2024

Josef Kučera, Jana Podhrázská, Hana Středová,
Petra Fukalová, Tomáš Středa, Vladimír Papaj,
Ivan Novotný, Martin Blecha, Daniel Doubrava,
Přemysl Krejčiřík, Roman Bohovic, Petr Křížek

Větrná eroze v souvislostech

Od teorie k praxi

Mendelova univerzita v Brně

Mendelova univerzita v Brně

Josef Kučera, Jana Podhrázská, Hana Středová,
Tomáš Středa, Petra Fukalová, Martin Blecha,
Ivan Novotný, Vladimír Papaj, Daniel Doubrava,
Jiří Chmelík, Roman Jakubíček, Petr Karásek,
Přemysl Krejčiřík, Roman Bohovic, Petr Křížek

Větrná eroze v souvislostech

Od teorie k praxi

2024

Mendelova univerzita v Brně

Recenzenti
prof. Ing. Jaroslav Škvarenina, CSc.[1]
prof. Dr. Ing. Bořivoj Šarapatka, CSc.[2]

[1] Technická univerzita ve Zvolene, T. G. Masaryka 24, 960 01 Zvolen, Slovenská republika
[2] Univerzita Palackého v Olomouci, Šlechtitelů 27, 779 00 Olomouc, Česká republika

Autorský kolektiv
Ing. Josef Kučera, Ph.D.[1]
doc. Ing. Jana Podhrázská, Ph.D.[1]
doc. Ing. Hana Středová, Ph.D.[2]
doc. Ing. Tomáš Středa, Ph.D.[2]
Ing. Petra Fukalová, Ph.D.[2]
Mgr. Martin Blecha, Ph.D.[1]
Ing. Ivan Novotný, Ph.D.[1]
Ing. Vladimír Papaj, Ph.D.[1]
Ing. Daniel Doubrava[1]
Ing. Jiří Chmelík, Ph.D.[1]
Ing. Roman Jakubíček, Ph.D.[1]
Mgr. Petr Karásek[1]
doc. Ing. Přemysl Krejčiřík, Ph.D.[1]
Mgr. Bc. Roman Bohovic Ph.D.[3]
Ing. Petr Křížek[4]

[1] Výzkumný ústav monitoringu a ochrany půdy, v. v. i., Žabovřeská 250, 156 00 Praha 5, Česká republika
[2] Mendelova univerzita v Brně, Agronomická fakulta, Zemědělská 1, 613 00 Brno, Česká republika
[3] ASITIS s.r.o., Chaloupkova 3, 612 00 Brno, Česká republika
[4] ATLAS, spol. s.r.o., Na křivce 891/50, 101 00 Praha, Česká republika

Poděkování
Tato Kniha vznikla s finanční podporou Technologické agentury ČR a Ministerstva životního prostředí ČR v rámci Programu Prostředí pro život a je výstupem řešení výzkumného projektu TAČR SS05010211 „Pokročilé metody hodnocení a projektování multifunkčních větrolamů“.

© Mendelova Univerzita v Brně, Zemědělská 1, 613 00 Brno

ISBN 978-80-7701-012-2 (tisk)
ISBN 978-80-7701-013-9 (online ; pdf)
https://doi.org/10.11118/978-80-7701-013-9

Open Access. Publikace *Větrná eroze v souvislostech - Od teorie k praxi* podléhá licenci CC BY 4.0 (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.cs)

OBSAH

Abstrakt 5

Abstract 6

Úvod 7

1 Větrná eroze 8
1.1 Úvod do problematiky 8
1.2 Větrná eroze pohledem autorů 9

2 Potenciální ohroženost území větrnou erozí 11
2.1 Výchozí stav 11
2.2 Vymezení oblastí potenciálně ohrožených větrnou erozí na podkladě půdně-klimatických faktorů 11
2.2.1 Syntéza podkladů pro hodnocení vlivu klimatu a dopadů klimatických změn na procesy větrné eroze 12
2.2.2 Popis použitých mapových vrstev 12
2.2.3 Postup pro vytvoření syntetické mapy 16
2.3 Aktuální výzvy 17

3 Opatření proti větrné erozi – větrolamy 19
3.1 Výchozí stav 19
3.2 Typy větrolamů a jejich účinnost 20
3.3 Hodnocení účinnosti větrolamů a stanovení jejich ochranných zón 21
3.3.1 Optická porozita větrolamů 23
3.3.1.1 Stanovení optické porozity pozemní fotogrammetrickou metodou 23
3.3.1.2 Stanovení optické porozity dle katalogu větrolamů 29
3.3.1.3 Stanovení optické porozity z tabulky 29
3.3.2 Sofistikované metody stanovení účinnosti větrolamů a ochranných zón 30
3.3.2.1 Dle kategorizace větrolamů 30
3.3.2.2 Odvození dle optické porozity 31
3.3.2.3 Odvození dle optické porozity a výšky větrolamu 32
3.3.2.4 Srovnání prezentovaných metod – případová studie 33
3.4 Hodnocení funkčního stavu větrolamů 34
3.5 Metody rekonstrukce/obnovy větrolamu 36
3.5.1 Způsoby obnovy větrolamu 36
3.5.2 Metody založení nového větrolamu 38

4 Potenciální ohroženost území větrnou erozní se zohledněním vegetačních bariér 40
4.1 Výchozí stav 40
4.2 Příprava vstupních podkladů 40
4.2.1 Mapa oblastí potenciálně ohrožených větrnou erozí – MPK 40
4.2.2 Celorepubliková databáze trvalých vegetačních bariér 40
4.2.3 Oblasti vymezující působení nejvýraznějších erozně nebezpečných větrů 43
4.2.4 Erozně hodnocené plochy (LPIS – veřejný registr půdy) 44
4.3 Syntéza faktorů 44
4.3.1 Vyhodnocení oblastí potenciálně ohrožených větrnou erozí na podkladu půdně-klimatických faktorů 45
4.3.2 Vyhodnocení vlivu ochranných zón vegetačních bariér na potenciální ohroženost větrnou erozí 45
4.3.3 Vyhodnocení tolerovaných délek erozně hodnocených pozemků 47

5 Vývoj softwarových nástrojů pro výpočet větrné eroze 50
5.1 Výchozí stav 50
5.2 Interaktivní webová mapová aplikace „Řízení rizika větrné eroze“ na geoportálu SOWAC-GIS 50
5.2.1 Mapová aplikace 52
5.2.2 Generování větrolamu 54

6 Případová studie: Větrné prvky jako důležité ekostabilizační a půdo-ochranné prvky v krajině jižní Moravy 56
6.1 Analýza území 56
6.1.1 Terénní průzkum – hodnocení vegetačních bariér 56
6.1.2 Analýza ohroženosti území větrnou erozí – stávající 58
6.2 Výstupy studie 59
6.2.1 Návrh technických protierozních opatření (soustavy trvalých liniových vegetačních prvků) 59
6.2.2 Vyhodnocení účinnosti navržených opatření 60

7 Kvalitativní hodnocení půdních částic unášených větrem 62
7.1 Teoretický základ 63
7.1.1 Půdní textura 63
7.1.2 Půdní struktura 65
7.2 Deflametr s aktivním lapačem půdních částic a časovým záznamem 66
7.3 Analýza deflátů využívající metod strojového učení 67
7.3.1 Fáze vývoje modelu a příprava učebních dat pro následné učení modelu 67
7.3.2 Detaily k učení klasifikačního modelu pro určení typu částice 67
7.3.3 Naučený model strojového učení 68
7.3.4 Graficky-uživatelská vylepšení 69
7.4 Analýza půdních částic pomocí SW DPA v.3.0 – případová studie 71
Souhrn 73
Summary 75
Příloha 1: Související projektová činnost autorského týmu 77
Příloha 2: Související publikační činnost autorského týmu 79
Příloha 3: Související aplikované výsledky autorského týmu 82
Seznam použité literatury 83
Seznam zkratek, obrázků, tabulek 90
Seznam zkratek 90
Seznam obrázků 91
Seznam tabulek 94

ABSTRAKT

Tato souhrnná publikace se zabývá problematikou větrné eroze na území České republiky, která zejména v posledních obdobích vlivem změn klimatu nabírá na důležitosti. Hlavním cílem je komplexní analýza rizik působení větrné eroze na území České republiky, jak z pohledu půdních a klimatických charakteristik, tak z pohledu prostorové struktury větrolamů a jejich efektivity v rámci stávajících i navrhovaných prvků protierozní ochrany. Práce navazuje na dlouhodobé studium potenciálu rozvoje větrné eroze a metody prostorového vyjádření náchylnosti území k větrné erozi.

První část knihy prezentuje postup vytvoření nové mapy potenciální ohroženosti zemědělské půdy větrnou erozí se zohledněním prostorového uspořádání stávajících vegetačních bariér a vlivu jejich ochranných zón. Mapa zohledňuje potenciální ohroženost zemědělské půdy větrnou erozí podle půdních a klimatických charakteristik. Z půdních charakteristik zohledňuje ohroženost jak lehkých, tak i těžkých půd, z klimatických charakteristik vliv stavu povrchu půdy (přísušky), větrné podmínky a vliv klimatických podmínek v zimním období, které ovlivňují erodibilitu těžkých půd. Mapa také zohledňuje náchylnost zemědělských pozemků k větrné erozi na základě jejich délky ve směru převládajících erozně nebezpečných větrů a vliv ochranné zóny vegetačních bariér ve směru převládajících erozně nebezpečných větrů.

Druhá část knihy je zaměřena na hodnocení vlivu prostorové struktury větrolamů na míru jejich účinnosti. Pro hodnocení účinnosti větrolamů byly využity tři přístupy:

1) stanovení pevných zón dle charakteru vegetační bariéry,
2) stanovení ochranných zón s využitím optické porozity, dle regresní rovnice a
3) stanovení ochranných zón s využitím rovnice využívající optickou porozitu a výšku větrolamu.

Publikace dále představuje interaktivní webovou aplikaci s názvem Řízení rizika větrné eroze. Jedná se o webovou aplikaci na Geoportálu VÚMOP. Aplikace obsahují nástroje pro podporu navrhování větrolamů. Součástí publikace je také ukázková případová studie vyhodnocení ohroženosti větrné eroze na příkladu území zasaženého tornádem dne 24. 6. 2021. Poslední kapitola byla věnována kvalitativnímu hodnocení půdních částic unášených větrem s využitím strojového učení.

Klíčová slova: větrná eroze, protierozní opatření, větrolam, zemědělská půda, ochrana půdy

ABSTRACT

The book deals with the issue of wind erosion in the Czech Republic, which has been gaining importance especially in recent periods due to climate change. The main objective of the work was a comprehensive analysis of the risks of wind erosion in the Czech Republic, both in terms of soil and climatic characteristics, as well as in terms of the spatial structure of windbreaks and their effectiveness within the existing and proposed elements of erosion control. The work builds on a long-term study of the potential for wind erosion development and methods of spatial expression of the susceptibility of the territory to wind erosion.

The main objective of the first part of the book was to create a new map of potential vulnerability of agricultural land to wind erosion, considering the spatial arrangement of existing vegetation barriers and the influence of their protection zones. The map takes into account the potential vulnerability of agricultural land to wind erosion according to soil and climatic characteristics. Of the soil characteristics, it accounts for the vulnerability of both sand and clay soils. In terms of climatic characteristics, the map regards the influence of the soil surface (subsidence), wind conditions and winter conditions, which affect the erodibility of heavy soils. The map also factors in the susceptibility of agricultural land to wind erosion based on its length in the direction of the prevailing erosion hazard winds. In addition, the map takes into account vegetation barrier protection zones in the direction of prevailing erosion hazard winds.

The second part of the work was focused on the evaluation of the influence of the spatial structure of windbreaks on their efficiency level. Three approaches were used to evaluate the effectiveness of windbreaks:

1) determination of fixed zones according to the nature of the vegetation barrier,
2) determination of protection zones using optical porosity, according to a regression equation, and
3) determination of protection zones by an equation using optical porosity and windbreak height.

The publication also presents an interactive web application called Wind Erosion Risk Management. The applications contain tools to support the design of windbreaks. The publication also includes a sample case study of the evaluation of the risk of wind erosion on the example of the area affected by the tornado on 24/06/2021. The last chapter was devoted to the qualitative evaluation of wind-borne particles using machine learning.

Keywords: wind erosion, erosion control measures, windbreak, agricultural land, soil protection

ÚVOD

Vítr byl odpradávna přírodní silou využívanou lidmi pro získávání energie. Holandsko například díky neúnavné práci stovek větrných mlýnů odvodnilo pobřežní oblasti a de facto tak rozšířilo plochu svého území, aniž by to bylo spojeno s násilnými územními zisky na úkor okolních zemí. I dnes představuje vítr neocenitelný zdroj obnovitelné energie. Zejména od počátku nového milénia, kdy se zintenzivnily globální snahy o snižování emisí skleníkových plynů, je boom v oblasti větrné energetiky patrný. Zejména země jako Německo, Rakousko, Španělsko vsázejí na vítr jako na hlavní zdroj pro výrobu elektrické energie, nové elektrárny staví také Švédsko a Holandsko.
To, co na jednu stranu chápeme jako příležitost k rozvoji udržitelné energetiky však znamená v jiných oblastech lidské činnosti zásadní hrozbu. Vítr je totiž spolu s dalšími činiteli hybnou silou stojící za procesem půdní eroze. Větrná eroze je přirozeným jevem, který však za určitých okolností dokáže krajinu, na které je člověk existenciálně závislý, silně degradovat. Příkladem může být nechvalně známý příběh zemědělských farem v jihozápadní oblasti Velkých plání ve Spojených státech. Extrémní větrné erozi s fatálními následky doslova umetly cestičku nepromyšlené zásahy do krajinné struktury. Nově příchozí farmáři rozorávali původní prérijní porosty a přetvářeli je na ornou půdu, což v kombinaci se suchým klimatem proměnilo tuto oblast na tzv. Dust bowl, neboli prašnou mísu. Ačkoli USDA-ARS (United States Department for Agriculture - Agricultural Research Service) zavádí v tamní krajině široké spektrum protierozních inovací v systému pěstování plodin, jejich zpráva z roku 2015 připouští, že eroze půdy způsobená větrem se stále zvyšuje, což potvrzuje i Duniway *et al.* (2019), podle nichž se v suchých oblastech Severní Ameriky kvůli větrné erozi ročně ztratí miliony tun půdy.

1 VĚTRNÁ EROZE

1.1 Úvod do problematiky

O větrné erozi již bylo napsáno mnohé: Ať už se jedná o její dělení, příčiny, projevy a důsledky tak i co se týče opatření, které ji mají držet na uzdě. K nim se řadí celá řada přístupů, které zahrnují vhodnou plodinovou skladbu, způsob obhospodařování pozemků a v širším smyslu i optimalizaci celé krajiny jako celku. Zásadní roli plní různé vegetační bariéry, které uniformní agrární krajinu vhodný způsobem fragmentují a působí jako přirozené bariéry zpomalující rychlost větru.

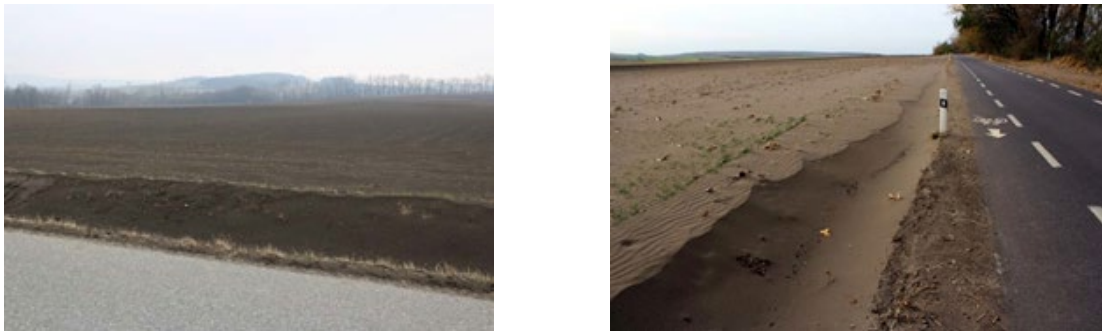
Ztráta úrodné půdy v důsledku větrné eroze má v některých lokalitách zásadní dopady na krajinu i životní prostředí jako celek. Její intenzita a rozsah jsou závislé na mnoha faktorech, kdy klíčovou roli hraje vegetační pokryv, vlhkost půdy a pochopitelně intenzita větru. Významný vliv na dynamiku větrné eroze mají tedy klimatické poměry, které se vyvíjejí směrem k vyšší extremitě. Vyšší četnost extrémních jevů počasí nepříznivě ovlivňuje i podmínky pro pěstování zemědělských plodin (Fallon, Betts, 2010). O existenci klimatické změny jako takové panuje již v odborné i laické veřejnosti široká shoda. Její dopady se plně projevují zejména v delších a stále častějších obdobích sucha, a to i v oblastech mírného klimatického pásma – tedy i v České republice. Sucho je logickou výslednicí působení nedostatku srážek a vysoké teploty. O teplotě vzduchu můžeme s jistotou prohlásit, že roste, a to ve všech měsících a téměř na celém území ČR (Rožnovský, 2019), přičemž nejvyšší nárůst připadá na letní období (Střeštík *et al.*, 2014). V letním období se zvyšuje počet tropických dnů, zatím co vyšší teploty v zimě mají vliv na prodlužování vegetačního období. Je velice pravděpodobné, že k nárůstu teplot bude docházet i v budoucnu (Štěpánek *et al.*, 2016). Pro srážky platí, že ačkoli se jejich roční úhrny zásadně nikterak nemění, mění se jejich časová distribuce, a to takovým způsobem, který představuje riziko i pro některé zemědělské plodiny (Trnka *et al.*, 2014; Středová *et al.*, 2013).

S rostoucím suchem úzce souvisí i zvyšování rizika větrné eroze, zejména v územích intenzivně zemědělsky využívaných. Pro zemědělce z toho vyplývají vyšší nároky na hospodaření, tak aby vedly ke zvýšení odolnosti vůči negativním projevům větrné eroze (odnos půdy, škody na plodinách, znečištění ovzduší, znečištění vod atd.). Jedná se zejména o opatření související se zpracováním půdy, aplikací organických látek do půdy, zavádění tolerantních odrůd a změnou osevních postupů, které respektují lokální půdní a meteorologické podmínky (Trnka *et al.*, 2004; Daryanto *et al.*, 2016). Dalším vhodným opatřením je zakládání větrolamů, které kromě přímé ochrany půdy snížením rychlosti větru, mají i celou řadu dalších mimoprodukčních (ekosystémových) funkcí, např. zvýšení biodiverzity a prostupnosti krajiny, změnu vláhových podmínek v bezprostředním okolí větrolamů apod.

V Evropě sice větrná eroze nepředstavuje tak rozsáhlý a závažný problém, jako je tomu v sušších oblastech světa, ale lokálně může způsobit velmi významné ekonomické a ekologické škody (Riksen *et al.*, 2001). Například i v České republice, kde dominuje především vodní eroze, tak je podle aktuálních informací větrnou erozí v ČR potenciálně ohroženo cca 25 % výměry orné půdy (Ministerstvo zemědělství, 2020). To podle databáze LPIS představuje plochu větší než 569 tis. ha. Situace je o to závažnější, že jsou větrnou erozí ohroženy především nejúrodnější oblasti ČR, tedy nížiny jižní Moravy nebo Polabí, které jsou zemědělsky intenzivně využívány a významně se podílejí na zajištění potravinové soběstačnosti a bezpečnosti ČR. I z tohoto důvodu význam větrné eroze a potřeba snižování negativních dopadů na zemědělskou produkci dále poroste.

Škody na zemědělské půdě způsobené větrnou erozí se projevují nejen odnosem půdních částic, hnojiv a prostředků na ochranu rostlin, ale také obnažováním kořínků rostlin a přesekáváním jemných stonků mladých rostlin. Půdní částice unášené větrem způsobují škody na budovách, dochází k zanášení silnic, železnic či příkopů, zanášení vodních toků a vodních nádrží (Obr. 1 a Obr. 2). Větrná eroze se také podílí na znečišťování ovzduší, které ohrožuje zdraví (Lu, Liu *et al.*, 2019; Katra, 2020). Zdravotní problémy mohou vznikat v důsledku unášených jemných prachových částic (zvýšení jejich koncentrace), které jsou unášeny do značné vzdálenosti. V dnešní době je stále diskutovanější téma znečištění ovzduší mikroplasty s doposud neznámým vlivem na lidské zdraví (Rezaei *et al.*, 2019; Wright, 2020). Zvýšení četnosti výskytu větrné eroze vede ke zvýšení emisí prachu a znečištění atmosféry suspendovanými částicemi (XI et Sokolik, 2016; Yulevitch *et al.*, 2020).

Historicky se novodobým výzkumem větrné eroze v rámci českých zemí zabýval zejména doc. Vlastimil Pasák, který formuloval závislosti intenzity větrné eroze na půdně klimatických



Obr. 1 Zavátí komunikace po prašné bouři na těžkých půdách u obce Suchá Loz (vlevo) a zavátí komunikace u Mikulova (vpravo) – foto: J. Kučera

Obr. 2 Prašná bouře u Břeclavi (vlevo) a zarovnávání hrubé brázdy (planace) u Hodonína (vpravo) – foto: J. Kučera

faktorech a na základě experimentů ve větrném tunelu vypracoval rovnice, určující tyto závislosti. Větrné erozi však nebyla v tomto období věnována významnější pozornost, metodické postupy se obracely více na předcházení následkům vodní eroze a přívalových srážek. Problematika eroze půdy v České republice byla zpracována v řadě řada metodik kolektivu autorů pod vedením prof. Janečka. Tyto metodiky však fenomén větrné eroze řešily jen jako součást širšího komplexu řešení rizika eroze. V současnosti je platná nová metodika kolektivu autorů (Podhrázská *et al.*, 2024) „Ochrana zemědělské půdy před erozí“, která prostřednictvím samostatné kapitoly představuje nejnovější poznatky z problematiky praktického řešení větrné eroze v České republice.

1.2 Větrná eroze pohledem autorů

Naše výzkumná skupina se problematikou větrné eroze zabývá již mnoho let. Důkazem může být rozsáhlá projektová (příloha 1) i publikační činnost, která zahrnuje nejen vědecké publikace s mezinárodním přesahem (příloha 2), ale i praktické návody a postupy, jak větrné erozi v reálných podmínkách středoevropské krajiny čelit a její projevy zmírňovat (příloha 3). Tím ovšem naše činnost zdaleka nekončí. Snažíme se přicházet i s konstruktivními koncepčními a strategickými přístupy s přímým přesahem až do legislativní roviny rozhodování zejména na úrovni České republiky. Tato monografie přináší ucelený přehled zásadních výsledků našich poznatků o větrné erozi, které jsou v detailu rozpracovány v samostatných, avšak vzájemně provázených kapitolách a v kostce je lze shrnout následovně:

Za poslední dvě dekády tak byly publikovány metodiky především od kolektivu autorů pod vedením doc. Jany Podhrázské. První samostatná metodika zabývající se stanovením ohroženosti území byla publikována v roce 2008 (Podhrázská *et al.*, 2008). Tato metodika s názvem „Optimalizace funkcí větrolamů v zemědělské krajině“ byla zaměřena na optimalizaci konstrukce větrolamů, jejich optimální druhové skladby, péče a situování směru a zapojení v síti. Významnou kapitolou byly také návrhy na jejich doplnění, rekonstrukci a obnovy. V metodice byly kladen důraz na návrh

sítě větrolamů se zohledněním objektivních hledisek, odůvodňujícími směr a způsob výsadby, doporučené parametry (délka, výška, šířka) větrolamů a jejich prostorové rozložení v krajině. Zatím poslední samostatnou metodikou tohoto kolektivu autorů týkající se problematiky větrné eroze je publikace Zakládání a údržba větrolamů ve zhoršených pedoklimatických podmínkách (Podhrázská *et al.*, 2021). Hlavním výstupem metodiky byla mapa potenciální ohroženosti zemědělské půdy větrnou erozí se zohledněním prostorového uspořádání stávajících vegetačních bariér a vlivu jejich ochranných zón. Mapa zohledňuje potenciální ohroženost zemědělské půdy větrnou erozí podle půdních a klimatických charakteristik. Z půdních charakteristik zohledňuje ohroženost jak lehkých, tak i těžkých půd. Z klimatických charakteristik mapa zohledňuje vliv povrchu půdy (přísušky), větrné podmínky (početnost větrů s rychlostí nad 10 $m \cdot s^{-1}$) a klimatické podmínky v zimním období, které ovlivňují ohroženost těžkých půd (střídání teplot nad a pod bodem mrazu). Mapa také bere v potaz náchylnost zemědělských pozemků k větrné erozi na základě jejich délky ve směru převládajících erozně nebezpečných větrů. Území je vyhodnoceno jako náchylné k větrné erozi, pokud jeho maximální délka překročí maximální tolerovanou délku stanovenou pro jednotlivé kategorie ohroženosti. Dále mapa zohledňuje vliv ochranné zóny vegetačních bariér ve směru převládajících erozně nebezpečných větrů. Ochranné zóny představují oblasti, ve kterých je okolí větrolamu chráněno před negativními účinky větrné eroze. Ochranný účinek se projevuje na závětrné i návětrné straně vegetačních bariéra závisí na typu vegetační bariery (větrolam, ochranný lesní pás, ostatní liniová vegetace), který současně reprezentuje jejich očekávanou účinnost. Finální mapa vyjadřuje celkovou ohroženost zemědělské půdy větrnou erozí, která vznikne syntézou všech zmíněných mapových podkladů.

Stanovení ochranných zón vegetačních bariér je důležité pro upřesnění mapy potenciální ohroženosti větrnou erozí. Pro toto stanovení lze využít více přístupů. Prakticky nejjednodušším přístupem je stanovení pevných zón dle charakteru vegetační bariéry. Tuto metodu lze s přihlédnutím k určité míře generalizace využít pro hodnocení větších území. Další přístupy stanovení ochranných zón jsou založeny na rovnicích využívající hodnotu optické porozity (OP) a výšky větrolamů. Zejména získání hodnoty OP je z technického hlediska náročnější, protože vyžaduje terénní průzkum. Proto jsou nové výzkumné činnosti zaměřeny na získání těchto údajů s využitím dálkového průzkumu země.

Poslední část naší výzkumné práce byla zaměřena na implementaci výstupů do interaktivní webová aplikace na Geoportálu VÚMOP s názvem Řízení rizika větrné eroze. Aplikace obsahuje nástroje pro podporu navrhování větrolamů.

2 POTENCIÁLNÍ OHROŽENOST ÚZEMÍ VĚTRNOU EROZÍ

2.1 Výchozí stav

Zejména v poslední době, v souvislosti se změnou klimatu, je věnována stále větší pozornost hrozbám suchých a teplých period, které mohou podporovat rozvoj větrné eroze, a to zejména v oblastech s půdami náchylnými k těmto jevům. Náchylnost k erozi akceleruje zejména tam, kde chybí důležité krajinné prvky, plnící nejen funkci protierozní, ale i krajinotvornou a ekostabilizující. Důležitým úkolem v prevenci škod způsobených větrnou erozí je vymezení erozně ohrožených území a vyhodnocení rizik, které se v nich mohou nacházet.

Východiskem pro hodnocení a prostorové vyjádření náchylnosti půd k větrné erozi byl projekt NAZV EP 7057 (Janeček *et al.*, 2000), jehož výstupem byla celorepubliková mapa ohroženosti půd větrnou erozí podle katastrů, publikovaná v metodice Janeček *et al.* (2007) a dále rozpracovaná v metodice Podhrázská *et al.* (2008).

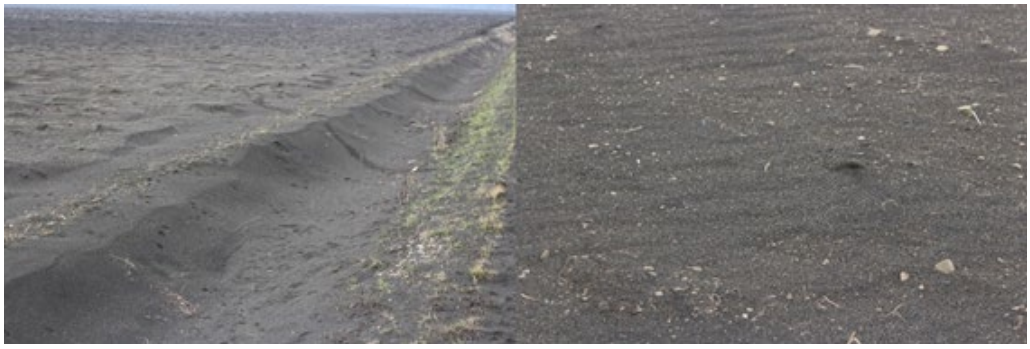
K hodnocení rizik větrné eroze byl aplikován nový přístup založený na využití geoinformačních systémů (GIS). Základem byla databáze bonitovaných půdně ekologických jednotek (BPEJ), která obsahuje agregované informace o půdních a klimatických poměrech zemědělské krajiny. Půdy, resp. jednotlivé půdní typy nacházející se v teplých a suchých klimatických regionech (KR 1-5) byly klasifikovány od erozně nejohroženějších (lehké, písčité) až po neohrožené (s vysokým obsahem jílnatých částic). Na základě uvedené metody Podhrázská *et al.* (2008) vznikla mapa Potenciální ohroženost zemědělské půdy větrnou erozí (Novotný *et al.*, 2010), která na rozdíl od do té doby používaných map potenciální ohroženosti ZPF větrnou erozí pro jednotlivá katastrální území (Janeček *et al.*, 2000, 2007), pracuje s rozlišením na půdní bloky orné půdy podle databáze LPIS a byla tak použitelná i v procesu komplexních pozemkových úprav a územního plánování.

V další fázi byla pozornost věnována problematice těžkých půd, tedy půd s vysokým obsahem jílnatých částic, které jsou z pohledu větrné eroze obecně hodnocené jako méně náchylné. Za určitých podmínek (specifický průběh zimy) se však mohou stát větrnou erozí výrazně zranitelné. Ve světě se výskytem větrné eroze na středně těžkých až těžkých půdách zabývala řada autorů (Skidmore 1994; Stout et Zobeck, 1996; Stout 2007; Bullock *et al.*, 1999, 2001). V ČR se této problematice jako vůbec první věnoval Rostislav Švehlík, který na základě vlastních pozorování a měření prováděl analýzu ohrožení i škodlivých důsledků vyvolaných větrnou erozí na moravském úpatí Bílých Karpat a na Polešovicku (Švehlík, 1988, 1990, 2006; Švehlík a Vrána, 1985, 1987). Tato anomálie výskytu větrné eroze se vyskytuje v oblastech s vyšším zastoupením těžkých půd. V České republice se jedná zejména o oblasti pod Bílými Karpaty a Litoměřicko (Vrána *et al.*, 1998). Jak bylo zmíněno, především v zimním období dochází na těchto půdách za střídání teplot nad a pod bodem mrazu k výraznému rozpadu půdních agregátů. Vlivem suchých a větrných podmínek v jarním a podzimním období pak tyto půdy snadno podléhají větrné erozi (Podhrázská *et al.*, 2012). V roce 2012 byly pro podmínky ČR publikována mapa „Potenciální náchylnost těžkých půd k větrné erozi“ (Podhrázská *et al.*, 2012; Kozlovsky Dufková a Podhrázská, 2012), která extrahovala vybrané půdní jednotky těžkých půd z celostátní databáze BPEJ. V roce 2014 byla publikována „Syntetická mapa potenciální ohroženosti zemědělské půdy větrnou erozí“ (Podhrázská, Kučera, 2014), která vznikla prolnutím Mapy potenciální ohroženosti půd větrnou erozí, stanovené na základě půdních a klimatických charakteristik z BPEJ (Podhrázská *et al.*, 2008; Novotný *et al.*, 2010) a Mapy potenciální náchylnosti těžkých půd (Podhrázská *et al.*, 2012). Výsledná mapa byla rozdělena do 6 kategorií podle náchylnosti k větrné erozi.

2.2 Vymezení oblastí potenciálně ohrožených větrnou erozí na podkladě půdně-klimatických faktorů

Další výzkum byl zaměřen na regionalizaci území, která by generalizovaný klimatický region nahradila detailní analýzou klimatických charakteristik přímo souvisejících s náchylností půd k větrné erozi.

Bylo přitom využito i nových poznatků o náchylnosti těžkých půd k větrné erozi. Mapová vrstva těžkých půd z celostátní databáze BPEJ (Podhrázská *et al.*, 2012; Kozlovsky Dufková a Podhrázská, 2012) byla doplněna o vliv specifických meteorologických podmínek zimního období na rozpad půdních agregátů a vznikla tak certifikovaná „Mapa potenciálního rizika ohrožení těžkých půd větrnou erozí na základě meteorologických podmínek v zimním období“ (Podhrázská *et al.*, 2014,



Obr. 3 Zachycená erozní událost v jarním období na těžkých půdách v blízkosti obce Suchá Loz – foto J. Kučera

Středová *et al.*, 2015), přičemž byly zúročeny i poznatky ze studií Kozlovsky Dufková a Podhrázská (2011), Podhrázská *et al.* (2013), Podhrázská, Kučera, Středová (2015) a dalších. Pro tvorbu mapy bylo nutné sestavit účelovou databázi relevantních dat z husté sítě meteorologických stanic. Jednalo se zejména o počet cyklů rozmrzání a následného zamrzání půdního povrchu (střídání teplot nad a pod bodem mrazu) a identifikaci stavu, kdy kvůli vysoké vlhkosti povrchu půdy dochází k rozplavování půdních agregátů. To má za následek zvýšení náchylnosti těžkých půd k působení větrné eroze zejména po zimním období viz Obr. 3.

Klimatické faktory podmiňující náchylnost půdy k větrné erozi jak u lehkých, tak u těžkých půd jsou výskyt sucha v povrchové vrstvě půdy a výskyt erozně nebezpečných větrů. Z relevantních dat byla sestavena účelová databáze, která byla převedena do jednotné mapové vrstvy. Následnou syntézou této vrstvy s vrstvou půdních podmínek byla vytvořena nová mapa oblastí potenciálně ohrožených větrnou erozí na podkladu půdně-klimatických faktorů (Podhrázská *et al.*, 2015) rozlišující šest kategorií ohroženosti. Celý metodický postup byl publikován v metodice Doležal *et al.* (2017) a publikaci Středová *et al.* (2021). Tato metoda již tedy nevyužívá klimatické charakteristiky z databáze BPEJ, nadále však zachovává třídění půd dle hlavní půdní jednotky. Jednotlivé etapy tohoto metodického postupu jsou prezentovány v následujících pasážích textu.

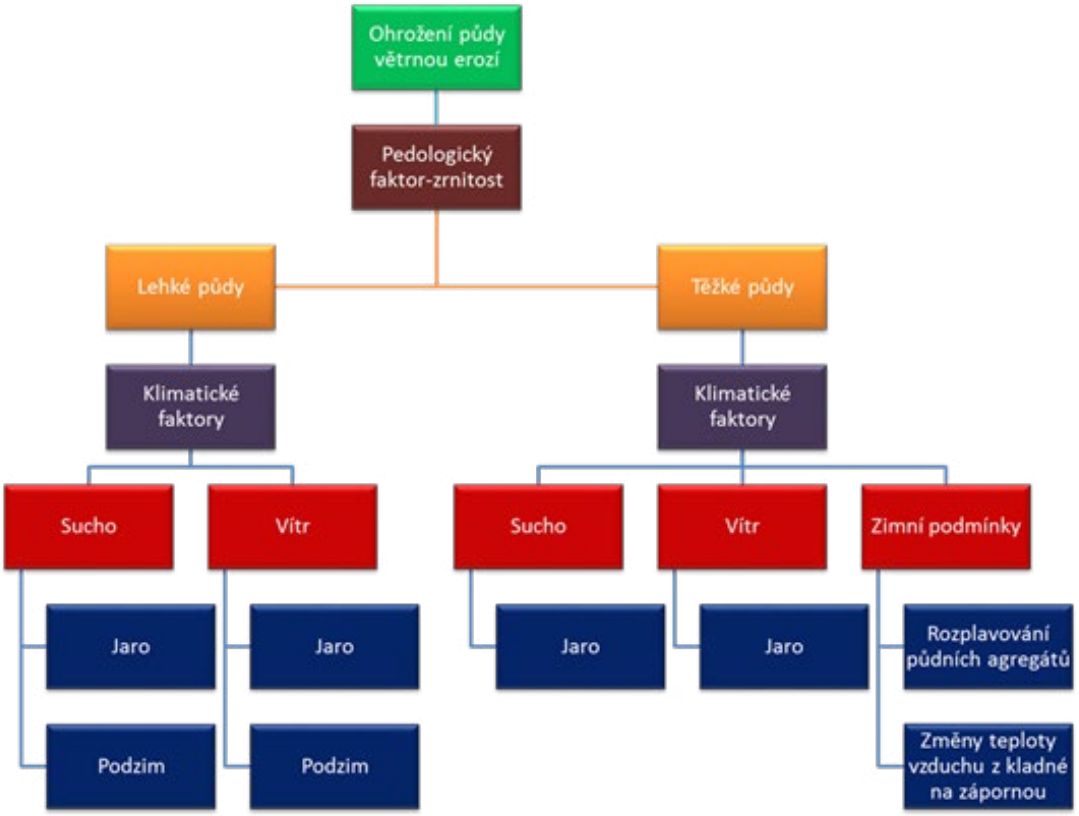
2.2.1 Syntéza podkladů pro hodnocení vlivu klimatu a dopadů klimatických změn na procesy větrné eroze

Metodický postup stanovení potenciální náchylnosti půd k větrné erozi představuje sjednocení dvou přístupů k hodnocení ohroženosti území z hlediska erodibility zemědělských půd a její schematické přiblížení přináší Obr. 4. Na základě této metodiky Doležal *et al.* (2017) byla konstruována výsledná syntetická mapa, k jejímuž vzniku byly použity dílčí mapy, resp. mapové vrstvy (Kap. 2.2.2).

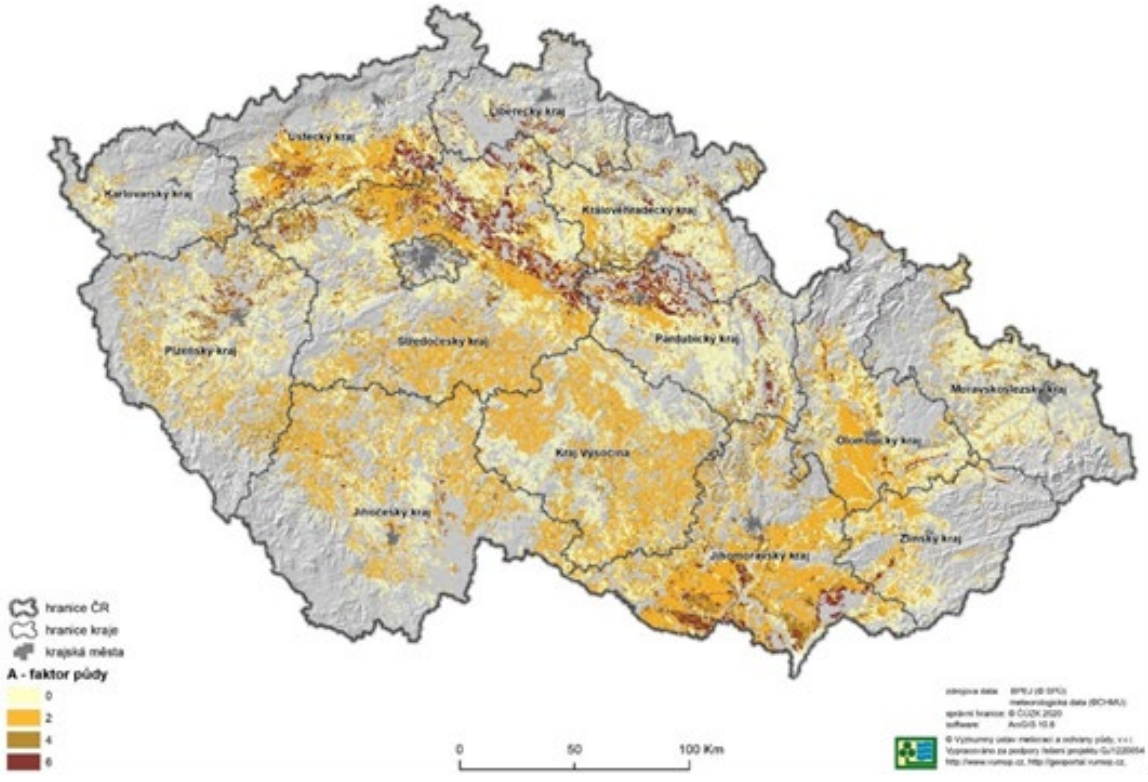
2.2.2 Popis použitých mapových vrstev

Mapa A (vstupní vrstvy BPEJ, resp. HPJ a LPIS)
Tato vrstva (Obr. 5) představuje potenciální ohroženost lehkých půd větrnou erozí na základě půdních vlastností. Z metodiky Podhrázská *et al.* (2008) byly převzaty hlavní půdní jednotky (HPJ) s faktorem půdy 2, 4 a 6 (odstupňované dle ohroženosti).

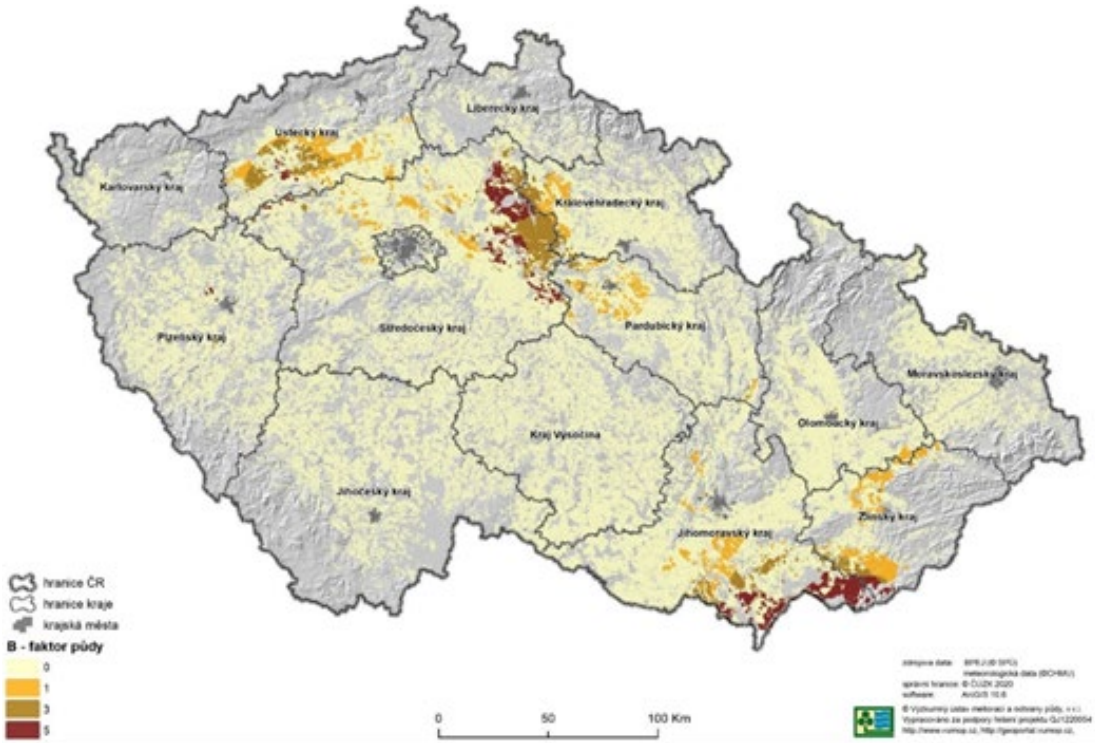
Mapa B (vstupní vrstvy: BPEJ, resp. HPJ a LPIS)
Jedná se o dříve zmíněnou "Mapu potenciálního rizika ohrožení těžkých půd větrnou erozí na základě meteorologických podmínek v zimním období" (Podhrázská *et al.*, 2014), která pro účely syntetické metodiky reprezentuje jednu z dílčích mapových vrstev (Obr. 6). Mapa zobrazuje oblasti s výskytem těžkých půd zranitelných z hlediska větrné eroze, na základě výzkumu jejich specifických vlastností – rozpadu agregátů vlivem kolísání teplot nad a pod bodem mrazu a vlivem rozplavení agregátů při zamokření terénu. Půdy byly rozčleněny do 6 kategorií ohroženosti a pro další analýzu byly využity 3 nejohroženější kategorie (4, 5 a 6). Jednotlivým kategoriím byl přiřazen faktor půdní ohroženosti (kategorie 4 = faktor půdy 1, kategorie 5 = faktor půdy 3, kategorie 6 = faktor půdy 5).



Obr. 4 Schéma hodnocení náchylnosti půd k větrné erozi



Obr. 5 Mapa A: Půdní faktor ohroženosti půd větrnou erozí z databáze BPEJ

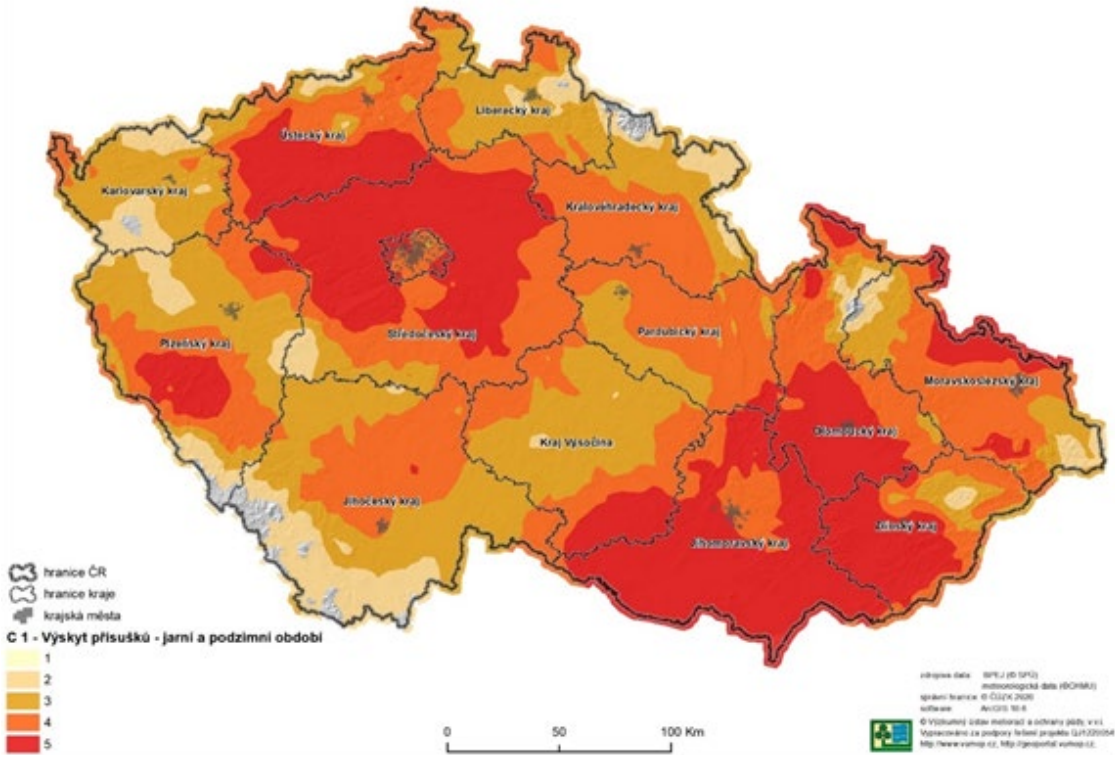


Obr. 6 Mapa B: Potenciální ohrožení těžkých půd větrnou erozí na základě meteorologických podmínek v zimním období

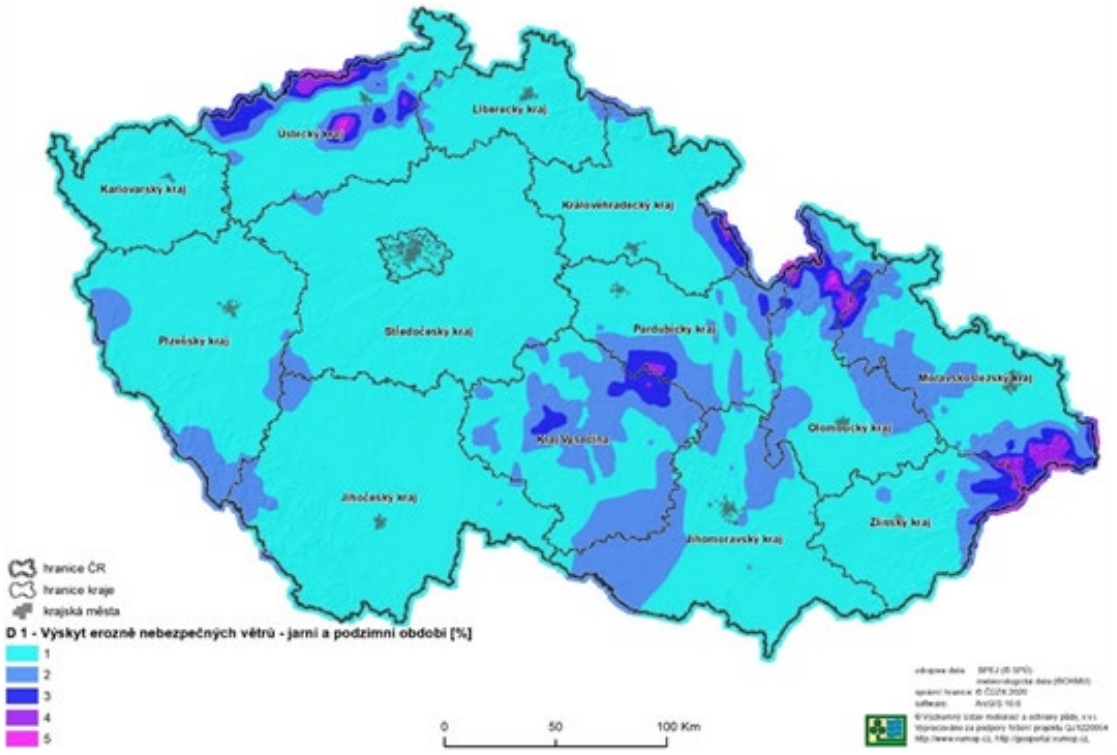
Mapa C1, C2 (vrstva rizika výskytu přísušků)
Pro výskyt větrné eroze je zásadní vlhkost povrchu půdy v obdobích, kdy je půda minimálně kryta vegetací a vystavena tak erozním účinkům větru. Specifikem v ČR a v SR je pozorování stavu povrchu holé půdy na stanicích sítě ČHMÚ ve standardních pozorovacích termínech (v 7, 14 a 21 hod). Na několika desítkách stanic přesahuje doba pozorování 50–60 let a je tedy možné vycházet z dlouhodobých průměrných hodnot. Pozorovatel určuje a zapisuje pomocí definovaných kódových čísel stav půdy. Stav půdy označený kódem „0“ znamená povrch půdy vyloženě suchý, nikoliv však zmrzlý. Půdní částice se při mačkání drolí na prach, vítr zvedá prach z půdy. Pro vyhodnocení výskytu přísušků v obdobích největšího rizika výskytu větrné eroze na lehkých půdách (Mapa C1 – Obr. 7) byla použita data o stavech půdy v období od 1. 3. do 31. 5. a od 1. 9. do 31. 10. Použita byla data ze stanic do nadmořské výšky 500 m, tj. v oblastech s intenzivní rostlinnou produkcí a vyšší pravděpodobností výskytu suchých období, ve třicetiletí 1981–2020. Pro každou stanici byl vypočítán průměrný počet dní se stavem půdy „0“ a na základě něho bylo území ČR rozděleno na 5 kategorií. Území s nadmořskou výškou nad 500 m a oblasti s nezemědělskou půdou byly zařazeny do šesté kategorie – nehodnoceno.

Pro hodnocení výskytů přísušků na těžkých půdách (Mapa C2) byla na základě dosavadních šetření zohledněna specifika vlastností těžkých půd, které v jarních měsících vykazují značnou erodovatelnost vlivem rozpadu agregátů v zimním období. Na podzim bývají tyto půdy již většinou kompaktní, a pokud nedojde vlivem nevhodné kultivace k narušení struktury, nejsou již tolik erozně zranitelné. Pro vyhodnocení vláhových poměrů v obdobích největšího rizika výskytu větrné eroze byla proto použita pouze data o stavech půdy v období od 1. 3. do 31. 5 za období 1981–2020.

Mapa D1, D2 (vrstva větrných podmínek)
Pro vytvoření vrstvy větrných charakteristik byla použita podrobná patnáctiminutová data (do roku 2010), respektive desetiminutová data (od roku 2010) rychlostí větru za období 2006–2020. Hodnocení bylo provedeno pro území celé ČR, celkem 103 stanic. Stanoven byl procentický podíl 15-minutovek, respektive 10-minutovek s nárazem větru nad 10 $m \cdot s^{-1}$ z celkového počtu měření.



Obr. 7 Mapa C1 vyjadřující riziko výskytu přísušků v jarním a podzimním období



Obr. 8 Mapa D1vyjadřující riziko výskytu nebezpečných větrů v jarním a podzimním období

Relativním (percentuálním) vyjádřením výskytu vyšších rychlostí větru je eliminována rozdílná délka měření u jednotlivých stanic (možné výpadky v měření apod.). Prahová hodnota rychlosti větru 10 $m.s^{-1}$ (měřeno ve výšce 10 m nad povrchem) vyplývá ze závěrů předchozích výzkumů, kdy bylo zjištěno, že přízemní rychlost větru je cca třetinová až poloviční oproti rychlosti větru v 10 m. Rychlost 3,3 $m.s^{-1}$ (a větší) je potom minimální vlečná rychlost pro půdní částice na suchých lehkých půdách. Analýzy byly provedeny pro dvě období s největším rizikem výskytu větrné eroze: 1. 3.–31. 5. a 1. 9.–31. 10. (půda není nebo je nedostatečně kryta vegetací, vyšší riziko výskytu sucha, vyšší rychlosti větru). Obdobně jako u vrstvy výskytu rizika přísušků byly vytvořeny vrstvy pro dvě období: jarní a podzimní období (Mapa D1 – Obr. 8) a jarní období (Mapa D2).

2.2.3 Postup pro vytvoření syntetické mapy

1. krok

V prvním kroku byly vytvořeny vrstvy **klimatického faktoru** pro lehké (mapy C1 a D1) a pro těžké půdy (mapy C2 a D2). Vrstvy klimatických faktorů vznikly průnikem vrstvy rizika výskytu přísušku (mapy C1 a C2) a vrstvy větrných podmínek (mapa D1 a D2). Po průniku obou vrstev bylo provedeno přiřazení kategorií ohroženosti pomocí maticového způsobu (viz Tab. I). Výstupem byla vrstva určující potenciální ohroženost území z hlediska klimatických podmínek, která byla členěná do šesti kategorií.

Tab. I Matice využitá pro kategorizaci klimatických regionů (oblastí)

		Kategorie dle map C1 (C2)				
		1	**2**	**3**	**4**	**5**
Kategorie dle mapy D1 (D2)	**1**	**1**	**1**	**2**	**3**	**4**
	2	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**
	3	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**
	4	**3**	**4**	**5**	**6**	**6**
	5	4	5	6	6	6

2. krok

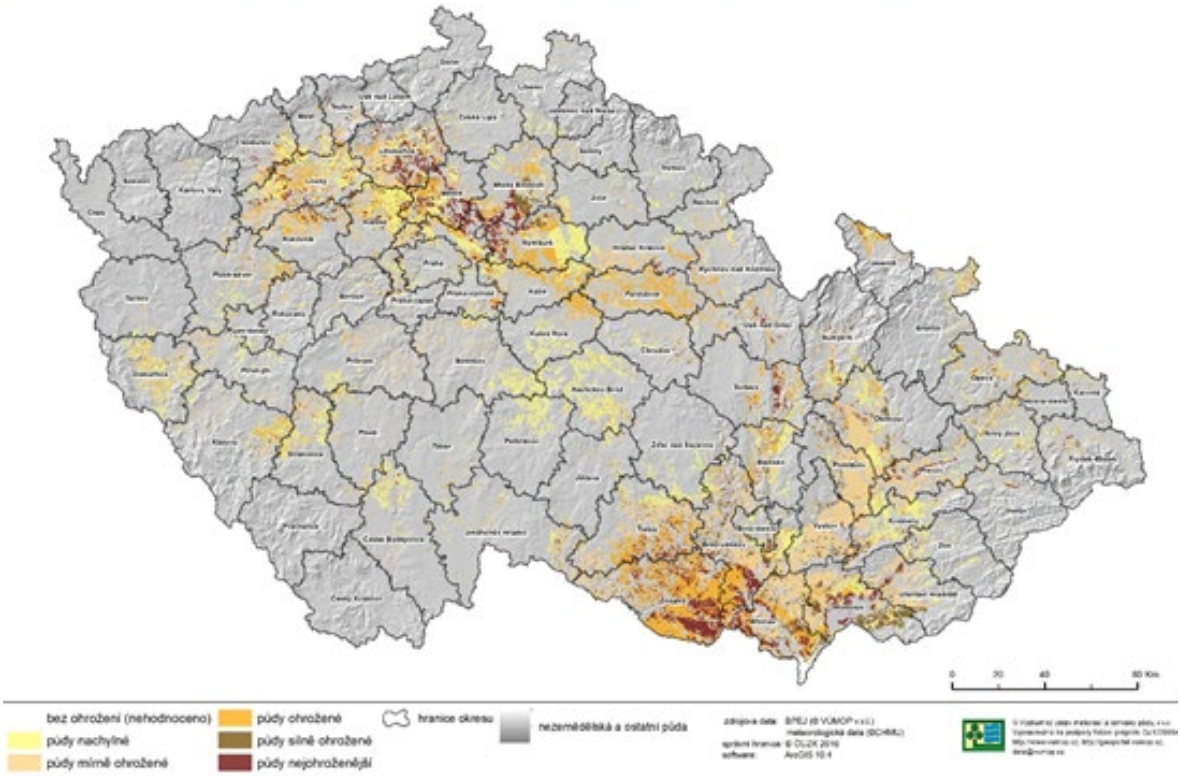
V tomto kroku byly stanoveny koeficienty ohroženosti pro lehké a těžké půdy vynásobením půdních a klimatických faktorů. Pro lehké půdy byl faktor půdy stanoven dle metodiky Podhrázská *et al.* (2008) – Mapa A a nabýval hodnot 2, 4 a 6 (koeficient ohroženosti pro lehké půdy nabývá hodnot 2 až 36). Při stanovení faktoru pro těžké půdy bylo využito certifikované mapy (Mapa potenciálního rizika ohrožení těžkých půd větrnou erozí na základě meteorologických podmínek v zimním období; Podhrázská *et al.*, 2014) – mapa B. U těžkých půd nabývá koeficient hodnot 1,3 a 5.

3. krok

V posledním kroku byl stanoven výsledný koeficient ohroženosti pro lehké a těžké půdy. V případě středně těžkých půd byla vybrána hodnota toho koeficientu, který byl vyšší. Koeficient ohrožení byl rozdělen opět do šesti kategorií ohroženosti dle a Tab. II.

Tab. II Popis kategorií ohroženosti větrnou erozí

Kategorie ohroženosti	Název kategorie	Koeficient ohroženosti	Procentuální zastoupení [%]
1	bez ohrožení	< 4	57,75
2	půdy náchylné	4,1–6	10,68
3	půdy mírně ohrožené	6,1–9	15,22
4	půdy ohrožené	9,1–13	7,46
5	půdy silně ohrožené	13,1–16	4,75
6	půdy nejohroženější	> 17	4,14



Obr. 9 Mapa oblastí potenciálně ohrožených větrnou erozí na podkladu půdně-klimatických faktorů

Postup tvorby výsledného mapového díla Obr. 9 je uveden v metodice Doležal *et al.* (2017). Mapa je přístupná online na geoportálu SOWACGIS VUMOP (https://vetrnaeroze.vumop.cz/).

2.3 Aktuální výzvy

Další výzkum v oblasti potenciální ohroženosti území větrnou erozí v ČR usiluje o vyjádření potenciální ohroženosti v $t.ha^{-1}.rok^{-1}$, tak jako tomu je v případě vodní eroze. V současné době se této problematice věnuje výzkumný projekt Ministerstva zemědělství (dále jen MZe) (QK21010191 – Stanovení ztráty půdy větrnou erozí pro podporu návrhů optimálních opatření k ochraně půdy před větrnou erozí – konec řešení projektu 12/2024) s využitím dosavadních tuzemských i zahraničních poznatků.

Stanovením ztráty půdy větrnou erozí v $t.ha^{-1}.rok^{-1}$ v podmínkách ČR se zabýval (Vrána, 1978; Pasák, 1966; Kozlovsky Dufková, Mašíček, Láckoová, 2019). Vrána (1978) ke stanovení ztráty půdy v podmínkách ČR využil rovnici WEQ sestavenou Woodruffem-Chepilem (1965). Rovnice komplexně posuzuje hlavní vlivy na proces větrné eroze. Metoda zohledňuje klimatické faktory, půdní erodovatelnost, vegetační pokryv a drsnost povrchu. Výstupem rovnice je stanovení ztráty půdy vyjádřené v $t.ha^{-1}.rok^{-1}$. Jedná se jednu z nejpoužívanějších rovnic ve světě. V sousedním Slovensku byla této problematice věnována např. metodika „Vetrná erozia v krajině – súčasné trendy, metody a sposoby výpočtu“ (Grešová a Streďanský, 2011). Dále na Slovensku byly této problematice věnovány publikace např. (Lackóová a Kozlovsky Dufková, 2021; Lackóová *et al.*, 2021). Rovnice WEQ byla dále upravována do podoby tzv. Revised Wind Erosion Equation (RWEQ) dle (Fryreara *et al.*, 2000). Rovnice RWEQ byla dále modifikována a využita pro národní potřeby např. (Gomes *et al.*, 2003; Funk *et al.*, 2006). Pro území Evropy byla nejaktuálnější aplikace rovnice RWEQ publikována v práci Borelliho (Borrelli *et al.*, 2014). Publikovaná studie poskytuje předběžné celoevropské hodnocení.

Modelování větrné eroze na základě fyzikálních procesů je řešeno např. modelem WEPS (Wind Erosion Predicted System) (Hagen, 1995), dále lze uvést WEAM (Wind Erosion Assessment Model) (Shao and Leys, 1996), IWEMS (Integrated Wind Erosion Modeling System) (Lu and Shao, 2001).

Na tvorbu nových podkladů pro podporu ochrany půdy v zemědělsky intenzivně využívané krajině je zaměřen projekt QK21010191. Hlavním cílem je hodnocení projevů větrné eroze prostřednictvím stanovení ztráty půdy větrnou erozí v $t.ha^{-1}.rok^{-1}$ pro území ČR a možností jejího omezení organizačními, agrotechnickými a technickými opatřeními. Zvolené metody umožní zahrnout např. vliv velikosti pozemků DPB, vliv pěstovaných plodin, použité organizační a agrotechnické operace, vliv existujících větrných bariér, včetně jejich ochranných zón ve směru převládajícího směru větru. Hodnocení ztráty půdy je založeno na využití metody pomocí rovnice Woodruff-Chepil (WEQ - wind erosion equation) která komplexně posuzuje všechny vlivy na proces větrné eroze.

3 OPATŘENÍ PROTI VĚTRNÉ EROZI – VĚTROLAMY

3.1 Výchozí stav

Opatření proti větrné erozi mají mnoho podob. Organizační opatření představují např. výběr pěstovaných plodin a delimitace druhů pozemků, pásové střídání plodin, tvar a velikost pozemku. Agrotechnická opatření jsou založena na minimalizaci období, kdy je půda bez vegetačního pokryvu a na zvýšení drsnosti povrchu půdy. U realizace organizačních a agrotechnických opatření je důležitý přístup hospodařících subjektů. V současné době totiž neexistují závazná a kontrolovatelná pravidla jejich dodržování, tak jako je tomu u vodní eroze (DZES). Základním opatřením trvalého charakteru proti negativním účinkům větrné eroze jsou ale bezesporu větrolamy. Obecně se jedná o různě široké pásy stromů a keřů orientované kolmo na převládající směr větru s protierozní a půdoochrannou funkcí. V literatuře i praxi jsou pro trvalé vegetační větrné bariéry používány termíny větrolam, ochranný lesní pás (OLP) či liniový prvek. Větrolam je prakticky jakákoliv trvalá dřevinná vegetace liniového charakteru sloužící k ochraně půdy proti erozi. Liniový prvek je jakákoliv liniová dřevinná vegetace na lesní i nelesní půdě v krajině (primárně určená k ochraně proti větrné erozi). OLP je dřevinná vegetace, vysázená na pozemcích určených k plnění funkcí lesa a sloužící k ochraně proti větrné erozi (Středa *et al.*, 2008).

Větrolamy plní též ekologické funkce, a proto mohou být klasifikovány i jako lokální biokoridory či interakční prvky. Větrolamy i další vegetační liniové prvky redukují rychlost větru a zlepšují mikroklima zemědělské krajiny. Snížení rychlosti větru v chráněných zónách má zejména dopad na teplotu půdy a vzduchu, na vztahy rostlina – voda a rovněž na půdní vlhkost (Bilbro, Fryear, 1988).

Brandle *et al.* (1991) sumarizuje, že větrolamy zprostředkovávají agrosektoru mnoho přímých benefitů, a navíc přispívají ke zvyšování ekosystémové biodiverzity. Přes nesporné výhody a příznivé působení větrolamů, není jejich zastoupení v zemědělské krajině tak četné jako dříve. Např. v severní Americe v 60. až 70. letech bylo značné množství větrolamů odstraněno nebo odumřelo (Griffith, 1976; Sorenson a Marotz, 1977). Tento jev byl spojen s přestárlostí porostů, výsadbou druhů dřevin nevhodných pro půdní a klimatické podmínky, odumírání stromů v důsledku chorob a škůdců, působením sucha a také nevhodným managementem (Fewin a Helwig, 1988). V případě ČR platí, že je zde sice poměrně hustá síť větrolamů, ty ale mnohdy už nejsou funkční, protože od výsadby v 50. letech 20. století byla následná pěstební péče zanedbána a mnoho stromů usychá (Podhrázská *et al.*, 2015; Lampartová *et al.*, 2015; Fukalová, Mašíček, 2018; Podhrázská *et al.*, 2021). V krajině tak výrazně chybí trvalá vegetace – zejména liniového charakteru, která tvoří bariéry erozně účinným větrům. Realizace nových výsadeb se těžko prosazují a to např. vzhledem k neuspořádaným vlastnickým vztahům. Jednou z cest ke zvýšení počtu realizací těchto prvků jsou pozemkové úpravy, jejichž prostřednictvím je možno navrhnout nové prvky a následně uspořádat potřebné pozemky tak, aby byla možná jejich realizace a financování z veřejných prostředků (Sklenička, 2006; Sklenička *et al.*, 2017; Janečková *et al.*, 2017). Význam pozemkových úprav je vnímán zejména v zemích, které se potýkají s důsledky hospodaření, které má za následek narušení ekologické stability krajiny, rozvoj erozních procesů i rostoucí problémy s dopady klimatické změny. Pozemkovými úpravami a jejich vlivem na hospodaření v krajině v evropském kontextu se zabývali (Vitikainen, 2004; Pašakarnis, Maliene, 2010; Van Dijk *et al.*, 2007). Nejedná se však pouze o evropskou záležitost – důsledky uplatňování pozemkových úprav v Číně se podrobně zabývají Ge *et al.* (2020).

Význam větrolamů v krajině bývá posuzován z různých hledisek. Primární je hodnocení jejich účinnosti z pohledu protierozní funkce, která je určována jejich strukturou, tedy výškou, délkou, orientací, kontinuitou, šířkou a tvarem průřezu. Větrolamy se dle těchto hledisek dělí na tři základní typy: prodouvavé, poloprodouvavé a neprodouvavé. Bližší klasifikaci větrolamů se pak věnují např. publikace Holý (1994), Janeček *et al.* (2005) a Podhrázská *et al.* (2008). K podrobnějšímu popisu struktury větrolamu je možno použít parametry porozity, která se rozlišuje na skutečnou (aerodynamickou) a optickou. Aerodynamická porozita je definována jako poměr mezi průměrnou rychlostí větru naměřenou na návětrné straně větrolamu a průměrnou rychlostí na volném prostranství (Litschmann, Rožnovský, 2005; Guan *et al.*, 2003). Z praktických důvodů se k hodnocení účinnosti větrolamů s úspěchem používá optická porozita (OP). Ta je vymezena jako podíl pozadí, viditelného z kolmého směru na větrolam (Burke, 1998). V podmínkách ČR pro hodnocení OP se nejčastěji využívá digitální fotografie (viz Litschmann, Rožnovský, 2005; Litschmann *et al.*, 2007;

Podhrázská *et al.*, 2011; Středová *et al.*, 2012; Řeháček *et al.*, 2017; Kučera *et al.*, 2020). Větrolamy s nízkou a střední porozitou mají výrazně vyšší účinnost ve srovnání s větrolamy s vyšší porozitou.

V kapitole věnované hodnocení potenciální ohroženosti větrnou erozí (Kap. 2) byl zmíněn významný vliv změny klimatu, která se dotýká i větrolamů. Ve vztahu ke dřevinám má základní význam zvyšování stresu z nedostatku vody v letním období, a i když se zvýší průměrné teploty v zimě a klesne počet arktických dnů (Rožnovský *et al.*, 2010), dají se i nadále předpokládat výrazné mrazy (Roloff and Meyer, 2008) nebo rychlejší nástup jara spojený s vyšším rizikem jarních mrazů.

Lze tedy shrnout, že v posledních letech se kromě půdoochranného účinku větrolamů upíná pozornost též k jejich vlivu na zmírňování klimatických extrémů, podporu mimoprodukčních funkcí krajiny a jejich příslušnosti k agrolesnickým systémům. Kromě ekologických přínosů mohou stromy pro zemědělce znamenat i ekonomický benefit, přičemž konkrétní záměry na využití dřevní hmoty je vhodné zohlednit již při plánování samotné výsadby (agrolesnické praktiky).

3.2 Typy větrolamů a jejich účinnost

Základním opatřením trvalého charakteru proti negativním účinkům větrné eroze jsou větrolamy. Obecně se jedná o různě široké pásy stromů a keřů orientované kolmo na převládající směr větru s protierozní a půdoochrannou funkcí.

Větrolamy mohou také patřit do skupiny biokoridorů či interakčních prvků. Liniové prvky v zemědělské krajině, zejména pak větrolamy redukují rychlost větru a zlepšují mikroklima v chráněné zóně. Poskytují mnoho přímých efektů pro zemědělskou výrobu při zachování výhod ekosystémové biodiverzity (Brandle a Finch, 1991). Snížení rychlosti větru v zónách chráněných větrolamy má zejména dopad na vlhkost a teplotu půdy, ovlivňuje vztahy půda–rostlina–voda a rovněž vzdušnou teplotu a vlhkost v okolí větrolamů (Bilbro a Fryear, 1988).

Účinnost větrolamů závisí na jejich šířce, propustnosti pro vzdušné proudění a druhové skladbě dřevin. Podle propustnosti a účinnosti se větrolamy rozdělují na tři základní typy (Janeček *et al.*, 2005):

Prodouvavý (propustný)
větrolam složený z jedné či dvou řad stromů, bez keřového patra. Jeho protierozní efekt je nízký, navíc v kmenovém prostoru může docházet k tryskovému efektu (zvýšení rychlosti větru).

Obr. 10 Ukázka prodouvavého větrolamu

Neprodouvavý (nepropustný)
porost je složen z více řad, dobře zapojený, keřové patro je vytvořeno, na návětrné i závětrné straně dochází k vytvoření uzavřené stěny. U neprodouvavého typu větrolamu sice klesá rychlost větru podstatně více než u typu poloprodouvavého, ale na krátkou vzdálenost.

Obr. 11 Ukázka neprodouvavého větrolamu

Poloprodouvavý (polopropustný)
tvořen z jedné nebo dvou řad stromů a keřového patra. Tento typ je nejvhodnější, protože zde dochází jak k obtékání vzdušných mas přes větrolam, tak také k jejich prostupování porostem. Na závětrné straně dochází ke splývání proudnic, jež obtékají větrolam přes vrchol s těmi, které jím procházejí. Výslednice obou proudů pak směřuje k povrchu půdy ve větší vzdálenosti než u větrolamu neprodouvavého. Oproti širokým neprodouvavým větrolamům dochází k minimálnímu záboru orné půdy při dosažení maximální účinnosti.

Obr. 12 Ukázka poloprodouvavého větrolamu

3.3 Hodnocení účinnosti větrolamů a stanovení jejich ochranných zón

Účinností větrolamů se rozumí schopnost konkrétního větrolamu snižovat rychlost erozně nebezpečných větrů. Hodnocení účinnosti větrolamů je zásadní pro stanovení ochranných zón. Ochrannou zónou větrolamu se rozumí pás půdy na návětrné i závětrné straně, který je na základě účinnosti větrolamu ochráněn před erozními účinky větru. Vymezení ochranných zón následně přispívá i ke zpřesnění potenciální ohroženosti území větrnou erozí (viz Kap. 4). Pro území ČR byly publikovány čtyři přístupy hodnocení účinnosti větrolamů.

První přístup (Janeček *et al.*, 2005)
je založen na stanovení ochranné zóny pro návětrnou i závětrnou stranu větrolamů s využitím výšky větrolamu. Ochranná zóna větrolamu na návětrné straně byla stanovena jako 10násobek výšky větrolamu. Ochranná zóna větrolamu na závětrné straně byla stanovena jako 20 až 30násobek výšky větrolamu. Tato metoda je vhodná pro hodnocení účinnosti konkrétních stávajících větrolamů.

Druhý přístup (Podhrázská a Novotný, 2007 a Podhrázská *et al.*, 2008, viz Kap 3.3.2.1)
pracuje s pevnými ochrannými zónami na návětrné i závětrné straně větrolamů, které jsou stanoveny pro dvě kategorie trvalých vegetačních bariér: větrolam a ostatní liniová vegetace. Tato metoda je vhodná zejména pro projekční praxi, kdy je potřeba přijmout stejný hodnotící přístup jak pro stávající, tak pro navrhované větrolamy.

Účinnosti větrolamů se věnuje i metodika „Hodnocení účinnosti trvalých vegetačních bariér v ochraně proti větrné erozi" (Podhrázská *et al.*, 2011), které předcházela řada publikací o hodnocení prostorové struktury větrolamů (např. Litschmann a Rožnovský, 2005, 2004; Litschmann *et al.*, 2007; Středa *et al.*, 2008; Kozlovsky Dufková, Jareš, 2011). V metodice jsou popsány
i) postupy pro určení propustnosti trvalých vegetačních bariér s využitím digitální fotografie.;
ii) možnosti určení míry snížení rychlosti vzdušných mas protékajících bariérami;
iii) modely používané k predikci větrných podmínek (WAsP - Wind Atlas Analysis and Application Program a WEng - WAsP Engineering).

Třetí přístup (Středová *et al.*, 2012; Doležal *et al.*, 2017, viz Kap. 3.3.2.2)
vymezuje ochranné zóny větrolamů pomocí regresní rovnice, která na základě robustní sady terénních měření odvozuje snížení rychlosti větru v různých vzdálenosti od větrolamu na návětrné i závětrné straně z optické porozity (dále jen OP). Účinek větrolamů klesá s rostoucí OP.

Čtvrtý přístup (viz Kap 3.3.2.3)
navazuje na předchozí postupy hodnocení erozních rizik a efektivity větrolamů, přičemž ale cílí spíše na lesnickou problematiku. Jedná se o „Metodiku hodnocení účinnosti a realizace větrolamů v krajině jako nástroj pro ochranu půdy ohrožené větrnou erozí" (Khel *et al.*, 2017), která obsahuje vymezení přírodních lesních oblastí a návrh vhodných dřevin podle charakteru skupin lesních typů (SLT). Do metodiky byla začleněna možnost stanovení účinnosti větrolamů na základě parametrické rovnice umožňující vyhodnotit účinnost větrolamu na snížení rychlosti větru se zohledněním OP a výšky větrolamu dle Řeháčka *et al.* (2017) a Vacka *et al.* (2018). Kromě časově náročného stanovení OP na základě důkladné analýzy fotografií pořízených ve vysoké kvalitě je zde prezentována i zjednodušená možnost stanovení OP pomocí katalogu větrolamů.

Výše popsané přístupy stanovující ochranné zóny větrolamů srovnává Kučera *et al.* (2020) v k.ú. Micmanice, kde se nachází rozsáhlá síť větrolamů. U metod Podhrázská *et al.* (2008) a Středová *et al.* (2012) byly zjištěny podobné hodnoty ochranných zón, zatímco metoda Řeháček *et al.* (2017) identifikovala jejich výměru až o 40 % nižší.

Nejnovější poznatky o hodnocení prostorové struktury větrolamů i v souvislosti se změnou klimatu přináší „Metodika zakládání a údržby větrolamů ve zhoršených pedoklimatických podmínkách" (Podhrázská *et al.*, 2021). Jsou zde prezentovány návody k zakládání a údržbě adaptabilních větrolamů a jejich optimální prostorové a funkční lokace, přičemž akcentuje potřebu adaptace na klimatickou změnu zejména při výběru vhodných taxonů a postupů pro zakládání.

Aktuální zastřešující výzkumnou platformou v oblasti hodnocení prostorové struktury větrolamů je projekt TAČR Pokročilé metody hodnocení a projektování multifunkčních větrolamů (SS05010211). Projekt je zaměřen na multikriteriální hodnocení a následnou optimalizaci prostorové struktury větrolamů s využitím dálkového průzkumu země (dále jen DPZ). Cílem je zefektivnění funkcí větrolamů jako účinných adaptačních opatření na vývoj klimatu s vyšší frekvencí výskytu sucha a kritických rychlostí větru Projekt má následují cíle:
i) aktualizace stávajících metod a jejich rozšíření o další parametry habitu větrolamů, přičemž klíčovým je parametr vitality dřevin, dle něhož lze odhadnout životnost dřeviny na stanovišti a její růstové charakteristiky v čase;
ii) vývoj automatického hodnocení vitality porostu z digitální fotografie; iii) analýza využitelnosti bezpilotních prostředků (UAV) a DPZ pro hodnocení funkcí a účinnosti větrolamů. Hlavní

inovací je automatizace stávajícího postupu hodnocení prostorové struktury větrolamů pomocí pokročilé analýzy signálu obrazu (2D) s následným využitím strojového učení a hodnocení fyziologických parametrů stromů na základě digitální fotografie (2D obraz) opět s využitím strojového učení. Dalším inovačním prvkem je současné hodnocení větrolamů v zájmových plochách s využitím satelitních snímků a UAV. Pomocí satelitních snímků budou u hodnocených větrolamů získány a analyzovány vegetační indexy (NDVI, SAVI, NDRE), biofyzikální parametry (Leaf Area Index, fAPAR).

3.3.1 Optická porozita větrolamů

Strukturu větrolamu lze definovat jako množství a prostorové rozmístění rostlinných částí (kmeny, větve, listy) a volného prostoru mezi nimi. K tomuto účelu se velmi často používají dva parametry, kterými jsou výška větrolamu (h) a aerodynamická porozita k jejímuž vyjádření se v praktických experimentech používá optická porozita definovaná jako poměr mezi mezerami ve větrolamu k jeho celkové ploše (Vigiak *et al.*, 2003) a stanovuje se nejčastěji dle fotografií. Při měření v aerodynamickém tunelu s různými modely větrolamů s optickou porozitou v rozmezí od 0,016 do 0,389 bylo zjištěno, že závislost mezi optickou a aerodynamickou porozitou lze vyjádřit jako:

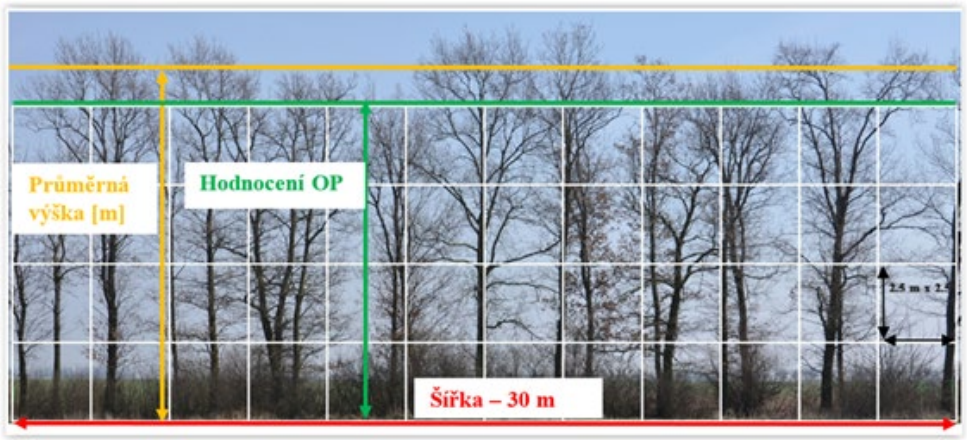
$$\alpha = \beta \times 0{,}4\ , \tag{1}$$

kde:
α ..... optická porozita větrolamu,
β ..... aerodynamická porozita větrolamu.

Optickou porozitu je možné stanovit třemi způsoby:
1. Z fotografie reprezentativní části větrolamu.
2. Porovnání větrolamu s větrolamy v katalogu, dostupném v metodickém návodu Khel *et al.* (2017).
3. Stanovení hodnoty podle tabulky a stavu větrolamu.

3.3.1.1 Stanovení optické porozity pozemní fotogrammetrickou metodou

Při stanovení optické porozity jednotlivých větrolamů se používají digitální fotografie, pořízené kolmo k linii větrolamu rozčleněné na jednotlivé čtverce (gridy). V první fázi je třeba vytyčit hodnocený úsek, pro který bude pořízena série fotografických snímků. V případě nerovnoměrného větrolamu (např. změna zdravotního stavu stromů, změna přítomnosti keřového patra apod.) je nutné větrolam rozdělit a OP stanovit pro jednotlivé úseky samostatně. Snímky jsou pořizovány v dobré světelné viditelnosti a je potřeba dbát na „čisté“ pozadí větrolamu bez rušivých prvků (budovy, terén, vegetace apod.). Ohnisková vzdálenost fotoaparátu je nastavena minimálně na 30 mm, kvůli deformaci krajů fotografického snímku (Obr. 13). Postup stanovení optické porozity z digitální fotografií byl publikován v certifikovaných metodikách Podhrázská *et al.* (2011), Khel *et al.* (2017) a vědeckých publikacích Řeháček *et al.* (2017) a Vacek *et al.* (2018).



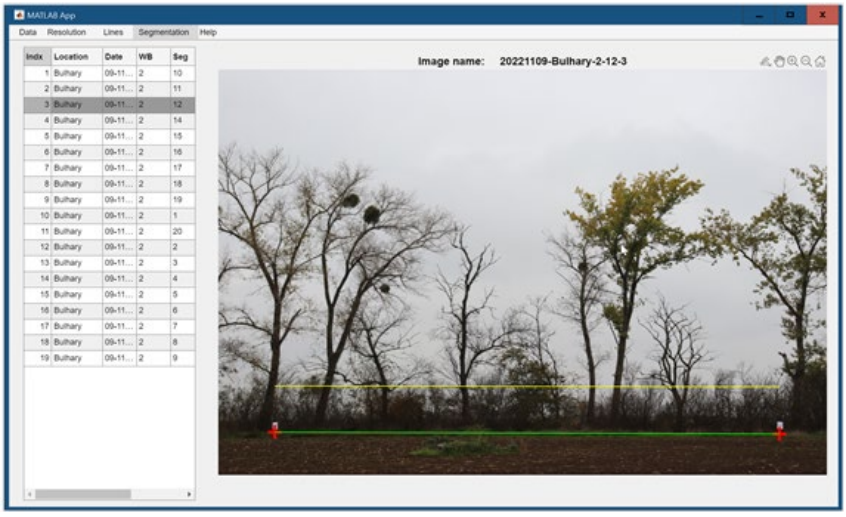
Obr. 13 Reprezentativní úsek větrolamu Hodnocení prostorové struktury větrolamů

Současné postupy (Podhrázská *et al.*, 2011; Khel *et al.*, 2017; Řeháček *et al.*, 2017 a Vacek *et al.*, 2018) nabízejí časově náročné vyhodnocování parametrů prostorové struktury. Proto byl v rámci projektu Technologické agentury České republiky (TAČR) pod názvem „Pokročilé metody hodnocení a projektování multifunkčních větrolamů“ (SS05010211) vyvinut program Windbreak pro automatické hodnocení vybraných parametrů prostorové struktury větrolamů. Novým aspektem vyvinutého programu je automatizace současného postupu pro hodnocení prostorové struktury větrolamů pomocí pokročilé analýzy signálu obrazu (2D) a následné využití strojového učení pro další klasifikaci parametrů prostorové struktury (optická porozita). Program Windbreak byl publikován v odborné publikaci Kučera *et al.* (2024).

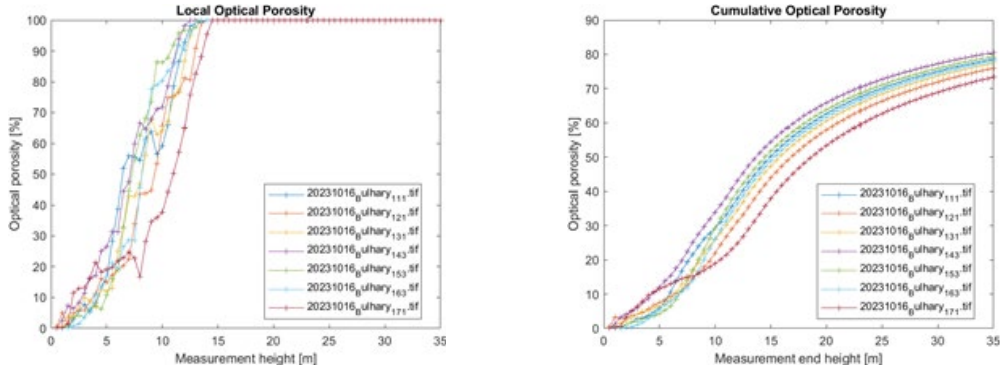
V knize je publikována beta verze programu Windbreak pro automatické hodnocení prostorové struktury větrolamů s názvem Windbreak. Pro tvorbu Windbreak bylo využito programové prostředí Matlab 2022b. SW Windbreak umožňuje hodnocení OP, včetně hodnocení výšky porostu (maximální, průměrná a dle kontury). Pro automatické hodnocení parametrů prostorové stuktury větrolamů byly shromažďovány podklady z fotografií zájmových větrolamů, které byly analyzovány v průběhu řešení projektu. Jak bylo zmíněno v úvodu základním vstupem do programu Windbreak jsou digitální fotografie (RGB) segmentů větrolamů ve formátu .png nebo .tiff. Každá fotografie nese v názvu informaci o hranici a číslu segmentu. Tyto informace jsou následně využity pro identifikaci/zaměření segmentu v programu. Tím, že segment má jasně definovanou šířku 30 metrů je možné dále odvodit i výšku větrolamu.

K obrazové analýze je využíváno metod pokročilého zpracování obrazů, včetně jejich přizpůsobení. To povede k poměrně zásadnímu zlepšení, zpřesnění a urychlení automatizovaného hodnocení prostorové struktury větrolamů (optická porozita, výška, keřové patro) z 2D fotografie pomocí strojového učení. Pro automatizované hodnocení byly využity metody hlubokého učení (konvoluční neuronové sítě typu image-to-image, např. U-Net, pro segmentaci obrazů a predikci požadovaných parametrů větrolamu) poskytující velmi dobré výsledky v oblasti zpracování obrazů v rozličných aplikacích.

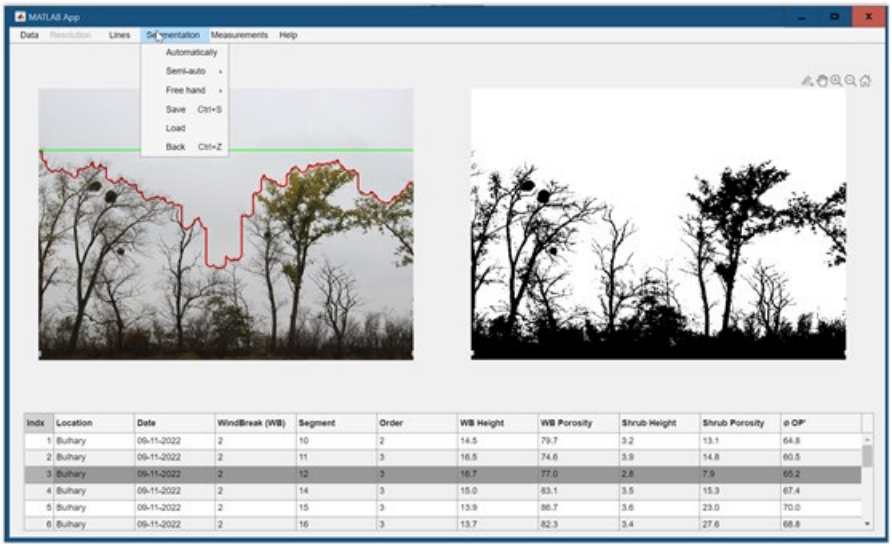
První část programu umožňuje správu všech snímků obsažených ve vybrané složce, ve kterých je nutné vyznačit hranice hodnoceného segmentu a v případě přítomnosti keřového patra zadat navíc jeho výšku pomocí druhé linie. Obr. 14 ukazuje prostředí programu pro vytyčení zájmového segmentu a stanovení výšky keřového patra. Program umožňuje průběžné ukládání vyznačených linií. Na základě těchto linií dochází k ořezu obrazu a jeho natočení do vodorovné polohy dle hraniční linie (zelená). Program umožňuje práci na snímcích s originálním rozlišením, což je však velmi výpočetně náročné. Je tedy možné rozlišení snížit na některou ze tří úrovní, což významně snižuje výpočetní náročnost a zvyšuje plynulost programu bez pozorovaného snížení přesnosti nebo kvality dosažených výsledků.



Obr. 14 Ukázka prostředí beta verze programu Windbreak s vyznačením zájmového segmentu (zelená linie) a stanovení výšky keřového patra (žlutá linie).



Obr. 15 Ukázka vyobrazení průběhů lokálních (nalevo) a kumulativních (napravo) optických porozit v závislosti na měřené konkrétní výšce větrolamu.



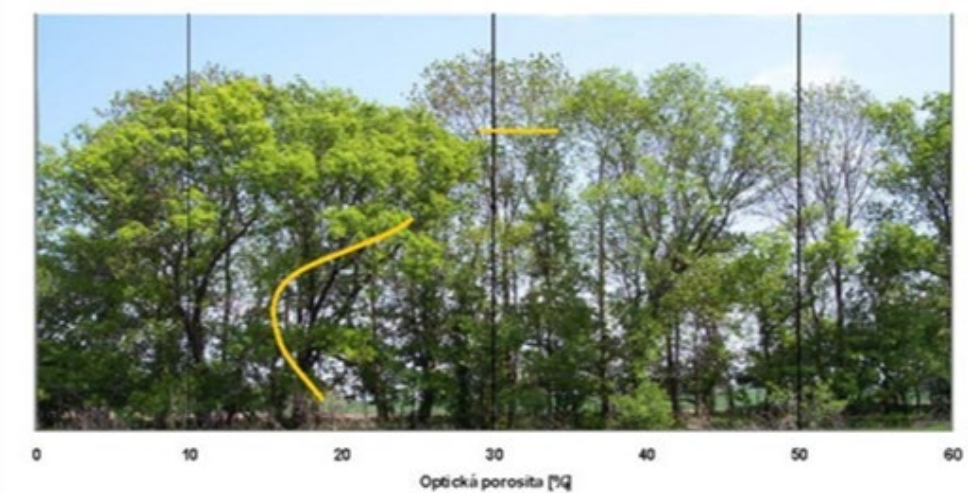
Obr. 16 Ukázka prostředí beta verze programu Windbreak v části segmentace a měření

Po vyznačení zájmových segmentů a následných úprav mohou být zahájeny kroky ve druhé části programu spojené se segmentací obrazu, která má za cíl co možná nejpřesněji rozlišit pozadí a porost větrolamu. K dispozici je automatická segmentace, která je založena shlukové analýze pixelů v barevném prostoru RGB pomocí algoritmu K-means a to do dvou shluků – pozadí a větrolam. Dále jsou k dispozici možnosti interaktivních nástrojů ruční segmentace s cílem dodatečné úpravy automatické segmentace. Tyto segmentační nástroje umožňují jak globální úpravy pro celý obraz, tak lokální zaměřující se pouze na detailní část obrazu. Obr. 16 ukazuje část programu věnující se segmentaci. Dále tato část programu umožňuje zcela automatický výpočet a export výsledných měřených optických porozit a nově také nabízí lokální analýzu OP. Ta zahrnuje zobrazení průběhů lokálních a kumulativních hodnot optických porozit v závislosti na konkrétní měřené výšce větrolamu (viz Obr. 15). Tyto hodnoty se nově také exportují do excelovského souboru společně s ostatními výsledky.

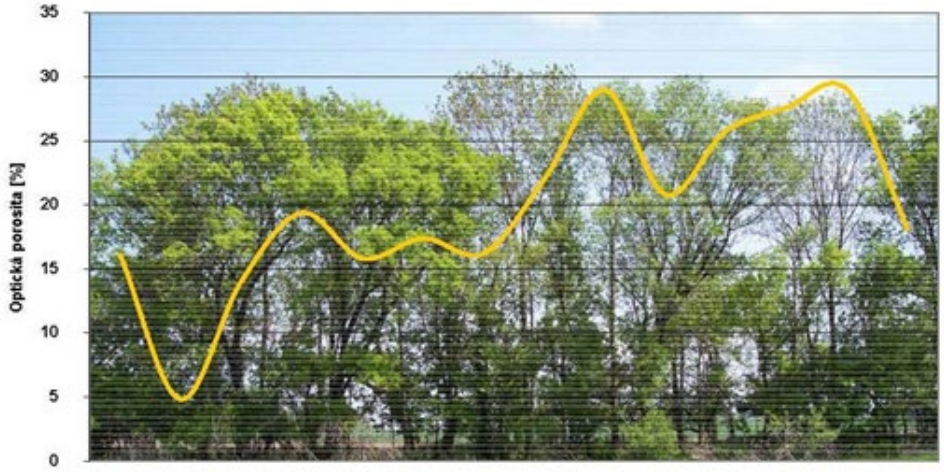
Strukturální dynamika optické porozity

Pro každé měření je nutno zpracovat následující charakteristiky:

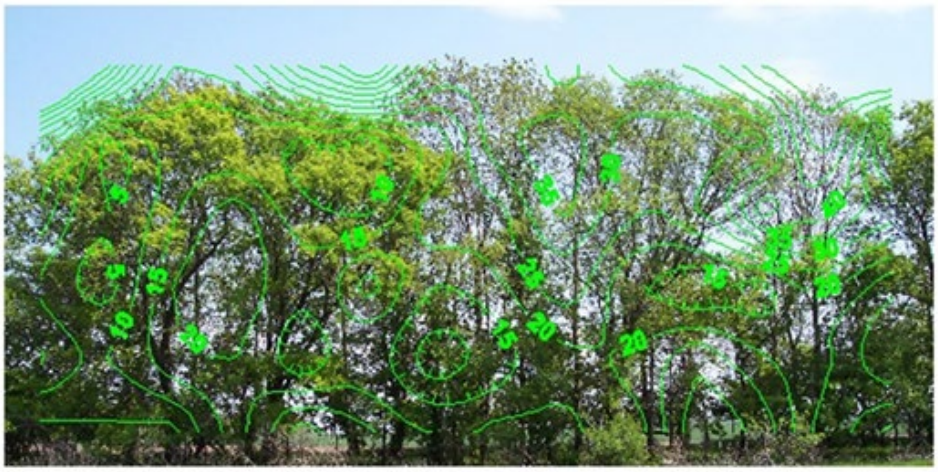
- vertikální rozložení optické porozity v daném úseku větrolamu (Obr. 17),
- horizontální profil optické porozity v daném úseku větrolamu (Obr. 18),
- plošné rozložení optické porozity v daném úseku větrolamu (Obr. 19).



Obr. 17 Vertikální průběh optické porozity



Obr. 18 Horizontální průběh optické porozity



Obr. 19 Plošné rozložení optické porozity

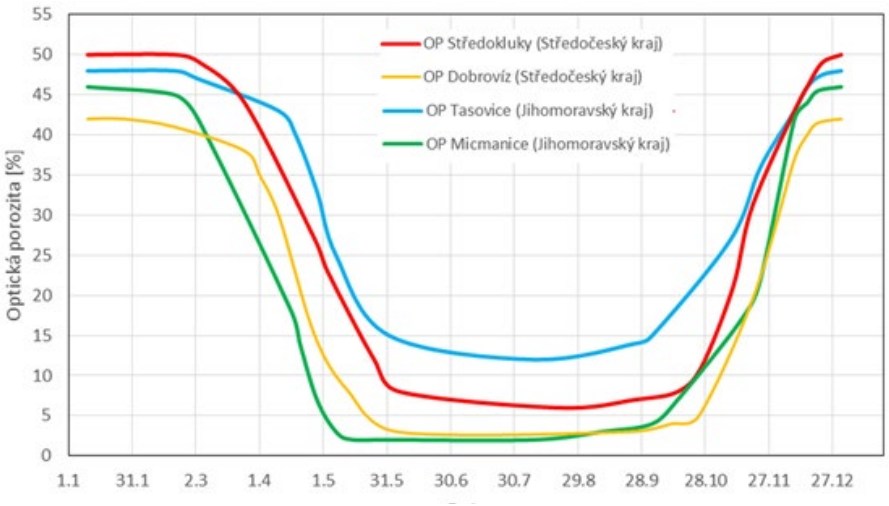
Sezónní dynamika optické porozity

Charakter větrolamu, a tedy i jeho odezva v hodnotě optické porozity se během roku mění tak, jak nastupují jednotlivé růstové fáze dřevin. Logicky je větrnou erozí nejvíce ohrožena zemědělská půda na jaře a na podzim, kdy jsou dřeviny bez olistění a půda tak není významně chráněna.

Pro představu je sezónní změna dokumentována analýzou čtyř modelových větrolamů hodnocených v průběhu celého roku (Obr. 20). Graf slouží pouze pro znázornění sezónní změny optické porozity nikoliv pro porovnání hodnot OP v jednotlivých termínech mezi zájmovými větrolamy (nejedná se o typově stejné větrolamy). Větrolamy jsou „klasické“, tedy pouze se zastoupením listnatých dřevin a s různým počtem řad. Z grafu vyplývá, že ohroženost půdy obecně v lokalitách stoupá cca. od konce září a s nástupem olistění cca. v půlce května končí. V tuto dobu je tak půda nejvíce náchylná k erozi i v místech s vybudovaným systémem tohoto typu větrolamů.

Názornou představu o sezónní dynamice OP poskytují fotografie zachycující vývoj olistění větrolamu (jednořadý s keřovým patrem) v modelové lokalitě Středokluky, jehož základní charakteristika je následující (Obr. 21 až Obr. 26):

- Počet řad stromů: 1
- Keřové patro: ano
- Výška: 15 m
- Šířka: 6 m
- OP bez olistění: 44 %; OP plné olistění: 3 %; OP průměr: 23,5 %



Obr. 20 Sezónní vývoj optické porozity větrolamu

Obr. 21 Příklad jednořadého větrolamu s keřovým patrem bez olistění v termínu 25. března s hodnotou OP = 44 %

Obr. 22 Příklad jednořadého větrolamu s keřovým patrem bez olistění v termínu 27. dubna s hodnotou OP = 27 %

Obr. 23 Příklad jednořadého větrolamu s keřovím patrem s olistěním v termínu v termínu 5. června s hodnotou OP = 3 %

Obr. 24 Příklad jednořadého větrolamu s keřovým patrem s olistěním v termínu v termínu 20. srpna s hodnotou OP = 3 %

Obr. 25 Příklad jednořadého větrolamu s keřovým patrem s olistěním v termínu v termínu 12. října s hodnotou OP = 4 %

Obr. 26 Příklad jednořadého větrolamu s keřovým patrem bez olistění v termínu v termínu 11. listopadu s hodnotou OP = 31 %

3.3.1.2 Stanovení optické porozity dle katalogu větrolamů

Na podkladě souboru hodnocených větrolamů v k.ú. Micmanice, Středokluky a Dobrovíz byl sestaven tzv. katalog větrolamů (Metodika Khel *et al.*, 2017), který na konkrétních příkladech ukazuje parametry větrolamů: počet řad stromů, existence keřového patra, výška porostu, šířka porostu, hodnota OP bez olistění, hodnota OP v plném olistění a hodnota průměrné OP. Součástí katalogu je fotodokumentace větrolamu ve fázi bez olistění a v plném olistění.

Katalog větrolamů je možné využít k hodnocení stávajících větrolamů tím, že bude hodnota optické porozity odhadnuta podle podobnosti stávajícího větrolamu s větrolamem v katalogu. Hodnocení současných větrolamů je nejlépe provádět během plného olistění stromů nebo naopak v době bez olistění. Na základě vybrané hodnoty optické porozity pro fenologickou fázi bude stanovena průměrná roční hodnota optické porozity, která bude použita pro výpočet ochranné vzdálenosti.

3.3.1.3 Stanovení optické porozity z tabulky

Hodnotu optické porozity větrolamu je možné stanovit na podkladě údajů z následující tabulky (Tab. III). V tabulce je uvedeno rozpětí hodnot OP podle počtu řad stromů. Hodnoty OP byly určeny na podkladě hodnot OP stanovených z fotografické dokumentace u zkoumaných větrolamů v k.ú. Micmanice, Středokluky a Dobrovíz. V tabulce jsou uvedeny maximální, minimální a průměrné hodnoty OP pro období zimy a léta. Zima představuje větrolamy bez olistění a léto naopak představuje větrolamy v plném olistění. Následně jsou uvedeny průměrné hodnoty z léta a zimy, tyto průměry jsou uvažovány při výpočtu ochranné oblasti větrolamu. V praxi se často setkáváme s větrolamy, které nemají stejný počet řad v celé délce, které jsou tvořeny stromy ve špatném zdravotním stavu apod. Z těchto úvodu je i variabilita hodnot OP v tabulce. Právě zdravotní stav

Tab. III Stanovení hodnoty optické porozity větrolamů (Khel *et al.*, 2017)

Počet řad stromů	1–2			2–4			5 a více		
Rozmezí	**max**	**prům**	**min**	**max**	**prům**	**min**	**max**	**prům**	**min**
OP zima (%)	58	44	36	45	36	30	34	31	26
OP léto (%)	14	7	3	5	3	1	1	1	0
OP prům (%)	36	26	20	25	20	16	18	16	13

a celkový dojem větrolamu je třeba brát v potaz při výběru hodnoty OP. Proto např. správně navržený, udržovaný dvouřadý větrolam s dobrým zdravotním stavem může mít nižší hodnotu OP než větrolam se 3 řady s velkým rozestupem stromů a se špatným zdravotním stavem.

Samostatnou část tvoří větrolamy jejichž součástí je keřové patro. Optická porozita keřů je velmi závislá na jejich hustotě a šířce. V létě se hodnota OP u keřů blíží k nule a v zimním období je v průměru kolem 6 % (Tab. IV). Pro stanovení hodnoty OP u větrolamu s keřovým patrem bude brána v potaz roční průměrná hodnota OP 3 %.

Tab. IV Stanovení hodnoty optické porozity u keřů (Khel *et al.*, 2017)

OP zima (%)	6
OP léto (%)	0
OP prům (%)	**3**

Zahrnutí keřového patra do celkového hodnocení větrolamu je nejlépe přes vážený průměr, přičemž výška větrolamu a keřového patra budou představovat váhu. Vzorec výpočtu je poté následující:

$$ØOP = \frac{((H - h) \times ØOPs + h \times ØOPk)}{H}, \quad (2)$$

kde:
ØOP .....průměrná hodnota optické porozity větrolamu (%),
ØOPs ...průměrná hodnota optické porozity stromové části větrolamu (%), Tab. III,
ØOPk...průměrná hodnota optické porozity keřové části větrolamu (%) = 3 %, Tab. IV,
H .....průměrná výška větrolamu (m),
h .....průměrná výška keřového patra (m).

3.3.2 Sofistikované metody stanovení účinnosti větrolamů a ochranných zón

3.3.2.1 Dle kategorizace větrolamů

Tento přístup popisuje metodika Podhrázská *et al.* (2008), která účinnost větrolamů, resp. jejich ochranné zóny stanovuje na závětrné straně 300 metrů a na návětrné 100 metrů. U těchto hodnot bylo vycházeno z předpokladu hodnocení větrolamu s optimální prostorovou a druhovou skladbou as průměrnou výškou 15 metrů. V tomto přístupu tedy nebyly využity získané parametry větrolamů (optická porozita a výška větrolamu). Pro ostatní liniové vegetační prvky (OVB) u kterých se předpokládá, že nemají požadovanou strukturu větrolamu byly zvoleny hodnoty poloviční (Tab. V).

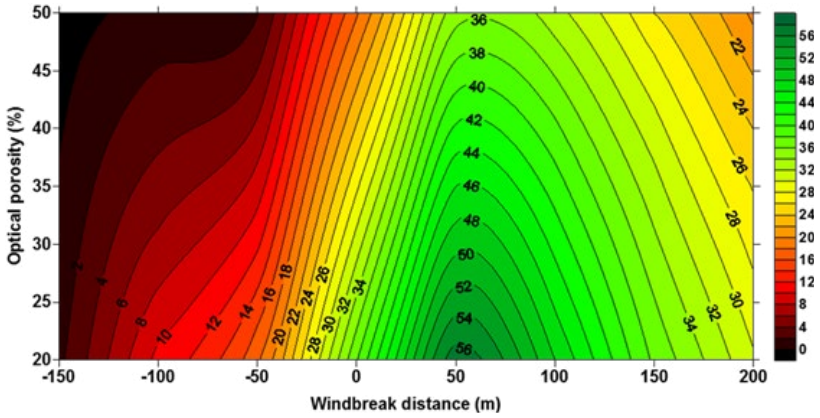
Tab. V Vymezení ochranných zón, dle metodiky Podhrázská 2008

Typ bariéry	Závětrná strana [m]	Návětrná strana [m]
Větrolam	300	100
Ostatní OVB	150	50

3.3.2.2 Odvození dle optické porozity

V rámci našich experimentů bylo současně s hodnocením optické porozity u vybraných větrolamů prováděno měření větrného pole na závětrné a návětrné straně větrolamu (blíže viz metodiky Podhrázská *et al.* (2011); Doležal *et al.* (2021) a publikace Středová *et al.* (2012)). Závislost mezi optickou porozitou (OP) a zeslabením rychlosti větru na závětrné straně vykazuje poměrně silnou korelaci. Nejtěsnější je tato závislost ve vzdálenosti 50 m za větrolamem. Se vzrůstající vzdáleností se tato závislost snižuje, tak jak převládají další vlivy působící na vzdušné proudění. Při plném olistění v letních měsících (OP 10 %) dochází ve vzdálenosti 50 m ke snížení rychlostí až na 40 % hodnoty před větrolamem, ve vzdálenosti 150 m je to kolem 70 %. U neolistěných větrolamů se tato čísla zvyšují na cca 80 a 90 %. Na návětrné straně jsou redukční účinky větrolamu výrazně nižší. Vzdálenost, do které větrolam efektivně snižuje rychlost větru byla bez ohledu na OP na závětrné straně maximálně 250 m (tj. cca 10–17 násobek průměrné výšky větrolamu).

Na Obr. 27 je tato redukce rychlosti větru větrolamem s různou OP vyjádřena pomocí 2D mapy aplikace Surfer, která poskytuje uživatelsky přívětivý výstup s možností jednoduchého zjištění redukce rychlosti větru na základě OP a vzdálenosti od větrolamu.



Obr. 27 Úroveň redukce rychlosti větru (v %) v různých vzdálenostech od větrolamu v závislosti na OP – výstup software Surfer (interpolace local polynomial metodou, polynomial order 2)

S ohledem na to, že se jedná primárně o mapový software, který poskytuje pouze grafický výstup, není výstupem regresní rovnice použité interpolační metody. Tento nedostatek byl odstraněn použitím software Statistica a dalších statistických nástrojů. Pomocí mnohonásobné kvadratické regrese s proložením polynomem 5. stupně byl definován vztah mezi OP a vzdáleností od větrolamu a jejich vliv na redukci rychlosti větru. Prostřednictvím kombinované regresní rovnice (Středová *et al.*, 2012) byl tento vztah popsán a kvantifikován (rovnice 3)

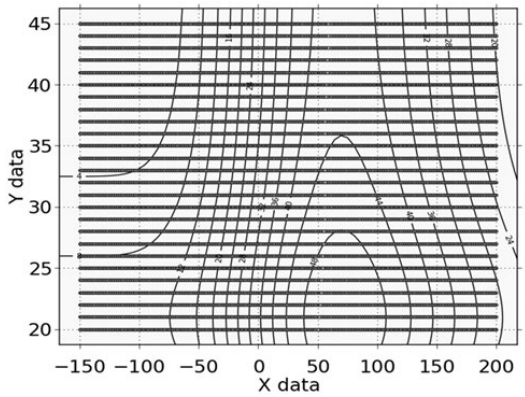
$$Z = 46{,}1894 + 0{,}1709 \times X - 0{,}4606 \times Y - 0{,}0008 \times X^2 - 0{,}0004 \times X \times Y - 0{,}000094226 \times Y^2, \quad (3)$$

kde:
Z ..... redukce rychlosti větru (%),
X ..... vzdálenost od větrolamu (m),
Y ..... optická porozita (%).

Index determinace 0,664 mezi výsledky modelu a naměřenými daty a nízká disperze hodnot mimo 99% pás spolehlivosti naznačují poměrně dobrou shodu mezi modelem a reálnými daty, ačkoli zejména při modelování hodnot na okrajích intervalu model nevystihoval skutečný průběh hodnot. S použitím statistických postupů byla rovnice dopracována a zpřesněna (rovnice 4) a následně byla graficky odvozena i úroveň redukce rychlosti větru (v %) v různých vzdálenostech od větrolamu v závislosti na OP (Obr. 28). K dispozici je tak algoritmus, poskytující informaci o efektu větrolamu na pole větru v dostatečné přesnosti a umožňující tak optimalizaci rozmístění větrolamů např. v rámci pozemkových úprav.

$$z = a \times \exp\left(-\exp\left(-\frac{x-b}{c}\right)-\left(\frac{x-b}{c+1}\right)\right)+d\times\exp\left(-\exp\left(-\left(\frac{y-f}{g}\right)\right)-\frac{(y-f)}{g+1}\right), \quad (4)$$

kde:
z .....redukce rychlosti větru (%)
y .....optická porozita (%)
a až g = koeficienty:
a = 4.1417551362956196E + 01
b = 6.9845535425079362E + 01
c = 8.2090132918982135E + 01
d = 1.0073376683165979E + 01
f = 2.0979890320903436E + 01
g = 6.6089573586774133E + 00



Obr. 28 Úroveň redukce rychlosti větru (v %) v různých vzdálenostech od větrolamu (osa X) v závislosti na OP (osa Y). Výstup dle rovnice „2“

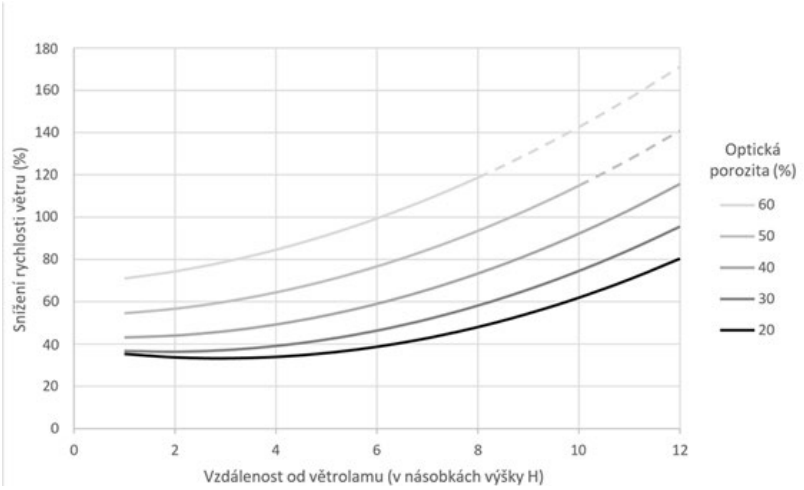
Tento přístup je postaven na kombinované regresní rovnici je vtělen do metodiky Doležal *et al.* (2017), která odvozuje ochranné zóny větrolamu dle závislosti mezi optickou porozitou a zeslabením rychlosti větru na závětrné i návětrné straně. Parametr výšky větrolamu není vstupním parametrem rovnice, neboť stejně jako v předchozím případě je předpokladem větrolam s optimální prostorovou a druhovou skladbou a průměrnou výškou 15 metrů.

3.3.2.3 Odvození dle optické porozity a výšky větrolamu

Pro stanovení účinnosti větrolamů i jejich ochranné zóny lze použít i rovnici, která kombinuje hodnotu optické porozity a výšku větrolamu (Řeháček *et al.*, 2017). Rovnice 5, která byla odvozena na podkladě dat z ambulantního měření rychlosti větru, udává podíl snížení rychlosti větru na závětrné straně větrolamu oproti rychlosti větru na návětrné straně. Měření bylo uskutečněno na třech typologicky odlišných větrolamech na území ČR během příznivých povětrnostních podmínek, tzn. při rychlostech větru větších než 5 m.s^{-1} a směru větru kolmo na větrolam. Větrolamy byly proměřovány od roku 2013 a byly zohledněny fenologické fáze zastoupených dřevin a jejich vliv na hodnotu optické porozity. Za ochrannou oblast větrolamu je považována vzdálenost, při které je rychlost větru na závětrné straně nižší oproti návětrné straně (U < 100 %). Tento přístup je vtělen do metodiky Khel *et al.* (2017).

$$UU = 52{,}80619 - 1{,}23901 \times OP - 5.80657 \times D + 0.12503 \times OP \times D^2 + 0.56948 \times D^2 + 0.02507 \times OP^2, \quad (5)$$

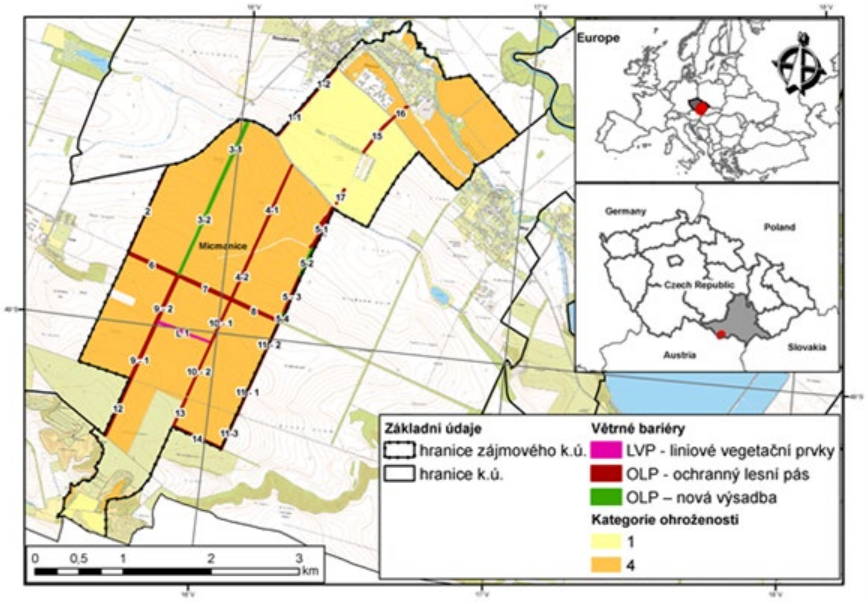
kde:
U.....redukce rychlosti větru oproti návětrné straně (%),
OP.....hodnota optické porozity větrolamu (%),
D.....vzdálenost od větrolamu (násobky výšky větrolamu H).



Obr. 29 Modelové ochranné oblasti s využitím přístupu, dle Řeháček *et al.* (2017). Za ochrannou oblast větrolamu je považována vzdálenost, při které je rychlost větru závětrné straně nižší oproti návětrné straně (U < 100 %).

3.3.2.4 Srovnání prezentovaných metod – případová studie

V následujícím textu je v krátkosti uvedeno srovnání ochranných zón určených dle výše uvedených metod na příkladu k.ú. Micmanice (Obr. 30). Dle potenciálního ohrožení větrnou erozí na podkladě půdně-klimatických podmínek zde převažuje kategorie ohroženosti 4, která se vyskytuje na 81 % orné půdy a zbylých 19 % spadá do kategorie 1. V území bylo identifikováno 26 větrných bariér. Pro tyto bariéry byla stanovena OP a výška porostu. U plně zapojených OLP se výška porostů pohybovala v rozmezí 8,7 až 18,2 metrů a u VLP v rozmezí 2 až 3,5 metrů. OP hodnocených větrolamů dosahovala hodnot od 32 % do 58 %. Ochranné zóny větrných bariér byly zpracovány pro převládající směry větru, které byly dle dat ČHMÚ identifikovány jako jihovýchodní a jihojihovýchodní. Souhrnně publikováno v Kučera (2020). Pro modelování ochranných zón jednotlivých prvků bylo využito prostředí ArcGIS for Desktop a skriptu vytvořeného v prostředí PYTHON. Skript na základě zadaného směru větru a dané délky ochranné zóny vytvořil reálnou ochrannou zónu. Srovnání výsledků dosažených aplikací tří metod obsahuje Tab. VI a Obr. 31. Podrobná analýza je součástí studie Kučera (2020).



Obr. 30 Přehledová mapa zájmového území Micmanice, podkladová vrstva: potenciální ohroženost větrnou erozí na podkladu půdně-klimatických faktorů dle metodiky Doležal *et al.* (2017)

Tab. VI Výsledná tabulka analýzy stanovení ochranných zón uvedenými metodami

Metoda stanovení ochranné zóny	Převládající směr větru	Ohrožená plocha celkem [ha]	Plocha ochranných zón	
			[ha]	[%]
Podhrázská *et al.* (2008)	JJV	816,4	271,7	33,3
	JV	816,4	306,9	37,6
Středová *et al.* (2012) in Doležal *et al.* (2017)	JJV	816,4	285,2	34,9
	JV	816,4	320,5	39,3
Řeháček *et al.* (2017) in Khel (2017)	JJV	816,4	97,8	12,0
	JV	816,4	103,6	12,7

Obr. 31 Příklad modelování ochranných zón pro převládající směr větru jihovýchodní

3.4 Hodnocení funkčního stavu větrolamů

Průzkum stávajících větrolamů v územích řešených v rámci našich výzkumných projektů potvrdil všeobecně známou skutečnost, a to vysoký podíl krátkověkých a rychle rostoucích dřevin v porostech (převážně topoly). Tyto dřeviny jsou ale v současnosti v mnoha případech přestárlé. Předpokladem bylo jejich postupné nahrazování dlouhověkými dřevinami v rámci plánovaných pěstebních zásahů. Následná pěstební péče o větrolamy byla však jednoznačně

zanedbána, a pokud byly vůbec nějaké zásahy realizovány, jednalo se většinou právě o likvidaci rozpadajících se topolů bez náhrady. Věková rozmanitost dřevin tvořících konkrétní větrolam je tedy minimální, neboť se jedná o porosty se stejnověkými kosterními dřevinami. Výjimkou může být např. v některých lokalitách hojně zastoupený silně zmlazující javor jasanolistý, který však vytlačuje keřové patro a podrost a intenzivně až invazivně se šíří do okolí.

V důsledku prakticky totožné doby založení a chybějící péče, probírek a dosadeb, nejsou však věkově diverzifikovány ani větrolamy jako funkční celky. Při úvahách o obnově, či doplnění sítě větrolamů je nutno zohlednit, že i pokud jsou kosterními dřevinami větrolamů topoly přiměřené vitality, perspektiva jejich dalšího bezpečného setrvání na stanovišti je krátkodobá, maximálně v řádu několika desetiletí.

Pro potřeby koncepčních řešení v oblasti zlepšení a udržení stability zemědělské krajiny je nutné znát a objektivně hodnotit stav konkrétních stávajících prvků trvalé liniové vegetace. S využitím těchto údajů lze snáze a zodpovědněji definovat a členit naléhavost potřeby obnovy či ošetření stávajících větrolamů, které vzhledem k téměř jednotné době založení, ale i druhové skladbě jsou aktuálně často již neperspektivní a ve stadiu rozpadu kosterních dřevin. Metoda hodnocení funkčního stavu větrolamů a jejich uspořádání je blíže popsána v metodikách Podhrázská *et al.* (2008, 2021). V letech 2017–2021 probíhal podrobný průzkum a hodnocení funkčního stavu větrolamů v cílem tento metodický postup verifikovat a aktualizovat. Na základě výsledků provedeného průzkumu 117 stávajících a 74 nově založených větrolamů převážně na jižní Moravě byla dosavadní metoda hodnocení větrolamů pro potřeby jejich doplnění, rekonstrukce či obnovy rozšířena a doplněna o další parametry, které vycházejí ze standardních dendrologických postupů pro hodnocení jednotlivých dřevin.

Nově implementovanými hodnotícími kritérii jsou věkové stádium, vitalita a perspektiva. Tyto údaje vychází ze standardního hodnocení stromů užívaného pro soupis stromů či dendrologický průzkum (SPPK A01 001 Hodnocení stavu stromů – Standardy péče o přírodu a krajinu, AOPK ČR). Pro účely hodnocení kosterních dřevin v porostu větrolamu jako celku byly však zobecněny a zjednodušeny. Hodnocení je do určité míry subjektivní a vyžaduje zkušenost a nadhled hodnotitele. Přitom platí, že rekonstrukci, obnovu či zakládání větrolamů na lesním pozemku, což je u stávajících větrolamů převládající stav, je nutno provádět s vazbou na lesnickou legislativu (lesní zákon č. 285/1995 Sb., a prováděcí vyhlášky č. 83 a 84/1996 Sb.), z které vyplývají postupy zakládání a údržby lesa.

Věkové stádium

Jedná se o hodnocení fyziologického stáří převažující části kosterních dřevin ve větrolamu. V systému hodnocení větrolamů dle met. Podhrázská *et al.* (2008) byl zohledněn pouze věk. Odhad věku je většinou zatížen značnou chybou a jeho přesné určení je možné pouze s využitím laboratorních metod nebo ze záznamů o výsadbě. Věkové stádium je rozděleno do 5 kategorií:
Mladé stromy ve fázi aklimatizace: Semenáče s výškou do 1 m odrůstající konkurenci trav a keřů nebo nově vysazené stromy ve fázi procesu ujímání.
Aklimatizované mladé stromy: Mladé ujaté stromy ve fázi utváření architektury koruny do doby ukončení provádění výchovného řezu.
Dospívající stromy: Dospívající jedinci s trvající preferencí výškového přírůstu.
Dospělé stromy: Dospělé stromy s většinově ukončenou fází zřetelného výškového přírůstu.
Senescentní stromy: Stromy vykazující známky senescence, obvodové odumírání korun s nahrazováním asimilačního aparátu vývojem sekundárních obrostů níže v korunách, patrné známky osídlení dalšími organismy, podíl odumřelého a rozkládajícího se dřeva v korunách a častá přítomnost prvků se zvýšeným biologickým potenciálem.

Vitalita

Vitalita stromu charakterizuje jedince z pohledu dynamiky průběhu jeho fyziologických funkcí. Jedná se o dynamický parametr, který se může se měnit v průběhu vegetace, a to oběma směry. Je též vtažena opět na převažující část kosterních dřevin ve větrolamu. Vitalita je rozdělena do 5 kategorií.

1. Výborná až mírně snížená (hustě olistěné kompaktní koruny bez známek prosychání).
2. Zřetelně snížená (stagnace růstu, prosychání korun na jejich periferních).
3. Výrazně snížená (začínající ústup korun, odumřelé vrcholy korun).
4. Zbytková vitalita (větší část koruny odumřelá).
5. Suché stromy (zcela odumřelí jedinci).

Perspektiva
Dalším novým hodnotícím prvkem je perspektiva. Tento parametr udává souhrn dvou pohledů na strom. Jedná se o jeho stav a jeho vhodnost na daném stanovišti. Charakterizuje zjednodušeně délku svojí existence na daném stanovišti. Perspektiva se hodnotí podle 3 kategorii:
Dlouhodobě perspektivní: porost na stanovišti je vhodný a udržitelný v horizontu desetiletí.
Krátkodobě perspektivní: porost na stanovišti je dočasně udržitelný, případně ve stavu, kdy nelze očekávat dlouhodobou perspektivu.
Neperspektivní: porost na stanovišti je nevhodný, případně s velmi krátkou předpokládanou dobou přežití.

S využitím uvedených charakteristik (věkové stádium, vitalita, perspektiva), lze snáze a zodpovědněji definovat naléhavost potřeby obnovy či ošetření stávajících větrolamů. Dosavadní hodnotící tabulka v metodice Podhrázská *et al.* (2008) byla proto doplněna o funkční parametr A-5 – perspektiva (Tab. VII), kterým lze při určitém zjednodušení hodnotit celkový zdravotní stav větrolamu a jeho další předpokládaný vývoj. V závislosti na tom byla provedena aktualizace použitého postupu a upraveno bodové hodnocení viz Tab. IX.

3.5 Metody rekonstrukce/obnovy větrolamu

Až do roku 2007 obnova větrolamů prakticky neprobíhala. Možnost podpory v OPŽP 2007–2013 iniciovala projekty obnovy kriticky ohrožených větrolamů. Za programové období (2007–2013) bylo obnoveno na jižní Moravě 60 ha větrolamů v nejhorším stavu. Obnova byla zaměřena na změnu druhové skladby, kdy základní dřevinou hlavního patra byl stanoven dub zimní. Do středního a keřového patra byly zvoleny vhodné druhy původních dřevin. Obnova je proces nahrazování starého porostu za nový. Při obnovování je vhodné vyhodnotit, jestli předchozí porost byl vhodný pro dané stanoviště, plnil správnou funkci a na základě toho navrhnout nový.

3.5.1 Způsoby obnovy větrolamu

Vykácením celého prvku
(holosečná obnova) a vysázením úplně nového. Takový způsob je nejjednodušší a vhodný, když většina dřevin prvku je silně poškozených a není důvod je ponechávat. V některých případech lze zachovat a řezem zmladit druhově vhodné keřové pásy po okrajích porostu. Obnovy větrolamů na lesní půdě provádí nejčastěji příslušná Lesní správa. Po odstranění porostu je nejčastěji provedeno frézování kořenů a pařezů se zapravením štěpky do půdy. Následně je provedena výsadba.

Rekonstrukcí
(postupné nahrazení jednotlivých částí, či jednotlivých dřevin vedoucí k opětovnému nabytí ztracené funkčnosti prvku). V případech, kdy část větrolamu je zdravá s vysokou vitalitou a perspektivou a část je poškozená s nízkou vitalitou není nutná obnova celého prvku. V takovém případě je vhodné zjistit důvod proč tomu tak je, a obnovit pouze poškozenou část. V případě rekonstrukce celého prvku, který má alespoň krátkodobou perspektivu, je možné prvek nahrazovat buď plošně postupně po dílčích úsecích (úsek cca 20–50 m) v několika etapách, nebo v případě prvků s dostatečnou šířkou a založením v dodnes patrných řadách provádět rekonstrukci výběrem a nahrazením jedné nebo více řad podle šířky řad a prvku. Další možný přístup rekonstrukce prvku výběrem je dosadba přímo ve stávajícím porostu. Principem je odstranit poškozené staré a neperspektivní dřeviny a ponechat dřeviny kvalitnější a perspektivní, zdravé a vitální, které budou tvořit ochranu novým sazenicím. Je třeba dbát na to, aby prostor vytvořený pro novou generaci dřevin poskytoval vhodné podmínky pro jejich existenci (dostatek světla, omezená kořenová konkurence stávajících dřevin). Při růstu nových sazenic je potřeba postupně uvolňovat prostor a vždy po nějakém čase odstranit dřeviny, u kterých se zhoršil stav nebo které omezují růst mladých kvalitních stromů. Postupně tak vznikne prvek věkově diferencovaný se zastoupením všech etáží. Jedná se o způsob obnovy časově a organizačně náročnější, ale nejpřínosnější a méně nákladný ve srovnání s plošnou obnovou, či se založením prvku nového.

Je třeba si uvědomit, že obnova funkčnosti větrolamu je kontinuální proces spočívající v dlouhodobé pěstební péči, což u velkého množství větrolamů bohužel není pravidlem. Větrolamy bez pravidelné, dlouhodobé pěstební péče často postrádají svoji hlavní funkci, jsou v krajině nevzhledné a pro volně žijící zvěř a člověka nebezpečné.

Tab. VII Hodnocení funkčního stavu větrolamů A. Kategorizace

A. Kategorizace liniového prvku:			
A-1 Parametry prostorové (kvantitativní úroveň), kritérium – typ prvku			
A-1.1.	1–2 linie dřevin (keřů),	šířka do 7 m	1
A-1.2.	více liniový	šířka nad 15 m	2
A-1.3.	více liniový	šířka do 15 m	3
A-2 Parametry zastoupení druhů dřevin a keřů[1]			
A-2.1.	zastoupení základních a doplňkových dřevin do 30 %		1
A-2.2.	zastoupení základních a doplňkových dřevin 50–31 %		2
A-2.3.	zastoupení základních a doplňkových dřevin nad 51 %		3
A-3 Parametry horizontálního uspořádání dřevin a keřů[2]			
A-3.1.	mezernatost (nefunkčnost) porostu přesahuje 50 % plochy		1
A-3.2.	mezernatost (nefunkčnost) porostu do 30 % plochy		2
A-3.3.	mezernatost (nefunkčnost) porostu do 10 % plochy		3
A-4 Parametry vertikálního uspořádání dřevin a keřů			
A-4.1.	funkční dřevinné patro zastoupeno do 50 %		1
A-4.2.	funkční 1 etážové dřevinné patro zastoupeno více jak 50 %		2
A-4.3.	funkční etážová struktura více jak 50 %		3
A-5 Parametry stavu prvku a jeho vhodnost na daném stanovišti			
A-5.1.	neperspektivní - porost na stanovišti nevhodný		1
A-5.2.	krátkodobě perspektivní - porost na stanovišti dočasně udržitelný		2
A-5.3.	dlouhodobě perspektivní, na stanovišti udržitelný v horizontu desetiletí		3

Tab. VIII Hodnocení funkčního stavu větrolamů B. Kategorizace

B. Kategorizace systému OLP v krajině			
B-1 Parametry vymezující vzdálenosti rozmístění prvků v systému[3]			
B-1.1.	prvky nejsou uspořádány v systému		1
B-1.2.	prvky jsou uspořádány v systému neodpovídající optimu nad 50 %		2
B-1.3.	prvky jsou uspořádány v systému neodpovídající optimu do 30 %		3
B-2 Parametry začlenění prvků do terénu[4]			
B-2.1.	umístění prvků z více než 50 % není v souladu s morfologii terénu a směry větru		1
B-2.2.	umístění prvků z 31–50 % jsou vhodně začleněny do terénu		2
B-2.3.	umístění prvků je z více než 50 % optimálně situováno		3
B-3 Parametry krajinně-ekologické			
B-3.1.	prvky nemají parametry LBK do 30 %		1
B-3.2.	prvky mají z 31–50 % parametry LBK		2
B-3.3.	prvky mají z více jak 51 % parametry LBK		3

1 A-2 - (kvalitativní úroveň) – druhová skladba, struktura porostních typů, stupeň odlišnosti liniového prvku od modelu
2 A-3 - funkční typ liniového prvku (prodouvavý, neprodouvavý, poloprodouvavý)
3 B-1 - Kritéria odstupu prvků zpravidla v obdélníkovém schématu od 350–600 m, na těžkých půdách až 850 m, vedlejší pásy v ideálním poměru 1 : 4, kdy se dosahuje max. ekotonového efektu.
4 B-2 - Neopominutelným podkladem je digitální model terénu a znalosti o směrech větru

Tab. IX Upravené bodové hodnocení liniových prvků

Bodovací systém		Kategorizace	
		A. liniového prvku	B. systému OLP v krajině
3	funkční (doporučené)	12–15	8–9
2	podmíněně funkční	8–10	5–7
1	převážně nefunkční	5–7	3–4

V případě všech výše uvedených způsobů zásahů do stávajících prvků je potřeba v případě plošných zásahů v rámci sítě větrolamů zvážit vhodný způsob etapizace, aby nedošlo k plošnému odstranění stávajících prvků naráz. Je vhodné postupovat mozaikovitě, aby vždy zůstala zachovaná část porostu, která bude „krýt“ odstraněnou část prvku optimálně v převládajícím směru větru. Postupné kácení/obnovu je nutno provádět v odstupech nejméně 5–10 let. Takový postup s vhodným časovým odstupem má význam pro zachování, alespoň omezené funkčnosti systému větrolamů, či jednotlivých částí prvků.

3.5.2 Metody založení nového větrolamu

Základním předpokladem pro funkčnost vegetačního prvku jako odpovídající větrné bariéry jsou jeho prostorové možnosti a ty jsou mimo jiné dány šířkou pozemku:
Pozemky šíře menší než cca 5–7 m (často interakční prvky – aleje u polních cest)
- Bariéra s omezenou nebo žádnou funkcí větrné bariéry

Pozemky šíře cca 7–20 a více m (často biokoridory, nebo interakční prvky typu větrolam)
- Bariéra typu „prodouvavý větrolam“ (často nevhodně založený prvek ÚSES)
- Bariéra typu „poloprodouvavý větrolam“ (záleží na dalším vývoji porostu, lze ovlivnit)
- Bariéra typu „neprodouvavý větrolam“ (záleží na dalším vývoji porostu, lze ovlivnit)

Jako nevhodná a potenciálně nefunkční větrná bariéra se jeví výsadba jedné či dvou řad stromů ve výsadbovém sponu 5 m a více na pozemcích o šířce 15 m. Nesprávný, unáhlený a jednotný, značně zjednodušený postup realizace vegetačních prvků, bez náležité péče věnované rozlišení a zohlednění požadovaných funkcí jednotlivých typů prvků, vede k realizaci vegetačních prvků, které neplní svou funkci a zatěžují obec nepřiměřenými požadavky na pěstební péči často bez požadovaného výsledného efektu. Vlastní větrolam by podle běžně uváděných doporučení měl být tvořen 4 až 8 řadami stromů a 2–4 řadami keřů (ideálně po dvou řadách na okrajích). Počet řad závisí na jejich vzájemné vzdálenosti. Rozmístění jednotlivých druhů dřevin by mělo být ve skupinách, tj. mezi dřeviny základní jsou začleňovány skupiny dřevin doplňkových. Jednotlivé druhy keřů jsou střídány po skupinách. Z prostorového hlediska je optimální jsou-li cílové, dlouhověké dřeviny ve středu větrolamu, okraje jsou tvořeny méně vzrůstnými stromy a keři. Vzdálenost mezi dřevinami jednořadého větrolamu by neměla být větší než 2 m, nejvhodnější rozestup je 1,5 m (výsadbový spon).

V případě výsadby nových větrolamů, převážně na stávající orné půdě a na základě provedeného hodnocení stávajících větrolamů a nově provedených výsadeb, doporučujeme pracovat s následujícími předpoklady:
- Velmi pravděpodobně nebudou po ukončení povýsadbové péče probíhat žádné pěstební zásahy v porostu,
- z téhož důvodu není vhodné používat přípravné, respektive pionýrské dřeviny s předpokladem jejich nahrazení,
- je velmi pravděpodobné, že zvolený spon výsadeb je v důsledku absence probírek fakticky cílovým sponem,
- nepracovat primárně s formou zohledňující propustnost větrolamu (to více ovlivní šířka pozemku a výsadby),
- pokud to šířka pozemku určeného k výsadbě větrolamu umožní, nevysazovat dřeviny blíže než 3 m od hranice sousedního pozemku, je nutné pracovat se znalostí stanoviště, znalostí dřevin a vlastnosti stanoviště a dřevin promítnout do koncepce řešení formou vhodného uspořádání s cílem minimalizace pěstebních zásahů při využití autoregulačních principů zakládaného porostu,

- pracovat s pestrou druhovou skladbou zohledňující stanovištní podmínky – výběr dřevin odpovídající stanovišti přirozeného výskytu dřevin (doporučujeme zohledňovat geobiocenologické jednotky – STG), používat autochtonní materiál,
- pestrá druhová skladba porostu se promítne do přirozeného zastoupení jednotlivých etáží, a také může mít pozitivní vliv na přirozený vývoj věkové heterogenity porostu.

Popisovaná doporučení a postupy se týkají zakládání nových větrolamů mimo lesní pozemky (v případě větrolamů na lesní půdě - OLP je situace odlišná, jak je popsáno výše). Vzhledem ke skutečnosti, že výsadby větrolamů jsou navrhovány a realizovány především v teplejších a sušších lokalitách rovinatých, intenzivně zemědělsky využívaných nížin, kde mohou možné klimatické změny nároky na dřeviny ještě zesílit, doporučujeme zohlednit další požadavky, a to především:

- dosud intenzivně užívaná orná půda má jiné nároky na typ a formu použitých výpěstků pro výsadbu než lesní prostředí při obnově porostu,
- v prvních letech nezbytné povýsadbové péče je pravděpodobné a nutné uvažovat se zálivkou vysazených dřevin,
- stejně tak je nezbytné uvažovat o odplevelování výsadeb, kosení/ožínání,
- volba způsobu výsadeb a sponu výsadeb by měla zohlednit možnost minimalizace nákladné ruční práce nezbytnost zálivky a umožnit vjezd mechanizace do výsadeb.

Postup výsadbových prací na plochách dosud užívaných jako orná půda:

- plošné odplevelení a následná příprava půdy (ideálně orba, smykování, vláčení),
- oplocení pletivem o výšce cca 160 cm, s přerušením po cca 200 m (bariéra pro zvěř, pohyb mechanizace, přejezd větrolamu), brány vždy s přelezem,
- případná aplikace půdního kondicionéru (jeho účinnost není dlouhodobá, ale může výrazně omezit povýsadbový stres), lze použít i další látky (např. hydrosorbenty, mykorhizní preparáty),
- výsadba poloodrostků či odrostků a keřů dle schématu, výsadbového plánu,
- zálivka při a po výsadbě,
- kotvení stromů podle velikosti výpěstku (kůly ke všem stromům – též funkce signalizační při ožínání/kosení),
- ochrana proti okusu individuální (mechanicky nebo chemicky),
- mulčování výsadeb (kůrou, štěpkou),
- založení trávobylinného podrostu (základem je trávník snášející sucho a mulčování – ponechání rozemleté travní hmoty na ploše po sečení).

Minimální pěstební péče v následujících třech letech:

- lze doporučit dosadby neujatých dřevin,
- odplevelení, kosení/ožínání,zálivka podle potřeby, každý rok s klesající intenzitou.

4 POTENCIÁLNÍ OHROŽENOST ÚZEMÍ VĚTRNOU EROZNÍ SE ZOHLEDNĚNÍM VEGETAČNÍCH BARIÉR

Tato kapitola je implementační výslednicí dvou výše uvedených tematických pasáží „Potenciální ohroženost území větrnou erozí“ (Kap. 2) a Opatření proti větrné erozi (Kap. 3).

4.1 Výchozí stav

Náchylnost půd k věrné erozi se v reakci na měnící se klima zvyšuje, přičemž zásadním opatřením zmírňujícím její projevy zůstávají větrolamy a další vegetační bariéry. V současné době je snaha vracet liniovou zeleň do krajiny zejména prostřednictvím územních systémů ekologické stability, výsadbou lokálních biokoridorů a interakčních prvků realizovaných např. pozemkovými úpravami. Údržba, zakládání a rekonstrukce trvalé vegetace v zemědělské krajině je nedílnou součástí společné zemědělské politiky EU, která dlouhodobě usiluje o zajištění šetrného hospodaření s přírodními zdroji a trvale udržitelný rozvoj venkova. Investice do těchto aktivit by měly být směrovány cíleně, ve snaze dosáhnout maximálního efektu při eliminaci definovaných rizik. Právě na územní systémy ekologické stability a celkové zlepšení stavu zemědělské krajiny je zacíleno také nařízení EU na Obnovu přírody. Evropská komise zveřejnila návrh tohoto nařízení Evropského parlamentu a Rady Evropy o obnově přírody v červnu 2022. Přináší tím legislativní nástroj k naplňování Strategie EU v oblasti biologické rozmanitosti 2030 (EC, 2020) přijaté před dvěma lety, která obsahuje plán na obnovu přírody a je jedním z pilířů „Zelené dohody pro Evropu“ (The European Green Deal) (Pešout, 2020). Evropská komise tím plní svůj úkol vyplývající ze strategie předložit právně závazný návrh cílů v oblasti obnovy narušených ekosystémů.

Na základě informací o stávajících trvalých vegetačních bariérách a jejich vlivu na míru ohrožení území větrnou erozí je možné definovat prioritní oblasti, kde je účelné navrhovat a postupně realizovat ochranná opatření. Výsledky hodnocení poslouží k posouzení možnosti návrhu opatření ke zmírnění rizika větrné eroze ve vybraných územích.

4.2 Příprava vstupních podkladů

4.2.1 Mapa oblastí potenciálně ohrožených větrnou erozí – MPK

Mapové dílo vzniklo na základě nových poznatků o potenciálu ohroženosti těžkých půd (půdy s vysokým obsahem jílnatých částic) větrnou erozí a nových přístupů k hodnocení vlivu klimatických činitelů na výskyt větrné eroze u těchto půd. Pro stanovení faktoru ohroženosti těžkých půd byl zohledněn specifický vliv meteorologických podmínek v chladných obdobích roku. Jsou to zejména počet cyklů rozmrzání a následného zamrzání půdního povrchu (střídání teplot nad a pod bodem mrazu) a dále období, kdy je povrch půdy v určitém stupni vlhkosti (Mapa certifikovaná v roce 2014 v rámci projektu QJ1220054 – „Mapa potenciálního rizika ohrožení těžkých půd větrnou erozí na základě meteorologických podmínek v zimním období“; dále Kozlovsky Dufková, Podhrázská (2012); Podhrázská *et al.* (2014), Středová *et al.* (2015)). Půdní faktor ohroženosti lehkých půd (půdy písčité) byl převzat z materiálů Podhrázská *et al.* (2008), Janeček (2000). Poté byly informace o ohroženosti půd větrnou erozí doplněny o vliv klimatických údajů. Byly přitom využity nové poznatky o riziku výskytu přísušků a větrných podmínkách na území ČR. Klimatické údaje byly sestaveny z účelové databáze relevantních dat z vybraných meteorologických stanic, která byla poté regionalizována a syntetizována do jedné vrstvy. Syntézou vrstvy faktorů půdních a klimatických byla vytvořena nová mapa oblastí potenciálně ohrožených větrnou erozí na podkladu půdně – klimatických faktorů. Kombinací faktorů ohroženosti orné půdy v katastrálním území a jejího plošného zastoupení v rámci k. ú. byla získána mapa vyjadřující míru potenciální ohroženosti jednotlivých k. ú. Postup tvorby nového mapového díla je uveden v metodice Doležal *et al.* (2017). Detailní postup tvorby mapy MPK byl popsán v kapitole 2.

4.2.2 Celorepubliková databáze trvalých vegetačních bariér

K nejúčinnějším opatřením proti větrné erozi patří trvalé bariéry. Mohou to být umělé větrné zábrany nebo úzké pruhy trvalé dřevinné vegetace – větrolamy, ochranné lesní pásy. Trvalé lesní porosty, tzv. ochranné lesní pásy (OLP) – větrolamy, patří k nejúčinnějším opatřením proti větrné erozi. Podstatou jejich účinku je snížení rychlosti větru v určité vzdálenosti před a za větrolamem a snížení turbulentní výměny vzdušných mas v přízemních vrstvách. V dnešní době se stále více dostává do popředí

i ekologický význam větrolamů. Jsou náhradou za zlikvidovanou roztroušenou zeleň při vytváření velkých půdních celků, ovlivňují mikroklima lokality, mají význam estetický a krajinotvorný.

V hodnocení níže se prolínají pojmy OLP a větrolamy. OLP představují prvky, které jsou identifikované z databáze Ústavu pro hospodářskou úpravu lesů (ÚHÚL), kde jsou tyto prvky vedeny jako lesy se zvýšenou funkcí půdo-ochrannou, na lesní půdě. Prvky označené jako větrolamy jsou všechny další prvky s primární protierozní funkcí mimo lesní půdu. Pro účely této metodiky jsou oba uvedené typy prvků dále označeny jen jako větrolamy.

Tvorba vrstvy celostátní databáze stávajících vegetačních bariér byla započata v rámci výzkumného projektu QJ1220054 a následně byla aktualizována v rámci projektu QK1710197 s cílem následného využití pro modelování ochranných zón vegetačních bariér a hodnocení prostorového uspořádání liniových prvků v krajině. Pro tvorbu databáze vegetačních bariér byly využity dostupné databáze Ministerstva zemědělství (ÚHÚL, lesů České republiky, Ekologicky významné prvky z databáze LPIS), Ministerstva životního prostředí (nová výsadba větrolamů) a Základní báze geografických dat (ZABAGED). Kategorizace vegetačních bariér byla provedena na základě kritérií uvedených v metodických postupech Podhrázská *et al.* (2008), Podhrázská *et al.* (2011) a Doležal *et al.* (2017). Kritéria pro kategorizaci byla následující:

- Větrolam (včetně OLP) – poměr délky k šířce prvku je min. 4:1; šířka prvku max. 30 m (lokálně max. 50 m).
- Ostatní liniové vegetační bariéry (stromořadí, břehový porost) – poměr délky ku šířce prvku
- je min. 4:1; šířka prvku max. 6 m.
- Malé lesní celky – menší než 15 ha (lokálně 30 ha).

Pro naplnění účelu databáze byly identifikovány i prvky ostatních trvalých liniových vegetačních bariér (OVB), které svým účinkem zkracují nechráněnou délku pozemku. Po dokončení klasifikačního algoritmu bylo nad aktuální ortofotomapou (Obr. 32) provedeno časově náročné ověření správnosti zatřídění prvků pro k.ú. v kategoriích ohroženosti 5 (velmi vysoká míra rizika ohrožení), 4 (vysoká míra rizika ohrožení) včetně korekce jejich prostorového umístění. Paralelně byla provedena digitalizace prvků, které nebyly ve vstupních databázích obsaženy. Pro výsledné modelování ochranných zón byly identifikované vegetační liniové prvky zatříděny dle Tab. X).

Obr. 32 Příklad provedené korekce prostorového umístění OLP z databáze ÚHÚL. Fialové prvky před korekcí a oranžové prvky po korekci nad aktuální ortofotomapou (vlevo); Doplnění větrolamů (hnědá barva) mimo databázi ÚHÚL (vpravo).

Tab. X Kategorizace prvků v databázi vegetačních bariér pro potřeby modelování ochranných zón

KÓD	Název	Popiska	Charakter prvku	Ochranná zóna
1	Větrolam	V	Liniový	Ano
2	Stromořadí	S	Liniový	Ano
3	Břehový porost	BP	Liniový	Ano
4	Malé lesní celky	MLC	Plošný	Ne
5	Les	L	Plošný	Ne
6	Ochranný lesní pás	OLP	Liniový	Ano

Databáze identifikovaných a kategorizovaných vegetačních bariér byla konvertována do mapové vrstvy, resp. mapy s odborným obsahem „Mapa účelové kategorizace trvalých vegetačních prvků v územích ohrožených větrnou erozí“ Kučera *et al.* (2021a) (Obr. 36).

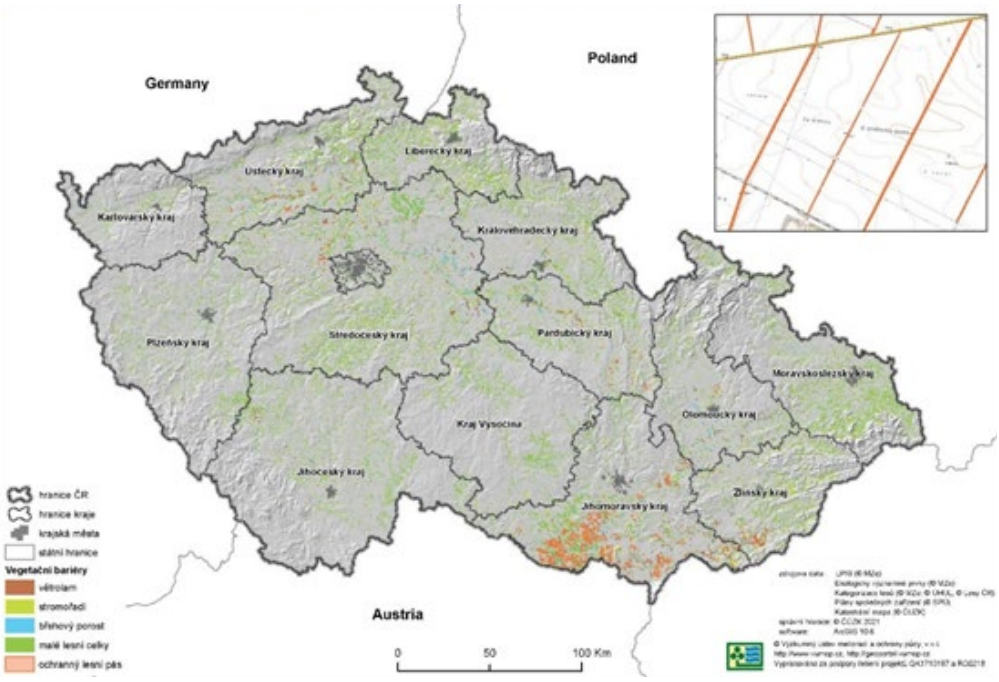
Potenciálními uživateli databáze, resp. mapové vrstvy je širší skupina uživatelů, zejména však odborná veřejnost zabývající se ochrannou půdy před erozí, např. projektanti pozemkových úprav, odborníci ze státní správy či tvůrci koncepčních a metodických pokynu pro zemědělskou praxi.

Hlavní přínos spočívá zejména v tom, že na základě informací o trvalých vegetačních bariérách a jejich vlivu na míru ohrožení území větrnou erozí je možné definovat prioritní oblasti, kde je účelné navrhovat a postupně realizovat ochranná opatření. Výsledky hodnocení slouží i k posouzení možnosti návrhu opatření ke zmírnění rizika větrné eroze ve vybraných územích.

Obr. 33 Příklad vegetační bariéry typu větrolam – foto P. Karásek

Obr. 34 Příklad vegetační bariéry typu stromořadí (nově založené) – foto J. Kučera

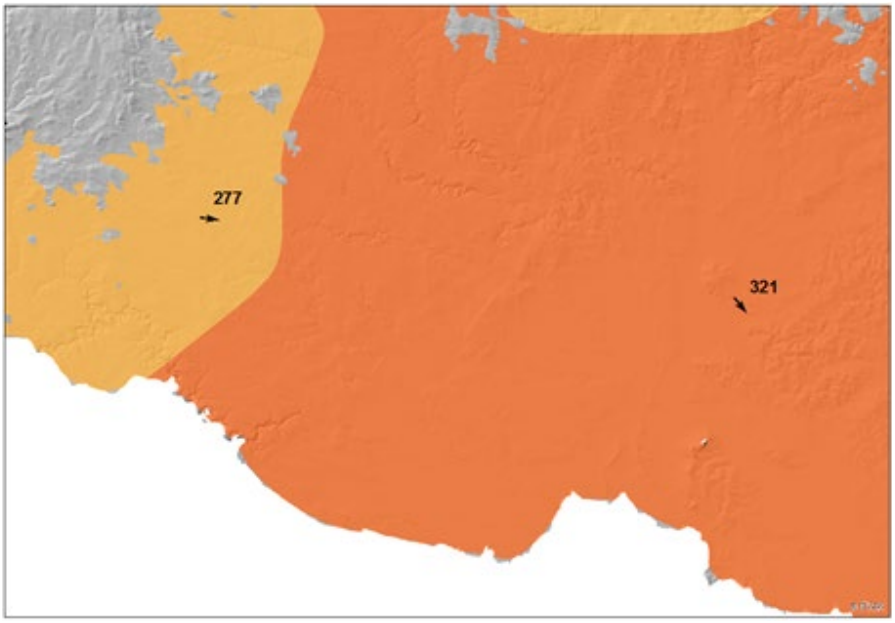
Obr. 35 Příklad vegetační bariéry typu břehový porost – foto P. Karásek



Obr. 36 Mapa účelové kategorizace trvalých vegetačních prvků v územích ohrožených větrnou erozí (Kučera *et al.*, 2021a)

4.2.3 Oblasti vymezující působení nejvýraznějších erozně nebezpečných větrů

S využitím poznatků a datových podkladů z výzkumných projektů QJ1220054, QK1710197 byly vytvořeny zóny převládajících směrů větrů pro potřeby modelování rizika větrné eroze. Údaje o převládajícím směru větru byly získány od ČHMÚ formou vytvoření větrných růžic (8 sektorů). Zpracování bylo provedeno pro jarní a podzimní období v letech 2001–2019. Jedná se o období, kdy již byla na ČHMÚ (alespoň na části území) provedena automatizace měření. Konstrukce větrných růžic se týkala zásadně prvku Dmax/Fmax, tedy maximálního nárazu větru a jeho směru za 2 nebo 1 sekundu. Byl stanoven procentický podíl 15minutovek, respektive 10minutovek s nárazem větru nad 10 $m \cdot s^{-1}$ z celkového počtu měření (cca 136 tis. hodnot pro každou stanici).



Obr. 37 Ukázka oblastí vymezující působení nejvýraznějších erozně nebezpečných větrů

Relativním (percentuálním) vyjádřením výskytu vyšších rychlostí větru je eliminována rozdílná délka měření u jednotlivých stanic (možné výpadky v měření apod.). Prahová hodnota rychlosti větru 10 $m \cdot s^{-1}$ (měřeno ve výšce 10 m nad povrchem) vyplývá ze závěrů předchozích měření týmu, kdy bylo zjištěno, že přízemní rychlost větru je cca třetinová až poloviční oproti rychlosti větru v 10 m. Rychlost 3,3 $m \cdot s^{-1}$ (a větší) je potom minimální vlečná rychlost pro půdní částice na suché lehké půdě. Výsledný směr větrů byl dán výraznějším směrem větrů vybraného z jarního a podzimního období pro danou stanici. Výsledný nejvýraznější směr byl vztažen k oblasti, které charakterizovala příslušnost k dané stanici. Pro stanovení oblastí bylo využito interpolačních nástrojů v prostředí ArcGIS Desktop (ukázka Obr. 37). Jako podkladové vrstvy byly využity lokace stanic ČHMÚ a digitální model reliéfu 4. generace (DMR 4G, © ČÚZK).

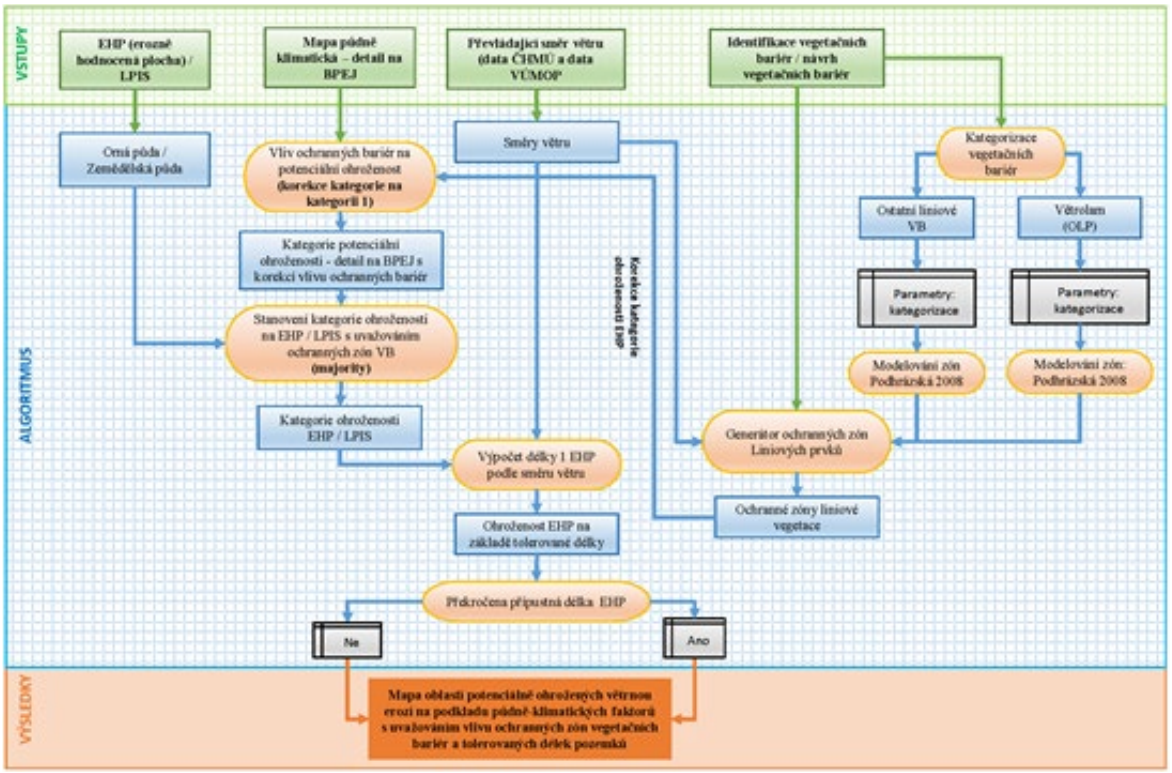
4.2.4 Erozně hodnocené plochy (LPIS – veřejný registr půdy)

Jako plošné vymezení erozně hodnocených ploch pro potřeby působení větrné eroze byly využity půdní bloky (dále jen PB) z databáze LPIS. Hodnocení bylo provedeno pro zemědělsky obhospodařované plochy. Důvodem výběru PB jako ploch pro aktualizaci vrstvy ohroženosti větrem je skutečnost, že jsou zřetelně odděleny od okolitých terénních prvků. To znamená že mezi sousedními PB je např. krajinní prvek, les, zastavěné území, silnice (se stromořadím), vodní tok nebo vodní plocha (s břehovým porostem). To jsou prvky, které mohou mít poměrně výrazný vliv na vznik a průběh větrné eroze. U dílu půdních bloků (DPB) toto pravidlo neplatí, protože mezi sousedními bloky nemusí existovat žádná překážka, která by mohla mít vliv na větrnou erozi. Použití DPB by způsobovalo problémy při výpočtu délky pozemků a vyhodnocení překročení maximálních tolerovaných délek pozemků.

PB – půdní blok je základní jednotkou evidence půdy LPIS o minimální výměře 0,01 ha (100 m^2). Představuje souvislou plochu zemědělsky obhospodařované půdy zřetelně oddělenou od jiných terénních prvků. U půdního bloku není evidován uživatel, ale pouze plocha, která splňuje podmínky pro evidenci. Teprve na ploše PB mohou zemědělci evidovat své pozemky.

4.3 Syntéza faktorů

Tato kapitola se věnuje popisu syntézy vrstev pro zohlednění ochranných zón vegetačních bariér a tolerovaných délek pozemků v erozní ohroženosti půd větrnou erozí. Zjednodušené implementační schéma řešení je na Obr. 38.



Obr. 38 Implementační schéma znázorňující postup tvorby mapy a které umožňuje tento postup implementovat do SW modulů při hodnocení erozních rizik a návrzích nových vegetačních bariér

4.3.1 Vyhodnocení oblastí potenciálně ohrožených větrnou erozí na podkladu půdně-klimatických faktorů

Detailní popis tvorby je popsán v metodice Doležal *et al.* (2017). Výstupem tohoto kroku byla vrstva potenciální ohroženosti vyjádřena v detailu na BPEJ v šesti kategoriích ohroženosti viz Tab. XI.

Tab. XI Doplňující tabulka pro popis kategorií ohroženosti

Kategorie (Stupeň) potenciální ohroženosti	Název (Popis) kategorie
1	bez ohrožení
2	půdy náchylné
3	půdy mírně ohrožené
4	půdy ohrožené
5	půdy silně ohrožené
6	půdy nejohroženější

Pozn. Čísla v závorkách odkazují na kategorie v Tab. X Kategorizace prvků v databázi vegetačních bariér pro potřeby modelování ochranných zón

4.3.2 Vyhodnocení vlivu ochranných zón vegetačních bariér na potenciální ohroženost větrnou erozí

Vstupní vrstvy:

- Oblastí potenciálně ohrožených větrnou erozí na podkladu půdně-klimatických faktorů.
- Ochranné zóny vegetačních bariér.
- Erozně hodnocené plocha / LPIS (PB) – zemědělské kultury.

Tab. XII Ochranné zóny větrných bariér

Potenciální ohroženost pozemku (kód)	Závětrná strana [m]	Návětrná strana [m]
Větrolam (1, 6)	300	100
Ostatní vegetační bariéry (2, 3)	150	50
Malé lesní celky (4) a les (5)	Nehodnoceno	Nehodnoceno

Pozn. Čísla v závorkách odkazují na kategorie v Tab. X Kategorizace prvků v databázi vegetačních bariér pro potřeby modelování ochranných zón

Tab. XIII Schéma pro uvažování vlivu vegetačních bariér na potenciální ohroženost větrnou erozí

Kategorie (Stupeň) ohroženosti	Kategorie potenciální ohroženosti s výskytem ochranné zóny	Kategorie potenciální ohroženosti bez výskytu ochranné zóny
1	1	1
2	1	2
3	1	3
4	1	4
5	1	5
6	1	6

Tab. XIV Kódové vyjádření kategorií (stupně) ohroženosti s rozlišením chráněných a nechráněných pozemků ochrannou zónou

Kategorie (Stupeň) ohroženosti	Kód chráněných pozemků ochrannou zónou	Kód nechráněných pozemků ochrannou zónou
1	10	10
2	10	20
3	10	30
4	10	40
5	10	50
6	10	60

Ke každé větrné bariéře v databáze vegetačních barier je vytvořena ochranná zóna v převládajícím směru větru, která představuje plochu chráněnou před účinky větrné eroze a dělí se na závětrnou a návětrnou stranu. Šířka ochranné zóny je určena na základě účinnosti větrné bariéry, která je stanovena podle typu vegetační bariery (Tab. XII), jak bylo podrobně popsáno v kapitole 4.2.2. Pro modelování ochranných zón byly vyčleněny vegetační bariéry liniového typu (ochranný lesní pás, větrolam, stromořadí a břehový porost).

Uvažovaný vliv vegetačních bariér se ve výsledné vrstvě projeví změnou kategorie potenciální ohroženosti na základě Tab. XIII. Tzn. Ohroženost části pozemku, která je chráněna větrolamem se sníží na kategorii 1. Větrolamy tedy snižují ohroženost na nejnižší možný stupeň. Pozemek, který není chráněn větrolamem, zůstává v původní kategorii ohroženosti.

Do výstupní mapy potenciální ohroženosti se vliv ochranných zón zanese, dle kódového označení uvedeného v Tab. XIV. Důvod zavedení kódového označení bude vysvětlen v další kapitole.

Po zahrnutí vlivu vegetačních bariér do vrstvy potenciálně ohroženosti větrnou erozí na podkladu půdně-klimatických bylo přistoupeno k vyhodnocení kategorie (stupně) potenciální ohroženosti na pozemky EHP/(LPIS(PB)). Vyjádření potenciální ohroženosti na pozemky EHP/(LPIS(PB)) bylo důležité z pohledu dalšího vyhodnocení tolerovaných délek pozemků. Výsledná kategorie potenciální ohroženosti byla stanovena jako převládající hodnota kategorie ohroženosti (majority/modus).

4.3.3 Vyhodnocení tolerovaných délek erozně hodnocených pozemků

Vstupní vrstvy:

- Oblasti vymezující působení nejvýraznějších erozně nebezpečných větrů.
- EHP s kategorií ohroženosti s uvažovanou ochrannou zónou vegetačních bariér.

Čím delší je území ve směru působení větru, tím se uvolňuje větší počet půdních částic a tím je odnos půdy větrem intenzivnější. V závislosti na náchylnosti půdy k erozi byla stanovena tolerovaná délka pozemku (Tab. XV) v převládajícím směru větru. Pro stanovení překročené délky pozemku bylo využito vrstvy oblastí vymezující působení nejvýraznějších erozně nebezpečných větrů a erozně hodnocených ploch. Na Obr. 39 je uveden příklad hodnocení dílu půdního bloku s vyznačeným převládajícím směrem větru a stanovenou ochranou zónou větrolamu a maximální délkou pozemku.

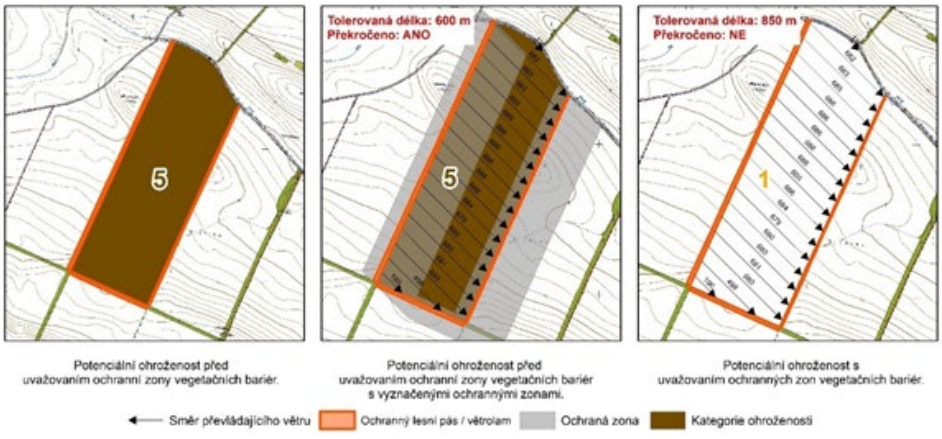
Do výstupní mapy potenciální ohroženosti bylo hodnocení tolerovaných délek pozemků zaneseno, dle kódového označení uvedeného v Tab. XVI. Tato tabulka ukazuje zatřídění jednotlivých kódových označení do konečné kategorizace potenciální ohroženosti pozemku vyjádřeného v šesti stupních ohroženosti. Důvodem zavedení kódového označení je možnost rozlišení, který faktor způsobuje ohroženost území větrnou erozí. Z kódové označení je na první pohled zřejmé, jak je území ohroženo a proč tomu tak je. Např. kód 10 znamená, že území je neohroženo, nebo se nachází v ochranné zóně vegetační bariery. Kód 30 znamená, že území je mírně ohroženo z hlediska půdy

Tab. XV Maximální tolerovaná délka pozemku – Podhrázská *et al.* 2008

Potenciální ohroženost pozemku	Tolerovaná délka [m]
1–4	850
5	600
6	350

Tab. XVI Kódové vyjádření kategorií (stupně) ohroženosti s rozlišením nepřekročené a překročené tolerované délky pozemků

Potenciální ohroženost pozemku	Nepřekročeno	Překročeno
1	10	11
2	20	21
3	30	31
4	40	41
5	50	51
6	60	61

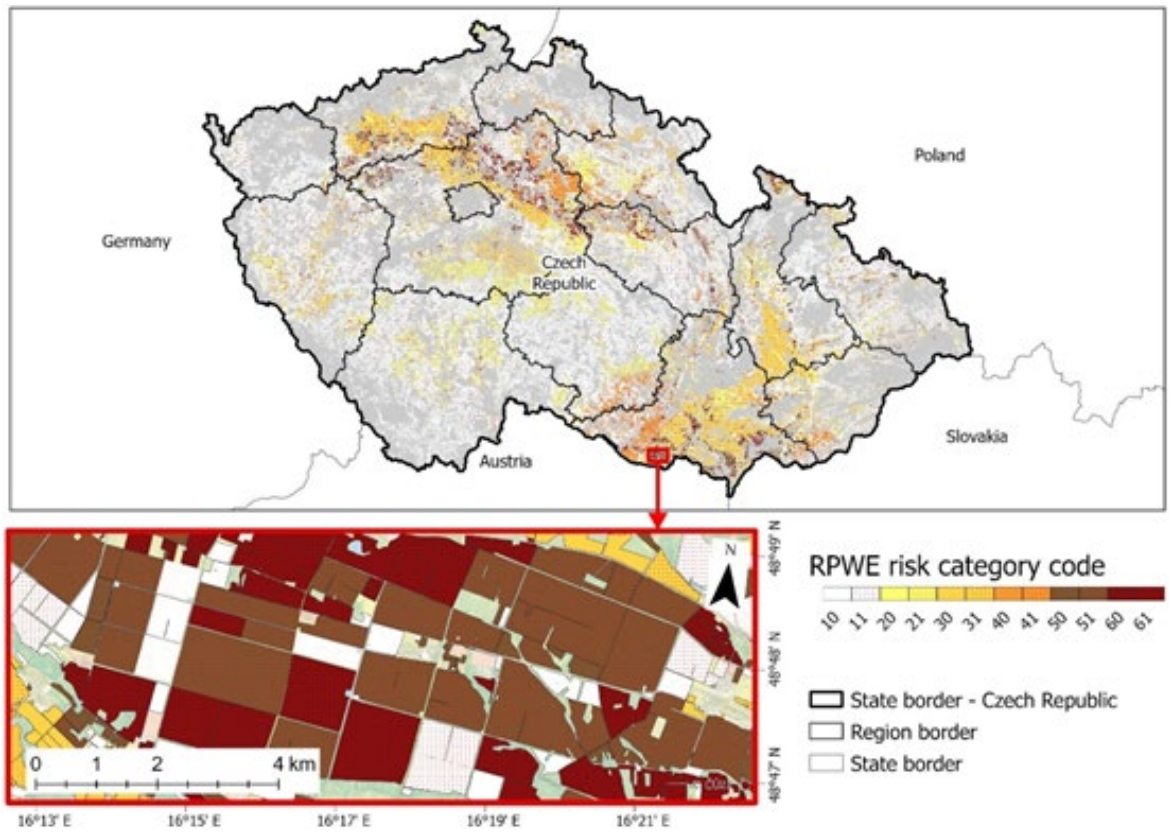


Obr. 39 Ukázka přehodnocení kategorie erozní ohroženosti na půdním bloku (EHP) při zahrnutí vlivu vegetačních bariér

a klimatu, není chráněno vegetační barierou, ale z hlediska délky je v limitu (není překročena maximální tolerovaná délka). A nakonec kód 61 znamená, že na daném území jsou z hlediska větrné eroze všechny faktory nepříznivé. Území je nejohroženější z hlediska půdních a klimatických faktorů, není chráněno větrnou barierou a navíc, je příliš dlouhé (maximální tolerovaná délka je překročena). To je výhodné zejména pro následné nastavení protierozních opatření.

Tab. XVII Popis kódu celkové ohroženosti zemědělských půd větrnou erozí

Kód kategorie ohroženosti	Popis
10	Bez ohrožení, nebo chráněné větrnou bariérou
20	Půdy náchylné, nechráněné ale z hlediska délky v limitu
30	Půdy mírně ohrožené, nechráněné ale v limitu
40	Půdy ohrožené, nechráněné ale v limitu
50	Půdy silně ohrožené, nechráněné ale v limitu
60	Půdy nejohroženější, nechráněné ale v limitu
11	Bez ohrožení, nechráněné a příliš dlouhé
21	Půdy náchylné, nechráněné a příliš dlouhé
31	Půdy mírně ohrožené, nechráněné a příliš dlouhé
41	Půdy ohrožené, nechráněné a příliš dlouhé
51	Půdy silně ohrožené, nechráněné a příliš dlouhé
61	Půdy nejohroženější, nechráněné a příliš dlouhé



Obr. 40 Mapa oblastí potenciálně ohrožených větrnou erozí na podkladu půdně-klimatických faktorů s uvažováním ochranných zón vegetačních bariér (Kučera *et al.*, 2021b)

Výsledkem těchto postupných kroků je mapa, v níž je zohledněn vliv existujících vegetačních bariér formou redukce stupně ohroženosti dané lokality větrnou erozí (Obr. 39). Mapa rozlišuje pozemky EHP/(PB) s překročenou a nepřekročenou tolerovanou délkou pozemku. Popis kódového označení kategorii ohroženosti ve výsledné mapě celkové ohroženosti zemědělské půdy větrnou erozí je v Tab. XVII.

Výsledkem je certifikované mapové dílo v rozsahu celé ČR s rozlišením rastrů 5 × 5 m, zmapované na digitální model reliéfu 4. generace (DMR 4G, © ČÚZK). Mapa je dostupná online na geoportálu VÚMOP prostřednictvím interaktivní webové aplikace „Řízení rizika větrné eroze“. Datové podklady byly vytvořeny zejména pro potřeby Územně analytických podkladů (ÚAP) a pro potřeby v procesu Komplexních pozemkových úprav. Jelikož v celorepublikovém měřítku bylo nutno datové podklady o vegetačních bariérách a převládajících směrech větrů do určité míry generalizovat, je při práci v lokálním měřítku, například při pozemkové úpravě, nutné tyto datové podklady zpřesnit, dle informací z terénního průzkumu, zaměření současného stavu a aktuálních údajů o povětrnostních podmínkách. Mapa tedy slouží jako základní vodítko pro bližší specifikaci nejvíce ohrožených území větrnou erozí.

5 VÝVOJ SOFTWAROVÝCH NÁSTROJŮ PRO VÝPOČET VĚTRNÉ EROZE

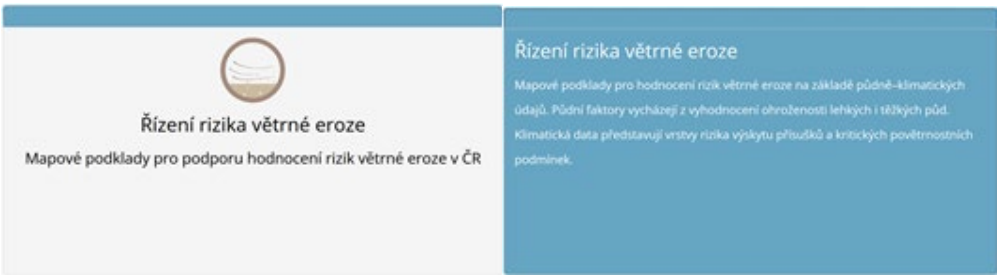
Následující kapitola prezentuje interaktivní webovou mapovou aplikaci „Řízení rizika větrné eroze“ na geoportálu SOWAC-GIS.

5.1 Výchozí stav

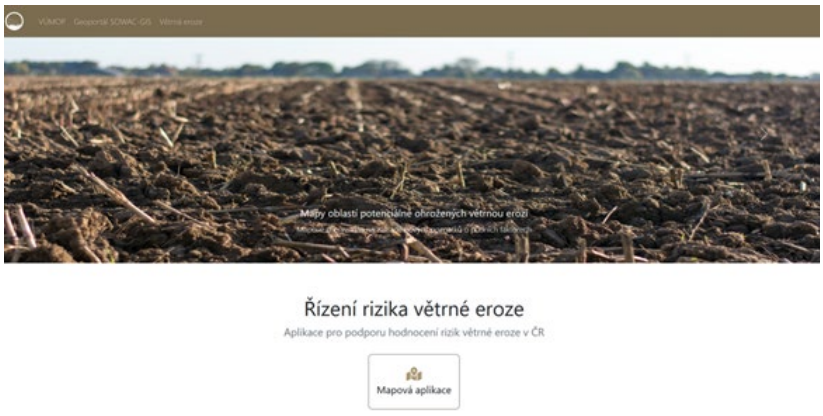
Vývoj automatizovaných metod zaměřených na řešení rizik větrné eroze v podmínkách ČR poněkud zaostával za technologiemi, vyvíjejícími se pro potřeby řešení eroze vodní. Potřeba usnadnit projekční řešení problematiky větrné eroze vzrůstala s tím, jak se povědomí o rostoucích hrozbách větrné eroze v souvislosti se změnami klimatu zvyšovalo. Dostupné byly pouze mapy potenciální ohroženosti větrnou erozí (online a GIS data), avšak bez možnosti využití dalších nástrojů pro podporu návrhů technických opatření proti větrné erozi (větrolamů a dalších vegetačních bariér) či další návrhové činnosti. Mapové podklady byly dostupné na geoportálu VÚMOP v aplikaci „Řízení rizika větrné eroze“. Datové vrstvy poskytoval VÚMOP a SPÚ na vyžádání. Proto byl výzkum v oblasti větrné eroze zacílen také na vytvoření softwarových nástrojů. V rámci výzkumného projektu QK1710197 byly vyvinuty dva softwarové nástroje pro podporu hodnocení rizika větrné eroze. V obou softwarech byly implementovány výsledky více než dvacetiletého výzkumu a vývoje v této oblasti ve Výzkumném ústavu meliorací a ochrany půdy, v.v.i. a spolupracujících subjektech (ČHMÚ, MENDELU, aj.). Vycházejí také z aktuálních poznatků problematiky ve světě a aplikují je na specifické podmínky ČR, zejména v oblasti podrobnosti a dostupnosti relevantních dat (BPEJ, klimatická data ČHMÚ, LPIS, databáze větrných barier).

5.2 Interaktivní webová mapová aplikace „Řízení rizika větrné eroze“ na geoportálu SOWAC-GIS

Na Geoportálu SOWAC-GIS (https://geoportal.vumop.cz) je přístupná webová prezentace podkladů pro podporu hodnocení rizik větrné eroze v ČR (Obr. 41).



Obr. 41 Grafika vstupního panelu na geoportálu SOWAC-GIS



Obr. 42 Úvodní stránka se vstupem do mapové aplikace

Obr. 43 Úvodní část webové aplikace s odkazem na metodiku „Zakládání a údržba větrolamů ve zhoršených pedoklimatických podmínkách“ (Podhrázská *et al.*, 2021)

Obr. 44 Úvodní část webové aplikace s odkazy na aktuálně dostupné datové podklady potenciální ohroženosti větrnou erozí a odkazy na další související metodické postupy

V rámci dřívějších projektů zaměřených na řešení větrné eroze byl ve VÚMOP vyvíjen modul WEM (Wind Erosion Model). První verze nástroje WEM vznikla jako samostatný toolbox pro software ArcGIS (ESRI). Jejím cílem bylo navrhnout, implementovat a otestovat nový výpočtový modul pro hodnocení účinnosti větrných barier (větrolamů). Byla tedy určena zejména pro potřeby vývojového a řešitelského týmu výzkumného projektu. V poslední době ale význam větrné eroze sílí. Proto vznikla i potřeba zpřístupnit modul WEM odborné veřejnosti a projektantům činným v protierozní ochraně. Funkcionalita WEM je proto implementována do webové mapové aplikace Řízení rizika větrné eroze (Obr. 42), do které jsou postupně doplňovány výstupy projektu a všechny relevantní informace k problematice větrné eroze.

V následujících obrázcích (Obr. 43 a Obr. 44) jsou prezentovány významné části webové aplikace „Řízení rizika větrné eroze“. Na Obr. 43 je zobrazena úvodní část webové aplikace s odkazem na metodiku „Zakládání a údržba větrolamů ve zhoršených pedoklimatických podmínkách“ (Podhrázská *et al.*, 2021), včetně popisu uplatnění metodiky. Obr. 44 prezentuje úvodní část webové aplikace s odkazy na aktuálně dostupné datové podklady potenciální ohroženosti větrnou erozí a odkazy na další související metodické postupy, které byly také popsány v úvodní části kapitoly.

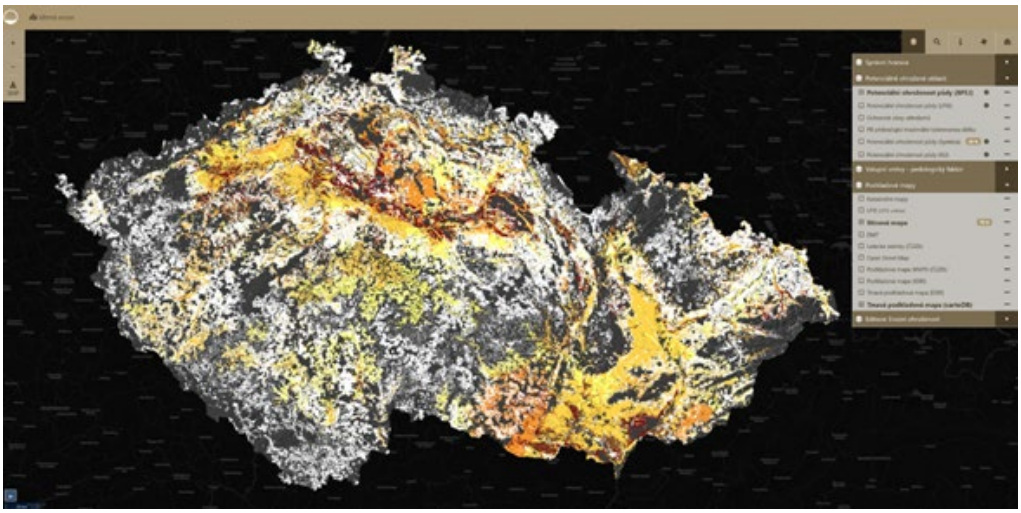
5.2.1 Mapová aplikace

Po vstupu do aplikace se uživatel dostane do mapového rozhraní (Obr. 45). V pravé části mapového okna se nachází ovládací panel se čtyřmi záložkami. V první záložce je strom mapových vrstev. Zde si uživatel může zobrazovat mapové vrstvy a seznámit se z jejich odborným obsahem. Vrstvy jsou pro vyšší přehlednost rozděleny do tematických skupin.

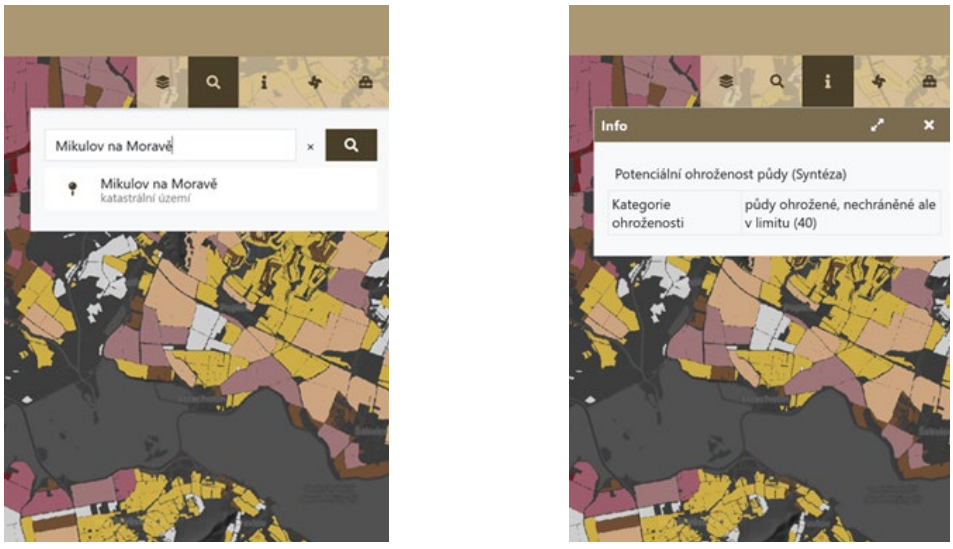
1. záložka
obsahuje strom mapových vrstev. Zde si uživatel může zobrazovat mapové vrstvy a seznámit se z jejich odborným obsahem. Vrstvy jsou pro vyšší přehlednost rozděleny do tematických skupin.

2. záložka
umožňuje vyhledávání správní jednotky.

3. záložka
zobrazuje výsledky prostorového dotazování, které umožňuje zjistit bližší informace o vybraném objektu v případě, že je vrstva dotazovatelná viz Obr. 46.



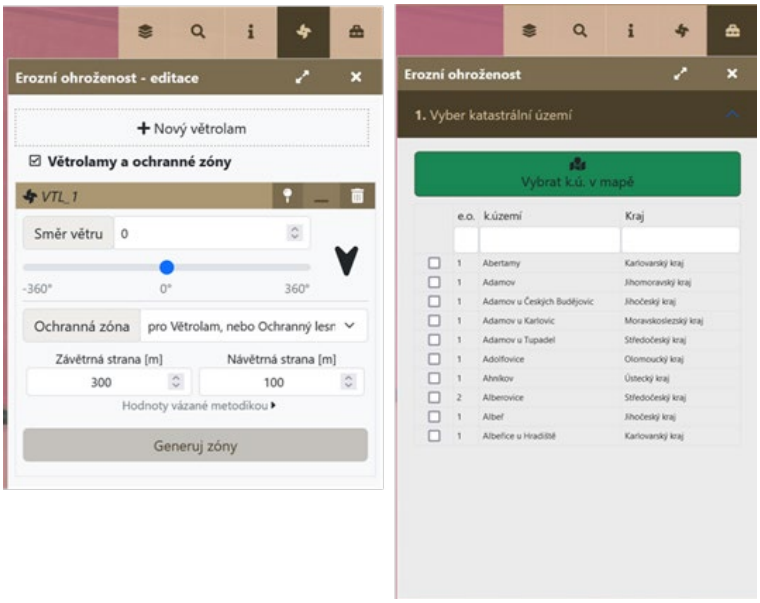
Obr. 45 Ukázka online dostupných mapových výstupů ve webové aplikaci



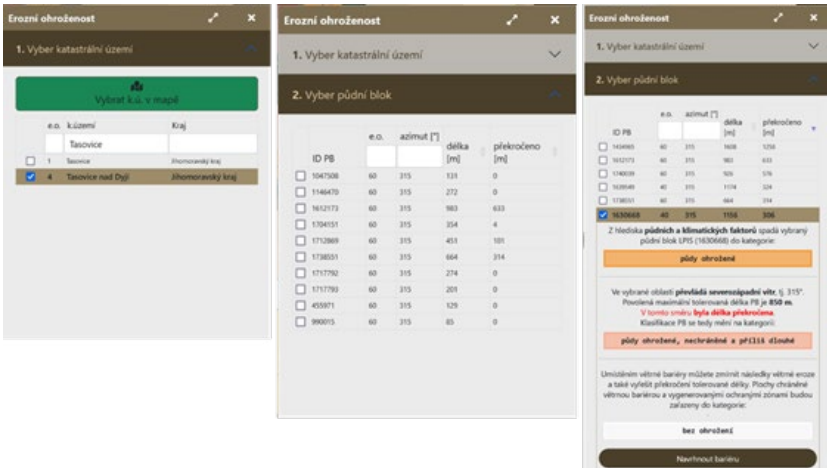
Obr. 46 Ukázka panelu vyhledávání (vlevo), ukázka výsledku dotazu (vpravo)

4. záložka
(Obr. 47) nabízí nástroj, který uživateli umožňují nakreslit vlastní větrolam, definovat směr převládajícího větru a nastavit jeho parametry. Na základě těchto vstupů uživatele pak modul vygeneruje příslušné ochranné zóny. V poslední páté záložce se nachází interaktivní modul „Erozní ohroženost“, který umožňuje modelovat vliv větrolamů o různých parametrech na erozní ohroženost pozemků. Uživatel tak může posoudit, jaký vliv na zvýšení ochrany pozemku bude mít realizace jednoho nebo více větrolamů.

Při práci s interaktivním modulem „Erozní ohroženost“ (Obr. 48) si nejprve zvolíme zájmové katastrální území (k.ú.). Po výběru zájmového k.ú. budou zobrazeny všechny hodnocené půdní bloky (PB) spadající k tomuto k.ú. Dalším krokem je výběr zájmového PB. Po výběru zájmového PB dostaneme detailní popis z hlediska potenciální ohroženosti PB větrnou erozí a zda daného PB došlo k překročení tolerované délky ve směru převládajícího směru větru. Výběr zájmového PB je vždy zobrazen v mapovém okně aplikace (Obr. 49).



Obr. 47 Ukázka pro vygenerování ochranné zóny vlastního větrolamu (vlevo), ukázka modulu erozní ohroženost (vpravo)



Obr. 48 Ukázka jednotlivých kroků při práci s interaktivním modulem „Erozní ohroženost“ (pátá záložka), výběr k.ú. (vlevo), výběr zájmového PB (uprostřed) a detail informace o vybraném PB (vpravo).

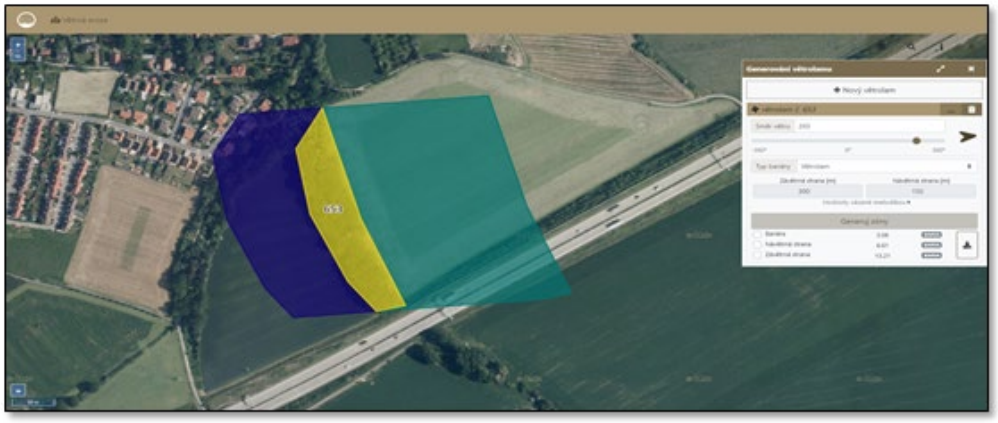
Obr. 49 Ukázka mapové aplikace po výběru zájmového PB

5.2.2 Generování větrolamu

Po kliknutí na tlačítko „+ Nový větrolam“ se aktivuje editace, která uživateli umožní nakreslit do mapy vlastní větrolam. Vytvořenému polygonu je přiřazen identifikátor a v bočním panelu se zobrazí možnosti zadání parametrů. Do kolonky „směr větru“ uživatel definuje převládající směr větru. Hodnotu lze rovněž navolit pomocí slideru pod textovým polem. Šipka vpravo rovnou indikuje směr větru podle zadané hodnoty, pro lepší přívětivost. Dalším nastavitelným parametrem je typ větrné bariéry. Zde jsou uživateli k dispozici tři možnosti: „větrolam“, „ostatní vegetační bariéry“ nebo „vlastní nastavení“ (Obr. 50). Volbou typu větrné bariery uživatel přímo ovlivní délku ochranné zóny na závětrné a návětrné straně větrolamu. Současná verze modelu WEM obsažená ve webové aplikaci generuje ochranné zóny podle metodiky Optimalizace funkcí větrolamů v zemědělské krajině, metodika VÚMOP, v.v.i. (Podhrázská *et al.*, 2008) a metodiky Řízení rizika větrné eroze, metodika VÚMOP, v.v.i. (Středová *et al.*, 2012 in Doležal *et al.*, 2017).

Po zadání uvedených parametrů modul WEM vygeneruje ochranné zóny uživatelského větrolamu a zobrazí je v mapě (Obr. 51). Uživatel si může navolit barvu vygenerovaných ochranných zón. Zóny se vygenerují stisknutím tlačítka „Generuj zóny“. Po vytvoření zón je možné stáhnout geometrii výsledných polygonů. Uživatel může vytvářet více než jeden větrolam a každému z nich nastavit jiné parametry. Větrolamy je také možné v bočním panelu minimalizovat pro lepší přehlednost v případě, že uživatel vytváří větrolamů více. Také je možné větrolamy mazat pomocí tlačítka s ikonou koše vpravo od názvu větrolamu.

Obr. 50 Ukázka vytvořeného větrolamu a rozhraní s parametry



Obr. 51 Větrolam s vypočtenými ochrannými zónami

Hlavním přínosem interaktivní webové aplikace je zpřístupnění všech relevantních a aktuálních podkladů pro hodnocení rizika větrná eroze v ČR. Dalším důležitým přínosem je zpracování v podobě mapové aplikace, která je uživatelsky přívětivá a jednoduchá. Třetím důležitým přínosem je možnost modelování větrolamů a jejich účinnosti, která pomůže najít vhodná řešení ochrany proti větrné erozi v konkrétních podmínkách.

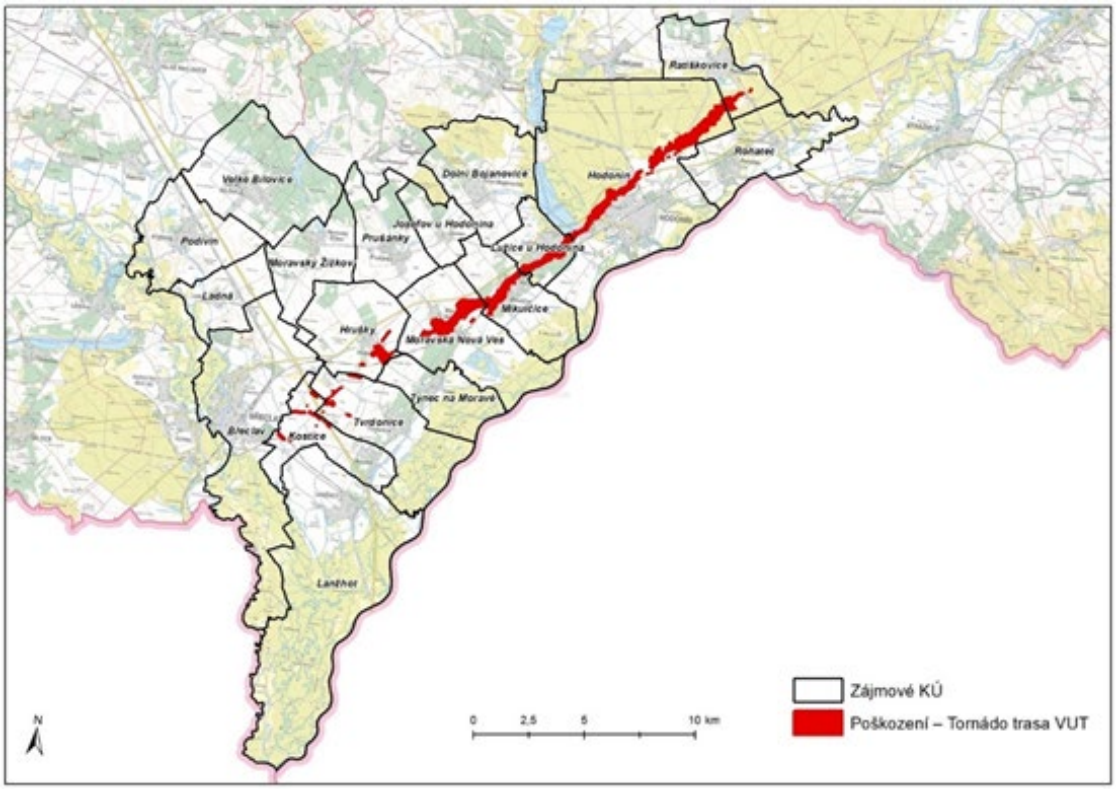
Webová aplikace je dostupná z: https://vetrnaeroze.vumop.cz

Metodika „Zakládání a údržba větrolamů ve zhoršených pedoklimatických podmínkách“ (Podhrázská *et al.*, 2021) je dostupná na stránkách knihovny VÚMOP, v.v.i (https://knihovna.vumop.cz/)

Metodika „Ochrana zemědělské půdy před erozí“ (Podhrázská *et al.*, 2024) je k dispozici na stránkách knihovny VÚMOP, v.v.i (https://knihovna.vumop.cz/)

6 PŘÍPADOVÁ STUDIE: VĚTRNÉ PRVKY JAKO DŮLEŽITÉ EKOSTABILIZAČNÍ A PŮDO-OCHRANNÉ PRVKY V KRAJINĚ JIŽNÍ MORAVY

Tato studie byla zaměřena na hodnocení potenciální ohroženosti větrnou erozí a liniových vegetačních prvků v katastrálních územích (dále jen k.ú.) zasažených tornádem 24. 6. 2021. Publikovaná studie vznikla na základě zakázky od Státního pozemkového úřadu, kterou v roce 2023 zpracoval „Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, v.v.i.“ Dále je publikována pouze zkrácená verze studie, která se věnuje problematice hodnocení větrné eroze. Celá oblast na Obr. 52, na kterou byla soustředěna tato studie, zahrnuje 19 katastrálních území v okrese Břeclav a Hodonín o rozloze 40 tis ha. Tornádo přímo zasáhlo 10 katastrálních území. Pro identifikaci ploch zasažených tornádem byly využity podklady Leteckého ústavu z Fakulty strojního inženýrství na Vysokém učení technickém v Brně (https://lu.fme.vutbr.cz/tornado-u-hodonina-vut-ortofoto/).



Obr. 52 Obvod studie s vyznačenými zájmovými k.ú.

6.1 Analýza území

V následujících kapitolách jsou popsány jednotlivé části analýzy území.

6.1.1 Terénní průzkum – hodnocení vegetačních bariér

V rámci průzkumu byl prozkoumám stávající stav převážné většiny větrolamů, ochranných lesních pásů, břehových porostů a stromořadí. Cílem tohoto průzkumu byla kategorizace těchto prvků s ohledem na funkci při ochraně proti větrné eroze – definováním jejich ochranné bariéry na návětrné a závětrné straně prvku. Vstupními podklady pro přípravu terénních průzkumů byla využita certifikovaná metodika „Zakládání a údržba větrolamů ve zhoršených pedoklimatických podmínkách“ (Podhrázská *et al.*, 2021) a mapa „Mapa účelové kategorizace trvalých vegetačních prvků v územích ohrožených větrnou erozí“ (Kučera *et al.*, 2021).

Celkem bylo vyhodnoceno 212 liniových trvalých vegetačních prvků typu větrolam a ochranných lesní pás. Dva prvky byly vyhodnoceny jako funkční (nejmenší zastoupení z hodnocených kategorií). Kategorie podmíněně funkční mala naopak největší zastoupení (137 prvků). Dále byly zastoupeny

Tab. XVIII Počet hodnocených prvků (větrolam, ochranný lesní pás) v databázi vegetačních bariér

Kategorie hodnocení	Počet
Funkční	2
Podmíněně funkční	137
Převážně nefunkční	49
Nefunkční (není)	13
Nově založený	11
Celkový součet	212

Obr. 53 Příklad převážně nefunkčního větrolamu poškozeného tornádem v k.ú. Tvrdonice – foto P. Karásek

Obr. 54 Příklad nefunkční větrolamu poškozeného tornádem v k.ú. Tvrdonice – foto P. Karásek

prvky z kategorie nefunkční (13 prvků) a nově založený (11 prvků) viz Tab. XVIII. Z hodnocení vyplývá, že v zájmovém území se nachází řada liniových vegetačních bariér s významnou protierozní funkcí. Z celkového počtu je však většina prvků hodnocena jako podmíněně funkční, převážně nefunkční a nefunkční. Tato skutečnost poukazuje na vysokou potřebu obnovy těchto prvků.

Na následujících obrázcích je znázorněn příklad převážně nefunkčního větrolamu poškozeného tornádem v k.ú. Tvrdonice (Obr. 53) a příklad nefunkční větrolamu poškozeného tornádem v k.ú. Tvrdonice (Obr. 54).

6.1.2 Analýza ohroženosti území větrnou erozí – stávající

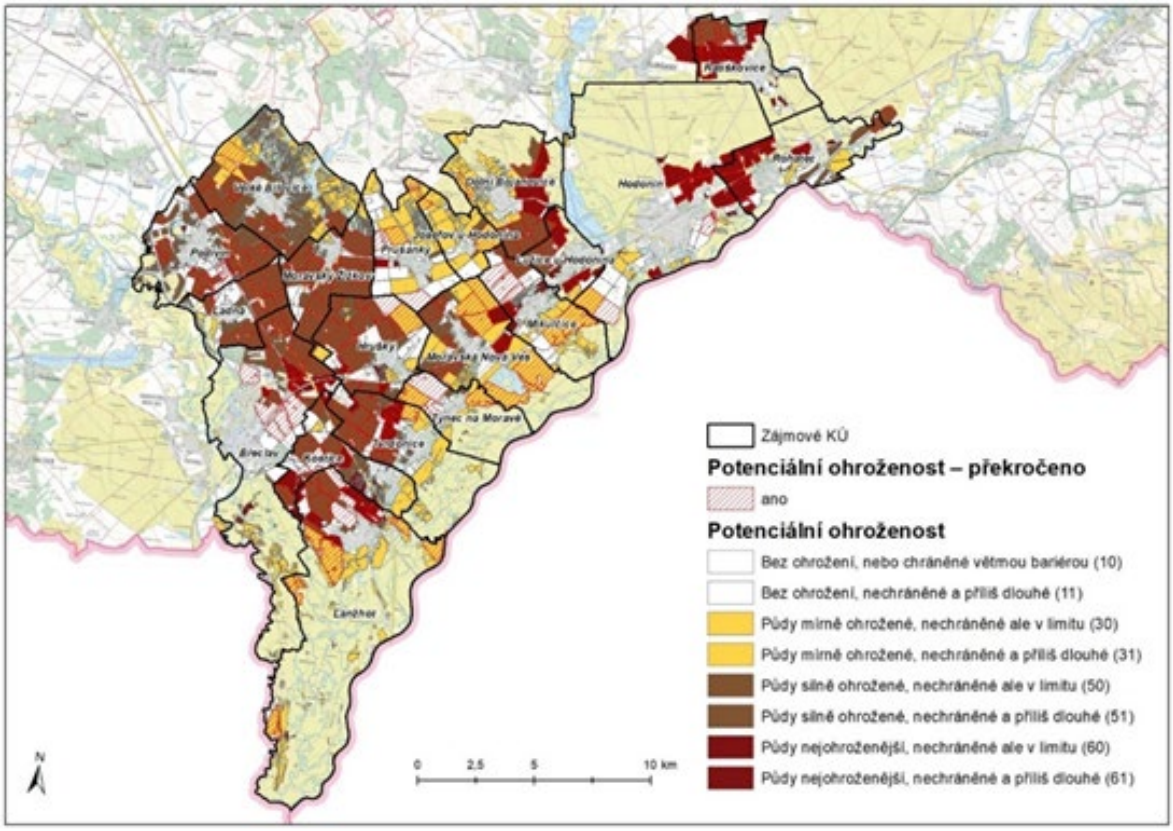
Pro analýzu celkové ohroženosti větrnou erozí bylo využito metodického postupu prezentovaného v metodice Podhrázská *et al.* (2021). Při hodnocení byla provedena syntéza následujících podkladů:

a) potenciální ohroženosti zemědělské půdy,
b) náchylnosti zemědělských pozemků, a
c) účinnosti ochranných vegetačních bariér.

Výsledná mapa tak zohledňuje:

1) vliv půdních vlastností lehkých a těžkých půd,
2) vliv stavu povrchu půdy (přísušky),
3) vliv klimatických a povětrnostních podmínek (větrné podmínky, opakované promrzání půdy),
4) vliv délky pozemků, a
5) vliv vegetačních bariér.

Výsledná mapa stupně ohroženosti s rozlišením nepřekročené a překročené tolerované délky pozemků je uvedena na Obr. 55. Procentuální zastoupení stupně ohroženosti s rozlišením nepřekročené a překročené tolerované délky pozemků pro zájmové k.ú. je uvedeno v Tab. XIX. Díky tomuto hodnocení byly identifikovány neohroženější půdní bloky větrnou erozí.



Obr. 55 Stupně ohroženosti s rozlišením nepřekročené a překročené tolerované délky pozemků

Tab. XIX Procentuální zastoupení stupně ohroženosti s rozlišením nepřekročené a překročené tolerované délky pozemků pro zájmové k.ú.

Okres/k.ú.	Kód kategorie ohroženost před návrhem (zohlednění překročení tolerované délky)								
	10	11	30	31	50	51	60	61	Celkový součet
Břeclav	12,0	6,8	14,7	10,3	13,0	36,5	1,5	5,2	100,0
Břeclav	14,5	21,7	11,8	0,0	9,7	31,1	3,8	7,5	100,0
Hrušky	17,3	5,2	4,2	8,4	9,0	49,8	1,2	5,0	100,0
Kostice	15,6	6,5	14,3	0,0	9,7	31,4	7,4	15,1	100,0
Ladná	18,1	1,1	3,6	0,0	12,7	64,5	0,0	0,0	100,0
Lanžhot	4,0	9,4	20,2	27,5	2,2	18,6	2,6	15,4	100,0
Moravská Nová Ves	10,4	0,7	22,7	36,5	6,5	16,8	0,0	6,5	100,0
Moravský Žižkov	9,1	0,0	6,3	0,0	10,8	73,8	0,0	0,0	100,0
Podivín	19,5	4,6	2,0	0,0	29,6	43,3	0,5	0,5	100,0
Tvrdonice	18,1	6,4	23,3	4,5	4,6	36,4	1,5	5,1	100,0
Týnec na Moravě	8,2	40,4	15,6	34,2	1,6	0,0	0,0	0,0	100,0
Velké Bílovice	3,5	0,0	27,0	6,2	31,4	31,9	0,0	0,0	100,0
Hodonín	15,1	7,7	29,7	10,1	4,0	11,3	3,0	19,1	100,0
Dolní Bojanovice	2,0	0,0	35,7	3,0	3,9	32,2	0,4	22,8	100,0
Hodonín	13,6	15,5	21,5	22,2	0,0	0,0	2,2	25,0	100,0
Josefov u Hodonína	15,1	0,0	60,5	17,6	6,8	0,0	0,0	0,0	100,0
Lužice u Hodonína	5,9	0,0	12,3	0,0	0,0	36,9	6,4	38,5	100,0
Mikulčice	12,5	20,8	29,0	20,1	1,4	8,8	4,5	3,0	100,0
Prušánky	33,2	11,7	43,8	7,7	1,4	0,0	0,5	1,7	100,0
Ratíškovice	6,3	0,0	0,0	0,0	7,5	28,1	15,1	43,0	100,0
Rohatec	20,6	0,0	13,4	0,0	14,4	3,8	1,9	45,8	100,0
Celkový součet	13,0	7,1	19,6	10,2	10,0	28,2	2,0	9,8	100,0

6.2 Výstupy studie

6.2.1 Návrh technických protierozních opatření (soustavy trvalých liniových vegetačních prvků)

Návrh technických protierozních opatření je zpracován jako komplexní systém prvků, chránících zájmové území před účinky procesů větrné eroze. Tento ucelený systém protierozních opatření působí jako polyfunkční opatření. Tedy nejenom chrání území před procesy a účinky větrné eroze, ale rozčleňuje krajinu, vytváří harmonickou mozaiku krajiny (pole/louky/les). Zlepšuje biodiverzitu, mikroklimatické podmínky dané oblasti, vláhovou bilanci, aj.

Zpracovaný návrh technických protierozních opatření je naprojektován v podrobnosti studie. Tedy jedná se o ideální komplexní návrh ochranných opatření, zpracovaný jako koncept řešení krajiny zájmových území.

Jednotlivé prvky protierozních opatření mají jasně danou polohu v rámci dotčených půdních bloků. Nicméně neřeší zcela průběh vlastnických parcel. V tomto detailu, při znalosti místních podmínek, a možnosti pozemkové úpravy – zejména dohodě projektanta, vlastníků, sboru zástupců, místní samosprávy, bude zpracován PSZ a návrh nového uspořádání pozemků.

Návrh technických opatření tvořily tyto prvky: větrolam a ostatní liniová vegetace (stromořadí). U návrhu prvku typu větrolam byl rozlišeno, zda byl větrolam navržen na parcelách ÚSES v územních plánech dotčených obcí. Při návrhu větrolamů byla uvažována optimální šířka pozemku 15 metrů. V případě návrhu ostatní liniové vegetace bylo počítání s šířkou parcely 6 metrů. Parametry byly voleny na základě doporučení v metodice Podhrázská *et al.* (2021).

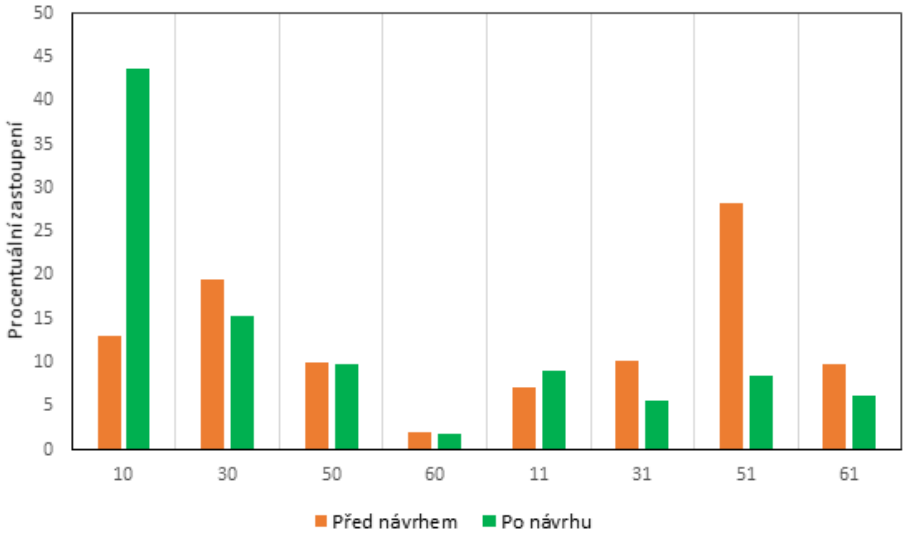
Tab. XX Celková tabulka návrhu technických protierozních opatření (soustavy trvalých liniových vegetačních prvků)

Název opatření	Počet prvků	Délka [km]	Šířka [m]	Plocha [ha]
Větrolam – ÚSES	59	37,2	15,0	55,8
Větrolam	202	117,1	15,0	175,7
Ostatní liniová vegetace (stromořadí)	252	111,2	6,0	66,7
Celkový součet	513	265,5		298,1

Celkem bylo navrženo 513 prvků. Z celkového počtu bylo 261 větrolamů a 252 prvků v kategorii ostatní liniová vegetace. Následující Tab. XX ukazuje celkový počet navržených technických protierozních opatření (soustavy trvalých liniových vegetačních prvků), včetně celkového záboru v ha. Návrhy větrolamů, které byly součástí ÚSES byly navrženy v celkové délce 37,2 km a plochou záboru 55,8 ha. Jedná se 59 prvků. Dále byly navrženy větrolamy v celkovém počtu 202 o délce 117,1 km a plochou záboru 175,7 ha. Opatření typu ostatní liniová vegetace byla navržena v celkové délce 111,3 km a plochou záboru 66,8 ha.

6.2.2 Vyhodnocení účinnosti navržených opatření

Po návrhu opatření byla přepočítána potenciální ohroženost větrnou erozí v zájmovém území (stávající). Účinnost navržených opatření se projeví ve výsledné návrhové mapě změnou plochy ochranné zóny. To má za následek snížení výměry ohrožené půdy. V následujících Tab. XXI, Tab. XXII a Obr. 56 bylo uvedeno procentuální zastoupení stupně ohroženost po návrhu se zohledněním tolerovaných délek pozemků. Jak bylo uvedeno v úvodním textu popisující metodiku stanovení ohroženosti území větrnou erozí, tak číslo jedna na druhé pozici čísla stanovující kategorii ohroženosti znamená překročení tolerované délky pozemku. Naopak nula znamená nepřekročená tolerovaná délka pozemku. Tab. 8 4 ukazuje porovnání procentuálního zastoupení stupně ohroženosti před návrhem a po návrhu zohledňující tolerované délky pozemků. V Tab. XXI bylo uvedeno procentuální zastoupení stupně ohroženosti po návrhu pro zájmové k.ú. se zohledněním tolerovaných délek pozemků. Z Tab. XXII je zřetelný výrazný nárůst nejnižšího stupně ohroženosti (10) po návrhu opatření z 13 % zastoupení na 43,6 % zastoupení. Na PB, u kterých i přes návrh technických protierozních opatření byla stále překročena tolerovaná délka pozemku, je doporučeno zvolit doplňují agrotechnická opatření pro minimalizaci erozního ohrožení.



Obr. 56 Grafické znázornění procentuálního zastoupení stupně ohroženosti před návrhem a po návrhu zohledňující tolerované délky pozemků

Tab. XXI Procentuální zastoupení stupně ohroženosti po návrhu pro zájmové k.ú. se zohledněním tolerovaných délek pozemků

Okres / k.ú.	Potenciální ohroženost po návrhu (zohlednění překročení tolerované délky)								
	10	**11**	**30**	**31**	**50**	**51**	**60**	**61**	**Celkový součet**
Břeclav	42,48	9,90	13,27	5,57	13,15	10,90	1,20	3,53	100,00
Břeclav	49,41	10,14	8,51	0,00	8,64	11,66	3,75	7,88	100,00
Hrušky	54,51	24,74	5,73	0,00	9,25	2,28	1,25	2,24	100,00
Kostice	44,51	19,98	12,81	0,00	5,20	4,17	5,05	8,28	100,00
Ladná	75,19	0,49	4,83	0,00	9,09	10,40	0,00	0,00	100,00
Lanžhot	48,59	4,82	22,81	14,40	1,75	3,36	0,72	3,56	100,00
Moravská Nová Ves	46,89	0,00	17,90	22,08	5,52	2,81	0,02	4,78	100,00
Moravský Žižkov	21,66	20,45	6,53	0,00	13,78	37,59	0,00	0,00	100,00
Podivín	37,69	9,98	0,05	0,00	33,39	17,99	0,91	0,00	100,00
Tvrdonice	40,84	10,82	23,26	0,05	7,01	5,19	1,56	11,28	100,00
Týnec na Moravě	48,04	18,99	14,65	15,81	2,04	0,47	0,00	0,00	100,00
Velké Bílovice	21,22	0,00	21,41	6,24	33,75	17,38	0,00	0,00	100,00
Hodonín	45,89	7,10	19,41	5,67	3,24	3,57	3,28	11,84	100,00
Dolní Bojanovice	35,86	0,00	32,33	2,62	3,88	4,02	0,15	21,15	100,00
Hodonín	38,51	31,73	13,81	0,00	0,00	0,00	2,28	13,66	100,00
Josefov u Hodonína	53,65	0,00	31,10	7,77	1,00	6,48	0,00	0,00	100,00
Lužice u Hodonína	60,81	0,00	6,66	0,00	0,00	0,00	10,88	21,65	100,00
Mikulčice	44,27	0,00	20,38	20,12	1,34	6,50	4,41	2,98	100,00
Prušánky	51,04	9,17	24,31	7,73	0,55	5,03	0,51	1,67	100,00
Ratíškovice	58,90	0,00	0,00	0,00	12,15	4,95	12,77	11,23	100,00
Rohatec	39,96	3,88	9,77	0,00	11,59	0,00	4,32	30,48	100,00
Celkový součet	43,58	8,99	15,26	5,60	9,94	8,52	1,87	6,22	100,00

Tab. XXII Porovnání procentuálního zastoupení stupně ohroženosti před návrhem a po návrhu zohledňující tolerované délky pozemků

Kód kategorie ohroženosti	Před návrhem	Po návrhu
10	13,0	43,6
30	19,6	15,3
50	10,0	9,9
60	2,0	1,9
11	7,1	9,0
31	10,2	5,6
51	28,2	8,5
61	9,8	6,2

7 KVALITATIVNÍ HODNOCENÍ PŮDNÍCH ČÁSTIC UNÁŠENÝCH VĚTREM

Větrná eroze půdy je jednou z hlavních příčin degradace půdy, která brání procesu udržitelného rozvoje zemědělství. Významných krokem ke zmírnění jejího nebezpečí je najít účinný a přesný způsob, jak posoudit její závažnost. Dosavadní text knihy se zabýval větrnou erozí z hlediska celoplošného potenciálního ohrožení. Reálným projevům eroze a stanovováním/měřením skutečné ztráty půdy je věnována následující pasáž. Monitoring větrné eroze v terénu je poměrně náročný. Pro verifikace/validace dosud vyvinutých modelů větrné eroze či ověření výpočtů intenzity větrné eroze dle rovnic je ale velmi důležitý. Během procesu větrné eroze spadne většina erodovaného materiálu poté, co se vznáší v určité výšce a vzdálenosti zpět. Velké množství dat lze proto získat umístěním zařízení na sběr materiálu na různá místa a do různých výšek monitorovacího místa. Ve 40. letech 20. století Bagnold zkonstruoval první přístroj pro pozorování půdní větrné eroze na světě – vertikální sběrač půdního materiálu s dlouhým ústím. Následně tento přístroj optimalizovali pro lepší přizpůsobení se různému počasí a rychlosti větru v terénu další autoři (Shao *et al*., 1993; Fryrear, 1986; Merva and Peterson, 1983). Později navrhli různé typy monitorovacích typů zařízení na sběr materiálu, především písku i další výzkumníci (Sherman, Swann, Barron, 2014).

S rozvojem elektronických součástek se začaly objevovat automatické přístroje na sběr materiálu. V roce 2015 Ioannis Kosmadakis *et al.* vyvinuli plně automatizovaný systém monitorování eroze půdy, který je energeticky nezávislý, má velmi nízké (téměř žádné) nároky na údržbu a využívá inovativní přístup k detekci eroze půdy pomocí ultrazvuku. V roce 2019 Antonio Giménez a další představili nový design aerodynamického tunelu, který umožňuje velmi jednoduchou analýzu větrné eroze půdy. Tento aerodynamický tunel je navržen pro použití v jakémkoli terénu a má systém automatického sběru dat a analýzy. Jeho struktura má však určité problémy vedoucí k velkým chybám monitorování a nemůže dlouhodobě fungovat venku (Giménez, Lozano *et al*., 2019). V roce 2021 Jung-Rack Kim a další vyvinuli přístup k monitorování sledu eolické eroze v písečné pouštní oblasti spojením souboru dat z dálkového průzkumu. Vytvořený program je přínosem pro hodnocení boje proti desertifikaci a včasného varování před prachovými bouřemi. Nebrali však v úvahu skutečné polní podmínky (Kim *et al*., 2021).

V zahraničí jsou pro monitoring unášených částic používána zařízení rozmanitých konstrukcí s různou mírou přesnosti (deflametry, samplery - „sand samplers“ (Zobeck et al., 2003; Van Pelt, Peters, Visser, 2009; Webb *et al*., 2016; Goossens, Offer, London, 2018), lapače - „interceptors“, pasti - „dust traps“ nebo „sand traps“ (Guo, Wang *et al*., 2020)). Neautomatizovaných lapačů bylo již vyvinuto mnoho např. Leatherman (1978); Fryberger *et al.* (1984); Nickling and Neuman (1997); Wang, Chang, Guo (2018). Tyto lapače jsou obecně ekonomické, odolné a účinné. Jsou tedy široce používány např. při měření transportu písku pro experimenty v terénu a aerodynamických tunelech (Goossens, Offer, London, 2000; Zobeck *et al*., 2003; Shannak *et al*., 2014), nejsou ale schopny nepřetržitě monitorovat časové variace transportu materiálu (Davidson-Arnott *et al*., 2012; Huo, Guo, Guo, 2017).

Konstrukce automatických lapačů písku byla zaměřena na vývoj lapačů písku s okamžitým vážením (např. Lee, 1987; Jackson, 1996; Namikas, 2002; Ridge *et al*., 2011; Ruben *et al*., 2016; Yang *et al.*, 2017). Nedávno byly také zavedeny lapače písku cyklonového typu pro vzorkování eolického transportu sedimentů (Zhao *et al*., 2007; Basaran *et al.*, 2011). Ukázalo se, že lapač písku cyklonového typu je spolehlivý a účinný v polních experimentech i experimentech v aerodynamických tunelech (Basaran *et al*., 2011; Huang and Zhao, 2015).

Tradiční mechanické vzorkovače písku „sand samplers“ např. Big Spring Number Eight (BSNE) a Modified Wilson and Cook (MWAC) nemohou automaticky pozorovat tok sedimentu. Vzorkovače písku s kontinuálním vážením obecně nemohou určit horizontální tok sedimentu v různých výškách. Dosud neexistuje automatický lapač písku odebírající v kroku 1 minuty (nebo menší časové měřítko) v různé výšce.

Srovnáním různých typů přístrojů se zabývá mnoho prací např. studie Mendeze *et al.* (2011, 2016), Abdoliho *et al.* (2017), Basarana *et al.* (2017), Kloseho *et al.* (2017) nebo Wazy *et al.* (2019). Novější srování uvádí např. (Mendez, Buschiazzo, Funk, 2022), který popisuje konstrukční detaily nového kolektoru s názvem Mendeźs Trap (MT) a srovnává jeho výkon s BSNE a MWAC. MT shromažďuje dle jeho studie větší množství materiálu než MWAC a BSNE, což je zvláště důležité

ve větších výškách, kde se běžně shromažďuje malé množství materiálu. Meselhy a Wassif (2021) ve svém výzkumu vyhodnocují účinnost nových čtyř lapačů pro měření erodované půdy, lapačů: Fixed Distance trap (FD), Fixed Point trap (FP), Rotary Distance trap (RD) a Rotary Point trap (RP). Studie srovnává RP a FP s BSNE (tradiční past) a RD a FD s pastí Bagnold (tradiční past). Jejich studie prokázala vysokou přesnost nových lapačů při měření půdního erodovaného materiálu, oddělování půdních částic podle jejich velikosti přímo uvnitř lapačů a určování směru větru oproti tradičním lapačům. Vícesměrné pasti (multidirectional traps) jako nový systém hodnocení půdní větrné eroze publikovali Guerrero *et al.* (2022).

V našich podmínkách se konstrukcí deflametru a jeho přímým užitím v terénu zabývala řada vědců zejm. v 80.a 90. l 20. stol. 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 vznikl deflametr 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).

Z dílny autorů této publikace pochází i patentově chráněné zařízení pro monitoring větrné eroze „Deflametr s aktivním lapačem půdních částic a časovým záznamem (Středová, Podhrázská, Středa, 2012). Byl vyvinut ke stanovení relativního množství a zrnitostního složení půdních částic erodovaných a unášených větrem viz kapitola 7.2.

U našich sousedů, 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).

7.1 Teoretický základ

Jelikož cílem je kvalitativní hodnocení půdních částic unášených větrem, je v tuto chvíli vhodné připomenou dvě, v tomto směru zásadní fyzikální vlastnosti půd, tedy půdní texturu a strukturu.

7.1.1 Půdní textura

Textura půdy, označována jako půdní druh či zrnitost je jednou z nejvýznamnějších charakteristik ovlivňujících fyzikálně-chemické a biologické vlastnosti půdy, půdní zpracovatelnost (adhezi i kohezi) a úrodnost i samotný průběh pedogenetických procesů. Ovlivňuje též náchylnost půdy k erozním procesům). Zrnitost půdy je tedy významným klasifikačním diagnostickým znakem. Velikost půdních částic je především odrazem charakteru matečního substrátu, geologických a pedogenetických procesů, které určovaly nebo ovlivňovaly dané stanoviště.

Pro vlastnosti půdy má největší význam tzv. jemnozem (velikost částic do 2 mm) a většina strukturních, zrnitostních, chemických i biologických analýz se stanovuje se na jejích vzorcích a získané výsledky pak charakterizují dané stanoviště jako celek (Vopravil *et al.*, 2009). Částice s průměrem nad 2 mm (půdní skelet nebo skeletovitost) se hodnotí odděleně a do zrnitostních klasifikací se nezahrnují. Souhrnný pohled na klasifikaci částice v určitém intervalu hodnot tzv. frakcí či zrnitostních tříd přináší Tab. XXIII.

Snaha zatřídit půdy podle procentuálního zastoupení jednotlivých frakcí patří mezi vůbec ty nejstarší klasifikace půd. V naší pedologické praxi (střední Evropa) lze k rozlišení jednotlivých zrnitostních frakcí a vydefinování půdního druhu (= zrnitosti) využít několika klasifikačních systémů. Například Kopeckého a Spirhanzlovy klasifikace jsou již mírně zastaralé, ale vychází z nich velmi praktická a jednoduchá stupnice dle Nováka (1953), která se dosud značně využívá (viz Tab. XXIV). A to především proto, že pro zatřídění stačí znát pouze obsah částic < 0,01 mm a také, že jí lze velmi snadno aplikovat přímo v terénních podmínkách. Což nachází uplatnění především v rámci rozsáhlých pedologických průzkumů (např. při bonitačním mapování), tedy tam, kde se často využívá tzv. kvalifikovaný odhad.

Moderní klasifikace zrnitosti hodnotí vždy minimálně dvě zrnitostní kategorie, přičemž se využívá ke stanovení půdního druhu nejčastěji trojúhelníkových diagramů zrnitosti. Především je to modifikovaný trojúhelník USDA (Němeček *et al.*, 2011), který je v mírných analogiích ve světě využívaný nejčastěji (viz Obr. 57), kde jsou klíčovými zrnitostními frakcemi jemnozemě: jíl (< 0,002 mm), prach (0,002–0,05 mm) a písek (0,05–2 mm). Tato klasifikace je nejpřesnější, půdní

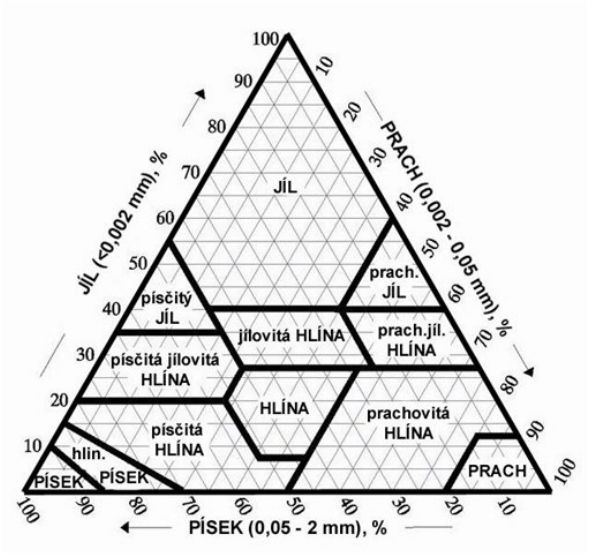
druh se určuje z průsečíků hodnot obsahů jednotlivých frakcí. Je však nutné mít k dispozici rozsáhlé laboratorní zrnitostní rozbory (případně lze spolehnout na kvalifikovaný odhad a využít modifikovanou hmatovou zkoušku.

Tab. XXIII Kategorizace frakcí dle různých autorů

Velikost agregátů	Charakter částic	Průměr částic		Označení zrnitostní frakce		
		[mm]	[μm]	Kopecký (1899)	Novák (1953)	Němeček *et al.* (2011)
Mikro	jemnozem	< 0,001	1	jílnaté částice	jíl	jíl
		0,001 až 0,002	1 až 2			
		0,002 až 0,005	2 až 5		jemný prach	prach
		0,005 až 0,01	5 až 10		střední prach	
		0,01 až 0,05	10 až 50	prach	hrubý prach	
		0,05 až 0,1	50 až 100	práškový písek	jemný písek	písek
		0,1 až 0,25	100 až 250	písek		
		0,25 až 2,00	250 až 2 000		střední písek	
Makro	skelet	2,00 až 4,00	2 000 až 4 000	–	–	hrubý písek
		4,00 až 30,00	4 000 až 30 000			štěrk
		> 30	> 30 000			kamení

Tab. XXIV Klasifikace půdní zrnitosti dle Nováka (1953)

Obsah částic < 0,01 mm [%]	Půdní druh	Zkratka	Klasifikace půd	Makroskopický posudek
0–10	písčitá	P	lehká	ani za mokra se částice nespojí
10–20	hlinitopísčitá	HP		částice se za mokra spojí, nelze však vyválet hádka
20–30	písčitohlinitá	PH	středně těžká	lze vyválet hádka, rozpadá se, skřípe mezi prsty
30–45	hlinitá	HP		lze vyválet hádka
45–60	jílovitohlinitá	JH	těžká	po stisknutí vlhké zeminy lesk, mastnost prstů
60–75	jílovitá	JV	velmi těžká	silná mastnost, lepkavost
nad 75	jíl	J		vysoká mastnost lepkavost



Obr. 57 Trojúhelníkový diagram zrnitosti půd (Němeček *et al.*, 2011)

7.1.2 Půdní struktura

Půdní struktura je primárně dána prostorovým uspořádáním jednotlivých, nepravidelně tvarovaných půdních částic organického a anorganického původu. Tyto pevné půdní částice vytváří pomocí tmelících látek celou škálu půdních heterogenních mikro- (< 250 µm) i makroagregátů (> 250 µm), mezi kterými vznikají volné prostory – póry naplněné půdními roztoky a plyny. Agregáty (sekundární strukturní prvky) a jejich vzájemné vazby pak definují typ a charakter půdní struktury.

Dynamika půdní struktury (vznik, stabilita a degradace půdních agregátů) je ovlivněna interakcemi mezi mnoha vnějšími i vnitřními faktory, jak přirozenými, tak antropogenními. Struktura půdy je tedy např. ovlivněna

a) parametry sorpčního komplexu,
b) obsahem vody, plynů a živin,
c) kvantitou a kvalitou humusových látek i koloidního humusu,
d) přítomností karbonátů a jílnatých částic,
e) výskytem krystalických i amorfních forem oxidů a hydroxidů Fe a Mn,
f) zastoupením jednotlivých zrnitostních frakcí,
g) přítomností složitých organických kyselin,
h) prokořeněním,
i) kvantitou a složením edafonu atd. (Rejšek – Vácha, 2018).

Makroskopicky horizonty odráží tvar svých agregátů, kdy vyčleňujeme téměř na dvě desítky typů půdních struktur (Tab. XXV).

Struktura půdy ovlivňuje pohyb půdní vody, její zadržení v profilu, erozi půdy, koloběhy prvků, růst kořenů a úrodnost. Proto lze považovat rozpad půdní struktury za formu degradace půdy (Vopravil *et al.*, 2009). Nejobecněji lze dělit půdy dle zrnitosti na lehké (hmotnostní podíl jílu v jemnozemi do 20 %, dominuje frakce písku), na půdy středně těžké (podíl jílu od 20 do 45 %, dominuje frakce prachu) a konečně na půdy těžké s převládající frakcí jílu (hmotnostní podíl vyšší než 45 %).

Pro potřeby stanovení vlivu rychlosti větru, tvaru a velikosti půdních částic na erozi půd je vhodné přikročit k určitému zobecnění a půdy s obsahem jílu do 45 % souhrnně označit jako (a) lehčí. Tato kategorie zahrnuje jak půdy lehké, tak lehčí-středně těžké, tak i některé středně těžké půdy, tj. půdy o zrnitosti písčité, hlinitopísčité, písčitohlinité, prachovité a hlinité. Druhou skupinou jsou půdy (b) těžší, tj. půdy s obsahem jílu vyšším než 45 % (zrnitost jílovitohlinitá, jílovitá, jíl). Přičemž platí, že vždy je uvažována především svrchní část půdního profilu, která je přímo vystavena klimatickým vlivům.

Tab. XXV Nejčastější typy půdních struktur. Upraveno dle Vopravil *et al.* (2009)

A – Izometrické[5] strukturní elementy [mm]					
A1 - Kulovitá struktura		**A2 - Zrnitá struktura**		**A3 - Polyedrická struktura**	
hrudovitá	> 50	zrnitá	10 až 5	polyedrická	> 10
hrudkovitá	50 až 10	jemně zrnitá	5 až 1	drobně polyedrická	< 10
drobtovitá	10 až 5				
jemně drobtovitá	5 až 1				
práškovitá	< 1				
B – Anizometrické[6] strukturní elementy [mm]					
B1 - Vertikálně protažené elementy[7]				**B2 - Horizontálně protažené elementy**	
hrubě prismatická (sloupkovitá)	> 50			deskovitá	> 5
prismatická (sloupkovitá)	50 až 20			destičkovitá	5 až 2
drobně prismatická (sloupkovitá)	< 20			lístkovitá	< 2

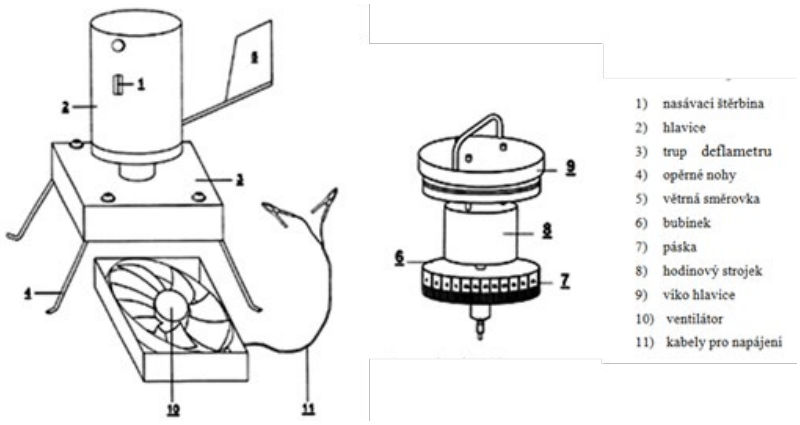
5 …všechny tři rozměry přibližně stejné;
6 …jeden nebo dva rozměry se liší;
7 …pokud mají strukturní prvky nezaoblenou svrchní část, tak je označujeme jako prizmatické. Sloupkovitá varianta téhož pak má svrchní část zaoblenou.

7.2 Deflametr s aktivním lapačem půdních částic a časovým záznamem

V roce 2012 byl Úřadem pro průmyslové vlastnictví zaregistrován užitný vzor „Deflametr s aktivním lapačem půdních částic a časovým záznamem (Obr. 58 a 59) autorů Středová, Podhrázská a Středa (2012). Jedinečnost řešení spočívá v přesném určení termínu transportu, možnosti relativně kvantifikovat množství a pomocí následné digitální analýzy obrazu zachycených částic stanovit velikost, tvar a další parametry deflátů. V kombinaci s meteorologickým měřením (rychlost větru, vlhkost půdy, teplota půdy, stav povrchu půdy atd.) je potom dále možné striktně specifikovat podmínky v době erozní epizody.

Metodika monitoringu větrné eroze s využitím deflametru je následující:

1) Vytipování erozně nebezpečné epizody dle aktuální povětrnostní situace.
2) Realizace terénního monitoringu: instalace deflametru v kombinaci s měřením rychlosti větru anemometrem (souběžné měření rychlosti větru a deflametrem zachycených půdních částic umožňuje porovnání spektra částic s konkrétní hodnotou rychlosti větru) a odběr svrchní vrstvy půdy pro následnou laboratorní analýzu (určení zrnitosti a aktuální vlhkosti půdy).
3) Analýza pásky s lepicí vrstvou, kde je zachycen deflát v laboratorních podmínkách s využitím metody digitální analýzy obrazu pomocí mikroskopu. K tomuto účelu byl vyvinut SW DP, který je zaměřen na zpracování vstupních obrazových dat pořízených digitálním mikroskopem Olympus SZ se snímačem Infinity 1. Maximální dosažitelné rozlišení výstupního obrazu je 2048 × 1536 a minimální velikostí pixelu 3,2 um × 3,2 um. Parametr minimálního rozlišení pixelu (3,2 um × 3,2 um) je určující pro vymezení rozlišovací schopnosti půdních částic vyvíjeným SW DPA. Podrobnosti o uvedeném SW přináší následující Podkapitola 7.3.



Obr. 58 Deflametr s aktivním lapačem půdních částic a časovým záznamem; zdroj: Středová, Podhrázská a Středa (2012)

Obr. 59 Fotografie deflametru (vlevo) a fotografie mobilní meteostanice (vpravo)

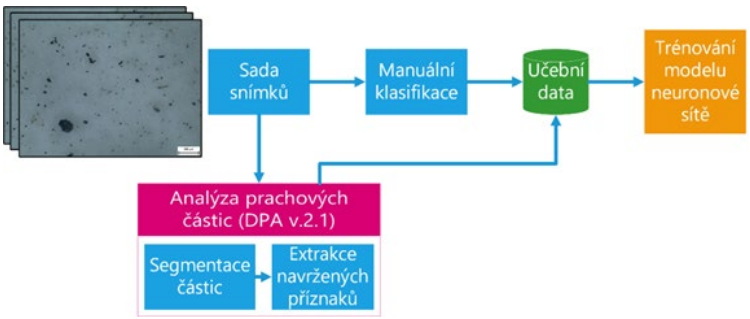
7.3 Analýza deflátů využívající metod strojového učení

7.3.1 Fáze vývoje modelu a příprava učebních dat pro následné učení modelu

Strojové učení probíhalo dle schématu na Obr. 60. Množství mikroskopických snímků prachových částic bylo automaticky zpracováno prvotní verzí softwaru DustParticleAnalyzer DPA v2.2., přičemž paralelně proběhla manuální klasifikace snímků, kdy operátor rozhodl o typu částice, které jsou v programu odlišeny následovně:

a) zelená – pevné půdní částice anorganického charakteru,
b) červená – pevné půdní částice organického charakteru,
c) bíla – nezařazeno (chyby při snímání elektronovým mikroskopem, strukturní chyby podložky, makroskopické organické částice nekulového tvaru apod.).

Tyto informace byly následovně párovány s informacemi extrahovanými softwarem DPA (morfologické, tvarové, intenzitní příznaky) pro jednotlivé částice – tím vznikla učební množina dat použitá pro následné trénování modelu strojového učení). Výstupem tohoto konceptu byla učební data pro další použití v trénování modelu neuronové sítě.



Obr. 60 Blokové schéma konceptu přípravy učební databáze a učení neuronové sítě s využitím softwaru DPA v.2.1

7.3.2 Detaily k učení klasifikačního modelu pro určení typu částice

Ve verzi SW DPA v.2.2 byly dvěma experty segmentovány a klasifikovány částice z dostupných snímků ze tří různých lokalit (celkem 55 snímků, 14 710 označených částic). Dostupný dataset obsahoval silně nevyvážený počet částic v každé ze tříd (14 490 anorganických pevných půdních částic, 172 organických pevných půdních částic a 48 ostatních půdních částic). V Tab. XXVI je pro přehled uvedeno procentuální zastoupení zrnitostních frakcí u klasifikovaných anorganických pevných půdních částic, dle různých autorů. Nejvíce zastoupené frakce byly: Kopecký – prach (68,27 %), Novák – hrubý prach (68,27 %) a Němeček – prach (71,47 %).

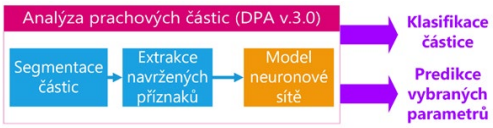
Tab. XXVI Procentuální zastoupení zrnitostních frakcí pevných půdních částic dle různých autorů

Kopecký (1899)		Novák (1953)		Němeček *et al.* (2011)	
Název	**Procentuální zastoupení [%]**	**Název**	**Procentuální zastoupení [%]**	**Název**	**Procentuální zastoupení [%]**
jílnaté částice	3,2	jíl	–	jíl	–
		jemný prach	–	prach	71,47
		střední prach	3,2		
prach	68,27	hrubý prach	68,27		
práškový písek	23,48	jemný písek	27,29	písek	28,53
písek	5,05	střední písek	1,24		
–	–	–	–	hrubý písek	–

Pro učení a klasifikaci modelu bylo použito 11 extrahovaných příznaků (průměrná šedotónová intenzita, průměrná směrodatná odchylka intenzity, průměrná intenzita červené, zelené a modré barvy, velikost průměru kruhu s ekvivalentní plochou ve fyzikálních jednotkách, obvod částice ve fyzikálních jednotkách, poměr hlavní a vedlejší osy objektu, výstřednost elipsy s ekvivalentní plochou, solidity – poměr plochy objektu ke konvexní ploše objektu a Riley sphericity – poměr vepsané a opsané kružnice).

7.3.3 Naučený model strojového učení

Konečná verze SW DPA v.3.0 (Obr. 61) byla poté rozšířena o naučený model strojového učení, čímž bylo umožněno nejen extrahovat různé morfologické, tvarové a intenzitní příznaky pro jednotlivé částice, ale zároveň také rozlišovat mezi kategoriemi pevná půdní částice anorganická/organická a ostatní částice (nezařazeno), případně predikovat další parametry, které budou při učení sítě zvoleny. Popis hodnocených parametrů uvádí Tab. XXVII.



Obr. 61 Blokové schéma připravovaného softwaru DPA v.3.0 obsahujícím natrénovaný model neuronové sítě

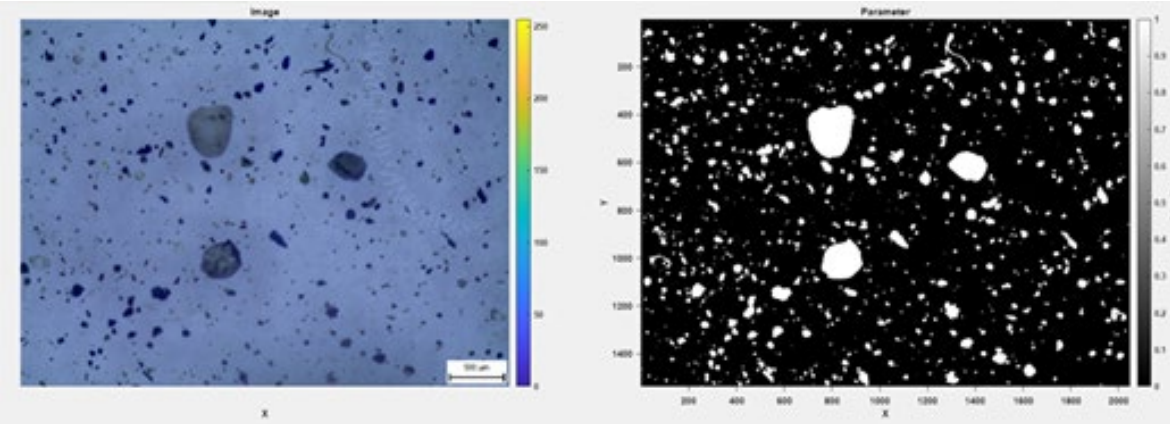
Tab. XXVII Popis hodnocených parametrů softwarem DPA

Označení	Název	Popis
Binary	Binary Segmented Image	Binární obraz segmentovaných částic – bílá (1) částice, černá (0) pozadí
Index	Image of Object Indices	Obraz indexů částic – 0 pozadí, 1–N indexy jednotlivých částic
Masked	Masked Image	Šedotónový obraz částic s potlačeným pozadím (0–1)
Gray	Grayscale Image	Originální obraz převedený do odstínů šedi (0–1)
MeanIntensity	Mean Intensity	Průměrná jasová hodnota částice (0–1)
LocalStd	Local Standard Deviation	Směrodatná hodnota jasu částice (0–1)
RColor	Mean Red Color	Průměrná hodnota červené složky částice (0–1)
GColor	Mean Green Color	Průměrná hodnota zelené složky částice (0–1)
BColor	Blue Color	Průměrná hodnota modré složky částice (0–1)
AreaPhy	Physical Area	Plocha částice v μm^2
EquivDiameterPhy	Physical Diameter of Equivalent Circle	Průměr kruhu s ekvivalentní plochou v µm vypočteno jako (4 × √Plocha/pi)
PerimeterPhy	Physical Perimeter	Obvod částice v µm
ConvexAreaPhy	Physical Area of Convex Object	Konvexní plocha částice v μm^2
MajorAxisLengthPhy	Physical Major Axis Length of Equivalent Ellipse	Délka hlavní osy elipsy s ekvivalentní plochou částice v µm
MinorAxisLengthPhy	Physical Minor Axis Length of Equivalent Ellipse	Délka vedlejší osy ekvivalentní elipsy k částici v µm
AxisRatio	Ratio of Minor and Major Axis Lengths of Equivalent Ellipse	Poměr délek vedlejší a hlavní osy ekvivalentní elipsy (0–1), 0 – přímka, 1 – kruh
Orientation	Orientation of Major Axis	Úhel mezi osou x a hlavní osou ekvivalentní elipsy (1°–360°)
Eccentricity	Eccentricity of Equivalent Ellipse	Poměr vzdálenosti mezi ohnisky a velikosti hlavní osy ekvivalentní elipsy (0–1), 0 – kruh, 1 – přímka
Circularity	Circularity of Object	Kruhovitost objektu vypočtena jako (4pi*Plocha)/(Poloměr^2)
Solidity	Solidity of Object	Poměr Plocha/Plocha konvexní oblasti
Riley Sphericity	Riley Sphericity of Object	Poměr plochy vepsané ku opsané kružnice
Angularity	Object Angularity	Úhlovitost objektu
Form	Object Form	Forma objektu

7.3.4 Graficky-uživatelská vylepšení

SW DPA v.3.0 byl rozšířen o graficky-uživatelská vylepšení (možnost měření vzdáleností, uspořádání grafického rozhraní, nástroje lupy, zvýraznění kontur částic, zvýšená uživatelská přívětivost, možnost vložení vlastní poznámky ke každé částici atd.), optimalizaci kódu a zejména funkční vylepšení v podobě poloautomatických segmentačních nástrojů, nástrojů pro statistickou analýzu a export výsledků, modelu strojového učení pro klasifikaci typu částic. Dále byl implementován expertní systém pro zařazení každé půdní částice do tříd dle velikostních stupnic podle Kopecký, Novák, Němeček. Jednotlivá vylepšení jsou shrnuta následovně a graficky prezentována na Obr. 62 až Obr. 66):

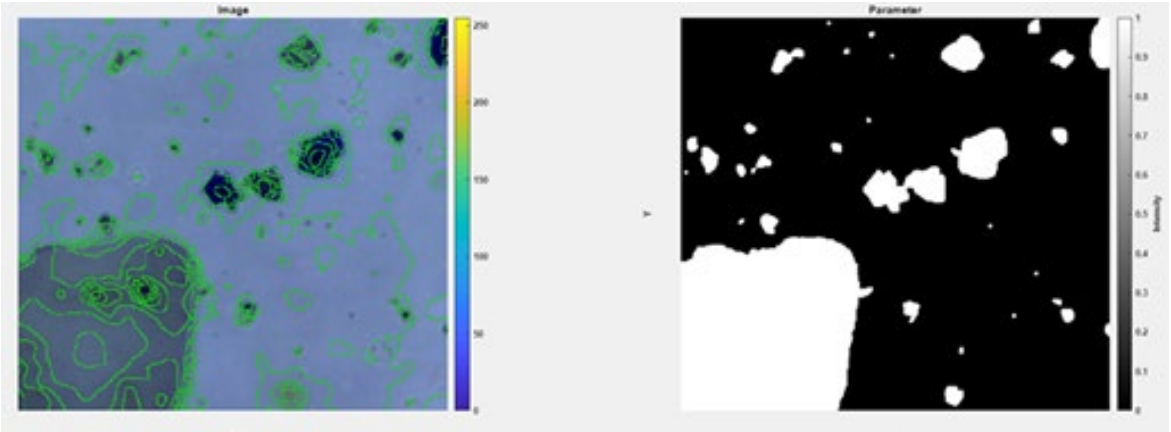
a) Automatická segmentace snímků rozdělující obraz na částice a pozadí s využitím adaptivního prahování (možnost manuálně upravit jedním parametrem)



Obr. 62 Ukázka automatické segmentace částic s využitím adaptivního prahování bez manuálních úprav

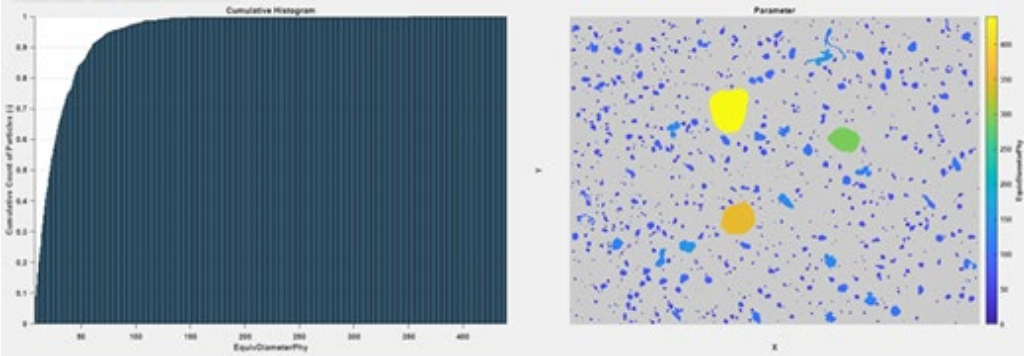
b) Nástroje poloautomatické segmentace částic

Automaticky segmentované částice lze upravit s využitím nástrojů založených na segmentačních metodách narůstání oblastí (Region Growing), rozvodí (Watershed), štětce (Brush) a odstranění celého objektu.



Obr. 63 Ukázka poloautomatického nástroje pro segmentaci částic, konkrétně nástroje rozvodí, kdy je možné přidávat a ubírat konturou ohraničené segmenty jedním kliknutím. Současně je snímek přiblížený

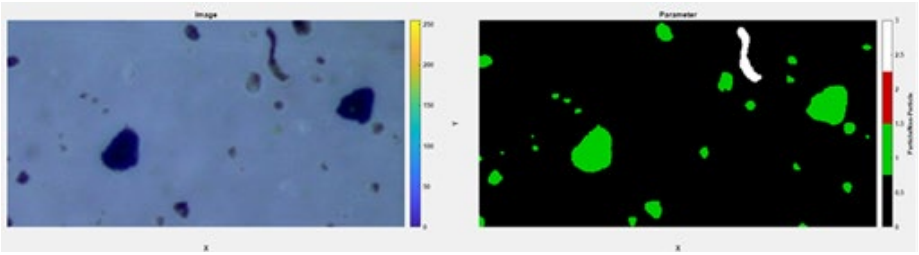
c) Výpočet morfologických a intenzitních parametrů a jejich zobrazení s využitím barevné škály a statistických výsledků a grafů



Obr. 64 Ukázka barevné mapy vyjadřující velikost průměru kruhu s ekvivalentní plochou. Současně je zobraz kumulativní histogram tohoto parametru

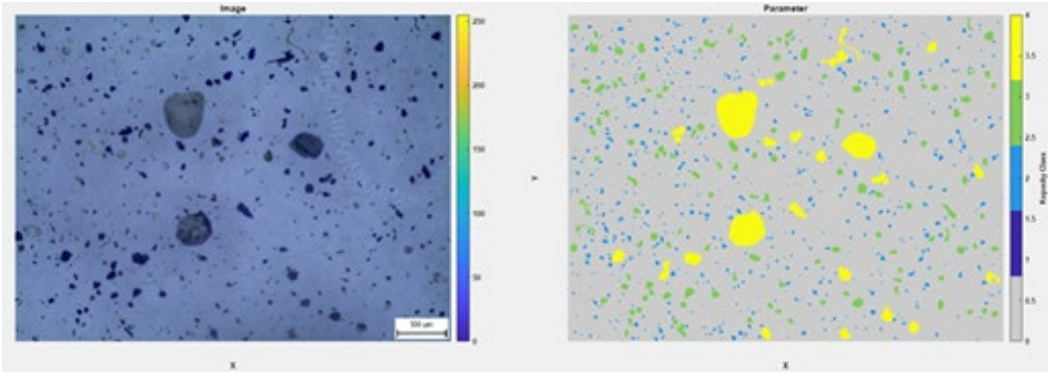
d) Automatická klasifikace typu částic s využitím klasifikačního modelu strojového učení na základě morfologických a intenzitních a barevných obrazových příznaků.

Jako klasifikační model byl využit náhodný les (Random Forest), protože je robustnější ke korelovaným příznakům a učebním množinám nevyváženým z hlediska rovnoměrnosti zastoupení tříd oproti modelům neuronových sítí. Výsledek je opět možné případně manuálně upravit jednoduchým kliknutím jedním ze třech tlačítek myši na částici.



Obr. 65 Ukázka automatické klasifikace typu částic, kdy zelená barva odpovídá anorganickým pevným půdním částicím a bílá ostatním půdním částicím. Červená organická pevná půdní částice není v přiblíženém oblasti viditelná

e) Automatická expertní klasifikace částic do jedné tříd definovaných na základě velikosti částic (Vopravil *et al.*, 2009)



Obr. 66 Ukázka expertní klasifikace půdních částic dle Kopeckého do čtyřech velikostních kategorií

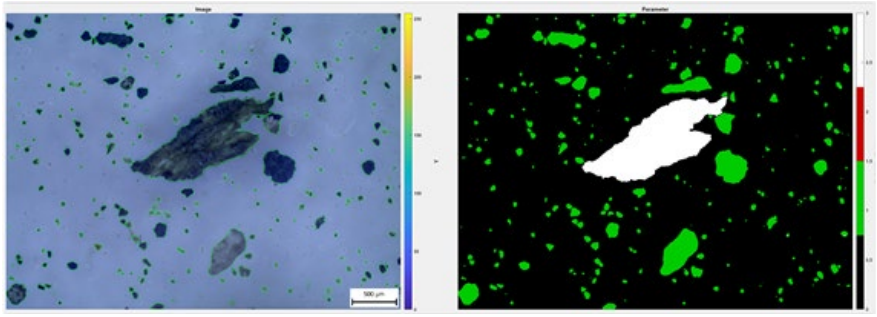
7.4 Analýza půdních částic pomocí SW DPA v.3.0 – případová studie

Na následujících obrázcích (Obr. 69 až Obr. 72) je příklad vyhodnocení půdních částic pomocí SW DPA pro jeden konkrétní snímek. Jedná se o snímek z deflační pásky pořízené při erozní události v k.ú. Mikulov 3. dubna 2019 (Obr. 67 a Obr. 68). Záznam probíhal 60 minut a paralelně byly monitorovány meteorologické prvky: maximální rychlost větru (17,4 $m \cdot s^{-1}$), průměrná rychlost větru (14,1 $m \cdot s^{-1}$), průměrná teplota vzduchu (16,2 °C) a průměrná vlhkost vzduchu (48,9 %).

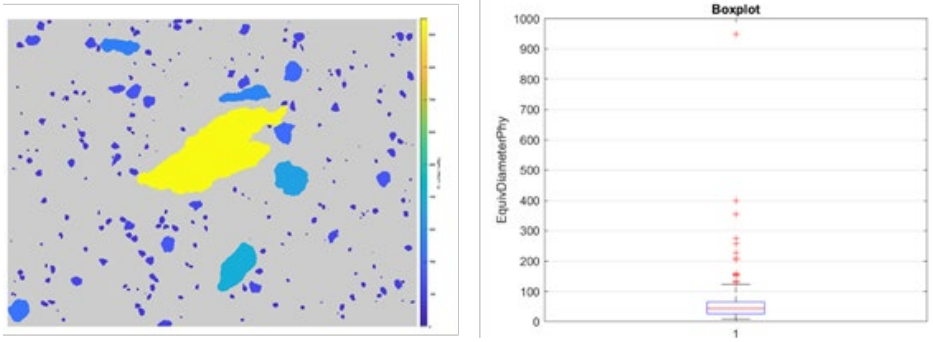
Originální hodnocený snímek a jeho převod na identifikované půdní částice prezentuje Obr. 69. Pro ukázku hodnocených parametrů byl vybrán EquivDiameterPhy (průměr kruhu s ekvivalentní plochou) viz Obr. 70 a Obr. 71. Dále je uvedena ukázka zatřídění identifikovaných půdních částic do jednotlivých zrnitostních frakcí (Obr. 72).

Obr. 67 Zachycení větrné eroze v k.ú. Mikulov (https://www.youtube.com/watch?v=2oOUjlbk-AM)

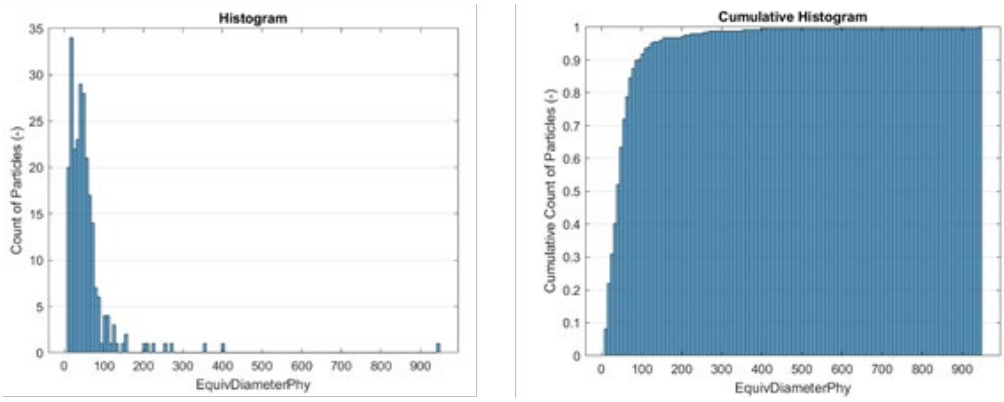
Obr. 68 Detail poškozeného pozemku po skončení erozní události



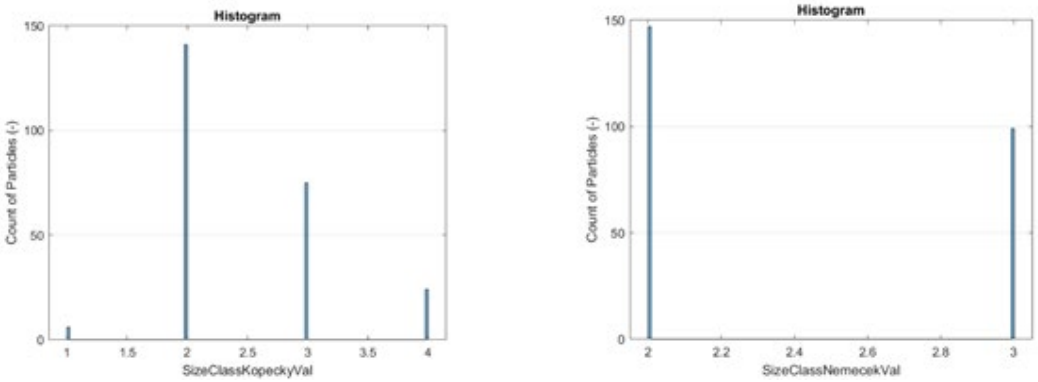
Obr. 69 Originální hodnocený snímek (vlevo) a snímek s identifikovanými půdními částicemi v prostředí SW DPA: zelená barva – pevná půdní částice; bílá barva – nezařazeno (vpravo)



Obr. 70 Barevná škála pro parametr EquivDiameterPhy: Průměr kruhu s ekvivalentní plochou v µm (vlevo) a boxplot pro parametr EquivDiameterPhy (vpravo)



Obr. 71 Histogram pro parametr EquivDiameterPhy: Průměr kruhu s ekvivalentní plochou v µm (vlevo) a kumulativní histogram pro parametr EquivDiameterPhy (vpravo)



Obr. 72 Zatřídění identifikovaných půdní částic do jednotlivých zrnitostních frakcí, dle Kopeckého: 1 – jílnaté částice; 2 – prach; 3 – práškový písek; 4 – písek (vlevo) a dle Němečka: 1 – jíl; 2 – prach; 3 – písek; 4 – hrubý písek (vpravo)

SOUHRN

Cílem knihy bylo zprostředkování a syntéza informací o aktuálních poznatcích v problematice větrné eroze s akcentem na návrhy optimální prostorové struktury větrolamů. Práce poskytuje návody k identifikaci míst nejvíce ohrožených větrnou erozí, dále informace o zakládání a údržbě větrolamů. Rovněž poskytuje informace o metodách stanovení erozní ohroženosti území a provádění návrhů ochranných opatření pomocí nově vyvinutých softwarových nástrojů, určených především projektantům pozemkových úprav, popřípadě zpracovatelům dalších krajinotvorných opatření. Tato práce je souhrnným materiálem, představujícím dosavadní publikované metodické návody zabývající se ochranou půdy před větrnou erozí, na něž navazuje a představuje nové výsledky aplikovaného výzkumu.

- Byl analyzován vývoj a současný stav problematiky větrné eroze na zemědělských půdách v České republice s důrazem na nové poznatky a trendy. Analýza byla zaměřena zejména na tvorbu mapových metodických výstupů.
- Byly vytvořeny mapové výstupy zobrazující ohroženost větrné eroze v České republice se zohledněním lehkých, těžkých půd a klimatických podmínek specifických pro větrnou erozi. Dále byla vytvořena celorepublikové mapa účelové kategorizace trvalých vegetačních prvků v územích ohrožených větrnou erozí bariér.
  Pro hodnocení účinnosti větrolamů byly využity tři přístupy:
  1) stanovení pevných zón dle charakteru vegetační bariéry,
  2) stanovení ochranných zón s využitím optické porozity, dle regresní rovnice a
  3) stanovení ochranných zón s využitím rovnice využívající optickou porozitu a výšku větrolamu.
- Byla vytvořena komplexní mapa, zohledňující vliv ochranného účinku stávajících větrných bariér na podkladě mapy ohroženosti větrnou erozí v České republice. Mapa byla vytvořena na podkladu nových poznatků ve výzkumu problematiky větrné eroze. Novými poznatky jsou využití databáze/mapy vegetačních bariér a informací o oblastech působení nejvýraznějších erozně nebezpečných větrů. Tyto nové poznatky byly využity pro vytvoření mapového díla prezentujícího míru ohrožení orné půdy s uvažováním stanovené ochranné zóny vegetačních bariér pro hodnocení jejich ochranného účinku proti erozně působícím větrům. Mapové dílo zohledňuje vliv trvalých vegetačních bariér na míru rizika větrné eroze a rozlišuje pozemky EHP/(LPIS(PB)) s překročenou a nepřekročenou tolerovanou délkou pozemku.
- Bylo zpracováno implementační schéma modelu pro vyhodnocení ohroženosti území větrnou erozí se zohledněním stávajících i navrhovaných větrných bariér a jejich vlivu na snížení erozní ohroženosti. Implementační schéma bylo podkladem pro následnou implementaci do SW nástrojů.
- Byla provedena implementace výstupů do softwarového nástroje pro podporu hodnocení míry erozního rizika, hodnocení stávajících a návrh nových větrolamů. Jedná se o interaktivní webovou aplikaci modelu WEM, která sloužící širší skupině uživatelů k orientačním návrhům liniových prvků a jejich ochranných zón. Webová aplikace zpřístupňuje všechny vytvořené mapové podklady online. Vyvinutý nový SW umožní zpracovatelům pozemkových úprav, odborné veřejnosti, zemědělským subjektům, investorům, ale i pracovníkům státní správy efektivně a automatizovaně provádět posouzení potenciální ohroženosti větrnou erozí a optimalizovat tak návrh protierozních opatření. Za nové je možné také považovat upřesnění vyhodnocení stávajících větrných bariér a jejich klasifikaci z pohledu věkového stádia, vitality a perspektivy.
- Součástí publikace je také ukázková případová studie vyhodnocení ohroženosti větrné eroze na příkladu území zasaženého tornádem dne 24. 6. 2021 v okresu Břeclav a Hodonín. Studii zpracoval Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, v.v.i. (VÚMOP). Výsledky této studie poukázaly na zranitelnost řešeného území a potvrdily potřebu řešení výsadby větrolamů jako účinného opatření proti větrné erozi, a to i ve vazbě na proces pozemkových úprav. Pří zpracování studie bylo využito metodický postupů k hodnocení větrné eroze publikované v této knize.
- Poslední kapitola je věnována kvalitativnímu hodnocení půdních částic unášených větrem s využitím strojového učení. V kapitole byl popsán SW (DPA) pro hodnocení půdních částic pokročilou analýzou signálu obrazu a následným využitím neuronových sítí pro zpracování prachových částic. Následně byla prezentována ukázka vyhodnocení prachových částic zachycených aktivním lapačem.

Výsledky práce byly publikovány formou metodických postupů (i mapových, softwarových a dalších odborných publikacích) primárně zacílených na projekční praxi, zabývající se problematikou ochrany a tvorby krajiny. Své uplatnění nalézají v rámci návrhů ochranných opatření, kde umožní optimální návrh s využitím prezentovaných postupů a zacílených aplikací, zejména pak v procesu pozemkových úprav při návrhu a realizaci plánů společných zařízení. Práce prezentuje inovativní automatizované metody usnadňující identifikaci ohrožených území a návrhy ochranných opatření. Své využití najde také ve státní správě při rozhodování o efektivním využití finančních prostředků na potlačení nepříznivých důsledků větrné eroze pro životní prostředí a zdraví populace. Prezentovaná metodika a inovativní postupy a zejména nové postupy otevírají další prostor pro rozvoj poznání v oboru ochrany před nepříznivými důsledky větrné erozi.

SUMMARY

The goal of the book was the mediation and synthesis of information on current findings in the issue of wind erosion with an emphasis on proposals for the optimal spatial structure of windbreaks. The work provides instructions for identifying the places most at risk of wind erosion, as well as information on the establishment and maintenance of windbreaks. It also provides information on the methods of determining the erosion risk of the territory and the implementation of proposals for protective measures using newly developed software tools, intended primarily for designers of land improvements, or processors of other landscape-forming measures. This work is a summary material, representing the published methodical instructions to date dealing with the protection of soil against wind erosion, which follows on and presents new results of applied research.

- The development and current state of the issue of wind erosion on agricultural land in the Czech Republic was analyzed with an emphasis on new findings and trends. The analysis was mainly focused on the creation of map methodical outputs.
- Map outputs were created showing the threat of wind erosion in the Czech Republic, taking into account light, heavy soils and climatic conditions specific to wind erosion. Furthermore, a nationwide map of the purposeful categorization of permanent vegetation elements in areas threatened by wind erosion of barriers was created.
- Three approaches were used to evaluate the effectiveness of windbreaks: determining fixed zones according to the nature of the vegetation barrier, determining protective zones using optical porosity, according to a regression equation, and determining protective zones using an equation using optical porosity and the height of the windbreak.
- A comprehensive map was created, taking into account the effect of the protective effect of existing wind barriers on the basis of the map of the risk of wind erosion in the Czech Republic. The map was created on the basis of new findings in research into the issue of wind erosion. New knowledge is the use of a database/map of vegetation barriers and information on the areas of action of the most significant erosion-dangerous winds. These new findings were used to create a map presenting the degree of threat to arable land, taking into account the established protective zone of vegetation barriers to evaluate their protective effect against erosive winds. The map work considering the effect of permanent vegetation barriers on the level of wind erosion risk and distinguishes EHP / LPIS plots with exceeded and not exceeded tolerated plot length.
- An implementation scheme of the model was developed for evaluating the risk of land erosion by wind, taking into account existing and proposed wind barriers and their effect on reducing the risk of erosion. The implementation scheme was the basis for subsequent implementation into SW tools.
- The outputs were implemented into a software tool to support the evaluation of the level of erosion risk, the evaluation of existing and the design of new windbreaks. It is an interactive web application of the WEM model, which serves a wider group of users for indicative designs of line elements and their protection zones. The web application makes available all created map materials online. The developed new SW will allow land development developers, the professional public, agricultural entities, investors, but also state administration workers to effectively and automatically assess the potential risk of wind erosion and thus optimize the design of anti-erosion measures. The refinement of the evaluation of existing wind barriers and their classification from the point of view of age, vitality and perspective can also be considered new.
- The publication also includes a sample case study of the evaluation of the risk of wind erosion on the example of the area affected by the tornado on 24/06/2021 in the district of Břeclav and Hodonín. The study was prepared by the Research Institute of Land Monitoring and Protection, v.v.i. (VÚMOP). The results of this study drew attention to the vulnerability of the treated area and confirmed the need for the solution of windbreaks as an effective measure against wind erosion, even in connection with the land development process. Methodological procedures for the evaluation of wind erosion published in this book were used in the preparation of the study.
- The last chapter was devoted to the qualitative assessment of soil particles carried by the wind using machine learning. The chapter described SW (DPA) for the assessment of soil particles by advanced image analysis and the subsequent use of neural networks for processing dust particles. Finally, the listening was a demonstration of the evaluation of dust particles captured by an active trap.

The results of the work were published in the form of methodological procedures primarily aimed at design practice, dealing with the issue of landscape protection and creation. It will find its application in the framework of protective measures, where it will enable an optimal design using the presented procedures and targeted applications. Especially in the process of land improvements during the design and implementation of plans for common facilities. The work presents innovative automated methods facilitating the identification of threatened areas and proposals for protective measures. It will also find its use in the state administration when deciding on the effective use of funds to suppress the adverse consequences of wind erosion for the environment and the health of the population. The methodology and especially the new procedures open up further space for the development of knowledge in the field of protection against the adverse consequences of wind erosion. It can thus serve for further development within applied research.

PŘÍLOHA 1: SOUVISEJÍCÍ PROJEKTOVÁ ČINNOST AUTORSKÉHO TÝMU

1R44027

Název projektu: Možnosti optimalizace funkcí větrolamů v krajině, jejich využití v komplexních pozemkových úpravách
Poskytovatel: MZE - Ministerstvo zemědělství
Řešitel: Ing. Jana Podhrázská, Ph.D.
Období řešení projektu: 2004–2007

QH82099

Název projektu: Kritéria rozvoje větrné eroze na těžkých půdách a možnosti jejího omezení biotechnickými opatřeními
Poskytovatel: MZE - Ministerstvo zemědělství
Řešitel: Ing. Jana Podhrázská, Ph.D.
Období řešení projektu: 2008–2012

QJ1220054

Název projektu: Vliv změny klimatických faktorů na rozvoj procesů větrné eroze, koncepční řešení opatřeními pozemkových úprav
Poskytovatel: MZE - Ministerstvo zemědělství
Řešitel: Ing. Jana Podhrázská, Ph.D.
Období řešení projektu: 2012–2016

QK1710197

Název projektu: Optimalizace metod hodnocení ohroženosti území větrnou erozí a návrhů ochranných opatření v zemědělsky intenzivně využívané krajině
Poskytovatel: MZE - Ministerstvo zemědělství
Řešitel: doc. Ing. Bc. Hana Středová, Ph.D.
Období řešení projektu: 2017–2021

SS05010161

Název projektu: Zavedení nových metodických postupů v ochraně půdy před erozí
Poskytovatel: TA0 - Technologická agentura ČR
Řešitel: doc. Ing. Jana Podhrazská, Ph.D.
Období řešení projektu: 2022–2023

QK21010191

Název projektu: Stanovení ztráty půdy větrnou erozí pro podporu návrhů optimálních opatření k ochraně půdy před větrnou erozí
Poskytovatel: MZE - Ministerstvo zemědělství
Řešitel: Ing. Josef Kučera, Ph.D.
Období řešení projektu: 2021–2024

SS05010211

Název projektu: Pokročilé metody hodnocení a projektování multifunkčních větrolamů
Poskytovatel: TA0 - Technologická agentura ČR
Řešitel: Ing. Josef Kučera, Ph.D.
Období řešení projektu: 2022–2024

APPENDIX 1: RELEVANT SCIENTIFIC PROJECTS OF THE AUTHOR'S TEAM

1R44027
Project name: Possibilities of Shelterbelts Functions Optimalization in Landscape planning (their use in complex land management)
Funder: MA - Ministry of Agriculture
Coordinator: Ing. Jana Podhrázská, Ph.D.
Project duration: 2004–2007

QH82099
Project name: Criteria of wind erosion expansion on heavy-textured soils and possibilities of its limitation with biotechnological control measurements
Funder: MA - Ministry of Agriculture
Coordinator: Ing. Jana Podhrázská, Ph.D.
Project duration: 2008–2012

QJ1220054
Project name: Impact of a change of climatic factors on the development of wind erosion processes, conceptual solution through the land adjustment measures
Funder: MA - Ministry of Agriculture
Coordinator: Ing. Jana Podhrázská, Ph.D.
Project duration: 2012–2016

QK1710197
Project name: Optimization of methods for the assessment of vulnerability to wind erosion and proposals of protective measures in intensively exploited agricultural countryside
Funder: MA - Ministry of Agriculture
Coordinator: doc. Ing. Bc. Hana Středová, Ph.D.
Project duration: 2017–2021

SS05010161
Project name: Implementation of new methodological procedures in soil protection against erosion
Funder: TACR – Technology agency of the Czech Republic
Coordinator: doc. Ing. Jana Podhrazská, Ph.D.
Project duration: 2022–2023

QK21010191
Project name: Determination of soil losses by wind erosion to support proposals for optimal measures to protect soil from wind erosion
Funder: MA – Minystry of agriculture
Coordinator: Ing. Josef Kučera, Ph.D.
Project duration: 2021–2024

SS05010211
Project name: Advanced methods of evaluation and design of multifunctional windbreaks
Funder: TACR – Technology agency of the Czech Republic
Coordinator: Ing. Josef Kučera, Ph.D.
Project duration: 2022–2024

PŘÍLOHA 2: SOUVISEJÍCÍ PUBLIKAČNÍ ČINNOST AUTORSKÉHO TÝMU

KUČERA, J., PODHRÁZSKÁ, J., KARÁSEK, P., PAPAJ, V. 2020. The Effect of Windbreak Parameters on the Wind Erosion Risk Assessment in Agricultural Landscape. *Journal of Ecological Engineering*. 21(2), 150–156. https://doi.org/10.12911/22998993/116323

STŘEDOVÁ, H., PODHRÁZSKÁ, J., CHUCHMA, F., STŘEDA, T. KUČERA, J., FUKALOVÁ, P. , BLECHA, M. 2021. The Road Map to Classify the Potential Risk of Wind Erosion. *ISPRS International Journal of Geo-Information*. 10(4), 269. https://doi.org/10.3390/ijgi10040269

PODHRÁZSKÁ, J., KUČERA, J., DOUBRAVA, D., DOLEŽAL, P. 2021. Functions of Windbreaks in the Landscape Ecological Network and Methods of Their Evaluation. *Forests*. 12(1), 67. https://doi.org/10.3390/f12010067

VACEK, Z., ŘEHÁČEK, D., CUKOR, J., VACEK, S., KHEL, T., SHARMA, R. P., KUČERA, J., KRÁL, J., PAPAJ, V. 2018. Windbreak Efficiency in Agricultural Landscape of the Central Europe: Multiple Approaches to Wind Erosion Control. *Environmental Management*. 62, 942–954. https://doi.org/10.1007/s00267-018-1090-x

KUCERA, J., PODHRAZSKA, J. 2017. The Effect of a Windbreak on the Degradation of Soil Aggregates During the Winter Season. In: *Proceedings of 24th International PhD Students Conference* (MENDELNET 2017), Nov 08–09. Eds: CERKAL, R, BELCREDI, N., PROKESOVA, L., VACEK, P. 2017. Mendel Univ Brno, Fac AgriSciences, Brno, Czech Republic, 390–394. ISBN 978-80-7509-529-9

ŘEHÁČEK, D., KHEL, T., KUČERA, J., VOPRAVIL, J., PETERA, M. 2017. Effect of Windbreaks on Wind Speed Reduction and Soil Protection Against Wind Erosion. *So Soil and Water Research*. 12(2), 128–135. https://doi.org/10.17221/45/2016-SWR

THONNOVÁ, P., STŘEDOVÁ, H. 2014. Analysis of samples occasioned during the period of the erosive dangerous winds. In: *Mendel and Bioclimatology, International Conference on Mendel and Bioclimatology*, Sep 03–05, 2014, Brno. Eds. LITSCHMANN, T., BRZEZINA, J. Masaryk University, 2014. 520–533. ISBN 978-80-210-6983-1

STŘEDOVÁ, H., SPÁČILOVÁ, B., PODHRÁZSKÁ, J., CHUCHMA, F. 2015. A universal meteorological method to identify potential risk of wind erosion on heavy-textured soils. *Moravian Geographical Reports*. 23(2), 56–62. https://doi.org/10.1515/mgr-2015-0011

STŘEDOVÁ, H., PODHRÁZSKÁ, J., LITSCHMANN, T., STŘEDA, T., ROŽNOVSKÝ, J. 2012. Aerodynamic parameters of windbreak based on its optical porosity. *Contributions to Geophysics and Geodesy*. 42(3), 213–226. https://doi.org/10.2478/v10126-012-0008-5

KRMELOVÁ, P., TOMAN, F., STŘEDOVÁ, H. 2012. *Spectral Analysis of Deflametric Records Occasioned During the Periods of the Erosively Dangerous Winds*. In: MENDELNET 2012, MendelNet International Ph.D. Students Conference, NOV 21–22, 2012, Fac Agron, Brno, Czech Republic, Eds. SKARPA, P., RYANT, P., CERKAL, R., POLAK, O., KOVARNIK, J., VYSKOCIL, I. Mendel Univ Brno. 440–448. ISBN 978-80-7375-836-3

STŘEDOVÁ, H., PODHRÁZSKÁ, J., CHUCHMA, F., STŘEDA, T., KUČERA, J., FUKALOVÁ, P., BLECHA, M. 2021. The Road Map to Classify the Potential Risk of Wind Erosion. *ISPRS Int. J. Geo-Inf.*, 10(4), 269. https://doi.org/10.3390/ijgi10040269. ISSN 2220-9964

PODHRÁZSKÁ, J., KUČERA, J., STŘEDOVÁ, H. 2015. The Methods of Locating Areas Exposed to Wind Erosion in the South Moravia Region. *Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis*. 63(1), 113–121. ISSN 1211-8516. https://doi.org/ 10.11118/actaun201563010113

KUCERA, J., PODHRAZSKA, J. 2017. The effect of a windbreak on the degradation of soil aggregates during the winter season. In: CERKAL, R., BŘEZINOVÁ BELCERDI, N., PROKEŠOVÁ, L., VACEK, P. (eds) *Proceedings of 24th International PhD Students Conference*. Brno: Mendel University of Brno, 8.–9. November 2017, 390–394. Dostupné na: https://mnet.mendelu.cz/mendelnet2017/mnet_2017_full.pdf

PODHRÁZSKÁ, J., DOLEŽAL, P., KUČERA, J., STŘEDOVÁ, H. 2016. Hodnocení rizika, řízení a návrh možnosti snížení rizika větrné eroze v zemědělské krajině. *Úroda.* 12/2016.S.401-405 ISSN 0139-6013

PODHRÁZSKÁ, J. KUČERA, J. DOUBRAVA, D. DOLEŽAL, P. 2021. Functions of Windbreaks in the Landscape Ecological Network and Methods of Their Evaluation. *Forests*. 12(1), 67. https://doi.org/10.3390/f12010067

VACEK, Z., ŘEHÁČEK, D., CUKOR, J., VACEK, S., KHEL, T., SHARMA, R. P., KUČERA, J., KRÁL, J., PAPAJ, V. 2018. Windbreak Efficiency in Agricultural Landscape of the Central Europe: Multiple

Approaches to Wind Erosion Control. *Environmental Management.* 62, 942–954. https://doi.org/10.1007/s00267-018-1090-x

ŘEHÁČEK, D., KHEL, T., KUČERA J., VOPRAVIL, J., PETERA, M. 2017. Effect of windbreaks on wind speed reduction and soil protection against wind erosion. *Soil & Water Res*. 12, 128–135.

KUČERA, J., BLECHA, M., PODHRÁZSKÁ, J., SZTURC, J., FUKALOVÁ, P., STŘEDOVÁ, H. 2024. Impact of winter conditions on wind erosion susceptibility of clay soils. *Soil & Water Res*. 19, 218–28. https://doi.org/10.17221/90/2024-SWR

KUČERA, J., FUKALOVÁ, P., STŘEDOVÁ, H., BLECHA, M., JAKUBÍČEK, R., CHMELÍK, J., PODHRÁZSKÁ, J., STŘEDA, T. 2024. Evaluation of the spatial structure of windbreaks from digital photography. *Journal of Ecological Engineering*. 25(10), 381–391. ISSN 2299-8993

KUČERA, J., PODHRÁZSKÁ, J., KARÁSEK, P., PAPAJ, V. 2020. The Effect of Windbreak Parameters on the Wind Erosion Risk Assessment in Agricultural Landscape. *Journal of Ecological Engineering*. 21(2), 150–156.

PODHRÁZSKÁ, J., DOUBRAVA, D., KUČERA, J., DOLEŽAL, P. 2020. Windbreaks and their importance in intensively used agricultural landscape In: FIALOVÁ, J. (Ed.) *Public recreation and landscape protection – with sense hand in hand.* Křtiny: Mendelova univerzita, 11.–13. 5. 2020, 581–586. ISBN 978-80-7509-715-6 (print), ISBN 978-80-7509-716-3 (online)

KUCERA, J., PODHRAZSKA, J., STREDA, T., SZTURC, J. 2020. *Influence of windbreak on the surrounding environment*. In: MENDELNET 2020, MendelNet International Ph.D. Students Conference, NOV 1–12, 2020, Fac Agriscience, Mendel Univ Brno, Czech Republic, 249–254.

KUCERA, J., PODHRAZSKA, J. 2017. The effect of a windbreak on the degradation of soil aggregates during the winterseason. In: CERKAL, R., BŘEZINOVÁ BELCERDI, N., PROKEŠOVÁ, L., VACEK, P. (eds). 2017. *Proceedings of 24th International PhD Students Conference*. Brno: Mendel University of Brno, 8.–9. November 2017. 390–394. Dostupné na: https://mnet.mendelu.cz/mendelnet2017/mnet_2017_full.pdf

KUČERA, J., PODHRÁZSKÁ, J., PAPÁJ, V., ŘEHÁČEK, D., KHEL, T. 2017. Hodnocení rizika větrné eroze v zemědělské krajině na příkladu k. ú. Micmanice. *Úroda* 12, roč. LXV, vědecká příloha, s. 127–132. ISSN 0139-6013

KUČERA, J., SZTURC, J., PODHRÁZSKÁ, J., POCHOP, M. 2021. Evaluation of the risk of wind erosion in the proces of land consolidation. In: FIALOVÁ, J. (ed.) *Public recreation and landscape protection – with sense hand in hand!* Křtiny: Mendelu, 10.–11. 5. 2021. 198–201. ISBN 978-80-7509-779-8 (print) ISBN 978-80-7509-780-4 (online)

KUCERA, J., PODHRAZSKA, J. 2020. Identification of vegetation barriers to model their influence on the effects of wind erosion in the Czech Republic. *MendelNet*. 27, 243–248.

KUČERA, J., PODHRÁZSKÁ, J., POCHOP, M., KŘÍŽEK, P. 2020. Assessment of the influence of windbreak proposals on the risks of windi erosion in the territory of Sudoměřice. In: FIALOVÁ, J. (Ed.) *Public recreation and landscape protection – with sense hand in hand.* Křtiny: Mendelova univerzita, 11.–13. 5. 2020. 581–586. ISBN 978-80-7509-715-6 (print), ISBN 978-80-7509-716-3 (online)

PODHRÁZSKÁ, J., KUČERA, J., PAPAJ, V., SZTURC, J. 2022. Rizika rozvoje větné eroze v intenzivně obhospodařovaných oblastech a možnosti jejího řešení. *Agromanuál.* 17(07/22), 109–111. ISSN 1801-7673 (Print)

KUČERA J., PODHRÁZSKÁ J., PAPAJ V. 2022. Stanovení ztráty půdy větrnou erozí pro podporu návrhů optimálních opatření k ochraně půdy před větrnou erozí. *Úroda* (vědecká příloha). 12, 477–482. ISSN 0139-6013

PODHRÁZSKÁ, J., SZTURC, J., KUČERA, J. 2021. Podpora rozvoje zelené a modré infrastruktury opatřeními pozemkových úprav. *Pozemkové úpravy*. 29(2), 9–14. ISSN 1214-5815

SZTURC, J., PODHRÁZKÁ, J., KUČERA, J. 2021. Vyhodnocení záboru zemědělské půdy v řepařské výrobní oblasti. *Listy cukrovarnické a řepařské*. 137(5–6), 209–211.

KUČERA, J., SZTURC, J., PODHRÁZSKÁ, J., POCHOP, M. 2021. Evaluation of the risk of wind erosion in the proces of land consolidation. In: FIALOVÁ, J. (ed.) *Public recreation and landscape protection – with sense hand in hand!* Křtiny: Mendelu, 10.–11. 5. 2021. 198–201. ISBN 978-80-7509-779-8 (print) ISBN 978-80-7509-780-4 (online).

KUČERA, J., PAPAJ, V., PODHRÁZSKÁ, J., VOJTĚCHOVSKÝ, T., JANOUŠEK, M. 2021. Využití modelu WEM při modelování ohroženosti území větrnou erozí. *Úroda* (vědecká příloha). 12, 457–464. ISSN 0139-6013

PODHRÁZSKÁ, J., SZTURC, J., KUČERA, J. 2021. Podpora rozvoje zelené a modré infrastruktury opatřeními pozemkových úprav. *Pozemkové úpravy*. 29(2), 9–14. ISSN 1214-5815

KUČERA, J., PODHRÁZSKÁ, J., POCHOP, M., KŘÍŽEK, P. 2020. Assessment of the influence of windbreak proposals on the risks of windi erosion in the territory of Sudoměřice In: FIALOVÁ, J. (Ed.) *Public recreation and landscape protection – with sense hand in hand*. Křtiny: Mendelova univerzita, 11.–13. 5. 2020. 581–586. ISBN 978-80-7509-715-6 (print), ISBN 978-80-7509-716-3 (online)

KUČERA, J., PODHRÁZSKÁ, J., POCHOP, M., KARÁSEK, P. 2023. Windbreaks as an important eco-stabilising and soil-protective elements in the landscape of South Moravia. In: FIALOVÁ, J. (Ed.) *Public recreation and landscape protection – with sense hand in hand*. Křtiny: Mendelova univerzita, 9.–11. 5. 2023. 388–392. ISBN 978-80-7509-905-1 (print), ISBN ISBN 978-80-7509-904-4 (online)

PŘÍLOHA 3: SOUVISEJÍCÍ APLIKOVANÉ VÝSLEDKY AUTORSKÉHO TÝMU

DOLEŽAL, P., PODHRÁZSKÁ, J., KUČERA, J., STŘEDOVÁ, H., STŘEDA, T., DOUBRAVA, D. 2017. *Řízení rizika větrné eroze*. Certifikovaná metodika. Brno: VÚMOP, v.v.i. Certifikační organ: SPU, číslo osvědčení:2/2017 SPU/O

PODHRÁZSKÁ, J., KUČERA, J., STŘEDA, T., STŘEDOVÁ, H., CHUCHMA, F. 2016. *Mapa oblastí potenciálně ohrožených větrnou erozí na podkladu půdně-klimatických faktorů*. Číslo osvědčení 3/2016 SPU/O.

PODHRÁZSKÁ, J., KUČERA, J., STŘEDA, T., STŘEDOVÁ, H., CHUCHMA, F. 2016. *Mapa oblastí potenciálně ohrožených větrnou erozí na podkladu půdně-klimatických faktorů*. Číslo osvědčení 3/2016 SPU/O.

STŘEDA, T., STŘEDOVÁ, H., PODHRÁZSKÁ, J., CHUCHMA, F., HABERLE, J., SVOBODA, P., KUČERA, J., PÁNEK, J., CUDEJKOVÁ, M. 2016. *Mapa rizika sucha v době setí ozimé pšenice pro agronomické a půdoochranné využití*. Mendelova univerzita v Brně: Brno, 2016. Číslo osvědčení: 2525/2017 – Mze-10052.

PODHRÁZSKÁ, J., KUČERA, J., STŘEDA, T., STŘEDOVÁ, H., CHUCHMA, F. 2014. *Mapa potenciálního rizika ohrožení těžkých půd větrnou erozí na základě meteorologických podmínek v zimním období*. Certifikovaná mapa s odborným obsahem. Certifikační orgán: SPÚ. Číslo osvědčení 13/2014.

PODHRÁZSKÁ J., KUČERA, J. 2014. *Syntetická mapa potenciální ohroženosti zemědělské půdy větrnou erozí*. Certifikovaná mapa s odborným obsahem. Certifikační orgán: SPÚ. Číslo osvědčení 31/2014.

PODHRÁZSKÁ, J., PEJCHAL, M., KUČERA, J., DOUBRAVA, D., STŘEDOVÁ, H., STŘEDA, T., PAPAJ, V., DOLEŽAL, P., FUKALOVÁ, P., JANOUŠEK, M., LANG, J., NOVOTNÝ, I. 2021. *Zakládání a údržba větrolamů ve zhoršených pedoklimatických podmínkách*. Certifikovaná metodika. Brno: VÚMOP, v.v.i.. Certifikační orgán: SPU, Číslo osvědčení: 1/2022SPU/O

KUČERA, J., PODHRÁZSKÁ, J., STŘEDA, T., STŘEDOVÁ, H., PAPAJ, V. 2019. *Vliv větrolamů na hodnocení rizika větrné eroze v zemědělské krajině*. Certifikovaná mapa. Brno: VÚMOP, v.v.i. 2019. Certifikační organ: SPÚ, číslo osvědčení: 8/2019 SPU/O

KHEL, T., ŘEHÁČEK, D., KUČERA, J., PAPAJ, V., VOPRAVIL, J., VACEK, S., VACEK, Z. 2017. *Metodika hodnocení účinnosti a realizace větrolamů v krajině jako nástroj pro ochranu půdy ohrožené větrnou erozí*. Certifikovaná metodika pro praxi. Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, v.v.i., Praha. ISBN 978-80-87361-70-2

PODHRÁZSKÁ, J., PEJCHAL, M., KUČERA, J., DOUBRAVA, D., STŘEDOVÁ, H., STŘEDA, T., PAPAJ, V., DOLEŽAL, P., FUKALOVÁ, P., JANOUŠEK, M., LANG, J., NOVOTNÝ, I. 2021. *Zakládání a údržba větrolamů ve zhoršených pedoklimatických podmínkách*. Certifikovaná metodika. Brno: VÚMOP, v.v.i. Certifikační orgán: SPU, Číslo osvědčení:1/2022SPU/O

KUČERA, J., PODHRÁZSKÁ, J., STŘEDA, T., STŘEDOVÁ, H., PAPAJ, V. 2021a. *Mapa účelové kategorizace trvalých vegetačních prvků v územích ohrožených větrnou erozí*. Certifikovaná mapa. Brno: VÚMOP, v.v.i. 2021. Certifikační organ: MZe, číslo osvědčení: 2021 MZE-66465/2021-11120

KUČERA, J., PODHRÁZSKÁ, J., PAPAJ, V., STŘEDA, T., STŘEDOVÁ, H., CHUCHMA, F., LANG, J., JANOUŠEK, M., NOVOTNÝ, I. 2021b. *Ohroženost zemědělské půdy větrnou erozí se zohledněním vlivu trvalých vegetačních prvků*. Certifikovaná mapa. Brno: VÚMOP, v.v.i. 2021. Certifikační organ: MZe, číslo osvědčení: 2021 MZE-66471/2021-11120

KŘÍŽEK, P., VOLNÝ, P., KUČERA, J., PODHRÁZSKÁ, J., PAPAJ, V., KARÁSEK, P., SZTURC, J., POCHOP, M. 2021. *AtlasDMT – modul větrná eroze*. Dostupný z: https://www.atlasltd.cz

PAPAJ, V., KUČERA, J., VOJTĚCHOVSKÝ, T., PODHRÁZSKÁ, J., NOVOTNÝ, I., LANG, J., JANOUŠEK, M. 2020. webové aplikaci Řízení rizika větrné eroze. Dostupný z: https://geoportal.vumop.cz/apps/mapovnik/vetrna_eroze_index.php

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

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.

BASARAN, M., ERPUL, G., UZUN, O., GABRIELS, D. 2011. Comparative efficiency testing for a newly designed cyclone type sediment trap for wind erosion measurements. *Geomorphology*. 130(4), 343–351.

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. https://doi.org/10.17221/55/2016-SWR

BILBRO, J. D., FRYEAR, D. W. 1988. Annual herbaceous windbarriers for protecting crops and soils and managing snowfall. *Agr. Ecosyst. Environ.* 22/23, 149–161. https://doi.org/10.1016/0167-8809(88)90015-1

BORRELLI, P. *et al*. 2014. Towards a pan-European assessment of land susceptibility to wind erosion. *Land Degradation & Development*. 27(4), 1093–1105. https://doi.org/10.1002/ldr.2318

BRANDLE, J. R., FINCH, S. 1991. *„How windbreaks work".* Papers in natural resources 1991, 121.

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(2), 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.

BURKE, S. 1998. *Windbreaks*. Inkata Press: Port Melbourne. 128 p.

DARYANTO, S., WANG, L., JACINTHE, P. A. 2016. Global synthesis of drought effects on maize and wheat production. *PLoS ONE.* 11(5), e0156362.

DAVIDSON-ARNOTT, R. G. D., BAUER, B. O., WALKER, I. J., HESP, P. A., OLLERHEAD, J., CHAPMAN, C. 2012. High-frequency sediment transport responses on a vegetated foredune. *Earth Surf. Process. Landf.* 37(12), 1227–1241. https://doi.org/10.1002/esp.3275

DOLEŽAL, P., PODHRÁZSKÁ, J., KUČERA, J., STŘEDOVÁ, H., STŘEDA, T., DOUBRAVA, D. 2017. *Řízení rizika větrné eroze*. Certifikovaná metodika. Brno: VÚMOP, v.v.i.. Certifikační organ: SPU, číslo osvědčení:2/2017 SPU/O.

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. https://doi.org/10.1002/ecs2.2650

EC. 2020. *Strategie EU v oblasti biologické rozmanitosti do roku 2030 – navrácení přírody do našeho života.* Communication from the Commission, COM (2020) 380 final. European Commission, Brussels, 25 pp.

FALLOON, P., BETTS, R. 2010. Climate impacts on European agriculture and water management in the context of adaptation and mitigation—the importance of an integrated approach. *Science of the Total Environment*. 408(24), 5667–5687.

FEWIN, R. J., HELWIG, L. 1988. Windbreak renovation in the American great plains. *Agric. ecosyst. environ*. 22–23, 571–582.

FRYBERGER, G., AL-SARI, A. M., CLISHAM, T. J., RIZVI, S. A. R., AL-HINAI, K. G. 1984. Wind sedimentation in the Jafurah sand sea, Saudi Arabia. *Sedimentology*. 31(3), 413–431.

FRYREAR, D. W., BILBRO, J. D., SALEH, A., SCHOMBERG, H., STOUT, J. E., ZOBECK, T. M. 2000. RWEQ: Improved Wind Erosion Technology. *Journal of Soil and Water Conservation.* 55(2), 183–189. https://doi.org/10.1111/j.1365-3091.1984.tb00869.x

FRYREAR, D. 1986. A field dust sampler. *J. Soil Water Conserv.* 41(2), 117–120.

FUKALOVÁ, P., MAŠÍČEK, T. 2018. Impacts of Intensive Agriculture on Current Rural Landscape – A Case Study for South Moravian Landscape, Czech Republic. *Acta Univ. Agric. Silvic. Mendelianae Brun.* 66(5), 1099–1109.

FUNK R, REUTER HI. 2006. Wind erosion. In: *Soil erosion in Europe*. BOARDMAN, J., POESEN, J. (Eds). Wiley: Chichester. 563–582.

GE, X., ZHU, F., YANG, Y., LIU, G., CHEN, F. 2020. Probing influence factors of implementation patterns for sustainable land consolidation: Insights from seventeen years of practice in Jiangsu province, China. *Sustainability*. 12(9), 3576. https://doi.org/10.3390/su12093576

GIMÉNEZ, A., LOZANO, F. J., TORRES, J. A., ASENSIO, C. 2019. Automated system for soil wind erosion studies. *Computers and Electronics in Agriculture*. 164, 104889. https://doi.org/10.1016/j.compag.2019.104889

GOMES, L, ARRUE, J. L., LOPEZ, M. V., STERK, G., RICHARD, D., GRACIA, R., FRANGI, J. P. 2003. Wind erosion in a semiarid agricultural area of Spain: the WELSONS project. *Catena.* 52(3–4), 235–256. https://doi.org/10.1016/S0341-8162(03)00016-X

GOOSSENS, D., OFFER, Z. Y., LONDON, G. 2000. Wind tunnel and field calibration of five aeolian sand traps. *Geomorphology.* 35(3–4), 233–252. https://doi.org/10.1016/S0169-555X(00)00041-6

GREŠOVÁ, I., STREĎANSKÝ, J. 2011. *Vetrná erozia v krajině – súčasné trendy, metody a sposoby výpočtu*. Metodika. Nitra: Slovenská poľnohospodarská univerzita v Nitre. ISBN 978-80-552-0572-4

GRIFFITH, P. 1976. *Introduction of the problems, in shelterbelts on the great plains*. Shelterbelts on the Great Plains (USA, Denver, Colorado: 20–22 Apr. 1976: Proceedings of the symposium. Denver, Colorado. April 20–22, 1976. [s.l.]: Great Plains Agricultural Council.

GUAN, D., ZHANG, Y., ZHU, T. 2003. A wind–tunnel study of windbreak drag. *Agricultural and Forest Meteorology*. 118(1–2), 75–84. https://doi.org/10.1016/S0168-1923(03)00073-9

GUERRERO, R., VALENZUELA, J. L., CHAMIZO, S., TORRES-MORENO, J. L., ASENSIO, C. 2022. Multidirectional traps as a new assessment system of soil wind erosion. *Sci. agric.* 79(4). https://doi.org/10.1590/1678-992x-2020-0342

GUO, Z., WANG, R., VAN PELT, R. S., CHANG, C., ZOU, X., LI, J., CUI, Y. 2020. Construction and field use of a cyclone type instantaneous weighing aeolian sand trap. *Aeolian Research.* 43, 100564. https://doi.org/10.1016/j.aeolia.2019.100564

HAGEN, L. J., ZOBECK, T. M. SKIDMORE, E. L. ELMINYAWI, I. 1995. *WEPS technical documentation: Soil submodel.* SWCS WEPP/WEPS Symposium. Ankeny, IA.

HOLÝ, M. 1994. *Eroze a životní prostředí*. Praha: ČVUT. ISBN 80-01-01078-3

HUANG, Y., ZHAO, M. 2015. Optimization design of performance test of cyclone separator sand sampler based on numerical simulation and wind erosion tunnel experiment. *Trans. Chin. Soc. Agr. Eng*. 31(16), 50–56. https://doi.org/10.11975/j.issn.1002-6819.2015.16.008

HUO, J. P., GUO, H., GUO, C. P. 2017. Research progress on dust observation instruments. *J. Des. Res.* 37(5), 848–858.

JACKSON, D. W. T. 1996. A new, instantaneous aeolian sand trap design for field use. *Sedimentology*. 43(5), 791–796. https://doi.org/10.1111/j.1365-3091.1996.tb01501.x

JANEČEK, M.,TIPPL, M., PIVCOVÁ, J., VETIŠKOVÁ, D. 2000. *Mapy potenciální ohroženosti zemědělských půd ČR vodní a větrnou erozí*. Praha: Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy.

JANEČEK, M., BOHUSLÁVEK, J., DUMBROVSKÝ, M., GERGEL, J., HRÁDEK, F. *et al*. 2025. *Ochrana zemědělské půdy před erozí*. 2. vyd. Praha: ISV nakladatelství. ISBN 80-86642-38-0

JANEČEK, M. 2007. *Ochrana zemědělské půdy před erozí: metodika*. Praha: Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy. ISBN 978-80-254-0973-2

KATRA, I. 2020. *Soil erosion by wind and dust emission in semi-arid soils due to agricultural activities. Agronomy*. 10(1), 89. https://doi.org/10.3390/agronomy10010089

KHEL, T., ŘEHÁČEK, D., KUČERA, J., PAPAJ, V., VOPRAVIL, J., VACEK, S., VACEK, Z. 2017. *Metodika hodnocení účinnosti a realizace větrolamů v krajině jako nástroj pro ochranu půdy ohrožené větrnou erozí.* Certifikovaná metodika pro praxi, Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, v.v.i., Praha. ISBN 978-80-87361-70-2

KIM, J. R., LIN, C. W., LIN, S. Y. 2021. The use of InSAR phase coherence analyses for the monitoring of aeolian erosion. *Remote Sens*. 13(12), 2240. https://doi.org/10.3390/rs13122240

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. https://doi.org/10.1016/j.aeolia.2017.08.003

KOSMADAKIS, I., TSARDAKLIS, P., IOANNOU, K., ZAIMES, G. N. A. 2015. *Novel Fully Automated Soil Erosion Monitoring systém*. Proceedings of the HAICTA; Kavala, Greece. 17–20 September 2015; pp. 80–84.

KOZLOVSKY DUFKOVÁ, J., JAREŠ, V. 2011. *Problems with occurrence of wind erosion anomaly on heavy-textured soils*. In: STŘEDOVÁ, H., ROŽNOVSKÝ, J., LITSCHMANN, T. (eds): *Mikroklima a mezoklima krajinných struktur a antropogenních prostředí.* Skalní mlýn, 2.–4. 2. 2011, ISBN 978-80-86690-87-2

KOZLOVSKY DUFKOVÁ, J., PODHRÁZSKÁ, J. 2012. Regionalizace erodovatelnosti těžkých půd větrnou erozí. *Úroda*. 60(6), 80–81. ISSN 0139-6013

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. https://doi.org/10.14597/INFRAECO.2019.2.1.004

KUČERA, J., PODHRÁZSKÁ, J., KARÁSEK, P., PAPAJ, V. 2020. The Effect of Windbreak Parameters on the Wind Erosion Risk Assessment in Agricultural Landscape. *Journal of Ecological Engineering*. 21(2), 150–156.

KUČERA, J., PODHRÁZSKÁ, J., STŘEDA, T., STŘEDOVÁ, H., PAPAJ, V. 2021a. *Mapa účelové kategorizace trvalých vegetačních prvků v územích ohrožených větrnou erozí*. Certifikovaná mapa. Brno: VÚMOP, v.v.i. 2021. Certifikační organ: MZe, číslo osvědčení: 2021 MZE-66465/2021-11120.

KUČERA, J., PODHRÁZSKÁ, J., PAPAJ, V., STŘEDA, T., STŘEDOVÁ, H., CHUCHMA, F., LANG, J., JANOUŠEK, M., NOVOTNÝ, I. 2021b. *Ohroženost zemědělské půdy větrnou erozí se zohledněním vlivu trvalých vegetačních prvků.* Certifikovaná mapa. Brno: VÚMOP, v.v.i. 2021. Certifikační organ: MZe, číslo osvědčení: 2021 MZE-66471/2021-11120

KUČERA, J. FUKALOVÁ, P., STŘEDOVÁ, H., BLECHA, M., JAKUBIČEK, R., CHMELÍK, J., PODHRÁZSKÁ, J., STŘEDA, T. 2024. *Evaluation of the Spatial Structure of Windbreaks from Digital Photography*. *Journal of Ecological Engineering*. 25(10), 381–391. ISSN 2299-8993. https://doi.org/10.12911/22998993/192473

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

LACKÓOVÁ, L., KOZLOVSKY-DUFKOVÁ, J. 2021. Erodible fraction content change in long term wind erosion duration. *Acta Horticulturae et Regiotecturae*. 24(1), 56–62. https://doi.org/10.2478/AHR-2021-0024

LACKÓOVÁ, L., POKRÝVKOVÁ, J., KOZLOVSKY DUFKOVÁ, J., POLICHT-LATAWIEC, A., MICHALOWSKA, K., DABROWSKA, J. 2021. Long-Term Impact of Wind Erosion on the Particle Size Distribution of Soils in the Eastern Part of the European Union. *Entropy*. 23(8), 935. https://doi.org/10.3390/E23080935

LAMPARTOVÁ, I., SCHNEIDER, J., VYSKOT, I., RAJNOCH, M., LITSCHMANN, T. 2015. Impact of Protective Shelterbelt on Microclimate characteristics. *Ekológia (Bratislava).* 34(2), 101–110.

LEATHERMAN, S.P. 1978. Short communication: a new aeolian sand trap design. *Sedimentology*. 25(2), 303–306.

LEE, J. A. 1987. A field experiment on the role of small scale wind gustiness in aeolian sand transport. *Earth Surf. Proc. Land.* 12(3), 331–335. https://doi.org/10.1002/esp.3290120311

LITSCHMANN, T., ROŽNOVSKÝ, J. 2004. Vliv větrolamu na proudění vzduchu. In: *Transport vody, chemikálií a energie v systéme pôda - rastlina - atmosféra*. Bratislava, SAV. CD ROM, ISBN 80-968480-4-6

LITSCHMANN, T., ROŽNOVSKÝ, J. 2005. Optická hustota větrolamu a její vliv na charakter proudění. In: ROŽNOVSKÝ, J., LITSCHMANN, T. (ed). *Bioklimatologie současnosti a budoucnosti*. Křtiny 12.–14. 9. 2005. ISBN 80-86 690–31-08

LITSCHMANN, T., ROŽNOVSKÝ, J., PODHRÁZSKÁ, J. 2007. The utilisation of optical density for classification of windbreaks. In: STŘELCOVÁ, K., ŠKVARENINA, J., BLAŽENEC, M. (eds.). *Bioclimatology and natural hazards*. International Scientific Conference, Poľana nad Detvou, Slovakia, September 17–20, 2007. ISBN 978-80-228-17-60-8

LU, H., LIU, CH., WANG, Y., ZHANG, H., SUN, Y., MAO, J., MA, Z., CHEN, L., GAO, S. 2020. *Fine particle emission from agriculture soil erosion based on wind-tunnel experiment*. IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci. 446 032084. https://doi.org/10.1088/1755-1315/446/3/032084

LU, H., SHAO, Y. 2001. Toward quantitative prediction of dust storms: An integrated wind erosion modelling system and its applications. *Environ. Modell. Software*. 16(3), 233–249.

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. https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2011.01.011

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. https://doi.org/10.1016/j.aeolia.2016.02.003

MENDEZ, M. J. 2022. A new wind erosion sampler called "Mendeźs trap (MT). Description and field performance test in a loamy sand soil. *Aeolian Research* 56, 100800. https://doi.org/10.1016/j.aeolia.2022.100800

MERVA, G., PETERSON, G. 1983. *Wind erosion sampling in the North Central Region.* Microfiche Collect., 22.

MESELHY, A. A. and WASSIF, O. M. 2021. Manufacturing and assessing new samplers to measure wind soil erosion. *Journal of Applied and Natural Science*. 13(4), 1390–1406.

MINISTERSTVO DOPRAVY. 2005. *Technické podmínky, Vysazování a ošetřování silniční vegetace*; Schváleno MD – OPK čj. 571/04-120-RS/1 ze dne 17. 12. 2004 s účinností od 1. ledna 2005. 27 s.

MINISTERSTVO ZEMĚDĚLSTVÍ. 2020. *Zpráva o stavu zemědělství ČR za rok 2020 „Zelená zpráva 2020"*. [cit. 1. 4. 2023]. [online]. Dostupná z: https://eagri.cz/public/web/mze/zemedelstvi/publikace-a-dokumenty/zelene-zpravy/zelena-zprava-2020.html

NAMIKAS, S. L. 2002. Field Evaluation of Two Traps for High-Resolution Aeolian Transport Measurements. J. Coastal Res. 18(1), 136–148. https://www.jstor.org/stable/4299060

NĚMEČEK, J. 2011. *Taxonomický klasifikační systém půd České republiky.* Praha: Česká zemědělská univerzita. ISBN 978-80-213-2155-7

NICKLING, W. G., NEUMAN, M. K. 1997. Wind tunnel evaluation of a wedge-shaped aeolian sediment trap. *Geomorphology*. 18(3–4), 333–345. https://doi.org/10.1016/S0169-555X(96)00048-2

NOVOTNÝ I., PODHRÁZSKÁ J., PAPAJ V., BANÝROVÁ J., PIRKOVÁ I. 2010. *Potenciální ohroženost zemědělské půdy větrnou erozi.* Březen 2010. [Online]. Dostupné z: http://geoportal.vumop.cz

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

PAŠAKARNIS, G., MALIENE, V. 2010. Towards sustainable rural development in Central and Eastern Europe: Applying land consolidation. *Land Use Policy*. 27(2), 545–549. https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2009.07.008

PEŠOUT, P. 2020. Navrácení přírody do našeho života – strategie EU v oblasti biologické rozmanitosti do roku 2030. *Ochrana přírody.* 75(4), 45–4.

PODHRÁZKÁ, J., NOVOTNÝ, I. 2007. Evaluation of the Wind Erosion Risks in GIS. *Soil and Water Research*. 2(1), 10–14. https://doi.org/10.17221/2101-swr

PODHRÁZSKÁ, J., NOVOTNÝ, I., ROŽNOVSKÝ, J. *et al.* 2008. *Optimalizace funkcí větrolamů v zemědělské krajině*. Uplatněná certifikovaná metodika. Praha: Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy. ISBN 978-80-904027-1-3

PODHRÁZSKÁ, J. 2011. *Hodnocení účinnosti trvalých vegetačních bariér v ochraně proti větrné erozi*. Brno: Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy. 36 s. ISBN 978-80-87361-10-8

PODHRÁZSKÁ, J., KOZLOVSKY DUFKOVÁ, J., KUČERA, J. 2012. *Potenciální náchylnost těžkých půd k větrné erozi:* Certifikovaná mapa s odborným obsahem Projektu QH82099. Brno. Výzkumný ústav meliorací o ochrany půdy, v.v.i., 2012. Číslo osvědčení: 16/2012-13300.

PODHRÁZSKÁ, 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*. 61(6), 1829–1837. https://doi.org/10.11118/actaun201361061829

PODHRÁZSKÁ, J., KUČERA, J., STŘEDA, T., STŘEDOVÁ, H., CHUCHMA, F. 2014. *Mapa potencionálního rizika ohrožení těžkých půd větrnou erozí na základě meteorologických podmínek v zimním období.* Potencial risk of the exposure of heavy soils based on meteorological conditions in winter season. Certifikovaná mapa s odborným obsahem. Certifikační orgán: SPÚ, číslo osvědčení 13/2014.

PODHRÁZSKÁ, J., KUČERA, J., STŘEDOVÁ, H. 2015. The Methods of Locating Areas Exposed to Wind Erosion in the South Moravia Region. *Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis*. 62(1), 113–121. ISSN 1211-8516

PODHRÁZSKÁ, J., PEJCHAL, M., KUČERA, J., DOUBRAVA, D., STŘEDOVÁ, H., STŘEDA, T., PAPAJ., V., DOLEŽAL, P., FUKALOVÁ, P., JANOUŠEK, M., LANG, J., NOVOTNÝ, I. 2021. *Zakládání a údržba větrolamů ve zhoršených pedoklimatických podmínkách.* Certifikovaná metodika. Brno: VÚMOP, v.v.i.. Certifikační orgán: SPU. Číslo osvědčení: 1/2022SPU/O.

PODHRÁZSKÁ, J., BEDNÁŘ, M., DOSTÁL, T., DUMBROVSKÝ, M., HANEL, M. *et al*. 2024. *Ochrana zemědělské půdy před erozí. Metodika.* Praha: Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy. 144 s. ISBN 978-80-7212-667-5

REJŠEK, K., VÁCHA, R. 2018. *Nauka o půdě.* Publisher, Agriprint, s.r.o., 2018. ISBN 8087091825. Produktové číslo: 9788087091821.

REZAEI, M., RIKSEN, M. 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. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.02.382

RIDGE, J. T., RODRIGUEZ, A. B., FEGLEY, S. R., BROWNE, R., HOOD, D. 2011. *A new 'pressure sensitive' method of measuring aeolian sediment transport using a Gauged Sediment Trap (GaST). Geomorphology*. 134(3–4), 426–430. https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2011.07.017

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

RIKSEN, M. J. P. M., de Graaff, J. 2001. On-site and off-site effects of wind erosion on European light soils. *Land Degradation & Development.* 12(1), 1–11. https://doi.org/10.1002/ldr.423

ROLOFF, A., MEYER, M. 2008. *Auswirkungen des zu erwartenden Klimawandels: Eignung der heimischen und möglicher nichtheimischer Gehölze in der Landschaft und Konsequenzen für die Verwendung*. Grün ist Leben, 2008, Sonderausgabe, s. 4–29.

ROŽNOVSKÝ, J., FUKALOVÁ, P., POKLADNÍKOVÁ, H. 2010. Predikce klimatu jižní Moravy. In: ROŽNOVSKÝ, J., LITSCHMANN, T. (ed). *Voda v Krajině*. Lednice 31. 5.–1. 6. 2010. ISBN 978-80 -86690–79-7

ROŽNOVSKÝ, J. 2019. Vliv změn podnebí na množství vody v krajině. In: ROŽNOVSKÝ, J. A, LITSCHMANN, T. (eds). Sborník abstraktů z mezinárodní konference *„Hospodaření s vodou v krajině*". Třeboň 13.–14. 6. 2019. Praha: Český hydrometeorologický ústav. s. 27. ISBN 978-80-87577-88-2

RUBEN, R. B., GABRIEL, R. M., ISMAEL, M. T., EMILIO, H. O. 2016. Design and initial testing of a piezoelectric sensor to quantify aeolian sand transport. *Aeolian Res*. 22, 127–134. https://doi.org/10.1016/j.aeolia.2016.01.005

ŘEHÁČEK, D., KHEL, T., KUČERA, J., VOPRAVIL, J., PETERA, M. 2017. Effect of windbreaks on wind speed reduction and soil protection against wind erosion. *Soil & Water Res.* 12(2), 128–135. https://doi.org/10.17221/45/2016-SWR

SHAO, Y., MCTAINSH, G., LEYS, J., RAUPACH, M. 1993. Efficiencies of sediment samplers for wind erosion measurement. *Soil Res*. 31, 519–532.

SHAO, Y, RAUPACH, M. R., LEYS, J. F. 1996. A model for predicting aeolian sand drift and dust entrainment on scales from paddock to region. *Aust. J. Soil Res.* 34(3), 309–342. https://doi.org/10.1071/SR9960309

SHANNAK, B., CORSMEIER, U., KOTTMEIER, C., AL-AZAB, T. 2014. Wind tunnel study of twelve dust samples by large particle size. *Atmos. Environ.* 98, 442–453. https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2014.08.062

SHERMAN, D., SWANN, C., BARRON, J. 2014. A high-efficiency, low-cost aeolian sand trap. *Aeolian Res*. 13, 31–34. https://doi.org/10.1016/j.aeolia.2014.01.005

SKIDMORE, E. L. 1994. *Wind erosion*. Chapter 11, pp. 265–294. In: LAL R. Soil erosion research methods. Soil and Water conservation Society. ISBN 1-884015-09-3

SKLENIČKA, P. 2006. Applying evaluation criteria for the land consolidation effect to three contrasting study areas in the Czech Republic. *Land Use Policy*. 23(4), 502–510. https://doi.org/10.1016/J.LANDUSEPOL.2005.03.001

SKLENIČKA, P., KOTTOVÁ, B., ŠÁLEK, M. 2017. Success in preserving historic rural landscapes under various policy measures: Incentives, Restrictions or planning? *Environmental science & policy*. 75, 1–9. https://doi.org/10.1016/J.ENVSCI.2017.05.010

SORENSON, C. J., MAROTZ, G. A. 1977. Changes in shelterbeltmileage statistics over four decades in Kansas. *J. Soil water conserv.* 32, 276–281.

STOUT, J. E. 2007. Simultaneous observation of the critical aeolian threshold of two surfaces. *Geomorphology*. 85(1–2), 3–16. https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2006.03.034
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.
STŘEDA, T., MALENOVÁ, P., POKLADNÍKOVÁ, H., ROŽNOVSKÝ, J. 2008. The Efficiency of Windbreaks on The Basis of Wind Field and Optical Porosity Measurement. *Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis*. 56(4), 281–288. https://doi.org/10.11118/actaun200856040281
STŘEDOVÁ, H., PODHRÁZSKÁ, J., STŘEDA, T. 2012. *Deflametr s aktivním lapačem půdních částic a časovým záznamem.* Užitný vzor č. 23733, Úřad průmyslového vlastnictví ČR.
STŘEDOVÁ, H., PODHRÁZSKÁ, J., LITSCHMANN, T., STŘEDA, T., ROŽNOVSKÝ, J. 2012. Aerodynamic parameters of windbreak based on its optical porosity. *Contributions to Geophysics and Geodesy*. 42(3), 213–226. https://doi.org/10.2478/v10126-012-0008-5
STŘEDOVÁ, H., ROŽNOVSKÝ, J., STŘEDA, T. 2013. Predisposition of drought occurrence in selected arid areas of the Czech Republic. *Contrib. Geophys. Geodesy.* 43(3), 237–252. https://doi.org/10.2478/congeo-2013-0015
STŘEDOVÁ, H., SPÁČILOVÁ, B., PODHRÁZSKÁ, J., CHUCHMA, F. 2015. A universal meteorological method to identify potential risk of wind erosion on heavy-textured soils. *Moravian Geographical Reports*. 23(2), 56–62. https://doi.org/10.1515/mgr-2015-0011
STŘEDOVÁ, H., PODHRÁZSKÁ, J., CHUCHMA, F., STŘEDA, T., KUČERA, J., FUKALOVÁ, P., BLECHA, M. 2021. The Road Map to Classify the Potential Risk of Wind Erosion. *ISPRS Int. J. Geo-Inf.* 10, 269. https://doi.org/10.3390/ijgi10040269
STŘEŠTÍK, J., ROŽNOVSKÝ, J., ŠTĚPÁNEK, P., ZAHRADNÍČEK, P. 2014. Increase of annual and seasonal air temperatures in the Czech Republic during 1961–2010. In: ROŽNOVSKÝ, J., STŘEDOVÁ, H., STŘEDA, T. (eds.) Mendel a bioklimatologie. Brno, 3.–5. 9. 2014 Conference proceedings. ISBN 978-80-210-6983-1
ŠTĚPÁNEK, P., ZAHRADNÍČEK, P., FARDA, A., SKALÁK, P., TRNKA, M., MEITNER, J, RAJDL, K. 2016. Projection of drought-inducing climate conditions in the Czech Republic according to Euro-CORDEX models. *Clim Res.* 70, 179–193. https://doi.org/10.3354/cr01424
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. 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., VRÁNA, K. 1987. Hranice erodovatelnosti půdy větrem v podmínkách těžkých půd. *Geografický časopis.* 39(1), 73–85.
ŠVEHLÍK, R. 1987. Deflametrické metody ve výzkumu větrné eroze. *Meliorace.* 2, 151–158.
ŠVEHLÍK, R. 1988. Hranice erodovatelnosti půdy větrem. *Zprávy Geografického ústavu ČSAV*. 25(4), 19–42.
ŠVEHLÍK, R. 1989. Měření intenzity větrné eroze deflametrem. *Zprávy Geografického ústavu ČSAV.* 26(3), 35–48.
ŠVEHLÍK, R. 1990. Hranice erodovatelnosti půdy větrem. *Geografický časopis*. 42(3), 309–319.
ŠVEHLÍK, R. 2006. *Historický výzkum větrné eroze půdy na jihovýchodní Moravě v období 1957–2006.* Bánov: vlastním nákladem, 28 s.
TRNKA, M., DUBROVSKÝ, M., ŽALUD, Z. 2004. Climate change impacts and adaptation strategies in spring barley production in the Czech Republic. *Clim. Chang*. 64(1–2), 227–255. https://doi.org/10.1023/B:CLIM.0000024675.39030.96
TRNKA, M., RÖTTER, R., RUIZ-RAMOS, M. *et al.* 2014. Adverse weather conditions for European wheat production will become more frequent with climate change. *Nature Clim Change*. 4, 637–643. https://doi.org/10.1038/nclimate2242
VACEK, Z., ŘEHÁČEK, D., CUKOR, J., VACEK, S., KHEL, T., SHARMA, R. P., KUČERA, J., KRAL, J., PAPAJ, V. 2018. Windbreak efficiency in agricultural landscape of the Central Europe: multiple approaches to wind erosion control. *Environmental Management*. 62(5), 942–954. https://doi.org/10.1007/s00267-018-1090-x

VAN DIJK, T. 2007. Complications for traditional land consolidation in central Europe. *Geoforum*. 38(3), 505–511. https://doi.org/10.1016/J.GEOFORUM.2006.11.010

VAN PELT, R. S., PETERS, P., VISSER, S. 2009. Laboratory wind tunnel testing of three commonly used saltation impact sensors. *Aeolian Research.* 1(1–2), 55–62. https://doi.org/10.1016/j.aeolia.2009.05.001

VIGIAK, O., STERK, G., WARREN, A., HAGEN, L. J. 2003. Spatial modelling of wind speed around windbreaks. *Catena.* 52, 273–288. https://doi.org/10.1016/S0341-8162(03)00018-3

VITIKAINEN, A. 2004. An overview of land consolidation in Europe. *Nordic journal of surveying and real estate research*. 1, 25–44.

VOPRAVIL, J. *et al.* 2009. *Půda a její hodnocení v ČR.* 1. vyd. Praha: Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, 2009–2011. 2 sv. ISBN 978-80-87361-02-3

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.

WANG, R. D., LI, Q., CHANG, C. P., GUO, Z. L. 2018. Sampling efficiency of a new flat opening collector for particles with various sizes. *J. Des. Res*. 38(4), 1–5.

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.* 12(12), 6647–6665. https://doi.org/10.5194/amt-12-6647-2019

WEBB, N. P., MCGOWAN, H. A., PHINN, S. R., MCTAINSH, G. H. 2006. AUSLEM (AUStralian Land Erodibility Model): A tool for identifying wind erosion hazard in Australia. *Geomorphology*. 78(3–4), 179–200.

WEBB, N. P., GALLOZA, M. S., ZOBECK, T. M., HERRICK, J. E. 2016. Threshold wind velocity dynamics as a driver of aeolian sediment mass flux. *Aeolian Research.* 20, 45–58.

WOODRUFF, N. P., SIDDOWAY, F. H. 1965. A Wind Erosion Equation. *Soil Science Society of America Proceedings*. 29, 602–608.

WRIGHT, S. L., ULKE, J., FONT, A. CHAN, K. L. A., KELLY, F. J. 2020. Atmospheric microplastic deposition in an urban environment and an evaluation of transport. *Environ. Int*. 136, 105411. https://doi.org/10.1016/j.envint.2019.105411

XI, X., SOKOLIK, I. N. 2016. Quantifying the anthropogenic dust emission from agricultural land use and desiccation of the Aral Sea in Central Asia. *J. Geophys. Res. Atmos*. 121, 12270–12281. https://doi.org/10.1002/2016JD025556

YANG, F., YANG, X., HUO, W., ALI, M., ZHENG, X., ZHOU, C., HE, Q. 2017. A continuously weighing, high frequency sand trap: Wind tunnel and field evaluations. *Geomorphology*. 293, 84–92.

YULEVITCH, G., DANON, M., KRASOVITOV, B., FOMINYKH, A., SWET, N., TSESARSKY, M., KATRA, I. 2020. Evaluation of wind-induced dust-PM emission from unpaved roads varying in silt content by experimental results. *Atmos. Pollut. Res*. 11, 261–268. https://doi.org/10.1016/j.apr.2019.10.010

ZHAO, Y. L., MA, S. S., CHEN, Z., SUN Y. C. 2007. The calibration of the whirl type separation sand sampler. *J. Agr. Mech. Res*.

ZOBECK, T. M., STERK, G., FUNK, R., RAJOT, J. L., STOUT, J. E., VAN PELT, R. S. 2003. Measurement and data analysis methods for field-scale wind erosion studies and model validation. *Earth Surf. Proc. Land*. 28(11), 1163–1188.

SEZNAM ZKRATEK, OBRÁZKŮ A TABULEK

Seznam zkratek

BPEJ.....bonitované půdně ekologické jednotky
ČHMÚ .....Český hydrometeorologický ústav
ČR .....Česká republika
ČÚZK.....Český úřad zeměměřický a katastrální
DMR 4G.....digitální model reliéfu 4. generace
DPB.....díl půdního bloku v rámci LPIS
DPZ.....dálkový průzkum země
DZES.....standard Dobrého zemědělského a enviromentálního stavu půdy
EHP .....erozně hodnocená plocha
EU .....Evropská unie
fAPAR.....Fraction of Absorbed Photosynthetically Active Radiation
HPJ.....hlavní půdní jednotka
IWEMS .....Integrated Wind Erosion Modeling Systém
KoPÚ .....Komplexní pozemková úprava
LPIS.....evidencí využití zemědělské půdy
MZe .....Ministerstvo zemědělství
NAZV.....Národní agentura pro zemědělský výzkum
NDRE .....Normalized difference red edge index
NDVI .....Normalized Difference Vegetation Index
OLP.....ochranný lesní pás
OVB .....ostatní vegetační bariéra
PB.....půdního bloku v rámci LPIS
RWEQ .....Improved Wind erosion equation
SAVI.....Soil Adjusted Vegetation Index
SOWAC-GIS...geoportál VÚMOP, v.v.i.
SW .....software
UAV.....bezpilotní letadlo
v.v.i. .....veřejná výzkumná instituce
VÚMOP.....Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, v.v.i.
WEAM .....Wind Erosion Assessment Model
WEM .....Windbreak Efficiency Model
WEPS .....Wind Erosion Predicted Systém
WEQ.....Wind erosion equation
ZABAGED.....Základní báze geografických dat České republiky

Seznam obrázků

Obr. 1 Zavátí komunikace po prašné bouři na těžkých půdách u obce Suchá Loz (vlevo) a Zavátí komunikace u Mikulova (vpravo) – foto: J. Kučera 9
Obr. 2 Prašná bouře u Břeclavi (vlevo) a zarovnávání hrubé brázdy (planace) u Hodonína (vpravo) – foto: J. Kučera 9
Obr. 3 Zachycená erozní událost v jarním období na těžkých půdách v blízkosti obce Suchá Loz – foto J. Kučera 12
Obr. 4 Schéma hodnocení náchylnosti půd k větrné erozi 13
Obr. 5 Mapa A: Půdní faktor ohroženosti půd větrnou erozí z databáze BPEJ 13
Obr. 6 Mapa B: Potenciální ohrožení těžkých půd větrnou erozí na základě meteorologických podmínek v zimním období 14
Obr. 7 Mapa C1 vyjadřující riziko výskytu přísušků v jarním a podzimním období 15
Obr. 8 Mapa D1vyjadřující riziko výskytu nebezpečných větrů v jarním a podzimním období 15
Obr. 9 Mapa oblastí potenciálně ohrožených větrnou erozí na podkladu půdně-klimatických faktorů 17
Obr. 10 Ukázka prodouvavého větrolamu 20
Obr. 11 Ukázka neprodouvavého větrolamu 21
Obr. 12 Ukázka poloprodouvavého větrolamu 21
Obr. 13 Reprezentativní úsek větrolamu Hodnocení prostorové struktury větrolamů 23
Obr. 14 Ukázka prostředí beta verze programu Windbreak s vyznačením zájmového segmentu (zelená linie) a stanovení výšky keřového patra (žlutá linie). 24
Obr. 15 Ukázka vyobrazení průběhů lokálních (nalevo) a kumulativních (napravo) optických porozit v závislosti na měřené konkrétní výšce větrolamu. 25
Obr. 16 Ukázka prostředí beta verze programu Windbreak v části segmentace a měření. 25
Obr. 17 Vertikální průběh optické porozity 26
Obr. 18 Horizontální průběh optické porozity 26
Obr. 19 Plošné rozložení optické porozity 26
Obr. 20 Sezónní vývoj optické porozity větrolamu 27
Obr. 21 Příklad jednořadého větrolamu s keřovým patrem bez olistění v termínu 25. března s hodnotou OP = 44 % 27
Obr. 22 Příklad jednořadého větrolamu s keřovým patrem bez olistění v termínu 27. dubna s hodnotou OP = 27 % 28
Obr. 23 Příklad jednořadého větrolamu s keřovím patrem bez olistění v termínu v termínu 5. června s hodnotou OP = 3 % 28
Obr. 24 Příklad jednořadého větrolamu s keřovým patrem bez olistění v termínu v termínu 20. srpna s hodnotou OP = 3 % 28
Obr. 25 Příklad jednořadého větrolamu s keřovým patrem bez olistění v termínu v termínu 12. října s hodnotou OP = 4 % 29
Obr. 26 Příklad jednořadého větrolamu s keřovým patrem bez olistění v termínu v termínu 11. listopadu s hodnotou OP = 31 % 29
Obr. 27 Úroveň redukce rychlosti větru (v %) v různých vzdálenostech od větrolamu v závislosti na OP – výstup software Surfer (interpolace local polynomial metodou, polynomial order 2) 31
Obr. 28 Úroveň redukce rychlosti větru (v %) v různých vzdálenostech od větrolamu (osa X) v závislosti na OP (osa Y). Výstup dle rovnice „2“ 32
Obr. 29 Modelové ochranné oblasti s využitím přístupu, dle Řecháček *et al.* (2017). Za ochrannou oblast větrolamu je považována vzdálenost, při které je rychlost větru závětrné straně nižší oproti návětrné straně (U < 100 %) 33
Obr. 30 Přehledová mapa zájmového území Micmanice, podkladová vrstva: potenciální ohroženost větrnou erozí na podkladu půdně–klimatických faktorů dle metodiky Doležal *et al.* (2017) 33
Obr. 31 Příklad modelování ochranných zón pro převládající směr větru jihovýchodní 34

Obr. 32 Příklad provedené korekce prostorového umístění OLP z databáze ÚHÚL. Fialové prvky před korekcí a oranžové prvky po korekci nad aktuální ortofotomapou (vlevo); Doplnění větrolamů (hnědá barva) mimo databázi ÚHÚL (vpravo) 41
Obr. 33 Příklad vegetační bariéry typu větrolam – foto P. Karásek 42
Obr. 34 Příklad vegetační bariéry typu stromořadí (nově založené) – foto J. Kučera 42
Obr. 35 Příklad vegetační bariéry typu břehový porost – foto P. Karásek 43
Obr. 36 Mapa účelové kategorizace trvalých vegetačních prvků v územích ohrožených větrnou erozí (Kučera *et al.* 2021a) 43
Obr. 37 Ukázka oblastí vymezující působení nejvýraznějších erozně nebezpečných větrů 44
Obr. 38 Implementační schéma znázorňující postup tvorby mapy a které umožňuje tento postup implementovat do SW modulů při hodnocení erozních rizik a návrzích nových vegetačních bariér 45
Obr. 39 Ukázka přehodnocení kategorie erozní ohroženosti na půdním bloku (EHP) při zahrnutí vlivu vegetačních bariér 47
Obr. 40 Mapa oblastí potenciálně ohrožených větrnou erozí na podkladu půdně-klimatických faktorů s uvažováním ochranných zón vegetačních bariér (Kučera *et al.* 2021b) 48
Obr. 41 Grafika vstupního panelu na geoportálu SOWAC-GIS 50
Obr. 42 Úvodní stránka se vstupem do mapové aplikace 50
Obr. 43 Úvodní část webové aplikace s odkazem na metodiku „Zakládání a údržba větrolamů ve zhoršených pedoklimatických podmínkách“ (Podhrázská *et al.*, 2021) 51
Obr. 44 Úvodní část webové aplikace s odkazy na aktuálně dostupné datové podklady potenciální ohroženosti větrnou erozí a odkazy na další související metodické postupy 51
Obr. 45 Ukázka online dostupných mapových výstupů ve webové aplikaci. 52
Obr. 46 Ukázka panelu vyhledávání (vlevo), ukázka výsledku dotazu (vpravo) 52
Obr. 47 Ukázka pro vygenerování ochranné zóny vlastního větrolamu (vlevo), ukázka modulu erozní ohroženost (vpravo) 53
Obr. 48 Ukázka jednotlivých kroků při práci s interaktivním modulem „Erozní ohroženost“ (pátá záložka), výběr k.ú. (vlevo), výběr zájmového PB (uprostřed) a detail informace o vybraném PB (vpravo). 53
Obr. 49 Ukázka mapové aplikace po výběru zájmového PB. 54
Obr. 50 Ukázka vytvořeného větrolamu a rozhraní s parametry 54
Obr. 51 Větrolam s vypočtenými ochrannými zónami 55
Obr. 52 Obvod studie s vyznačenými zájmovými k.ú. 56
Obr. 53 Příklad převážně nefunkčního větrolamu poškozeného tornádem v k.ú. Tvrdonice – foto P. karásek 57
Obr. 54 Příklad nefunkční větrolamu poškozeného tornádem v k.ú. Tvrdonice – foto P. karásek 57
Obr. 55 Stupně ohroženosti s rozlišením nepřekročené a překročené tolerované délky pozemků 58
Obr. 56 Grafické znázornění procentuálního zastoupení stupně ohroženosti před návrhem a po návrhu zohledňující tolerované délky pozemků 60
Obr. 57 Trojúhelníkový diagram zrnitosti půd (Němeček *et al.*, 2011) 64
Obr. 58 Deflametr s aktivním lapačem půdních částic a časovým záznamem; zdroj: Středová, Podhrázská a Středa (2012) 66
Obr. 59 Fotografie deflametru (vlevo) a fotografie mobilní meteostanice (vpravo) 66
Obr. 60 Blokové schéma konceptu přípravy učební databáze a učení neuronové sítě s využitím softwaru DPA v.2.1 67
Obr. 61 Blokové schéma připravovaného softwaru DPA v.3.0 obsahujícím natrénovaný model neuronové sítě 68
Obr. 62 Ukázka automatické segmentace částic s využitím adaptivního prahování bez manuálních úprav 69
Obr. 63 Ukázka poloautomatického nástroje pro segmentaci částic, konkrétně nástroje rozvodí, kdy je možné přidávat a ubírat konturou ohraničené segmenty jedním kliknutím. Současně je snímek přiblížený 69
Obr. 64 Ukázka barevné mapy vyjadřující velikost průměru kruhu s ekvivalentní plochou. Současně je zobraz kumulativní histogram tohoto parametru 70

Obr. 65 Ukázka automatické klasifikace typu částic, kdy zelená barva odpovídá anorganickým pevným půdním částicím a bílá ostatním půdním částicím. Červená organická pevná půdní částice není v přiblíženém oblasti viditelná 70
Obr. 66 Ukázka expertní klasifikace půdních částic dle Kopeckého do čtyřech velikostních kategorií 70
Obr. 67 Zachycení větrné eroze v k.ú. Mikulov (https://www.youtube.com/watch?v=2oOUjlbk-AM) 71
Obr. 68 Detail poškozeného pozemku po skončení erozní události 71
Obr. 69 Originální hodnocený snímek (vlevo) a snímek s identifikovanými půdními částicemi v prostředí SW DPA: zelená barva – pevná půdní částice; bílá barva – nezařazeno (vpravo) 71
Obr. 70 Barevná škála pro parametr EquivDiameterPhy: Průměr kruhu s ekvivalentní plochou v µm (vlevo) a boxplot pro parametr EquivDiameterPhy (vpravo) 72
Obr. 71 Histogram pro parametr EquivDiameterPhy: Průměr kruhu s ekvivalentní plochou v µm (vlevo) a kumulativní histogram pro parametr EquivDiameterPhy (vpravo) 72
Obr. 72 Zatřídění identifikovaných půdní částic do jednotlivých zrnitostních frakcí, dle Kopeckého: 1– jílnaté částice; 2 – prach; 3 – práškový písek; 4 – písek (vlevo) a dle Němečka: 1– jíl; 2 – prach; 3 –písek; 4 – hrubý písek (vpravo) 72

Seznam tabulek

Tab. I Matice využitá pro kategorizaci klimatických regionů (oblastí) ... 16
Tab. II Popis kategorií ohroženosti větrnou erozí ... 16
Tab. III Stanovení hodnoty optické porozity větrolamů (Khel *et al.* 2017) ... 30
Tab. IV Stanovení hodnoty optické porozity u keřů (Khel *et al.* 2017) ... 30
Tab. V Vymezení ochranných zón, dle metodiky Podhrázská 2008 ... 30
Tab. VI Výsledná tabulka analýzy stanovení ochranných zón uvedenými metodami ... 34
Tab. VII Hodnocení funkčního stavu větrolamů A. Kategorizace ... 37
Tab. VIII Hodnocení funkčního stavu větrolamů B. Kategorizace ... 37
Tab. IX Upravené bodové hodnocení liniových prvků ... 38
Tab. X Kategorizace prvků v databázi vegetačních bariér pro potřeby modelování ochranných zón ... 41
Tab. XI Doplňující tabulka pro popis kategorií ohroženosti ... 45
Tab. XII Ochranné zóny větrných bariér ... 46
Tab. XIII Schéma pro uvažování vlivu vegetačních bariér na potenciální ohroženost větrnou erozí ... 46
Tab. XIV Kódové vyjádření kategorií (stupně) ohroženosti s rozlišením chráněných a nechráněných pozemků ochrannou zónou ... 46
Tab. XV Maximální tolerovaná délka pozemku – Podhrázská *et al.* 2008 ... 47
Tab. XVI Kódové vyjádření kategorií (stupně) ohroženosti s rozlišením nepřekročené a překročené tolerované délky pozemků ... 47
Tab. XVII Popis kódu celkové ohroženosti zemědělských půd větrnou erozí ... 48
Tab. XVIII Počet hodnocených prvku (větrolam, ochranný lesní pás) v databázi vegetačních bariér ... 57
Tab. XIX Procentuální zastoupení stupně ohroženosti s rozlišením nepřekročené a překročené tolerované délky pozemků pro zájmové k.ú. ... 59
Tab. XX Celková tabulka návrhu technických protierozních opatření (soustavy trvalých liniových vegetačních prvků) ... 60
Tab. XXI Procentuální zastoupení stupně ohroženosti po návrhu pro zájmové k.ú. se zohledněním tolerovaných délek pozemků ... 61
Tab. XXII Porovnání procentuálního zastoupení stupně ohroženosti před návrhem a po návrhu zohledňující tolerované délky pozemků ... 61
Tab. XXIII Kategorizace frakcí dle různých autorů ... 64
Tab. XXIV Klasifikace půdní zrnitosti dle Nováka (1953) ... 64
Tab. XXV Nejčastější typy půdních struktur. Upraveno dle Vopravil *et al.* 2009 ... 65
Tab. XXVI Procentuální zastoupení zrnitostních frakcí pevných půdních částic dle různých autorů ... 67
Tab. XXVII Popis hodnocených parametrů softwarem DPA ... 68

Název: Větrná eroze v souvislostech

Autoři: Josef Kučera, Jana Podhrázská, Hana Středová, Petra Fukalová, Tomáš Středa

Vydala: Mendelova univerzita v Brně, Zemědělská 1, 613 00 Brno
Tisk: Vydavatelství Mendelovy univerzity v Brně, Zemědělská 1, 613 00 Brno

Vydání: první, 2024

ISBN 978-80-7701-012-2 (tisk)
ISBN 978-80-7701-013-9 (online ; pdf)
https://doi.org/10.11118/978-80-7701-013-9