plošnou (sheet) erozi (Chmelová a Šarapatka, 2002; Novotný *et al.*, 2014).

2.3.2.1. Kapková eroze

Kapková eroze je proces, kdy dešťové kapky dopadají na nechráněný půdní povrch a svou kinetickou energií působí na půdní agregáty, čímž je rozrušují a uvolňují částice. Pokud je intenzita a množství srážkové vody větší než retenční schopnost půdy, dochází k zaplnění mikroakumulačních prostor na povrchu půdy a následně pak k povrchovému odtoku (Janeček *et al.*, 2002). V případě, že k povrchovému odtoku nedochází nebo jen v malé míře, stále se jedná o proces kapkové eroze (Kinnell, 2005).

Vodní kapka dopadající na povrch půdy se rozstříkne do podoby drobných kapiček různých velikostí a s nimi se také rozstříknou částičky zeminy (Brodowski, 2013). Leguédouis *et al.* (2005) toto blíže specifikují – větší částice (50 – 2000 μm) jsou transportovány ve formě samostatných zrn, ovšem malé částičky (menší než 50 μm) jsou odstříkovány spolu s malými kapkami vzniklými při rozbití původní kapky vody.

Při dopadu vodních kapek na povrch půdy dochází k přenosu kinetické energie, což vede k rozpadu půdních agregátů. S působením energie vodních kapek dochází k utužení povrchu půdy (Morgan, 2005) a transportovaná zemina může ucpávat póry až do hloubky 2 - 3 mm pod povrch. Na povrchu půdy tak vzniká stále silnější vrstva jemných půdních částic, která se později formuje v půdní škraloup, jehož hustota může být až $1,91 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ (Roth, 1997). Bylo experimentálně zjištěno, že vrstva tvořená jílovitými částicemi je 0,1 mm silná a pod ní se nachází vrstva silná 1 – 3 mm, ve které jsou póry zaplněné splaveným jemnějším materiálem (Tackett a Pearson, 1965).

Blanco a Lal (2008) proces kapkové eroze popisují tak, že dešťové kapky při nárazu na povrch půdy působí dynamicky na půdní částice před tím, než se energie uvolní ve formě odrazu. Kapky dopadají na půdu a tvoří krátery a výdutě různých tvarů a velikostí. Na hodnoty kapkové eroze má vliv intenzita deště (Angulo-Martínez *et al.*, 2012; Ziadat a Taimeh, 2013) a půdní

charakteristiky. Ekwue a Seeparsad (2015) uvádí, že naměřené hodnoty kapkové eroze klesají se stoupajícím utužením půdy. Stejný efekt popisují v případě zvýšení obsahu rašeliny v půdě. Nejnižší hodnoty kapkové eroze ovšem naměřili na půdě s nízkým obsahem rašeliny, nízkým utužením, ale s vysokým obsahem písku.

2.3.2.2. Rýžková eroze

Rýžková eroze stojí spolu s kapkovou erozí na počátku erozního procesu a společně způsobují až 70 % celkových ztrát. Na počátku erozního procesu jsou povrchovým odtokem vytvořeny drobné rýhy. Část povrchového odtoku, která **není** soustředěna do rýh, je nazývána „interrill erosion“ či „sheet erosion“. Srážková voda s sebou unáší půdní částice v tenké vrstvě, ale s plošným působením (Blanco a Lal, 2008).

Interrill eroze, na rozdíl od rill eroze, vzniká jako důsledek eroze kapkové, zatímco příčinou rill eroze je povrchový odtok (Bryan, 2000).

2.3.2.3. Rýhová eroze

Při rýhové erozi dochází ke splavování zeminy malými brázdami či rýžkami. Rýhová eroze je důsledkem povrchového odtoku koncentrovaného do rýžek (Blanco a Lal, 2008). Janeček *et al.* (2002) to vysvětlují tím, že plošný povrchový odtok má z větší části transportní účinek. Ten představuje limitní faktor, neboť kvůli malé hloubce se jeho kapacita rychle vyčerpá a začne se soustřeďovat do rýžek a rýh, jejichž velikost se postupně zvětšuje. Zároveň dochází ke zvýšení rychlosti a kinetické energie odtoku, což zvyšuje erozní a transportní účinek.

Blanco a Lal (2008) uvádějí, že účinek rýhové eroze je rychlejší, než u rýžkové. Při intenzivních srážkách může dojít k velkým ztrátám půdy. Zpracováním půdy se erozní rýžky snadno odstraní. Rýhová eroze je druhý nejběžnější typ eroze.

2.3.2.4. Plošná eroze

Chmelová a Šarapatka (2002) tento proces definují jako „proces, při kterém dochází působením dopadajících kapek a povrchového odtoku k odnosu tenké stejnorodé vrstvy půdy“. Jedná se o velmi efektivní proces, kdy na rozsáhlých plochách může nepozorovaně docházet k erozi. Viditelným projevem je ukládání erodované zeminy u paty svahu. Pokud nejsou učiněna protierozní opatření, může dojít k odplavení živin a organické hmoty a následně ke ztrátě půdní úrodnosti.

2.3.2.5. Výmolová eroze

Výmolová eroze tvoří koryta ve tvaru písmene U či V s minimální hloubkou 0,3 m a šířkou 0,3 m. Tato koryta jsou primárně tvořena povrchovým odtokem soustředujícím se do níže položených částí pozemku. Zvlněné pozemky zapříčiňují, že se povrchový odtok při pohybu po pozemku soustřeďuje do přirozených sníženin. Pokud nedojde k protierozním opatřením a situace se opakuje, dochází k odstranění celých půdních profilů a ke vzniku strží. Se vzrůstající velikostí koryt narůstá i množství, které jsou schopny transportovat (Blanco a Lal, 2008).

Pro strže vytvořené výmolovou erozí jsou charakteristické příkré břehy a náhlé výškové přechody a změny směru, neboť jsou tvořeny pouze jako přechodné kanály pro odtok. Trvalá řečiště naproti tomu mají relativně hladké klenuté dno pro celé své délce (Morgan, 2005).

Blanco a Lal (2008) rozlišují dva typy koryt – trvalá a přechodná. Přechodná koryta jsou relativně mělká a mohou být odstraněna běžně prováděným způsobem zpracování půdy. Trvalá koryta jsou příliš velká, než aby mohla být odstraněna při zpracování půdy. Obvykle ani nemohou být, kvůli své velikosti, zemědělskou technikou překonána. Jejich napravení většinou vyžaduje speciální, velmi drahá opatření a trvalou kontrolu. I přechodná koryta, pokud jsou odstraněna, vyžadují zvýšenou kontrolu, neboť je zde stále riziko vzniku nových. Při snahách o zarovnání strží dochází k úbytku ornice, neboť odplavená půda je již mimo pozemek.

2.3.2.6. Tunelová eroze

Tunelová eroze je forma erozního procesu, která je typická pro aridní a semiaridní oblasti. Objevuje se především na půdách, kde je stabilní horizont A, ale horizont B je nestabilní. Tunelová eroze je důsledkem odtoku vody po srážkové události, kdy se voda kanálky, trhlinami v půdě a zvířecími norami dostává pod povrch půdy. Zde dochází k odnosu půdních částic. Povrch půdy, pod kterým dochází k tunelové erozi, bývá obvykle zpevněn kořeny. Pokud je půda pod povrchem země erodována, dochází k propadům (Blanco a Lal, 2008).

2.3.3. Metody měření kapkové eroze

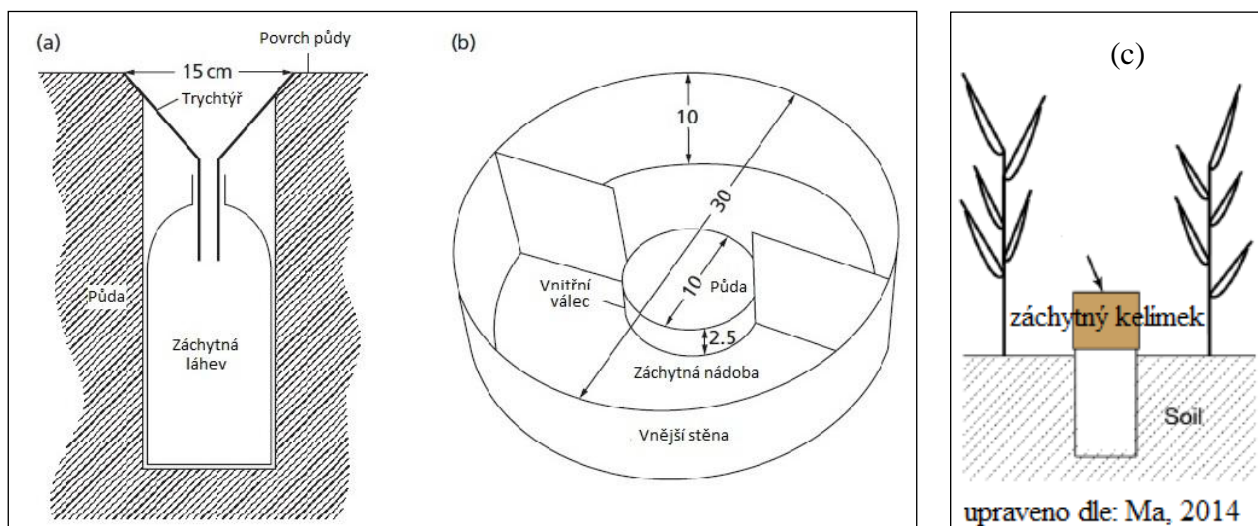
Při měření eroze je nezbytně nutné zvolit správnou metodiku měření. Stroodnijder (2005) doporučuje několik metod měření, přičemž pro kapkovou erozi je vhodné měřit změny hmotnosti zeminy na pokusných parcelách. Pro měření kapkové eroze je vhodné bodové měření bez narušení 1 m² od tohoto bodu. Z časového hlediska doporučuje kontrolu pokusu po každé ukončené srážkové události, či roční sledování pro účely protierozních opatření.

Při měření kapkové eroze v přírodních podmínkách jsou nevýhodou erozní činitelé, neboť jejich působení není předem odhadnutelné, a to jak z hlediska místa, i času. Tato nevýhoda je

odstranitelná použitím umělých zadržovačů. Dají se použít v laboratorních i polních podmínkách (Ma, 2014). Podstatné na simulátoru deště je, že jsme schopni regulovat a dodržet intenzitu srážky, velikost kapek a energii kapek při dopadu na zemský povrch. Časová a prostorová variabilita přirozené srážky je při měření nežádoucí (Lal, 1994). Existují různé typy simulátorů, např. Ziadat a Taimeh (2013) měřili kapkovou erozi za použití simulátoru deště s rotačním diskem, Marzen *et al.* (2015) za použití simulátoru s ventilátorem, aby zohlednili vliv větru, Liu *et al.* (2015b) použili simulátor, který měl trysku umístěnou ve výšce 6 m nad povrchem a Ekwue a Seepersad (2015) při použití simulátoru určili průměrnou velikost dopadajících kapek 2,03 mm.

Morgan (1981) popisuje několik konkrétních metod. Metoda zvaná „splash boards“ využívá principu záchytné desky, na kterou ulpívá rozstříknutá zemina a kterou popsal Ellison v roce 1944 či Kwaad v roce 1977; metoda záchytných nálevků umístěných v zemi dle Bolline (1975) a různé metody založené na sledování identifikovatelných částic – magnetických (Ventura *et al.*, 2001), obarvených částic půdy (Turkelboom *et al.*, 1997) či vzácných prvků (Zhang *et al.*, 2003).

Při erozním procesu bohužel působí více druhů eroze zároveň, je tak velmi komplikované zachytit pouze půdní částice, které jsou v pohybu díky erozi kapkové. Použití metody záchytných kelímků („splash cups“) toto umožňuje a jsou použitelné jak v laboratorních podmínkách, tak i v exteriéru (Morgan, 1981). V kukuřici seté Ma *et al.* (2015) použili na jeden metr řádku o šířce 0,6 m 60 záchytných kelímků a v sóji luštinaté 28 záchytných kelímků na 0,7 m řádku o šířce 0,4 m. Záchytné kelímky mají hranu 50 mm nad povrchem země (Ma *et al.*, 2014). Záchytné trychtýře jsou v půdě umístěny tak, že mají hranu 1 – 2 mm nad povrchem půdy. Toto opatření eliminuje vliv povrchového odtoku. Rozstříknutý materiál je zachycen nálevkou a může být následně zvážen (Morgan, 2005).



Obrázek č. 1: Metody měření kapkové eroze a) záchytná nálevka dle Bollinne (1975); b) „field cup“ dle Morgan (1981) s rozměry v cm, upraveno dle Morgan (2005); c) záchytný kelímek („splash cup“), upraveno dle Ma (2014)

2.3.4. Faktory ovlivňující kapkovou erozi

Hlavní faktory, které ovlivňují vodní erozi, jsou srážky, vegetační pokryv půdy, topografie místa a půdní charakteristiky. Interaktivní účinky těchto faktorů určují velikost a rychlost eroze. Např. čím delší a strmější svah s více erodovatelnou půdou, tím větší je přepravní kapacita odtoku po intenzivním dešti. Ochranný faktor vegetace proti erozi je dobře znám. Vegetační pokryv půdy zvyšuje ochranu proti erozi stabilizováním půdní struktury, zvýšením půdní organické hmoty a zvýšením aktivity půdních mikro- a makroorganismů. Efektivita vegetačního pokryvu však závisí na jeho druhu, hustotě, stáří a rozvrstvení listů a kořenů (Blanco a Lal, 2008).

2.3.4.1. Erozní účinnost srážek

Erozivita srážky vychází z kinetické energie srážky (Morgan, 2005) a je ovlivněna množstvím a intenzitou srážky, rychlostí dopadu kapek a jejich velikostí a rozložením v prostoru a čase (Blanco a Lal, 2008).

Kinetická energie dešťové kapky je funkcí velikosti dopadající kapky a její rychlosti při dopadu. Lze ji vyjádřit rovnicí dle Van Dijk *et al.* (2002):

$$E_{K,D} = \frac{1}{2} m_D v_D^2$$

$E_{K,D}$ = kinetická energie dešťové kapky o velikosti D

m_D = hmotnost dopadající kapky v kg

v_D = rychlost kapky při dopadu ($m \cdot s^{-1}$)

Běžná velikost dešťových kapek je obvykle 2 – 5 mm, ale může se pohybovat od 0,25 – 8 mm. Při vyšších intenzitách srážky jsou obvyklé větší průměry kapek. Rychlost padající kapky se stále zvyšuje do chvíle vyrovnání gravitační síly přitahující kapku a působení odporu vzduchu. Zde se rychlost ustálí a odpovídá rychlosti dopadu na půdu, což může být až $35 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$. Půdní částice mohou v takovém případě být rozstříknuty až 1 m vertikálně a 2 m horizontálně. Jelikož je dopadová rychlost závislá na gravitační síle, větší kapky dosahují větších rychlostí, a mají tak i větší erozní účinnost (Blanco a Lal, 2008).

Množství srážky je funkcí délky a intenzity srážky. Intenzita je definována jako množství srážky v milimetrech za určitý časový úsek. V některých erozních modelech je k výpočtu kinetické energie srážky použita intenzita (Salles *et al.*, 2002). Obecně je platné, že se stoupající intenzitou srážky stoupá i hodnota kapkové eroze (Blanco a Lal, 2008). Morgan (2005) však upozorňuje na to, že eroze je vázána na dva typy srážek. Při krátkodobém intenzivním dešti dojde k překročení infiltrační kapacity a v důsledku toho nastává povrchový odtok a eroze. Při déletrvající srážkové události dochází k postupné saturaci půdy vodou.

2.3.4.2. Struktura půdy

Struktura půdy je jedním z hlavních faktorů ovlivňujících náchylnost půdy k erozi. Půdní agregáty jsou shluky částic, které jsou k sobě vázány silněji než s ostatními půdními částicemi (Kemper a Rosenau, 1986). Při srážkové události dochází k rozbití půdních agregátů, což vede k ucpání půdních pórů a tedy ke snížení infiltrace. Hromaděním vody na povrchu půdy vzniká povrchový odtok a vzniká erozní proces (Le Bissonnais *et al.*, 1995). Odolnost půdy proti působení srážky závisí na schopnosti agregátů na povrchu půdy odolat jejich působení. Pokud je energie dopadajících kapek vyšší než kohezní energie spojující agregáty, rozpadají se (Blanco a Lal, 2008).

Půdní agregáty se tvoří díky obsahu půdního organického uhlíku, půdní bioty a díky vazbám mezi ionty, jílovými minerály a uhličitany. Organická hmota funguje jako pojivý element a tvoří jádra, na která se částice vážou. Půdní organismy a jejich produkty mají přímý vliv na obsah organické hmoty v půdě. Krystalické a amorfny oxidy a hydroxidy mají také významný vliv na tvorbu agregátů, neboť tvoří spojení mezi minerálními a organominerálními částicemi. Obdobně i jílové částice udržují vazby mezi agregáty a mají vliv i na transformaci organické

hmoty v půdě. Jílové minerály však působí i opačně. Působí rozklad půdních agregátů, neboť při bobtnání se zvětšuje jejich objem a dochází k oddělení agregovaných částic (Bronick a Lal, 2005).

Jako hlavní příčinu rozpadu půdních agregátů uvádějí Plante a McGill (2002) zpracování půdy, jelikož při něm dochází k utužení půdy a narušení rostlinných i živočišných společenstev, která se na tmelení půdních částic podílejí. U bezorebných systémů, kdy nedochází k narušování půdy a snižování obsahu organické hmoty, se stabilita agregátů zvyšuje (Castro Filho *et al.*, 2002).

2.3.4.3. Vliv mulče na kapkovou erozi

Původ mulče může být ze dvou základních zdrojů:

- a) mulč z posklizňových zbytků předplodiny a
- b) mulč z nadzemní biomasy meziplodin (Šimon, 2001).

Pokryv půdy mulčem hraje významnou roli v protierozní ochraně. V obou případech se jedná o vytvoření tzv. stínového garé, které příznivě ovlivňuje půdní vlastnosti. Mulč chrání půdu před destrukcí půdních agregátů vlivem deště (Hůla *et al.*, 2008).

Zvyšováním obsahu organické hmoty v půdě se zvyšuje stabilita půdních agregátů, což snižuje náchylnost k erozi. Díky rostlinnému pokryvu dochází ke snížení utužení půdy, výparu půdní vody a k nižší tvorbě půdního škraloupu a k udržení makropórů (Blanco a Lal, 2008). Z hlediska stavu organické hmoty na povrchu půdy se může jednat o tzv. živý mulč, který představuje biomasa rostoucích plodin, včetně jejich kořenového systému (Brandesæter *et al.*, 1999; Scott *et al.*, 1987), nebo odumřelými rostlinnými zbytky, které se nacházejí v rozdílném stupni rozkladu, míry zpracování do povrchové vrstvy půdy apod. (Brant *et al.*, 2016).

2.3.4.3.1. Mrtvý mulč

Při využití slámy je zapotřebí zohlednit druh plodiny, neboť kvalita a rychlost rozkladu posklizňových zbytků závisí na poměru uhlíku a dusíku, který obsahují. Optimální rozklad probíhá v případě, kdy je poměr C : N = 20 – 30 : 1. Čím hmota posklizňových zbytků obsahuje méně dusíku, tím pomaleji probíhá rozklad. U luskovin, kde je poměr C : N = 15 – 20 : 1, probíhá rozklad dobře (Hůla *et al.*, 2008). Rostlinné zbytky leguminóz zvyšují mineralizaci dusíku v půdě (Kumar a Goh, 2002). Nejméně kvalitní, a tak nejpomaleji se rozkládající, je sláma obilnin, kde je C : N = 50 – 80 : 1 (Hůla *et al.*, 2008). Ovšem z půdoochranného hlediska

je sláma obilnin nejefektivnější, neboť dochází k jejímu relativně homogennímu rozložení při sklizni. Biomasa obilné slámy je mikroorganismy obtížněji degradovatelná, setrvává tedy déle na povrchu půdy (Brant et al., 2013).

2.3.4.3.2. Živý mulč

V eliminaci kapkové eroze hraje vegetační pokryv půdy významnou roli. Rostliny pohlcují kinetickou energii srážky. Hlavní význam porostu je v zachycení objemu vody dopadající ve srážce (Morgan, 1985). Morgan *et al.* (1998) upozorňují právě na odkap vody z listů. Odkapávající srážková voda z listů tvoří na povrchu půdy drobné kráterky, které mohou mít v průměru až 20 mm v závislosti na rostlinném druhu a výšce rostliny.

Janeček *et al.*, (2012) uvádějí, že vegetace může mít na půdní vlastnosti i nepřímý vliv, obzvláště na pórovitost, propustnost, omezuje zanášení pórů jemnými částicemi a také mechanicky zpevňuje půdu kořeny.

2.3.5. Erozní procesy probíhající v porostech polních plodin a jejich eliminace

2.3.5.1. Vliv porostu na kapkovou erozi

Vzhledem k velké výměře orné půdy každoročně osévané kukuřicí setou je využití účinných agrotechnických protierozních opatření při pěstování této plodiny zvláště aktuální (Janeček *et al.*, 2012). Širokořádké plodiny, kam patří i kukuřice setá, patří k plodinám s nejmenší schopností ochrany půdy a největší náchylností k erozi. Kvůli velké vzdálenosti mezi řádky, obzvláště v raných fázích vývoje, je velké procento povrchu půdy nechráněno (Morgan, 2005).

Ma *et al.* (2014) hodnotili vliv porostů na hodnoty kapkové eroze a zjistili, že množství rozstříknuté zeminy je na holé půdě o 67,81 % vyšší. Inhibující vliv plodin na kapkovou erozi stoupá se stářím porostu, až do fáze zrání a senescence listů (Paltineanu a Starr, 2000), a schopnost plodin eliminovat kapkovou erozi je v pořadí ozimá pšenice > kukuřice setá > sója luštinatá > proso seté. Ma *et al.* (2015) doplňují, že porosty efektivně redukuje kapkovou erozi. Naměřené hodnoty v porostu kukuřice seté byly $380,43 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{h}^{-1}$, což je o 62,33 % méně než na půdě bez vegetačního pokryvu. U porostů sóji naměřili $486,56 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{h}^{-1}$, což byla redukce kapkové eroze o 61,79 % oproti úhoru. Dále uvádějí, že množství zachycené zeminy klesá se zvyšujícím se indexem listové plochy. Místa s nejvyšší kapkovou erozí jsou v polních podmínkách uprostřed meziřádků, což souvisí s přímým propadem srážky. Brant et al. (2017) dokládají zvýšení hodnot kapkové eroze na konci vegetace v důsledku změny habitu rostlin vlivem jejich stárnutí.

Kapkovou erozi v různých typech porostů hodnotili Parlak a Özaslan Parlak (2010). Z jejich výsledků (tabulka 1) vyplývá, že při prvním měření nebyly průkazné rozdíly v hodnotách kapkové eroze mezi porosty prokázány. V tomto období rostliny začaly intenzivně růst a jejich pokryvnost povrchu půdy byla podobná, tomu odpovídá i naměřené množství rozstříknuté zeminy. Při druhém a třetím měření stále probíhal růst rostlin a zvětšovala se i jejich pokryvnost. V tomto období hodnoty kapkové eroze poklesly. Ve třetím období se kapková eroze rapidně zvýšila i přes vysokou pokryvnost povrchu půdy vegetací. Vysvětlují to vysokým úhrnem srážek v tomto období.

Tab. 1: Množství kapkové eroze v závislosti na pokryvnosti povrchu porostem (upraveno dle Parlak a Özaslan Parlak, 2010).

	1. Měření		2. měření		3. měření	
	pokryvnost porostu (%)	kapková eroze ($\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$)	pokryvnost porostu (%)	kapková eroze ($\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$)	pokryvnost porostu (%)	kapková eroze ($\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$)
Kontrola	-	1 757,7	-	1 155,2	-	3 173,7
Vikev	25	1 102,0	45	447,3	75	410,5
Ječmen	33	848,1	60	225,0	80	262,4
Rýže	20	1 316,5	40	518,5	70	827,2

2.3.5.2. Vliv mulče na kapkovou erozi

Edwards *et al.* (2000) hodnotili vliv mrtvého mulče (slámy ječmene) v bramborách při různém procentu pokrytí půdy. Hodnoty kapkové eroze v jejich experimentu dosahovaly o 36 % nižších hodnot při 20% pokrytí půdy posklizňovými zbytky ve srovnání s pokryvem 5 %. Choudhary *et al.* (1997) potvrzují, že způsob zpracování půdy významně ovlivňuje kapkovou erozi.

K obdobným závěrům došli také Van Dijk *et al.* (1996), kdy hodnotili kapkovou erozi v porostu kukuřice s různým způsobem založení. Nejvýraznější redukce kapkové eroze (přibližně o 70 %) byla v porostu založeném přímým setím do desikovaného porostu ozimého žita, v porovnání s konvenční přípravou půdy. Na plochách s aplikovanou slámou byla redukce cca 60 % a na pokusné parcele, kde byl porost žita zapraven podmítkou, 50 %. K velmi nízké redukci kapkové eroze (cca 10 %) došlo na ploše s podzimní orbou a setím bez další úpravy půdy. Dále uvádějí, že sláma pokryla povrch půdy ze 44,17 %; umrtvené žito ozimé z 39,94 %; mulč žita zapravený

podmínkou 22,22 % a při přímém setí byl povrch půdy pokryt pouze z 0,56 %. V případě konvenčního zpracování půdy jsou plevele v meziřádku jediným pokryvem půdy a i když je jejich pokryvnost v nejuvýše v jednotkách procent, nelze je zanedbávat.

2.3.5.3. Vliv půdní struktury na kapkovou erozi

S intenzitou kapkové eroze souvisí stabilita půdních agregátů. Le Guillou *et al.* (2012) uvádějí, že na parcelách, kde byl zapraven mulč, byl statisticky průkazně vyšší výskyt stabilních agregátů než na kontrolní parcele. Vyšší stabilita půdních agregátů byla Andersem *et al.* (1993) potvrzena na plochách s půdoochranným zpracováním půdy v porovnání s orebným způsobem. Vasquéz-Mendéz *et al.* (2010) zjistili vysokou závislost ($R^2 = 0,934$) mezi stabilitou půdních agregátů a obsahem organické hmoty v půdě, což je spojeno s rostlinným pokryvem půdy.

Angulo-Martínez *et al.* (2012) hodnotili kapkovou erozi při přirozeně vznikajících srážkách na třech půdních typech ve Španělsku. Zjistili, že na kapkovou erozi neměl půdní typ průkazný vliv.

2.3.5.4. Vliv srážky na kapkovou erozi

Bylo prokázáno, že vyšší intenzitou deště vzrůstá množství vody, které je po dopadu na zem rozstříknuto na menší kapky. Je-li půda pokrytá mulčem, dopad kapek je tlumen a klesá míra nežádoucího rozstříku vody (Yang a Madden, 1993). Dle Choudhary *et al.* (1997) nedochází k rozdílům mezi hodnotami kapkové eroze v závislosti na délce srážky. Parlak a Özaslan Parlak (2010) uvádějí nárůst kapkové eroze s rostoucí energií srážky. Z jejich výsledků (tabulka č. 1) vyplývá, že při prvním měření byl úhrn srážek 42,2 mm, při druhém 22,9 mm a při třetím 182,6 mm. Na půdě bez pokryvu bylo kolísání v množství kapkové eroze stejné s kolísáním úhrnu srážek – 1 757,7 g·m⁻² při prvním měření, 1 155,2 g·m⁻² při druhém a nejvíce mobilních půdních částic bylo při nejvyšším úhrnu srážek (3 173,7 g·m⁻²).

Vegetační pokryv půdy je schopen přerozdělením srážky a změnou její energie tlumit kinetickou energii nadporostní srážky dosahující povrchu půdy skrz porost. Při intenzitě srážky 80 mm·h⁻¹ Ma *et al.* (2014) uvádějí o 13 % vyšší kapkovou erozi než při intenzitě 40 mm·h⁻¹.

2.3.5.5. Vliv sklonu pozemku na kapkovou erozi

Liu *et al.* (2015b) uvádějí jako další důležitý faktor, mimo intenzitu srážek, také sklon pozemku, na který dopadají. Pomocí simulátoru deště testovali intenzity 85, 95, 110 a 125 mm·h⁻¹ na pokusné pozemky se sklonem 6, 11, 22 a 35 stupňů. Při intenzitě deště 85 mm·h⁻¹ probíhala infiltrace nejlépe na všech sklonech pozemků, ovšem mezi 6 a 35 ° došlo k poklesu o 39,3 %. Intenzita uvolňování půdních částic nejdříve vzrostla na 4,8 – 7,2 g·m⁻¹·h⁻¹, ale se vzrůstajícím sklonem pozemku poklesla na 3 g·m⁻¹·h⁻¹. Nejvyšší naměřená hodnota byla při sklonu pozemku 22 °.

Ziadat a Taimeh (2013) uvádí, že eroze půdy na obdělávané půdě je primárně ovlivněna vlhkostí půdy při srážkové události, kdy se eroze objevuje na vlhké půdě i při relativně malé srážce. Ovšem na nezpracované půdě je eroze ovlivněna sklonem pozemku. Intenzita deště, sklon pozemku a vlhkost půdy před srážkou vysvětluje 84 – 89 a 59 – 66 % kolísání množství odtoku a ztráty půdy.

Vliv sklonu pozemku na kapkovou erozi zkoumali i Parlak a Özaslan Parlak (2010). Z jejich výsledků vyplývá, že na pozemku o sklonu 4 % byla kapková eroze při 1. měření 979,50 g·m⁻², při druhém 388,48 g·m⁻² a při třetím 611,10 g·m⁻². Na pozemku o sklonu 9 % bylo naměřeno 1 532,7; 784,55 a 1 725,70 g·m⁻². Jako statisticky průkazné byly rozdíly vyhodnoceny ve 2. a 3. měření.

3. Vědecké hypotézy a cíle práce

Hypotézy

H1 - Distribuce srážek v porostu a jejich vliv na fyzikální vlastnosti půdy závisí na pokryvu půdního povrchu, struktuře porostu, růstové fázi plodiny a v průběhu vegetace se mění.

H2 – Volbou plodiny, technologie zpracování půdy a setí lze dosáhnout struktury porostu a pokryvnosti půdy posklizňovými zbytky, které významně omezí úroveň kapkové eroze a neproduktivního výparu.

Cíle práce

Na základě stanovených hypotéz budou sledovány následující cíle:

- Stanovit vliv rozdílných polních plodin na distribuci dopadajících srážek v porostu a kvantifikovat jednotlivé složky srážek po redistribuci.
- Specifikovat porosty a procházející srážky z pohledu rizika vzniku kapkové eroze, zadržetí vláhy v půdě a neproduktivního výparu.
- Kvantifikovat vliv půdních vlastností včetně těch, které jsou ovlivněny rostlinným pokryvem, na hodnoty kapkové eroze, infiltrace srážek a neproduktivního výparu.

4. Publikované práce

Metodická a výsledková část je popsána v publikovaných vědeckých a odborných článcích.

Seznam publikací tvořících metodickou a výsledkovou část práce:

Publikace v časopisech s IF:

Škeříková, M., Brant, V., Kroulík, M., Pivec, J., Zábranský, P., Hofbauer M., Hakl, J. 2018. Water demands and biomass production of sorghum and maize plants in areas with insufficient precipitation in Central Europe. *Plant, Soil and Environment*. 64 (8). 367 – 378.

Brant, V., Zábranský, P., **Škeříková, M.**, Pivec, J., Kroulík, M., Procházka, L. 2017. Effect of row width on splash erosion and throughfall in silage maize crops. *Soil and Water Research*. 12 (1). 39 – 50.

Zábranský, P., Pivec, J., Brant, V., Kroulík, M., **Škeříková, M.** 2015. The values of crop coefficients and bowen ratio of field crops in areas with insufficient precipitation in central Europe. *Irrigation and Drainage*. 64 (2). 493 – 498.

Brant, V., Pivec, J., Hamouzová, K., Zábranský, P., Satrapová, J., **Škeříková, M.** 2014. Determination of the influence of herbicides on dicotyledons plant transpiration using the sap flow method. *Plant Soil and Environment*. 60 (12). 562 – 568.

Odborná monografie:

Brant, V., **Škeříková, M.**, Pivec, J. 2016. Eliminace erozních procesů. s. 39 – 42. In: Brant, V. (ed.). *Pásové zpracování půdy (Strip tillage)*. Profi Press, Praha. 135 s.

Publikace ve vědeckých časopisech bez IF:

Škeříková, M., Brant, V., Pivec, J., Zábranský, P., Kroulík, M. 2017. Distribuce srážek v porostech slunečnice roční. *Úroda* 65 (5). 47 – 50.

Water demands and biomass production of sorghum and maize plants in areas with insufficient precipitation in Central Europe

MICHAELA ŠKEŘÍKOVÁ^{1,*}, VÁCLAV BRANT¹, MILAN KROULÍK², JAN PIVEC¹,
PETR ZÁBRANSKÝ¹, JOSEF HAKL¹, MICHAEL HOFBAUER¹

¹Faculty of Agrobiolgy, Food, and Natural Resources, Czech University of Life Sciences Prague, Prague, Czech Republic

²Faculty of Engineering, Czech University of Life Sciences Prague, Prague, Czech Republic

*Corresponding author: skerikovam@af.czu.cz

ABSTRACT

Škeřiková M., Brant V., Kroulík M., Pivec J., Zábranský P., Hakl J., Hofbauer M. (2018): Water demands and biomass production of sorghum and maize plants in areas with insufficient precipitation in Central Europe. *Plant Soil Environ.*, 64.

Evapotranspiration and transpiration measurements represent a tool for the assessment of crop water demand. The aim of this study was to compare sorghum and maize with respect to its potential for forage production in areas with insufficient precipitation in Central Europe. The values of the actual evapotranspiration (ET_a , Bowen ratio balance method), transpiration (sap flow method), leaf area index (LAI) and biomass production of sorghum and maize were measured continuously in years 2010–2012. Sorghum stand provided higher ET_a in comparison with maize in dry year 2012. Maize produced consistently more above-ground biomass yield and lower LAI over all evaluated years than sorghum. The sorghum provided similar or higher water use efficiency (WUE) than maize during the period of intensive prolongation growth, however, the higher WUE did not result in higher biomass production.

Keywords: *Sorghum bicolor* L. Moench; *Zea mays* L.; water stress; arid area; rainfall

Sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench) might be an alternative for maize (*Zea mays* L.) in the arid areas. Water stress strongly reduced the yield of maize (Ort and Long 2014, Lobell et al. 2014) whereas higher resistance of sorghum to water stress has been documented by Rosenow et al. (1983) and Schittenhelm and Schroetter (2014). Sorghum produces comparable biomass to maize when water is the limiting factor (Rooney et al. 2007, Zegada-Lizarazu et al. 2012).

In Central Europe, the sowing date of sorghum is postponed from the maize by 14 to 25 days because of higher requirement on soil temperature (Brant et al. 2011). This delay leads to shorter vegetation and it can affect the overall water consumption of sorghum in contrast to maize. Later sorghum sowing date is associated with a delay in crop ma-

turing, which can be a reason for higher sorghum water consumption before harvest. Moroke et al. (2005) described that the sorghum delay in maturing, compared to sunflower, contributed to higher sorghum water uptake at the end of its vegetation.

Tolk and Howell (2003) reported lower water consumption of sorghum in mild climatic conditions in comparison with arid areas. In humid years, evapotranspiration of sorghum canopy was higher than in maize, however, an opposite effect was observed in normal and dry years (Pan et al. 2011). Howell et al. (1994) published higher values of seasonal evapotranspiration of irrigated maize in contrast to sorghum canopies.

Bowen ratio balance method (BREB) represents one of the methods for the assessment of actual evapotranspiration. The use of the sap flow method

<https://doi.org/10.17221/274/2018-PSE>

for measuring of water flow was reported for maize (Cohen et al. 1990, Gavloski et al. 1992, Bethenod et al. 2000) and for sorghum (Zhang and Kirkham 1995). A positive correlation between evapotranspiration values of maize determined by BREB and sap flow was documented (Bethenod et al. 2000). This study also showed that the difference between sap flow and evapotranspiration might be less than 10% on dry soils, probably due to low evaporation. Evaporation depends on crop leaf area index (LAI). A negative correlation between actual evaporation and LAI of sorghum was reported by Kato and Kamichika (2006).

Values of the actual evapotranspiration and the amount of plant biomass are the input variables for water use efficiency (WUE) determination. In the previous studies, WUE values for sorghum ranged from 1.0–7.4 g/L in field conditions (Garofalo and Rinaldi 2013, Hao et al. 2014, Yimam et al. 2015). It can be summarized that growing of sorghum can provide lower water consumption and more favourable WUE in comparison with maize where values ranging from 1.12–1.66 g/L were reported by Sun et al. (2010). However, these benefits must be verified in the particular environment.

The aim of this paper was to compare the water consumption of sorghum and maize in association with above-ground biomass production in areas with low annual precipitation.

MATERIAL AND METHODS

Field experiments were conducted in years 2010–2012 in Central Bohemia in Budihostice (50°18'23.499"N, 14°15'28.893"E, 210 m a.s.l.) where soil type is Haplic Chernozem. The ratio between the total amount of precipitation and potential evapotranspiration is 0.7–0.8 in this locality (Pivec et al. 2006). Measurements of actual evapotranspiration, transpiration, above-ground biomass production, leaf area index and water utilization rates for maize and sorghum crops were carried out in field conditions. The size of the experimental plots was 1.5 ha (square 122.5 × 122.5 m, the measuring equipment was placed in the middle of the plot). Cereals were a previous crop. After the autumn ploughing, 46 kg N per hectare was applied under seedbed layer before seeding. The following seeding dates of the maize were used: April 21 in 2010 (represents 111 day

of the year – DOY) with cv. Kuxxar (Syngenta International AG), April 7 in 2011 (97 DOY, cv. PR38N86 – Pioneer Hi-Bred Northern Europe Sales Division GmbH) and April 21 in 2012 (112 DOY, cv. PR38N86). The sorghum seeding dates correspond with May 17 (137 DOY), May 9 (129 DOY) and May 11 (132 DOY). The cv. Sucrosorgo 506 (Syngenta International AG) was sown in all years. Row spacing was 0.75 m for both crops. The numbers of plants per unit area 30 days after sowing were determined (Table 1).

Canopy parameters. Dry above-ground biomass production and LAI values were measured regularly. Using the number of plants per unit area (Table 1), the measured biomass production (B_m , t/ha) and measured leaf area index (LAI_m) values per unit area were determined. The values B_m were used to calculate the daily values of dry above-ground biomass production (B_{calc} , t/ha). The average plant weight was always determined from 20 plants at dry biomass basis. The biomass was dried at 105°C to the constant weight. Leaf area per plant determination was based on infrared image analysis (Brant et al. 2017). Computational algorithms for B_{calc} and LAI_{calc} calculation follow Brant et al. (2017), where parameters of equations are documented in Tables 2 and 3.

Evapotranspiration measurement. The Bowen's ratio energy balance was used to determine the actual evapotranspiration values. Calculation of Bowen's ratio is based on the assumption that equal values of the apparent and latent heat coefficients are the same, and then it is possible to determine the ratio of apparent and latent heat by measuring the temperature and humidity gradients above the transpiring surface (Woodward and Sheehy 1983). In this experiment, the radiation balance was measured by the Schenk balance meter (Wien, Austria).

Table 1. Average plant density of maize and sorghum in 2010–2012

Species	Number of plants per ha		
	2010	2011	2012
<i>Zea mays</i>	95 586 ^a	86 897 ^a	89 333 ^a
<i>Sorghum bicolor</i>	160 000 ^c	128 276 ^b	108 667 ^a

Number of plants was determined 30 days after sowing. Different letters document significant differences between years within each row (Tukey's *HSD* (honestly significant difference), $\alpha = 0.05$)

Table 2. Equation parameters for calculation of maize and sorghum biomass production (B_{calc} , t/ha) according to $B_{\text{calc}} = \text{par1}/(1 + \exp(-(\text{DOY} - \text{par2}) \times \text{par3})) - \text{par4}$

	Plant	Par1	Par2	Par3	Par4	Correlation index	Number of variable
2010	<i>Zea mays</i>	21.69	200.93	0.07	0.27	0.998	15
	<i>Sorghum bicolor</i>	22.55	211.87	0.08	0.43	0.998	12
2011	<i>Z. mays</i>	25.71	202.96	0.06	0.49	0.994	19
	<i>S. bicolor</i>	16.34	204.08	0.09	0.17	0.997	16
2012	<i>Z. mays</i>	24.31	205.97	0.06	0.49	0.996	18
	<i>S. bicolor</i>	25.23	220.33	0.06	0.62	0.998	15

DOY – day of the year

The radiation balance values were adjusted by the energy amount flowing from the active plant cover (Allen et al. 1998) into the soil. The heat flow to the soil was measured by the Huxeflux sensor (Delft, the Netherlands). The values of the actual evapotranspiration (ET_{am}) (mm/h in 10 min measured interval) were obtained within the measurement. Missing values of the ET_{am} values were supplemented with potential evapotranspiration values (ET_0 , mm/h, mean calculated over 10 min interval), according to the methodology by Záborský et al. (2015). ET_0 values were calculated according to Allen et al. (1998).

The BREB systems (EMS, Brno, Czech Republic), which was placed in the centre of the experimental area, were used. The Decagon 10HS (Decagon Devices, Inc., Pullman, USA) sensors were used for volumetric water content (VWC, %) determination at a depth of 30 cm (recording interval 10 min). Evapotranspiration measurement was realized at the DOY interval of 160–257 for maize and 160–253 for sorghum in 2010, 167–249 DOY for maize and sorghum in 2011 and 155–237 DOY for maize and 180–240 DOY for sorghum in 2012.

Transpiration measurement. The so-called sap flow measurement is based on the temperature balance between the heat input and the temperature increase in the defined space (Kučera et al. 1977, Tatarinov et al. 2005). The sap flow values (Q_m , kg/h) were measured with a 12 channel T4.2 sap flow meter (EMS, Brno, Czech Republic) and were recorded at 10 min intervals throughout the measurement period. Missing values of Q_m were replaced by calculated values (Q_{calc} , algorithm 1). Sap flow data were processed by Mini32, ver. 4.2.31.0 software (EMS, Brno, Czech Republic) based on the equation described by Pivec et al. (2011):

$$Q_{\text{calc}} = \text{par1} \frac{R_g}{(R_g + \text{par2})} \frac{\text{VPD}}{(\text{VPD} + \text{par3})} \quad (1)$$

Where: R_g – global solar radiation (W/m^2); VPD – vapour pressure deficit (hPa). The parameters (par) 1–3 were determined for the whole measurement period. Calculation of the vapour pressure saturation follows Tetens (1930). Q_{calc} values were calculated from the measured data (collected at 10 min interval) for the whole measurement period.

Table 3. Equation parameters for calculation of maize and sorghum leaf area index (LAI_{calc}) according to $LAI_{\text{calc}} = \text{par1}/(1 + \exp(-(\text{DOY} - \text{par2}) \times \text{par3})) - \text{par4}$

	Plant	Par1	Par2	Par3	Par4	Correlation index	Number of variable
2010	<i>Zea mays</i>	4.46	172.86	0.15	0.02	0.998	6
	<i>Sorghum bicolor</i>	9.33	194.60	0.13	0.05	1.000	6
2011	<i>Z. mays</i>	4.75	172.96	0.27	-0.24	0.993	7
	<i>S. bicolor</i>	6.34	179.70	0.15	0.05	0.990	7
2012	<i>Z. mays</i>	3.59	168.89	0.20	-0.14	0.966	10
	<i>S. bicolor</i>	7.73	183.64	0.27	-0.06	0.999	8

DOY – day of the year

<https://doi.org/10.17221/274/2018-PSE>

Table 4. Linear estimation of maize and sorghum transpiration (Q , mm/day) based on the actual evapotranspiration (ET_a , mm/day) in evaluated years

Period	Plant	Model
2010	<i>Zea mays</i>	$Q = -1.1644 + 1.0066 \times ET_a$, $r = 0.893$, $n = 50$, confidence level = 99%
	<i>Sorghum bicolor</i>	$Q = -1.6701 + 2.2610 \times ET_a$, $r = 0.939$, $n = 26$, confidence level = 99%
2011	<i>Z. mays</i>	$Q = -1.2287 + 1.6448 \times ET_a$, $r = 0.921$, $n = 53$, confidence level = 99%
	<i>S. bicolor</i>	$Q = -1.8506 + 2.4507 \times ET_a$, $r = 0.896$, $n = 23$, confidence level = 99%
2012	<i>Z. mays</i>	$Q = -1.3388 + 1.6032 \times ET_a$, $r = 0.778$, $n = 25$, confidence level = 99%

r – correlation coefficient; n – number of variable

The Q (kg/h) values were determined after replacing the missing Q_m (kg/h) values by Q_{calc} (kg/h), in line with Brant et al. (2012) (Table 4).

Sap flow values were measured in 204–252 DOY interval in 2010 (maize and sorghum) and in 195–249 DOY (maize) and 224–249 DOY (sorghum) in 2011. In 2012, only data from maize measurement (204–252 DOY) are available because sorghum sap flow sensors were damaged by rodents. Q_m values were always measured on at least 9 plants of the evaluated crop. Transpiration (T_r , mm/day) was determined as average of multiples Q (kg/day) of plant and plant number per unit area (Table 1). The T_r values were visualised as the range of the measured Tr_i values for evaluated stands \pm stand-

ard deviation (SD). The relevance of the T_r values (mm/day) of the individual plants was verified based on the determination of the amount of energy for the perfused amount of water in relation to the daily amount of radiation (R_n , MJ/m²). Specific evaporation heat values (λ , J/g) were determined according to the Hooghart (1971) algorithm.

Water use efficiency determination. WUE values were determined as a proportion of dry above-ground biomass and actual evapotranspiration of the stand. Average daily WUE values were calculated from daily ET_a values (kg/m²) and daily biomass increments gains B_{calc} (g/m²). WUE (g/kg) values were set for days when the daily sum of R_g was ≥ 18 MJ/m². The reason for that was to determine the WUE values

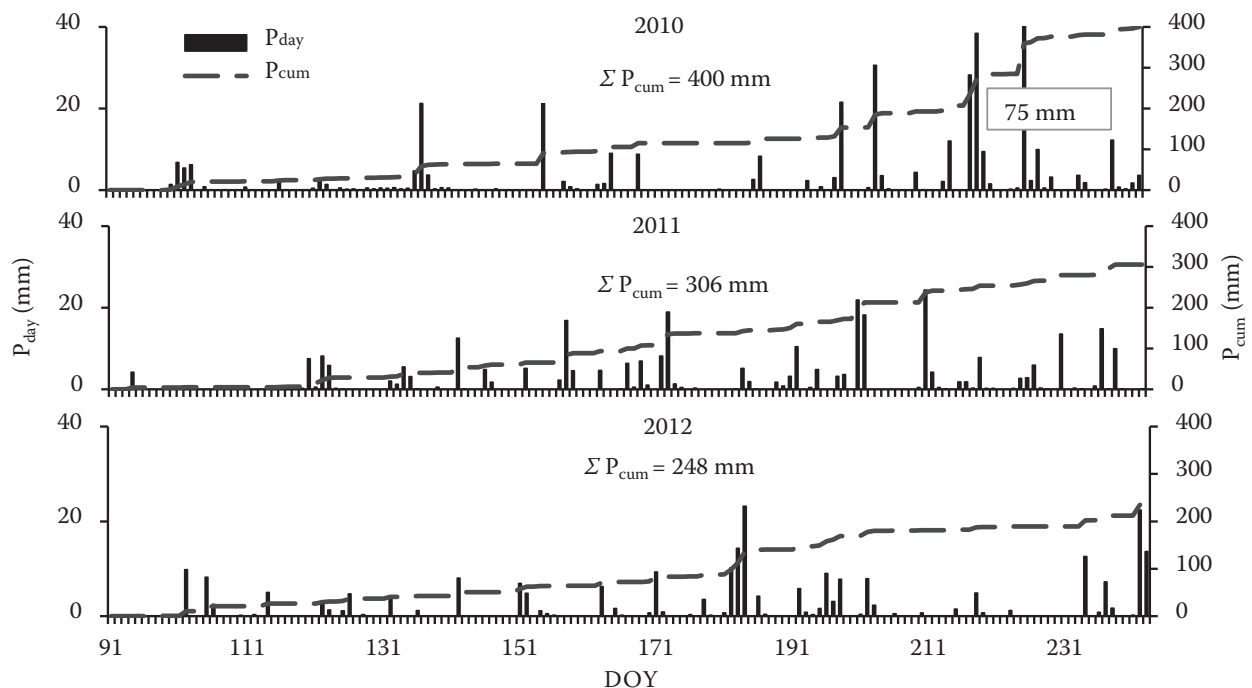


Figure 1. Daily sums of precipitation (P_{day}) and cumulative precipitation over the growing period (P_{cum}) in years 2010–2012. DOY – day of the year

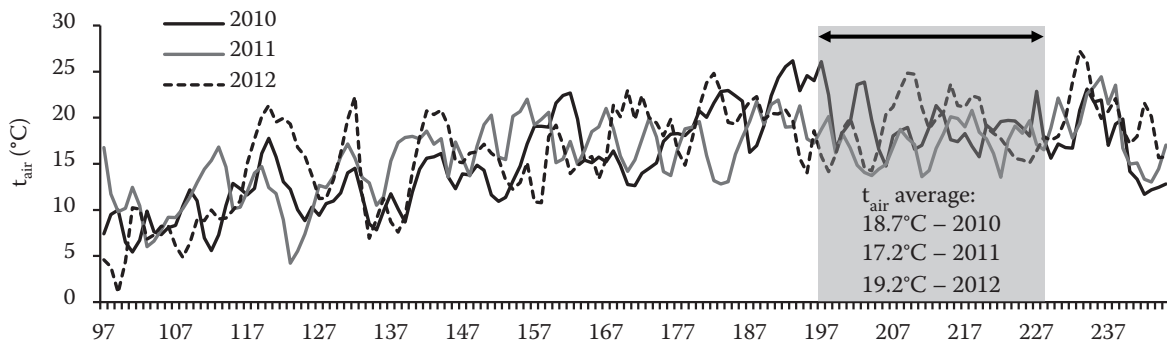


Figure 2. Daily means of temperatures (t_{air}) over the period of intensive biomass accumulation (200–230 DOY) in years 2010–2012. DOY – day of the year

only under suitable evapotranspiration conditions that were determined based on R_g inputs.

Precipitation (P , mm) and air temperature (T_{air} , °C) were taken from the weather station located at the Budihostice experimental field (<http://www.emsbrno.cz/p.axd/cs/Lokalita.CZUFAPPZ.html>). Daily sums of precipitation and means of temperature are shown in Figures 1 and 2. Calculations of ET_{am} (mm/h), ET_0 (mm/h) and ET_a (mm/day) were performed using the software Mini 32, ver. 402.75 (EMS, Brno,

Czech republic) and regression analysis and ANOVA (Tukey’s *HSD* (honestly significant difference) test, $\alpha = 0.05$) were performed using the programme Statgraphics® Plus, ver. 4.0 (The Plains, USA).

RESULTS AND DISCUSSION

Canopy parameters. Figure 3 documents the daily dynamics of dry above-ground biomass produc-

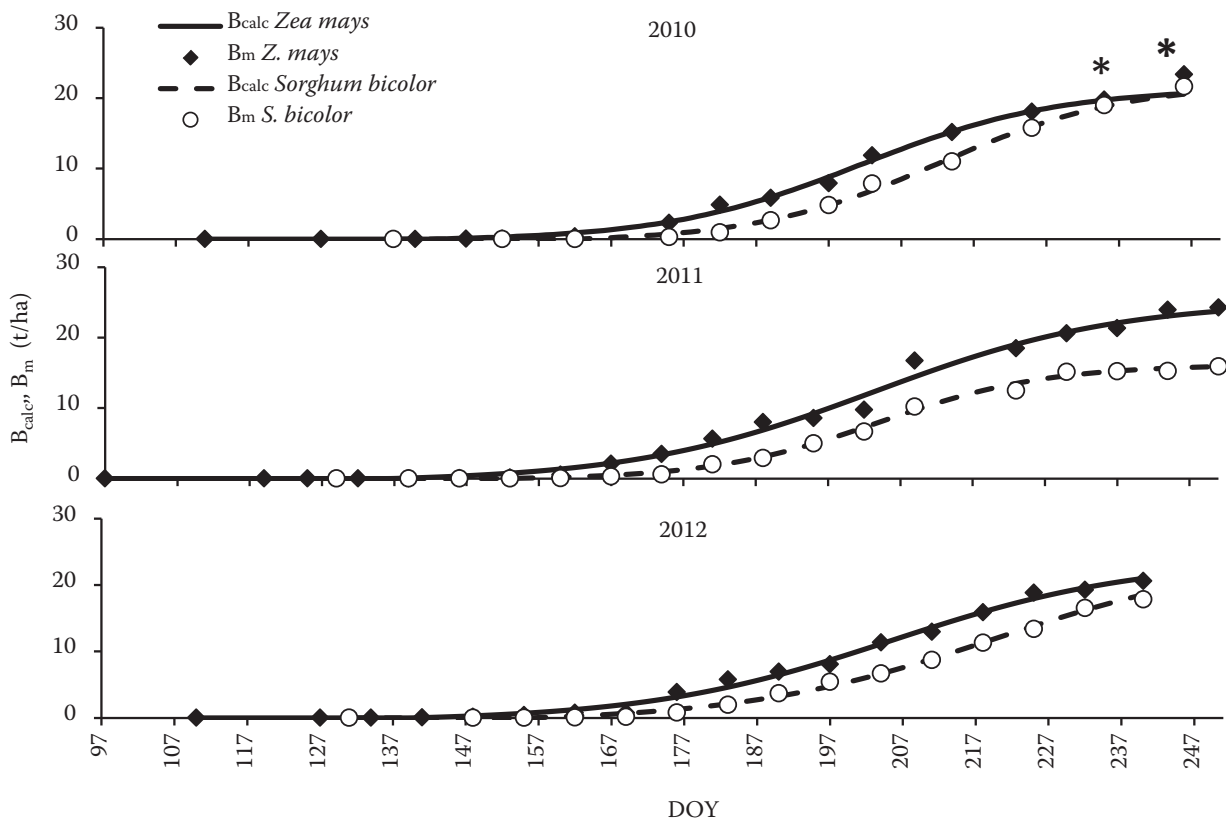


Figure 3. The dynamics of maize and sorghum above-ground biomass production (t/ha) in years 2010–2012. The points represent the measured values (B_m) and curves were fitted by the calculated value (B_{calc} , t/ha). Asterisks indicate values with non-significant differences in B_m between species (Tukey’s *HSD*, $\alpha = 0.05$). DOY – day of the year

<https://doi.org/10.17221/274/2018-PSE>

tion (B_m and B_{calc}) of maize and sorghum in years 2010–2012. Higher production was established for maize in all evaluated years. The harvested maize dry matter forage yields were 23.4 t/ha (2010), 24.3 t/ha (2011) and 20.6 t/ha (2012). Sorghum provided forage yield of 21.7 t/ha (2010), 15.7 t/ha (2011) and 17.8 t/ha (2012). The most intensive biomass accumulation occurred between 200–230 DOY. The weight of the cobs represents over 50% of maize above-ground biomass (Fuksa et al. 2004). Limited formation of generative organs in sorghum were observed where their proportion reached an average 40% of the plant biomass, which resulted in lower dry matter content (17.9%, mean 2010–2012) in contrast to maize (29.6%). Hermuth and Kosová (2017) highlighted the importance of utilization of sorghum cultivars adapted to local environment, e.g., the first Czech sorghum cv. Ruzrok, enabling mature seed production in the temperate climate of Central Europe.

Sorghum lower dry matter is in line with the results of Schittenhelm and Schroetter (2014). Larger harvest values of LAI_m and LAI_{calc} were found in sorghum stands (Figure 4). The values of LAI_m for maize 4.1 (2010), 4.7 (2011) and 2.6 (2012) whereas sorghum LAI_m 9.3, 5.6 and 7.7 (2010, 2011 and 2012, respectively) were observed. For maize, the usual values of LAI are within 2.6–4.8 m (Timlin et al. 2014, Saseendran et al. 2015).

Meteorological characteristic. The highest sum of precipitation (400 mm) within 91–243 DOY was observed in year 2010. The lowest sum of precipitation over the vegetation period was observed in 2012 (248 mm) and 306 mm was detected in 2011. Year 2012 was characterized by low values of daily sum of precipitation, mostly under 10 mm per day (Figure 1). A lower effect on the increase of soil water supply can be expected under this sum of precipitations due to evaporation.

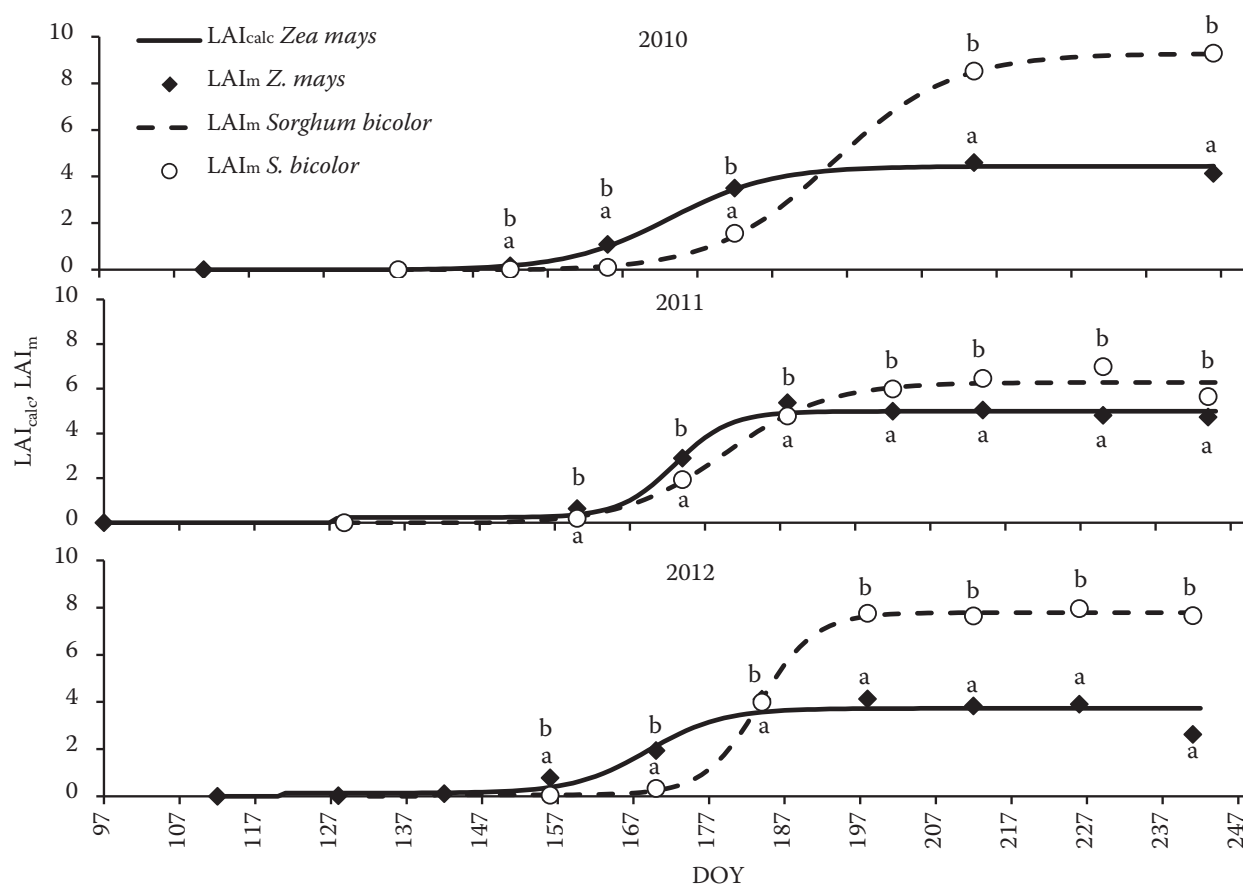


Figure 4. Dynamics of maize and sorghum leaf area index (LAI) development in years 2010–2012. The points represent the measured values (LAI_m) and curves were fitted by the calculated value (LAI_{calc}). Different letters document significant differences of LAI_m between species within the date of sampling (Tukey's *HSD*, $\alpha = 0.05$). DOY – day of the year

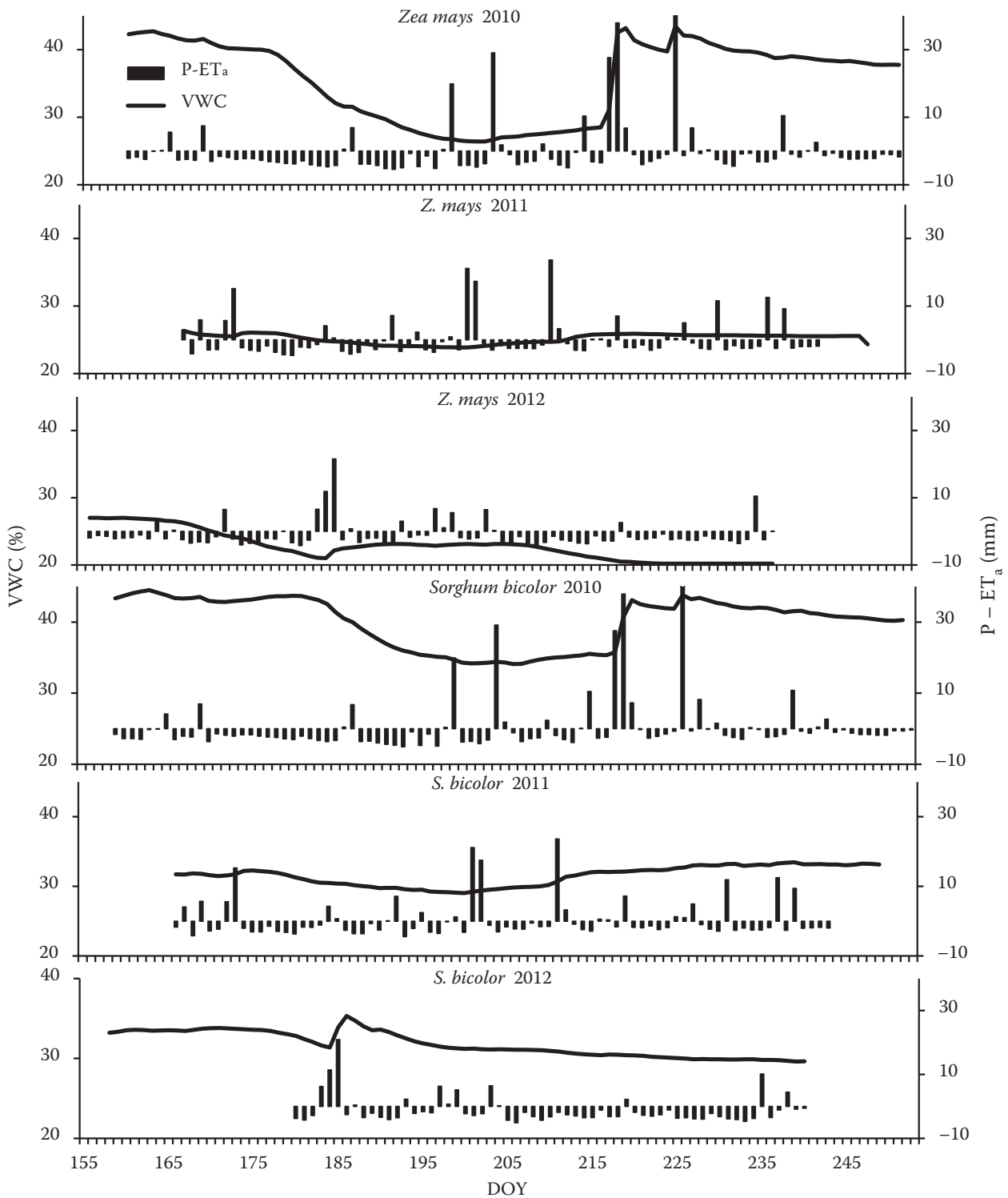


Figure 5. Relationship between daily sum of precipitations (P, mm/day), daily values of actual evapotranspiration (ET_a, mm/day) and daily soil moisture (VWC, %) for maize and sorghum in years 2010–2012. DOY – day of the year

The differences between daily sum of precipitation (P, mm/day), actual evapotranspiration values (ET_a, mm/day) and volumetric water content (VWC, %) at 30 cm depth during the evaluated years are shown in Figure 5. The VWC values

were lower for maize plots in all years of evaluation. Greater decreases in VWC values in maize stands could also be caused by earlier sowing and associated with subsequent earlier water consumption for crop transpiration. Kato and Kamichika

<https://doi.org/10.17221/274/2018-PSE>

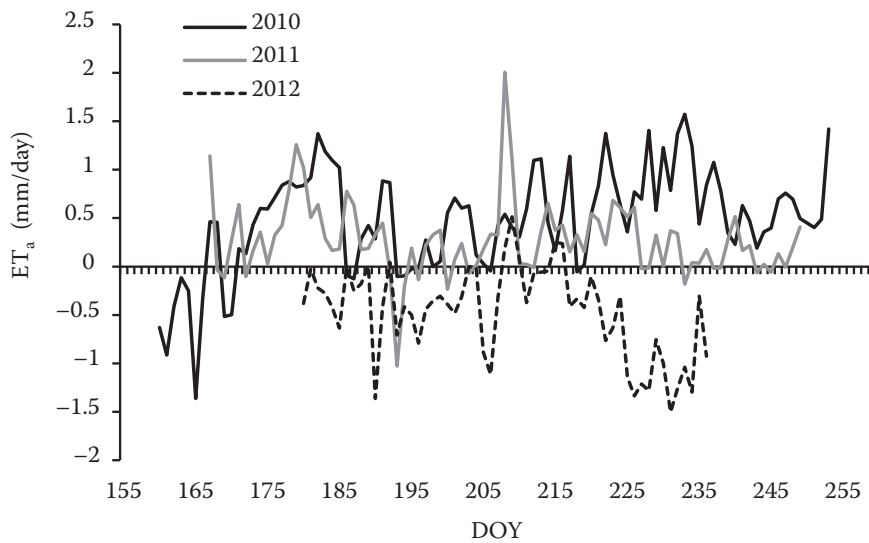


Figure 6. Differences in daily values of actual evapotranspiration (ET_a) for maize and sorghum in years 2010–2012. DOY – day of the year

(2006) proposed a decrease in evaporation due to a higher LAI values as explanation for higher VWC values in plot with sorghum. Sorghum intensive leaf formation was initiated around 180 DOY (Figure 4). Another explanation could be lower sorghum water consumption in contrast to maize (Tolk and Howell 2003).

The average daily air temperature for the period 91–243 DOY was 16.5°C in 2012, 15.6°C in 2010 and 16.1°C in 2011. As shown in Figure 2, in the period of intensive biomass accumulation (200–230 DOY), the highest average air temperature was detected in 2012 (19.2°C), in 2010 (18.7°C) and in 2011 (17.2°C).

Stand water demand. Maize stands provided higher ET_a in comparison with sorghum (Figure 6) in 2010 and 2011. The daily average differences of maize ET_a were higher by 0.59 and 0.29 mm/day within the period of 180–235 DOY in 2010 and

2011, respectively. Measured ET_a values were 3.23 and 2.48 mm in 2010, 2.41 and 2.12 mm in 2011 for maize and sorghum, respectively. In dry year 2012, the maize daily ET_a was by about 0.46 mm/day lower in comparison with sorghum between 180–235 DOY (Figure 6). The average daily ET_a in the period was 2.72 mm for maize and 3.18 mm for sorghum.

In dry year 2012, higher sorghum ET_a could be associated with its higher water stress resistance (Sanchez-Diaz and Kramer 1971). This year also showed higher values of air temperature over crop growth compared to 2010 and 2011. According to Downes (1970), the sorghum transpiration rate accelerates with increasing air temperature. This relationship is also consistent with Tolk and Howell (2003), who reported higher sorghum water consumption in the areas with high evapotranspiration demand.

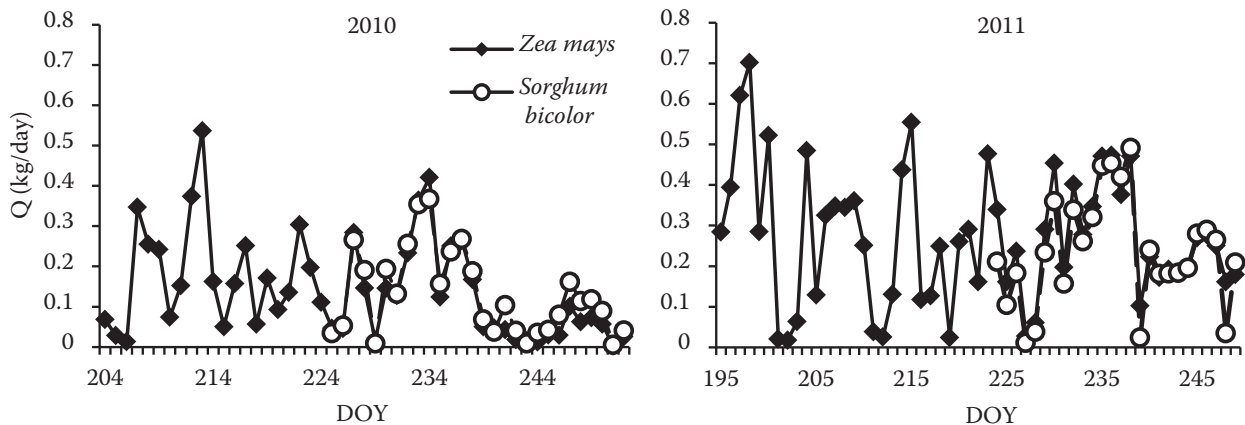


Figure 7. Average daily sap flow values (Q) per plant of maize and sorghum in years 2010–2011. DOY – day of the year

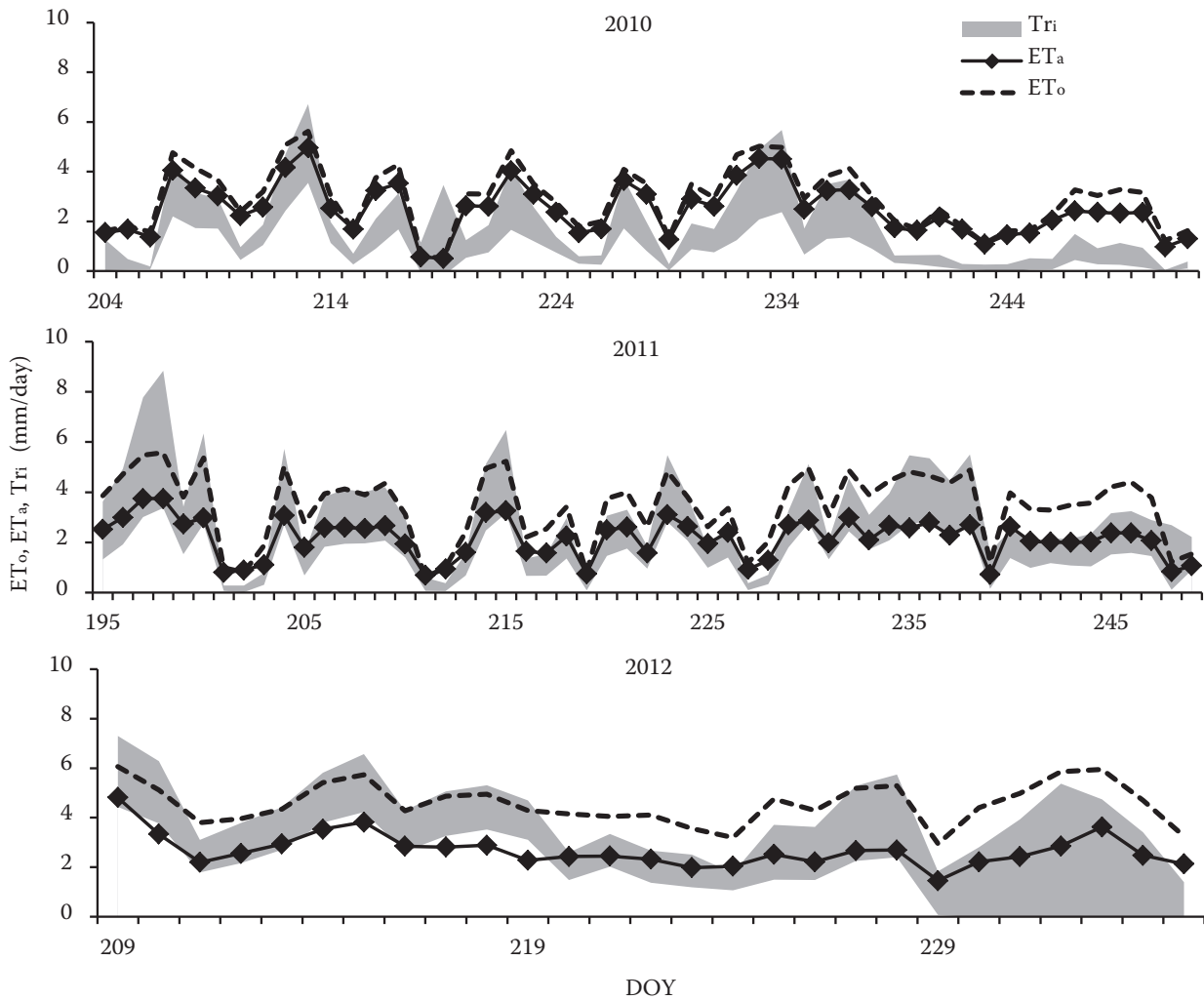


Figure 8. Daily maize values of potential evapotranspiration (ET_0) or actual evapotranspiration (ET_a) and daily transpiration (Tr_i) in years 2010–2012. Tr_i values (gray field) represent the range for evaluated stands using the mean of $T_r \pm$ standard deviation. DOY – day of the year

Average sap flow values were not significantly different between maize and sorghum in 2010 and 2011 (Figure 7). The number of plants per unit area had a major impact on the Q value of the stands. The high variability of sap flow values among the individual plants makes complicated the estimation of values per area unit. In our experiment, sap flow values ranged from 24 to 213 g/h per plant for maize whereas the values from 34 to 160 g/h were measured for sorghum. Gavloski et al. (1992) reported maize sap flow values from 32 to 122 g/h depending on the water regime. Maximal maize sap flow values could reach 150–175 g/h (Gavloski et al. 1992, Kjelgaard et al. 1997).

Figures 8 and 9 present daily values of actual evapotranspiration (ET_a , mm/day) and transpiration (Tr_i , mm/day) in 2010–2012. The maize

transpiration more closely corresponds with the values of the actual evapotranspiration (Figure 8). Daily ET_a of sorghum was related to the lower limit of Tr_i interval. It suggests that lower evaporation of sorghum can be expected due to higher leaf coverage of soil expressed as LAI (Figure 4). This assumption is supported by the results of Kato and Kamichika (2006).

Water use efficiency. The values of WUE over 2010–2012 are presented in Figure 10. There was a clear trend for a value increase between 170–220 DOY, followed by a decline in the subsequent period. During the first period, biomass production strongly increased (Figure 3). In 2010, the highest WUE of maize reached 9.49 g/kg whilst 17.86 g/kg was observed for sorghum (180–240 DOY). Similarly, in 2011, the maize WUE was 14.45 g/kg and sorghum reached 15.41 g/

<https://doi.org/10.17221/274/2018-PSE>

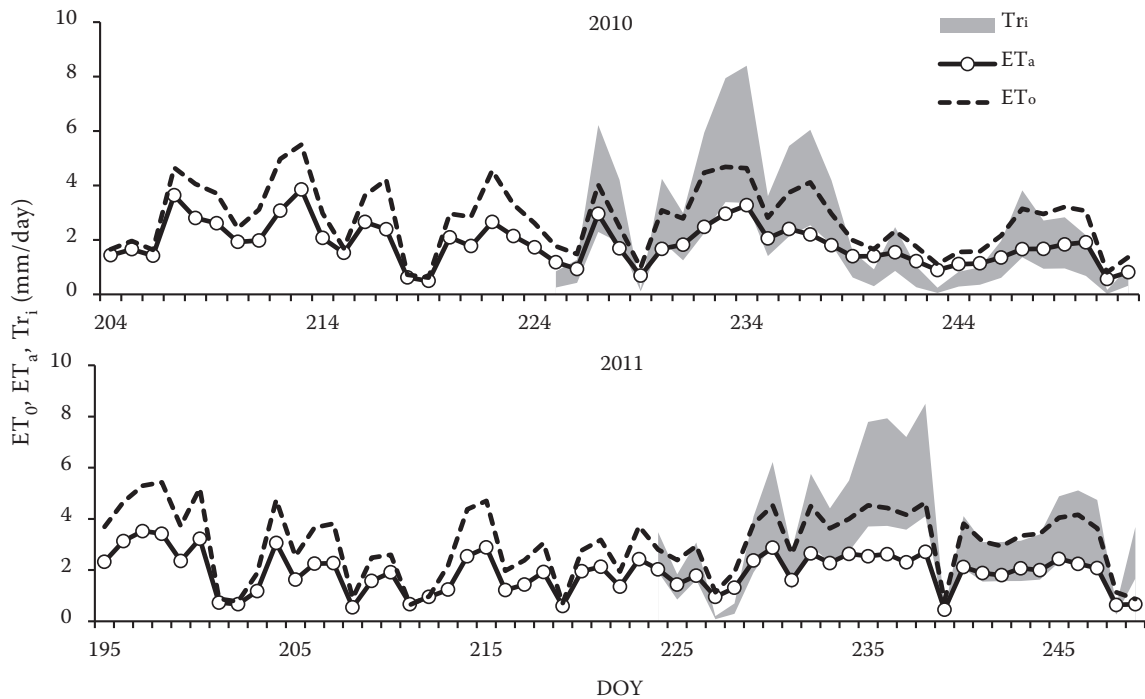


Figure 9. Daily sorghum values of potential evapotranspiration (ET_0) or actual evapotranspiration (ET_a) and daily transpiration (Tr_i) in years 2010–2012. Tr_i values (gray field) represent the range for evaluated stands using the mean of $T_r \pm$ standard deviation. DOY – day of the year

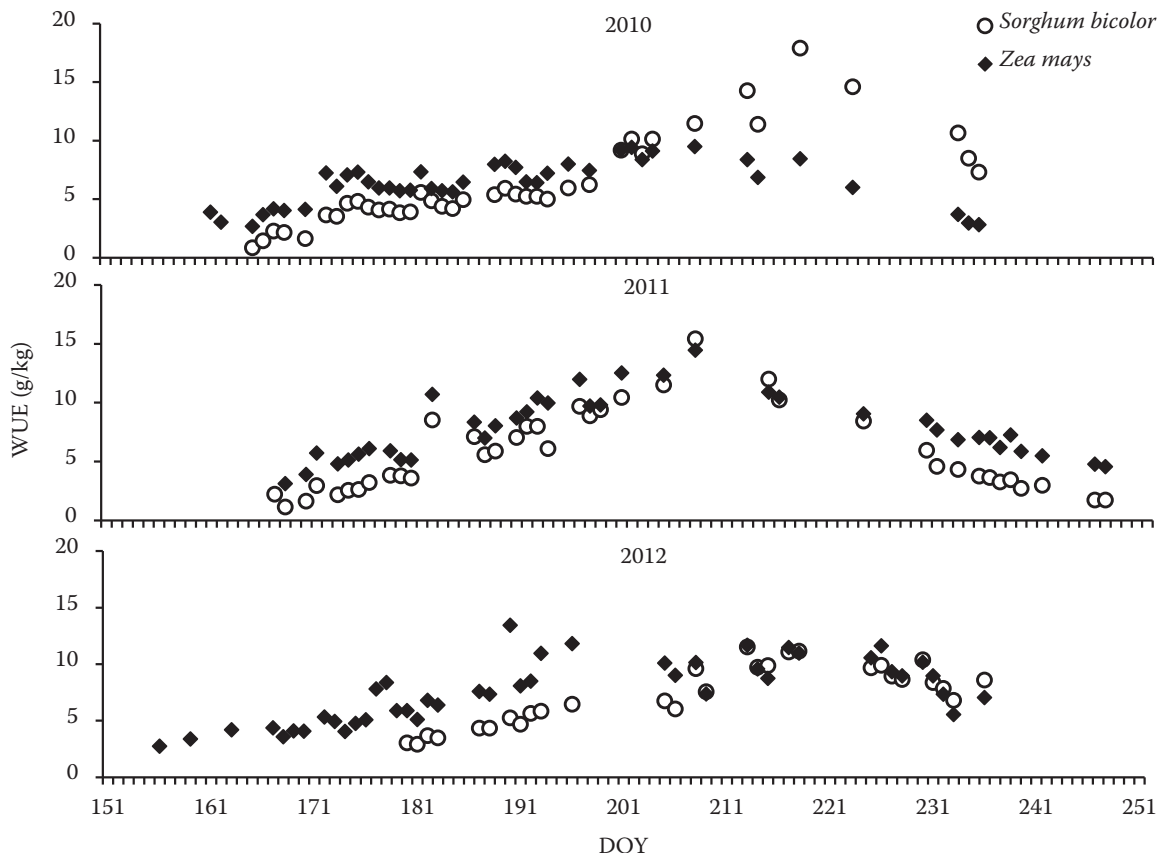


Figure 10. Average daily values of water use efficiency (WUE) of maize and sorghum stands in years 2010–2012. WUE values were calculated from the daily values of actual evapotranspiration (ET_a , kg/m^2) and daily biomass growth (B_{calc} , g/m^2) for days when the daily sum of R_g was $\geq 18 MJ/m^2$. DOY – day of the year

kg. In 2012, the highest daily WUE was 11.81 g/kg for maize and 11.51 g/kg for sorghum.

Pan et al. (2011) reported higher sorghum evapotranspiration in humid years than in maize crop, while lower in normal or dry years. However, the evaluation of water use efficiency between these crops is complicated because of the late sorghum sowing date, which leads to the shift of developmental stages. In the experimental environment, the generative sorghum stages are usually not reached because the subsequent development of the stands is limited by low temperatures at the end of the growth period.

In conclusion, the three-year experiment in this study demonstrated higher maize actual evapotranspiration in the years with higher sum of precipitation (2010 and 2011) whereas higher sorghum evapotranspiration was observed in the dry year 2012. It suggests the improved sorghum resistance to water stress. However, this sorghum ability did not result in higher production of the above-ground biomass.

Higher production of maize above-ground biomass was measured consistently over a three-year period, together with reduced soil VWC in comparison with sorghum. Maize and sorghum provided similar sap flow values with high variability among individual plants.

Transpiration values suggest lower levels of evaporation per unit area in sorghum stands, probably due to higher LAI values. The sorghum provided similar or higher WUE values than maize during the period of intensive prolongation growth. However, this higher water use efficiency did not contribute to higher biomass production in these experimental conditions. At the end of this period, WUE values were comparable or lower contrast to maize. The WUE decrease might be associated with reduced formation of generative organs of sorghum. This formation should increase the total aboveground biomass production and probably should lead to WUE enhancement in comparison with maize.

REFERENCES

- Allen R.G., Pereira L.S., Raies D., Smith M. (1998): Crop Evapotranspiration: Guidelines for Computing Crop Water Requirements. FAO Irrigation and Drainage Paper 56. Rome, United Nations.
- Bethenod O., Katerji N., Goujet R., Bertolini J.M., Rana G. (2000): Determination and validation of corn crop transpiration by sap flow measurement under field conditions. *Theoretical and Applied Climatology*, 67: 153–160.
- Brant V., Zábanský P., Škeříková M., Pivec J., Kroulík M., Procházková L. (2017): Effect of row width on splash erosion and through-fall in silage maize crops. *Soil and Water Research*, 12: 39–50.
- Brant V., Pivec J., Zábanský P., Hák J. (2012): Water consumption by Asteraceae weeds under field conditions. *Weed Biology and Management*, 12: 71–83.
- Brant V., Zábanský P., Hamouzová K., Fuksa P. (2011): Germination of sorghum seeds under condition of water deficit. In: *Proceedings of the Conference of the Czech University of Life Sciences Prague, Prague*, 128–134.
- Cohen Y., Huck M.G., Hesketh J.D., Frederick J.R. (1990): Sap flow in the stem of water stressed soybean and maize plants. *Irrigation Science*, 11: 45–50.
- Downes R.W. (1970): Effect of light intensity and leaf temperature on photosynthesis and transpiration in wheat and sorghum. *Australian Journal of Biological Sciences*, 23: 775–782.
- Fuksa P., Hák J., Kocourková D., Veselá M. (2004): Influence of weed infestation on morphological parameters of maize (*Zea mays* L.). *Plant, Soil and Environment*, 50: 371–378.
- Garofalo P., Rinaldi M. (2013): Water-use efficiency of irrigated biomass sorghum in a Mediterranean environment. *Spanish Journal of Agricultural Research*, 11: 1153–1169.
- Gavloski J.E., Ellis C.R., Whitfield G.H. (1992): Effect of restricted watering on sap flow and growth in corn (*Zea mays* L.). *Canadian Journal of Plant Science*, 72: 361–368.
- Hao B.Z., Xue Q.W., Bean B.W., Rooney W.L., Becker J.D. (2014): Biomass production, water and nitrogen use efficiency in photoperiod-sensitive sorghum in the Texas High Plains. *Biomass and Bioenergy*, 62: 108–116.
- Hermuth J., Kosová K. (2017): Characterization of the first Czech sorghum variety Ruzrok tested in Czech Republic. *Czech Journal of Genetics and Plant Breeding*, 53: 37–44.
- Hooghart J.C. (1971): Evaporation and Weather. TNO Committee of Hydrological Research, Technical Meeting 44. In: *Proceedings and Information No. 39*, The Hague, TNO.
- Howell T.A., Steiner J.L., Schneider A.D., Evett S.R., Tolk J.A. (1994): Evapotranspiration of irrigated winter wheat, sorghum, and corn. *American Society of Agricultural and Biological Engineers*, 2048–2081.
- Kato T., Kamichika M. (2006): Determination of a crop coefficient for evapotranspiration in a sparse sorghum field. *Irrigation and Drainage*, 55: 165–175.
- Kjelgaard J.F., Stockle C.O., Black R.A., Campbell G.S. (1997): Measuring sap flow with the heat balance approach using constant and variable heat inputs. *Agricultural and Forest Meteorology*, 85: 239–250.
- Kučera J., Čermák J., Penka M. (1977): Improved thermal method of continual recording the transpiration flow rate dynamics. *Biologia Plantarum*, 19: 413–420.

<https://doi.org/10.17221/274/2018-PSE>

- Lobell D.B., Roberts M.J., Schlenker W., Braun N., Little B.B., Rejesus R.M., Graeme L. (2014): Greater sensitivity to drought accompanies maize yield increase in the U.S. Midwest. *Science*, 344: 516–519.
- Moroke T.S., Schwartz R.C., Brown K.W., Juo A.S.R. (2005): Soil water depletion and root distribution of three dryland crops. *Soil Science Society of America Journal*, 69: 197–205.
- Ort D.R., Long S.P. (2014): Limits on yields in the Corn Belt. *Science*, 344: 484–485.
- Pan G., Ouyang Z., Luo Q., Yu Q., Wang J. (2011): Water use patterns of forage cultivars in the North China Plain. *International Journal of Plant Production*, 5: 181–194.
- Pivec J., Brant V., Bečka D., Cihlář P. (2011): Consumptive use of water in *Brassica napus* L. from flowering to ripening stage under the rainless region conditions. *Irrigation and Drainage*, 60: 493–498.
- Pivec J., Brant V., Moravec D. (2006): Analysis of the potential evapotranspiration demands in the Czech Republic between 1961–1990. *Biologia*, 61: S294–S299.
- Rosenow D.T., Quisenberry J.E., Wendt C.W., Clark L.E. (1983): Drought tolerant sorghum and cotton germplasm. *Agricultural Water Management*, 7: 207–222.
- Rooney W.L., Blumenthal J., Bean B., Mullet J.E. (2007): Designing sorghum as a dedicated bioenergy feedstock. *Biofuels, Bioproducts and Biorefining*, 1: 147–157.
- Sanchez-Diaz M.F., Kramer P.J. (1971): Behaviour of corn and sorghum under water stress and during recovery. *Plant Physiology*, 48: 613–616.
- Saseendran S.A., Trout T.J., Ahuja L.R., Ma L., McMaster G.S., Nielsen D.C., Andales A.A., Chávez J.L., Ham J. (2015): Quantifying crop water stress factors from soil water measurements in a limited irrigation experiment. *Agricultural Systems*, 137: 191–205.
- Schittenhelm S., Schroetter S. (2014): Comparison of drought tolerance of maize, sweet sorghum and sorghum – Sudangrass hybrids. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 200: 46–53.
- Sun H.Y., Shen Y.J., Yu Q., Flerchinger G.N., Zhang Y.Q., Liu C.M., Zhang X.Y. (2010): Effect of precipitation change on water balance and WUE of the winter wheat–summer maize rotation in the North China Plain. *Agricultural Water Management*, 97: 1139–1145.
- Tatarinov F.A., Kučera J., Cienciala E. (2005): The analysis of physical background of tree sap flow measurement based on thermal methods. *Measurement Science and Technology*, 16: 1157–1169.
- Tetens V.O. (1930): Über einige meteorologische Begriffe. *Zeitschrift für Geophysik*, 6: 297–309.
- Timlin D.J., Fleisher D.H., Kemanian A.R., Reddy V.R. (2014): Plant density and leaf area index effects on the distribution of light transmittance to the soil surface in maize. *Agronomy Journal*, 106: 1828–1837.
- Tolk J.A., Howell T.A. (2003): Water use efficiencies of grain sorghum grown in the three USA southern Great Plains soils. *Agricultural Water Management*, 59: 97–111.
- Woodward F.I., Sheehy J.E. (1983): *Principles and Measurements in Environmental Biology*. London, Butterworth & Co, Ltd.
- Yimam Y.T., Ochsner T.E., Kakani V.G. (2015): Evapotranspiration partitioning and water use efficiency of switchgrass and biomass sorghum managed for biofuel. *Agricultural Water Management*, 155: 40–47.
- Zábranský P., Pivec J., Brant V., Kroulík M., Škeřtková M. (2015): The values of crop coefficients and Bowen ratio of field crops in areas with insufficient precipitation in central Europe. *Irrigation and Drainage*, 64: 253–262.
- Zegada-Lizarazu W., Zatta A., Monti A. (2012): Water uptake efficiency and above- and belowground biomass development of sweet sorghum and maize under different water regimes. *Plant and Soil*, 351: 47–60.
- Zhang J., Kirkham M.B. (1995): Sap flow in a dicotyledon (sunflower) and a monocotyledon (sorghum) by the heat-balance method. *Agronomy Journal*, 87: 1106–1114.

Received on April 25, 2018

Accepted on June 20, 2018

Published online on June 26, 2018

Effect of Row Width on Splash Erosion and Throughfall in Silage Maize Crops

Václav BRANT^{1*}, PETR ZÁBRANSKÝ¹, MICHAELA ŠKEŘÍKOVÁ¹, JAN PIVEC¹,
MILAN KROULÍK² and LUDĚK PROCHÁZKA¹

¹Faculty of Agrobiological, Food, and Natural Resources and ²Faculty of Engineering,
Czech University of Life Sciences Prague, Prague, Czech Republic

*Corresponding author: brant@af.czu.cz

Abstract

Brant V., Zábanský P., Škeříková M., Pivec J., Kroulík M., Procházka L. (2017): Effect of row width on splash erosion and throughfall in silage maize crops. *Soil & Water Res.*, 12: 39–50.

Line width is one of the major factors affecting arable soil erosion. The aim of the study was to assess the effects of different row spacing on splash erosion and throughfall in maize crops. Field measurements of the throughfall (P_{th} , mm) and splash erosion (MSR , g/m²) were carried out in silage maize crops (row spacing 0.45 and 0.75 m) in 2012–2014. The BBCH growth stages for the crops, plant length (L , m), and leaf area index (LAI) were evaluated. Positive correlation was observed between the aerial precipitation (P , mm) and the P_{th} values. With increasing P -values, higher levels of P_{th} were identified in the 0.75 m compared to the 0.45 m row spacing. The value of this proportion was decreasing from the centre of the inter-row (0.75 m) to the row of the plants direction. Statistically significant lower values of splash erosion were observed in the 0.45 m compared with the 0.75 m wide rows, especially within the years 2012 and 2014. The experiments proved the positive influence of the length of plants and LAI on P/P_{th} values. A decrease of P_{th} in relation to precipitation values with height of plants and LAI values was observed. This dependency was then confirmed from the beginning of the stem elongation (BBCH 30) to the end of flowering (BBCH 70). Tighter dependency between the plant length (L) and the values of P/P_{th} ratio in the 0.75 m wide crop rows was determined. Conversely, a more important influence of LAI on the values of P/P_{th} ratio was estimated in the 0.45 m wide crop rows. The experiments proved the positive influence of the 0.45 m wide rows on the decrease of splash erosion as well as throughfall compared with the 0.75 m row spacing.

Keywords: erosion; growth stage; leaf area index; plant length; precipitation

Line width is one of the major factors affecting the production of corn grain (JOHNSON *et al.* 1998; BARBIERI *et al.* 2000; FARNHAM 2001) and corn silage biomass (UPPENKAMP 2007; NÜBEL 2008). Narrow rows are primarily associated with higher radiation interception by corn crops (OTTOMAN & WELCH 1989; ANDRADE *et al.* 2002). Narrow rows (0.35 m) can cause higher values of evapotranspiration compared with wider crop rows (0.75 m), depending on the moisture conditions (BARBIERI *et al.* 2008).

Maize is generally considered the most vulnerable crop to soil erosion. Soil erosion is one of the most serious environmental and public health problems facing human society (PIMENTEL 2006). Soil erosion is generally dependent on the soil type and

texture, rainfall characteristics, topography, soil and crop management, and soil conservation practices (HUDSON 1995).

Due to the fact that splash is the most important detaching agent (MORGAN 2005), splash erosion can be considered as the primary factor of water erosion. It is crucial for interrill erosion, because it separates the soil particles from the soil surface, thus facilitating their transport (VAN DIJK *et al.* 2002; LEGUÉDOIS *et al.* 2005). Splash erosion depends on the kinetic energy of rainfall, rainfall intensity, aggregate stability, and plant cover (QUANSAH 1981; SHARMA *et al.* 1991; VAN DIJK *et al.* 1996). It is also dependent on the layer of water on the surface of soil (KINNELL 1991; RICHTER 1998), and on the presence

of stones, clods, and crop residues at the soil surface (WAINWRIGHT 1996; MORGAN 2005).

Generally, it is believed that reducing the maize lines width contributes to water erosion risk reduction (UPPENKAMP 2007; NÜBEL 2008; MOHAMMADI *et al.* 2012). In Germany, crops grown in row spacings ≤ 0.45 m, including maize, are not considered as wide-row crops. Then, they apply the less stringent criteria for growing on land at risk of erosion (LFL 2010). A narrower line contributes to the increase of soil protection, diminishing water runoff and soil erosion (MANNERING & JOHNSON 1969; SANGOI & SALVADOR 1998). Corn row spacing (0.51, 0.76, and 1.02 m) had little effect on ground cover or erosion during the first 5 weeks after planting. At 7 to 8 weeks, ground cover was increased slightly and the narrow (0.51 m) line spacing reduced erosion (MANNERING & JOHNSON 1969). ZÁBRANSKÝ *et al.* (2013) proved that lines width reduction in maize from 0.75 to 0.45 m resulted in a decrease in throughfall values, and can contribute to the elimination of splash erosion. BRÜCKLER *et al.* (2004) determined the highest values of throughfall (under natural and artificial conditions – precipitation/irrigation) in the half distance only between the lines of corn cultivated in 0.75 m rows. The authors further state that the highest values of infiltration were measured directly in the rows of plants, the lowest at the distance of 70–136 mm from the lines of plants. DEKKER and RITSEMA (1997) point out the significant variability of soil volumetric water content in maize crops cultivated in 0.75 m rows. Due to interception and stem flow, water is funnelled towards the roots, and thus concentrates in the maize rows. However, distinctive wetting patterns were also formed between the maize rows, caused by rainwater dripping to the ground from overhanging leaves. The influence of distribution of rainfall on the soil volumetric water content in maize crops was also confirmed by HUPET and VANCLOOSTER (2005) and MARTELLO *et al.* (2015). Micro-topographical depressions further concentrate dripping water. The difference in the elevation between the top of the row and the bottom of the inter-row was about 70 mm (DEKKER & RITSEMA 1997). MIOLE *et al.* (2011) reported that depths of stemflow and throughfall were slightly higher in the narrow spacing treatment. Mean ratios of throughfall to incident precipitation or irrigation are highly variable depending on the crop variability (QUINN & LAFLEN 1983; PARKIN & CODLING 1990; BUI & BOX 1992; PALTINEANU & STARR 2000). DE

MORAES FRASSON and KRAJEWSKI (2011, 2013) state that knowledge of the concentration of drops and their size distribution on the throughfall is also important in the future development of microwave-based sensors to measure the evolution of plant water storage and soil moisture during storms.

In addition to throughfall, the erosion processes are influenced by the stem flow (NEAVE & ABRAHAMS 2002). According to BUI and BOX (1992), up to one-third of the stem flow may contribute to the formation of surface runoff. A positive correlation was confirmed between the amount of rainfall (independent variable) and throughfall and the stem flow values of corn plants (PALTINEANU & STARR 2000). These authors also point out the fact that at lower precipitation, the ratio of stem flow to throughfall increases. Hence, with an increase in precipitation the value of this ratio decreases. The stemflow of maize increases linearly with the total rainfall amount (LIU *et al.* 2015).

The aim of the study was to assess the effects of different row-spacing on the splash erosion and throughfall in maize crops. Data on the determination of the dependence between the values of throughfall and splash erosion are very limited in the scientific literature. The following objectives were set: (a) to determine the effect of different maize row width on the value of splash erosion during the vegetation period, (b) to determine the variability of throughfall within the rows, (c) to determine the relationship between the splash erosion and throughfall, (d) to determine the effect of the crop height and leaf area index on throughfall.

MATERIAL AND METHODS

Field experiments were carried out in 2012–2014 at Budihostice locality, Central Bohemia (50°04'34.45"N, 14°09'22.351"E; 220 m a.s.l.; soil type Haplic Chernozem). In the normal period (1961–1990) potential evapotranspiration slightly exceeded the precipitation totals (P/E_0 was around 0.7–0.8) for the Budihostice locality (PIVEC *et al.* 2006). Average soil texture of the experimental plots measured in spring 2012 was as follows: soil particles < 0.01 mm 24.74%, 0.01–0.05 mm 13.05%, 0.05–0.1 mm 9.48%, and 0.1–2 mm 52.73%. Silage maize crops (hybrid PR38N86) with row width of 0.45 and 0.75 m were evaluated. The size of the experimental plot was 0.5 ha. The basic technology of soil cultivation in the experimental plots comprised of autumnal plowing. Seedbed preparation was carried

doi: 10.17221/121/2015-SWR

Table 1. Terms of maize seeding, average number of plants per ha, and average distance between plants three weeks after seeding in 2012–2014

Year	Terms of seeding	Row width (m)	No. of plants per ha	Average distance between plants (m)
2012	19.4.	0.45	88 889	0.271
		0.75	89 333	0.151
2013	19.4.	0.45	87 778	0.259
		0.75	89 333	0.156
2014	15.4.	0.45	85 556	0.266
		0.75	86 667	0.154

out using a shallow cultivator in one day of sowing. The sowing dates, number of plants per ha, and average distance between plants are documented in Table 1. A six-line seed driller (Kverneland Accord Optima HD; Kverneland Group, Klepp Stasjon, Norway) was used for sowing (row width 0.45 and 0.75 m). Plant protection and fertilization were identical on both surfaces. The plots were not irrigated.

Values of splash erosion were monitored using a method according to BOLLINNE (1975). Funnels with collection bottles (volume 0.5 l) were installed in the centre of maize inter-rows. Plastic funnels (body diameter 125 mm, outlet diameter 25 mm) were placed 4 mm above the soil surface (flooding prevention) as shown in Figure 1. A sieve (mesh size of 2 × 2 mm) eliminating the trapping of small mammals and insects into the container was placed between the bottle and the funnel. After every rainfall event with precipitation totals exceeding 2 mm soil sampling followed. Captured suspension was filtered and dried to constant weight. The soil in the funnel was then expressed as a real number of

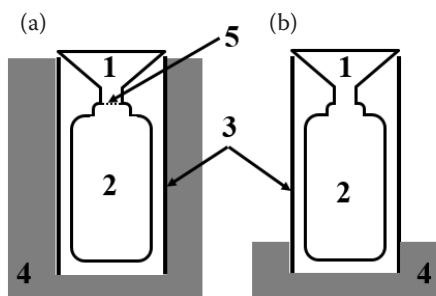


Figure 1. Measuring scheme of the splash erosion (a) and throughfall (b); 1 – funnel; 2 – bottle; 3 – tube; 4 – soil; 5 – sieve

spray per unit area of soil ($MSR\ g/m^2$), using the algorithm according to POESEN and TORRI (1988). Five collection funnels for the evaluation of splash erosion were located on each plot. At the end of the vegetation period, the stability of soil aggregates in trial plots (SAS) was also assessed using a wet sieving apparatus (Ejkelkamp, Giesbeek, NL) according to the manufacturer’s methodology. An average soil sample was made from each replication of the variants (soil layer 0–0.1 m) in four samples of soil from the centre of the inter-rows.

Throughfall (P_{th} , mm) was measured with collecting funnels identical to those for the splash measuring (without a sieve between funnel and bottle) – Figure 1. The amount of captured water was determined by weight, and subsequently expressed in mm of water column. Plastic tubes that hold the bottles with the funnel were placed 200 mm above the soil surface. Three drop zones (depending on the location within the line) were evaluated within each line (Figure 2). Seven collection funnels (a total of 21 funnels per each variant) were installed for each assessed drop zone; their distribution in measuring plots with corn line spacings of 0.45 and 0.75 m is displayed in Figure 2. Two collection funnels were placed at a height of 3.5 m (upper edge of the funnel) above ground. These funnels were used to determine the aerial precipitation above the crop canopy (P , mm). The reason was for the comparison of P_{th} and P using the same collecting devices. Values of P and P_{th} , and

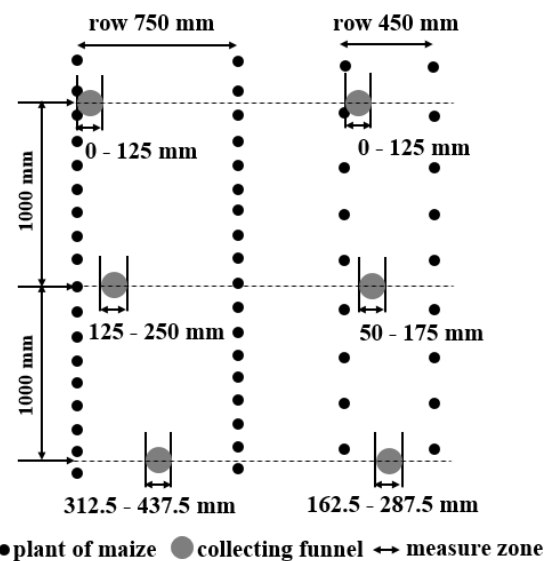


Figure 2. Scheme of the funnel location for the throughfall measurements in maize crop with the 0.75 m and 0.45 m wide rows

similarly MSR , were determined for the measured period, depending on the duration of the precipitation.

Verification of the accuracy of P measurement using the collection device above the crop canopy was made by comparing the average values of P precipitation with standard precipitation values (P_{rg} , mm) measured by the standard tipping bucket rain gauge SR 03 (Meteoservis, Vodňany, CZ). The dependency between P and P_{rg} in 2012 can be described by the following model: $P = 0.849 \times P_{rg}$, correlation coefficient (r) = 0.996, in 2013 the same dependency by the model: $P = 0.939 \times P_{rg}$, $r = 0.993$, and finally in 2014 by the model: $P = 0.947 \times P_{rg}$, $r = 0.997$.

As an observed subject within the development of vegetation, the BBCH growth stages for the crops (according to MEIER (2001)) and the plant length (L , m) were monitored weekly. Twenty plants from each variant were evaluated. Plant length was measured from the base of the plant up to the end of the most developed stretched leaf (since the stage of BBCH 61), then from the base to the top of inflorescence after stage BBCH 61.

Values of photosynthetically active leaf area (expressed by LAI) in the ten plants for each variant were measured in fortnight intervals. Plants for the determination of L and LAI were taken diagonally on the plot. LAI was determined destructively, followed by the infrared image analysis. Plant leaves were separated and placed on a 0.6×0.6 m black plate.

The leaves were laid on the plate whole or dissected according to their size. Infra-red photographs (8 Mpx resolution) of the leaves were taken from the height of 1.2 m and converted into a black (for background) and white (for leaves) format. Following the circumference of the plates, all images were cropped in the Photoshop program. Subsequently, the percentage of the white and black pixels from the cropped photographs was determined. The percentage of white colour was used to calculate the leaf surface in the image area of the plate. Using the number of plants per unit area, LAI was determined. A Nikon Coolpix 995 digital camera (Nikon Corporation, Tokyo, Japan) was modified by changing the NIR-blocking filter for an Infrared R72 filter (Hoya, Tokyo, Japan) mounted in front of the lens. The images were processed with the analytical tool in Adobe Photoshop CS5 (Adobe Systems Software, Dublin, Ireland).

To determine the dependency of P_{th} on the values of L and LAI , daily values of plant length (L_{cal} , m) and leaf area index (LAI_{cal}) were calculated. Finally, the dependency between the values of P (mm)/ P_{th} (mm) ratio (dependent variable) for the actual precipitation event and L_{cal} (m) and LAI_{cal} values (independent variable) for the same event were estimated. The computational algorithms and parameter values of equations for L_{cal} and LAI_{cal} are documented in Table 2. The values of L_{cal} were calculated for the whole vegetation period within the years evaluated,

Table 2. Values of parameters for the plant lengths calculation (L_{cal} , m) and for leaf area index calculation (LAI_{cal}) (years 2012–2014)

Year	Row width (m)	par1	par2	par3	r	n
L_{cal}						
2012	0.45	0.0024	0.0009	−65.30	0.998*	18
	0.75	0.0013	0.0005	−62.03	0.999*	18
2013	0.45	0.0009	0.0003	−64.20	0.998*	20
	0.75	0.0010	0.0003	−64.77	0.998*	20
2014	0.45	0.0021	0.0008	−66.67	0.995*	15
	0.75	0.0023	0.0009	−66.99	0.997*	15
LAI_{cal}						
2012	0.45	1.9929E-4	4.1752E-5	53.4183	0.999*	9
	0.75	2.6034E-5	5.9823E-6	48.9556	0.995*	9
2013	0.45	5.0684E-8	1.1738E-8	40.6758	0.999*	9
	0.75	7.3460E-7	1.5360E-7	44.0716	0.999*	9
2014	0.45	7.6714E-5	2.2084E-5	52.3402	0.998*	9
	0.75	3.8263E-5	1.0029E-5	51.8555	0.993*	9

Models: $L_{cal} = \text{par1}/(\text{par2} + \exp(-(\text{DOY}/\text{par3})^2))$; $LAI_{cal} = \text{par1}/(\text{par2} + \exp(-(\text{DOY}/\text{par3})^2))$; DOY – day of year; r – correlation coefficient L vs L_{cal} or LAI vs LAI_{cal} ; *confidence level 95.0%; n – sample size

doi: 10.17221/121/2015-SWR

the values of LAI_{cal} were calculated for the individual years within the periods 19/4–30/7 2012, 19/4–20/8 2013, and 15/4–17/8 2014.

Statistical analyses were carried out in Statgraphics®Plus 4.0 (Statgraphics, Warrenton, USA). The analysis of variance (ANOVA, Tukey's test, $\alpha = 0.05$) and simple regression were used. The program Mini32 Version 403.18 (EMS, Brno, Czech Republic) was used for the determination of the calculated values of plant length L_{cal} and LAI_{cal} .

RESULTS

Precipitation and throughfall. The size and number of the evaluated rainfall events from 2012 to 2014 and the average P/P_{th} ratios (mm; the average value from assessed area), depending on the precipitation totals are documented in Table 3. Values fluctuated within the range of 1.44–6.75 (Table 1). The measurements (2012–2014) in both stands showed a close correlation between the values of aerial precipitation (P , mm) and the mean throughfall (P_{th} , mm) (Figure 3). With increasing P -value, higher levels of P_{th} were proved in the 0.75 m compared with the 0.45 m row spacing (Figure 3). For the observed period, the highest average proportion of P_{th} (%) ($P = 100\%$) was established in the 0.75 m rows. This proportion is the highest in the centre of the inter-row, and decreases toward the plant row (Figure 4). In the case of the 0.45 m row spacing, the proportions of P_{th} (%) on P

were lower than in the 0.75 m rows in all of the assessed areas (Figure 4). In the case of the 0.75 m wide rows, the average value of the proportion of P/P_{th} (2012–2014) was 35.9% in the 0–125 mm zone, 47.6% in the 125–250 mm zone, and 53.8% in the 312.5–437.5 mm zone. In the case of the 0.45 m row spacing, average P/P_{th} was 33.1% in the 0–125 mm zone, 33.5% in the 50–175 mm zone, and 32.3% in the 162.5–278.5 mm zone.

Splash erosion, precipitation, and throughfall. The values of splash erosion (MSR , g/m^2) in crops with the 0.75 and 0.45 m row spacing within the observation periods from 2012–2014 are documented in Table 4. Statistically significant lower values of splash erosion were observed in the 0.45 m wide rows compared with the 0.75 m wide rows, especially within the years 2012 and 2014 (Table 4). The positive influence of narrower rows on the MSR elimination was not clear in 2013 (Table 4).

The absolute values of MSR fluctuated between 11.8–557.8 g/m^2 (2012), 8.1–2630.8 g/m^2 (2013), and 44.0–839.9 g/m^2 (2014). Figure 5 illustrates a positive correlation of splash erosion (MSR , g/m^2) and aerial precipitation (P , mm) during the years 2012–2014. Positive correlation was also determined between splash erosion (MSR , g/m^2) and the throughfall values (P_{th} , mm) – Table 5. The closest dependency between P_{th} and MSR was observed within the 0.45 m wide rows in 2012–2013 in the 0–125 mm zone, rather than in 2014 in the 50–175 mm zone, as it is evident from

Table 3. Number of events selected by totals and the average P/P_{th} proportion (precipitation/throughfall) in maize crops with 0.45 m and 0.75 m row spacing in 2012–2014

Precipitation totals (mm)	No. of events selected			P/P_{th}					
	2012	2013	2014	2012		2013		2014	
				0.75	0.45	0.75	0.45	0.75	0.45
$0 \leq 2$	2	0	1	1.44	3.48			4.07	6.75
$2 \leq 5$	5	1	5	1.48	2.52	4.14	1.99	2.85	3.21
$5 \leq 10$	5	4	3	2.32	4.13	1.99	3.06	2.55	2.71
$10 \leq 15$	2	3	0	2.58	4.88	3.36	4.91		
$15 \leq 20$	0	1	1			3.73	4.52	1.54	2.18
$20 \leq 25$	0	0	0						
$25 \leq 30$	0	1	0			3.58	5.19		
$30 \leq 35$	1	1	1	2.31	3.38	4.16	4.63	2.61	3.42
> 35	0	1	2			1.33	1.65	2.93	2.86
Sum	15	12	13						

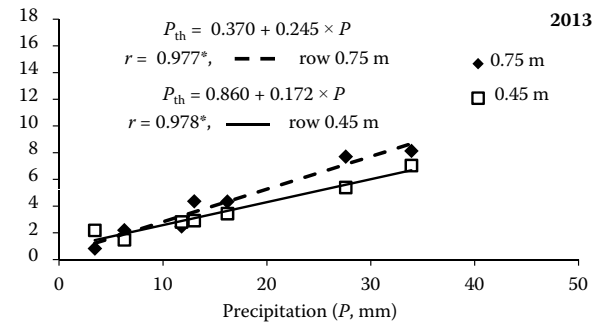
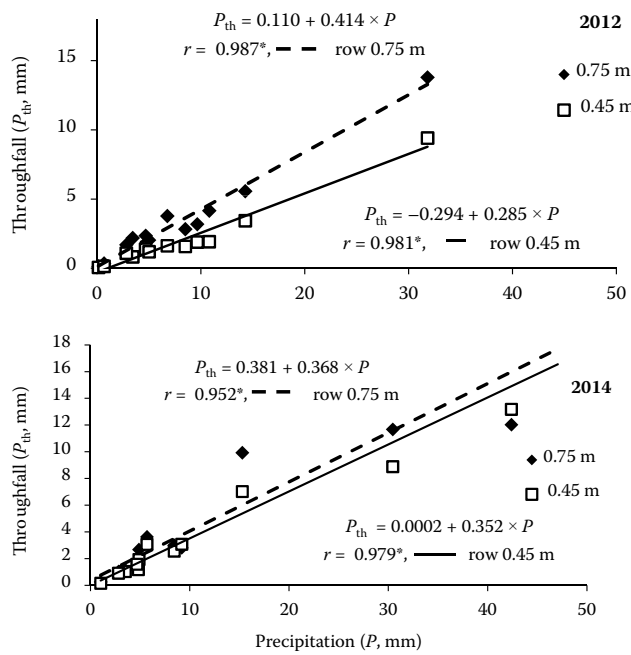


Figure 3. Influence of the row spacing on the throughfall (P_{th} , mean values, mm) in dependency with aerial precipitation (P , mm) in 2012–2014; the models are valid in 2012 for the period 29/6–13/8, in 2013 for the period 2/7–26/8, and in 2014 for the period 15/6–19/8; r – correlation coefficient, *confidence level 95.0%

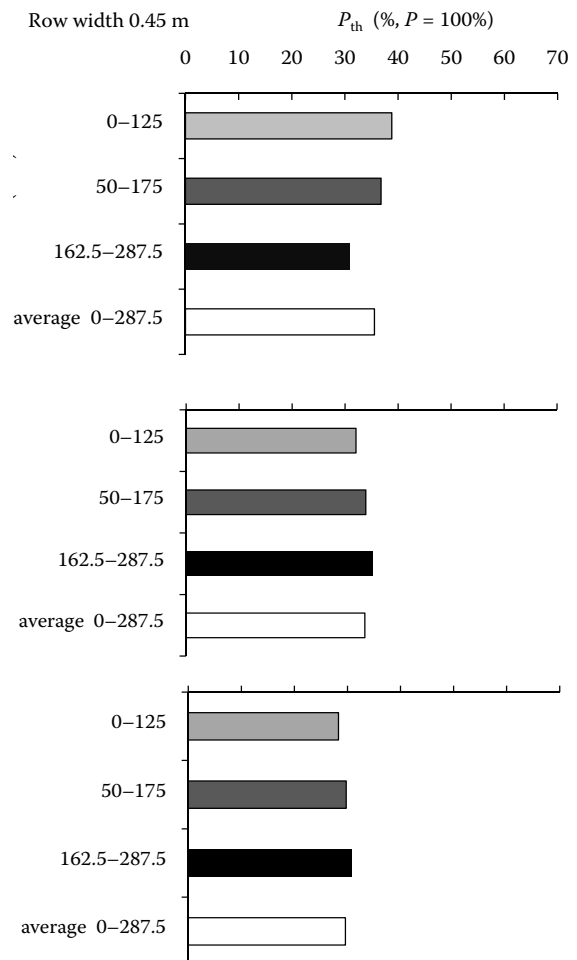
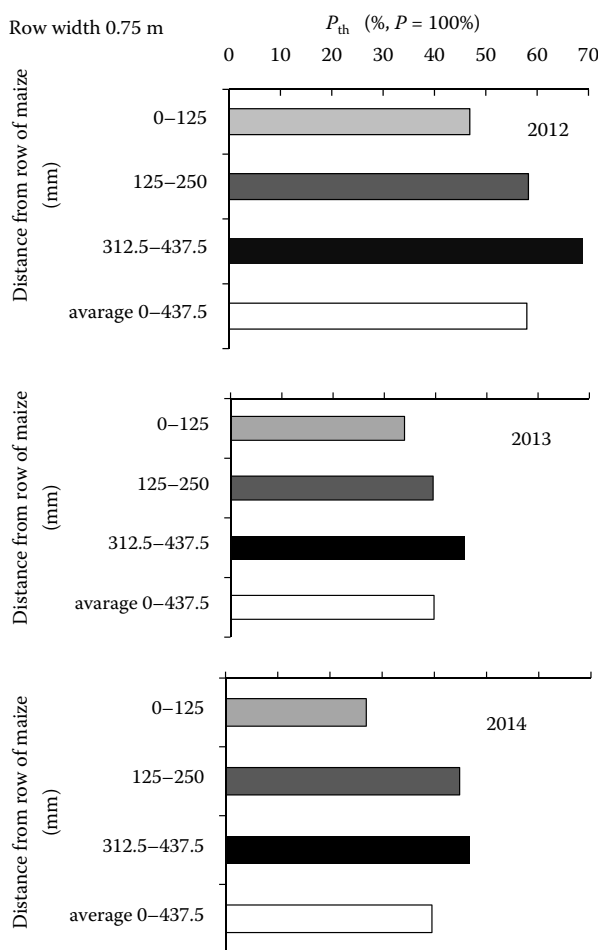


Figure 4. Influence of row spacing on throughfall (P_{th} , %) within the inter-row in 2012–2014; aerial precipitation (P , mm) represents 100%

doi: 10.17221/121/2015-SWR

Table 4. Values of splash erosion ($MSR, g/m^2$) in maize crops with different row spacing during estimated periods in 2012–2014

Row width (mm)	Period														
	2012	21/5–23/5	23/5–1/6	1/6–4/6	4/6–11/6	11/6–12/6	12/6–21/6	21/6–29/6	29/6–1/7	1/7–2/7	2/7–3/7	3/7–5/7	5/7–9/7	9/7–16/7	18/7–23/7
450		271.1 ^a	166.8 ^a	158.7 ^a	20.6 ^a	45.6 ^a	108.4 ^a	11.8 ^a	65.3 ^a	55.5 ^a	487.3 ^a	51.1 ^a	154.7 ^a	45.0 ^a	58.1 ^a
750		280.5 ^a	225.9 ^a	223.1 ^b	35.5 ^a	77.8 ^b	158.4 ^b	26.0 ^a	84.7 ^b	88.2 ^b	557.8 ^a	48.1 ^a	175.6 ^a	42.3 ^a	44.2 ^a
2013	15/5–20/5	20/5–23/5	23/5–27/5	27/5–31/5	31/5–5/6	5/6–10/6	10/6–11/6	24/6–25/6	25/6–26/6	26/6–3/7	26/6–30/7	30/7–5/8	5/8–7/8	7/8–13/8	
450		970.6 ^a	56.8 ^a	418.6 ^a	627.4 ^a	886.2 ^a	2622.6 ^a	50.2 ^a	279.7 ^a	8.1 ^a	230.4 ^b	99.4 ^a	113.1 ^a	73.9 ^a	22.9 ^a
750		800.5 ^a	49.5 ^a	381.2 ^a	559.4 ^a	892.4 ^a	2630.8 ^a	81.0 ^b	282.4 ^a	12.2 ^a	166.0 ^a	91.0 ^a	97.3 ^a	74.1 ^a	28.2 ^a
2014	19/5–22/5	22/5–26/5	26/5–28/5	28/5–30/5	30/5–26/6	26/6–30/6	30/6–9/7	9/7–15/7	15/7–22/7	22/7–28/7	28/7–6/8				
450		309.8 ^b	604.4 ^a	789.4 ^a	244.3 ^a	124.3 ^a	75.3 ^a	322.7 ^a	53.8 ^a	152.3 ^a	198.5 ^a	44.0 ^a			
750		257.5 ^a	598.6 ^a	839.9 ^a	283.5 ^a	238.1 ^b	88.9 ^a	705.2 ^b	102.7 ^b	347.4 ^b	488.6 ^b	62.4 ^b			

Indexes a, b in the individual rows document statistically significant differences ($\alpha = 0.05$)

Table 5. Influence of throughfall (P_{th} , mm) on the splash erosion ($MSR, g/m^2$, measured in the centre of the inter-row) in different parts of inter-rows of maize crop (0.45 m and 0.75 m row spacing) in 2012–2014

Row width (mm)	Distance from maize row (mm)	2012			2013			2014		
		MSR	r	MSR	r	MSR	r	MSR	r	
450	0–125	$-38.932 + 43.303 \times P_{th}$	0.937	$10.278 + 13.448 \times P_{th}$	0.948	$23.463 + 16.282 \times P_{th}$	0.968			
	50–175	$-48.279 + 46.288 \times P_{th}$	0.875	$25.422 + 12.301 \times P_{th}$	0.934	$32.597 + 14.208 \times P_{th}$	0.995			
	162.5–287.5	$-40.597 + 55.690 \times P_{th}$	0.867	$16.979 + 12.084 \times P_{th}$	0.919	$32.513 + 13.246 \times P_{th}$	0.983			
	average	$-44.193 + 48.405 \times P_{th}$	0.901	$17.113 + 12.684 \times P_{th}$	0.937	$28.8448 + 14.5919 \times P_{th}$	0.987			
750	0–125	$-53.086 + 47.654 \times P_{th}$	0.946	$2.762 + 14.920 \times P_{th}$	0.869	$83.508 + 2.712 \times P_{th}$	0.792			
	125–250	$-73.629 + 42.928 \times P_{th}$	0.971	$15.019 + 10.296 \times P_{th}$	0.941	$-37.442 + 32.372 \times P_{th}$	0.974			
	312.5–437.5	$-77.233 + 37.281 \times P_{th}$	0.958	$14.280 + 8.781 \times P_{th}$	0.926	$16.900 + 24.739 \times P_{th}$	0.958			
	average	$-70.885 + 42.626 \times P_{th}$	0.963	$8.749 + 11.169 \times P_{th}$	0.934	$-13.450 + 34.680 \times P_{th}$	0.969			

r – correlation coefficient (confidence level 95.0%)

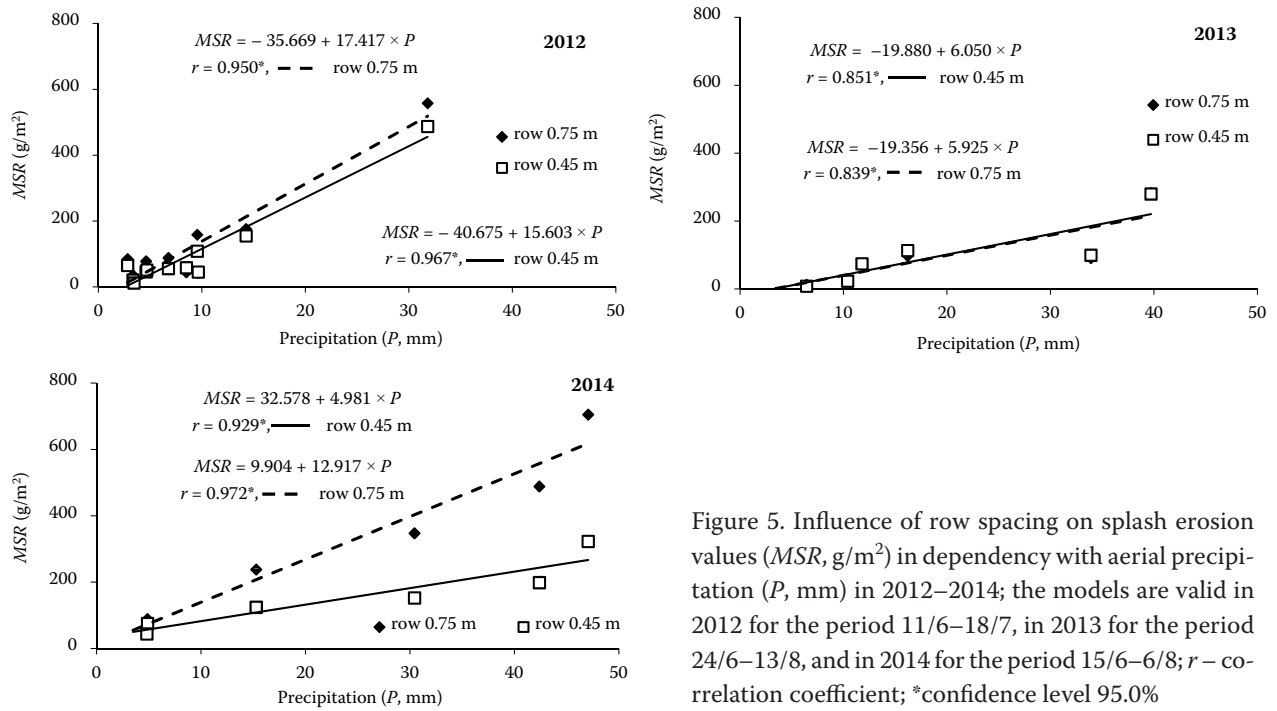


Figure 5. Influence of row spacing on splash erosion values (MSR , g/m^2) in dependency with aerial precipitation (P , mm) in 2012–2014; the models are valid in 2012 for the period 11/6–18/7, in 2013 for the period 24/6–13/8, and in 2014 for the period 15/6–6/8; r – correlation coefficient; *confidence level 95.0%

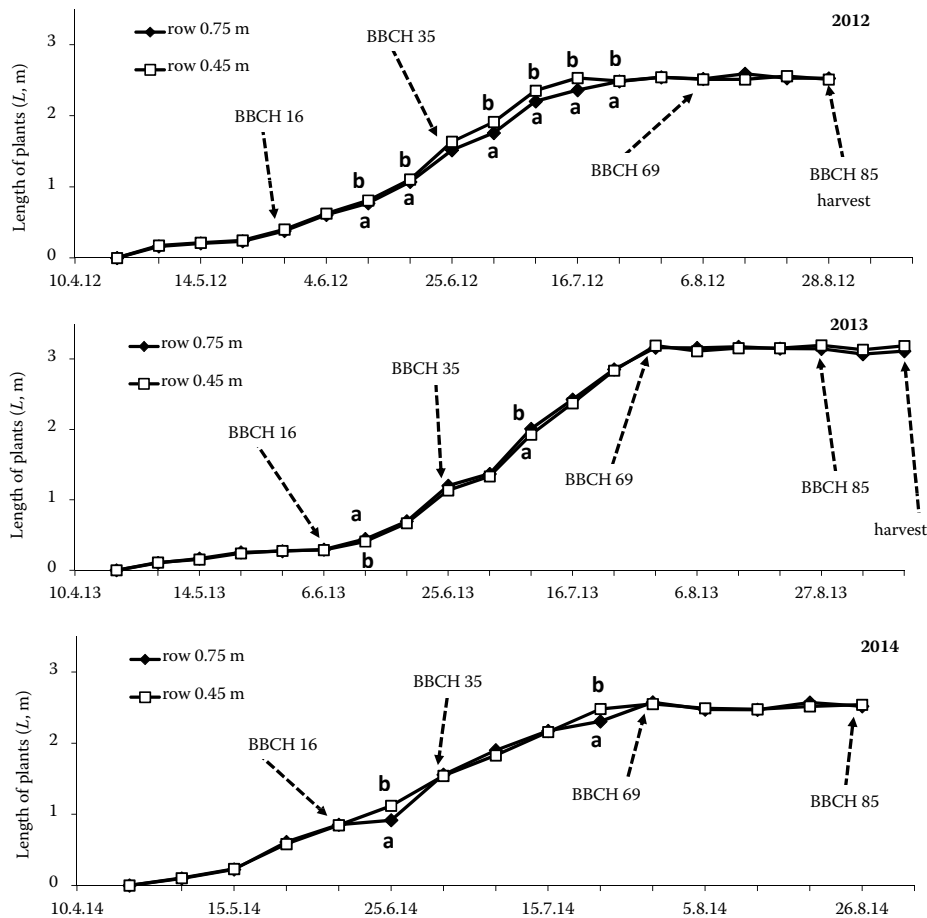


Figure 6. Average values of the length of maize plants (L , m) and BBCH stages in 0.45 m and 0.75 m row spacing within the years 2012–2014; indexes a/b indicate statistically significant differences ($\alpha = 0.05$)

doi: 10.17221/121/2015-SWR

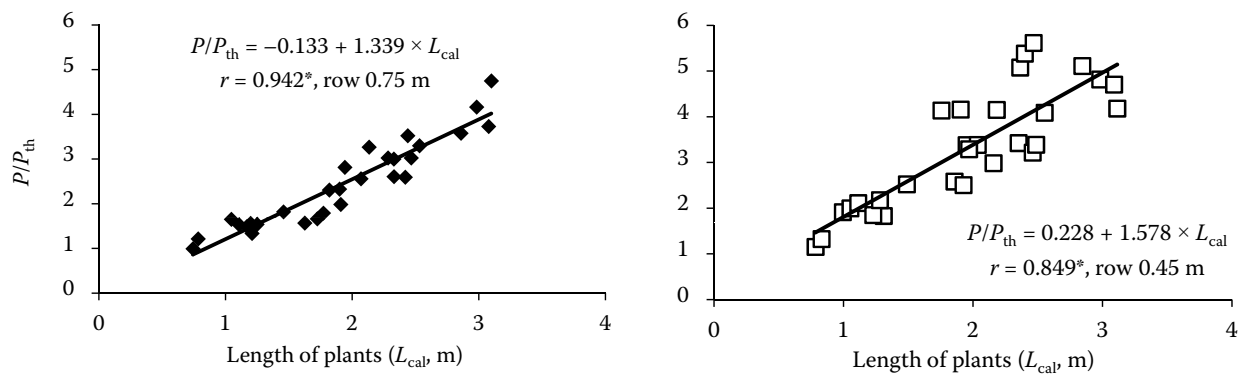


Figure 7. Dependency of the proportion of the aerial precipitation (P , mm) and throughfall (P_{th} , mm) on the calculated length of plants (L_{cal} , m); values of L_{cal} and P/P_{th} used in the models were derived from the periods when the plants were within the phase BBCH 30–70; data from years 2012–2014; r – correlation coefficient; *confidence level 95.0%

Table 6. Stability of soil aggregates (SAS, stable share) at the end of the vegetation period during 2012–2014

Row width (mm)	SAS		
	2/9/2012	13/9/2013	9/9/2014
450	0.29 ^b	0.24 ^a	0.38 ^a
750	0.25 ^a	0.26 ^a	0.36 ^a

Different letters document statistically different averages ($\alpha = 0.05$)

Table 5. In the case of the 0.75 m wide rows, the closest dependency between P_{th} and MSR was observed always in the 125–250 mm zone, in contrast to the soft dependency in the 0–125 mm zone (Table 5).

The mass proportion of the stable aggregates on the total mass of aggregates (SAS) during 2012–2014 years is documented in Table 6. When compared with the 0.75 m wide rows, statistically significant higher values of SAS were observed in the 0.45 m wide rows

in 2012. No statistically significant differences were observed between SAS values in 2013 and 2014.

Plant cover and throughfall. Table 4 illustrates the dynamics of the lengths of plants and BBCH phases during the years 2012–2014. The statistically significant differences in the plants length between the 0.45 and the 0.75 m wide rows are noticeable from Figure 6 in 2012 only. Significantly longer plants in the 0.45 m wide rows from the beginning of the growth elongation phase (BBCH 30) up to the phase of complete flowering (BBCH 67) were observed. The positive correlation between plant length (L_{cal} , m) and P/P_{th} proportion is documented in Figure 7. Values of L_{cal} and P/P_{th} for the season when the plants were in the BBCH phase 30–70 (2012–2014 average) were used in the model. During this period of vegetation, the highest level of dependency between variables was determined. A closer dependency between L_{cal} and P/P_{th} was according to the correlation coefficients estimated in the 0.75 m wide rows. The measured values of LAI for the crops

Table 7. Values of LAI during 2012–2014

Year 2012	Row width (mm)		Year 2013	Row width (mm)		Year 2014	Row width (mm)	
	450	750		450	750		450	750
19/4	0	0	19/4	0	0	15/4	0	0
7/5	0.020	0.018	7/5	0.015	0.013	1/5	0.016	0.011
21/5	0.145	0.108	21/5	0.091	0.106	28/5	0.197	0.203
4/6	0.902	0.778	6/6	0.168	0.255	10/6	0.763	0.738
18/6	2.289	1.932	12/6	0.336	0.462	25/6	2.150	1.597
2/7	4.118	4.117	25/6	2.568	2.621	9/7	3.193	3.604
16/7	4.608	4.118	9/7	4.093	4.432	23/7	3.599	3.642
30/7	4.054	3.828	23/7	4.415	5.043	5/8	3.306	3.724
13/8	3.469	3.904	6/8	4.502	4.635	19/8	3.486	3.764
28/8	2.509	2.619	20/8	4.109	4.714	2/9	3.590	3.198

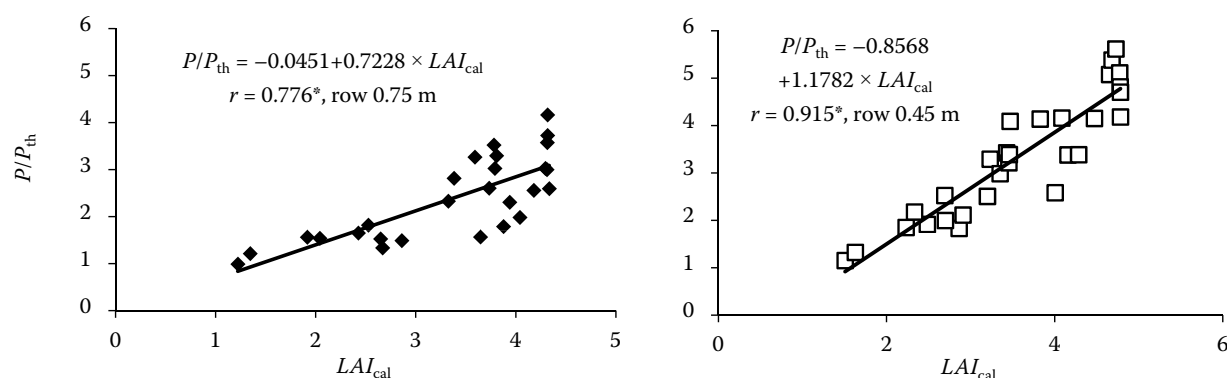


Figure 8. Dependency of the proportion of the aerial precipitation (P , mm) and throughfall (P_{th} , mm) on the calculated values of the leaf area index (LAI_{cal}); values of LAI_{cal} and P/P_{th} used in the models were derived from the periods when the plants were within the phase BBCH 30–70; data from years 2012–2014; r – correlation coefficient; *confidence level 95.0%

evaluated within the years 2012–2014 are included in Table 7. The positive correlation between daily values of LAI_{cal} and P/P_{th} proportion is documented in Figure 8. In this case, the tightest dependency between the variables was according to the correlation coefficients estimated within the BBCH phase 30–70 (2012–2014 average). A closer dependency between LAI_{cal} and P/P_{th} was estimated in the 0.45 m wide crop rows (Figure 8).

DISCUSSION

Precipitation and throughfall. A positive correlation between P/P_{th} (row width 0.45 as well as 0.75 m) was determined in accordance with the results of PALTINEANU and STARR 2000 (Figure 3). P_{th} values in the 0.45 m wide rows were reduced in comparison with the 0.75 m wide rows (Figure 3), especially under the higher precipitation totals. Measurements did not prove the dependency between the P/P_{th} proportion and the precipitation totals (Table 3). However, it is necessary to take into account if this is possible under the conditions of the natural precipitation, discontinuous precipitation data recording, and continuously changing parameters of growth. The highest P/P_{th} proportions were estimated in the centre of inter-rows in the 0.75 m wide row crops, in accordance with BRUCKLER *et al.* 2004. The P/P_{th} proportion decreased toward the row (Figure 4). This fact was probably due to the occurrence of the free inter-row space as a result of the free growing crop, and due to the water drip from leaves in the centre of the inter-row. The effect of the water drip from leaves on the water concentration in the centre of inter-rows and on the increasing splash erosion is pointed out by BRANDT (1989), BRUCKLER *et al.* (2004), and MORGAN (2005).

In the case of the 0.45 m wide rows, these phenomena were not so clearly noticeable (Figure 4). Stands are substantially closed; stem flow plays a crucial role in the rainwater distribution.

ZÁBRANSKÝ *et al.* (2013) proves this fact, introducing higher values of the stem flow in the 0.45 m wide rows compared with the 0.75 m row spacing in maize crops. Under the lower precipitation totals, the proportion of stem flow on the total precipitation is increasing; greater precipitation, *vice versa*, tends to lower the proportion of the stem flow.

Based on the P/P_{th} proportion, a great variability of the actual throughfall as well as of the average values within the inter-rows is noticeable during the evaluated years (Figure 4).

The estimated proportion of P_{th} and P corresponds with the results reported in the literature, whereby this ratio lays within the interval of 34–84%, depending on different sources (QUINN & LAFFLEN 1983; PARKIN & CODLING 1990; BUI & BOX 1992; PALTINEANU & STARR 2000). According to these authors, the variability of crops is the main factor influencing the variability of the throughfall. The variability of P_{th} and P proportion (%) may also be explained by the different totals of precipitation and numbers of precipitation in the individual size category (Table 3). The other factors will certainly include the rain intensity, drops dimension, angle of rain incidence, etc. PALTINEANU and STARR (2000) point out the fact that in maize crop under less intense rain, the proportion of stem flow on the throughfall is increasing. Under more intense rain this proportion is decreasing.

Splash erosion, precipitation, and throughfall. A positive correlation between the precipitation totals (Figure 5), throughfall (Table 5), and MSR values was proved. The positive influence of the narrower line

doi: 10.17221/121/2015-SWR

on the elimination of erosion processes was also determined, due to the estimation of lower *MSR* values on the 0.45 m wide compared with the 0.75 m wide rows (UPPENKAMP 2007; NÜBEL 2008; MOHAMMADI *et al.* 2012). It is explainable by probably higher soil coverage by the leaves and by a greater proportion of stem flow (BUI & BOX 1992; ZÁBRANSKÝ *et al.* 2013). Lower *SAS* values on the 0.45 m compared with 0.75 m rows are highly possible because of high precipitation in the beginning of the vegetation period (5–7 leaf phases), resulting in areal soil loss and its subsequent deposition in the inter-rows. This effect was greater in the 0.45 m than in the 0.75 m rows, and subsequently influenced the evaluation of *SAS*. For this reason, this fact cannot be associated with the influence of vegetation.

Plant cover and throughfall. The experiments proved the positive influence of the length of plants as well as of *LAI* on P/P_{th} values. Throughfall P_{th} in relation to the precipitation *P* values decreased with increasing plant height and *LAI* (Figure 7). This dependency was then proved from the beginning of the stem elongation (BBCH 30) to the end of flowering (BBCH 70). This fact is explainable by the increase of the crop cover from phase BBCH 30, because of intensive leaf growth and greater soil coverage. From the end of flowering, the leaves arrangement changed (the angle of leaf blade increased) and the upper half of leaves bent toward the soil surface. Simultaneously, necrosis may result in the death of lower leaves of plants from this stage. These facts are likely to have a subsequent influence on the overall soil coverage and the proportion of the water drip from leaves and the stem flow. Finally, all of this modifies the influence of the crop on the rain water distribution.

According to the estimation of the influence of the crop, closer dependency between L_{cal} and P/P_{th} was proved in the 0.75 m wide crop rows (Figure 7). In the 0.45 m wide rows, a greater influence of *LAI* to P/P_{th} ratio was observed (Figure 8). This fact could be explained by a probably higher soil coverage by leaves in the 0.45 m wide rows. The length of plant may be the factor strongly influencing the angle of the precipitation incidence in the case of the 0.75 m row spacing.

CONCLUSIONS

The presented results may be summarized as follows:

- For the 0.45 m wide compared to the 0.75 m wide crop rows, a decrease of throughfall in the BBCH phase 30–70 was observed.
- Reduction of lines width from 0.75 m to 0.45 m in maize resulted in decreasing splash erosion.

- Narrower lines (0.45 m) did not provably impact the splash erosion in the beginning of the vegetation period if compared with wider lines (0.75 m).
- In general, in both evaluated crops the protective influence of vegetation was decreased with the beginning of the senescence phase.

Acknowledgements. Supported by the Ministry of Agriculture of the Czech Republic, Project No. QJ1530181. The authors thank the companies Farnet, Inc. and Kverneland Group Czech, Ltd., for technical support.

References

- Andrade F.H., Calviño P., Cirilo A., Barbieri P. (2002): Yield responses to narrow rows depend on increased radiation interception. *Agronomy Journal*, 94: 975–980.
- Barbieri P.A., Sainz Rozas H., Andrade F.H., Echeverría H.E. (2000): Row spacing effects at different levels of nitrogen availability in maize. *Agronomy Journal*, 92: 283–288.
- Barbieri P.A., Echeverría H.E., Sainz Rozas H.R., Andrade F.H. (2008): Nitrogen use efficiency in maize as affected by nitrogen availability and row spacing. *Agronomy Journal*, 100: 1094–1100.
- Bollinne A. (1975): The measurement of the intensity of splash on loamy soils. Soil application technique and first results. *Pédologie*, 25: 199–210. (in French)
- Brandt C.J. (1989): The size distribution of throughfall drops under vegetation canopies. *Catena*, 16: 507–524.
- Bruckler L., Lafolie F., Doussan C., Bussièrès F. (2004): Modeling soil-root water transport with non-uniform water supply and heterogeneous root distribution. *Plant and Soil*, 260: 205–224.
- Bui E.N., Box J.E. Jr. (1992): Stemflow, rain throughfall, and erosion under canopies of corn and sorghum. *Soil Science Society of America Journal*, 56: 242–247.
- de Moraes Frasson R.P., Krajewski W.F. (2011): Characterization of the drop-size distribution and velocity–diameter relation of the throughfall under the maize canopy. *Agricultural and Forest Meteorology*, 151: 1244–1251.
- de Moraes Frasson R.P., Krajewski W.F. (2013): Rainfall interception by maize canopy: Development and application of a process-based model Renato Prata. *Journal of Hydrology*, 489: 246–255.
- Dekker L.W., Ritsema C.J. (1997): Effect of maize canopy and water repellency on moisture patterns in a Dutch black plaggen soil. *Plant and Soil*, 195: 339–350.
- Farnham D.E. (2001): Row spacing, plant density, and hybrid effects on corn grain yield and moisture. *Agronomy Journal*, 93: 1049–1053.
- Hudson N. (1995): *Soil Conservation*. Ames, Iowa State University Press.
- Hupet F., Vanclooster M. (2005): Micro-variability of hydrological processes at the maize row scale: implications for

- soil water content measurements and evapotranspiration estimates. *Journal of Hydrology*, 303: 247–270.
- Johnson G.A., Hoverstad T.R., Greenwald R.E. (1998): Integrated weed management using narrow corn row spacing, herbicides, and cultivation. *Agronomy Journal*, 90: 40–46.
- Kinnell P.I.A. (1991): The effect of flow depth on sediment transport induced by raindrops impacting shallow flows. *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers*, 34: 161–168.
- Leguédou S., Planchon O., Legout C., Le Bissonnais Y. (2005): Splash projection distance for aggregated soils: Theory and experiment. *Soil Science Society of America Journal*, 69: 30–37.
- LfL (2010): Hinweise zur bayerischen Erosionsschutzverordnung (ESchV). Freising, Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL).
- Liu H., Zhang R., Zhang L., Wang X., Li Y., Huang G. (2015): Stemflow of water on maize and its influencing factors. *Agricultural Water Management*, 158: 35–41.
- Mannering J.V., Johnson C.B. (1969): Effect of crop row spacing on erosion and infiltration. *Agronomy Journal*, 61: 902–905.
- Martello M., Dal Ferro N., Bortolini L., Morari F. (2015): Effect of incident rainfall redistribution by maize canopy on soil moisture at the crop row scale. *Water*, 7: 2254–2271.
- Meier U. (ed.) (2001): Growth Stages of Mono- and Dicotyledonous Plants. BBCH Monograph, 2nd Ed., Berlin, Braunschweig, Federal Biological Research Centre for Agriculture and Forestry.
- Miole R.N., Visco R.G., Magcale-Macandog D.B., Abucay E.R., Gascon A.F., Castillo A.S.A. (2011): Growth performance, crop productivity, and water and nutrient flows in *Gmelina arborea* Roxb. – *Zea mays* hedgerow systems in Southern Philippines. *Philippine Journal of Crop Science*, 36: 34–44.
- Mohammadi G.R., Ghobadi M.E., Sheikheh-Poor S. (2012): Phosphate biofertilizer, row spacing and plant density effects on corn (*Zea mays* L.) yield and weed growth. *Journal of Plant Sciences*, 3: 425–429.
- Morgan R.P.C. (2005): *Soil Erosion and Conservation*. 3rd Ed. Oxford, Blackwell Publishing.
- Neave M., Abrahams A.D. (2002): Vegetation influences on water yields from grassland and shrubland ecosystems in the Chihuahuan Desert. *Earth Surface Processes and Landforms*, 27: 1011–1020.
- Nübel V. (2008): 75cm Reihenabstand im Maisanbau Zeitgemäß? Saarbrücken, VDM Verlag Dr. Müller.
- Ottman M.J., Welch L.F. (1989): Planting pattern and radiation interception, plant nutrient concentration, and yield in corn. *Agronomy Journal*, 81: 167–174.
- Paltineanu I.C., Starr J.L. (2000): Preferential water flow through corn canopy and soil water dynamics across rows. *Soil Science Society of America Journal*, 64: 44–54.
- Parkin T.B., Codling E.E. (1990): Rainfall distribution under a corn canopy: Implications for managing agrochemicals. *Agronomy Journal*, 82: 1166–1169.
- Pimentel D. (2006): Soil erosion: A food and environmental threat. *International Journal of Environment and Sustainable Development*, 8: 119–137.
- Pivec J., Brant V., Moravec D. (2006): Analysis of the potential evapotranspiration demands in the Czech Republic between 1961–1990. *Biologia*, 61: 294–299.
- Poesen J., Torri D. (1988): The effect of cup size on splash detachment and transport measurements: Part I. Field measurements. *Catena*, 12: 113–126.
- Quansah C. (1981): The effect of soil type, slope, rain intensity and their interactions on splash detachment and transport. *Journal of Soil Science*, 32: 215–224.
- Quinn N.W., Laflen J.M. (1983): Characteristics of raindrop throughfall under corn canopy. *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers*, 26: 1445–1450.
- Richter G. (1998): Bodenerosion. Analyse und Bilanz eines Umweltproblems. Darmstadt, Wissenschaftliche Buchgesellschaft.
- Sangoi L., Salvador R.J. (1998): Influence of plant height and leaf number on maize production at high plant densities. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 33: 297–306.
- Sharma P.P., Gupta S.C., Rawls W.J. (1991): Soil detachment by single raindrops of varying kinetic energy. *Soil Science Society of America Journal*, 55: 301–307.
- Uppenkamp N. (2007): Praxiserfahrungen mit der Maisensaat. *Mais*, 34: 26–28.
- van Dijk P.M., van der Zijp M., Kwaad F.J.P.M. (1996): Soil erodibility parameters under various cropping systems of maize. *Hydrological Processes*, 10: 1061–1067.
- van Dijk A.I.J.M., Meesters A.G.C.A., Bruijnzeel L.A. (2002): Exponential distribution theory and the interpretation of splash detachment and transport experiments. *Soil Science Society of America Journal*, 66: 1466–1474.
- Wainwright J. (1996): Infiltration, runoff and erosion characteristics of agricultural land in extreme storm events, SE France. *Catena*, 26: 27–47.
- Zábranský P., Brant V., Pivec J., Gemerlová M., Kroulík M. (2013): The influence of the structure stands maize sown in the distribution of rainfall. In: Vliv abiotických a biotických stresorů na vlastnosti rostlin 2013. Prague, CRI: 310–313.

Received for publication June 29, 2015

Accepted after corrections May 18, 2016

Published online October 31, 2016

THE VALUES OF CROP COEFFICIENTS AND BOWEN RATIO OF FIELD CROPS IN AREAS WITH INSUFFICIENT PRECIPITATION IN CENTRAL EUROPE[†]

PETR ZÁBRANSKÝ, JAN PIVEC*, VÁCLAV BRANT, MILAN KROULÍK AND MICHAELA ŠKEŘÍKOVÁ

Czech University of Life Sciences Prague, Department of Agroecology and Biometeorology, Prague, Czech Republic

ABSTRACT

The aim of this study, based on measurements of actual evapotranspiration of vegetation, was to determine the values of the crop coefficient (K_c) for selected crops and the effect of growth on the dissipation of radiation energy. The actual evapotranspiration (ET_a , mm day⁻¹) of *Beta vulgaris*, *Hordeum vulgare*, *Medicago sativa*, *Sorghum bicolor*, *Triticum aestivum* and *Zea mays* were measured under field conditions during 2007–2012 by the Bowen ratio energy balance (BREB) method. The values of potential evapotranspiration (ET_0 , mm day⁻¹) and the dynamics of the above-ground dry biomass production and values of the water productivity (WP, g H₂O kg⁻¹) were estimated. In the cereals, up to the onset of the ripening stage, the typical values of β (Bowen ratio) had exceeded 1.0. Crops such as *M. sativa*, *B. vulgaris*, *S. bicolor* and *Z. mays* had contributed significantly more to the elimination of heating of the atmosphere than cereals. In the cereals (*H. vulgare* and *T. aestivum*) the K_c values varied around 1.0 up to the onset of the ripening phase. Thereafter the K_c values decreased to 0.5. Higher values of WP compared with *H. vulgare* and *T. aestivum* were indicated by *Z. mays* and *S. bicolor* stands. Copyright © 2015 John Wiley & Sons, Ltd.

KEY WORDS: evapotranspiration; energy dissipation; alfalfa; maize; sorghum; spring barley; winter wheat

Received 17 March 2014; Revised 18 August 2014; Accepted 18 August 2014

RÉSUMÉ

Le but de cette étude est la mesure de l'évapotranspiration réelle de la végétation afin de déterminer les valeurs du coefficient cultural (K_c) pour certaines cultures, et l'effet de la croissance sur la dissipation d'énergie par rayonnement. L'évapotranspiration réelle (ET_a , mm jour⁻¹) de *Beta vulgaris*, *Hordeum vulgare*, *Medicago sativa*, *Sorghum bicolor*, *Triticum aestivum* et *Zea mays* a été déterminée dans des conditions de terrain de 2007 à 2012 par la méthode du bilan d'énergie mesuré par le rapport de Bowen (BREB). Les valeurs de l'évapotranspiration potentielle (ET_0 , mm jour⁻¹), la dynamique de la production de biomasse aérienne sèche et des valeurs de l'efficacité de l'utilisation de l'eau (WP, g H₂O kg⁻¹) ont été estimées. Pour les céréales, jusqu'à la phase de maturation, les valeurs typiques de β (rapport de Bowen) ont dépassé 1.0. Des cultures telles que *M. sativa*, *B. vulgaris*, *S. bicolor* et *Z. mays* ont contribué de manière plus significative à l'élimination du réchauffement de l'atmosphère que les céréales. Pour les céréales (*H. vulgare* et *T. aestivum*), les valeurs de K_c variaient autour de 1.0 jusqu'à l'apparition de la phase d'affinage. Ensuite, les valeurs de K_c ont diminué à 0.5. *H. vulgare* et *T. aestivum* ont fourni des valeurs plus élevées de WP que des peuplements de *Z. mays* et de *S. bicolor*. Copyright © 2015 John Wiley & Sons, Ltd.

MOTS CLÉS: évapotranspiration; dissipation de l'énergie; luzerne; maïs; sorgho; orge de printemps; blé d'hiver

INTRODUCTION

Knowledge of actual evapotranspiration values of cultivated plants is a prerequisite for understanding the impact of

agriculture on the environment, and it is also the basis for the elimination of the negative effects of agricultural activities on the water balance in the countryside. From the practical point of view, knowledge of crop evapotranspiration can be applied to the stabilization of the water balance in terms of influencing the final stand structure plus the duration and time of the onset of developmental stages of the crop (San José *et al.*, 2003).

The values of crop transpiration depend on management, such as nutrient supply (Shepherd *et al.*, 1987), date of

*Correspondence to: Jan Pivec, Czech University of Life Sciences Prague, Department of Agroecology and Biometeorology, Kamýcká 957, 165 21 Prague 6-Suchbát, Czech Republic. Tel.: + 420 224382775, Fax: + 420 234381840. E-mail: pivec@af.czu.cz

[†]Les valeurs de coefficients culturaux et Bowen ratio de cultures dans les zones à précipitations insuffisantes d'Europe Centrale.

sowing (Connor *et al.*, 1992) and the species or variety of crops (Eastham and Gregory, 2000). The energy fluxes should be taken into account. The water use efficiency (Corbeels *et al.*, 1998; Asseng and Hsiao, 2000), as well as the assessment of energy flow and transformation of energy in the landscape, should also be specified (Ripl, 1995). The energy balance components, especially the sensible heat flux, are strongly affected by the leaf area index and plant height during all developmental stages of the canopy. The results showed that dry matter weight is totally independent of energy dissipation (Souza *et al.*, 2008). Determination of the actual values of evapotranspiration (ET_a) for the calculation of the crop coefficient is also important (e.g. Hanson and May, 2006; Kato and Kamichika, 2006). Knowledge of crop coefficient values allows the subsequent determination of ET_a (Allen *et al.*, 1998). Values of K_c typically vary in relation to the changes in vegetative growth until effective full cover is attained (Hunsaker *et al.*, 2003). After full cover, the K_c will tend to decline, depending on the particular growth characteristics of the crop (Jensen *et al.*, 1990).

Problems with the determination of ET_a and K_c are intensively studied mainly in arid and semi-arid areas, particularly in relation to irrigation questions (e.g. Asseng and Hsiao, 2000; Hanson and May, 2006). The values of K_c in crops stands for the initial stage, the mid-season stage and at the end of the late-season stage are presented by Allen *et al.* (1998). Knowledge of ET_a and production of biomass crops also allow the determination of water productivity. WP greatly depends on the climate, good moisture conditions in the environment in relation to the demands of transpiration and photosynthesis intensity of individual plants and crops (Abbate *et al.*, 2004). The values of WP are also influenced by agronomic practices, particularly by irrigation and fertilization (Zhang *et al.*, 1998; Asseng *et al.*, 2001; Gaiser *et al.*, 2004).

Generally, information about the values of K_c in central Europe is limited. The aim of this work was based on measurements of the actual evapotranspiration of vegetation to determine the values of K_c for selected crops (*Beta vulgaris*, *Hordeum vulgare*, *Medicago sativa*, *Sorghum bicolor*,

Triticum aestivum and *Zea mays*) during the growing season. At the same time, the effect of vegetation growth on the dissipation of the radiation balance into sensible and latent heat energy was also evaluated with regard to the potential degradability of agroecosystems.

MATERIALS AND METHODS

The measurements of actual evapotranspiration were carried out during the period of 2007–2012 in the Budihostice locality—Central Bohemia (50°04'34.45" N, 14°09'22.351" E), 220 m + MSL (mean sea level) and Haplic Chernozem soil type. Potential evapotranspiration slightly exceeded the precipitation totals (P/E_0 was around 0.7–0.8) in the normal period (1961–1990) for the Budihostice locality (Pivec *et al.*, 2006). The precipitation totals for the normal period (Pivec *et al.*, 2005) was 500–600 mm yr⁻¹.

The size of experimental area was at least 1 ha on regular agricultural land. Ploughing was carried out on all evaluated areas. The observed plots were under rainfed conditions. The dose of fertilizers was the same through the whole period of observation. Measurements were carried out in the stands of *Beta vulgaris* (sugar beet), *Hordeum vulgare* (spring barley) *Medicago sativa* (alfalfa), *Sorghum bicolor* (silage sorghum), *Triticum aestivum* (winter wheat) and *Zea mays* (silage maize). Table I provides a review of the periods of observations in the evaluated crops. The precipitation (P , mm day⁻¹, rain gauge SR 03, 0.05 m², Fiedler, CZ) was also measured in the same period.

The Bowen ratio energy balance (BREB) method is based on the air temperature and humidity gradients, which are measured above the evaporating surface (Woodward and Sheehy, 1983):

$$\beta = \frac{H}{\lambda ET} = \gamma \frac{dT}{de} \quad (1)$$

in which H is a flow of sensible heat, λET a flow of latent heat, λ specific heat of vaporization, ET evapotranspiration, γ a psychrometric constant 0.66 hPa °C⁻¹, and dT/de a

Table I. The periods of measurements of actual evapotranspiration for individual crops

Agricultural crop	Year	Period	Agricultural crop	Year	Period
<i>B. vulgaris</i>	2008	13.6.–3.10.	<i>T. aestivum</i>	2009	12.4.–23.7.
	2012	6.6.–22.9.		2010	10.2.–14.8.
<i>H. vulgare</i>	2007	22.4.–17.7.	<i>Z. mays</i>	2009	23.4.–31.8.
	2011	4.5.–24.7.		2010	9.6.–14.9.
<i>M. sativa</i>	2009	20.3.–30.11.	2011	16.6.–6.9.	
<i>S. bicolor</i>	2010	8.6.–10.9.	2012	3.6.–24.8.	
	2011	15.6.–6.9.			
	2012	6.6.–27.8.			

Table II. The dependency of the actual evapotranspiration of stands (ET_{am} , $mm\ h^{-1}$, average values for the 10 min interval) on the values of potential evapotranspiration (ET_0 , $mm\ h^{-1}$, the average value calculated for the 10 min interval) in the years 2007–2012

Year	Plant	Model
2007	<i>H. vulgare</i>	$ET_{am} = 0.0441 + 0.4760*ET_0$, $r = 0.659$, $n = 5778$, confidence level = 99%
2008	<i>B. vulgaris</i>	$ET_{am} = 0.0024 + 0.9902*ET_0$, $r = 0.964$, $n = 1689$, confidence level = 99%
2009	<i>M. sativa</i>	$ET_{am} = 0.0172 + 0.7440*ET_0$, $r = 0.867$, $n = 20832$, confidence level = 99%
	<i>T. aestivum</i>	$ET_{am} = 0.0375 + 0.5688*ET_0$, $r = 0.756$, $n = 7142$, confidence level = 99%
	<i>Z. mays</i>	$ET_{am} = 0.0163 + 0.6237*ET_0$, $r = 0.710$, $n = 10762$, confidence level = 99%
2010	<i>S. bicolor</i>	$ET_{am} = 0.0122 + 0.6263*ET_0$, $r = 0.813$, $n = 5264$, confidence level = 99%
	<i>T. aestivum</i>	$ET_{am} = 0.0373 + 0.7912*ET_0$, $r = 0.849$, $n = 11508$, confidence level = 99%
	<i>Z. mays</i>	$ET_{am} = 0.0066 + 0.7344*ET_0$, $r = 0.906$, $n = 6654$, confidence level = 99%
2011	<i>H. vulgare</i>	$ET_{am} = 0.0109 + 0.8226*ET_0$, $r = 0.844$, $n = 5751$, confidence level = 99%
	<i>S. bicolor</i>	$ET_{am} = 0.0052 + 0.6262*ET_0$, $r = 0.894$, $n = 5907$, confidence level = 99%
	<i>Z. mays</i>	$ET_{am} = 0.0020 + 0.6594*ET_0$, $r = 0.909$, $n = 6562$, confidence level = 99%
2012	<i>B. vulgaris</i>	$ET_{am} = 0.0199 + 0.6461*ET_0$, $r = 0.845$, $n = 5950$, confidence level = 99%
	<i>S. bicolor</i>	$ET_{am} = 0.0078 + 0.8403*ET_0$, $r = 0.946$, $n = 3926$, confidence level = 99%
	<i>Z. mays</i>	$ET_{am} = -0.0112 + 0.6506*ET_0$, $r = 0.911$, $n = 6455$, confidence level = 99%

r = correlation coefficient, n = number of variables.

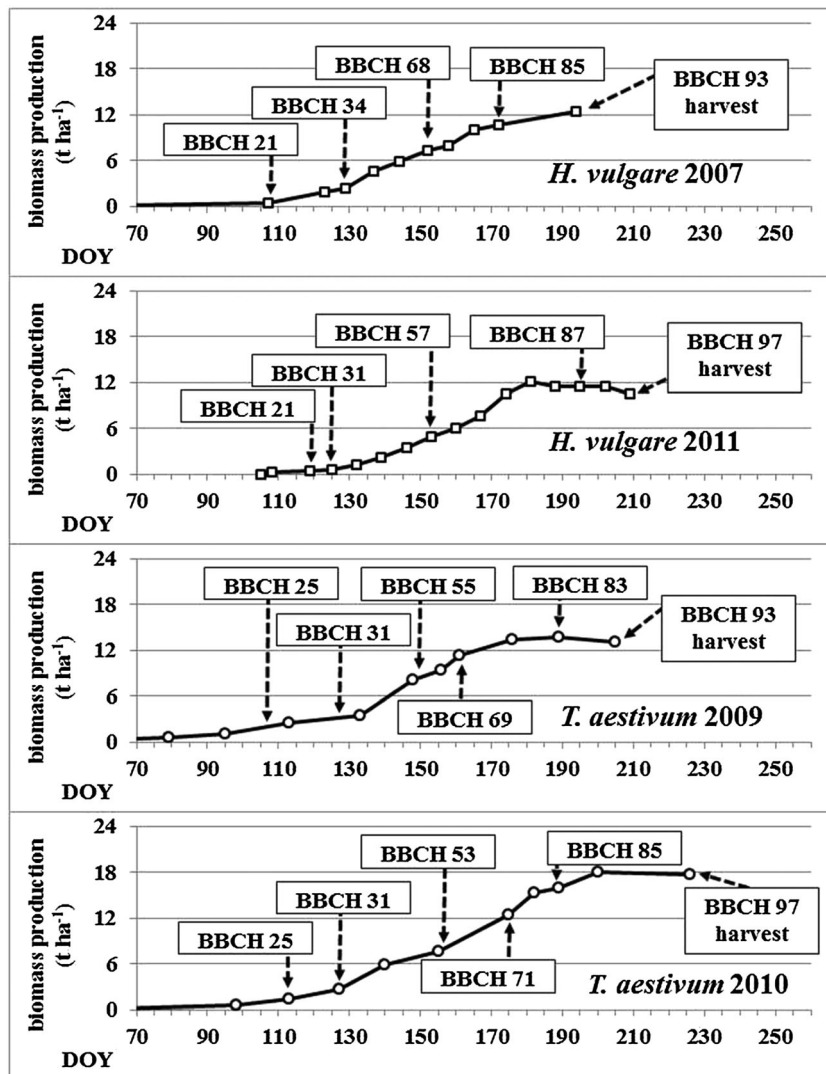


Figure 1. Production of the dry above-ground biomass ($t\ ha^{-1}$) and BBCH growth stage of *H. vulgare* (2007 and 2011) and *T. aestivum* stands (2009 and 2010)

temperature/humidity gradient of air at two levels above the evaporating surface.

If the radiation balance is $Rn = H + \lambda ET$, then

$$ET = \frac{Rn}{\lambda(1 + \beta)} \quad (2)$$

The values of net radiation, measured directly by the balance meter (Schenk, AU) were corrected with a soil heat flux, located 0.1 m below the soil surface by the self-calibrated heat flux plate (Huxeflux, NL) sensors. BREB systems (EMS Brno, CZ) were used for measuring ET_{am} ($mm\ h^{-1}$); the distance between the lower and upper levels

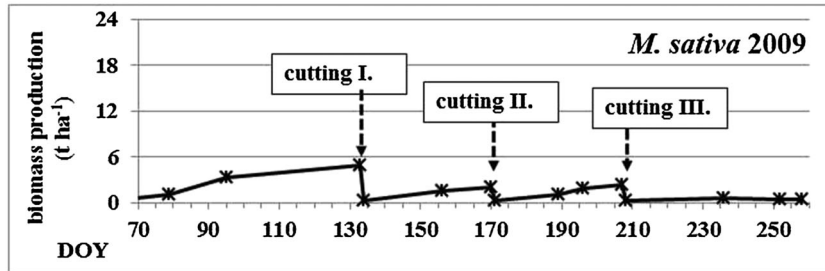


Figure 2. Production of the dry above-ground biomass ($t\ ha^{-1}$) of *M. sativa* stands (2009)

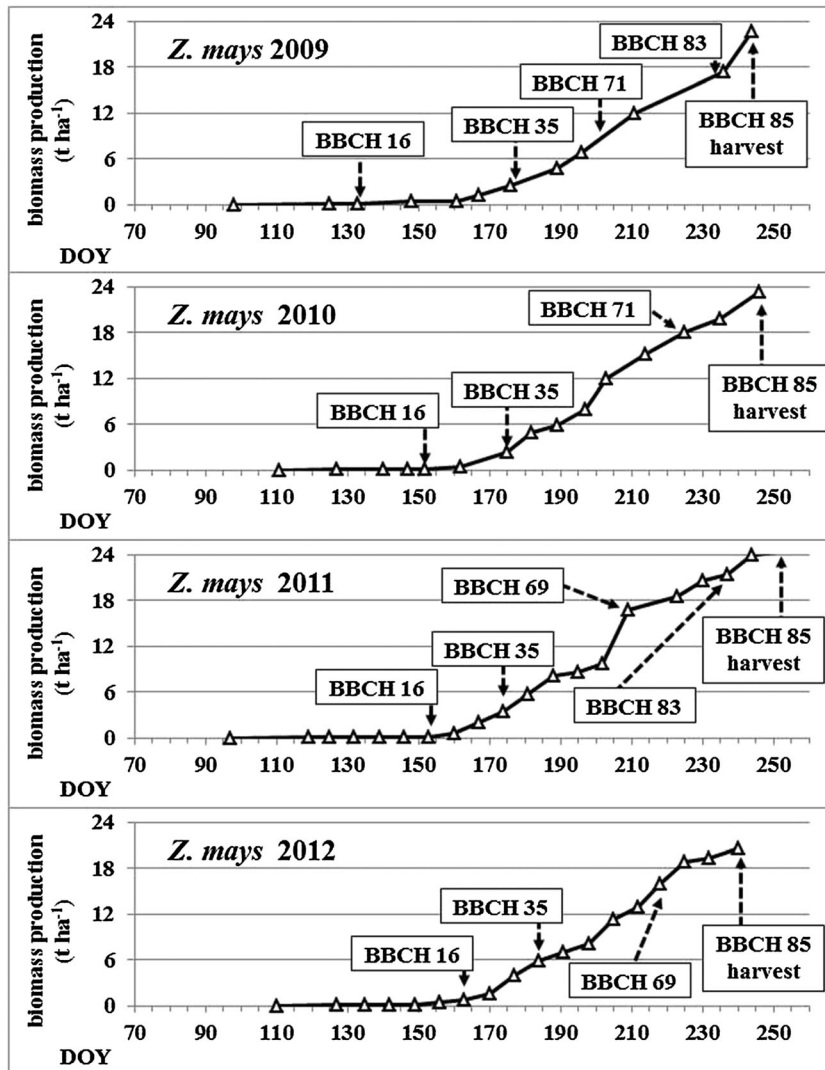


Figure 3. Production of the dry above-ground biomass ($t\ ha^{-1}$) and BBCH growth stage of *Z. mays* stand (from 2009 to 2012)

of measurements was always 1.5 m. The systems were always situated in the central area (square-shaped, 1 ha at least) of the experimental plots. Within the measurements the values of actual evapotranspiration, ET_{am} ($mm\ h^{-1}$ within the 10 min interval) were obtained. The missing values of ET_{am} were filled in by values of reference evapotranspiration (ET_0 , $mm\ h^{-1}$), calculated by Allen *et al.* (1998). The dependency between ET_{am} ($mm\ h^{-1}$) and ET_0 ($mm\ h^{-1}$) is documented in Table II. When the missing values of ET_{am} were filled in, the daily values of ET_a were calculated ($mm\ day^{-1}$). The daily values of K_c were determined by the relationship $ET_a = ET_0 \times K_c$ (ET_a , ET_0 , $mm\ day^{-1}$). The values of the specific heat of vaporization (λ , $J\ g^{-1}$) were estimated according to Hooghart (1971):

$$\lambda(T) = 2501 - 2.38T \quad (3)$$

For the evaluated vegetation stands the production of dry above-ground biomass (except *B. vulgaris*) and growth stage were also continuously assessed. Above-ground biomass of *H. vulgare*, *M. sativa* and *T. aestivum* was assessed by biomass production per m^2 (10 plots per experimental area). For *S. bicolor* and *Z. mays* the above-ground biomass was assessed using the average plant weight and number of plants per unit area (collection of 20 plants on each date of biomass production evaluation). BBCH growth stages for

the monitored crops (except *S. bicolor*) were evaluated according to Meier (2001) and the growth stage (GS) for *S. bicolor* according to Vanderlip (1993). The BBCH-scale (Biologische Bundesanstalt, Bundessortenamt und Chemische Industrie) is a scale used to identify the phenological development stages of a plant. Values of WP (g of dry matter $kg^{-1}\ H_2O$) were determined as a ratio of the increment of total dry above-ground biomass ($g\ m^{-2}$) and the sum of the ET_a ($kg\ m^{-2}$) for the period.

Calculations of ET_{am} ($mm\ h^{-1}$), ET_0 ($mm\ h^{-1}$) and ET_a ($mm\ day^{-1}$) were performed using the software Mini 32, version 402.75 and the Statgraphics[®]Plus, version 4.0 regression analysis program.

RESULTS AND DISCUSSION

Figure 1 documents the above-ground biomass production and basic BBCH stages at evaluated stands of *H. vulgare* and *T. aestivum*. Total production of the dry above-ground biomass at harvest time was $12.4\ t\ ha^{-1}$ (2007) and $10.5\ t\ ha^{-1}$ (2011) for *H. vulgare*, and $13.1\ t\ ha^{-1}$ (2009) and $18.0\ t\ ha^{-1}$ (2010) for *T. aestivum*. Figure 2 demonstrates the dynamics of the production of the dry above-ground biomass in *M. sativa* and times of individual cuttings

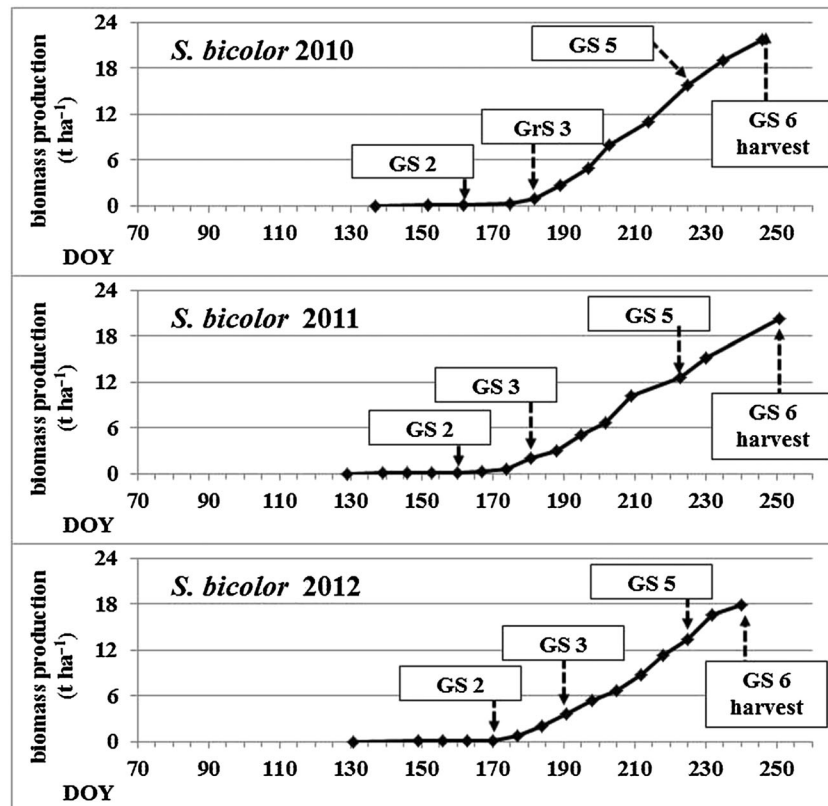


Figure 4. Production of the dry above-ground biomass ($t\ ha^{-1}$) and growth stage (GS) of *S. bicolor* stand (from 2010 to 2012)

(cuttings I–III). Production of dry above-ground biomass of *Z. mays* at harvest time ranged from 20.6 to 24.3 t ha⁻¹ (Figure 3), in *S. bicolor* the corresponding values were within the range of 17.8–20.2 t ha⁻¹ (Figure 4) in the evaluated years. Points on the graph represent the date of sampling of total above-ground biomass.

Values of β around 1 indicate that the available energy is evenly dissipated as H and E . Values lower than 1 show the most evapotranspiration, while β greater than 1 indicates a greater proportion of the available energy which is dissipated as sensible heat into the atmosphere (Beringer *et al.*, 2003). Figure 5 shows an unequal effect of vegetation on the values of β during the growing season. For the cereals a typical β value is above 1 with the onset of BBCH stage 80 (ripening stage)—Figures 1 and 5. During this period, crops begin to get older, dry up and reduce their transpiration. The crops of *B. vulgaris* showed significantly low values of β during the whole measurement (second half of the vegetation period), i.e. most of the energy was used for evaporation. Low values of β were also determined at stands of *M. sativa* throughout the whole vegetation period. The increase in β values for *M. sativa* was always recorded after cuttings (day of the year: 134, 171 and 208)—Figures 1 and 5. The increase in values of β in the crops of *M. sativa* after cuttings is also described by Asseng and Hsiao (2000). Crops of *S. bicolor* and *Z. mays* also document the β value as being rather lower than 1 by the second half of the vegetation period (Figure 5). Based on a comparison of β values, crops such as *M. sativa*, *B. vulgaris*, *S. bicolor*, and *Z. mays* can contribute notably more to the elimination of heating of the atmosphere (particularly in the period from June to August) than cereals (Figure 5). Cereal maturation and subsequent harvesting of these crops conversely contribute to the increase of β values and then heat up the atmosphere. From the viewpoint of elimination of the heating of the atmosphere, not only are the landscape structure (Ripl, 1995) and the actual proportion of agricultural land in the landscape (Pokorný, 2001) important. The structure of crops in the arable land itself also has a crucial role. The generally described decrease of β values in the middle of the season is not obvious from Figure 5. The course of β values was fully dependent on the soil moisture conditions of the site (the crops were not irrigated), and the effect of the given year conditions was the cause of the differences between the values of β when comparing crops such as *H. vulgare*, *T. aestivum* and *Z. mays* (years 2009 and 2010).

Table III documents the average values of ET_a and K_c for the selected vegetation period in the evaluated crops. The average value of ET_a in *T. aestivum* ranged from 1.9 to 4.1 mm day⁻¹ (values from the years of 2009 and 2010). The average daily ET_a of *T. aestivum* varied from less than 1 mm day⁻¹ in the early growing period to more than 4 mm day⁻¹ at the milking stage under Indian conditions

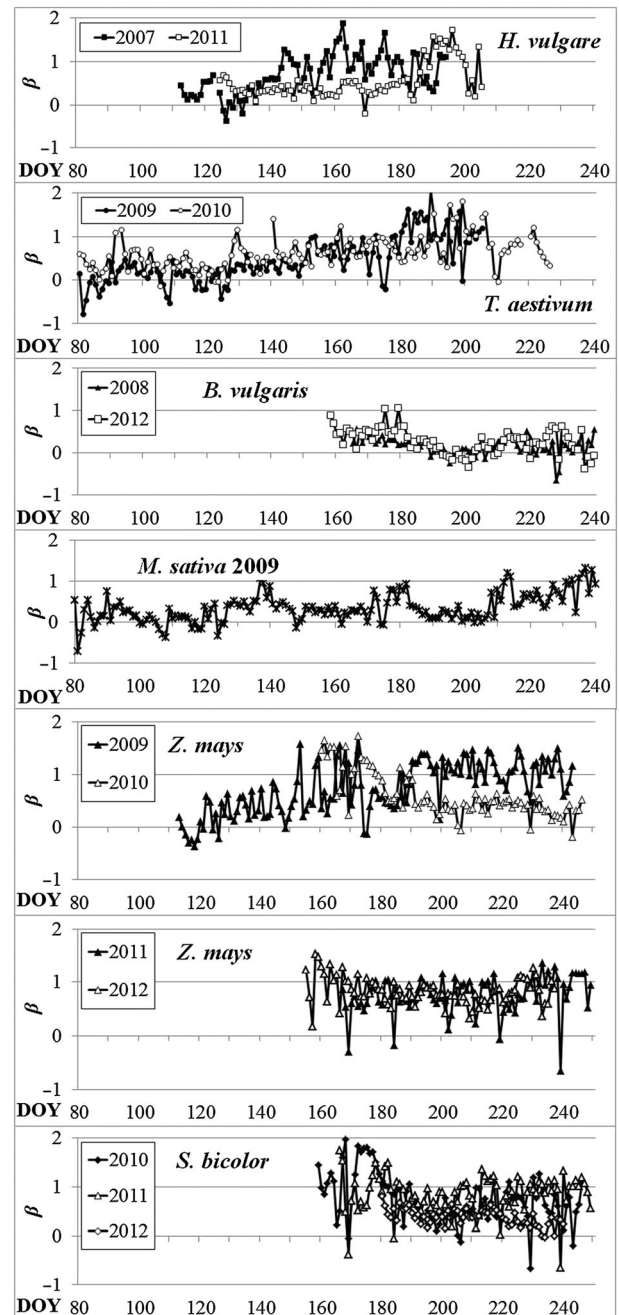


Figure 5. Daily values of Bower ratio (β) for the evaluated crops in 2007–2012

(Tyagi *et al.*, 2000). For *H. vulgare* the corresponding values were in the range from 1.5 to 4.4 mm day⁻¹ (2007 and 2011 values). Stands of *Z. mays* were characterized by ET_a values ranging from 1.8 to 4.9 mm day⁻¹ (2009–2012 values). For *S. bicolor* the corresponding values were in the range 0.39–3.29 mm day⁻¹ (2010–2012 values). According to Tyagi *et al.* (2000), in the case of *S. bicolor*, ET_a was 3 mm day⁻¹ at the initial stage, achieved a peak

Table III. Average daily values of actual evapotranspiration of crops (ET_a mm day⁻¹) and crop coefficient (K_c) of stands for the selected vegetation periods

Plant	Year	Period (DOY)																		
		81-90	91-100	101-110	111-120	121-130	131-140	141-150	151-160	161-170	171-180	181-190	191-200	201-210	211-220	221-230	231-240			
<i>B. vulgaris</i>	2008 ET_a								3.3	4.8	4.8	3.4	4.2	3.4	3.0	3.5				
	K_c								1.02	1.03	1.04	1.17	1.10	0.74	1.02	0.98				
2012	ET_a							2.9		4.0	4.3	4.4	3.8	3.4	4.2					
	K_c							0.79		0.60	0.78	0.87	0.93	0.78	0.72	0.77				
<i>H. vulgare</i>	2007 ET_a			3.9	2.9	3.8	2.8	2.9	2.5	2.4	2.7	2.4								
	K_c			1.14	1.29	1.17	1.13	1.09	1.20	1.73	1.35	1.34								
2011	ET_a					3.8	3.4	4.1	3.7	4.1	2.4	2.3								
	K_c					0.96	1.03	0.99	0.95	0.97	0.73	0.50								
<i>M. sativa</i>	2009 ET_a	1.8	3.1	3.9	4.2	3.2	2.9	3.5	4.3	2.5	3.8	3.6	4.0	2.8	2.0					
	K_c	1.31	0.97	1.19	1.05	0.99	0.89	1.12	1.17	1.00	0.96	1.08	0.98	0.64	0.51					
2010	ET_a							2.7	2.7	2.2	3.0	3.7	2.7	2.1	2.2					
	K_c							0.58	0.75	0.50	0.63	0.78	0.78	0.72	0.65	0.66				
2011	ET_a								2.7	3.0	2.2	3.1	1.6	1.5	1.9	2.2				
	K_c								0.70	0.69	0.63	0.67	0.68	0.72	0.67	0.59				
2012	ET_a									0.39	3.29	2.97	3.18	2.96	3.13	3.01				
	K_c									0.08	0.85	0.92	0.87	0.80	0.93	0.82				
<i>T. aestivum</i>	2009 ET_a	2.4	2.9	3.3	4.1	3.6	3.2	3.4	3.4	2.3	2.3	2.2	2.4	2.5	2.1	1.9				
	K_c	1.60	0.92	1.05	1.01	1.09	1.03	1.07	0.83	0.91	0.98	0.56	0.69	0.61	0.53	0.50				
2010	ET_a	2.5	1.9	2.7	3.7	2.0	2.0	2.6	3.0	3.1	3.6	2.6	2.1	2.0	2.1	1.9				
	K_c	1.04	0.84	1.16	0.97	1.12	1.06	1.10	0.98	0.92	0.80	0.69	0.54	0.77	0.72	0.62				
2009	ET_a					4.9	2.8	3.2	3.1	2.5	2.9	2.0	2.3	2.5	2.4	2.1				
	K_c					1.03	0.80	0.90	0.96	0.83	0.91	0.83	0.62	0.56	0.58	0.51				
2010	ET_a								2.5	2.3	3.6	3.9	3.1	2.6	2.6	3.0				
	K_c								0.54	0.64	0.58	0.71	0.87	0.88	0.87	0.87				
2011	ET_a									3.3	3.5	2.6	3.1	2.0	2.2	2.3				
	K_c									0.76	0.71	0.65	0.69	0.77	0.67	0.59				
2012	ET_a							1.9	2.4	3.1	2.5	2.9	2.8	2.8	2.3	2.4				
	K_c							0.64	0.64	0.62	0.68	0.66	0.62	0.62	0.54	0.55				

value of 6 mm day^{-1} between 8 and 9 weeks after sowing and declined to 4 mm day^{-1} during the maturity stage. The values of K_c for *B. vulgaris* ranged from 0.60 to 1.10 during the observed years. Allen *et al.* (1998) reported that the average value of K_c for *B. vulgaris* is equal to 1.2 (calculated value) for the mid-season stage.

For cereals (*H. vulgare* and *T. aestivum*) K_c values vary around 1 until the onset of the ripening phase (Table III). With the onset of the ripening phase K_c values decreased to 0.5. Tyagi *et al.* (2000) state that the estimated values of K_c for *T. aestivum* by the Penman–Monteith method at the four crop growth stages were 0.5 (initial), 1.36 (crop development), 1.24 (reproductive) and 0.42 (maturity), respectively. Allen *et al.* (1998) reported that the average value of K_c for *B. vulgaris* for the mid-season stage is 1.15 (calculated value). For *S. bicolor* and *Z. mays* the average value of K_c less than 1 was estimated during the observed years (Table III). The estimated values of K_c for *S. bicolor* by

the Penman–Monteith method were 0.53 (initial), 0.82 (crop development), 1.24 (reproductive) and 0.85 (maturity) for the four crop growth stages (Tyagi *et al.*, 2000).

WP values for *M. sativa* ranged from 0.9 to 2.6 g kg^{-1} (average value for the vegetation period was 1.5 g kg^{-1}) in 2009. Moghaddam *et al.* (2013) reported that the average WP for the total above-ground dry biomass production for the whole period of vegetation in different varieties of *M. sativa* ranged from 3.0 to 4.1 g kg^{-1} . WP values for *H. vulgare* species in the observed years lie within the interval from 0.9 to 13.7 g kg^{-1} (Table IV). The highest values of WP were determined for *H. vulgare* between BBCH stages at 60–75. For *T. aestivum* WP values lie between 1.4 and 13.7 g kg^{-1} (Table IV). Higher values of WP for *T. aestivum* were observed at the beginning of stem elongation (BBCH stage 30), $\text{WP} = 8.6 \text{ g kg}^{-1}$ (2009) and 12.1 g kg^{-1} (2010), subsequently during the BBCH stage 60–75 (Table IV). Generally, higher values of WP compared with *H. vulgare*

Table IV. Water productivity (WP, g kg^{-1}) values for individual periods of biomass growing in *T. aestivum* (2009 and 2010) and *H. vulgare* (2007 and 2011)

<i>T. aestivum</i>				<i>H. vulgare</i>			
2009		2010		2007		2011	
Period DOY	WP (g kg^{-1})	Period DOY	WP (g kg^{-1})	Period DOY	WP (g kg^{-1})	Period DOY	WP (g kg^{-1})
96–113	2.3	99–113	2.0	124–129	2.5	126–132	2.4
114–133	1.4	114–127	3.2	130–137	7.3	133–139	4.0
134–148	8.6	128–140	12.1	138–144	5.5	140–146	3.6
149–156	6.1	141–155	5.0	145–152	6.3	147–153	5.9
157–161	13.7	156–175	7.2	153–158	4.0	154–160	3.4
162–176	4.8	176–182	9.9	159–165	10.8	161–167	6.2
177–189	0.9	183–189	2.5	166–172	3.1	168–174	11.0
		190–200	7.4	173–194	3.3	175–181	5.8

Table V. Water productivity (WP, g kg^{-1}) for individual periods of biomass growing in *Z. mays* (2009–2012) and *S. bicolor* (2010–2012)

<i>Z. mays</i>						<i>S. bicolor</i>							
2009		2010		2011		2012		2010		2011		2012	
Period DOY	WP (g kg^{-1})	Period DOY	WP (g kg^{-1})	Period DOY	WP (g kg^{-1})	Period DOY	WP (g kg^{-1})	Period DOY	WP (g kg^{-1})	Period DOY	WP (g kg^{-1})	Period DOY	WP (g kg^{-1})
126–133	0.1	163–175	6.5	168–174	6.3	164–170	4.0	163–175	0.9	168–174	1.3	178–184	6.2
134–148	0.6	176–182	10.7	175–181	9.0	171–177	10.7	176–182	3.7	175–181	7.2	185–191	7.8
149–161	0.1	183–189	3.9	182–188	13.3	178–184	8.4	183–189	8.1	182–188	6.2	192–198	8.4
162–167	4.5	190–197	5.8	189–195	2.7	185–191	5.8	190–197	6.6	189–195	9.6	199–205	6.9
168–176	6.5	198–203	18.1	196–202	6.4	192–198	6.5	198–203	15.8	196–202	9.9	206–212	8.7
177–189	5.2	204–214	10.5	210–223	6.3	199–205	20.5	204–214	11.8	203–209	28.5	213–218	13.5
190–196	15.6	215–225	11.2	224–230	14.4	206–212	7.1	215–225	24.8	210–223	9.8	219–225	10.5
197–211	15.4	226–235	5.6	231–237	4.3	213–218	15.6	226–235	15.9	224–230	20.7	226–232	12.7
212–236	9.0	236–246	15.8	238–244	18.4	219–225	18.6	236–246	16.1			233–240	5.9
						226–232	2.4						

and *T. aestivum* were indicated by *Z. mays* and *S. bicolor* stands. Furthermore, the water productivity of C4 crops is often higher than for C3 crops (Long, 1983). WP values in *Z. mays* in observed periods and years ranged from 0.1 to 18.6 g kg⁻¹ (Table V). The highest WP values were determined for each year in the BBCH stage as between 61 and 79. In comparison with the other evaluated crops, *S. bicolor* indicated the highest values of WP. WP values varied within the interval of 0.9–28.5 g kg⁻¹ (Table V). Narayanan *et al.* (2013) indicate that the values of WP for *S. bicolor* depend on the genotype. According to their measurements, the values of WP varied from 3.4 to 5.4 g kg⁻¹ in 2009 and from 4.0 to 7.6 g kg⁻¹ in 2010. *S. bicolor*, one of the most drought-tolerant cereal crops currently under cultivation (Blum, 2004), is reported to have a high WP (Hammer *et al.*, 1997; Rooney, 2004).

CONCLUSION

On the basis of the measurements it is apparent that during the growing season, the differences between evapotranspiration demands for each crop and their effect on the energy dissipation are evident. From the viewpoint of stabilization of the flow of water and energy within agricultural systems it is therefore necessary to consider not only the structure of field crops, but also their share of arable land.

ACKNOWLEDGEMENT

This work was supported by the Projects TA02010669 and IGA 2013:31160/1312/3113.

REFERENCES

- Abbate PE, Dardanelli JL, Cantarero MG, Maturano M, Melchiori RJM, Suero EE. 2004. Climatic and water availability effects on water-use efficiency in wheat. *Crop Science* **44**(2): 474–483.
- Allen RG, Pereira LS, Raies D, Smith M. 1998. *Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements*. FAO Irrigation and Drainage Paper 56. United Nations: Rome.
- Asseng S, Hsiao TC. 2000. Canopy CO₂ assimilation, energy balance, and water use efficiency of an alfalfa crop before and after cutting. *Field Crops Research* **67**(3): 191–206.
- Asseng S, Turner NC, Keating BA. 2001. Analysis of water- and nitrogen-use efficiency of wheat in a Mediterranean climate. *Plant and Soil* **233**(1): 127–143.
- Beringer J, Hutley LB, Tapper NJ, Coutts A, Kerley A, O'Grady AP. 2003. Fire impacts on surface heat, moisture and carbon fluxes from a tropical savanna in northern Australia. *International Journal of Wildland Fire* **12**(3–4): 333–340.
- Blum A. 2004. Sorghum physiology. In *Physiology and Biotechnology Integration for Plant Breeding*, Nguyen HT, Blum A (eds). Marcel Dekker: New York.
- Souza CB, Silva BB, Azevedo PV, Silva VPR. 2008. Fluxos de energia e desenvolvimento da cultura do abacaxizeiro. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* **12**(4): 400–407.
- Connor DJ, Theiveyanathan S, Rimmington GM. 1992. Development, growth, water-use and yield of a spring and a winter wheat in response to time of sowing. *Australian Journal of Soil Research* **43**(3): 493–516.
- Corbeels M, Hofman G, Van Cleemput O. 1998. Analysis of water use by wheat grown on a cracking clay soil in a semi-arid Mediterranean environment: weather and nitrogen effects. *Agricultural Water Management* **38**(2): 147–167.
- Eastham J, Gregory PJ. 2000. The influence of crop management on the water balance of lupin and wheat crops on a layered soil in a Mediterranean climate. *Plant and Soil* **221**(2): 239–251.
- Gaiser T, de Barros I, Lange FM, Williams JR. 2004. Water use efficiency of a maize/cowpea intercrop on a highly acidic tropical soil as affected by liming and fertilizer application. *Plant and Soil* **263**(1): 165–171.
- Hammer GL, Farquhar GD, Broad JJ. 1997. On the extent of genetic variation for transpiration efficiency in sorghum. *Australian Journal of Agricultural Research* **48**(5): 649–656.
- Hanson BR, May DM. 2006. Crop coefficients for drip-irrigated processing tomato. *Agricultural Water Management* **81**(3): 381–399.
- Hooghart JC (ed.). 1971. Evaporation and weather. TNO Committee of Hydrological Research, Technical Meeting 44, Proceedings and Information No. 39, TNO: The Hague.
- Hunsaker DJ, Pinter PJ, Barnes EM, Kimball BA. 2003. Estimating cotton evapotranspiration crop coefficients with a multispectral vegetation index. *Irrigation Science* **22**(2): 95–104.
- Jensen ME, Burman RD, Allen RG. 1990. *Evapotranspiration and Irrigation Water Requirements*. ASCE—Manuals and Report on Engineering Practice, No. 70. American Society of Civil Engineers: New York.
- Kato T, Kamichika M. 2006. Determination of a crop coefficient for evapotranspiration in a sparse sorghum field. *Irrigation and Drainage* **55**(2): 165–175.
- Long SP. 1983. C4 photosynthesis at low temperature. *Plant, Cell and Environment* **6**(4): 345–363.
- Meier U (ed.). 2001. *Growth Stages of Mono- and Dicotyledonous Plants*. BBCH Monograph, 2nd edn. Federal Biological Research Centre for Agriculture and Forestry: Berlin, Braunschweig.
- Moghaddam A, Raza A, Vollmann J, Ardakani MR, Wanek W, Gollner G, Friedel JK. 2013. Carbon isotope discrimination and water use efficiency relationships of alfalfa genotypes under irrigated and rain-fed organic farming. *European Journal of Agronomy* **50**(1): 82–89.
- Narayanan S, Aiken RM, Prasad PVV, Xin Z, Yu J. 2013. Water and radiation use efficiencies in sorghum. *Agronomy Journal* **105**(3): 649–656.
- Pivec J, Moravec D, Brant V. 2005. The estimation of evapotranspirational demands of landscape in the 3D model of the Czech Republic. In *Hydrology of Small Watershed*, Šír M, Lichner Ľ, Tesař M, Holko L (eds). The Institute of Hydrodynamics of the Academy of Sciences: Prague; 253–255. (In Czech only.)
- Pivec J, Brant V, Moravec D. 2006. Analysis of the potential evapotranspiration demands in the Czech Republic between 1961–1990. *Biologia* **61**(19): 294–299.
- Pokorný J. 2001. Dissipation of solar energy in landscape controlled by management of water and vegetation. *Renewable Energy* **24**(3–4): 641–645.
- Ripl W. 1995. Management of water cycle and energy flow for ecosystem control – The energy-transport-reaction (ETR) model. *Ecological Modelling* **78**(1–2): 61–35.
- Rooney WL. 2004. Sorghum improvement: integrating traditional and new technology to produce improved genotypes. *Advances in Agronomy* **83**: 37–109.
- San José JJ, Bracho R, Montes R, Nikonova N. 2003. Comparative energy exchange from cowpeas (*Vigna unguiculata* (L.) Walp cvs. TC-9-6 and M-28-6-6) with differences in canopy architectures and growth durations

- at the Orinoco llanos. *Agricultural and Forest Meteorology* **116**(3): 197–219.
- Shepherd KD, Cooper PJM, Allan AY, Drennan DSH, Keatinge JDH. 1987. Growth, water use and yield of barley in Mediterranean-type environments. *Journal of Agricultural Science* **108**(2): 365–378.
- Tyagi NK, Sharma DK, Luthra SK. 2000. Evapotranspiration and crop coefficients of wheat and sorghum. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering* **126**(4): 215–222.
- Vanderlip RL. 1993. *How a Grain Sorghum Plant Develops*. Kansas State University: Manhattan, KS.
- Woodward FI, Sheehy JE. 1983. *Principles and Measurements in Environmental Biology*. Butterworth & Co. Ltd: London.
- Zhang H, Oweis TY, Garabet S, Pala P. 1998. Water-use efficiency and transpiration efficiency of wheat under rain-fed conditions and supplemental irrigation in a Mediterranean-type environment. *Plant and Soil* **201**(2): 295–305.

Determination of the influence of herbicides on dicotyledons plant transpiration using the sap flow method

V. Brant, J. Pivec, K. Hamouzová, P. Záborský, J. Satrapová, M. Škeříková

Department of Agroecology and Biometeorology, Faculty of Agrobiological, Food and Natural Resources, Czech University of Life Sciences Prague, Prague, Czech Republic

ABSTRACT

Physiological parameters are sensitive and provide information on the toxicity of herbicides in plants. The impact of herbicide application on plant transpiration was evaluated by the sap flow method during 2009–2011. The aim of this work was to verify the sap flow method for determining the effect of herbicides on the basis of continuous measurements of the transpiration flow. *Helianthus annuus* was used as a model plant species. The two different herbicides tested in this study differed by the effect of active ingredients bromoxynil and clopyralid. The water flow was measured using sap flow meter T4.2. The impact of herbicides was assessed by comparing measured transpiration rate (Q) after herbicide application with an extrapolation of transpiration rate of plants before herbicide treatment (Q_{calc}). After treatment with bromoxynil the Q values decreased significantly compared to Q_{calc} . For plants treated by clopyralid, the decline of actual transpiration (Q) compared with the modelled one (Q_{calc}) was less substantial and the plants continued to transpire after the treatment. The effect of herbicides was also verified using infrared gas analyser and chlorophyll fluorescence meter.

Keywords: stomatal conductance; photosynthesis; weed

Competition for water is one of the most crucial processes that cause water stress, resulting in reductions in both weed growth and crop yield (Acciaresi and Guiamet 2010). The presence of weeds in crops is associated with a decrease in water content in the soil and leads to the reduction of its availability (Dalley et al. 2006, Sadeghi et al. 2007). The effect of herbicidal treatments on transpiration processes is important in terms of reducing the weed's competition for water. Van Oorschot (1970) states that specific inhibitors of the photosynthetic process had a more pronounced effect on the photosynthetic activity than on the transpiration rate. Ferrell et al. (2004) comment, that halosulfuron, imazapic, and glyphosate treatments decrease the leaf net carbon assimilation and stomatal conductance (g_s) in *Cyperus esculentus*. This simultaneous decline of carbon assimilation and g_s with time was also observed for *Sorghum halepense* treated with various herbicides (Ferrell et al. 2003). Application of MSMA (monosodium acid methanearsonate) and

halosulfuron strongly suppressed water use by *C. esculentus*, but the mesotrione treatment had no effect on water use at all (Earl et al. 2004). Determination of the transpiration of plants is possible with the gasometric method (Flexas et al. 1999, Lopes et al. 2004) or by direct determination of water flow in plants (Gordon et al. 1999, Angadi et al. 2003, Pivec et al. 2011). Kjelgaard et al. (1997) and Jara et al. (1998) reported that sap flow measurements in the same plant were practicable up to one week in duration, depending on weather conditions and stem thickening. Cohen and Li (1996) reported a positive correlation between the flow of water in the plant and leaf area. Application of measurements of gas exchange to determine the effect of herbicides on plant physiological manifestations can be considered as a standard method (Ferrell et al. 2003, Kaňa et al. 2004). Literature data about the sap flow method usage for the determination of the effect of herbicides on plant transpiration demands are not available.

Supported by the Technology Agency of the Czech Republic, Project No. TA02010669.

The aim of this work was to verify the sap flow method for determining the effect of herbicides on the basis of continuous measurements of the transpiration flow, and demonstrate different effects of active substances on the plant transpiration with respect to the weed competition for water after application of herbicide.

MATERIAL AND METHODS

The impact of herbicide application on plant transpiration was evaluated by the sap flow method in the field and under laboratory conditions in 2009–2011. The evaluation of the effect of herbicide on the plant was also verified by using gas exchange and chlorophyll fluorescence measurements.

Helianthus annuus L. (cv. Pikasol) was used as a model plant species because of their high sensitivity to wide spectrum of herbicides (Jursík et al. 2011). In terms of morphology, they are appropriate for installation of a sap flow meter. Herbicides with a different mode of action were used – inhibitor of photosystem II (bromoxynil) and a synthetic growth-blocking auxin (clopyralid), respectively. Herbicides Pardner 22,5EC (225 g/L bromoxynil, Bayer CropScience, Leverkusen, Germany) at the dose of the active ingredient 337.5 g/ha and Lontrel 300 (300 g/L clopyralid, Dow AgroSciences, Indianapolis, USA) at 120 g/ha, were evaluated within the framework of the experiment. The dose of water was 30 mL/m². Table 1 documents the number of evaluated plants, the measurement period, the application term of herbicides and BBCH stages (Meier 2001) of plants at the beginning of measurements in 2009–2011. The later growth phases of plants were chosen because of the possibility of installing sap flow meter in the plant's stem.

The sap flow meter T4.2 (EMS Brno, Czech Republic) is designed for stems with a diameter

of 6–20 mm. The measuring principle is based on the stem heat balance method (SHB) with external heating and internal temperature sensing (Lindroth et al. 1995, Čermák et al. 2004). The sensor consists of the two similar cylindrical parts. One part contains linear heating elements which are gently pressed to the stem by soft foam. A needle thermocouple is inserted to the stem in radial direction at the level of upper edge of heating elements (in direction of water movement). Second cylinder has no heaters and it just covers the reference needle thermocouple located with respect to the thermal symmetry. The water passing along the sensor is warmed and the increase of temperature is measured with thermocouples as the water leaves the heated space. The input power is directly proportional to the amount of water passing the sensor in terms of kg/hr. Plants grown under field conditions were evaluated in 2009 (location Prague-Suchdol, GPS 50°7'40.583"N, 14°22'22.755"E). The main soil unit is Haplic Luvisols. The plants were not artificially irrigated. The average daily value of volumetric water content in the soil (VWC, %) was 30.1% in 2009 (the average value for the level 0–200 mm of the depth), and was measured by ML2 sensor in combination with the datalogger HH2 Moisture Meter (Delta-T Devices, Cambridge, UK). The average daily values of temperature/relative humidity/global solar radiation ($t_a/RH_a/R_g$) 18.2°C/70.5%/17 084.7 kJ/m²/day were observed in the mentioned period (Table 1) of 2009. Laboratory experiments were carried out in 2010–2011 (Prague-Suchdol). Plants were grown in plastic containers (size 0.15 × 0.15 × 0.15 m). The bulk density of the soil in pots was 1.2 t/m³ (Haplic Luvisols). The average daily value of volumetric water content in the soil in containers was 34.3% in 2010, and 35.5% in 2011 at the time of measurement. The humidity in the containers was measured by ML2 with the datalogger HH2. The average daily values of temperature/relative humidity/global solar radiation ($t_a/RH_a/R_g$)

Table 1. Number of evaluated plants (n_p), the measuring period, the date of application of herbicides and plant BBCH stage at the beginning of the measurements period 2009–2011

Year	Active ingredient		Control	Measured interval	Herbicide application	BBCH
	bromoxynil	clopyralid				
2009 ^f	$n_p = 3$	$n_p = 3$	$n_p = 3$	8.7.–21.7.	13.7.	56
2010 ^g	$n_p = 4$	$n_p = 4$	$n_p = 4$	13.4.–3.5.	20.4.	35
2011 ^g	$n_p = 3$	$n_p = 3$	$n_p = 3$	8.5.–31.5.	16.5.	36

f – field conditions; g – greenhouse conditions

21.1°C/54.6%/17 312.6 kJ/m²/day were observed in the mentioned period of 2010. The same variables $t_a/RH_a/R_g$ equal to 26.9°C/46.0%/22 150.0 kJ/m²/day were observed in the mentioned period of 2011. The effect of herbicides on water regime of plants was measured by the sap flow method, gasometrical system and the method of chlorophyll fluorescence. The measuring terms of water flow in plants and the number of measured plants are listed in Table 1.

The so-called heat balance method is based on the relationship between the input amount of heat and the increase in temperature within a defined space (Tatarinov et al. 2005). The measured values were recorded at 10 min intervals during the entire period of individual measurements. To assess the impact of herbicide effect on the transpiration, the daily amounts of the measured sap flow (transpiration) Q (kg/day) and daily values of calculated sap flow Q_{calc} (kg/day) were used. An approximation of the measured sap flow by the calculated one was made using the special Mini32 software, ver. 4.2.31.0 (EMS Brno, Czech Republic), based upon the following algorithm (Kučera, EMS Brno, pers. comm.; Pivec et al. 2011):

$$Q_{\text{calc}} = \text{par1} \frac{R_g}{(R_g + \text{par2})} \frac{\text{VPD}}{(\text{VPD} + \text{par3})} \quad (1)$$

Where: R_g – global solar radiation (W/m²); VPD – vapour pressure deficit (hPa). The parameters (par) 1–3 for the Q_{calc} (kg/h) calculation were estimated for measurement period before the herbicide application. Tetens's (1930) algorithm for the saturation vapour pressure calculation was used. Q_{calc} values were calculated from the set of data measured at 10 min intervals for the entire measured period, R_g by pyranometer CM11 (K&Z, Delft, Netherlands), air temperature and humidity by Minikin TH (EMS Brno, Czech Republic).

A portable infra-red gas analyser CIRAS 2 (PP Systems, Amesbury, USA) was used to estimate the transpiration rate (T_r , H₂O mmol/m²/s), photosynthesis rate (P_n , CO₂ μmol/m²/s) and stomatal conductance (g_s , H₂O mmol/m²/s) assessed by the leaf chamber model PLC6 (U) Rice (PP Systems, Amesbury, USA) head plates 25 mm × 7 mm. Based on the measured variables and pre-set values, all parameters mentioned above were calculated according to the manufacturers' settings (equations).

Measurement of parameters was carried out on one of the treated plants within the individual variations on the same leaf. The order of the measured leaf from the base of plant is always shown in the tables' results. In 2009 (field condition), the values of

T_r , P_n and g_s were measured under natural light. A LED light unit was used in 2010 and 2011 (photosynthetically active radiation (PAR) = 750 μmol/m²/s, greenhouse conditions).

Chlorophyll fluorescence measurements were performed using an IMAGING-PAM chlorophyll fluorometer and Imaging Win software application (Walz, Germany). The plants were adapted to dark for 1 h before the measurement. Dark-adapted plants were subjected to an initial saturating pulse (1800 μmol photons/m²/s), followed by a 40 s delay in darkness and subsequently 10 s of actinic illumination with saturating flashes at 20 s intervals. Induction and recovery kinetics were measured. Maximum quantum yield of PSII (F_v/F_m) was calculated according to Genty et al. (1989):

$$F_v/F_m = (F_m - F_0)/F_m$$

Where: F_0 – minimal fluorescence yield of dark-adapted sample with all PS II centres open; F_m – maximal fluorescence yield of dark-adapted sample with all PS II centres closed; F_v – variable fluorescence, calculated as $F_m - F_0$.

In 2010, dry weight of aboveground biomass (g), dry weight of roots (g) and the size of the active leaf area (m²) of plants were estimated in the monitored plants. The root system of plants was rinsed in a sieve with the mesh size of 0.25 mm. The biomass was oven-dried at 105°C for 48 h.

Photosynthetically active leaf area of plants was determined. The Nikon Coolpix 995 digital camera (Tokyo, Japan) was modified by removing the NIR-blocking filter and assessing with Infrared R72 (Hoya, Japan) filter mounted in front of the lens. The images were processed with the analytical tool in the Adobe Photoshop CS5 (Adobe Systems Software, Dublin, Ireland). Data were processed using the Mini32 (v. 4.2.31.0) program and Statgraphics®Plus, v. 4.0 (Warrenton, USA). Simple analysis of variance (ANOVA) and simple linear regression were used.

RESULTS AND DISCUSSION

Based on the experiments, the influence of herbicide application on the transpiration of *H. annuus* plants has been established. Figure 1 illustrate the dependency between the average values of Q_{calc} (kg/day) and Q (kg/day) for the control plants and plants treated with herbicides. Table 2 illustrate the relation between measured and calculated transpiration. The Q values in the control plants were higher or equal to Q_{calc} in the second half

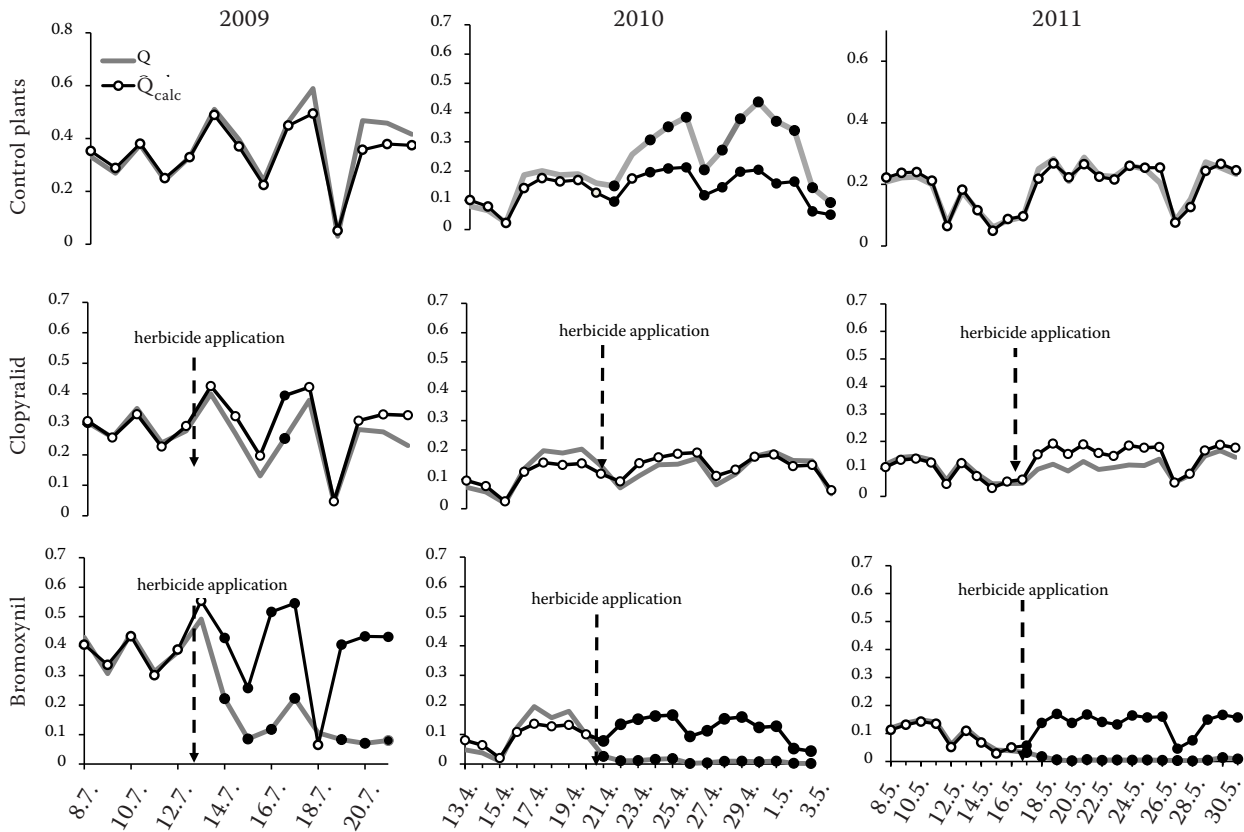


Figure 1. Average daily values of transpiration (Q , kg/day) and calculated sap flow (Q_{calc} , kg/day) in the control plants and plants of the *Helianthus annuus* after clopyralid and bromoxynil treatment (2009, 2010 and 2011). The couple of black filled circles indicates statistically significant differences (ANOVA, $\alpha = 0.05$) between daily average values of Q and Q_{calc}

of the measurement. A significant decrease in the Q values compared with Q_{calc} after the treatment with the herbicide bromoxynil was observed. When bromoxynil was applied, the Q decreased by the

second day after its application (Figure 1). The decrease of the actual transpiration (Q) in plants treated with clopyralid was less pronounced in comparison with the modelled transpiration (Q_{calc})

Table 2. The relationship between calculated sap flow (Q_{calc} , kg/day) and transpiration (Q , kg/day) in the year 2009, 2010 and 2011

Treatment	Period before application	r	cl	Period after application	r	cl
2009						
	8.7.–13.7.			14.7.–21.7.		
Control plants	$Q_{calc} = 0.05064 + 0.86762 \times Q$	0.994	*	$Q_{calc} = 0.03433 + 0.79244 \times Q$	0.980	*
Clopyralid	$Q_{calc} = -0.02932 + 1.10393 \times Q$	0.974	*	$Q_{calc} = 0.0374 + 1.10409 \times Q$	0.939	*
Moxynil	$Q_{calc} = -0.03169 + 1.10163 \times Q$	0.934	*	$Q_{calc} = 0.27617 + 0.88264 \times Q$	0.359	**
2010						
	13.4.–20.4.			21.4.–4.5.		
Control plants	$Q_{calc} = 0.02185 + 0.73669 \times Q$	0.964	*	$Q_{calc} = 0.01375 + 0.48752 \times Q$	0.931	*
Clopyralid	$Q_{calc} = 0.03282 + 0.62601 \times Q$	0.974	*	$Q_{calc} = 0.03206 + 0.84879 \times Q$	0.939	*
Bromoxynil	$Q_{calc} = 0.03793 + 0.55004 \times Q$	0.934	*	$Q_{calc} = 0.08735 + 2.90541 \times Q$	0.359	**
2011						
	12.5.–16.5.			17.5.–31.5.		
Control plants	$Q_{cal} = -0.01315 + 1.12162 \times Q$	0.995	*	$Q_{cal} = 0.00760 + 0.94999 \times Q$	0.945	*
Clopyralid	$Q_{cal} = -0.00091 + 0.91737 \times Q$	0.969	**	$Q_{cal} = 0.01858 + 1.21365 \times Q$	0.865	*
Bromoxynil	$Q_{cal} = 0.00443 + 0.88225 \times Q$	0.957	**	$Q_{cal} = 0.14727 - 1.60577 \times Q$	-0.302	***

Regression analysis – linear model. r – correlation coefficient; cl – confidence level; *99%; **95%; ***90%

Table 3. The average (4 plants) total dry weight of above-ground biomass (g), of roots (g) and size of the active leaf area (m^2) of plants *Helianthus annuus*, depending on treatment (5.5. 2010). Different indices between average values in columns illustrate statistically significant differences ($\alpha = 0.05$)

Treatment	Dry weight of aboveground biomass	Dry weight of roots	Size of the active leaf area
Control plants	38.3 ^b	9.5 ^b	0.271 ^c
Clopyralid	19.5 ^a	4.4 ^a	0.193 ^b
Bromoxynil	9.0 ^a	3.0 ^a	0.017 ^a

and the plants continue to transpire after the treatment. The Table 2 illustrate the tightness of dependency between the average values of Q_{calc} (kg/day) and Q (kg/day) after the treatment of plants by herbicides. Slightly higher values of Q (kg/day) than Q_{calc} (kg/day) were noticed in the control plants without herbicide treatment (Figure 1 upper part). This is because the period selected for computation of regression analysis for Q_{calc} estimation preceded the herbicides application period and the plants were growing continuously without any disruption. The biomass increased in control plants (Table 3), where a difference in the assessed physiological parameters is noticeable. Comparison of the results obtained with similar work cannot be carried out, as the literature data concerning the use of sap flow methods to determine the effect of herbicides on transpiration of plants are not available.

Table 4. Photosynthesis rate (P_n , CO_2 $\mu mol/m^2/s$), photosynthetically active radiation (PAR, $\mu mol/m^2/s$), transpiration rate (T_r , H_2O $mmol/m^2/s$) and stomatal conductance (g_s , H_2O $mmol/m^2/s$) of plant after application of herbicides in 2009 and 2011. Different indices between averages within a column document statistically significant difference ($\alpha = 0.05$)

Day	Treatment	P_n	PAR	T_r	g_s	Measurement
14.7. 2009	control plants	16.2 ^c	1077.3 ^a	9.0 ^c	929.7 ^c	natural light, on the 14 th fully developed leaf from the base of the measured plant
	clopyralid	14.1 ^b	1076.7 ^a	5.1 ^b	261.3 ^b	
	bromoxynil	-2.0 ^a	1067.4 ^a	2.0 ^a	69.7 ^a	
16.7. 2009	control plants	29.4 ^b	3131.8 ^a	11.7 ^c	12760 ^c	
	clopyralid	30.4 ^b	2989.0 ^a	10.1 ^b	782.5 ^b	
	bromoxynil	-1.5 ^a	3186.8 ^a	1.7 ^a	45.5 ^a	
16.5. 2011	control plants	17.5 ^c	737.8 ^a	6.2 ^b	643.4 ^b	on the 11 th fully developed leaf from the base of the measured plant
	clopyralid	17.0 ^c	745.0 ^a	5.3 ^{ab}	540.6 ^b	
	bromoxynil	2.6 ^a	746.8 ^a	4.6 ^a	367.9 ^a	
29.5. 2011	control plants	11.3 ^a	595.9 ^a	10.4 ^b	758.3 ^b	of the measured plant
	clopyralid	10.9 ^a	596.0 ^a	6.1 ^a	552.4 ^a	

The effectiveness of herbicides, expressed in terms of net photosynthesis rate, transpiration rate and stomatal conductance, is presented in Table 4. In each case, the parameters were significantly reduced after the bromoxynil treatment shortly after the application. Changes in photosynthetic and transpiration rates showed a similar pattern as stomatal conductance. Moreover, the results show that the decrease in net photosynthesis is accompanied by a decrease in internal CO_2 concentration (data not shown) indicating that the lower photosynthetic capacity was due to stomatal limitation.

Results of fluorescence measurements in sunflower treated with herbicides with a different mode of action are summarized in Figures 2 and 3. No statistical differences were observed in F_v/F_m shortly after the herbicide application, even though the decrease could be observed after bromoxynil treatment (Figure 2). Bromoxynil significantly reduced the photosystem II efficacy ($F_v/F_m < 0.1$) of sunflower, whereas it was unaffected by clopyralid ($F_v/F_m = 0.83$) two days after the treatment. Comparison of the induction and recovery curve of untreated plants with that of the bromoxynil treated plants revealed that the F_0 levels were increased (Figure 3). At the same time, a decrease of about 25% of F_m value was observed and the fluorescence kinetics was largely modified compared to untreated plants. The maximum quantum efficacy of photosystem II seems to be a less appropriate indicator for herbicides with different mode of action than that of inhibiting photosystem II.

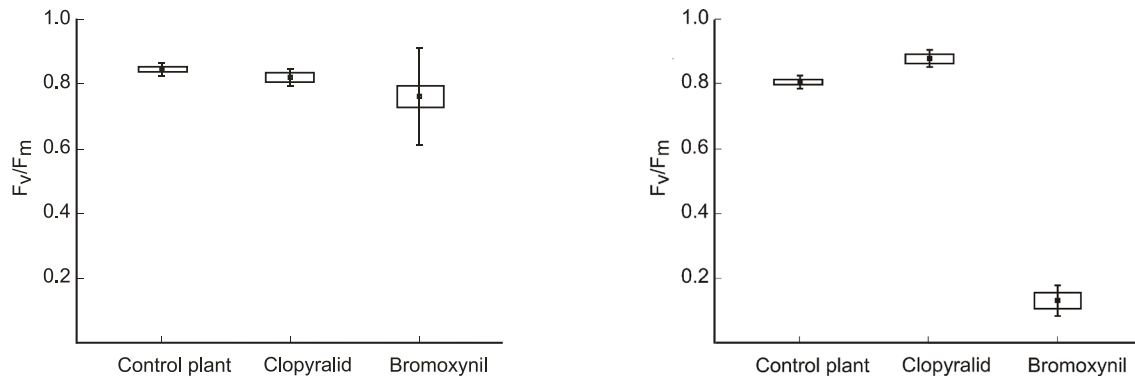


Figure 2. Mean values (4 plants) of maximal quantum yield of photosystem II photochemistry (F_v/F_m) 4 h (left) and 2 days (right) after the treatment of herbicides under laboratory conditions as measured in 2010. The boxes show mean \pm standard errors. Vertical bars represent confidence intervals (95%)

The application of clopyralid caused restriction of the transpiration in comparison with the control. However, the plants continued to transpire after the application of the herbicide. The transpiration rate fits well with the values obtained before the application. Based on this fact, it can be assumed that even after clopyralid application on the weed plants they can significantly compete with the crop plants. The applied herbicides affected photosynthesis via different ways by inhibiting electron transport from PS II, blocking auxin and protein biosynthesis, thus we suspect a different response in chlorophyll fluorescence curves and photosynthetic parameters. Bromoxynil affects photosynthesis by binding to the second electron acceptor and strongly inhibiting the electron transport shortly after PS II, therefore it is appropriate to use photosynthetically-based method to measure the influence of the herbicide. Similarly, the effect of clopyralid is detectable as it disrupts the photosynthesis and influences the nucleic acid metabolism. After the exposure to bromoxynil and clopyralid the decrease of F_v/F_m was detected. The reduction of F_v/F_m was mainly due to the increased F_0 value. In plants F_0 reflects

the state of antenna chlorophyll and it is a measure for the initial distribution of energy to PS II and the efficacy of excitation capture in P680 (Rintamaki et al. 1994). It is clear that induction and recovery curves and parameters derived from these curves could provide more information on the photochemical state of plants, but this was not a subject of this study.

On the basis of the evaluation of the herbicides impact on the physiological characteristics of plants, a statistically significant effect of the herbicides bromoxynil and clopyralid to reduce aboveground and root dry matter in comparison with control plants was demonstrated (Table 3).

Results of this work demonstrated the applicability of the sap flow method for continuous evaluation of the impact of herbicides on plant transpiration. The advantage of the method, based on a comparison of modelled transpiration of plant after herbicide application and actual transpiration, is the ability to verify the effect of used herbicides on an individual plant of *H. annuus*. This prevents the variability of plants from influencing the results. The advantage may be even longer measurement on the plant, which is particularly important for

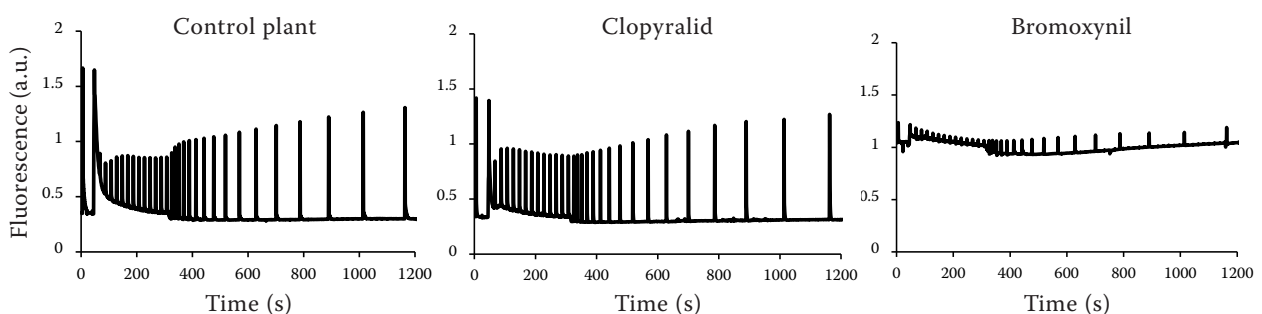


Figure 3. Courses of chlorophyll fluorescence induction and recovery kinetics for control and herbicide-treated sunflower 4 h after the herbicide treatment under laboratory conditions in 2011

herbicides with indirect effect on photosynthesis and transpiration. The limiting factor is that the sensors for measuring the flow of sap cannot be applied to plants in the early growth phases, or in a small diameter stem. The bromoxynil and clopyralid treated sunflower provided information concerning phytochemical responses, detectable before the visual symptoms appeared and thus these changes could provide the basis for early detection of lethal effects. In comparing the methods, the fluorescence bioassay was more/less sensitive than the sap flow method for all three herbicide tested (or for some of them).

REFERENCES

- Acciaresi H.A., Guamet J.J. (2010): Below- and above-ground growth and biomass allocation in maize and *Sorghum halepense* in response to soil water competition. *Weed Research*, 50: 481–492.
- Angadi S.V., Cutforth H.W., McConkey B.G. (2003): Determination of the water use and water use response of canola to solar radiation and temperature by using heat balance stem flow gauges. *Canadian Journal of Plant Science*, 83: 31–38.
- Cohen Y., Li Y. (1996): Validating sap flow measurement in field-grown sunflower and corn. *Journal of Experimental Botany*, 47: 1699–1707.
- Čermák J., Kučera J., Nadezhdina N. (2004): Sap flow measurements with some thermodynamic methods, flow integration within trees and scaling up from sample trees to entire forest stands. *Trees*, 18: 529–546.
- Dalley C.D., Bernards M.L., Kells J.J. (2006): Effect of water removal timing and row spacing on soil moisture in corn (*Zea mays*). *Weed Technology*, 20: 399–409.
- Earl H.J., Ferrell J.A., Vencill W.K., van Iersel M.W., Czarnota M.A. (2004): Effects of three herbicides on whole-plant carbon fixation and water use by yellow nutsedge (*Cyperus esculentus*). *Weed Science*, 52: 213–216.
- Ferrell J.A., Earl J.H., Vencill W.K. (2003): The effect of selected herbicides on CO₂ assimilation, chlorophyll fluorescence and stomatal conductance of johnsongrass (*Sorghum halepense*). *Weed Science*, 51: 28–31.
- Ferrell J.A., Earl J.H., Vencill W.K. (2004): Duration of yellow nutsedge (*Cyperus esculentus*) competitiveness after herbicide treatment. *Weed Science*, 52: 24–27.
- Flexas J., Escalona J.M., Medrano H. (1999): Water stress induces different levels of photosynthesis and electron transport rate regulation in grapevines. *Plant, Cell and Environment*, 22: 39–48.
- Genty B., Briantais J.M., Baker N.R. (1989): The relationship between the quantum yield of photosynthetic electron transport and quenching of chlorophyll fluorescence. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA) – General Subjects*, 990: 87–92.
- Gordon R., Brown D.M., Madani A., Dixon M.A. (1999): An assessment of potato sap flow as affected by soil water status, solar radiation and vapour pressure deficit. *Canadian Journal of Plant Science*, 79: 245–253.
- Jara J., Stockle C.O., Kjelgaard J. (1998): Measurement of evapotranspiration and its components in a corn (*Zea mays* L.) field. *Agricultural and Forest Meteorology*, 92: 131–145.
- Jursík M., Andr J., Holec J., Soukup J. (2011): Efficacy and selectivity of post-emergent application of flumioxazin and oxyfluorfen in sunflower. *Plant, Soil and Environment*, 57: 532–539.
- Kaňa R., Špundová M., Ilík P., Lazár D., Klem K., Tomek P., Naus J., Prášil O. (2004): Effect of herbicide clomazone on photosynthetic processes in primary barley (*Hordeum vulgare* L.) leaves. *Pesticide Biochemistry and Physiology*, 78: 161–170.
- Kjelgaard J.E., Stockle C.O., Black R.A., Campbell G.S. (1997): Measuring sap flow with the heat balance approach using constant and variable heat inputs. *Agricultural and Forest Meteorology*, 85: 239–250.
- Lindroth A., Čermák J., Kučera J., Cienciala E., Eckersten H. (1995): Sap flow by the heat balance method applied to small size *Salix* trees in a short-rotation forest. *Biomass and Bioenergy*, 8: 7–15.
- Lopes C., Monteiro A., Rüeckert F.E., Gruber B., Steinberg B., Schultz H.R. (2004): Transpiration of grapevines and co-habitating cover crop and weed species in a vineyard. A 'snapshot' at diurnal trends. *Vitis*, 43: 111–117.
- Meier U. (2001): Growth Stages of Mono- and Dicotyledonous Plants. BBCH Monograph. 2nd Edition. Federal Biological Research Centre for Agriculture and Forestry, Berlin.
- Pivec J., Brant V., Bečka D., Cihlár P. (2011): Consumptive use of water in *Brassica napus* L. from flowering to ripening stage under rainless region conditions. *Irrigation and Drainage*, 60: 493–498.
- Sadeghi A.M., Starr J.L., Teasdale J.R., Rosecrance R.C., Rowland R.A. (2007): Real-time soil profile water content as influenced by weed-corn competition. *Soil Science*, 172: 759–769.
- Tatarinov F.A., Kučera J., Cienciala E. (2005): The analysis of physical background of tree sap flow measurement based on thermal methods. *Measurement Science and Technology*, 16: 1157–1169.
- Tetens O. (1930): Über einige meteorologische begriffe. *Zeitschrift für Geophysik*, 6: 297–309.
- Van Oorschot J.L.P. (1970): Influence of herbicides on photosynthetic activity and transpiration rate of intact plants. *Pesticide Science*, 1: 33–37.

Received on August 11, 2014

Accepted on November 10, 2014

Corresponding author:

Ing. Václav Brant, Ph.D., Česká zemědělská univerzita v Praze, Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů, Katedra agroekologie a biometeorologie, Kamýcká 129, 165 21 Praha, Česká republika
e-mail: brant@af.czu.cz

Pásové zpracování půdy (strip tillage)

klasické, intenzivní a modifikované

Vedoucí autorského kolektivu:

doc. Ing. Václav Brant, Ph.D.

Spoluautoři:

Ing. David Bečka, Ph.D., Ing. Pavel Cihlář, Ph.D., Ing. Pavel Fuksa, Ph.D., doc. Ing. Josef Hakl, Ph.D., Ing. Josef Holec, Ph.D.,
Ing. Jan Chyba, Ph.D., doc. Ing. Miroslav Jursík, Ph.D., Ing. Dominika Kobzová, Ing. Vítězslav Krček, Ph.D.,
doc. Ing. Milan Kroulík, Ph.D., Ing. Helena Kusá, Ph.D., Ing. Ivan Novotný, Dr. Ing. Jan Pivec,
doc. Ing. Evženie Prokinová, CSc., Ing. Pavel Růžek, CSc., doc. Ing. Vladimír Smutný, Ph.D.,
Ing. Michaela Škeříková, Ing. Petr Záborský, Ph.D.

Lektoři:

prof. Ing. Josef Hůla, CSc., Výzkumný ústav zemědělské techniky, v. v. i.
prof. Ing. Vladimír Rataj, PhD., Slovenská poľnohospodárska univerzita v Nitre,

Autoři fotografií:

David Bečka, Václav Brant, Vítězslav Krček, Milan Kroulík, Evženie Prokinová, Pavel Růžek,
Cime, s. r. o., Farnet, a. s., Kuhn Center CZ, a. s., Kverneland Group Czech, s. r. o.

1. vydání

ISBN 978-80-86726-76-2

© doc. Ing. Václav Brant, Ph.D., a kol.

© Vydavatelství Profi Press s. r. o.

Jana Masaryka 2559/56b, 120 00 Praha 2 – Vinohrady
Praha 2016



Tab. 2 – Průměrné denní hodnoty evaporace (mm.den⁻¹) v porostech kukuřice s rozdílnou šířkou řádků (0,45 a 0,75 m) v meziřádku a v řádku rostlin na oraných plochách stanovené gazometricky (přístroj CIRAS II s komorou SRC-1, PP Systems, USA)

Datum/čas	Rozteč řádků/ pozice	Evaporace (mm.den ⁻¹)	Rozteč řádků/ pozice	Evaporace (mm.den ⁻¹)
15. 6. 2013	450 mm, řádek	0,37	750 mm, řádek	0,41
10.45–11.45	450 mm, meziřádek	0,47	750 mm, meziřádek	0,54
15. 6. 2013	450 mm, řádek	0,32	750 mm, řádek	0,40
12.15–13.15	450 mm, meziřádek	0,38	750 mm, meziřádek	0,41
23. 6. 2013	450 mm, řádek	0,40	750 mm, řádek	0,27
10.45–11.45	450 mm, meziřádek	0,45	750 mm, meziřádek	0,59

3.4 Eliminace erozních procesů

Václav Brant, Michaela Škeříková, Jan Pivec

3.4.1 Vodní eroze

Základem erozních procesů je kapková eroze (Morgan 2005) vyvolaná přímým dopadem kapek deště nebo odkapávající vodou z rostlin. Kapky rozbíjejí navlhající půdní agregáty a jemné částice půdy vzniklé rozpadem půdní struktury se společně s bobtnáním půdních agregátů podílejí na omezení infiltrace. Zároveň jsou tyto částice uvolněny do vody nacházející se na povrchu půdy a mohou být vodou následně transportovány (Leguèdois a kol. 2005; van Dijk a kol. 2002). Voda přítomná na povrchu půdy se vsakuje nebo se začíná kumulovat v prohlubních na povrchu pozemku. Dopadá-li na půdu větší množství vody, než je schopna přijmout, začíná se voda hromadit na jejím povrchu a dochází k povrchovému odtoku (obr. 27). Povrchový odtok se následně mění na soustředný, jehož důsledkem je rýhová a výmolová eroze půdy. Kapková eroze je závislá na kinetické energii deště, jeho intenzitě, stabilitě půdních agregátů a na rostlinném pokryvu (Quansah 1981; Sharma a kol. 1991; van Dijk a kol. 1996). Dále závisí na vrstvě vody nacházející se na povrchu (Richter 1998) a na přítomnosti kamenů, hrud a rostlinných zbytků na povrchu půdy (Wainwright 1996; Morgan 2005). V rámci pásového zpracování půdy má na eliminaci erozních procesů vliv zejména přítomnost posklizňových zbytků v meziřádku a kontinuální systém pórů v nezpracované vrstvě půdy. U klasického strip tillage je dominantní význam zbytků předplodiny a strniště, především u obilnin. Plochy zpracované touto technologií vykazují velice dobrou odolnost vůči erozním procesům i při přívalových srážkách. Obrázek 28 dokumentuje stav povrchu půdy na pozemku po podzimním provedení pásového kypření do strniště jarního ječmene po srážkách na začátku vegetace s intenzitou 60 mm za 30 minut. Při opakovaném nebo monokulturním pěstování silážní kukuřice je nutné počítat s nízkou pokrývností povrchu půdy (obr. 29). Na po-

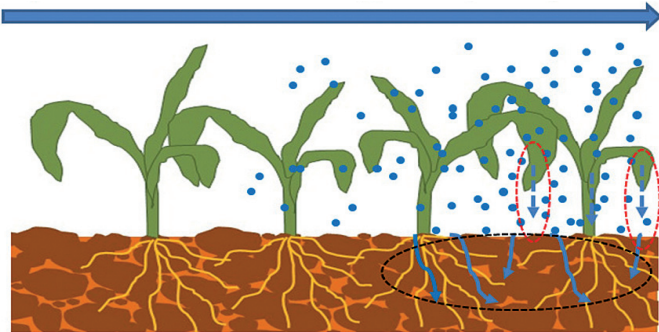
zemku se strništěm kukuřice je nutné kypření provádět v meziřádku mezi řádky předplodiny. Zbytky rostlin s kořenovým balem výrazně komplikují kypření, neboť dochází k ucpávání kypřících sekcí a tvorbě nerovného povrchu pozemku v důsledku hrnutí zeminy. U širokořádkových plodin je při opakovaném uplatnění pásového kypření na pozemku vhodnější pravidelné střídání kypřeného řádku a nezpracovaného meziřádku. Z protierozního hlediska je obecně opakované pěstování silážní kukuřice nevhodné. Lze samozřejmě počítat se skutečností, že vznik větších půdních částic (hrud) uložených na povrchu půdy přispěje k ochraně půdy před erozí. Časová stabilita těchto částic je však závislá na stavu půdy při zpracování, druhu půdy, průběhu povětrnostních podmínek apod. Rozpad hrud je v zimě ovlivněn působením mrazu a celoročně vlivem deště.

U technologií intenzivního strip tillage je většinou, v závislosti na předplodině a způsobu provedení celoplošného mělkého kypření, nutno počítat s nižší pokrývností půdy rostlinnými zbytky. Zde se poté na protierozním efektu podílejí nejen zbytky předplodiny, ale také právě větší a stabilnější půdní částice.

Z hlediska dokonalého pokryvu půdy v meziřádku živým nebo mrtvým mulčem hrají v systémech intenzivního strip tillage významnou roli mezplodiny. V souladu s distribucí srážek v porostu je proto zejména ve středu meziřádku nutné zajistit co nejvyšší pokrývnost půdy mulčem a eliminovat poškození a rozdrčení větších hrud při provedení pásového kypření.

Vliv rozdílných technologií na hodnoty kapkové eroze dokumentuje graf 10. Sledovány byly plochy s intenzivním strip tillage provedeným na jaře do vymrzlého porostu

Počátek deště – narůstá intenzita srážek – kapky dopadají na půdu (kapková eroze) a na rostliny – voda stéká a odkapává z rostlin – část vody je zachycena porostem



Voda se vsakuje do půdy – půdní agregáty bobtnají a rozpadají se v důsledku působení deště

Obr. 27 – Základem erozních procesů je kapková eroze. Následná kumulace vody na povrchu půdy vytváří podmínky pro povrchový odtok vody (Brant a kol. 2011a)

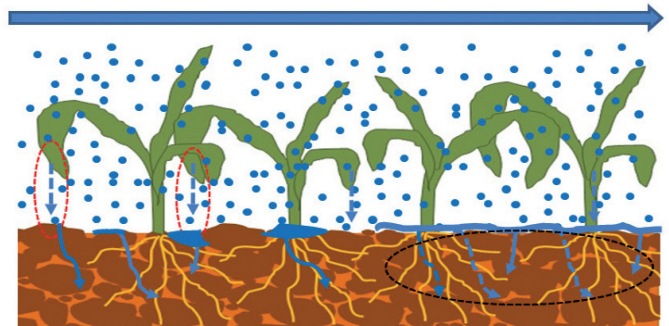
svazanky. Pokryvnost půdy rostlinnými zbytky činila v době kypření max. 10 %. Na povrchu však byly přítomny větší půdní částice vzniklé při podmítce spojené s výsevem svazanky. Hodnoty kapkové eroze jsou v grafu vyjádřeny jako hmotnost rozstříknuté půdy deštěm v průběhu srážkové události na jednotku plochy. Z tohoto grafu je patrný pozitivní vliv technologie strip tillage na eliminaci hodnot kapkové eroze v průběhu celé vegetace. Jednoznačným faktorem eliminujícím rozpad půdní struktury byla přítomnost větších půdních struktur na povrchu půdy v meziřádku. Dalším faktorem byla, i když velice nízká, přítomnost posklizňových zbytků.

Graf 11 dokumentuje hodnoty kapkové eroze na plochách s klasickým strip tillage, mělkým kypřením a orbou. Od začátku vegetace do poloviny června byly hodnoty kapkové eroze statisticky průkazně nižší na ploše s technologií strip tillage ve srovnání s ostatními způsoby zpracování půdy (graf 11). Na plochách s pásovým kypřením se pozitivně projevila přítomnost posklizňových zbytků na povrchu půdy a drsnost povrchu pozemku na nezpracovaném pásu. Na konci vegetace již nebyly rozdíly mezi hodnotami kapkové eroze na hodnocených variantách výrazné.

Dalším faktorem ovlivňujícím hodnoty kapkové eroze a obecně i erozní rizika může být změna rozteče řádků kukuřice (Uppenkamp 2007; Nübel 2009; Mohammadi a kol. 2012). S poklesem rozteče řádků sice dochází k nárůstu podílu zpracované plochy na celkové výměře pozemku, ale na vyšším protierozním působení se podílí struktura porostu založeného do užších řádků (obr. 30).

Kromě kukuřice lze za problematickou plodinu považovat i slunečnici. Graf 12 dokládá srovnání vlivu porostů slu-

Voda se kumuluje na povrchu půdy – zachycuje se v prohlubních na povrchu pozemku – množství vody narůstá – následně dochází k povrchovému odtoku



Bobtnání a rozpad půdních agregátů vedou k eliminaci infiltrace – součástí vody na povrchu půdy jsou půdní částice

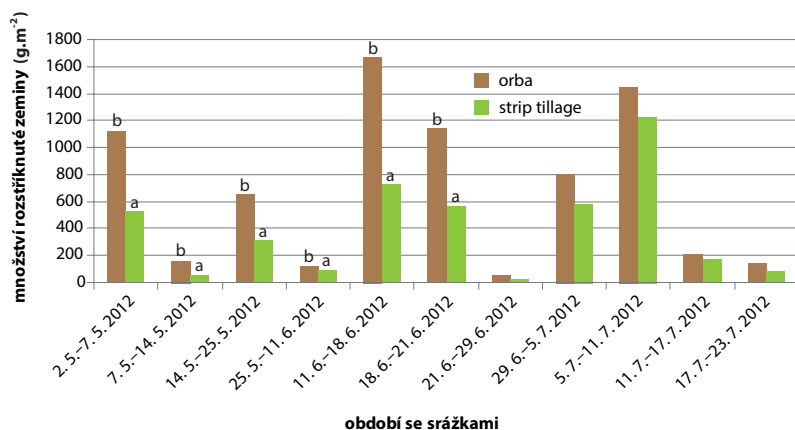


Obr. 28 – Stav porostu na plochách s technologií klasického strip tillage dne 13. 6. 2013, na povrchu půdy je patrné poškození půdy přívalovými srážkami ze dne 9. 5. 2013 (foto Brant)

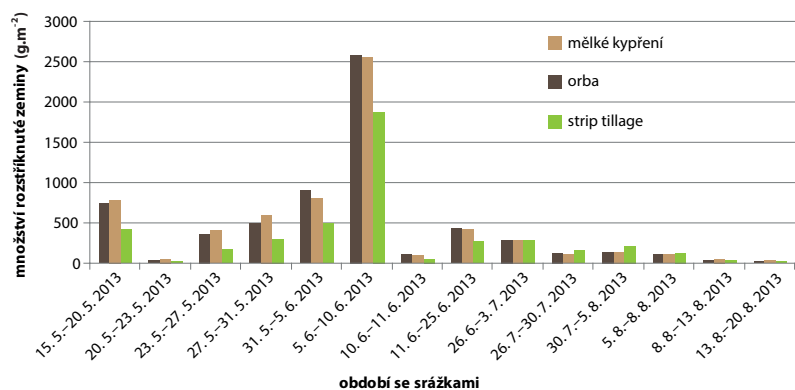


Obr. 29 – Stav povrchu půdy po provedení pásového kypření do strniště silážní kukuřice na podzim. Kypření bylo provedeno mezi řádky kukuřice (foto Brant)

Graf 10 – Hodnoty kapkové eroze na orané ploše a na variantě intenzivního strip tillage jsou vyjádřeny jako množství rozstříknuté zeminy na jednotku plochy ($\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$) za hodnocené srážkové události v roce 2012. Odlišné indexy nad sloupci označují statisticky průkaznou diferenci na hladině významnosti $\alpha = 0,05$ mezi průměry. Mezi sloupci bez indexů nebyl prokázán statisticky průkazný rozdíl (Brant a kol. 2013a)



Graf 11 – Průměrné hodnoty kapkové eroze na plochách s provedením technologie klasického strip tillage do strniště ječmene, na plochách s mělkým kypřením půdy a s orbou vyjádřené jako množství rozstříknuté zeminy deštěm na jednotku plochy ($\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$) za období měření v roce 2013 (Brant a kol. 2014b)



Tab. 3 – Průměrné hodnoty kapkové eroze vyjádřené jako množství půdy rozstříknuté deštěm (MSR, $\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$) na plochách s rozdílnou šířkou řádků (125 mm, 250 mm, 350 mm a 450 mm) a na holé půdě v termínu od 2. 5. do 10. 6. 2013. Rozdílné indexy mezi průměry dokumentují statisticky průkazný rozdíl mezi hodnotami v rámci sloupců, ANOVA, $\alpha = 0,05$ (Brant a kol. 2014b)

Varianta	MSR ($\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$)					
	období (2013)					
	2. 5. – 9. 5.	9. 5. – 15. 5.	15. 5. – 20. 5.	20. 5. – 27. 5.	27. 5. – 31. 5.	31. 5. – 10. 6.
125 mm	8,1 ^a	2,8 ^a	4,6 ^a	3,3 ^a	10,3 ^a	19,9 ^a
250 mm	5,7 ^a	2,1 ^a	3,5 ^a	1,8 ^a	17,3 ^a	21,5 ^a
350 mm	7,2 ^a	8,0 ^a	2,8 ^a	2,6 ^a	13,9 ^a	21,7 ^a
450 mm	0,4 ^a	7,3 ^a	0,8 ^a	4,0 ^a	21,7 ^a	31,2 ^a
Holá půda	199,4 ^b	67,6 ^b	291,3 ^b	92,1 ^b	876,4 ^b	518,8 ^b

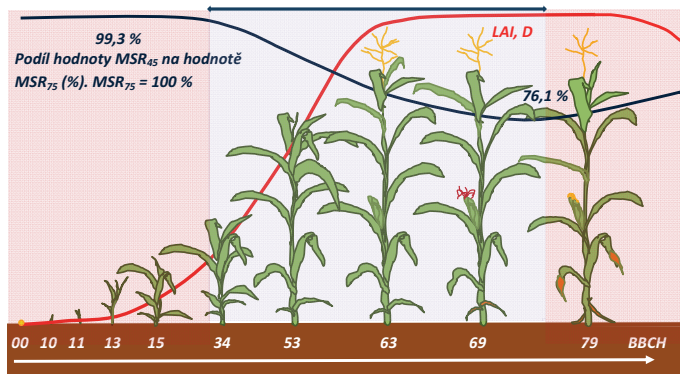
nečnice a kukuřice na hodnoty kapkové eroze během vegetace za působení atmosférických srážek. V pokusech byly opět sledovány hodnoty kapkové eroze na základě stanovení množství rozstříknuté zeminy na jednotku plochy ve vztahu ke srážkové události během sledovaného období. Rozstříknutá zemina byla zachytávána jak v meziřádku (rozteč porostů činila 0,75 m), tak těsně u řádku vysetých plodin. Zejména při vyšších srážkách (poslední dvě hodnocená období) vykazovaly porosty slunečnice vyšší riziko vzniku kapkové eroze ve srovnání s kukuřicí.

Z hlediska využití systémů pásového zpracování půdy u porostů ozimé řepky je nutné se zamyslet nad otázkou, zda nárůst rozteče řádků zvýší rizika erozních procesů v porostech.

V rámci polních experimentů (Brant a kol. 2014b) byl hodnocen vliv rozdílné rozteče řádků porostů ozimé řepky (rozteč řádků 125, 250, 350 a 450 mm) na hodnoty kapkové eroze vyjádřené pomocí hodnoty MSR. Na základě provedených měření hodnot kapkové eroze (tab. 3) nebyly prokázány rozdíly v hodnotách kapkové eroze mezi porosty. To znamená, že zvýšení šířky řádků nevedlo k nárůstu hodnot kapkové eroze. Ve srovnání s hodnotami MSR na holé půdě (tab. 3) je však patrné, že všechny hodnocené porosty ozimé řepky výrazně snižovaly hodnoty kapkové eroze.

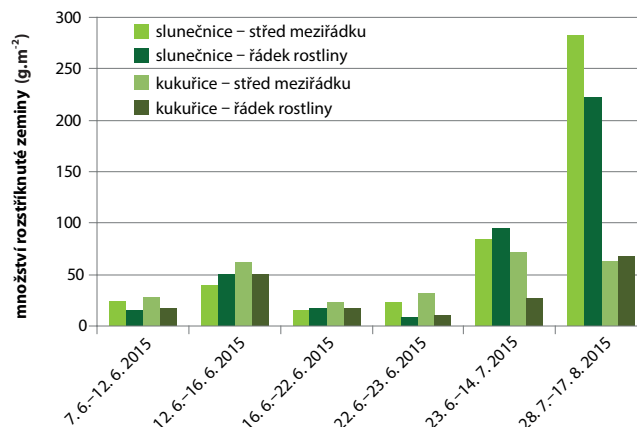
V hodnocených porostech ozimé řepky byly hodnoty MSR v průměru o 97 % nižší než na ploše bez vegetace. U řádků širších než 450 mm využívaných v rámci systémů pásového zpracování půdy se samozřejmě předpokládá přítomnost rostlinných zbytků v meziřádku, která zajistí dostatečnou ochranu půdy před erozí.

Pozitivní vliv šířky řádků (0,45 m) na eliminaci kapkové eroze



Obr. 30 – Vliv růstové fáze porostů kukuřice vysetých do řádků 0,45 m na eliminaci kapkové eroze ve srovnání s porosty s roztečí řádků 0,75 m. Kapková eroze je vyjádřena jako množství rozstříknuté zeminy na jednotku plochy (MSR, g.m⁻²) za hodnocené období. LAI je index listové plochy, D je výška rostlin (Brant a kol. 2014d)

Graf 12 – Hodnoty kapkové eroze v porostech slunečnice a kukuřice během vegetace za působení atmosférických srážek v roce 2015, lokalita Velvary. Hodnoty kapkové eroze jsou vyjádřeny jako množství rozstříknuté zeminy deštěm na jednotku plochy ve vztahu ke srážkové události v průběhu sledovaného období. Rozstříknutá zemina byla zachytávána jak v meziřádku (rozteč řádků činila 0,75 m), tak těsně u řádku vysetých plodin



3.4.1.1 Povrchový odtok

Ivan Novotný, Dominika Kobzová

Velikost povrchového odtoku a ztráta půdy plošnou a rýžkovou erozí u pásového zpracování půdy byly sledovány v rámci testování protierozní účinnosti jednotlivých technologií zpracování půdy pro kukuřici v roce 2013 a 2014.

V rámci polních zadešťovacích experimentů bylo ověřováno pět variant:

- pásové zpracování půdy – setí kukuřice s roztečí řádků 750 mm;
- pásové zpracování půdy – setí kukuřice s roztečí řádků 375 mm;
- konvenční zpracování půdy – setí kukuřice s roztečí řádků 750 mm;
- konvenční zpracování půdy – setí kukuřice s roztečí řádků 375 mm;
- kypřený černý úhor.

Ověřování probíhalo pomocí přenosného polního simulátoru deště (sestrojeného VŮMOP, v. v. i.), který umožňuje simulovat přívalové srážky s vysokou intenzitou. Zadešťování bylo uskutečněno vždy dvakrát po sobě, nejdříve na suché půdě s přirozenou vlhkostí a následně na mokré půdě nasycené vodou po prvním zadešťování. Hlavním důvodem opakování je minimalizovat chybu rozdílné počáteční vlhkosti půdy – při druhém zadešťování se plně projeví vliv dané technologie na ztrátu půdy a velikost povrchového odtoku.

Pokusy zadešťování probíhaly ve třech z pěti fází pěstební období (podle Janečka a kol. 2012), kdy jednotlivá období zohledňují nástup a průběh agrotechnických operací:

- období – období podmítky a hrubé brázdy
- období – období od přípravy pozemku k setí do jednoho měsíce po zasetí
- období – období po dobu druhého měsíce od jarního setí
- období – období od konce III. období do sklizně
- období – období strniště

Výsledné hodnoty ztráty půdy a velikosti povrchového odtoku jsou ovlivněny kombinací dvou faktorů. Prvním je vliv technologie základního zpracování půdy, především způsobu a hloubky zpracování půdy a množství posklizňových zbytků na povrchu půdy. Druhým faktorem je vliv porostu pěstované plodiny, kdy v důsledku růstu plodiny je snižována plocha, na kterou mohou volně dopadat kapky deště.

Vliv samotné technologie se nejlépe projeví v prvním termínu měření (II. období podle Janečka a kol. 2012), kdy je ochranný vliv porostu nepatrný (výška plodiny asi 50 mm) a prozatím nedošlo k tzv. slehnutí zpracované půdy. Při prvním termínu zadešťování se u technologie strip tillage výrazně projevil pozitivní vliv na oddálení počátku



Dovede vás
až na vrchol!

RGT Dozzen

řepka ozimá Hybrid

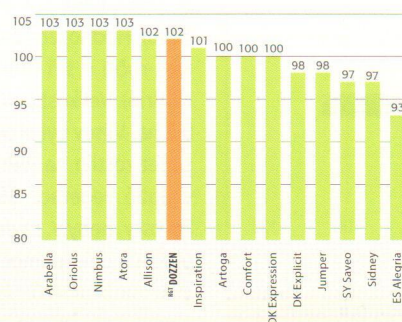


Supervýkonný hybrid ve všech oblastech pěstování

- mimořádná odolnost poléhání
- výborný zdravotní stav

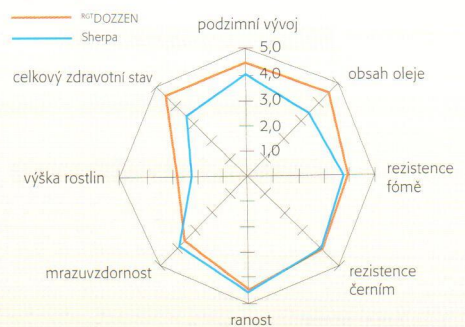
Jedná se o výjimečně plastický MSL hybrid ze společného šlechtění firem RAGT a NPZ. RGT DOZZEN patří k nízkým kompaktním hybridům s velmi vysokou odolností poléhání. V interních firemních pokusech společnosti RAGT je hodnocen nejlépe ze všech zkušebních odrůd. Mrazuvzdornost je vysoká, stejně tak odolnost chorobám, obzvláště hlízence a fómové hnilobě. RGT DOZZEN dosahuje vynikajících výsledků v příuškových oblastech. Odrůdu můžete vidět v pokusech SPZO 2017.

Výnos semen (%), poloprovazní pokusy SPZO 2016, sortiment A



Agronomické vlastnosti odrůdy RGT DOZZEN a Sherpa

Zdroj: RAGT, výsledky pokusů ČR, SR, PL, SRN a AUT (2014-15)



Ranost
středně
raná



Výška rostliny
nízká



Vývoj před zimou
kompaktní



Odolnost poléhání
velmi
vysoká



Mrazuvzdornost
výborná



Obsah oleje
velmi
vysoký



Odolnost k chorobám
Hlízence, Fóma
Plíseň zelná

Distribuce srážek v porostech slunečnice roční



Souhrn: Práce se zabývá problematikou distribuce nadporostní srážky porosty slunečnice. Stanovení porostní srážky a stoku po stonku probíhala na lokalitě Budihostice v roce 2016. Pro měření porostní srážky bylo využito automatických srážkoměrů umístěných v rozdílných částech meziřádku rostlin. Stanovení stoku vody po stonku bylo provedeno pomocí zádržných nádob umístěných na stonku slunečnice. Největší propad srážky byl zaznamenán do středu meziřádku, směrem od středu meziřádku k rostlinám klesal. Za hodnocené období dopadlo 78 % nadporostní srážky na povrch půdy v podobě porostní srážky a 20 % bylo svedeno po lodyze.

Klíčová slova: porostní srážka, stok po stonku, slunečnice roční

Distribution of rainfall in the sunflower field

Summary: This article is focused on rainfall spatial distribution under sunflower canopy. The field experiment to evaluation of rainfall distribution and stem flow was situated at Budihostice in 2016. For rainfall measuring were used an automaticaly rain gauges placed in interrow different zones. Stem flow was measured by retaining containers placed on sunflower stems. The highest values of throughfall were observed in the middle of interrow and declined towards plant rows. For the reviewed period 78 % of rainfall reach the soil surface as throughfall and 20 % as stem flow.

Keywords: throughfall, stem flow, sunflower

Rostlinný pokryv výrazně ovlivňuje distribuci srážek dopadajících na povrch půdy. V případě distribuce srážky se jedná o porostní srážku, která zahrnuje odkap vody z listů, přímý propad srážky na půdu a stok vody po rostlině. Stok vody po rostlině výrazně

ovlivňuje koloběh vody a živin ve fytocenózách, erozní procesy (např. Buiet Box, 1992), zóny infiltrace vody do půdy a hospodaření s vodou. Stok po stonku modifikuje prostorovou variabilitu vlhkosti půdy (Changet, Matzner 2000), a tím dochází nejen ke změnám



Ing. Michaela Škeříková působí na katedře agroekologie a biometeorologie České zemědělské univerzity v Praze jako studentka doktorandského studia. Výzkumně se zabývá problematikou distribuce srážek v porostech polních plodin a kvantifikace kapkové eroze.



zón čerpání vody, ale i živin. Stékající voda může zajišťovat přísun vody ke kořenům rostlin, zejména v suchých oblastech (Liu et al. 2015). Propad srážky je spojen se změnou velikostního spektra kapek (Morgan 2005), čímž se mění erozní účinek deště. Problematika distribuce vody porostem u pol-

ních plodin je intenzivně zkoumána zejména u kukuřice, a to jak z hlediska vláhové bilance, tak erozních procesů (např. Paltineanu et Starr 2000 a Brant et al. 2017). Pro porosty slunečnice jsou literární údaje velmi omezené/chybí. Cílem práce bylo stanovit vliv porostu slunečnice roční na distribuci nadpo-

rostopní srážky a specifikovat zóny dopadu srážkové vody do porostu a podíl stoku po lodyze na celkové hodnotě dopadající vody na povrch půdy.

Materiál a metody

Polní experimenty probíhaly v roce 2016 na lokalitě Budihostice (50.296-7908N, 14.2436175E), 191 m n. m. Půdním typem je haplická černozem, podíl mezi průměrnou sumou srážek a průměrnou roční referenční evapotranspirací činí za normálové období (1961–1990) 0,7 až 0,8 (Pivec et al. 2006). Hodnoceny byly porosty slunečnice roční o šíři řádků 0,75 m (hybrid NKBrio). Velikost pokusné plochy činila 0,2 ha. Výsev byl proveden 21. 4. 2016, počet rostlin na jednotku plochy činil v době vegetace 56 000 jedinců/ha. Porosty nebyly zavlažovány. V rámci porostů byla pomocí modifikovaných mikrosrážkoměrů (srážkoměry Pronamic ApS, DK) se záchytnými trychtýři o průměru 125 mm. Srážkoměry zachycovaly porostní srážku v zóně 0–125 mm ve vzdálenosti od středu řádku rostliny, poté v zóně 125–250 mm a v zóně 312,5–437,5 mm (střed meziřádku). Stok vody po lodyze byl kontinuálně zaznamenáván pomocí záchytných porostních mikrosrážkoměrů umístěných na stonku (0,2 m nad zemí) v kombinaci se srážkoměrem Pronamic ApS vyvinutým autorským kolektivem. Pro sběr dat byly využity ústředny ER3 (EMS Brno, CZ). Nadporostní srážka byla měřena ve výšce 3 m nad porostem srážkoměrem Met One Instruments (USA). Měření porostní srážky probíhalo od 29. 6. do 28. 8. 2016.

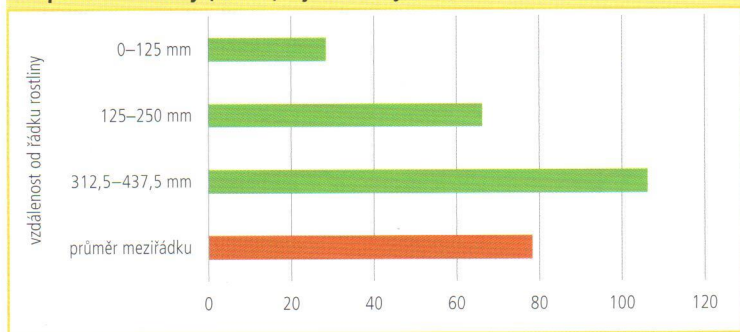
Dále byly u porostů stanovovány hodnoty indexu listové plochy (metodika podle Branta et al. 2014), produkce nadzemní biomasy a výšky porostu (metodika podle Branta et al. 2017). Hodnoty stoku vody po lodyze (SF, mm) a porostní srážky (P_{th}, mm) byly vyjádřeny v milimetrech vodního sloupce. Celkem bylo hodnoceno 31 srážkových událostí v termínu od 30. 6. do 12. 8. 2016. Suma hodnocených srážek se nacházela v intervalu 0,2 až 24,4 mm. Data byla zpracována v programu Mini32 ver. 403.18 (EMS Brno). Statistické vyhodnocení bylo provedeno v programu Statgraphics®Plus4.0, metoda ANOVA (Tukey, α=0,05).

Vlastní výsledky

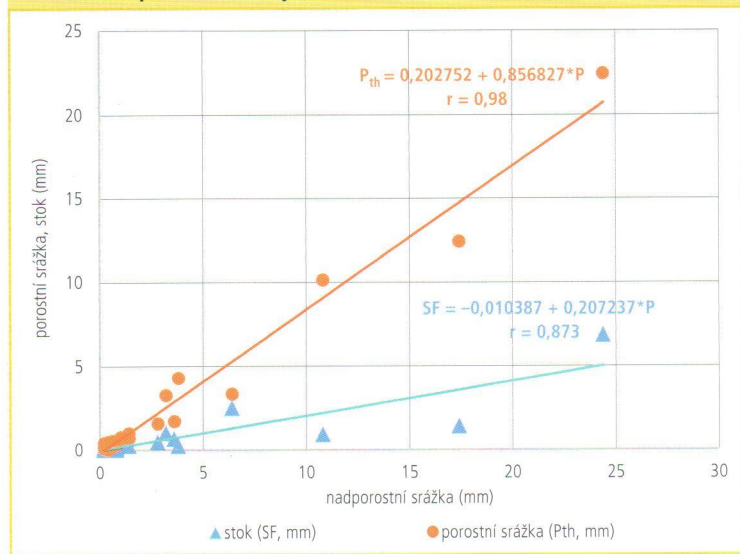
Na základě provedených měření byl prokázán vliv porostů na distribuci srážek porostem. Největší propad srážky byl zaznamenán ve středu meziřádku. Zde průměrné hodnoty porostní srážky převyšovaly hodnoty nadporostní srážky (graf 1). Směrem od středu meziřádku procentuální podíl porostní srážky (vůči nadporostní srážce) klesal. Nejnižší průměrná hodnota byla stanovena v zóně meziřádku 0–125 mm (graf 1).

S nárůstem nadporostní srážky dochází i ke zvyšování množství propadlé vody do porostu (graf 2). K výrazné koncentraci vody do středu meziřádku přispívají především vyšší srážky vykazující vyšší intenzitu. Při srážkách s intenzitou nad 0,2 mm za minutu je značná část srážky odváděna listovou plochou do středu meziřádku. Potvrzena byla rovněž pozitivní korelace mezi nadporostní srážkou a stokem

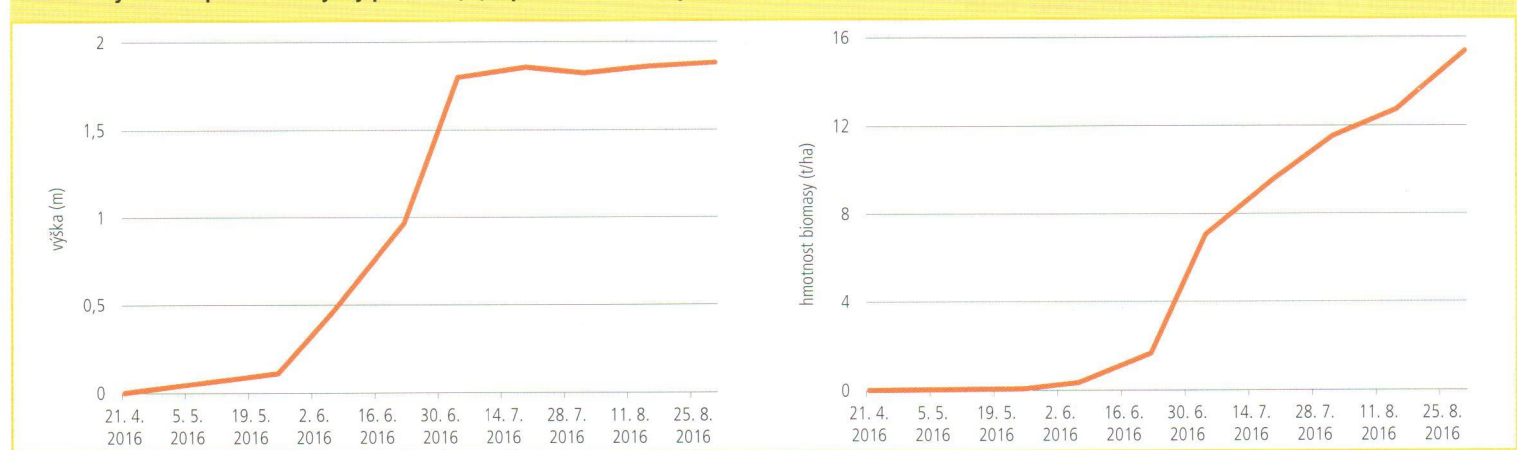
Graf 1 – Procentuální podíl porostní srážky (P_{th}, mm) na hodnotě nadporostní srážky (P, mm) v jednotlivých zónách meziřádku



Graf 2 – Závislost hodnot porostní srážky (P_{th}, mm) a stoku (SF, mm) na hodnotě nadporostní srážky (P, mm)



Graf 3 – Dynamika průměrné výšky porostu (m) a průměrné suché produkce nadzemní biomasy (t/ha) porostů slunečnice roční v roce 2016



OREX

Král přichází ...

- NOVINKA 2016
- První česká liniová dihaploidní odrůda
- Tříletý průměrný výnos v ZUH ÚKZÚZ 105 %
- Výnosem překonává většinu hybridů

Cortes

Dobyvatel Vašich polí

- Stabilně vysoký výnos
- Vynikající mrazuvzdornost
- Výborný poměr cena - výkon
- Vybrána pro PREOL IDEAL



www.selgen.cz



vody po lodyze (graf 2). Podíl srážkové vody stékající po stonku slunečnice je ve srovnání s hodnotou porostní srážky nižší. Za hodnocené období dopadlo 78 % nadporostní srážky na povrch půdy v podobě porostní srážky a 20 % bylo svedeno po lodyze. Hodnoty interceptce dosahovaly při nízkých srážkách až 72 %. Při vyšší intenzitě a sumě srážek dosahovaly jednotek procent.

Graf 3 dokumentuje dynamiku vývoje výšky porostu a nárůstu suché nadzemní biomasy porostu. Je z něj patrné, že měření probíhala již v době ukončení prodlužovacího růstu rostlin a v čase se tedy měnila hodnota LAI a samozřejmě velikost úboru. Tvorba úborů se projevila na dynamice produkce nadzemní biomasy.

Diskuse

Porosty slunečnice roční vykazují na základě srovnání s našimi měřeními (např. Brant et al. 2017) a s výsledky zahraničních autorů vyšší (např. Bui et Box 1992) hodnoty porostní srážky propadající do středu meziřádku ve srovnání s porosty kukuřice seté zakládáných do řádků s roztečí 0,75 m. U kukuřice seté je množství propadlé vody do meziřádku výrazně ovlivněno rozložením listové plochy do meziřádku, které závisí na uložení semene kukuřice seté v půdě. U slunečnice roční k tomuto efektu nedochází z důvodu rozmístění listů na lodyze ve spirále. Čepule mladých listů slunečnice roční většinou svírají s lodyhou ostrý úhel, ale s procesem stárnutí se od lodyhy odklánějí a v pozdější fázi vývoje svírají s lodyhou úhel tupý. Postavení řapíků se mění v závislosti na zatížení čepelí. Tvar a postavení řapíku vytváří dobré podmínky pro stok vody k lodyze. Proto lze předpokládat, že na stoku vody po lodyze se budou podílet především mladší listy, které se nacházejí v horní části rostliny.

Postavení listů slunečnice roční vytváří vhodné podmínky pro soustředěný odtok vody do středu meziřádku. Při vyšších srážkách dochází rovněž k zatížení čepelí vodou a následně k jejich dalšímu ohýbání se směrem od rostliny k zemi, což podmínky odtoku z listů směrem od lodyhy ještě zvyšuje (Brant et al. 2016). Tato skutečnost vysvětluje hodnoty porostní srážky stanovené ve středu meziřádku, které

převyšovaly sumu srážek dopadajících na povrch porostu (graf 1). U kukuřice seté k tomuto efektu dochází méně, protože i u planofilních typů svírají listy se stéblem ostrý úhel (nebo alespoň polovina listu), což podporuje především stok vody z části listu ke stéblu a poté odtok po stéble. U slunečnice roční je z důvodu habitu rostlin omezen stok vody po lodyze, čímž je menší část srážek sváděna k bázi lodyhy. Z hlediska vlivu morfologie rostliny a následně porostu je velmi zajímavou otázkou i vliv úboru na distribuci vody. Do doby otevření květů se jedná o heliotropismus, později o svěšování dozrávajícího úboru, které již pulvinusem ovlivněno není.

Daná skutečnost může být spojena i s rozvojem kořenového systému slunečnice roční ve srovnání s kukuřicí setou. Kutschera et al. (2009) uvádějí intenzivnější boční prokořenění horní vrstvy půdy, včetně prorůstání bočních kořenů do větší vzdálenosti od rostliny ve srovnání s kukuřicí setou.

Doporučení pro praxi

Při zakládání porostů slunečnice je potřebné u konvenčních technologií koncentrovat hrubší půdní částice (hrudky a menší hroudy) do meziřádku. Základem je tvorba hrubší půdní struktury na povrchu půdy při předsetové přípravě a její odstranění z povrchu setového lože použitím tzv. nosových radliček umístěných na secím stroji. Hrubší struktura půdy zpomaluje rozplavení povrchové vrstvy půdy, a tím prodlužuje dobu infiltrace

a zároveň snižuje rizika povrchového odtoku.

U půdoochranných technologií je základem kvalitní rozložení rostlinných zbytků v meziřádku a minimalizace jejich zakrytí půdou v důsledku nesprávného nastavení odhrnovačů rostlinných zbytků. Zakrytí rostlinných zbytků půdou a jejich nerovnoměrné rozložení v meziřádku zvyšuje riziko omezené infiltrace a povrchového odtoku.

Opatřením podporujícím zvýšení infiltrace v meziřádku je rovněž provedení kultivace během vegetace. Z důvodu eliminace vzniku podpovrchového utužení půdy, které je typické pro šípovité radlice, je vhodné použití dlátových radlic. Hloubka kypření by se při provedení poslední kultivace měla pohybovat, podle půdních podmínek, v rozmezí 0,14–0,18 m. Z hlediska využití tohoto způsobu kultivace je nutné podotknout, že v podmínkách České republiky jsou zkušenosti s jeho využitím zatím omezené.

Obecně, tak jako u jiných plodin, je v rámci pěstebních systémů potřebné eliminovat ztuhnutí půdy při provedení předsetové přípravy a při setí, které vzniká ve vrstvě 0,08 až 0,20 m v důsledku zatížení povrchu půdy pneumatikami. Omezení infiltrační schopnosti spodní části orničního profilu omezuje tvorbu zásob vody v ornici a rovněž zvyšuje rizika vodní eroze.

Závěr

Na základě výsledků byl prokázán pozitivní vliv porostů slunečnice na kon-

centraci vody do středu meziřádku. Díky této skutečnosti lze předpokládat, že ve středu meziřádku dochází k výraznějšímu ovlhčení této části půdního profilu. Zároveň lze v této části meziřádku očekávat vhodnější podmínky pro ovlivnění půdní struktury srážkovou vodou a zvýšení erozních rizik. Dosavadní měření poukázala na skutečnost, že většina vody dopadající na rostliny je transportována listy směrem od lodyhy a stok po lodyze odvádí menší část vody z dopadající srážky na povrch půdy. ✱

Práce vznikla v rámci projektu QJ1530181.

Oponentský posudek vypracoval prof. Ing. Josef Hůla, CSc., Výzkumný ústav zemědělské techniky, v. v. i.

**Ing. Michaela Škeříková,
doc. Ing. Václav Brant, Ph.D.,
Dr. Ing. Jan Pivec,
Ing. Petr Záborský, Ph.D.,
doc. Ing. Milan Kroulík, Ph.D.,
Česká zemědělská univerzita v Praze**

Seznam literatury

- CHANG, S. Ch., MATZNE, E., 2000. The effect of beech stem flow on spatial patterns of soil solution chemistry and seepage fluxes in a mixedbeech/oakstand. *Hydrological Processes*, 14, 135-144.
- LIU, H., ZHANG, R., ZHANG, L., WANG, X., Li, Y., HUANG G., 2015. Stem flow of water on maize and its influencing factors. *Agricultural Water Management*, 158, 35-41.
- BUI, E. N., BOX, J. E. Jr., 1992. Stem flow, rain throughfall, and erosion under canopies of corn and sorghum. *Soil Science Society of America Journal*, 56, 242-247.
- MORGAN, R. P., C., 2005. *Soil Erosion and Conservation*. 3rd Ed. Oxford, Blackwell Publishing, ISBN: 1-4051-1781-1, 304 s.
- PALTINEANU, I. C., STARR, J. L., 2000. Preferential water flow through corn canopy and soil water dynamics across rows. *Soil Science Society of America Journal*, 64, 44-54.
- PIVEC, J., BRANT, V., MORAVEC, D., 2006. Analysis of the potential evapotranspiration demands in the Czech Republic between 1961–1990. *Biologia*, 61, 294-299.
- Brant, V. eds, 2016: *Pásové zpracování půdy*. ProfiPress s. r. o., Praha, ISBN 978-80-86726-76-2. 135 s.
- KUTSCHERA, L., LICHTENEGGER, E., Sobotik, M., 2009. *Wurzelatlas der Kulturpflanzengemäbigter Gebiete mit Arten des Feldgemüsebaues*, DLG-Verlag, Frankfurt am Main, ISBN 978-3-7690-0708-4, 527 s.



Měřicí systémy pro měření porostní srážky a stoku po rostlině v porostu kukuřice

Foto Václav Brant



Ročník LXV

**Předplatné, distribuce
a fakturaci zajišťuje pro ČR i SR
oddělení distribuce**

modrá linka: 844 111 999

tel.: 277 001 600
e-mail: odbyt@profipress.cz
reklamace@profipress.cz
Cena za předplatné 840 Kč/32,40 €
Sleva pro studenty 50 %

**zelená linka pro SR zdarma
800 042 206 (bez předvolby)**

Adresa redakce
Jana Masaryka 2559/56b, 120 00 Praha 2
e-mail: uroda@profipress.cz

Šéfredaktor
Ing. David Bouma
tel.: 277 001 627
mobil: 724 311 085
e-mail: david.bouma@profipress.cz

Redaktorky
Ing. Barbora Venclová
tel.: 277 001 628
mobil: 724 531 806
e-mail: barbora.venclova@profipress.cz

Ing. Jana Pančíková, Ph.D.
mobil: 602 436 932
e-mail: jana.pancikova@profipress.cz

Inzerce
Ing. Tomáš Pištinec
tel.: 277 001 656
mobil: 602 378 575
e-mail: tomas.pistinec@profipress.cz

Redakce neodpovídá za věcnou
a jazykovou správnost inzerátů.

Jazyková korektura
Věra Dvorská, Věra Melicharová,
Hana Gruntorádová

Grafika
Roman Matušek
Ilona Frčková

Úprava foto
Jiří Kadlec

Vedoucí grafik
Jiří Hudec

Redakční rada
Prof. Ing. Jiří Balík, CSc.
Doc. Ing. Petr Baranyk, CSc.
Doc. Ing. Václav Brant, Ph.D.
Doc. Ing. Radim Cerkal, Ph.D.
Ing. Jaroslav Čepel, CSc.
Ing. Daniel Jurečka
Ing. Jan Kazda, CSc.
Ing. Jan Křováček, Ph.D.
Ing. Zdeněk Kvíz
Doc. Ing. Jan Mikulka, CSc.
RNDr. Jan Nedělník, Ph.D.
Ing. Radek Macháč, Ph.D.
Ing. Petr Martinec, CSc.
Ing. Prokop Šmírouš, Ph.D., ml.
Ing. Milada Zimáková

Tisk
H.R.G. spol. s r. o.

Vydává Profi Press s. r. o.
Jana Masaryka 2559/56b, 120 00 Praha 2

Vychází jednou za měsíc
Cena jednotlivého výtisku 70 Kč/2,70 €

Redakční uzávěrka 5. 4. 2017
ISSN 0139-6013 MK ČR E608

Neznají jinou alternativu

Minulý měsíc se moji dva kamarádi vrátili z Nepálu. Jsou to cestovatelé, každý rok si vyberou jednu destinaci, během týdne sbalí batohy a vyrazí. Už navštívili Ural, Patagonii, Mongolsko, Arménii a letos padl los na Nepál. Jejich cílem bylo obejít jednu z místních osmitisícovek. Při promítání fotografií z výpravy byl na jednom snímku obal od tatranky s expirací v ložském roce. „To je určitě od těch dvou Slováků, kteří zahynuli na treku kolem Dhaulágíri před třemi lety,“ vykřikl jeden z cestovatelů. Další fotografie zachycovala asi dvouleté dítě sedící uprostřed malého pole. Sedělo tam jen tak, bez hraček, v hlíně a čekalo na rodiče, až dokončí činnost, která jim přináší jedinou obživu. Políčko obdělávali dřevěným pluhem, který sami vyrobili. Zeptala jsem se, jak je možné, že Nepálci nemají lepší nářadí, když každý kolemjdoucí člen himálajské expedice má nejmodernější GPS navigaci a nejkvalitnější vybavení na zdolání osmitisícovky a zásobování mu do základního tábora přiveze helikoptéra. Kamarád mi odpověděl: „Neznají jinou alternativu.“

Do podobné situace, tedy, že neznají jinou alternativu, se dostali i evropští pěstitelé v souvislosti se zákazem používání neonikotinoidů. Zřejmě budou staženy i další účinné látky, což může mít fatální následky. Otázkou zůstává, do jaké míry se prokáže podezření z negativního vlivu aktivních látek clothianidin, imidacloprid a thiamethoxam na opylovače. V květnovém vydání Úrody naleznete v příspěvku Ing. Andrey Blažkové i opačný pohled na tento problém – legislativní požadavky na ochranu včel, a v článku Ing. Dalibora Titěry, CSc., se dozvíte o prevenci a praktickém řešení otrav včel pesticidy.

Také v okolních zemích je cílem minimální spotřeba pesticidů. Ale bez efektivních účinných látek nelze chránit rostliny proti škůdcům. Výstižně shrnul otázky reagující na situaci pěstitelů na semináři v Dolních Dunajovicích Ing. Marek Seidenglanz: „Lobbovat proti zakazování účinných látek, lobbovat za zrušení zákazu již zakázaných látek, nebo se pokusit přijít na to, co je vlastně možné integrovat a jak začít dělat integrovanou ochranou rostlin důsledně?“ Tedy tak, aby se využily všechny možné způsoby ochrany a pěstební systémy nebyly závislé pouze na pesticidech. Možná se osvědčí nové hybridy z postneonikotinoidního šlechtění, které představila společnost Rapool. Nebo půjde letecky aplikovat armádu sluněčka sedmítečného, aby si poradila s mšičí broskvoňovou a biologicky se tak předešlo napadení virem žloutenky vodnice (TuYV), se kterým se potýkala řada pěstitelů na podzim. Možná je to utopie jako z pera Orwellova. Uvidíme. Každá pěstitelská sezóna je jiná a přináší nové nástrahy, škůdce, ale i zkušenosti. Hledejme vhodné alternativy, protože bez účinných nástrojů na ochranu rostlin může být ohrožena zemědělská výroba a v konečném důsledku i dodávky potravin.

Jana Pančíková

Sledujte odbornou diskusi na téma:

Změny ve významu a škodlivosti škůdců obilnin a olejnin

Ing. Jan Kazda, CSc.
Česká zemědělská univerzita v Praze

Ing. Barbora Venclová
redaktorka časopisu Úroda

tv
Zemědělec

www.tvzemedelec.cz

5. Celková diskuse dosažených výsledků

Předkládané práce jsou řazeny dle příslušnosti k jednotlivým cílům práce. Do výsledkové a diskusní části práce byly zahrnuty čtyři původní vědecké práce s IF, jeden recenzovaný odborný článek a jedna kapitola z odborné monografie.

1) Stanovení vlivu rozdílných polních plodin na distribuci dopadajících srážek v porostu a kvantifikace jednotlivých složek po redistribuci.

Stanovení poměru stoku vody po rostlině, propadu srážky a intercepčního výparu vůči nadporostní srážce v odlišných plodinách je důležité z hlediska hodnocení vlivu porostů na erozní procesy a na následné zóny infiltrace vody do půdy. Význam vlivu distribuce srážek porosty na následné rozložení dopadu srážkové vody na povrch půdy hodnotili např. Chang a Matzner (2000), Levia a Frost (2003) či Martello *et al.* (2015), následný vznik vodní eroze popisují např. Sharma *et al.* (1991), van Dijk *et al.* (1996). Průchodem srážkové vody porostem dochází nejen ke změně velikosti dešťových kapek, ale i ke změně velikostního spektra kapek (Morgan, 2005; Frasson *et al.*, 2011). Zároveň porostní srážka ovlivňuje transport živin a působí na chemismus půdního prostředí (např. Levia a Herwitz, 2002). Publikace: **Distribuce srážek v porostech slunečnice roční** – Škeříková, M., Brant, V., Pivec, J., Zábranský, P., Kroulík, M. 2017. *Úroda* 65 (5). 47 – 50, hodnotí vliv porostů slunečnice roční na distribuci atmosférické srážky při jejím propadu porostem. Nejvyšší hodnoty propadu atmosférických srážek byly zaznamenány ve středu meziřádku a přesahovaly hodnotu nadporostní srážky průměrně o 7 %. Důvodem vedoucím ke zvýšení hodnoty propadu srážek do středu meziřádků slunečnice roční je stékání vody po listech směrem od rostliny, což vede ke kumulaci odkapávající vody z listů v zóně meziřádku. Kromě odkapávající vody z listů se na hodnotě porostní srážky ve středu meziřádku podílí i přímý propad dešťových kapek porostem. Průměrně na povrch půdy dopadlo za hodnocené období 78 % atmosférické srážky a 20 % bylo svedeno po lodyze. Hodnoty porostní srážky byly na základě literárních údajů u polních plodin sledovány především v porostech kukuřice seté (např. Bui a Box, 1992; Liu *et al.*, 2015; Frasson *et al.*, 2016). Ve starší literatuře jsou omezeně dostupné údaje například pro porosty zelenin (Morgan, 2005). Zvýšený propad porostní srážky do středu meziřádku potvrzují u porostů kukuřice seté i jednoleté výsledky Branta *et al.* (2016). Tito autoři uvádějí, že propad srážky do středu meziřádku u kukuřice seté pěstované v řádcích o šířce 0,75 m v letech 2012 – 2014 byl 54 % z atmosférické srážky. V porostech kukuřice seté i slunečnice roční dochází tedy k nejvyššímu propadu ve středu meziřádku a směrem k řádku rostlin tyto hodnoty klesají. Díky střídavému

postavení listů kukuřice seté, úhlu, který svírají se stéblem (Paltineanu a Starr, 2000), a jejich menšímu překrývání je však tento efekt méně výrazný než u slunečnice roční. Brant *et al.* (2016) toto potvrzují na základě simulované srážky, kdy při vyšší intenzitě srážky naměřili vyšší propad a nižší stok vody po stonku slunečnice roční. Při nízké intenzitě srážky změřili nižší hodnoty propadu i stoku u kukuřice seté v porovnání se slunečnicí roční. Liu *et al.* (2015a) stanovili průměrný stok vody po kukuřici seté jako 42 % z celkové srážky a zdůrazňují i vliv indexu listové plochy (LAI) na tuto hodnotu. Fan *et al.* (2008) uvádějí, že stok se na hodnotě porostní srážky může podílet 5 až 70 % a to v závislosti na vývojové fázi rostliny a exponenciálně vzrůstá se vzrůstajícím indexem listové plochy. Velikost listové plochy primárně ovlivňuje nejen fyziologické procesy v rostlině, ale zásadním způsobem se podílí na distribuci porostní srážky, omezení kapkové eroze v důsledku snížení kinetické energie dešťových kapek a ovlivňuje i vlhkostní charakteristiky půdy. Vliv rozmístění rostlin na pozemku a hodnoty LAI na kumulativní hodnotu porostní srážky popisují Davie a Durocher (1997). Na distribuci srážek má také vliv struktura porostu a změna habitu rostlin (Crockford a Richardson, 2000). U bylinných společenstev je přerozdělování srážky ovlivňováno počtem listů, překrýváním listů rostlin a výškou rostlin (Bui a Box, 1992). Paltineanu a Starr (2000) uvádějí, že s postupným stárnutím kukuřice dochází k ohýbání listů vrcholem k povrchu půdy, což má výrazný vliv na množství vody v porostní srážce, vliv má i růstová fáze. Na základě výše uvedených skutečností lze hodnoty LAI považovat za jeden z významných faktorů ovlivňující hodnoty porostní srážky. Z hlediska vlivu parametrů porostu je však potřebné uvažovat i o jeho vlivu na vodní bilanci, která má vliv na vlhkostní charakteristiky půdy a následně na erozní rizika.

V publikaci **Water demands and biomass production of sorghum and maize plants in areas with insufficient precipitation in Central Europe** – Škeříková, M., Brant, V., Kroulík, M., Pivec, J., Zábranský, P., Hofbauer M., Hakl, J. 2018. *Plant, Soil and Environment* 64 (8). 367 – 378, je podrobně zpracována analýza dynamiky tvorby přírůstku listové plochy vyjádřené hodnotou LAI u kukuřice seté a čiroku obecného ve vztahu k vlivu ročníku. Práce se rovněž věnuje evapotranspiračním a transpiračním nárokům hodnocených porostů z hlediska vláhové bilance. Zajímavou skutečností popsanou v práci je i vliv porostů na hodnoty objemové vlhkosti půdy v průběhu vegetace. Vláhové nároky polních plodin byly stanoveny na základě měření aktuální evapotranspirace metodou Bowen ratio energy balance (BREB), dále byla měřena transpirace porostů (metoda sap flow), index listové plochy a produkce biomasy. V hodnocených letech 2010 – 2012 byla vyšší produkce nadzemní biomasy stanovena u kukuřice seté (20,6 – 24,3 t·ha⁻¹) oproti čiroku obecnému (15,7 – 21,7 t·ha⁻¹). Hodnoty LAI se

u kukuřice seté v době sklizně pohybovaly od 2,6 – 4,7 a u čiroku 5,6 – 9,3. Pouze v suchém roce 2012 byla evapotranspirace vyšší v porostu čiroku obecného. Rozdíly mezi hodnotami sap flow v porostech kukuřice seté a čiroku obecného nebyly průkazné. Nízkou evaporaci v porostu čiroku obecného naznačují naměřené hodnoty transpirace, zřejmě z důvodu vysokého LAI. V porostu čiroku obecného je vyšší pokryvnost listoví na jednotku plochy v důsledku toho by mělo docházet k nižšímu propadu srážky na povrch půdy. Výsledky práce poukazují na skutečnost, že pozdější termín setí čiroku obecného vůči kukuřici seté a nižší evaporace jeho porostu pozitivně ovlivňují množství dostupné vody v půdě (na základě hodnocení VWC), do jisté míry tak zvyšují infiltrační kapacitu půdy. Vyšší obsah půdní vody a větší listová plocha v porostu čiroku obecného pak může mít za následek snížení erozní ohroženosti porostu v porovnání s porostem kukuřice seté. Vyšší infiltrační schopnost půdy díky vyšší vlhkosti půdy v porostech čiroku obecného potvrzují i Bui a Box (1992). Kato a Kamichika (2006) dokumentují pokles evaporace u porostů čiroku obecného na základě vyšších hodnot LAI, což může vést ke zvýšení hodnot objemové vlhkosti půdy. Stanovení vyšších hodnot objemové vlhkosti půdy v porostech čiroku obecného může vysvětlovat i vyšší efektivita využití vody touto plodinou (Tolk a Howell, 2003). Pan *et al.* (2011) poukazují naopak na vyšší evapotranspiraci kukuřice seté v suchých letech ve srovnání s čírokiem obecným, ve srážkově příznivém roce pozorovali opačný efekt.

2) Specifikace porostů a procházející srážky z pohledu rizika vzniku kapkové eroze, zadržetí vláhy v půdě a neproduktivního výparu.

Základem erozních procesů je kapková eroze (Morgan, 2005) vyvolaná přímým dopadem kapek deště nebo odkapávající vodou z rostlin. Kapky rozbíjejí navlhající půdní agregáty a jemné částice půdy vzniklé rozpadem půdní struktury se společně s bobtnáním půdních agregátů podílejí na omezení infiltrace. Zároveň jsou tyto částice uvolněny do vody nacházející se na povrchu půdy a mohou být vodou následně transportovány (van Dijk *et al.*, 2002; Leguèdois *et al.*, 2005). Voda přítomná na povrchu půdy se vsakuje nebo se začíná kumulovat v prohlubních na povrchu pozemku. Dopadá-li na půdu větší množství vody, než je schopna přijmout, začíná se voda hromadit na jejím povrchu a dochází k povrchovému odtoku. Kapková eroze je závislá na kinetické energii deště, jeho intenzitě, stabilitě půdních agregátů a na rostlinném pokryvu (Quansah, 1981; Sharma *et al.*, 1991; van Dijk *et al.*, 1996). Dále závisí na vrstvě vody nacházející se na povrchu (Richter, 1998) a na přítomnosti kamenů, hrud a rostlinných zbytků na povrchu půdy (Wainwright, 1996; Morgan, 2005).

Práce **Eliminace erozních procesů** – Brant, V., Škeříková, M., Pivec, J. 2016, 39 – 42. In. Brant, V. (ed.) – Pásové zpracování půdy (Strip tillage), Profi Press, Praha, 135 s. řeší problematiku vlivu rozdílných systémů zpracování půdy na hodnoty kapkové eroze. Výrazně nižší hodnoty kapkové eroze vykazovaly systémy pásového zpracování půdy ve srovnání s oranou variantou, či s plochami s mělkým kypřením. Autoři uvádějí, že faktorem eliminujícím rozpad půdní struktury je přítomnost větších půdních struktur na povrchu půdy v meziřádku u technologie pásového zpracování půdy, je-li kypření prováděno do mělce zpracované půdy. V případě provedení pásového kypření do nezpracovaného strniště předplodiny se jedná o přítomnost rostlinných zbytků předplodiny v prostoru meziřádku.

Pozitivní vliv pokrytí půdy rostlinnými zbytky na eliminaci eroze popisují např. Dickey *et al.* (1985) a Shelton *et al.* (1995). Choudhary *et al.* (1997) uvádějí, že hodnoty kapkové eroze jsou na oraných plochách ve srovnání s technologiemi kypření půdy bez obracení či setí do nezpracované půdy průkazně vyšší. Edwards *et al.* (2000) uvádějí, že 20% pokrytí povrchu půdy slámou snížilo hodnoty rozstřiku půdy při kapkové erozi ve srovnání s 5% pokryvností půdy slámou o 36 %. Dickey *et al.* (1984) uvádějí, že systémy zpracování půdy zajišťující více než 20% pokrytí půdy rostlinnými zbytky snižují ve srovnání s orbou hodnoty kapkové eroze minimálně o 50 %. Brant *et al.* (2015) uvádějí, že přítomnost odumřelých posklizňových zbytků v meziřádcích kukuřice seté, či živý mulč tvořený jílkem vytrvalým, průkazně snižovaly hodnoty kapkové eroze ve srovnání s oranou variantou bez přítomnosti mulče na povrchu půdy.

Zajímavou otázkou je nejen přímý vliv porostů polních plodin na rizika vzniku vodní eroze, ale i jejich nepřímé působení. Mezi přímé působení lze jednoznačně zahrnout strukturu porostu, habitus rostliny, vývojovou fázi a následně i technologii zpracování půdy a setí (např. Bui a Box, 1992; Paltineanu a Starr, 2000; Fan *et al.*, 2008; Liu *et al.*, 2015; Frasson *et al.*, 2016). Mezi nepřímé vlivy lze zařadit například působení porostů vodní bilanci stanoviště. Vláhová bilance následně rozhoduje o půdních vlastnostech, které přímo ovlivňují erozní procesy. Zejména se jedná o interakci mezi půdní vlhkostí a erozními procesy (van Dijk *et al.*, 2002; Leguèdois *et al.*, 2005). Z praktického hlediska lze znalost evapotranspiračních nároků plodin využít pro stabilizaci vodní bilance stanoviště na základě cíleného ovlivnění struktury porostu a délky trvání a dobou nástupu vývojových fází porostu (San José *et al.*, 2003). Hodnoty transpirace porostů závisí na pěstebním systému, včetně systému hnojení (Shepherd *et al.*, 1987), termínu výsevu (Connor *et al.*, 1992) a druhu či odrůdě plodiny (Eastham a Gregory, 2000). Dále se jedná o hodnocení energetických toků a specifikaci efektivity využití vody (např. Corbeels *et al.*, 1998; Asseng a Hsiao, 2000) a posouzení transformace energie v krajině (Ripl,

1995). Významné je stanovení hodnot skutečné evapotranspirace pro výpočet crop koeficientů (Inman-Bamber a McGlinchey, 2003; Hanson a May, 2006; Kato a Kamichika, 2006). Crop koeficient lze obecně specifikovat jako jednoduchý a duální (Allen *et al.*, 1998). Jednoduchý koeficient vychází z celkové evapotranspirace porostů. Duální slučuje primární transpiraci porostů a koeficient zahrnující evaporaci půdy (Hanson a May, 2006). Znalost hodnot crop koeficientů umožňuje následné stanovení vypočtené hodnoty aktuální evapotranspirace na základě znalosti referenční evapotranspirace. Crop koeficient je při tomto způsobu stanovení roven podílu aktuální evapotranspirace daného porostu a referenční evapotranspirace (Allen *et al.*, 1998). Problematika stanovení aktuální evapotranspirace porostů a crop koeficientů je intenzivně zkoumána především v aridních a semiaridních oblastech, zejména v souvislosti s otázkou závlahy (Allen *et al.*, 1998). Obecně jsou informace o hodnotách K_c v podmínkách střech Evropy omezené. Předložená publikace: **The values of crop coefficients and bowen ratio of field crops in areas with insufficient precipitation in central Europe** – Zábanský, P., Pivec, J., Brant, V., Kroulík, M., Škeříková, M. 2015. Irrigation and Drainage. 64 (2). 493 – 498, stanovuje plodinové koeficienty na základě měření aktuální evapotranspirace a referenční evapotranspirace v polních podmínkách. V letech 2007 až 2012 byly metodou Bowenova poměru hodnoceny porosty cukrové řepy, ječmene jarního, vojtěšky seté, čiroku obecného, pšenice ozimé a kukuřice seté. Bylo zjištěno, že hodnoty crop koeficientů se pro většinu zemědělských plodin mění v závislosti na vývojové fázi porostu. V intervalu od zasetí do počátku vývoje porostu jsou hodnoty crop koeficientu nízké, neboť výpar probíhá především z povrchu půdy. Se zapojováním porostů hodnoty crop koeficientu vzrůstají a se zráním klesají. Hodnoty Bowenova poměru (β) vyšší než 1 značí, že v důsledku nedostatku vody v prostředí dochází k ohřevu přízemních vrstev atmosféry. U obilnin je tento poměr od fáze mléčněvoskové zralosti až do úplné zralosti, kdy porosty již netranspirují. Porosty cukrové řepy mají nízký Bowenův poměr po celou dobu vegetace. Hodnoty Bowenova poměru u vojtěšky jsou v průběhu roku nevyrovnané, resp. jsou nízké a po seči vzrůstají. Nárůst β po seči u vojtěšky potvrzují i Asseng a Hsiao (2000). U kukuřice seté a čiroku obecného byly také prokázány v druhé polovině vegetace hodnoty nižší než 1, tyto porosty tedy v době zrání obilnin jsou schopny díky transpiraci ochlazovat přízemní vrstvy atmosféry. Hodnoty crop koeficientů byly stanoveny v porostech pšenice ozimé a ječmene jarního od začátku vývoje porostu až do fáze zrání v intervalu 0,83 – 1,73. S nástupem zrání hodnoty poklesly až na 0,5. V porostech cukrové řepy se crop koeficienty pohybovaly v intervalu 0,6 – 1,17. Interval hodnot pro kukuřici setou a čirok obecný byl 0,51 – 1,03. Hodnoty crop koeficientů jsou závislé na růstové fázi plodiny a v průběhu vegetace dochází k jejich změně. U vojtěšky seté se crop koeficienty pohybují od

1,31 – 0,51, kdy k významnějšímu poklesu hodnot dochází po seči. Tyagi *et al.* (2000) stanovili hodnoty crop koeficientů pro průběh vývoje pšenice ozimé od 0,5 – 1,24, pro fázi zrání stanovili 0,42. Kalkulovaná hodnota crop koeficientu pro střed vegetace cukrové řepy je dle Allen *et al.* (1998) 1,15. Na počátku vývoje porostu čiroku obecného stanovili Tyagi *et al.* (2000) crop koeficient 0,53. Pro další vývojové fáze rostlin čiroku obecného – prodlužovací růst, kvetení a zrání – stanovili koeficienty 0,53; 1,24 a 0,85.

3) Kvantifikace vlivu půdních vlastností včetně těch, které jsou ovlivněny rostlinným pokryvem, na hodnoty kapkové eroze, infiltrace srážek a neproduktivního výparu.

Kapková eroze je závislá na množství faktorů jako je kinetická energie deště a jeho intenzita, plodina a struktura jejího porostu, přítomnost objektů tlumících kinetickou energii dopadajících kapek na povrchu půdy (hroudy, kameny, živý či mrtvý mulč), zpracování půdy, stabilita agregátů a vlhkost půdy (Morgan, 2005). Jednou z možností jak zajistit přítomnost posklizňových zbytků předplodiny v meziřádku, je pásové zpracování půdy. Nakypření půdy v místě budoucího řádku plodiny umožňuje rychlejší zasakování vody svedené po rostlině a eliminuje tak povrchový odtok. Bui a Box (1992) uvádějí, že až jedna třetina množství vody svedené po rostlině může být součástí povrchového odtoku. Významnou roli z hlediska vlivu porostů na hodnoty kapkové eroze má samotná struktura porostu. Kapkovou erozi v porostech kukuřice seté ovlivňuje i šířka řádků (Nübel, 2009; Mohammadi *et al.*, 2012) Pěstování kukuřice seté za použití technologie pásového zpracování půdy je možné i při nižší rozteči řádků, než je standardních 0,75 m. Poté sice dochází k vyššímu procentu zpracované půdy vůči celkové výměře pozemku, ale na protierozním působení se podílí jiná struktura porostu. Touto problematikou se detailně zabývá publikace: **Effect of row width on splash erosion and throughfall in silage maize crops** – Brant, V., Zábranský, P., Škeříková, M., Pivec, J., Kroulík, M., Procházka, L. 2015. Soil and Water Research. 12 (1). 39 – 50. Cílem práce bylo v porostech kukuřice seté o rozteči řádků 0,45 m a 0,75 m stanovit vliv rozdílné šířky řádků na kapkovou erozi v průběhu vegetace, stanovit variabilitu propadu srážky v závislosti na šířce řádku, stanovit závislost mezi propadem srážky a kapkovou erozí a kvantifikovat vztah mezi výškou porostu, indexem listové plochy a propadem srážky. Publikovaná práce se v souladu s dílčím cílem doktorského studia zabývá i otázkou hodnocení vlivu půdních vlastností na hodnoty kapkové eroze, zejména ve vztahu ke stabilitě půdních agregátů. V porovnání s řádky 0,75 m byla zjištěna statisticky průkazně vyšší stabilita půdních agregátů v meziřádku na experimentální ploše s roztečí řádků 0,45 m pouze v roce 2012, v dalších hodnocených letech (2013 a 2014) již výsledky nebyly průkazné. Větší vliv na stabilitu půdních agregátů než rozteč

řádků pěstované plodiny má zpracování půdy a pokryvnost půdy posklizňovými zbytky (Brant *et al.*, 2011; Brant *et al.*, 2012). Zároveň tento autorský kolektiv poukazuje na vztah mezi hodnotami kapkové eroze a podílem stabilních půdních agregátů ve svrchní vrstvě půdy. V rámci nepublikovaných výsledků disertační práce byla stanovena závislost kapkové eroze na stabilitě půdních agregátů jako: $MSR = 0,523099 - 0,000333734 * SAS$ (koeficient korelace = - 0,999, hladina významnosti 95%). Z dalších výsledků vyplývá, že byla potvrzena korelace mezi celkovou srážkou, propadem srážky a kapkovou erozí. V porostech s užšími řádky (0,45 m) byly v letech 2012 a 2014 naměřeny statisticky průkazně nižší hodnoty množství rozstříknuté zeminy, než v porostech s řádky 0,75 m. V roce 2013 byly také nižší, ale nikoli statisticky průkazně. Bylo prokázáno, že se vzrůstající intenzitou srážky byly hodnoty propadu srážky vyšší v porostech s řádkováním 0,75 m, kde byl propad nejvyšší ve středu meziřádku a směrem k rostlině docházelo k poklesu měřených hodnot. Do středu meziřádku dopadalo 53,8 % z nadporostní srážky u šířky řádků 0,75 a 32,3% u šířky řádků 0,45 m. Při porovnání závislosti kapkové eroze na propadu srážky docházíme k závěru, že u porostů se šířkou řádků 0,75 m je nejtěsnější závislost v zóně 125 – 250 mm od řádku rostlin. U porostů o šířce řádků 0,45 m tato závislost není jednoznačná. Zároveň byla prokázána závislost mezi výškou rostliny a úrovní kapkové eroze, u řádků 0,75 m je těsnější. U porostů o šířce řádků 0,45 m byla prokázána těsnější korelace mezi indexem listové plochy a propadem srážky do meziřádku. Vyšší propad srážky ve středu meziřádku v porostech o šířce řádků 0,75 m potvrzují i Bruckler *et al.* (2004), neboť je zde větší meziřádkový prostor a nedochází k překrývání listů v meziřádku. Dle údajů Quinn a Laflen (1983), Parkin a Codling (1990), Bui a Box (1992) a Paltineanu a Starr (2000) je poměr mezi nadporostní srážkou a naměřeným propadem srážky 34 – 84 % v závislosti na plodině. V souvislosti s vývojem technologií pro zpracování půdy (např. strip tillage) dochází ke změně šířky řádků nejen u kukuřice, kde je diskutováno zúžení řádků, ale naopak rozšíření řádků u řepky olejky. Brant a kol. (2016) hodnotili vliv šířky řádků řepky olejky na propad srážky porostem. Na základě jejich měření nebyly mezi hodnocenými variantami o roztečích řádků 125, 250, 350 a 450 mm stanoveny zásadní rozdíly. Výška rostlin byla v průběhu vegetace srovnatelná, tudíž lze předpokládat, že propad srážky porostem nebyl ovlivněn jeho výškou.

Erozní procesy jsou ovlivněny rostlinným pokryvem půdy, a proto nelze opomenout ani vliv plevelných společenstev. Hodnocení případného pozitivního efektu plevelných rostlin z hlediska omezení erozních procesů na půdě je spíše minoritní záležitost, neboť primárně je sledována jejich rizikovost z pohledu omezení produkce porostu. Cerda *et al.* (2018) popisují

pozitivní vliv plevelů a meziplodin nacházejících se v meziřadí v plantážích citrusů na zvýšení hodnot infiltrace, omezení zhutnění půdy a na zvýšenou tvorbu mulče. Na protierozní vliv plevelných rostlin z hlediska omezení kapkové eroze od podzimu do jarní aplikace totálního herbicidu před výsevem kukuřice seté poukazují Brant *et al.* (2017). Využití řízeného růstu plevelů v meziřádcích kukuřice seté jako ekonomicky výhodného protierozního opatření při jejím terasovitém pěstování popisují Lenka *et al.* (2017). Z hlediska negativního vlivu plevelů na erozní procesy je poukazováno na omezení růstu hlavní plodiny či meziplodiny v důsledku jejich rozvoje a tím na snížení protierozní ochrany kulturních porostů (např. O'Rourke, 2017). Přítomnost plevelů na stanovišti je rovněž spojena s odčerpáním vody z půdy, což vede k poklesu obsahu vody v půdě (Dalley *et al.*, 2006; Sadeghi *et al.*, 2007) a ke zhoršení infiltrace vody do suché půdy (Leguèdois *et al.*, 2005). Cílem práce: **Determination of the influence of herbicides on dicotyledons plant transpiration using the sap flow method** – Brant, V., Pivec, J., Hamouzová, K., Záborský, P., Satrapová, J., Škeříková, M. 2014. *Plant, Soil and Environment* 60 (12) 562 – 568, bylo ověřit vliv účinku rozdílných účinných látek herbicidů na transpirační tok rostliny na základě kontinuálních měření transpirace pomocí sap flow. Jako modelové plodiny bylo využito slunečnice roční, jejíž rostliny jsou vysoce citlivé na herbicidy. Na vysokou citlivost slunečnice vůči herbicidnímu ošetření upozorňují např. Jursík *et al.* (2011) či Málek *et al.* (2010). V rámci hodnocení byly sledovány následující herbicidy s účinnou látkou *bromoxynil* (přípravek Pardner 22,5 EC; inhibitor PS II) a *clopyralid* (přípravek Lontrel 300; blokátor auxinů). Účinek herbicidního ošetření byl stanoven na základě výpočtu modelové transpirace rostliny bez ošetření a srovnání tohoto průběhu s aktuálními hodnotami transpirace po aplikaci herbicidu. Při ošetření *bromoxynilem* došlo k významnému poklesu transpirace a to již několik hodin po aplikaci. Po ošetření přípravkem s účinnou látkou *clopyralid* transpirace poklesla méně významně. Na základě této skutečnosti lze usuzovat, že po aplikaci *clopyralidu* budou plevele po určitou dobu konkurenceschopné vůči kulturní plodině. Konkurence mezi plodinou a pleveli o vodu je základním faktorem ovlivňujícím vodní stres na stanovišti a zároveň tak základním faktorem ovlivňujícím tvorbu biomasy kulturních i plevelných rostlin (Acciaresi a Guamet, 2010). Fyziologická odpověď na ošetření herbicidem je měřením sap flow patrná dříve, než se objeví vizuálně detekovatelné symptomy. Ovšem Van Oorschot (1970) uvádí, že ošetření přípravkem s účinnou látkou působící jako inhibitor fotosyntézy se rychleji projeví poklesem fotosyntetické aktivity, než poklesem transpirace. Na základě měření fluorescence chlorofylu bylo zjištěno, že ošetření *bromoxynilem* průkazně rychleji snižuje účinnost PS II u slunečnice roční, ve srovnání s ošetřením *clopyralidem*. Pomalejší odumírání rostlin po aplikaci růstového herbicidu (*clopyralid*) prodlužovalo období spotřeby vody

roślinami. Vodní stres rostliny projevující se poklesem transpirace je detekovatelný i pomocí termometrických měření, jelikož dochází k uzavření průduchů a tedy zvýšení povrchové teploty listů. Brant *et al.* (2017) pomocí termometrie detekovali nárůst povrchové teploty listů slunečnice roční ošetřených výše uvedenými herbicidy již 2 hodiny po aplikaci. Z hlediska vlivu plevelů na omezení kapkové eroze může rychlé ztráta listové plochy v důsledku aplikace herbicidů vést ke snížení ochranného vlivu vegetace.. Paradoxně tak může docházet ke snížení propadu srážky do mezířádku přičemž povrch půdy je chráněn mrtvým mulčem plevelných rostlin. Brant *et al.* (2017) však upozorňují na nedostatečnou ochranu povrchu půdy mrtvým mulčem plevele a doporučují pásové setí do umrtveného porostu jílku vytrvalého.

6. Závěr

V souladu se stanovenými cíli a hypotézami lze na základě výsledků z terénních a laboratorních experimentů prezentovaných v této práci vyvodit následující závěry:

Hodnocení distribuce srážek v porostech kukuřice seté, slunečnice roční a řepky olejky prokázala, že mezi jednotlivými plodinami existují rozdíly v redistribuci procházející srážky. U slunečnice roční v průměru 78 % atmosférické srážky propadlo porostem na povrch půdy, v porostu kukuřice byl naměřen propad srážky 54 %. Tato skutečnost je odvislá od habitu rostlin, kdy hlavním biotickým faktorem ovlivňujícím jednotlivé složky po distribuci je postavení, velikost a povrch listů. Dále byl prokázán vliv růstové fáze plodiny na poměr mezi propadem srážky do meziřádku, stokem vody po rostlině a intercepčním výparem, tato skutečnost byla těsněji závislá u porostů kukuřice o šířce řádků 0,75 m než u porostu o rozteči řádků 0,45 m. Při porovnání vláhových nároků kukuřice seté a čiroku obecného bylo zjištěno, že ačkoli obě plodiny patří do skupiny plodin C4, efektivita využití vody je u nich rozdílná a porost čiroku pozitivně ovlivňuje množství dostupné vody v půdě. Výsledky těchto experimentů umožňují přijetí první hypotézy o předpokladu vlivu plodiny a růstové fáze na distribuci srážek.

Bylo prokázáno, že volba technologie zpracování půdy má vliv na hodnoty kapkové eroze. U pásového zpracování půdy byla zjištěna redukce erozního ohrožení povrchu půdy do zapojení porostu. V rámci nepublikovaných výsledků byla zjištěna negativní korelace mezi stabilitou půdních agregátů a hodnotami kapkové eroze. Pásové zpracování půdy zanechává ve středu meziřádku rostlinné zbytky, které chrání povrch půdy, a zároveň je ve středu meziřádku zachována kontinuita půdních pórů, která může přispět k delší době infiltrace srážkové vody. Vláhová bilance stanoviště má přímý vliv na množství dostupné vody v půdě, tedy i na erozní procesy a infiltraci srážek

Kapkovou erozi v porostech kukuřice seté ovlivňuje šířka řádků. Polní experimenty probíhající v letech 2012 – 2014 prokázaly snížení množství rozstříknuté zeminy v porostech o šířce řádků 0,45 m oproti porostu o rozteči řádků 0,75 m. Pozitivní vliv šířky řádků 0,45 m nebyl prokázán na stabilitu půdních agregátů, resp. byl prokázán pouze v roce 2012. Bylo zjištěno, že šířka řádků v porostu kukuřice nemá vliv na půdní vlastnosti a lze předpokládat, že hodnoty kapkové eroze jsou výrazně ovlivňovány vlastnostmi vegetačního pokryvu. U řepky olejky nebyl prokázán vliv různé šířky řádků na průchod srážky porostem a následně tedy na

kapkovou erozi. Jako ochranu povrchu půdy lze využít umrtvené porosty meziplodin, či méně vhodné umrtvené plevelné rostliny v meziřádku. U sledovaných plodin byl patrný protierozní efekt od fáze zapojení porostu do fáze zrání, kdy začíná docházet k senescenci listů. Hypotéza o vlivu plodiny a struktury porostu na kapkovou erozi byla přijata.

7. Seznam literatury:

- Acciaresi, H., A., Guiamet, J., J. 2010. Bellow- and above-ground growth and biomass allocation in maize and *Sorghum halepense* in response to soil water competition. *Weed research*. 50. 481 – 492.
- Allen, R., G., Pereira, L., S., Raies, D., Smith, M. 1998. Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements. FAO Irrigation and Drainage Paper 56. United Nations, Rome, I.
- Angers, D., A., Samson, N., Légère. 1993. Early ganges in water- stable aggregation induced by station and tillage in soil under barley production. *Canadian Journal of Soil Science*. 73. 51 – 59.
- Angulo-Martínez, M., Beguería, S., Navas, A., Machín, J. 2012. Splash erosion under natural rainfall on free soil types in NE Spain. *Geomorphology*. 175 – 176. 38 – 44.
- Armstrong, C., L., Mitchell, J., K. 1987. Transformations of rainfall by plant canopy. *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers*. 30. 688 – 96.
- Asseng, S., Hsiao, T., C. 2000. Canopy CO₂ assimilation, energy balance, and water use efficiency of an alfalfa crop before and after cutting. *Field Crops Research*. 67 (3). 191 – 206.
- Baranowski, P., Usowicz, B., Walczak, R., T., Mazurek, W. 2005. Evapotranspiration into the boundary layer of the atmosphere. Institute of Agrophysics PAS. Lublin. ISBN 83-87385-99-9. 161 p.
- Barring, L., Jönsson, P., Mattson, J., O., Åhman, R. 2003. Wind erosion on arable land in Scania, Sweden and the relation to the wind climate: a review. *Catena*. 52. 173 – 190.
- Bellot, J., Escarre, A. 1998. Stemflow and throughfall determination in a resprouted Mediterranean holm-oak forest. *Annals of Forest Science*. 55. 847 – 865.
- Blanco, H., Lal, R. 2008. Principles of Soil Conservation and Management. Springer Science + Business Media B. V. ISBN: 978-1-4020-8708-0. p. 617.
- Bolline, A. 1975. La mesure de l'intensité du splash sur sol limoneux. Mise au point d'une technique de terrain et premiers résultats. *Pédologie*. 25. 199 – 210.
- Borrelli, P., Ballabio, C., Panagos, P., Montanarella, L. 2014. Wind erosion susceptibility of european soils. *Geoderma*. 232 – 234. 471 – 478.
- Brandesæter, L., O., Netland, J., 1999. Winter annual legumes for use as cover crops in row crops in northern regions: I. Field experiments. *Crop Science*. 39. 1369 – 1379.

- Brant, V., Kroulík, M., Škeříková, M., Zábranský, P., Sova, J., Lukáš, J. 2017. Využití termometrie v rostlinné výrobě. *Mechanizace zemědělství*. 65 (5). 68 – 71.
- Brant, V., Kroulík, M., Zábranský, P., Pivec, J. 2017. Zařízení a sada pro měření stoku vody po stonku rostliny. Úřad průmyslového vlastnictví, Česká republika. Patentový spis č. 306 942.
- Brant, V., Zábranský, P., Pivec, J., Gernerlová, M., Kroulík, M. 2013. Distribuce srážek v porostech kukuřice seté. *Agromanuál*. 8 (5). 87 – 89.
- Brant, V., Kroulík, M., Škeříková, M., Zábranský, P. 2013. Faktory ovlivňující časovou stabilitu mrtvého mulče v systémech půdoochranného zpracování půdy. *Agromanuál*. 8 (8). 72 – 74.
- Brant, V., Zábranský, P., Pivec, J., Kroulík, M., Škeříková, M., Chyba, J. 2014. Distribuce srážek a erozní procesy v porostech kukuřice s rozdílnou šířkou řádků. *Agromanuál*. 9 (4). 110 – 113.
- Brant, V., Zábranský, P., Škeříková, M., Pivec, J., Kroulík, M., Procházka, L. 2015. Effect of row width on splash erosion and throughfall in silage maize crops. *Soil and water research*. 12 (1). 39 – 50.
- Brant, V., Bečka, D., Cihlář, P., Fuksa, P., Hakl, J., Holec, J., Chyba, J., Jursík, M., Kobzová, D., Krček, V., Kroulík, M., Kusá, H., Novotný, I., Pivec, J., Prokinová, E., Růžek, P., Smutný, V., Škeříková, M., Zábranský, P. 2016. Pásové zpracování půdy (strip tillage). Profí press s.r.o. ISBN 978-80-86726-76-2. 135 s.
- Brant, V., Kroulík, M., Pivec, J., Procházka, L., Zábranský, P., Cihlář, P., Fuksa, P. 2012. Vliv půdoochranných technologií na stabilitu půdních agregátů. *Úroda* 60 (7). 22 – 24.
- Brant, V., Procházka, L., Kroulík, M., Pivec, J., Cihlář, P., Fuksa, P. 2011. Eliminace kapkové eroze v porostech kukuřice. *Mechanizace zemědělství* 58 (5). 24 – 26.
- Brisson, M., M., Bradshaw, H., D., Holmes, R., N., Elkins, J., B., Jr. 1980. Litterfall, stemflow and throughfall nutrient fluxes in an alluvial swamp forest. *Ecology*. 61 (4). 827 – 835.
- Brodowski, R. 2013. Soil detachment caused by divided rain power from raindrop parts splashed downward on sloping surface. *Catena*, 105. 52 – 61.
- Bronick, C., J., Lal, R. 2005. Soil structure and management: a review. *Geoderma* 124. 3 – 22.

- Bruckler, L., Lafolie, F., Doussan, C., Bussi eres, F. 2004. Modeling soil-root water transport with non-uniform water supply and heterogenous root distribution. *Plant and Soil*. 260. 205 – 224.
- Bryan, R. B. 2000. Soil erodibility and processes of water erosion on hillslope. *Geomorphology*. 32. 385 – 415.
- Bui, E., N., Box, J., E., Jr. 1992. Stemflow, rain throughfall, and erosion under canopy corn and sorghum. *Soil Science Society American Journal*. 56. 242 – 247.
- Butler, D., R., Husband, N., D., S. 1985. Throughfall and stem-flow in wheat. *Agricultural and Forest Meteorology*. 35. 329 – 338.
- Carlyle-Moses, D., E. 2004. Throughfall, stemflow, and canopy interception loss fluxes in a semi-arid Sierra Madre Oriental matorral community. *Journal of Arid Environments*. 58. 181 – 202.
- Castro Filho, C., Louren o, A., Guimar aes, M de F., Fonseca, I., C., B. 2002. Aggregate stability under different soil management systems in a red latosol in the state of Parana, Brazil. *Soil and tillage research*. 65(1). 45 – 51.
- Cerda, A., Rodrigo-Comino, J., Gimenez-Morera, A., Keesstra, S., D. 2018. Hydrological and erosional impact and farmer's perception on catch crops and weeds in citrus organic farming in Canyoles river watershed, Eastern Spain. *Agriculture Ecosystems & Environment*. 258. 49 – 58.
- Connor, D., J., Theiveyanathan, S., Rimmington, G., M. 1992. Development, growth, water-use and yield of a spring and a winter wheat in response to time of sowing. *Australian Journal of Soil Research*. 43 (3). 493 – 516.
- Corbeels, M., Hofman, G., Van Cleemput, O. 1998. Analysis of water use by wheat grown on a cracking clay soil in a semi-arid Mediterranean environment: weather and nitrogen effects. *Agricultural water management*. 38. 147 – 167.
- Crockford, R., H., Richardson, D., P. 2000. Partitioning of rainfall into throughfall, stemflow and interception: effect of forest type, ground cover and climate. *Hydrological Processes*. 14. 2903 – 2920.
- Crockford, R., H., Richardson, D., P., Sageman, R. 1996a. Chemistry of rainfall, throughfall and stemflow in a eucalypt forest and pine plantation in south-eastern Australia: 1. Rainfall. *Hydrological Processes*. 10. 1 – 11.

- Crockford, R., H., Richardson, D., P., Sageman, R. 1996b. Chemistry of rainfall, throughfall and stemflow in a eucalypt forest and pine plantation in south-eastern Australia: 3. Stemflow and total inputs. *Hydrological Processes*. 10. 25 – 42.
- Cruse, R., M., Berghoefer, B., E., Mize, C., W., Ghaffarzadeh, M. 2000. Water drop impact angle and soybean protein amendment effects on soil detachment. *Soil Science Society of America Journal*. 64. 1474 – 1478.
- Čermák, J., Naděždina, N. 2005. Měření transpirace prostřednictvím transpiračního proudu a zjišťování operačních struktur dřevin významných pro jejich hospodaření s vodou. Seminář „Evaporace a evapotranspirace“. 23. 3. 2005. ISBN 80-86690-24-5. 15 – 22.
- Dalley, C, D., Bernards, M., L., Kells, J., J. 2006. Effect of water removal timing and row spacing on soil moisture in corn. *Weed Technology*. 20. 399 – 409.
- David, T., S., Gash, J., H., C., Valente, F., Pereira, J., S., Ferreira, M., I., David, J., S. 2006. Rainfall interception by an isolated evergreen oak tree in a Mediterranean savannah. *Hydrological Processes*. 20. 2713 – 2726.
- Davie, T., J., A., Durocher, M., G. 1997. A model to consider the spatial variability of rainfall partitioning within deciduous canopy. II- Model parametrization and testing. *Hydrological Processes*. 11. 1525 – 1540.
- Dickey, E., C., Shelton, D., P., Jasa, P., J., Peterson, T., R. 1985. Soil erosion in tillage systems used in soybean and corn residues. *Trans of the American Society of Agricultural Engineers*. 28. 1124 – 1129, 1140.
- Dickey, E., C., Shelton, D., P., Jasa, P., J., Peterson, T., R. 1984. Tillage residue and erosion on moderately sloping soils. *Trans of the American Society of Agricultural Engineers*. 27. 1093 – 1099.
- Downes, R., W. 1970. Effect of light intensity and leaf temperature on photosynthesis and transpiration in wheat and sorghum. *Australian Journal of Biological Sciences*. 23. 775 – 782.
- Dugas, W., A., Prior, S., A., Rogers, H., H. 1997. Transpiration from sorghum and soybean growing under ambient and elevated CO₂ concentrations. *Agricultural and Forest Meteorology*. 83. 37 – 48.
- Dunkerley, D. 2000. Measuring interception loss and canopy storage in dryland vegetation: a brief review and evaluation of available research strategies. *Hydrological Processes*. 14. 669 – 678.

- Eastham, J., Gregory, P., J. 2000. The influence of crop management on the water balance of lupin and wheat crops on a layered soil in a Mediterranean climate. *Plant and Soil*. 221 (2). 239 - 251.
- Edwards, L., M., Volk, A., Burney, J., R. 2000. Mulching potatoes aspects of mulch management systems and soil erosion. 2000. *American Journal of Potatoe Research*. 77. 225 – 232.
- Ekwue, E., I., Seeparsad, D. 2015. Effect of soil type, peat, and compaction effort on soil strength and splash detachment rates. *Biosystems Engineering*. 136. 140 – 148.
- Fan, R., Zhang, X., Liang, A., Shi, X., Chen, X., Bao, K., Yang, X., Jia, S. 2012. Tillage and rotation effects on crop yield and profitability on a Black soil in northeast China. *Canadian Journal of Soil Science*. 92. 463 – 470.
- Foken, T. 2008. *Micrometeorology*. Springer - Verlag. ISBN 978-3-540-74665-2. 320 p.
- Ford, E., D., Deans, J., D. 1978. The effects of canopy structure on stemflow, throughfall and interception loss in a young sitka spruce plantation. *Journal of Applied Ecology*. 15 (3). 905 – 917.
- Frasson, R., P., M., Krajewski, W., F. 2011. Characterization of the drop–size distribution and velocity-diameter relation of the throughfall under the maize canopy. *Agricultural and Forest Meteorology*. 151. 1244 – 1251.
- Gómez, J., A., Vanderlinden, K., Giráldez, J., V., Fereres, E. 2002. Rainfall concentration under olive trees. *Agricultural water management*. 55. 53 – 70.
- Hanson, B., R., May, D., M. 2006. Crop coefficients for drip-irrigated processing tomato. *Agricultural Water Management*. 81 (3). 381 – 399.
- Hanson, B., R., May, D., M. 2006. New crop coefficients developer for high-yield processing tomatoes. *California Agriculture*. 60. 2. 95 – 99.
- Herwitz, S., R. 1987. Raindrop impact and water flow on the vegetative surfaces of trees and the effects on stemflow and throughfall generation. *Earth surface processes and landforms*. 12. 425 – 432.
- Hůla, J., Procházková, B., Badalíková, B., Dovrtěl, J., Dryšlová, Hartman, I., Hrubý, J., Hrudová, E., Javůrek, M., Kasal, M., Klem, K., Kovaříček, P., Kroulík, M., Kumhála, F., Mašek, J., Neudert, L., Růžek, P., Smutný, V., Nová, M., Winkler, J. 2008. *Minimalizace zpracování půdy*. Profi Press, s. r. o., Praha, ISBN 978-80-86726-28-1. 248 s.

- Hutchinson, I., Roberts, M. 1981. Vertical variation in stemflow generation. *Journal of Applied Ecology*. 18. 521 – 527.
- Chang, S., C., Matzner, E. 2000: Soil nitrogen turnover in proximal and distal stem areas of European beech trees. *Plant and Soil*. 218 (1 – 2). 117 - 125.
- Chiwa, M., Onozawa, Y., Otsuki, K. 2010. Hydrochemical characteristics of throughfall and stemflow in a Moso-bamboo (*Phyllostachys pubescens*) forest. *Hydrological Processes*. 24. 2924 – 2933.
- Chmelová, R., Šarapatka, B. 2002. Soil erosion by water: Contemporary research methods and their use. *Geographica*. 37. 23 – 30.
- Choudhary, M., A., Lal, R., Dick, W., A. 1997. Long-term tillage effects on runoff and soil erosion under simulated rainfall for central Ohio soil. *Soil & Tillage Research*. 42. 175 – 184.
- Inman-Bamber, N., G., McGlinchey, M., G. 2003. Crop coefficients and water-use estimates for sugarcane based on long-term Bowen ratio energy balance measurements. *Field Crops Research*. 83 (2). 125 – 138.
- Janeček, M., Bohuslávek, J., Gergel, J., Hrádek, F., Kovář, P., Kubátová, E., Pasák, V., Pivcová, J., Tippl, M., Toman, O., Váška, J. 2002. Ochrana zemědělské půdy před erozí. ISV nakladatelství. ISBN: 85866-85-8. 201 s.
- Janeček, M., Dostál, T., Kozlovsky – Dufkova, J., Dumbrovský, M., Hůla, J., Kadlec, V., Konečná, J., Kovář, P., Krása, J., Kubátová, E., Kobzová, D., Kudrnáčová, M., Novotný, I., Podhrázká, J., Pražan, J., Procházková, E., Středová, H., Toman, F., Vopravil, J., Vlasák, J. 2012. Ochrana zemědělské půdy před erozí. Česká zemědělská univerzita Praha, ISBN 978-80-87415-42-9. 113 s.
- Jursík, M., Andr, J., Holec, J., Soukup, J. 2011. Efficacy and selectivity of post-emergent application of flumioxazin and oxyfluorfen in sunflower. *Plant, Soil and Environment*. 57. 532 – 539.
- Kato, T., Kamichika, M. 2006. Determination of a crop coefficient for evapotranspiration in sparse sorghum field. *Irrigation and Drainage*. 55. 165 – 175.
- Kemper, W., D., Rosenau, R., C. 1986. Aggregate stability and size distribution. *Methods of soil analysis, Part 1. Physical and Minealogical Methods*. 2nd edition. American Society of Agronomy-Soil Science Society of America. 425 – 442.
- Kinnell, P. I. A. 2005. Raindrop-impact-induced erosion processes and prediction: a review. *Hydrological Processes*. 19. 2815 – 2844.

- Kirkham, M., B. 2005. Principles of soil and plant water relations. Elsevier academic press. Boston. ISBN 0-12-409751-0. 500 p.
- Kudrna, K. 1985. Zemědělské soustavy. SZN. Praha. ISBN 07-007-8504-11. 719 s.
- Kumar, K., Goh, K., M. 2002. Management practices of antecedent leguminous and non-leguminous crop in relation to winter wheat yields, nitrogen uptake, soil nitrogen mineralization and simple nitrogen balance. European Journal of Agronomy. 16. 295 – 308.
- Lal, R. 1994. Soil erosion: Research methods. St. Lucie Press, 340 p. ISBN 1884015093
in: Stroosnijder, L. 2005. Measurement of erosion: Is it possible? Catena. 64. 162 – 173.
- Larcher, W., Bauer, V., Houba, M., Květ, J., Bohdan, S. 1988. Fyziologická ekologie rostlin. Academia. Praha. 361 s.
- Le Bissonnais, Y. 1996. Aggregate stability and assessment of soil crustability and erodibility: I. Theory and methodology. European Journal of Soil Science. 47 (4). 425 – 437.
- Le Guillou, C., Angers, D., A., Leterme, P., Menasseri-Aubry, S. 2012. Changes during winter in water-stable aggregation due to crop residue quality. Soil use and management. 28. 590 – 595.
- Leguédois, S., Planchon, O., Legout, C., Le Bissonnais, Y. 2005. Splash projection distance for aggregated soils. Soil Science. 69. 30 – 37.
- Lenka, N., K., Satapathy, K., K., Lal, R., Singh, R., K., Singh, N., A., K., Agrawal, P., K., Choudhury, P., Rathore, A. 2017. Weed strip management for minimizing soil erosion and enhancing productivity in the sloping lands of north-eastern India. Soil and Tillage Research. 170. 104 – 113.
- Levia, D., F. Jr., Herwitz, S., R. 2002. Winter chemical leaching from deciduous tree branches as a function of branch inclination angle in central Massachusetts. Hydrological Processes. 16 (14). 2867 – 2879.
- Levia, D., F., Frost, E., E. 2003. A review and evaluation of stemflow literature in the hydrologic and biological cycles of forested and agricultural ecosystems. Journal of Hydrology. 274. 1 – 29.
- Levia, D., F., Jr., Herwitz, S., R. 2002. Winter chemical leaching from deciduous tree branches as a function of branch inclination angle in central Massachusetts. Hydrological Processes. 16 (14). 2867 – 2879.
- Liu, D., She, D., Yu, S., Shao, G., Chen, D. 2015. Rainfall intensity and slope gradient effects on sediment losses and splash from a saline-sodic soil under coastal reclamation. Catena. 128. 54 – 62.

- Liu, H., Zhang, R., Zhang, L., Wang, X., Li, Y., Huang, G. 2015. Stemflow of water on maize and its influencing factors. *Agricultural Water Management*. 158. 35 – 41.
- Ma, B. Yu, X., Ma, F., Li, Z., Wu, F. 2014. Effect of crop canopies on rain splash detachment. *Plos One*. 9 (7). 1 – 10.
- Ma, B., Liu, Y., Liu, X., Ma, F., Wu, F., Li, Z. 2015. Soil splash detachment and its spatial distribution under corn and soybean cover. *Catena*. 127. 142 – 151.
- Málek, B., Baranyk, P., Zelený, V., Markytán, P. 2010. Slunečnice roční. In. Ed. Baranyk, P. 2010. *Olejniny*. Profi Press. Praha. SBN 978-80-86726-38-0. 206 s.
- Manfroi, O., J., Koichiro, K., Nobuaki, T., Masakazu, S., Nakagawa, M., Nakaschizuka, T., Chong, L. 2004. The stemflow of trees in a Bornean lowland tropical forest. *Hydrological processes*. 18. 2455 – 2474.
- Martello, M., Dal Ferro, N., Bortolini, L., Morari, F. 2015. Effect of incident rainfall redistribution by maize canopy on soil moisture at the crop row scale. *Water*. 7. 2254 – 2271.
- Marzen, M., Iserloh, T., Casper, M., C., Ries, J., B. 2015. Quantification of particle detachment by rain splash and wind-driven rain splash. *Catena*. 127. 135 – 141.
- McAneney, K., J., Arrue, J. L. 1993. A wheat-fallow rotation in northeastern Spain: water balance-yield considerations. *Agronomie*. 13. 6. 481 – 490.
- McJannet, d., Wallace, J., Reddell, P. 2007. Precipitation interception in Australian tropical rainforests: 1. Measurement of stemflow, throughfall and cloud interception. *Hydrological Processes*. 21. 1692 – 1702.
- Meier, U. 2001. Growth stages of mono- and dicotyledonous plants, BBCH Monograph, 2. Edition [online]. Braunschweig. Federal Biological Research Centre for Agriculture and Forestry. 2001]. Dostupné z <https://www.politicheagricole.it/flex/AppData/WebLive/Agrometeo/MIEPFY800/BBCHengl2001.pdf> (cit. 18. 12. 2015)
- Merta, M., Sambale, Ch., Seidler, Ch., Peschke, G. 2001. Suitability of plant physiological methods to estimate the transpiration of agricultural crops. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*. 164. 43 – 48.
- Mohammadi, G., R., Ghobadi, M., E., Sheikheh-Poor, S. 2012. Phosphate biofertilizer, row spacing and plant density effect on corn (*Zea mays* L.) yield and weed growth. *Journal of Plant Sciences*. 3 (4). 425 – 429.
- Moore, I., D. 1983. Throughfall pH: Effect of precipitation timing and amount. *Water Resources Bulletin*. 19 (6). 961 – 965.

- Morgan, R. P. C. 1981. Field measurement of splash erosion. Erosion sediment transport measurement (Proceedings of the Florence Symposium). IAHS, p. 273 – 382
- Morgan, R. P. C. 2005. Soil erosion & conservation. Blackwell Publishing. ISBN: 1-4051-1781-1. 304.
- Morgan, R. P. C., Quinton, J. N., Smith, R. E., Govers, G. Poesen, J. W A., Auerswald, K., Chisci, G., Torri, D., Styczen, M. E. 1998. The European Soil Erosion Model (EUROSEM): A dynamic approach for predicting sediment transport from fields and small catchments. Earth surface processes and landforms, vol. 23, p. 527 – 544. Dostupné z: <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/%28SICI%291096-9837%28199806%2923:6%3C527::AID-ESP868%3E3.0.CO;2-5/epdf> (13. 12. 2015)
- Morgan, R., P., C. 1985. Soil Erosion measurement and soil conservation research in cultivated area of the UK. The Geographical Journal. 151 (1). 11 – 20. Dostupné z: https://www.jstor.org/stable/633274?seq=4#page_scan_tab_contents (13. 12. 2015)
- Muoghalu, J., I., Johnson, S., O. 2000. Interception, pH and solid content of rainfall in a Nigerian lowland rain forest. African Journal of Ecology. 38. 38 – 46.
- Nakanishi, A., Shibata, H., Inokura, Y., Nakao, T., Toda, H., Satoh, F., Sasa, K. 2001. Chemical characteristics in stemflow of Japanese cedar in Japan. Water, Air, & Soil Pollution. 130. 709 – 714.
- Nearing, M., A., West, L., T., Brown, L., C. 1988. A consolidation model for estimating changes in rill erodibility. American Society of Agricultural Engineers. 31 (3). 696 – 700.
- Noble, Ch., A., Morgan, R., P., C. 1983. Rainfall interception and splash detachment with a brussels sprout plant: a laboratory simulation. Earth Surface Processes and Landforms. 8. 569 – 577.
- Novotný, I., Mistr, M., Papaj, V., Kristenová, H., Váňová, V., Kapička, J., Vlček, V., Vopravil, J., Kulířová, P., Kadlec, V., Kobzová, D., Srbek, J., Pochop, M., Podhrázská, J., Fiala, R., Žížala, D., Dostál, T., Krása, J., Vaňková, K., Haluzová, J., Jirků, V., Smolková, I. 2014. Příručka ochrany proti vodní erozi. Ministerstvo zemědělství. Praha. ISBN 978-80-87361-33-7. 73 s.
- Nübel, V. 2009. 75cm Reihenabstand im Maisanbau zeitgemäss. VDM Verlag Dr. Müller, Saarbrücken.
- O'Rourke, M., E., Petersen, J. 2016. Reduced Tillage Impacts on Pumpkin Yield, Weed Pressure, Soil Moisture, and Soil Erosion. Hortscience. 51 (12). 1524 – 1528.

- Oyarzún, C. E., Godoy, R., Staelens, J. Donoso, P., J., Verhoest, N., E., C. 2011. Seasonal and annual throughfall and stemflow in Andean temperate rainforests. *Hydrological Processes*. 25. 623 – 633.
- Paltineanu, I., C., Starr, J., L. 2000. Preferential water flow through corn canopy and soil water dynamics across rows. *Soil Science Society American Journal*. (64). 44 – 54.
- Pan, G., Ouyang, Z., Luo, Q., Yu, Q., Wang, J. 2011. Water use patterns of forage cultivars in the North China Plain. *International Journal of Plant Production*. 5. 181 – 194.
- Parkin, T., B., Codling, E., E. 1990. Rainfall distribution under a corn canopy: Implications for managing agrochemicals. *Agronomy Journal*. 82. 1166 – 1169.
- Parlak, M., Özaslan Parlak, A. 2010. Measurement of splash erosion in different cover crops. *Turkish Journal of Field Crops*. 15 (2). 169 – 173.
- Pivec, J., Brant, V. 2008. Skutečná spotřeba vody vybranými kulturními plodinami a plevelnými druhy rostlin stanovená v polních podmínkách. Sborník referátů z konference „Hydrologie malého povodí 2008“. 23. – 24. 4. 2008. Praha. Ústav pro hydrodynamiku AV ČR, v. v. i. Praha. 241 – 246.
- Pivec, J., Brant, V., 2010: Evapotranspirační nároky porostů *Zea mays* v podmínkách s nedostatkem srážek. Vliv abiotických a biotických stresorů na vlastnosti rostlin 2010. 10. - 11. 2. 2010, Praha. Praha: Česká zemědělská univerzita v Praze, VÚRV Praha – Ruzyně, ISBN: 978-80-213-2048-2. s. 273-276.
- Pivec, J., Brant, V., Moravec, D. 2006. Analysis of the potential evapotranspiration demands in the Czech Republic between 1961 – 1990. *Biologia*. 61 (19). 294 – 299.
- Pivec, J., Brant, V., Škeříková, M., Zábranský, P., Kroulík, M., Chyba, J. 2014. Stok vody po rostlinách kukuřice. *Agromanuál*. 9 (9 – 10). 80 – 81.
- Plante, A. F., McGill, W. B. 2002. Soil aggregate dynamics and the retention of organic matter laboratory-incubated soil with differing simulated tillage frequencies. *Soil and Tillage Research*. 66 (1). 79 – 92.
- Quansah, C. 1981. The effect of soil type, slope, rain intensity and their interactions on splash detachment and transport. *European Journal of Soil Science*. 32 (2). 300 – 307.
- Quinn, N., W., Laflen, J., M. 1983. Characteristics of raindrop throughfall under corn canopy. *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers*. 26. 1445 – 1450.
- Richter, G. 1998. Bodenerosion. Analyse und Bilanz eines Umweltproblems. *Wissenschaftliche Buchgesellschaft, Darmstadt*.

- Ripl, W. 1995. Management of water cycle and energy flow for ecosystem kontrol: the energy-transport-reaction (ETR) model. *Ecological modelling*. 78. 61 – 76.
- Ritchie, J., T. 1998. Soil water balance and plant water stress. *Understanding options for agricultural production in System approaches for sustainable agricultural development*. Springer Netherlands. 7. 41 – 54.
- Rosenberg, N. J. 1974. *Microclimate: The Biological Environment*. Wiley: New York.
- IN Kirkham, M. B. 2005. *Principles of soil and plant water relations*. Elsevier academic press. ISBN 0-12-409751-0. 519 p.
- Roth, Ch. 1997. Bulk density of surface crusts: Depth functions and relationships to texture. *Catena*. 29 (3 - 4). 223 – 237.
- Rowland, D. L., Sorensen, R. B., Balkcom, K. S., Lamb, M. C. 2005. Estimating Stem Water Flow in Peanut (*Arachis hypogaea* L.) Under Different Irrigation Methods. *Peanut Science*. 32. 81 – 90.
- Rožnovský, J., Havlíček, V. 2002. *Bioklimatologie*. Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně. Brno. ISBN 80-7157-291-8. 155 s.
- Sadeghi, A., M., Starr, J., L., Teasdale, J., R., Rosecrance, R., C., Rowland, R., A. 2007. Real-time soil profile water content as influenced by weed-corn competition. *Soil Science*. 172. 759 – 769.
- Salles, Ch., Poesen, J., Sempere-Torres, D. 2002. Kinetic energy of rain and it's functional relationship Roth intensity. *Journal of Hydrology*. 257. 256 – 270.
- San Jose, J., J., Bracho, R., Montes, R., Nikonova, N. 2003. Comparative energy Exchange from cowpeas (*Vigna unguiculata* (L.) Walp cvs. TC-9-6 and M-25-6-6) with differences in canopy architectures and growth durations at the Orinoco Ilanos. *Agricultural and Forest Meteorology*. 116 (3 – 4). 197 – 219.
- Scott, T., W., Peasant, J., M., T., Burt, R., F., Otis, D., J. 1987. Contributions of ground cover, dry matter, and nitrogen from intercrops and cover crops in polyculture system. *Agronomy Journal*. 79. 792 – 798.
- Serrato, F., B., Diaz, A., R. 1998. A simple technique for measuring rainfall interception by small shrub: „interception flow collection box“. *Hydrological Processes*. 12. 471 – 481.
- Sharma, P., P., Gupta, S., C., Rawls, W., J. 1991. Soil detachment by single raindrops of varying kinetic energy. *Soil Science Society of America Journal*. 55 (2). 301 – 307.
- Sharratt, B., S., McWilliams, D., A. 2005. Microclimatic and rating characteristics of narrow-row versus conventional-row corn. *Agronomy Journal*. 97. 4. 1129 – 1135.

- Shelton, D., P., Dickey, E., C., Hachman, S., D., Steven, D., Fairbanks, K., T. 1995. Corn residue cover on soil surface after planting for various tillage and planting systems. *Journal of Soil and Water Conservation*. 50. 399 – 404.
- Shepherd, K., D., Cooper, P., J., M., Allan, A., Y., Drennan, D., S., H., Keatinge, J., D., H. 1987. Growth, water use and yield of barley in Mediterranean-type environments. *Journal of Agricultural Science*. 108 (2). 365 –378.
- Schroth, G., da Silva, L., F., Wolf, M., A., Teixeira, W., G., Zech, W. 1999. Distribution of throughfall and stemflow in multi-strata agroforestry, perennial monoculture, fallow and primary forest in central Amazonia, Brazil. *Hydrological Processes*. 13. 1423 – 1436.
- Skau, C., M. 1964. Interception, throughfall and stemflow in Utah and alligator juniper cover types of northern Arizona. *Forest Science*. 10 (3). 283 – 287.
- Staelens, J., Schrijver, A. D., Verheyen, K., Verhoest, N., E., C. 2008. Rainfall partitioning into throughfall, stemflow, and interception within a single beech (*Fagus sylvatica* L.) canopy: influence of foliation, rain event characteristics, and meteorology. *Hydrological Processes*. 22. 33 – 45.
- Stroosnijder, L. 2005. Measurement of erosion: Is it possible? *Catena*. 64. 162 – 173.
- Šarapatka, B., Dlapa, P., Bedrna, Z. 2002. *Kvalita a degradace půdy*. Olomouc. ISBN 80-244-0584-9. 246 s.
- Šimon, J. 2001. Zakládání porostů některých polních plodin ochranným zpracováním půdy s využitím mulče. Dostupné z: <http://uroda.cz/zakladani-porostu-nekterych-polnich-plodin-ochrannym-zpracovanim-pudy-s-vyuzitim-mulce/> (14. 12. 2015)
- Tackett, J. L., Pearson, R. W. 1965. Some characteristics of soil crust formed by simulated rainfall. *Soil science*. 99 (6). 407 - 413. In: (Ed) Gliński, J., Horabik, J., Lipiec, J. 2011. *Encyclopedia of Agrophysics*. Springer. Netherlands. ISBN 978-90-481-3584-4. 1027 p.
- Tang, Ch., 1996. Interception and recharge processes beneath a *Pinus elliotii* forest. *Hydrological processes*. 10. 1427 – 1434.
- Taniguchi, M., Tsujimura, M., Tanaka, T. 1996. Significance of stemflow in groundwater recharge. 1. Evaluation of the stemflow contribution to recharge using a mass balance approach. *Hydrological Processes*. 10. 71 – 80.
- Thang, X., C., Nearing, M., A., Polyakov, V., O., Friedrich, J., M. 2003. Using rare-earth oxide tracers for studying soil erosion dynamics. *Soil Science Society Journal*. 67 (1). 279 – 288.

- Tobón Marin, C., Bouten, W., Sevink, J. 2000. Gross rainfall and its partitioning into throughfall, stemflow and evaporation of intercepted water in four forest ecosystems in western Amazonia. *Journal of Hydrology*. 237. 40 – 57.
- Tolk, J., A., Howell, T., A. 2003. Water use efficiencies of grain sorghum grown in the three USA southern Great Plain soils. *Agricultural Water Management*. 59. 97 – 111.
- Trinh, H., D., Chui, T., F., M. 2012. An empirical method for approximating canopy throughfall. *Hydrological Processes*. 27 (12). 1764 – 1772.
- Tukulboom, F., Poesen, J., Ohler, I., Van Keer, K., Ongprasert, S., Vlaasak, K. 1997. Assessment of tillage erosion rates on steep slopes in northern Thailand, *Catena*. 29. 29 – 44.
- Tyagi, N., K., Sharma, D., K., Luthra, S., K. 2000. Evapotranspiration and crop coefficients of wheat and sorghum. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*. 126 (4). 215 – 222.
- Van Dijk, A., I., J., M., Bruijnzeel, L., A., Rosewell, C., J. 2002. Rainfall intensity-kinetic energy relationships: a critical literature appraisal. *Journal of Hydrology*. 261. 1 – 23.
- Van Dijk, A., I., J., M., Bruijnzeel, L., A. 2000. Modelling rainfall interception by vegetation of variable density using an adapted analytical model. Part 1. Model description. *Journal of Hydrology*. 247. 230 – 238.
- Van Dijk, P., M., van der Zijp, M., Kwaad, F., J., P., M. 1996. Soil erodibility parameters under various cropping systems of maize. *Hydrological processes*. 10. 1061 – 1067.
- Van Elewijck, L. 1989. Stemflow on maize: a stemflow equation and the influence of rainfall intensity on stemflow amount. *Soil Technology*. 2. 41 – 48.
- Van Oorschot, J., L., P., 1970. Influence of herbicides on photosynthetic activity and transpiration rate of intact plants. *Pesticide Science*. 1. 33 – 37.
- Vásquez-Méndez, R., Ventura-Ramos, E., Oleschko, K., Hernández-Sandoval, L., Parrot, J-F., Nearing, M., A. 2010. Soil erosion and runoff in different vegetation patches from semiarid Central Mexico. *Catena*. 80. 162 – 169.
- Ventura, E., Nearing, M. A., Norton, L. D. 2001. Developing a magnetic tracer to study soil erosion. *Catena*. 43 (4). 277 – 291.
- Vis, M. 1986. Interception, drop size distribution and rainfall kinetic energy in four Colombian forest ecosystems. *Earth Surface Processes and Landforms*. 11. 592 – 603.
- Vopravil, J., Khel, T., Vrabcová, T., Novák, P., Novotný, I., Hladík, J., Vašků, Z., Jasko, K., Rožnovský, J., Janeček, M., Vácha, R., Pivcová, J., Kvítek, T., Novák, P., Fučík, P.,

Čermák, P., Janků, J., Pírková, I., Papaj, V., Banýrová, J. 2010. Půda a její hodnocení v ČR, díl 1. Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, v.v.i. 2010. ISBN 978-80-87361-05-4. 148 s.

- Wainwright, J. 1996. Infiltration, runoff and erosion characteristics of agricultural land in extreme storm events, SE France. *Catena supplement*. 26 (1 – 2). 27 – 47.
- World meteorological Organization, 2008: Guide to Meteorological Instruments and Methods of observation. World meteorological organization. 8. ISBN 978-92-63-10008-5. 681 p.
- Yang, X., Madden, L. V. 1993. Effect of ground cover, rain intensity and strawberry plants on splash of simulated raindrops. *Agricultural and Forest Meteorology*. 65. 1 – 20.
- Zhang, X., C., Nearing, M., A., Polyakov, V., o., Friedrich, J., M. 2003. Using rare-earth xide tracers for studying soil erosion dynamics. *Soil Science American Journal*. 67. 279 – 288.
- Ziadat, F., M., Taimeh, A., Y. 2013. Effect of rainfall intenzity, slope, land use and antecedent soil moisture on soil erosion in an arid environment. *Land Degradation & Development*. 24. 582 – 590.

8. Publikační činnost autorky

Vědecké publikace s impakt faktorem:

1. Škeříková, M., Brant, V., Kroulík, M., Pivec, J., Zábranský, P., Hakl, J., Hofbauer, M. 2018. Water demands and biomass production of sorghum and maize plants in areas with insufficient precipitation in Central Europe. *Plant, Soil and Environment*. 64 (8). 367 – 378.
2. Zábranský, P., Pivec, J., Brant, V., Kroulík, M., Škeříková, M. 2015. The values of crop coefficients and bowen ratio of field crops in areas with insufficient precipitation in central Europe. *Irrigation and drainage*. 64 (2). 493 – 498.
3. Brant, V., Zábranský, P., Škeříková, M., Pivec, J., Kroulík, M., Procházka, L. 2017. Effect of row width on splash erosion and throughfall in silage maize crops. *Soil and water research*. 12 (1). 39 – 50.
4. Brant, V., Pivec, J., Hamouzová, K., Zábranský, P., Satrapová, J., Škeříková, M. 2014. Determination of the influence of herbicides on dicotyledons plant transpiration using the sap flow method. *Plant Soil and Environment*. 60 (12). 562 – 568.

Odborná monografie:

5. Brant, V., Bečka, D., Cihlář, P., Fuksa, P., Hakl, J., Holec, J., Chyba, J., Jursík, M., Kobzová, D., Krček, V., Kroulík, M., Kusá, H., Novotný, I., Pivec, J., Prokinová, E., Růžek, P., Smutný, V., Škeříková, M., Zábranský, P. 2016. Pásové zpracování půdy (strip tillage). Profi press s.r.o. ISBN 978-80-86726-76-2. 135 s.

Odborné publikace:

6. Hofbauer, M., Brant, V., Kroulík, M., Zábranský, P., Škeříková, M., Krček, V., 2018. Bodenunterschiede auf kürzester Distanz. *Landwirtschaft ohne Pflug*. 23 (19). 30 – 35.
7. Brant, V., Kroulík, M., Šmöger, J., Zábranský, P., Škeříková, M., Krček, V., Kunte, J. 2018. Pěstební systémy ozimé pšenice – pěstování v širších řádcích. *Úroda*. 66 (5). 38 – 41.
8. Brant, V., Kroulík, M., Šmöger, J., Zábranský, P., Škeříková, M., Krček, V., Kunte, J. 2018. Pěstební systémy ozimé pšenice – využití pomocných a směsných plodin. *Úroda*. 66 (6). 20 – 22.

9. Brant, V., Kroulík, M., Šmöger, J., Zábranský, P., **Škeříková, M.**, Krček, V., Kunte, J. 2018. Pěstební systémy ozimé pšenice – zonální aplikace hnojiv. *Úroda*. 66 (4). 21 – 23.
10. Brant, V., Kroulík, M., Šmöger, J., Zábranský, P., **Škeříková, M.**, Krček, V., Kunte, J. 2018. Pěstební systémy ozimé pšenice. *Úroda*. 66 (3). 14 – 16.
11. **Škeříková, M.**, Brant, V., Kroulík, M., Zábranský, P. 2017: Hľbkové kyprenie při pestovaní repky. *Naše pole*. 21 (2). 24 – 26.
12. Kroulík, M., Brant, V., Zábranský, P., **Škeříková, M.** 2017: Sběr a využití dat pro předseťovou přípravu půdy a setí. *Úroda*. 65 (1). 50 – 54.
13. Brant, V., Kroulík, M., Zábranský, P., **Škeříková, M.**, Růžek, P. 2017: Technické možnosti aplikace kejdy a fugátu (1. část). *Úroda*. 65 (2). 30 – 36.
14. Brant, V., Kroulík, M., Zábranský, P., **Škeříková, M.**, Růžek, P. 2017: Technické možnosti aplikace kejdy, digestátu a fugátu (dokončení). *Úroda*. 65 (7). 20 – 24.
15. Brant, V., Kroulík, M., **Škeříková, M.**, Zábranský, P., Sova, J., Lukáš, J. 2017: Využití termometrie v rostlinné výrobě. *Mechanizace zemědělství*. 65 (5). 68 – 71.
16. Brant, V., Kroulík, M., Zábranský, P., **Škeříková, M.**, Nýč, M., 2017: Zonální hnojení obilnin. *Úroda*. 65 (4). 14 – 18.
17. Brant, V., Kroulík, M., Čech, O., Holec, J., Zábranský, P., **Škeříková, M.** 2017: Mapování bolehlavu plamátého ve středních Čechách. *Úroda*. 65 (9). 46 – 48.
18. Brant, V., Kroulík, M., Zábranský, P., **Škeříková, M.**, Krček, V., Nýč, M., Job, Z. 2017. Variabilita infiltračních procesů ve vztahu ke zpracování půdy. *Úroda*. 65 (11). 54 – 57.
19. **Škeříková, M.**, Brant, V., Pivec, J., Zábranský, P., Kroulík, M. 2017. Distribuce srážek v porostech slunečnice roční. *Úroda*. 65 (5). 47 – 50.
20. Brant, V., Kroulík, M., Zábranský, P., **Škeříková, M.**, Kunte, J., Lukáš, J. 2017: Vliv pěstební technologie na růstové parametry rostlin hrachu (*Pisum sativum* L.). *Úroda*. 65 (12), vědecká příloha, s. 113-120.
21. Brant, V., Zábranský, P., **Škeříková, M.**, Vailich, J., Kroulík, M., Procházka, P., Kunte, J. 2017: Alternativní využití luskovin (1) – Důvody a cíle. *Agromanuál*. 12 (1). 118 – 121.
22. Brant, V., Zábranský, P., **Škeříková, M.**, Vailich, J., Kroulík, M., Procházka, P., Kunte, J. 2017: Alternativní využití luskovin (2) – Morfologická variabilita hrachu setého a rolního. *Agromanuál*. 12 (2). 88 – 91.

23. Brant, V., Zábranský, P., **Škeříková, M.**, Vailich, J., Kroulík, M., Procházka, P., Kunte, J. 2017: Alternativní využití luskovin (3) – Hrách setý a rolní jako zdroj biomasy. Agromanuál. 12 (3). 131 – 133.
24. Brant, V., Zábranský, P., **Škeříková, M.**, Kroulík, M., Hofbauer, M., Kunte, J. 2017: Morfologická variabilita meziplodin. Agromanuál. 12 (6). 108 – 112.
25. Brant, V., Zábranský, P., **Škeříková, M.**, Kroulík, M. 2017: Zonální aplikace hnojiv při setí ozimé řepky. Agromanuál. 12 (7). 80 – 84.
26. Brant, V., **Škeříková, M.**, Zábranský, P., Kroulík, M., Petrásek, S., Mrázek, L., Kunte, J. 2017. Technologické postupy zakládání porostů vícedruhových směsí meziplodin. Agromanuál. 12 (11-12). 96 – 101.
27. Brant, V., Kroulík, M., Zábranský, P., Prikner, P., **Škeříková, M.** 2016. Utužení půdy při předset'ové přípravě a setí kukuřice. Agromanuál. 11 (11 – 12). 89 – 93.
28. Kroulík, M., Brant, V., Chyba, J., Zábranský, P., **Škeříková, M.** 2016. Aplikace dusíkatých hnojiv z pohledu variability pozemku. Mechanizace zemědělství. 66 (5). 58 – 61.
29. Brant, V., Kroulík, M., Zábranský, P., **Škeříková, M.**, Chyba, J. 2016. Cukrová řepa bez orby – alternativy zpracování půdy 1. část. Úroda. 64 (6). 84 – 86.
30. Brant, V., Kroulík, M., Zábranský, P., **Škeříková, M.** 2016. Cukrová řepa bez orby - kypřiče s parabolickými slupicemi (dokončení). Úroda. 64 (8). 44 – 46.
31. Brant, V., Kroulík, M., Zábranský, P., Pivec, J., **Škeříková, M.** 2016. Cukrová řepa bez orby - pásové zpracování půdy 2. část. Úroda. 64 (7). 86 – 89.
32. Brant, V., Kroulík, M., Zábranský, P., **Škeříková, M.** 2016. Minimalizace předset'ové přípravy a set'ového lože při setí kukuřice. Úroda. 64 (3). 14 – 20.
33. Brant, V., Kroulík, M., Zábranský, P., **Škeříková, M.** 2016. Přesné a variabilní setí ozimé řepky. Úroda. 64 (7). 40 – 43.
34. Brant, V., Kroulík, M., Zábranský, P., **Škeříková, M.** 2016. Set'ové lůžko a abiotické faktory ovlivňující klíčení a vzcházení. Úroda. 64 (2). 12 – 16.
35. Brant, V., Pivec, J., Zábranský, P., **Škeříková, M.**, Kroulík, M. 2016. Vláhové nároky cukrové řepy. Agromanuál. 11 (8). 80 – 81.
36. Brant, V., **Škeříková, M.**, Zábranský, P., Tyšer, L. 2015. Dynamika růstu meziplodin. Farmář. 21 (10). 32 – 36.
37. Brant, V., Kroulík, M., Zábranský, P., **Škeříková, M.**, Pivec, J., 2015. Nižší výsevky a zonální aplikace hnojiv při pěstování obilnin jako základ precizního zemědělství. Agrojournal. 4 (2). 58 – 61.

38. Brant, V., Zábanský, P., Škeříková, M., Kroulík, M., Poláková, M., Šilha, J. 2015. Pěstování kukuřice systémem Samco v České republice. Agromanuál. 10 (11 – 12) .. 90 – 95.
39. Brant, V., Zábanský, P., Škeříková, M., Pivec, J., Kroulík, M., Procházka, L. 2015. Praktické možnosti využití užších řádků u kukuřice v rámci ochrany půdy proti erozi. Agromanuál. 10 (2). 96 – 99.
40. Brant, V., Kroulík, M., Zábanský, P., Škeříková, M., Pivec, J. 2015. Přesné setí a struktura porostů ozimé řepky. Agromanuál. 10 (7). 84 – 87.
41. Brant, V., Kroulík, M., Zábanský, P., Škeříková, M. 2015. Variabilita půdního profilu po orbě. Agromanuál. 10 (9 – 10). 64 – 68.
42. Brant, V., Škeříková, M., Zábanský, P., Kroulík, M. 2015. Variabilita úrodnostních prvků a úroda ozimé řepky. Naše pole. 19 (2). 18 – 20.
43. Brant, V., Pivec, J., Zábanský, P., Škeříková, M., Kroulík, M. 2015. Vlahové nároky kukuřice v oblastech s nedostatkem srážek. Agromanuál. 10 (4). 108 – 111.
44. Brant, V., Zábanský, P., Pivec, J., Škeříková, M., Kroulík, M. 2015. Vlahové nároky široku obecného v oblastech s nedostatkem srážek. Agromanuál. 10 (7). 82 – 83.
45. Brant, V., Kroulík, M., Zábanský, P., Škeříková, M. 2015. Vliv orby a hlubokého kypření na variabilitu půdního profilu. Agromanuál. 10 (9 – 10). 56 – 60.
46. Brant, V., Škeříková, M., Zábanský, P. 2015. Zpracování půdy pod řepky se musí přizpůsobit stavu půdy. Květy olejnin. 20 (9). Strana 3.
47. Brant, V., Zábanský, P., Pivec, J., Kroulík, M., Škeříková, M., Chyba, J. 2014. Distribuce srážek a erozní procesy v porostech kukuřice s rozdílnou šířkou řádků. Agromanuál. 9 (4). 110 – 113.
48. Brant, V., Zábanský, P., Škeříková, M., Kroulík, M., Krček, V., Pivec, J., Baranyk, P. 2014. Distribuce srážek a hodnoty kapkové eroze v porostech ozimé řepky v závislosti na šířce řádků. Agromanuál. 9 (2). 82 – 84.
49. Zábanský, P., Brant, V., Pivec, J., Škeříková, M. 2014. Pěstování kukuřice v užších řádcích. Syninfo. 3. 18 – 20.
50. Brant, V., Zábanský, P., Kroulík, M., Škeříková, M., Pivec, J. 2014. Pěstování kukuřice technologií strip tillage v podmínkách České republiky. Úroda. 62 (12). 36 – 38.
51. Brant, V., Škeříková, M., Zábanský, P., Kroulík, M., Šindelář, M. 2014. Podzimní a jarní vývoj porostů řepky ozimé při využití technologie strip till. Agromanuál. 9 (8). 80 – 84.

52. Brant, V., Kroulík, M., **Škeříková, M.**, Zábranský, P., Pivec, J., Chyba, J., Šindelář, M. 2014. Podzimní pásové zpracování ke kukuřici seté. Agromanuál. 9 (6). 90 – 95.
53. Brant, V., Kroulík, M., Zábranský, P., **Škeříková, M.**, Šindelář, M., Fibich, J. 2014. Řepka v systému strip till. Květy olejnin – tiskovina pro členy Svazu pěstitelů a zpracovatelů olejnin. 19 (10). 5 – 6.
54. Pivec, J., Brant, V., **Škeříková, M.**, Zábranský, P., Kroulík, M., Chyba, J. 2014. Stok vody po rostlinách v porostech kukuřice. Agromanuál. 9 (9 – 10). 80 – 81.
55. Brant, V., Kroulík, M., **Škeříková, M.**, Zábranský, P., Pivec, J. 2014. Systémy pěstování ozimé řepky v širších řádcích. Syninfo. 6. 16 – 18.
56. **Škeříková, M.**, Zábranský, P., Brant, V., Krček, V., Kroulík, M., Pivec, J., Baranyk, P. 2014. Vliv rozdílné šířky řádků na biometrické parametry porostů ozimé řepky. Agromanuál. 9 (7). 74 – 77.
57. Brant, V., Krček, V., **Škeříková, M.**, Zábranský, P., Kroulík, M., Pivec, J., Baranyk, P. 2014. Vliv šířky řádků na rozvoj kořenového systému ozimé řepky. Agromanuál. 9 (1). 56 – 59.
58. Brant, V., Zábranský, P., Kroulík, M., **Škeříková, M.**, Šindelář, M., Fibich, J. 2014. Vliv technologie strip till na výnosové parametry ozimé řepky. Agromanuál. 9 (9 – 10). 76 – 79.
59. Brant, V., Zábranský, P., Kroulík, M., **Škeříková, M.**, Pivec, J. 2014. Vývoj kořenového systému kukuřice a řepky ve vztahu ke zpracování půdy, struktuře porostu a hnojení. Agromanuál. 9 (11 – 12). 91 – 95.
60. Brant, V., **Škeříková, M.**, Kroulík, M., Zábranský, P., Pivec, J., Chyba, J. 2014. Zakládání porostů ozimé řepky do širších řádků pomocí technologie diferencovaného zpracování půdy. Agromanuál. 9 (5). 104 – 106.
61. Brant, V., Zábranský, P., Kroulík, M., Pivec, J., **Škeříková, M.** 2014. Produkce biomasy silážní kukuřice v závislosti na šířce řádků. Agromanuál 9 (5). 107 – 109.
62. Brant, V., Kroulík, M., **Škeříková, M.**, Zábranský, P. 2013: Faktory ovlivňující časovou stabilitu mrtvého mulče v systémech půdoochranného zpracování půdy. Agromanuál. 8 (8). 72 – 74.

Příspěvek ve sborníku:

63. Kroulík, M., Brant, V., Zábranský, P., **Škeříková, M.** 2017. Využití provozních dat strojů pro efektivní plánování. Sborník z 34. vyhodnocovacího semináře Systém výroby

- řepky - Systém výroby slunečnice, Hluk 22.-23.11.2017, SPZO a ZOD Poolšaví. ISBN 978-80-87065-76-1. 158 – 162.
64. Mička, M., Hrdina, R., Markytán, P., Hnilička, R., Kroulík, M., Zábranský, P., **Škeříková, M.**, Brant, V., Petrásek, S. 2017. Vyhodnocení pokusu zpracování těžkých půd v podmínkách ČR. Výsledky pokusů SPZO. Sborník 34. vyhodnocovacího semináře: Systém výroby řepky - Systém výroby slunečnice, Hluk 22.-23.11.2017, SPZO Praha. ISBN 978-80-87065-76-1. 133 – 140.
65. Škeřík, J., **Škeříková, M.**, agroslužba SPZO. 2017. Poloprovozní pokusy s pomocným přípravkem Albit. Výsledky pokusů SPZO. Sborník 34. vyhodnocovacího semináře: Systém výroby řepky - Systém výroby slunečnice, Hluk 22.-23.11.2017, SPZO Praha. ISBN 978-80-87065-77-8. 130 – 132.
66. Škeřík, J., **Škeříková, M.**, agroslužba SPZO. 2017. Poloprovozní pokusy s technologií Yaravita. Výsledky pokusů SPZO. Sborník 34. vyhodnocovacího semináře: Systém výroby řepky - Systém výroby slunečnice, Hluk 22.-23.11.2017, SPZO Praha. ISBN 978-80-87065-77-8. 145 – 148.
67. Škeřík, J., **Škeříková, M.**, Mičák, L., Brát, J. 2017. Maloparcelkový pokus s přípravkem Stand Up+. Výsledky pokusů SPZO. Sborník 34. vyhodnocovacího semináře: Systém výroby řepky - Systém výroby slunečnice, Hluk 22.-23.11.2017, SPZO Praha. ISBN 978-80-87065-77-8. 149 – 151.
68. Škeřík, J., **Škeříková, M.**, agroslužba SPZO. 2017. Poloprovozní pokus s hnojivem Quantum Boronactive. Výsledky pokusů SPZO. Sborník 34. vyhodnocovacího semináře: Systém výroby řepky - Systém výroby slunečnice, Hluk 22.-23.11.2017, SPZO Praha. ISBN 978-80-87065-77-8. 152 – 155.
69. Škeřík, J., **Škeříková, M.**, Mičák, L. 2017. Výsledky maloparcelních pokusů s aplikací hnojiva Retafos prim, Urea stabil a Amiphos. Výsledky pokusů SPZO. Sborník 34. vyhodnocovacího semináře: Systém výroby řepky - Systém výroby slunečnice, Hluk 22.-23.11.2017, SPZO Praha. ISBN 978-80-87065-77-8. 156 – 158.
70. **Škeříková, M.**, Kroulík, M., Zábranský, P., Brant, V. 2016. Hlubkové kypření v systémech pěstování ozimé řepky. Systém výroby řepky a systém výroby slunečnice – 33. vyhodnocovací seminář, Hluk, 23. – 24. 11. 2016. SPZO a ZOD Poolšaví. ISBN 978-80-87065-69-3. 128 – 132.
71. Kroulík, M., Brant, V., Zábranský, P., Hamouz, P., **Škeříková, M.** 2016. Sběr a využití dat pro precizní zemědělství a autonomní systémy. Systém výroby řepky a systém

- výroby slunečnice – 33. vyhodnocovací seminář, Hluk, 23. – 24. 11. 2016. SPZO a ZOD Poolšaví. ISBN 978-80-87065-69-3. 128 – 132.
72. Kysilková, K., Korenko, S., Brant, V., Zábranský, P., **Škeříková, M.** 2016. Vliv expozice na společenstvo pavouků v agroekosystémech. borník z XIV. Arachnologické konference, Východná 14.-18.9.2016. ISBN: 978-80-972437-0-8, s. 25.
73. Hnilička, R., Zeman, J., Hrdina, R., Čech, P., Petrucha, J., Tomšíček, L., **Škeříková, M.** 2016. Výsledky poloprovozních pokusů s kompletní fungicidní technologií v ozimé řepce v roce 2016. Výsledky pokusů SPZO. Systém výroby řepky a systém výroby slunečnice – 33. vyhodnocovací seminář, Hluk, 23. – 24. 11. 2016. SPZO a ZOD Poolšaví. ISBN 978-80-87065-68-6. 34 – 42.
74. Škeřík, J., **Škeříková, M.** 2016. Výsledky poloprovozních pokusů s technologií PRP v roce 2016. Výsledky poloprovozních pokusů s kompletní fungicidní technologií v ozimé řepce v roce 2016. Výsledky pokusů SPZO. Systém výroby řepky a systém výroby slunečnice – 33. vyhodnocovací seminář, Hluk, 23. – 24. 11. 2016. SPZO a ZOD Poolšaví. ISBN 978-80-87065-68-6. 70 – 72.
75. Kroulík, M., Brant, V., Krček, V., Zábranský, P., **Škeříková, M.** 2015. Monitoring a analýza vstupů jako základ precizního setí řepky. Sborník z 32. vyhodnocovacího semináře Systém výroby řepky - Systém výroby slunečnice, Hluk 25.-26.11.2015, SPZO a ZOD Poolšaví. ISBN: 978-80-87065-64-8. 122 – 129.
76. Brant, V., Kroulík, M., Zábranský, P., **Škeříková, M.** 2015. Půdní úrodnost a současné systémy zpracování půdy. Sborník z 21. mezinárodní konference Racionální použití hnojiv, ČZU v Praze 26.11.2015. ISBN: 978-80-213-2594-4. 33 – 42.
77. Krček, V., Baranyk, P., Pulkrábek, J., Urban, J., **Škeříková, M.**, Brant, V., Zábranský, P. 2014. Influence of crop management on winter oilseed rape yield formation - evaluation of first year of experiment. MendelNet 2014 - Proceedings of International PhD Students Conference, Brno 19.-20.11.2014. roč. 21. ISBN: 978-80-7509-174-1. 59-63
78. Škeřík, J., **Škeříková, M.**, Mičák, L., Havel, J. 2014. Poloprovozní a maloparcelkové pokusy s pomocným rostlinným přípravkem Albit. Sborník 31. vyhodnocovacího semináře: Systém výroby řepky - Systém výroby slunečnice, Hluk 19. -20. 11. 2014, SPZO a ZOD Poolšaví. ISBN: 978-80-87065-57-0. 154 – 158.
79. Škeřík, J., **Škeříková, M.** 2014. Poloprovozní pokus s technologií Galleko. Sborník 31. vyhodnocovacího semináře: Systém výroby řepky - Systém výroby slunečnice, Hluk 19. -20. 11. 2014, SPZO a ZOD Poolšaví. ISBN: 978-80-87065-57-0. 154 – 158.

80. Škeřík, J., **Škeříková, M.** 2014. Poloprovozní pokus s technologií Yara Vita. Sborník 31. vyhodnocovacího semináře: Systém výroby řepky - Systém výroby slunečnice, Hluk 19. -20. 11. 2014, SPZO a ZOD Poolšaví. ISBN: 978-80-87065-57-0. 154 – 158.
81. **Škeříková, M.**, Brant, V., Zábranský, P., Kroulík, M., Pivec, J. 2014. Variabilita biometrických parametrů rostlin a výnos ozimé řepky. Systém výroby řepky a systém výroby slunečnice – 31. vyhodnocovací seminář, Hluk, 19. – 20. 11. 2014. SPZO a ZOD Poolšaví. ISBN 978-80-87065-57-0. 107 – 111.
82. Krček, V., Baranyk, P., **Škeříková, M.** 2014. Vliv různých způsobů založení a organizace porostu na obsah oleje v semeni ozimé řepky. Sborník 31. vyhodnocovacího semináře: Systém výroby řepky - Systém výroby slunečnice, Hluk, 19.-20.11.2014. SPZO a ZOD Poolšaví. ISBN: 978-80-87065-57-0. 124 – 129.
83. Hnilička, R., Zeman, J., Čech, P., Šaroun, J., Markytán, P., **Škeříková, M.** 2013. Výsledky pokusů – podzimní regulace porostů řepky ozimé 2012/2013. Systém výroby řepky a systém výroby slunečnice – 30. vyhodnocovací seminář, Hluk, 20. – 21. 11. 2013. Svaz pěstitelů a zpracovatelů olejnin. ISBN 978-80-87065-50-1. 53 – 58.
84. Hnilička, R., Zeman, J., Markytán, P., Čech, P., Petrucha, J., Šaroun, J., **Škeříková, M.** 2013. Výsledky poloprovozních pokusů s kompletní fungicidní technologií v ozimé řepce v roce 2013. Systém výroby řepky a systém výroby slunečnice – 30. vyhodnocovací seminář, Hluk, 20. – 21. 11. 2013. Svaz pěstitelů a zpracovatelů olejnin. ISBN 978-80-87065-50-1. 46 – 52.
85. Krček, V., Baranyk, P., Pulkrábek, J., Urban, J., **Škeříková, M.**, Brant, V., Zábranský, P. 2013. Vliv založení a organizace porostu na tvorbu výnosu řepky. Sborník z konference „Prosperující olejninový“ 12. – 13. 12. 2013. Česká zemědělská univerzita v Praze. ISBN 978-80-213-2420-6. 39 – 43.
86. Brant, V., **Škeříková, M.**, Zábranský, P., Kroulík, M., Krček, V., Baranyk, P. 2013. Vliv šířky řádků ozimé řepky na hodnoty kapkové eroze, rozvoj kořenového systému a na výnosové parametry porostu. Systém výroby řepky a systém výroby slunečnice – 30. vyhodnocovací seminář, Hluk, 20. – 21. 11. 2013. Svaz pěstitelů a zpracovatelů olejnin. ISBN 978-80-87065-50-1. 152 – 158.
87. Kuchtová, P., Kazda, J., Škeřík, J., **Škeříková, M.** 2013. Postup v technologii ekologicky pěstované řepky na Výzkumné stanici v Praze – Uhříněvsi. Výzkum a zkušenosti - pěstování rostlin v ekologickém zemědělství, 25. 6. 2013, Praha Uhříněves. Praha: ČZU v Praze, 2013, ISBN: 978-80-213-2385-8. 41 – 44.

88. Hnilička, R., Zeman, J., Čech, P., Šaroun, J., Markytán, P., **Škeříková, M.** 2012. Výsledky pokusů - podzimní regulace porostů řepky ozimé 2011/2012. Systém výroby řepky a systém výroby slunečnice – 29. vyhodnocovací seminář, Hluk, 21. – 22. 11. 2012. Svaz pěstitelů a zpracovatelů olejnin. ISBN: 978-80-87065-42-6. 48 – 53.
89. Hnilička, R., Zeman, J., Markytán, P., Čech, P., Petrucha, J., Šaroun, J., **Škeříková, M.** 2012. Výsledky poloprovozních pokusů s kompletní fungicidní technologií v ozimé řepce v roce. Systém výroby řepky a systém výroby slunečnice – 29. vyhodnocovací seminář, Hluk, 21. – 22. 11. 2012. Svaz pěstitelů a zpracovatelů olejnin. ISBN: 978-80-87065-42-6. 41 – 47.

Certifikované metodiky

90. Brant, V., Nýč, M., Kroulík, M., Zábranský, P., **Škeříková, M.** 2017. Technologické postupy optimalizace seťového lože s využitím systémů zonálního hnojení. Kurent, s.r.o. ISBN 978-80-97111-67-3. 108 s.