**VĚTRNÁ EROZE – LITERÁRNÍ REŠERŠE**

Doc. Ing. Jana Kozlovsky Dufková, Ph.D.

Ústav aplikované a krajinné ekologie, Mendelova univerzita v Brně

Půda jako jedna ze základních složek nutných pro vznik života na Zemi je omezeným a nenahraditelným přírodním zdrojem. Postupující degradace půdy a její ztráta se stává v mnoha částech světa omezujícím činitelem dalšího rozvoje lidské společnosti. Člověk je na půdě existenčně závislý a pokud by půda přestala existovat, přestane existovat i biosféra s ničivými následky pro něho samotného.

Jedním z procesů vedoucích k degradaci půdy je zrychlená eroze. Otázka větrné eroze přitom často stojí v pozadí zájmu eroze vodní, nejspíš díky jejímu nepoměrně menšímu rozšíření, i tak je třeba brát tento problém na zřetel a řešit ho komplexně v rámci celkové péče o krajinu.

**Základní fakta o větrné erozi**

Větrná, jinými slovy eolická, eroze je proces, při kterém vlivem větru dochází k rozrušování půdního povrchu (tzv. abrazi), k odnosu uvolněných půdních částic větrem (tzv. deflaci) a k jejich ukládání na jiném místě (tzv. akumulaci) (Pasák, 1971).

Při větrné erozi dochází k selektivnímu působení větru na půdní částice různých velikostí. Jemnější částice jsou ve formě suspenze odnášeny do dálky, ty větší pak skokem (saltací) nebo sunutím přemisťovány do jiných částí území a na místě zůstávají pouze částice erozně stálé – hrubozrnné a kamenité vrstvy. To má za následek zhoršování fyzikálních vlastností půd (Morgan, 2005).

Intenzita větrné eroze je ovlivňována mnoha činiteli. Mezi ně patří klimatické podmínky (rychlost a směr větru, úhrn srážek, teplota a vlhkost vzduchu), půdní a geologické faktory (povaha horninového substrátu, půdní druh a typ, velikost a tvar půdních částic, drsnost půdního povrchu), faktory vegetační (pokryv půdy rostlinami či rostlinnými zbytky), zohlednit se musí i geomorfologie (tvar a rozložení svahů, výskyty plání a závětrných míst). Důležitý je i vliv člověka, tedy antropogenního faktoru (délka a orientace pozemku k převládajícímu směru větru, způsob hospodaření na pozemku, možnost závlahy půdy) (Podhrázská *et al.*, 2013).

Nejvýznamnějšími faktory ovlivňující větrnou erozi jsou rychlost větru, struktura půdy a vlhkost půdy (Dufková, 2004).

Vítr (jeho rychlost, směr, četnost a doba trvání) je nejdůležitějším klimatickým faktorem pro rozvoj procesů větrné eroze. Působí na povrch půdy svou kinetickou energií, kterou uvolňuje a uvádí do pohybu a jinde opět ukládá jednotlivé částice půdy vlivem síly vzdušného proudu. Minimální rychlost větru potřebná k zahájení pohybu půdních částic se nazývá počáteční (kritická) rychlost. Její hodnota měřená při povrchu půdy se pohybuje mezi 2–3 m.s-1 a je různá pro různé druhy půd (Pasák, 1984).

Jedním ze základních půdních faktorů majících vliv na odnos půdních částic větrem je zrnitostní a agregátová skladba půdy. Rozhoduje zde především velikost půdních částic, zatímco rozdíly ve tvaru částic mají jen malý vliv (Huawei *et al.*, 2019). Při pokusech v aerodynamickém tunelu bylo zjištěno, že v odneseném materiálu převládají částice určitých velikostí. Odnosu větrem nejvíce podléhají částice půdy o velikosti 0,25–0,40 mm. Čím je vyšší obsah jílovitých částic v půdě (částic menších než 0,01 mm), tím je vyšší odolnost těchto půd vůči erozi, neboť tyto částice se shlukují do agregátů, které odolávají náporu větru (Wang *et al.,* 2019). Chepil (1958), na základě výzkumů v aerodynamickém tunelu, stanovil hranici mezi půdními částicemi, které jsou náchylné k odnosu větrem (tzv. erodovatelnými) a půdními částicemi odolnými (tzv. neerodovatelnými) na velikost 0,84 mm (a označil ji jako tzv. kritické minimum).

Půdní vlhkost ovlivňuje erodovatelnost půdy (její náchylnost k erozi) jednak přímo tím, že působí odolnost kohezní silou mezi částicemi, jednak nepřímo ovlivňováním hrudovitosti a tvorbou povrchového škraloupu. Proto také nastává největší odnášení půdních částic u půd suchých, rovných, hladkých a jemně prašných. Čím častěji je povrch půdy ovlhčován a čím častěji a prudčeji vysychá, tím více nastává tvorba tzv. druhotných agregátů (hrud a povrchové kůry), a tím méně půda podléhá větrné erozi (Avecilla *et al*., 2015).

Větrná eroze působí škody na zemědělské půdě nejen odnosem půdních částic, hnojiv a prostředků na ochranu rostlin, ale i obnažováním kořínků rostlin a přesekáváním jemných stonků mladých rostlin větrem unášenými zrnky zeminy. Usazováním nesených půdních částic vznikají škody na budovách, dochází k zanášení silnic, železnic, příkopů a nepříznivé účinky se projevují také na stromech a keřích. Jemné prachové částice jsou unášeny do značné vzdálenosti a jejich vysoké koncentrace způsobují jednak plicní a oční onemocnění lidí a hospodářských zvířat, jednak se dostávají do motorů strojů a automobilů a snižují jejich životnost (Podhrázská *et* Dufková, 2005). Současně dochází také ke znečišťování ovzduší zvyšováním obsahu chemických látek z odnášených aplikovaných hnojiv a v dnešní době se do popředí zájmu dostává také znečištění ovzduší mikroplasty s doposud neznámým vlivem na lidské zdraví (Rezaei *et al*., 2019).

Větrná eroze se vyskytuje především v území, kde je počasí charakterizováno nízkými a proměnlivými srážkami, proměnlivou a vysokou rychlostí větru, častým výskytem sucha, rychlými a extrémními změnami teploty a vysokým výparem (Pasák, 1970). V zásadě se může větrná eroze vyskytovat po celý rok, nejškodlivější však bývá na jaře, které následuje po suché, sněhem chudé zimě, kdy silný vítr strhává z holých nebo vegetací málo zakrytých polí vyschlou ornici. Výskyt větrné eroze se zvyšuje také na podzim, kdy povrch půdy již opět není chráněn vegetací. Větrná eroze se může teoreticky projevovat i v zimě, pokud povrch půdy není zmrzlý nebo chráněn sněhovou pokrývkou (Liu *et al.,* 2017). Výskyt eroze bývá tedy zaznamenán převážně tam, kde je půda bez rostlinstva, nebo kde je rostlinná pokrývka jen slabě vyvinuta. Bylo zjištěno, že 90 % větrné eroze nastává na kultivované půdě (Toy *et* Foster, 2002).

Větrnou erozí jsou paradoxně nejvíce postiženy naše nejúrodnější oblasti, v Čechách je eolizací půdy (procesem větrné eroze) postihovaných nebo je k ní náchylných na 23 % a na Moravě 40 % výměry zemědělské půdy (Pasák, 1984).

Na celosvětové degradaci půdy se větrná eroze podílí 28 %. K oblastem nejvíce postihovaným větrnou erozí patří aridní a semiaridní části severní Afriky, Blízký východ, části východní, střední a jižní Asie, severovýchodní Čína, Austrálie, jih jižní Ameriky i Severní Amerika. Jen v USA je větrnou erozí ohroženo 30 milionů hektarů (Toy *et* Foster, 2002).

Ohroženost půdy větrnou erozí na území 25 členských států EU (3 vynechány kvůli nedostatku vstupních dat) sledoval Borrelli *et al.* (2014), a to na základě obsahu částic menších než 0,84 mm (erodovatelných, EF = erodovatelné frakce). Výsledný obsah EF se pohyboval od 3,6 do 69,0 %. Podle výsledného obsahu EF je možné rozdělit půdy Evropy na tři regiony – severní region silně ohrožený větrnou erozí v důsledku vysokého obsahu EF (> 40 %), střední a východní Evropa s průměrným obsahem EF (cca 30 %) a středomořský region s nejmenším obsahem EF (18,5–22,0 %).

Podle jiné práce Borrelliho *et al.* (2015), v které hodnotil náchylnost půdy 36 států Evropy k větrné erozi, nevykazovalo žádnou náchylnost přibližně 68,4 % sledovaných půd. Slabě ohrožených půd bylo 19,5 %, středně 8 % a silně ohrožených/náchylných půd k větrné erozi bylo 4,1 % (cca 8,8 mil. ha).

**Anomálie výskytu větrné eroze na těžkých půdách**

Větrná eroze je typickým jevem pro lehké písčité a hlinitopísčité půdy. Určitá anomálie výskytu větrné eroze se však projevuje i na půdách těžkých, a to v oblasti pod Bílými Karpaty (Bánov, Suchá Loz) a na Litoměřicku (Klapý) (Vrána et al., 1998). Proces větrné eroze působí v těchto oblastech převážně v zimním a předjarním období – tedy v období s nejnižšími srážkami a teplotami na začátku roku a v časném jaru. Především v zimním období dochází na těchto půdách vlivem nízkých teplot k výraznému rozpadu půdní struktury a půdy, které by zrnitostně v jiných oblastech patřily mezi neohrožené, jsou zde větrnou erozí silně ohrožovány (Kozlovsky Dufková, 2015). Podle Švehlíka (1978) je oblast těžkých půd pod Bílými Karpatami z hlediska výskytu větrné eroze výjimečná i ve světovém měřítku.

Ve světě byl výskyt větrné eroze na půdách středně těžkých až těžkých zaznamenán v severní části Great Plains (Velké pláně) (Skidmore, 1994; Stout *et* Zobeck, 1996; Stout, 2007) a v Kanadě na Canadian Prairies (Kanadské prérie) v jižní Albertě (Bullock et al., 1999, 2001). Proces větrné eroze zde ale probíhá za výrazně jiných klimatických podmínek, protože se jedná o oblasti s vyšší nadmořskou výškou (750–1 800 m n.m.) a tudíž nižší teplotou vzduchu v zimním období.

**Ochrana půdy před větrnou erozí**

Nejúčinnější ochranou proti větrné erozi jsou rostliny. Nadzemní části rostlin tvoří překážku větru, tlumí jeho sílu, podzemní části rostlin působí pevné vázání půdy. Souvislá trvalá rostlinná pokrývka vytváří dokonalé zajištění půdy před větrem. Vytvoření trvalé rostlinné pokrývky po celý rok je však v kulturní krajině nedosažitelné (Streďanský, 1993).

Na základě určení intenzity větrné eroze a vyhodnocení terénních šetření se navrhují vhodné způsoby protierozní ochrany organizačního, agrotechnického a biotechnického charakteru (Janeček *et al.,* 2002).

***Organizační opatření***

Podstatou organizačního řešení protierozní ochrany je uspořádání pozemků tak, aby měly obdélníkový tvar s delší stranou kolmou na směr převládajícího směru větru. Následně by všechna kultivační opatření na půdě a všechna opatření proti větrné erozi měla být vedena ve směru kolmém na převládající směr větru. Na písčitých půdách nechráněných vegetací by neměla šířka pozemku ve směru převládajících větrů přesáhnout 50 m.

Při protierozním rozmísťování plodin se využívá přirozené odolnosti některých plodin vůči erozi, které lze z tohoto pohledu rozdělit na plodiny odolné (travní porosty, víceleté pícniny, ozimé obiloviny), středně odolné (jarní obiloviny, řepka ozimá) a málo odolné (okopaniny, slunečnice, kukuřice, zelenina, speciální plodiny).

Pásové střídání plodin ve směru kolmém k převládajícímu směru větru umožňuje snížit erozní účinek vložením různě širokých pásů plodin odolných proti erozi do pěstované erozně ohrožené plodiny. Účinek tohoto opatření se při větrné erozi dále zvyšuje pěstováním výškově rozdílných plodin.

Protierozní směr výsadby se využívá zejména u plodin s typickým řádkovým výsevem. Situováním řádků kolmo k převládajícímu směru větru lze negativní působení větru mírně snížit (Duniway *et al.,* 2019).

***Agrotechnická opatření***

Při kultivaci půd ohrožených větrnou erozí by měly být používány takové typy strojů, které vytvářejí hroudy a půdu nerozprašují. Půdy silně náchylné k větrné erozi by neměly být orány, neboť jsou tak zaklápěny zbytky vegetace a povrch zorané půdy rychle vysychá. Kultivace půd náchylných k větrné erozi by měla být prováděna jen při takové vlhkosti, kdy se vytváří dostatek druhotných agregátů (hrud), zdrsňujících povrch půdy. Zejména na písčitých půdách by mělo být kypření povrchu půdy zcela minimalizováno (Mendez *et* Buschiazzo, 2010). Na nestrukturních písčitých půdách je možno pro zvýšení odolnosti vůči větrné erozi používat strukturotvorné látky, vytvářející na povrchu půdy druhotné agregáty. K tomuto účelu je možné použít např. sypkých jílovitých nebo hlinitých zemin, příp. slínů a opuk, rybničního bahna, cukrovarnických kalů a kompostů s větším obsahem jílnatých částic v použitých zeminách, nebo rašeliny a bentonitu (Janeček *et al.,* 2012).

Na lehkých půdách v suchých oblastech jsou vhodná všechna opatření směřující ke zvýšení vlhkosti půdy. K zadržení vody ze sněhu je možné použít šachovnicové rozmísťování zásněžek po poli, které je nutno během zimy přestavovat (Podhrázská *et* Macků, 2006).

Půda ohrožená větrnou erozí by v žádném ročním období neměla zůstat nechráněná. Tomuto základnímu požadavku trvalého krytu půdy se nejvíce přibližují způsoby využívání půdy s omezenou kultivací, ponechávající na povrchu půdy posklizňové zbytky vegetace. Zejména mulčování písčité půdy rostlinným materiálem podstatně omezuje větrnou erozi, zlepšuje stabilitu půdních agregátů a obohacuje vrchní vrstvu půdy o humus (Li *et al.,* 2007). Dalšími výzkumy se zjistilo (Eltom *et al.*, 2015), že vzpřímené zbytky vegetace zakotvené v povrchové vrstvě půdy (strniště) jsou z hlediska ochrany půdy efektivnější než položené na povrchu. Postupně se vyvinuly různé technologické protierozní postupy kultivace půdy a setí (Janeček *et al.,* 2012). V praxi je možné využít dvě základní technologie, a to setí plodin do posklizňových zbytků ponechaných na půdním povrchu a setí plodin do ochranných (krycích) meziplodin.

Jestliže je nutné pěstovat na větrnou erozí ohrožené půdě plodiny vyžadující setí do zorané a uvláčené půdy, je nutné její povrch stabilizovat. K tomuto účelu je možné použít stabilizačních postřiků založených např. na bázi syntetických látek nebo odpadových sulfitových výluhů. V současné době se úspěšně testují také polymerové postřiky založené na bázi polyvinyl acetátu (Movahedan *et al.,* 2012).

Zlepšení fyzikálně chemických vlastností písčitých půd silně podléhajících větrné erozi lze také dosáhnout zeleným hnojením pravidelně zařazovaným v osevním postupu. Zařazením plodin na zelené hnojení po sklizni hlavních plodin se vytváří i užitečný kryt půdy, který snižuje rychlost větru při povrchu půdy (Duniway *et al.*, 2019).

***Biotechnická opatření***

Nejúčinnější opatření proti větrné erozi představují ochranné lesní pásy (větrolamy). Jsou to různě široké pásy stromů a keřů orientované kolmo na převládající směr větru. Vytvářejí trvalou ochranu půdy před škodlivými účinky větru. Větrolamy byly zakládány jak za účelem ochrany území před odnosem ornice a ochrany kultur, tak i ochrany území před odvíváním sněhové pokrývky (dosáhne se jejího pravidelnějšího rozložení, a tím i ochrany ozimů před vymrzáním) a rovněž za účelem snížení výparu vody z půdy a její ztráty transpirací ze zemědělských kultur (Khel *et al.,* 2017).

Většina funkcí, které větrolamy v krajině plní, je však spojena s redukcí rychlosti větru. Vlhkost vzduchu je v důsledku snížené turbulence u větrolamů vyšší než v okolí. V důsledku snížení rychlosti větru může docházet k nárůstu výnosů plodin u větrolamu (Torita *et* Satou, 2007). Avšak žádoucí není ani přílišné snížení rychlosti, neboť pak mohou být plodiny podél větrolamu stresovány teplem (Sudmeyer *et* Scott, 2002).

Ne každý větrolam je však plně funkční. Jeho účinnost, tj. schopnost snižovat rychlost větru, závisí na mnoha parametrech, přičemž hlavním je struktura, jež je určena výškou a porozitou (propustností) větrolamu (Jareš *et al*., 2011). Důležitým předpokladem vysoké účinnosti větrolamu je správná volba dřevin. Upřednostňovány by měly být dřeviny, které za krátkou dobu zajistí dostatečnou účinnost, doplněné dlouhověkými pomaleji rostoucími dřevinami, které se po čase stanou nosnými. Zároveň by měly být používány druhy dřevin odpovídající přírodním podmínkám daného stanoviště. To platí pro stromové i keřové patro větrolamu (Janeček et al., 2012).

Větrolamy se tradičně rozdělují na prodouvavé, poloprodouvavé a neprodouvavé. Neprodouvavý větrolam je složen z více řad a má vytvořeno keřové patro. Na návětrné i závětrné straně v podstatě vzniká uzavřená stěna. Tímto typem větrolamu neprocházejí téměř žádné větrné masy, pouze jej obtékají. Rychlost klesá na závětrné straně velmi výrazně, v poměrně krátké vzdálenosti však rychlost narůstá až na původní rychlost na návětrné straně. Nevýhodu těchto větrolamů je hromadění sněhu a navátin ornice uvnitř pásu a značný vzestup teploty v létě na závětrné straně. Zároveň však mohou tyto větrolamy tlumit hluk a zachycovat nečistoty z ovzduší (Khel *et al.,* 2017).

Prodouvavý větrolam je složen z jedné či dvou řad stromů bez keřového patra. Od těchto větrolamů se většinou ustupuje z důvodů možnosti vzniku tryskového efektu v kmenovém prostoru (Khel *et al.,* 2017).

Poloprodouvavý větrolam je složen z více řad stromů, keřové patro je vyvinuto v menší míře a korunová vrstva má menší zapojení. Tento typ se považuje za nejvhodnější, jelikož dochází jak k obtékání vzdušných mas přes větrolam, tak také k jejich prostupovaní porostem. Na návětrné straně působí poloprodouvavý větrolam do vzdálenosti zhruba 10ti násobku a na závětrné straně 20ti násobku své výšky (Zachar, 1970).

**Způsoby stanovení intenzity větrné eroze**

Stanovení intenzity větrné eroze (resp. potenciální ztráty půdy větrem) jako podklad pro návrh optimálních opatření k ochraně půdy před větrnou erozí je možno uskutečnit několika způsoby (Kozlovsky Dufková, 2015):

* využitím pedologické databáze bonitovaných půdně ekologických jednotek (BPEJ),
* výpočtem na základě rovnic,
* použitím empirických a simulačních modelů větrné eroze (RWEQ, APEX, EPIC, WEPS, SWEEP, WEELS, WECON aj.),
* terénními metodami měření intenzity větrné eroze.

***Využití pedologické databáze BPEJ***

Stanovení potenciální ohroženosti zemědělských půd větrnou erozí vychází z pedologické databáze BPEJ. Byly využity údaje o klimatických regionech charakterizovaných prvním číslem kódu BPEJ a údaje o hlavních půdních jednotkách (druhé a třetí místo kódu BPEJ), tedy faktory, které přímo ovlivňují větrnou erozi (Janeček *et al*., 2002).

Výsledné hodnocení potenciální erozní ohroženosti je potom vyjádřeno váženým průměrem součinu jednotlivých faktorů a plošného zastoupení jednotlivých kódů BPEJ pro všechny půdní bloky (resp. katastrální území – k.ú.) a vyjádřeno v šesti kategoriích ohroženosti (Podhrázská *et al*., 2008).

Pro jednotlivé kategorie potenciální ohroženosti půdy větrnou erozí byla určena tzv. tolerovaná délka pozemku (Podhrázská *et al*., 2008). Čím delší je území ve směru působení větru, tím se uvolňuje větší množství půdních částic, a tím je odnos půdy větrem intenzivnější. Pozemky je proto výhodné přerušit větrnými bariérami, nejlépe větrolamy a ke stanovení požadované vzdálenosti mezi jednotlivými bariérami slouží právě tolerovaná délka pozemku.

***Výpočet z rovnic***

Stanovení ohroženosti území větrnou erozí je poněkud složitější, nežli je tomu u eroze vodní. Literatura uvádí řadu možných výpočtů a stanovení, jejich nevýhodou však je, že pracují často pouze s jednotlivými dílčími činiteli podílejícími se na vzniku větrné eroze. Přesto však mnohé z nich je možno v praxi využít (Kozlovsky Dufková, 2019).

Erodovatelnost lze stanovit buď jako potenciální, tzn. jakousi pravděpodobnou, která by na pozemku nastala za k tomu příznivých podmínek, nebo jako skutečnou (aktuální), kterou lze přímo pozorovat a měřit v terénu.

Existuje řada výpočtů, většina z nich je založena na znalosti rychlosti větru, vlhkosti půdy a obsahu jílnatých či neerodovatelných částic v půdě. Mezi nejčastěji citované autory rovnic pro stanovení intenzity větrné eroze patří Woodruff *et* Siddoway (1965), Pasák (1966a,b, 1967), Riedl (1973), Barajev (1974), Vrána (1978), Schwab *et al.* (1993), Fryrear *et al.* (1994), Rakkar *et al.* (2019) aj. Nejznámější a ve světě nejpoužívanější rovnicí je ta od Woodruffa *et* Siddowaye (1965) nazvaná Wind Erosion Equation (WEQ), která komplexně posuzuje všechny vlivy na proces větrné eroze.

Téměř všechny rovnice od výše zmíněných autorů vycházejí ze znalosti obsahu jílnatých částic a jsou založeny na předpokladu, že na půdách s vyšším obsahem jílnatých částic (na půdách těžkých) se větrná eroze nevyskytuje. Z tohoto mylného předpokladu ovšem vyplývá, že rovnice pro stanovení intenzity větrné eroze nelze použít pro půdy s vyšším obsahem jílnatých částic (i když jsou tyto půdy větrnou erozí prokazatelně ohroženy), protože odnos půdy větrem výrazně podhodnocují.

Na základě laboratorních simulací, terénních měření a statistických analýz však byla pro podmínky ČR sestavena rovnice pro stanovení větrné eroze na těžkých půdách. Získaná rovnice sice neumožňuje stanovení konkrétního množství oderodované půdy, avšak na základě vypočítaného obsahu EF v půdě dokáže alespoň přibližně určit, zda těžká půda, která byla v zimním období vystavena mrazu bude v jarním období náchylná k odnosu větrem či nikoliv (Kozlovsky Dufková, 2015).

***Modelování větrné eroze***

S rozvojem výpočetní techniky a geografických informačních systémů (GIS) dochází k vývoji modelů vodní i větrné eroze. Pro odhad erozního zatížení území existuje v současnosti velké množství postupů. Výpočetní metody a modely lze rozdělit podle různých kritérií (koncepce výpočtu, velikost zájmového území, dostupnost datových podkladů, účel výzkumu apod.) (Wagner, 2013).

Nejlépe propracovanou metodou modelování procesu větrné eroze se v současné době jeví systém WEPS (Wind Erosion Prediction System) vytvořený v USA (Hagen *et al.,* 1995). WEPS je průběžný denní model simulace počasí, půdních podmínek a eroze. Výstupem modelu jsou průměrné ztráty i depozice půdy v rámci zadaného období. WEPS rovněž umožňuje stanovit ztráty jednotlivých frakcí půdy (Tatarko *et al.,* 2013).

Submodel modelu WEPS tzv. SWEEP (Single-event Wind Erosion Evaluation Program) se stále častěji používá jako samostatný model k modelování jedné erozní události (Feng *et* Sharratt, 2009; Funk *et al.,* 2004; Pi *et al.,* 2016).

Dalším často používaným modelem je RWEQ (Revised Wind Erosion Equation). Tento model byl revidován z rovnice WEQ, zpřesňuje stávající faktory, které vstupují do rovnice a zavádí dva nové (Fryrear *et al.,* 2000). V dnešní době je model RWEQ často propojován s GIS (Borrelli *et al.*, 2017, Saadoud *et al*., 2018).

Další modely, které stojí za zmínku jsou např. APEX a EPIC od Williamse *et al.* (1984).

V letech 1997–2000 byl organizací Environment and Climate Programme financován výzkumný program WEELS (Wind Erosion on European Light Soils). Tento program byl určen k projektování modelů a zjištění rozsahu větrné eroze na lehkých půdách Evropy (Goosens *et* Gross, 2003).

Nejnovějším modelem větrné eroze je model WECON (Wind Erosion from CONstruction activities), který byl vyvinut pro stanovení maximální ztráty půdy způsobené větrnou erozí, a to na pozemcích narušených stavební nebo inženýrskou činností (Liu *et al.*, 2019).

***Terénní metody měření intenzity větrné eroze***

Intenzitu větrné eroze lze zkoumat různými metodami (nivelační, vegetační, volumetrická, pedologická, morfologická, fotogrammetrická, historická), jako nejvhodnější se ovšem jeví metoda deflametrická a tunelová (Streďanský *et al.,* 2005).

Tunelová metoda se používá především v laboratorních podmínkách. Aerodynamický tunel je zařízení umožňující napodobit větrné podmínky a z obecného funkčního hlediska je možné jej rozdělit na aerodynamický tunel s oběhem otevřeným a s oběhem uzavřeným. Oba dva typy tunelů mohou mít zkušební prostor otevřený nebo uzavřený. Existují tedy čtyři konstrukce tunelů. Nejčastěji používaným tunelem při experimentech neklasické aerodynamiky je konstrukce tunelu s uzavřeným zkušebním prostorem a otevřeným oběhem ([Giménez](http://www.dufkova.kozlovsky.eu) *et al*., 2019). Aerodynamický tunel rozdílné konstrukce využívali v našich podmínkách ke svým výzkumům větrné eroze např. Pasák (1970) nebo Streďanský (1980), v zahraničí se experimenty ve větrném tunelu zabývá např. Sirjani *et al.* (2019).

Deflametr je zařízení sloužící k odchytu větrem odnášených (deflatovaných) půdních částic. Deflametr se většinou používá přímo v terénu, ale existují i konstrukce, které je možno využít v laboratoři při experimentech v aerodynamickém tunelu. Literatura uvádí řadu různých konstrukcí deflametrů, mezi osvědčené patří např.:

* lapač Bagnold – tvořen sadou boxů nad sebou tak, aby zachytávaly všechny částečky pohybující se v proudu vzduchu o šířce přístroje v různých výškách (Bagnold, 1943),
* COX Sand Catcher – jednoduchý lapač půdních částic, který umožňuje zachytávat půdní částice ze všech stran otvorem umístěným v horní části přístroje ([www.sensit.com](http://www.sensit.com)),
* Surface Creep Sampler – lapač částic o velikosti 3–10 mm pohybujících se po povrchu půdy do výšky 3 mm; účinnost lapače je 98 % (Stout *et* Fryrear, 1989),
* akustické čidlo saltifon – používá mikrofon, jenž nahrává dopadání skákajících částeček; nevýhodou je, že materiál neuchovává, nemůže být proto určeno jeho zrnitostní složení (Spaan *et* van den Abeele, 1991),
* lahvový deflametr podle Wilsona a Cooka (Wilson *et* Cooke, 1980) a deflametr BSNE (Big Spring Number Eight) (Fryrear, 1986) – lapače nainstalovány v různých výškách na sloupku, ke kterému je připojena větrná korouhev, a který umožňuje celému přístroji otáčet se tak, že záchytné nádobky jsou vždy natočeny proti směru větru; lapače mají účinnost 75–100 %, v závislosti na velikosti částic unášených větrem,
* čidlo Sensit – piezoelektrický senzor saltace, který dokáže stanovit kritickou rychlost větru, množství transportovaných částic a intenzitu větrné eroze (Gillette *et al*., 1997),
* lapač WITSEG – vychází z konstrukce lapače Bagnold a byl vytvořen k měření profilu toku vátého písku ve větrném tunelu (Dong *et al*., 2004).

V zahraničí se k terénnímu výzkumu větrné eroze většinou používá hned několik druhů výše uvedených přístrojů/deflametrů najednou. K měření odnosu půdy větrem přímo v terénu byl vydán manuál (Webb *et al.,* 2019), který přesně popisuje, kam který přístroj umístit a jaké analýzy provádět.

Srovnáním různých typů deflametrů se zabývá mnoho prací, z novějších např. studie Mendeze *et al.* (2011, 2016), Abdoliho *et al.* (2017), Basarana *et al.* (2017), Kloseho *et al.* (2017) nebo Wazy *et al.* (2019).

V našich podmínkách se konstrukcí deflametru a jeho přímým užitím v terénu zabýval např. Riedl (1976) nebo Švehlík (1972, 1974, 1985, 1986, 1987, 1989), který deflametr využíval ke stanovení intenzity větrné eroze především na těžkých půdách v oblasti pod Bílými Karpaty. V letech 2010 a 2012 vznikly další typy deflametrů na Mendelově univerzitě v Brně (MENDELU). Jedná se o tzv. lapač deflátů, který se skládá z několika nádob opatřených kormidlem/křídlem a umístěných na stojanu v různých výškách. Při odnosu půdy se deflatované půdní částice zachytávají v nádobách a za určité období se vyhodnocuje jejich množství (Podhrázská *et al*., 2009). Druhý deflametr, který byl vyvinut na MENDELU, je deflametr s aktivním lapačem půdních částic a časovým záznamem. Byl vyvinut ke stanovení relativního množství a zrnitostního složení půdních částic erodovaných a unášených větrem. Hlavice přístroje nese nasávací štěrbinu, která je situována proti směru větru pomocí směrovky. V trupu deflametru se nachází otáčecí zařízení a páska se svrchní lepící vrstvou. Pomocí aktivního nasávání vzduchu se na otáčející se lepící pásku zachytí půdní částice erodované větrem (Středová *et al*., 2012).

U našich sousedů na Slovensku, konkrétně na Slovenské poľnohospodárské univerzitě v Nitře byl vyvinut tzv. boxový deflametr. Deflametr se skládá z šesti boxů umístěných nad sebou v různých výškách. Je nutno jej umístit proti převládajícímu směru větru, protože jím nelze otáčet. Deflametr lze rozložit na dva a lze měřit odnos půdy současně na dvou lokalitách (Lackóová *et al*., 2013).

Terénní měření pomocí deflametrů se často využívá k validaci modelů větrné eroze či ověření správnosti výpočtu intenzity eroze na základě rovnic. Podrobněji se touto problematikou zabývají např. práce van Donk *et* Skidmore (2003), Funk *et al.* (2004), Skidmore *et al.* (2006), Buschiazzo *et* Zobeck (2008), Mužíková *et* Kozlovsky Dufková (2010) nebo Zhang *et al.* (2017).

**Větrná eroze a změna klimatu**

Problém eroze zemědělsky využívaných půd vyžaduje patřičnou pozornost, protože se stal problémem celosvětovým. Každým rokem se na Zemi v důsledku eroze ztratí tisíce km2 zemědělské půdy. V poslední době se na prohlubování problémů erozní ohroženosti půd výrazně podílí také globální změny klimatu, které ovlivňují celkový způsob využívání půdy a krajiny (Duniway *et al.*, 2019).

Souvislostmi vlivu možné klimatické změny na zemědělství či přímo na větrnou erozi půdy se zabývali např. Dregne (1990), Carter *et al.* (1991), Imeson *et al.* (1992), Stowronek *et* de la Haye (1993), Barrow *et* Semenov (1995), Obasi (2003), Ainsworth *et* Long (2005), Cline (2008) aj., u nás Brázdil *et* Rožnovský (1995), Moldan *et* Sobíšek (1995), Dubrovský *et al.* (2004), Trnka *et al.* (2009), Žalud *et al.* (2009), Žalud *et al.* 2011, Trnka *et al.* (2013), Možný *et al.* (2013), Sharratt *et al.* (2015), Mezösi *et al.* (2016) aj.

Klimatické podmínky mají zásadní vliv na intenzitu a rozšíření větrné eroze zvláště v suchých oblastech jižní Moravy. Negativní dopady klimatické změny se tak projeví nejdříve v této lokalitě. Proto alespoň z počátku budou oblasti vlhčí, s vyšší nadmořskou výškou ušetřeny nežádoucím účinkům oteplování. Do budoucna se však musí počítat s tím, že dojde k ohrožení půd větrnou erozí i v územích, kde by se její výskyt původně nepředpokládal, nebo alespoň ne v takové míře. Kromě klimatických podmínek je větrná eroze závislá také na druhu půdy. A jestliže již nelze ovlivnit vývoj klimatu, který zapříčinil sám člověk, pak by se měl pokusit o nápravu alespoň v tom smyslu, že zamezí další degradaci půdy a změně jejího strukturního stavu (Dufková, 2004).

Vlivem možné klimatické změny se výměra půdy ohrožené erozí zvýší odhadem nejméně o 10 %, tzn., že přírůstek výměry půd ohrožených větrnou erozí bude představovat minimálně 100 000 ha (Duniway *et al.,* 2019). Celkově se tedy bude muset počítat s vyšší výměrou ohrožené půdy pro uplatnění protierozních opatření. Při současné úrovni našich znalostí lze jen obtížně odhadnout, jaké problémy by případná změna klimatu v ochraně půdy před erozí vyvolala.

**Použitá literatura**

Abdoli, S., Khalilimoghadam, B., Rahnama, M., Soleimani, M.(2017). Comparison of different mass transport equations for wind erosion quantiﬁcation purposes in southwest Iran: A wind tunnel study. *Desert* 22(2):197-208.

Ainthworth, E.A., Long, S.P. (2005). What have we learned from 15 years of free-air CO2 enrichment? *New Phytology* 165:351–372.

Avecilla, F., Panebianco, J.E., Buschiazzo, D.E. (2015). Variable effects of saltation and soil properties on wind erosion of different textured soils. *Aeolian Research* 18:145–153. DOI: 10.1016/j.aeolia.2015.07.005.

Bagnold, R.A. (1943). *Physics of blown sand and desert dunes*. New York: William Morrow & Co.

Barajev, A.J. (1974). Zaščita počv ot vetrovoj i vodnoj erozii. In *X. mezinárodní pedologický kongres.* Moskva, s. 25–31.

Barrow, E.M., Semenov M.A. (1995). Climate change scenarios with high spatial and temporal resolution for agricultural applications. *Forestry* 4(68):349–360.

Basaran, M., Uzun, O., Erpul, G*.* (2017). Evaluation of field performance of BEST aeolian sediment catcher in sandy-loam soil of arid zone of Turkey. *Soil & Water Res.* 12(2):96–105. DOI: 10.17221/55/2016-SWR.

Borrelli, P., Ballabio, C., Panagos, P., Montanarella, L. (2014). Wind erosion susceptibility of European soils. *Geoderma* 232–234:471–478. DOI: 10.1016/j.geoderma.2014.06.008.

Borrelli, P., Lugato, E., Montanarella, L., Panagos, P. (2017). A new assessment of soil loss due to wind erosion in European agricultural soils using a quantitative spatially distributed modelling approach. *Land Degradation and Development* 28:335–344. DOI: 10.1002/ldr.2588.

Borrelli, P., Panagos, P., Montanarella, L. (2015). New insights into the geography and modelling of wind erosion in the European agricultural land. Application of a spatially explicit indicator of land susceptibility to wind erosion. *Sustainability* 7:8823-8836. ISSN 2071-1050. DOI: 10.3390/su7078823.

Brázdil, R., Rožnovský, J. (1995). Dopady možné změny klimatu na zemědělství v České republice. *Národní klimatický program ČR*, sv. 18, 140 s. ISBN 80-85813-91-2, ISSN 1210-7565.

Bullock, M.S., Larney, F.J., Izaurralde, R.C., Feng, Y. (2001). Overwinter changes in wind erodibility of clay loam soils in southern Alberta. *Soil Science Society of America Journal* 65:423–430.

Bullock, M.S., Larney, F.J., Mcginn, S.M., Izaurralde, R.C. (1999). Freeze-drying processes and wind erodibility of a clay loam soil in southern Alberta. *Canadian Journal of Soil Science* 79(1):127–135.

Buschiazzo, D.E., Zobeck, T.M. (2008). Validation of WEQ, RWEQ and WEPS wind erosion for different arable land management systems in the Argentinean Pampas. *Earth Surface Processes and Landforms* 33:1839–1850.

Carter, T.R., Parry, M.L., Porter, J.H. (1991). Climatic change and future agroclimatic potential in Europe. *International Journal of Climatology* 11:251–269.

Cline, W.R. (2008). Global warming and agriculture. *Finance and Development* 45:23–27.

Dong, Z., Sun, H., Zhao, A. (2004). WITSEG sampler: a segmented sand sampler for wind tunnel test. *Geomorphology* 59:119–129.

Dregne, H.E. (1990). Impact of climate warming on arid region soils. *Developments in Soil Science* 20:177–184.

Dufková, J. (2004). *Vliv klimatických podmínek na intenzitu a rozšíření větrné eroze*. Doktorská dizertační práce. Brno: MZLU v Brně, 162 s.

Dumbrovský, M., Pivcová, J., Tippl, M. (1995). *Doporučený systém protierozní ochrany v procesu komplexních pozemkových úprav*. Praha: VÚMOP, 79 s.

Duniway, M.C., Pfennigwerth, A.A., Fick, S.E., Nauman, T.W., Belnap, J., Barger, N.N. (2019). Wind erosion and dust from US drylands: a review of causes, consequences, and solutions in a changing world. *Ecosphere* 10(3):e02650. DOI: 10.1002/ecs2.2650.

Eltom, A.E.F., Ding, W., Ding, Q., Tagar, A.A., Talha, Z., Gamareldawla (2015). Field investigation of a trash-board, tillage depth and low speed effect on the displacement and burial of straw. *Catena* 133:385–393. DOI: 10.1016/j.catena.2015.05.025.

Feng, G., Sharratt, B. (2009). Evaluation of the SWEEP model during high winds on the Columbia Plateau. *Earth Surf. Proc. Land*. 34:1461–1468.

Fryrear, D.W. (1986). A field dust sampler. *Journal of Soil and Water Conservation* 41(2):117–120.

Fryrear, D.W., Bilbro, J.D., Saleh, A., Schomberg, H., Stout, J., Zobeck, T.M. (2000). RWEQ: Improved wind erosion technology. *Journal of Soil and Water Conservation* 55(2):183–189.

Fryrear, D.W., Krammes, C.A., Williamson, D.L., Zobeck, T.M. (1994). Computing the wind erodible fraction of soils. *Journal of Soil and Water Conservation* 49(2):183–188.

Funk, R., Skidmore, E.L., Hagen, L.J. (2004). Comparison of wind erosion measurements in Germany with simulated soil losses by WEPS. *Environ. Model. Software* 19:177–183.

Gillette, D.A., Fryrear, D.W., Xiao, J.B., Stockton, P.H., Ono, D., Helm, P.J., Gill, T.E., Ley, T. (1997). Large scale variability of wind erosion mass flux rates at Owens Lake. Part I: Verticle profiles of horizontal mass fluxes of wind-eroded particles with diameter greater than 50 μm. *Journal of Geophysical Research* 102:22977–25987.

Giméneza, A., Lozanob, F.J., Torresc, J.A., Asensio, C. (2019). Automated system for soil wind erosion studies. *Computers and Electronics in Agriculture* 164:104889. DOI: 10.1016/j.compag.2019.104889.

Goosens, D., Gross, J. (2003). Wind erosion at the field level: a case study. In *WEELS – Wind Erosion on European Light Soils*, Final report. URL: <http://www.geog.ucl.ac.uk/weels/final\_report>

Hagen, L.J., Wagner, L.E., Tatarko, J. (1995). Wind Erosion Prediction System. *Kansas Prediction System*.

Huawei, P., Huggins, D.R., Sharratt, B. (2019). Dry aggregate stability of soils influenced by crop rotation, soil amendment, and tillage in the Columbia Plateau. *Aeolian Research* 40:65-73.

Chepil, W.S. (1958). Soil conditions that influence wind erosion. *Technical Bulletin*, no. 1185.

Imeson, A.C., Emmer, I.M., Jeftic, L. (1992). Implications of climatic change on land degradation in the Mediterranean. In *Climate Change and the Mediterranean: Environmental and Societal Impacts of Climate Change and Level Rise in the Mediterranean* (proceedings), pp. 95–128.

Janeček, M. *et al*., 2002. *Ochrana zemědělské půdy před erozí*. 1. vyd. Praha: ISV, 201 s. ISBN 85866-85-8.

Janeček, M., Dostál, T., Kozlovsky Dufková, J., Dumbrovský, M., Hůla, J., Kadlec, V., Konečná, J., Kovář, P., Krása, J., Kubátová, E., Kobzová, D., Kudrnáčová, M., Novotný, I., Podhrázská, J., Pražan, J., Procházková, E., Středová, H., Toman, F., Vopravil, J., Vlasák, J. (2012). Ochrana zemědělské půdy před erozí. *Metodika*. ČZU v Praze, 114 s. ISBN 978-80-87415-42-9.

Jareš, V., Vaverková, M., Kozlovsky Dufková, J. (2011). Evaluation of the windbreaks optical porosity in time in the Czech Republic. *Infrastructure and Ecology of Rural Areas* 7:41–52. ISSN 1732-5587.

Khel, T., Řeháček, D., Kučera, J., Papaj, V., Vopravil, J., Vacek, S., Vacek, Z., Havelková, L. (2017). Metodika hodnocení účinnosti a realizace větrolamů v krajině jako nástroj pro ochranu půdy ohrožené větrnou erozí. *Certifikovaná metodika* č. 9/14130/MZe-2017, 111 s. VÚMOP, v.v.i. ISBN 978-80-87361-70-2.

Klose, M., Gill, T.E., Webb, N.P., van Zee, J.W. (2017). Field sampling of loose erodible material: A new system to consider the full particle-size spectrum. *Aeolian Research* 28:83–90. DOI: 10.1016/j.aeolia.2017.08.003.

Kozlovsky Dufková, J. (2015). Kritéria rozvoje větrné eroze na těžkých půdách v podhůří Bílých Karpat. Habilitační práce. MENDELU v Brně, 176 s.

Kozlovsky Dufková, J., Mašíček, T., Lackóová, L. (2019). Using of wind erosion equation in GIS. *Infrastructure and Ecology of Rural Areas* 2:39-51. ISSN 1732-5587. DOI: 10.14597/INFRAECO.2019.2.1.004

Lackóová, L, Halászová, K., Kliment, M., Urban, T. (2013). Wind erosion intensity determination using soil particle catcher devices. *Journal of Central European Agriculture* 14(4):1364–1372. ISSN 1332-9049.

Li, J., Okin, G.S., Alvarez, L., Epstein, H. (2007). Quantitative effects of vegetation cover on wind erosion and soil nutrient loss in a desert grassland of southern New Mexico, USA. *Biogeochemistry* 85(3):317–332. DOI: 10.1007/s10533-007-9142-y.

Liu, B., Qu, J., Ning, D., Han, Q., Yin, D., Du, P. (2019). WECON: A model to estimate wind erosion from disturbed surfaces. *Catena* 172:266–273. DOI: 10.1016/j.catena.2018.08.037.

Liu, T., Xu, X., Yang, J. (2017). Experimental study on the effect of freezing-thawing cycles on wind erosion of black soil in Northeast China. *Cold Regions Science and Technology* 136:1–8. DOI: 10.1016/j.coldregions.2017.01.002.

Mendez, M.J., Buschiazzo, D., Funk, R. (2011). Field wind erosion measurements with Big Spring Number Eight (BSNE) and Modified Wilson and Cook (MWAC) samplers. *Geomorphology* 129(1–2):43-48. DOI: 10.1016/j.geomorph.2011.01.011.

Mendez, M.J., Buschiazzo, D.E. (2010). Wind erosion risk in agricultural soils under different tillage systems in the semiarid Pampas of Argentina. *Soil & Tillage Research* 106:311–316. DOI: 10.1016/j.still.2009.10.010.

Mendez, M.J., Funk, R., Buschiazzo, D.E. (2016). Efficiency of Big Spring Number Eight (BSNE) and Modified Wilson and Cook (MWAC) samplers to collect PM10, PM2.5 and PM1. *Aeolian Research* 21:37–44. DOI: 10.1016/j.aeolia.2016.02.003.

Mezősi, G., Blanka, V., Bata, T., Ladányi, Z., Kemény, G., Meyer, B.C. (2016). Assessment of future scenarios for wind erosion sensitivity changes based on ALADIN and REMO regional climate model simulation data. *Open Geosci* 8:465–477. DOI: 10.1515/geo-2016-0033.

Moldan, B., Sobíšek, B. (1995). Územní studie změny klimatu České republiky (Závěrečná zpráva). *Národní klimatický program ČR*, sv. 22, 166 s. ISBN 80-85813-91-2, ISSN 1210-7565.

Morgan, R.P.C. (2005). *Soil erosion and conservation*. Malden: Blackwell Pub., 304 s. ISBN 978-1-4051-1781-4.

Movahedan, M., Abbasi, N., Keramati, M. (2012). Wind erosion control of soils using polymeric materials. *Eurasian Journal of Soil Science* 2:81–86.

Možný, M., Trnka, M., Žalud, Z. (2013). Změna klimatu. In *Změny klimatu, fenologie a ekosystémové procesy*. Praha: Český hydrometerologický ústav, s. 7–17. ISBN 978-80-86690-64-3.

Mužíková, B., Kozlovsky Dufková, J. (2010). Validation of wind erosion models for Czech conditions. In sborník příspěvků z mezinárodní konference *Eurorural 2010*. Brno: Mendelova univerzita v Brně, 30.8.–3.9.2010, s. 33. ISBN 978-80-7375-418-1.

Obasi, G.O.P. (2003). Naše podnebí v budoucnosti. *Meteorologické zprávy* 56(1):26–27. ISSN 0026-1173.

Pasák, V. (1966a). Struktura půdy a větrná eroze. *Vědecké práce VÚMOP Praha*, s. 73–82.

Pasák, V. (1966b). Význam vlhkosti půdy při větrné erozi půdy. *Meliorace* 2:129–140.

Pasák, V. (1967). Faktory ovlivňující větrnou erozi půdy. *Vědecké práce VÚMOP Praha* 9:143–149.

Pasák, V. (1970). *Wind erosion on soils*. Scientific Monographs, no. 3, 187 p.

Pasák, V. (1971). Význam zrnitostního složení a vlhkosti půdy při větrné erozi. *Meliorace* 44(1).

Pasák, V. (1984). *Ochrana půdy před erozí*. 1. vyd. Praha: Státní zemědělské nakladatelství, 164 s.

Pi, H., Sharratt, B., Feng, G., Lei, J., Li, X., Zheng, Z. (2016). Validation of SWEEP for creep, saltation, and suspension in a desert–oasis ecotone. *Aeolian Research* 20:157–168. DOI: 10.1016/j.aeolia.2016.01.006.

Podhrázská, J., Dufková, J. (2005). *Protierozní ochrana půd*. Skriptum. Brno: MZLU v Brně, 99 s. ISBN 80-7157-856-8.

Podhrázská, J., Kohut, M., Kozlovsky Dufková, J. (2009). *Výroční zpráva k projektu NAZV č. QH82099 Kritéria rozvoje větrné eroze na těžkých půdách a možnosti jejího omezení biotechnickými opatřeními*. Brno: VÚMOP Brno, 66 s.

Podhrazská, J., Kučera, J., Chuchma, F., Středa, T., Středová, H. (2013). Effect of changes in some climatic factors on wind erosion risks – the case study of South Moravia. *Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis* 6:1829–1837.

Podhrázská, J., Macků, J. (2006). Systém hodnocení větrolamů pro průzkumné, návrhové a projekční účely v KPÚ. *Pozemkové úpravy* 57:14–16. ISSN 1214-5815.

Podhrázská, J., Novotný, I., Rožnovský, J., Hradil, M., Toman, F., Dufková, J., Macků, J., Krejčí, J., Pokladníková, H., Středa, T. (2008). *Optimalizace funkcí větrolamů v zemědělské krajině*. Metodika. Praha: VÚMOP Praha, 81 s. 978-80-904027-1-3.

Rakkar, M.K., Blanco-Canqui, H., Tatarko, J. (2019). Predicting soil wind erosion potential under different corn residue management scenarios in the central Great Plains. *Geoderma* 353:25–34. DOI: 10.1016/j.geoderma.2019.05.040.

Rezaei, M., Riksen, J.P.M., Sirjani, E., Sameni, A., Geissen, V. (2019). Wind erosion as a driver for transport of light density microplastics. *Science of the Total Environment* 669:273–281. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2019.02.382.

Riedl, O. (1973). *Lesotechnické meliorace*. 1. vyd. Praha: SZN Praha.

Riedl, O. (1976). Větrná eroze. Výpočet stupně ohrožení a návrh protierozních opatření. *Závěrečná zpráva*. Brno: VŠZ Brno, 64 s.

Saadoud, D., Hassani, M., Peinado, F.J.M., Guettouche, M.S. (2018). Application of fuzzy logic approach for wind erosion hazard mapping in Laghouat region (Algeria) using remote sensing and GIS. *Aeolian Research* 32:24–34. DOI: 10.1016/j.aeolia.2018.01.002.

Sharratt, B.S., Tatarko, J., Abatzoglou, J.T., Fox, F.A., Huggins, D. (2015). Implications of climate change on wind erosion of agricultural lands in the Columbia plateau. *Weather and Climate Extremes* 10:20–31. DOI: 10.1016/j.wace.2015.06.001.

Schwab, G.O., Fangmeier, D.D., Elliot, W.J., Frevert, R.K. (1993). *Soil and water conservation engineering*. New York: John Wiley & Sons.

Sirjania, E., Samenia, A., Moosavia, A.A., Mahmoodabadi, M., Laurent, B. (2019). Portable wind tunnel experiments to study soil erosion by wind and its link to soil properties in the Fars province, Iran. *Geoderma* 333:69–80. DOI: 10.1016/j.geoderma.2018.07.012.

Skidmore, E.L. (1994). Wind erosion, chapter 11, pp. 265–294. In Lal R. *Soil erosion research methods*. Soil and Water conservation Society and St. Lucie Press, 342 p. ISBN 1-884015-09-3.

Skidmore, E.L., Liao, C., van Donk, S. (2006). Simulation of wind speed and direction from limited data. In 14th ISCO conference on *Water Management and Soil Conservation in Semi-Arid Environments* (proceedings [CD-Rom]). Marrakech: International Soil Conservation Organization, 14.–19.5.2006. ISBN 9954-0-66653-5.

Spaan, W.P., van den Abeele, G.D. (1991). Wind borne particle measurements with acoustic sensors. *Soil Technology* 4(1):51-63.

Stout, J.E. (2007). Simultaneous observation of the critical aeolian threshold of two surfaces. *Geomorphology* 85:3–16.

Stout, J.E., Fryrear, D.W. (1989). Performance of a windblown-particle sampler. *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers* 32(6):2041–2045.

Stout, J.E., Zobeck, T.M. (1996). Establishing the threshold condition for soil movement in wind-eroding fields. In *Air Pollution from Agricultural Operations* (proceedings). Kansas City: MidWest Plan Service, 7.–9.2.1996, pp. 65–71.

Stowronek, A., de la Haye, U. (1993). The assessment of erosion risk of agriculturally utilized soils as a result of possible climatic variations. *Mitteilungen der Deutschen Bodenkudlichen Gesellschaft* 69:285–288.

Streďanský, J. (1980). Závislosť odnosu pôdy od rýchlosti vetra. *Poľnohospodárstvo* 26(3):219–227.

Streďanský, J. (1993). Veterná erózia pôdy – ochranný účinok poľnohospodárskych plodín voči účinkom veternej erózie*. Metodiky pro zavádění výsledků výzkumu do zemědělské praxe*, č. 15, 36 s.

Streďanský, J., Dobák, D., Sollár, M., Kliment, M. (2005). Súčasné spôsoby určovania intenzity veternej erózie v SR. In sborník příspěvků z mezinárodní vědecké konference *Bioklimatologie současnosti a budoucnosti*. Křtiny: ČSBS, ČHMÚ, MZLU v Brně, CD-Rom. ISBN 80-86-690-31-08.

Středová, H., Podhrázská, J., Středa, T. (2012). Deflametr s aktivním lapačem půdních částic a časovým záznamem. *Užitný vzor* č. 23733, Úřad průmyslového vlastnictví ČR.

Sudmeyer, R.A., Scott, P.R. (2002). Characterisation of a windbreak system on the south coast of Western Australia. 1. Microclimate and wind erosion. *Australian Journal of Experimental Agriculture* 42:703–715. DOI: 10.1071/EA02007.

Švehlík, R. (1972). Deflametr a první výsledky měření. *Geografie* 77(3):233–242.

Švehlík, R. (1974). Deflametr a další výsledky měření. *Geografický časopis* 26(1):54–65.

Švehlík, R. (1978). Kategorizace orné půdy ohrožené větrnou erozí v jihovýchodní části okresu Uherské Hradiště. *Geografie* 83(3):163–169.

Švehlík, R. (1985). Měření intenzity větrné eroze deflametrem na půdách s různým povrchem. *Vodní hospodářství,* řada A, 11:305–307.

Švehlík, R. (1986). Metody měření intenzity eroze půdy v přírodních podmínkách. *Poľnohospodárstvo* 32(6):765–775.

Švehlík, R. (1987). Deflametrické metody ve výzkumu větrné eroze. *Meliorace*, 2:151–158.

Švehlík, R. (1989). Měření intenzity větrné eroze deflametrem. *Zprávy Geografického ústavu ČSAV* 26(3):35–48.

Tatarko, J., Sporcic, M.A., Skidmore, E.L. (2013). A history of wind erosion prediction models in the United States Department of Agriculture prior to the Wind Erosion Prediction System. *Aeolian Research* 10:3–8. DOI: 10.1016/j.aeolia.2012.08.004.

Torita, H., Satou, H. (2007). Relationship between shelterbelt structure and mean wind reduction. *Agricultural and Forest Meteorology* 145(3–4):186–194.

Toy, T.J., Foster, G.R. (2002). *Soil erosion: processes, predicition, measurement, and control*. New York: John Wiley & Sons, 338 p. ISBN 0-471-38369-4.

Trnka, M., Dubrovský, M., Svoboda, M., Semerádová, D., Hayes, M., Žalud, Z., Wilhite, D. (2009). Developing a regional drough climatology for the Czech Republic. *International Journal of Climatology* 1745:1–21.

Trnka, M., Kersebaum, K.C., Eitzinger, J., Hayes, M., Hlavinka, P., Svoboda, M., Dubrovský, M., Semerádová, D., Wardlow, B., Pokorný, E., Možný, M., Wilhite, D., Žalud, Z. (2013). Consequences of climate change for the soil climate in Central Europe and the central plains of the United States. *Climatic Change* 120(1–2):405–418. ISSN 0165-0009.

van Donk, S.J., Skidmore, E.L. (2003). Measurement and simulation of wind erosion, roughness degradation and residue decomposition on an agricultural field. *Earth Surface Processes and Landforms* 28:1243–1258.

Vrána, K. (1978). *Stanovení intenzity větrné eroze v podmínkách ČSSR*. Kandidátská dizertační práce. Praha: ČVU v Praze, 101 s.

Vrána, K., Dostál, T., Zuna, J., Kender, J. (1998). *Krajinné inženýrství*. Praha: Český svaz stavebních inženýrů, 200 s.

Wagner, l.E. (2013). A history of Wind Erosion Prediction Models in the United States Department of Agriculture: The Wind Erosion Prediction System (WEPS). *Aeolian Research* 10:9–24. DOI: 10.1016/j.aeolia.2012.10.001.

Wanga, R., Lia, Q., Zhoub, N., Changc, C., Guoc, Z., Li, J. (2019). Effect of wind speed on aggregate size distribution of windblown sediment. *Aeolian Research* 36:1–8. DOI: 10.1016/j.aeolia.2018.10.001.

Waza, A., Schneiders, K., May, J., Rodríguez, S., Epple, B., Kandler, K. (2019). Field comparison of dry deposition samplers for collection of atmospheric mineral dust: results from single-particle characterization. *Atmos. Meas. Tech. Discuss.* - manuscript under review. DOI: 10.5194/amt-2019-187.

Webb, N.P., Herrick, J.E., van Zee, J.W., Hugenholtz, C.H., Zobeck, T.M., Okin, G.S. (2015). Standard methods for wind erosion research and model development: protocol for the National Wind Erosion Research Network. USDA-ARS Jornada Experimental Range, Las Cruces, USA. *Protocol for the National Wind Erosion Research Network*.ISBN 978-0-9755552-4-8. https://winderosionnetwork.org

Williams, J.R., Jones, C.A., Dyke, P.T. (1984). A modeling approach to determining the relationship between erosion and soil productivity. *Transactions of the ASAE* 27(1):129-144. DOI: 10.13031/2013.32748.

Wilson, S.J., Cooke, R.U. (1980). Wind erosion. In Kirkby M.J, Morgan R.P.C. (ed): *Soil erosion*. Chichester: John Wiley & Sons, pp. 217–251.

Woodruff, N.P., Siddoway, F.H. (1965). A wind erosion equation. *Soil Science* 29(5):602–608.

Zachar, D. (1970). *Erózia pôdy*. Bratislava: Slovenská akadémia vied, 528 s.

Zhang, J., Zhang, C., Liu, G. (2017). Comparison of wind erosion based on measurements and SWEEP simulation: A case study in Kangbao County, Hebei Province, China. *Soil and Tillage Research* 165:169-180. DOI: 10.1016/j.still.2016.08.006.

Žalud, Z. (2009). *Změna klimatu a české zemědělství – dopady a adaptace*. Fólia MZLU v Brně, 156 s. ISBN 978-80-7375-369-6. ISSN 1803-2109.

Žalud, Z., Trnka, M., Hlavinka, P. Dubrovský, M., Svobodová, E., Semerádová, D., Bartošová, L., Balek, J., Eitzinger, J., Možný, M. (2011). Climate change impacts on Czech agriculture. In *Climate Change and Socioeconomic Effects*. 1. vyd. Croatia: InTech, s. 251–278. ISBN 978-953-307-411-5. URL: <http://www.intechopen.com/books/climate-change-socioeconomic-effects/climate-change-impacts-on-czech-agriculture>

URL: <http://[www.sensit.com](http://www.sensit.com)> [cit. 2019-08-12]