ROČNÍK XXXIV – listopad 2024 – ČÁSTKA 6

Č. j. MZP/2024/080/443

VĚSTNÍK

MINISTERSTVA ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ

www.mzp.cz

OBSAH

METODICKÝ POKYN

Protierozní metodika.....1

PŘÍLOHY

Příloha č. 1: Ochrana zemědělské půdy před erozí, Metodika 2024

METODICKÝ POKYN

Protierozní metodika

Metodika vznikla jako výstup projektu TAČR SS05010161 „Zavedení nových metodických postupů v ochraně půdy před erozí" řešeného v letech 2022-2023. Metodika je certifikována Ministerstvem životního prostředí, Sekcí ochrany přírody a krajiny, číslo jednací: MŽP/2024/610/353. Další účastníci: Vysoké učení technické v Brně, Univerzita Palackého v Olomouci, České vysoké učení technické v Praze, Mendelova univerzita v Brně, Česká zemědělská univerzita v Praze, GEPRO spol.s.r.o."

Cílem metodiky je sjednotit přístup k protierozní ochraně v rámci všech agend, které se touto ochranou v České republice zabývají."

Přílohy

Příloha č. 1: *Ochrana zemědělské půdy před erozí, Metodika 2024* je nedílnou součástí Věstníku MŽP, částky 6, ročníku XXXIV.

Ochrana zemědělské půdy před erozí

Metodika 2024

Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, v.v.i.
VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
Univerzita Palackého v Olomouci
ČVUT ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
ČZU Česká zemědělská univerzita v Praze
Mendelova univerzita v Brně
GEPRO

Autorský kolektiv metodiky

Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, v.v.i.
Ing. Kapička Jiří, Mgr. Karásek Petr, Ing. Konečná Jana, Ph.D., Ing. Kučera Josef, Ph.D., Ing. Mistr Martin, Ph.D., Ing. Novotný Ivan, Ph.D., Ing. Pochop Michal, doc. Ing. Podhrázská Jana, Ph.D.

Vysoké učení technické v Brně
prof. Ing. Dumbrovský Miroslav, CSc., Ing. Sobotková Veronika, Ph.D.

Univerzita Palackého v Olomouci
Ing. Bednář Marek, Ph.D., Mgr. Netopil Patrik, Ph.D., prof. Dr. Ing. Šarapatka Bořivoj, CSc.

České vysoké učení technické v Praze
prof. Dr. Ing. Dostál Tomáš, doc. Ing. Krása Josef, Ph.D., doc. Ing. Kavka Petr, Ph.D.

Mendelova univerzita v Brně
doc. Ing. Středa Tomáš, Ph.D., doc. Ing. Bc. Středová Hana, Ph.D.

Česká zemědělská univerzita v Praze
prof. Ing. Hanel Martin, Ph.D.

GEPRO spol. s r.o.
Ing. Procházka Jan, Ing. Votoček Michal, Ph.D.

Dedikace
Metodika vznikla jako výstup projektu TAČR SS05010161 „Zavedení nových metodických postupů v ochraně půdy před erozí" řešeného v letech 2022–2023.
Metodika je certifikována Ministerstvem životního prostředí, Sekcí ochrany přírody a krajiny, číslo jednací: MŽP/2024/610/353.

Oponenti
Ing. František Pavlík, Ph.D., Státní pozemkový úřad
prof. Ing. Miloslav Janeček, DrSc., ČZU Praha

Rok vydání	2024
Editor	Mgr. Petr Karásek
Vydání	1. vydání
Vydal	Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, v.v.i.
ISBN verze PDF	978-80-7212-668-2

Ochrana zemědělské půdy před erozí

Metodika 2024

Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, v.v.i.
Vysoké učení technické v Brně
Univerzita Palackého v Olomouci
České vysoké učení technické v Praze
Mendelova univerzita v Brně
Česká zemědělská univerzita v Praze
GEPRO spol. s r.o.

Úvodní slovo

Půda je jedním z nejcennějších přírodních bohatství každého státu a neobnovitelným přírodním zdrojem. Představuje významnou složku životního prostředí s širokým rozsahem funkcí a je základním výrobním prostředkem v zemědělství a lesnictví. Půda je však ohrožována celou řadou procesů, které vedou k omezení nebo až ztrátě schopnosti půdy plnit své základní produkční a mimoprodukční funkce. V podmínkách ČR a střední Evropy je půda ohrožena především vodní a větrnou erozí, utužením, acidifikací, kontaminací, úbytkem organické hmoty a snižováním její kvality a jejími zábory. Nejrozsáhlejší degradaci půdy nejen v ČR způsobuje dle současných zjištění vodní eroze.

Negativní působení erozně-akumulačních procesů spočívá v odnosu organických a minerálních částic půdy z erodovaných ploch a v jejich ukládání na jiných místech. To kromě negativního dopadu na základní produkční a mimoprodukční funkce půdy způsobuje závažné škody na obecním a soukromém majetku, zanášení vodních toků a vodních nádrží, které je velmi často spojeno s přísunem nadměrného množství živin (z hnojiv apod.), pronikání zbytků agrochemikálií a dalších rizikových látek do vodního prostředí. Přestože mechanismus působení větrné eroze je mírně odlišný než u eroze vodní, důsledky jejího působení jsou velmi podobné.

Rozvoj digitálních technologií mapování půdy, dálkového průzkumu Země, moderních metod monitoringu a sběru dat umožnil za poslední dekádu výrazně rozšířit znalosti o rozsahu a dopadech erozních procesů v České republice i ve světě. Projevy eroze v ČR jsou v současnosti dokumentovány mimo jiné v „Monitoringu eroze". Monitoring eroze zemědělské půdy provozovaný Státním pozemkovým úřadem je svým rozsahem a komplexním přístupem v evropském kontextu unikátní. Nové technologie a data umožňují zapojit podrobnější fyzikální modely a díky nim erozní procesy lépe poznat.

Výsledky těchto poznání tak mohou být implementovány na různých úrovních legislativy. Současně také dávají podnět pro zavádění nových agrotechnických postupů, které nutně musí reagovat na klimatické změny a společenskou poptávku po environmentálně šetrnějším hospodaření. Nové pokyny a postupy, které prezentujeme v této metodice, reagují na výše zmíněný pokrok v hodnocení eroze a v implementaci půdoochranných postupů na úrovni zemědělských subjektů, projektantů protierozních opatření i v legislativě.

Cílem autorů metodiky je sjednotit přístup k protierozní ochraně v rámci všech agend, které se touto ochranou v České republice zabývají.

Obsah

Autorský kolektiv metodiky 2

Úvodní slovo 5

Cíl metodiky 11

1 Vodní eroze 12

1.1 Příčiny vodní eroze 12

1.2 Formy vodní eroze 13

1.2.1 Hodnocení míry degradace půdy erozí 16

1.2.2 Hrozba pro trvalou udržitelnost úrodnosti půdy 17

1.2.3 Ovlivnění kvantitativních parametrů vodních zdrojů 17

1.2.3.1 Zanášení koryt vodních toků 17

1.2.3.2 Zanášení vodních nádrží 17

1.2.4 Ovlivnění kvalitativních charakteristik vodních zdrojů 17

1.2.5 Ohrožení zastavěného území měst a obcí, komunikací a další infrastruktury u krajině procesy povrchového odtoku a vodní eroze 18

1.3 Hodnocení ohroženosti zemědělské půdy vodní erozí 18

1.3.1 Faktor erozní účinnosti přívalového deště R 20

1.3.1.1 Podrobný metodický postup stanovení R faktoru 20

1.3.1.2 Výsledná mapa regionalizovaného R faktoru a její současné využití 22

1.3.2 Faktor erodovatelnosti půdy K 23

1.3.3 Faktor délky a sklonu svahu LS 24

1.3.4 Faktor ochranného vlivu vegetace C 27

1.3.4.1 Stanovení hodnot C faktoru 27

1.3.5 Faktor účinnosti protierozních opatření P 31

1.3.5.1 Vrstevnicové obdělávání 31

1.3.5.2 Pásové střídání plodin 31

1.3.6 Limity erozního smyvu G_p 32

1.4 Stanovení drah soustředěného odtoku (DSO) a kritických profilů (KB) 33

1.5 Fyzikálně založené metody hodnocení vodní eroze 34

1.5.1 SMODERP 34

1.5.2 Erosion-3D 34

1.6 Ochrana proti vodní erozi 35

1.6.1 Opatření organizačního charakteru 35

1.6.1.1 Optimální tvar a velikost pozemku 35

1.6.1.1.1 Optimalizace unitřního uspořádání půdních bloků 36

1.6.1.2 Delimitace kultur, protierozní umístění pěstovaných plodin, ochranné zatravnění a zalesnění 37
1.6.1.3 Pásové střídání plodin 37
1.6.1.4 Agrolesnictví 39
1.6.1.5 Posílení biologické rozmanitosti v zemědělské krajině s využitím konceptu konektivity 40
1.6.2 Opatření agrotechnického charakteru 40
1.6.2.1 Zakládání porostu do ochranné plodiny, meziplodiny nebo rostlinných zbytků 41
1.6.2.2 Zakládání porostu do mělce zpracované půdy 43
1.6.2.3 Pásové zpracování půdy 43
1.6.2.4 Zakládání porostu s pomocnou plodinou 44
1.6.2.5 Zakládání porostu s podsevem 45
1.6.2.6 Vrstevnicové obdělávání 45
1.6.2.7 Hrázkování, důlkování u brambor 46
1.6.2.8 Pomocné plodiny v prostoru mezihrůbku při pěstování brambor 48
1.6.2.9 Ozelenění připravených hrůbků pro sázení brambor 48
1.6.2.10 Podrývání, dlátování 48
1.6.3 Technická protierozní opatření (TPEO) 49
1.6.3.1 Protierozní průlehy 50
1.6.3.2 Protierozní příkopy 51
1.6.3.3 Protierozní meze 52
1.6.3.4 Protierozní hrázky 54
1.6.3.5 Polní cesty s protierozní funkcí 55
1.6.3.6 Terasování 56
1.6.3.7 Zatravněné údolnice se stabilizovanou dráhou soustředěného odtoku (SDSO) 57
1.6.3.8 Protierozní travní pásy 58
1.6.3.9 Technické parametry navrhování TPEO 60
1.6.3.10 Zásady prostorové lokalizace TPEO (příkop, průleh, hrázka, mez, SDSO) 61
1.6.3.11 Účinnost TPEO – erozní poměry, odtokové poměry 61
1.6.3.12 Výpočet základních parametrů průtočného profilu a potřeby opevnění TPEO 61
1.6.3.13 Možné střety při návrhu TPEO – inženýrské sítě, odvodnění 68
1.6.3.14 Doporučení zabezpečenosti pro dimenzování základních typů TPEO 68

2 Eroze táním sněhu 69

2.1 Teoretické minimum k erozi z tání sněhu 69
2.2 Stanovení intenzity eroze z tání sněhu 69
2.3 Rajonizace oblastí ohrožených erozí z tání sněhu 70
2.4 Stanovení erozních faktorů pro hodnocení eroze z tání sněhu 71
2.4.1 Softwarový modul eroze z tání sněhu u programu ATLAS DMT 72
2.5 Specifika návrhů opatření proti erozi z tání sněhu 72

3 Větrná eroze 73

3.1 Příčiny větrné eroze 74

3.2 Důsledky větrné eroze 74

3.2.1 Hrozba pro trvalou udržitelnost úrodnosti půdy 75

3.2.2 Transport a sedimentace půdních částic 75

3.2.3 Transport chemických látek 76

3.3 Teoretická východiska 76

3.3.1 Metodické uchopení problematiky větrné eroze v ČR 77

3.4 Hodnocení erozního ohrožení půdy větrnou erozí 77

3.4.1 Stanovení erozní ohroženosti větrnou erozí se zohledněním vegetačních bariér 79

3.4.1.1 Příprava podkladů 80

3.4.1.2 Syntéza datových podkladů 83

3.5 Ochrana proti větrné erozi 86

3.5.1 Organizační opatření 86

3.5.2 Agrotechnická opatření 86

3.5.3 Technická opatření proti větrné erozi – větrolamy 86

3.5.3.1 Typy větrolamů a jejich účinnost 87

3.5.3.2 Předpoklady pro optimální prostorovou a funkční skladbu větrolamů v podmínkách změny klimatu 89

3.5.3.3 Metody zakládání větrolamů 90

3.5.3.4 Návrhy technického založení větrolamů 91

4 Hydrologické výpočty pro odvození návrhových veličin technických opatření v krajině 93

4.1 Principy hydrologických modelů a jejich využití 93

4.2 Metoda SCS – CN s jednotkovým hydrogramem 93

4.2.1 Vstupní data 93

4.2.1.1 Návrhové srážky a stav počátečního nasycení 94

4.2.1.2 Morfologie 97

4.2.1.3 Využití území 97

4.2.1.4 Půdní data 97

4.2.2 Odvození objemu přímého odtoku – metoda SCS-CN 97

4.2.3 Výpočet kulminačního průtoku 100

4.2 Doporučovaný software využívající metodu SCS-CN 104

4.3.1 HEC-HMS 104

4.3.2 Atlas HYDROLOGIE 104

4.3.3 HydroRAIN 104

4.3.4 DESQ 104

4.2 Fyzikálně založené modely 105

5 Ekonomické aspekty eroze půd 106

6 Přílohy a praktické ukázky postupů, výpočtů, navrhování, dimenzování 109

6.1 Praktická ukázka stanovení ohroženosti území vodní erozí 109

6.1.1 Vymezení plochy pro výpočet eroze a erozně hodnocených ploch (EHP) 109

6.1.1.1 Plocha pro výpočet eroze 109

6.1.1.2 Erozně hodnocená plocha (EHP) 111

6.1.2 Postup stanovení dlouhodobé průměrné ztráty půdy vodní erozí „G“ 112

6.1.2.1 R faktor 112

6.1.2.2 K faktor 112

6.1.2.3 C faktor 112

6.1.2.4 LS faktor 113

6.1.2.5 Výpočet dlouhodobé průměrné ztráty půdy vodní erozí „G“ 115

6.1.2.6 Vyhodnocení rastru dlouhodobé průměrné ztráty půdy vodní erozí 116

6.1.3 Postup stanovení maximální přípustné hodnoty ochranného vlivu vegetace a protierozních opatření „$C_p \cdot P_p$“ 117

6.1.3.1 Vyhodnocení rastru maximální přípustné hodnoty ochranného vlivu vegetace a protierozních opatření „$C_p \cdot P_p$“ 120

6.2 Příklad vyhodnocení ohroženosti území vodní erozí po návrhu technických protierozních opatření (TPEO) s využitím hodnot G a součinu $C_p \cdot P_p$ v modelovém území 121

6.3 Praktická ukázka výpočtu hydrologických charakteristik 128

6.3.1 Příklad získání návrhových parametrů v závěrovém profilu řešené lokality. 128

6.4 Standard pro jednotnou klasifikaci a barevné zobrazování legend vrstev eroze 132

7 Seznam použitých informačních zdrojů 134

7.1 Související předpisy 134

7.2 Použitá legislativa, normy, standardy, metodiky 136

7.3 Související a použité zdroje informací (doporučená literatura) 137

7.4 Použité internetové zdroje, geoportály 141

Seznam obrázků 141

Seznam tabulek 144

Cíl metodiky

V České republice je v současné době podle analýz Výzkumného ústavu meliorací a ochrany půdy, v. v. i., (VÚMOP, v. v. i.) více než 60 % zemědělské půdy potenciálně ohroženo vodní erozí a více než 30 % větrnou erozí. Přičemž degradace půdy vlivem eroze se velmi výrazně zrychlila, jak v souvislosti s kolektivizací v 50. letech spojenou s necitlivým scelováním pozemků a intenzifikací zemědělství, tak v souvislosti se změnami po roce 1989, spočívajícími ve změně preferencí pěstování některých plodin a útlumem živočišné produkce. Nelze nezmínit ani velmi výrazné změny týkající se distribuce srážek, pravděpodobně související s probíhající klimatickou změnou, vedoucí ke změně v délce trvání, četnosti a velikosti srážkových úhrnů.

Ochranu půdy proti erozi je proto potřeba řešit kontinuálně, intenzivně a efektivně a jedním z nástrojů k efektivnímu řešení je právě předkládaná metodika, jejímž cílem je syntéza nových poznatků výzkumu a praxe z ČR i zahraničí. Metodika předkládá konsenzuální postup pro vyhodnocení erozní ohroženosti území. Současně předkládá postupy pro návrh efektivních a moderních opatření a postupů eliminujících erozní procesy na zemědělské půdě.

Sjednocené metodické přístupy pro nové podmínky hospodaření na zemědělské půdě v souvislosti s protierozní ochranou je tak možné implementovat do nástroje Protierozní kalkulačka (https://kalkulacka.vumop.cz), který mimo jiné slouží i jako nástroj pro implementaci národní legislativy: zákona č. 334/1992 Sb., o ochraně zemědělského půdního fondu, a Vyhlášky č. 240/2021 Sb., o ochraně zemědělské půdy před erozí.

Implementací předkládané metodiky je tak naplněn cíl sjednotit přístupy v hodnocení eroze a návrhu opatření pro všechny úrovně dotčených oborů, kterými jsou vedle výzkumné sféry zejména státní správa a samospráva, projekční i zemědělské praxe.

1 Vodní eroze

Vodní eroze je definována jako komplexní proces, zahrnující rozrušování půdního povrchu, transport a sedimentaci uvolněných půdních částic působením vody. Samotný proces eroze půdy je procesem přírodním, který nelze zcela zastavit. Rozlišujeme tak erozi normální (geologickou) a erozi zrychlenou. Normální eroze neustále přetváří reliéf území, je přirozená, probíhá postupně a z hlediska lidské generace je prakticky nepozorovatelná, je v rovnováze s půdotvorným procesem. Naopak zrychlená eroze smývá půdní částice v takovém rozsahu, že nemohou být půdotvorným procesem nahrazeny, je většinou ovlivněna lidskou činností, způsobem hospodaření a zemědělskou půdu je nutné před ní účinně chránit.

1.1 Příčiny vodní eroze

Na vznik vodní eroze má největší vliv sklonitost pozemku v kombinaci s délkou pozemku po spádnici a výskytem erozně nebezpečných srážek, dále vegetační pokryv, vlastnosti půdy a její náchylnost k erozi a uplatněná protierozní opatření. Tyto faktory ovlivňují míru eroze vždy ve vzájemné kombinaci. K eroznímu smyvu tak dochází i na pozemcích, které sice nejsou výrazně sklonité, ale v kombinaci půdních vlastností s nepřerušenou délkou svahu jsou nevhodné pro pěstování erozně nebezpečných plodin. Dalším zásadním faktorem zvyšujícím náchylnost k eroznímu poškození je snížená kvalita půdy (např. vlivem degradačních faktorů) a zejména pak nedostatek organické hmoty v půdě. Z hlediska prevence vzniku eroze půdy je velmi důležitý příznivý vliv humusu na stabilitu půdní struktury, díky níž má půda vyšší schopnost vyrovnávat výkyvy počasí a odolávat i jiným biotickým a abiotickým vlivům. Prostřednictvím organických látek jsou stmelovány jednotlivé půdní částice do formy půdních agregátů, mezi kterými tak vznikají póry. Pórovitost půdy má rozhodující význam pro infiltraci vody do půdy a omezení povrchového odtoku. Dobré zásobení půdy kvalitní organickou hmotou má vliv na akumulační schopnost půdy, tedy na zadržení vody v krajině, což snižuje riziko povodní a sucha. Stabilní agregáty odolávají procesu rozrušení kapkami i odtokem a přímo tak snižují erozi. Nezanedbatelný je rovněž pozitivní vliv kvalitní organické hmoty na odolnost půdy vůči utužení.

Srážky lze považovat za erozně nebezpečné, když jejich úhrn překračuje 12,5 mm nebo intenzita 6,25 mm za 15 minut (toto kritérium vychází z původního odvození rovnice USLE, v podmínkách ČR bylo ověřeno v rámci Monitoringu eroze zemědělské půdy). Zastoupení a rozložení erozně nebezpečných srážek se promítá do faktoru erozní účinnosti srážek, který musí být pravidelně aktualizován, tak aby postihoval trendy vývoje klimatu.

Na základě více než desetiletého sběru dat o reálných erozních událostech evidovaných v rámci Monitoringu eroze zemědělské půdy lze lépe identifikovat příčiny vodní eroze v ČR. Ze zpracovaného souboru dat je patrný alarmující trend vzniku erozních událostí na plochách bez zapojeného porostu plodiny (květen, červen, srpen, září). Ve vyhodnocení narůstá zastoupení podzimních erozních událostí. Dochází k vodní erozi plošné, která přechází do vyšších forem – rýžková, rýhová a tyto formy eroze v souboru dat převažují. Uvedené zjištění je znepokojující, neboť se jedná o erozní události, jejichž následky a způsobené škody mohou být významného rozměru. Vytvoření rýžek či rýh zvyšuje pravděpodobnost vzniku opakovaných erozních událostí v rámci jednoho osevu, kdy k výraznému poškození půdního povrchu může dojít po srážce s daleko nižším úhrnem a intenzitou. V období nárůstu erozních událostí na konci léta a počátkem podzimu se mění i zastoupení plodin na dotčených blocích orné půdy. Plodiny se střední ochrannou funkcí, jako je řepka ozimá a ozimé obilniny, jsou zasaženy v období krátce po zasetí či přípravě na setí (v tomto případě není půda pokryta plodinou). Právě v této fázi agrotechnických opatření nastává více než 45 % erozních událostí. Dalších 25 % nastává v částečném zapojení plodiny a 25 % v plném zapojení. Tyto události jsou spojeny zejména s kukuřicí. Kukuřice, která byla pěstována na 47 % erozí zasažených bloků, se vzhledem k zastoupení jeví jako plodina erozně nebezpečná. U plodin s nízkou ochrannou funkcí se projevuje absence pokryvu v průběhu celého vegetačního období a tím i vyšší nárůst erozních událostí v zapojených porostech.

1.2 Formy vodní eroze

Vodní erozi na zemědělské půdě lze dělit na erozi plošnou a erozi výmolnou. Přechod mezi nimi je pozvolný a souvisí s přechodem plošného odtoku vody v odtok soustředěný. Dalším projevem, dokumentujícím vznik a průběh erozních procesů na pozemku, jsou procesy ukládání erodovaných a transportovaných půdních částic. I tyto procesy mohou nabývat různých měřítek.
Plošná eroze se projevuje rozrušováním a rovnoměrným smyvem půdních částic po celé ploše, tím dochází k plošnému odtoku a postupnému snižování mocnosti půdy. Tato forma eroze má silné selektivní působení, kdy vyplavuje především jemnozrnné frakce půdy, což se projevuje změnou textury půdy a obsahu organické hmoty a živin v půdě. Jemnozrnné frakce půdy se pak usazují ve spodních částech svahu s nižším sklonem či v lokálních depresích. Lehčí, zpravidla organické částice jsou většinou neseny až do vodoteče. Plošná eroze na povrchu půdy nezanechává výrazně viditelné stopy, lze ji však zjistit z jemného materiálu akumulovaného v dolních částech svahu např. půdním vpichem nebo kopanou sondou, dále pak nestejnoměrným vývojem vegetace projevujícím se rozdílným růstem, rozdílnou barvou a kvalitou v částech svahu, v nichž došlo ke smyvu jemných půdních částic a živin, a v dolní části svahu, kde došlo k akumulaci smytého materiálu. Plošná eroze může v době po zasetí v případě konvenčního zpracování půdy způsobit i přímé ztráty osiva z některých částí dílu půdního bloku. Z hlediska vstupu vázaných znečišťujících látek do vodních toků je tato málo viditelná forma eroze nejnebezpečnější, protože kvůli silné selektivnosti procesu s sebou na jemných částicích nese mnohem více vázaných chemických látek a dosahuje tak významně vyšších poměrů obohacení u ukládaného sedimentu.

Obr. 1-1. Ukázka území s viditelnými projevy degradace zemědělské půdy erozí

Plošná eroze je často spojena s erozí způsobenou obděláváním a orbou a vlivem těchto procesů se obohacené a úživné horizonty přesouvají pouze do údolnic a konkávních částí svahů, vyšší a strmější partie svahů jsou naopak ochuzeny o humusový horizont. Ke zpomalení plošné eroze může velmi napomoci vrstevnicové obdělávání, vrstevnicové členění pozemků a pásové hospodaření.
Přechod k výmolné erozi spočívá v postupném soustřeďování plošného odtoku a následném vytváření mělkých, postupně se prohlubujících zářezů. Vzniká v členitém terénu a na dlouhých svazích. Podle intenzity se dále dělí na erozi rýžkovou a brázdovou, rýhovou, výmolovou a stržovou.

Eroze rýžková a brázdová vzniká plynulým přechodem z plošné eroze soustřeďováním odtoku do úzkých zářezů. Vznikající hustá síť drobných úzkých rýžek se označuje jako eroze rýžková (rýžky jsou široké a hluboké cca 2–10 cm). Pokud se odtok soustřeďuje do mělkých širších zářezů s menší hustotou výskytu, pak hovoříme o erozi brázdové, která postihuje velké plochy a je někdy označována za nejvyšší stupeň eroze plošné (Holý, 1994).

Obr. 1-2. Rýhová eroze na zemědělském pozemku

Eroze rýhová nastává při pokračování v soustřeďování povrchově stékající vody do hlubších a širších rýh (rýhy se spojují a prohlubují, jsou široké a hluboké 10–30 cm). Vzhledem k novým v praxi ověřeným postupům je možné pomocí metod DPZ podrobně zmapovat rozsah rýhové (výmolné) eroze.
Výmolová eroze je vyšším stupněm rýhové eroze, vznikají výmoly (často s kaskádovitými stupni), které jsou hluboké nebo široké více než 30 cm. Eroze výmolová vzniká v místech koncentrace a soutoku přívalových vod v úžlabinách, údolnicích, cestách, příkopech a je podmíněna nejen typem terénu, ale i dostatečnou plochou sběrného území a zejména pak půdními vlastnostmi.

Obr. 1-3. Erozní rýhy na zemědělském pozemku

Stržová eroze je nejpokročilejším a nejnebezpečnějším stadiem výmolové eroze, jejichž sanace vyžaduje speciální postupy. Nelze již vystačit s běžnými agrotechnickými postupy, jako je prosté zaorání. Strže jsou proto jevem dlouhodobým a v případě nestability a neprovedení sanačních opatření mohou devastovat rozsáhlá území.

Tab. 1-1. Specifikace jednotlivých forem projevů eroze

Forma eroze	Subforma eroze	Specifikace formy	Vhodná skupina nápravných opatření
Plošná	–	Rovnoměrný smyv půdních částic po celé ploše, vyplavovány jsou především jemnozrnné frakce půdy nebo ztráta celé orniční vrstvy na celém povrchu nebo v pruzích	Organizační a agrotechnická opatření
Výmolná	Rýžková	Hustá síť drobných úzkých rýžek širokých a hlubokých 2–10 cm	Organizační, agrotechnická i technická opatření
	Brázdová	Mělké širší zářezy s menší hustotou výskytu	Organizační, agrotechnická i technická opatření
	Rýhová	Rýhy široké a hluboké 10–30 cm	Technická opatření v kombinaci s organizačními a agrotechnickými
	Výmolová	Výmoly (často s kaskádovitými stupni) hluboké a široké 30–100 cm v místech koncentrace a soutoku přívalových vod v úžlabinách, údolnicích, cestách, příkopech	Asanace výmolu; stabilizace dráhy soustředěného odtoku, v kombinaci s organizačními a agrotechnickými opatřeními
	Stržová	Strže hluboké a široké více než 1 m, s délkou často větší než 1 km	Asanace strže; stabilizace dráhy soustředěného odtoku, v kombinaci s organizačními a agrotechnickými opatřeními

Obr. 1-4. Ukázka sedimentačního kužele na zemědělském pozemku

Sedimentační kužele a lavice jsou dalším jednoznačným projevem erozních a transportních procesů na zemědělském pozemku. Depozice sedimentu mohou vznikat jednak přímo na pozemku, a to zpravidla v jeho dolní části, kde je nižší sklon svahu, na souvrati nebo přímo na hranici pozemku, případně i přímo v rámci pozemku v místě lokálního snížení sklonu svahu anebo mimo pozemek na sousední parcele, v cestním příkopu atd. Menší rozsahy sedimentačních těles jsou spojeny s jednotlivými epizodami a na pozemku jsou znatelné v rámci jedné vegetační sezony. V případě, že se jedná o velmi intenzivní epizodu, bude sedimentační těleso tvořeno pravděpodobně materiálem hrubozrnnějším než na vlastním pozemku, protože jemnozrnný materiál byl odnesen odtokem dále mimo pozemek. V případě epizody méně významné bude naopak sediment jemnozrnnější, protože hrubší frakce buď nebyly vůbec erodovány, nebo se usadily již na pozemku výše. Významný vliv na proces sedimentace a kvalitu akumulovaného materiálu má nicméně lokální charakter reliéfu a drsnost povrchu. Sedimentace mimo zájmový pozemek závisí výhradně na charakteru příčinné epizody a charakteru lokality. Je nicméně možno je považovat za jednoznačný důkaz erozních procesů na daném pozemku. V případě eroze plošné pak často za důkaz jediný.

1.2.1 Hodnocení míry degradace půdy erozí

Pro hodnocení míry degradace půdy erozí je nutné porovnávat erodované půdy s původním půdním profilem. Je však spíše výjimkou, že se pro hodnocenou lokalitu podaří zajistit dostatečně reprezentativní data. Problémem také často bývá, že ač data dohledáme, není možné změny s jistotou přisoudit erozi, v úvahu je nezbytné brát možnost ovlivnění vývoje půd i dalšími faktory, zejména způsoby obhospodařování půdy a jejich změny. Jako základní zdroj o původním stavu půd je možné využít například výsledky rozsáhlého Komplexního průzkumu půd (KPP), který proběhl v letech 1961–1970 na území celé tehdejší Československé republiky a představuje tak první podrobný a celostátně jednotný základní materiál o vlastnostech zemědělského půdního fondu. Celý archiv je nyní dostupný v digitální podobě a je možné ho pro analýzy změn půdního pokryvu využít (https://kpp.vumop.cz). Dalším podkladem může být Bonitace zemědělského půdního fondu ČSR, která na KPP navázala, a jejímž výstupem jsou pro celé území ČR mapy a digitální vrstva bonitovaných půdně ekologických jednotek (BPEJ). V roce 2021 publikoval Žížala et al. mapy půdních vlastností. Spojení tradičních přístupů a nových progresivních metod výzkumu (tedy zpracování archivních dat s unikátní detailností v kombinaci s nově pořízenými daty a aplikací pokročilých pedometrických metod s využitím doplňkových dat reflektujících současný stav našich půd) zaručuje přesnější půdní mapy a mapy jednotlivých půdních vlastností ve vysokém stupni detailnosti.

Hlavní důsledky vodní eroze můžeme rozdělit do následujících skupin:

- **Ztráta úrodné půdy:** Erozí dochází ke zmenšení mocnosti půdního profilu. Eroze snižuje produkční schopnost půd a urychluje její degradaci (změnou půdních vlastností, ztrátou organické hmoty a živin, snižováním výnosů a následnou potřebou zvýšené chemizace a hnojení).
- **Degradace půdy:** Eroze má vliv na fyzikální a chemické vlastnosti půdy, snižuje obsah organické hmoty, humusu a minerálních živin v půdě, obnažuje podorničí s nízkou přirozenou úrodností a obvykle vyšší kyselostí.
- **Záplavy:** Eroze může také snižovat schopnost půdy absorbovat vodu, což zvyšuje riziko povodní.
- **Zhoršení kvality vody:** Vodou unášené půdní částice a na nich vázané látky (např. zbytky hnojiv, pesticidů apod.) zanášejí vodní toky a akumulační prostory nádrží, snižují průtočnou kapacitu toků, vyvolávají zakalení a kontaminaci povrchových vod, zhoršují podmínky pro vodní organismy a zvyšují náklady na úpravu vody a čištění vodních nádrží od usazenin.
- **Ztráta biodiverzity:** Projevy eroze negativně ovlivňují přirozené prostředí pro rostliny a živočichy, což může vést k úbytku biodiverzity a ohrožení ekosystémů.
- **Poškození infrastruktury:** Procesy povrchového odtoku a vodní eroze ohrožují intravilán měst a obcí, poškozují komunikace a další infrastrukturu v krajině.

1.2.2 Hrozba pro trvalou udržitelnost úrodnosti půdy

Působením vodní eroze přicházíme o nejúrodnější a živinově nejbohatší část zemědělské půdy – ornici, pěstované plodiny nenajdou v erodované půdě dostatečné množství živin a celková úroda dosahuje nižších objemů (nižší klíčivost, vymílání sadby a kořenů, zatopení níže ležících plodin smytými částicemi, poškození plodin atd.). Na slabě erodovaných půdách se snižují hektarové výnosy o 15–20 %, na středně erodovaných půdách o 40–50 % a na silně erodovaných půdách až o 75 %.
Každoročně jsou při probíhajících aktualizacích bonitovaných půdně ekologických jednotek (BPEJ) mapovány vážné projevy degradace půdy erozí, což se projevuje i výrazným snížením průměrné ceny pozemků. Jedná se například o snížení výměr půd na sprašových pokryvech a jejich zařazení do méně hodnotných BPEJ. To se v konečném důsledku může projevit i snížením ceny až o 10 Kč/m^2 na některých pozemcích. Pokud počítáme průměr na katastrální území, může se jednat až o 50 % snížení průměrné ceny půdy v katastrálním území. Zejména v některých moravských okresech dochází k výraznému snižování ceny zemědělské půdy degradací černozemí, které jsou charakteristické svým smytým orničním horizontem (často více než o 60 cm). Ztráta půdy je neobnovitelná a nevyčíslitelná, bereme-li v úvahu, že 2–3 cm vrstvy půdy potřebují na svůj vznik za velmi příznivých podmínek průměrně 100 až 1000 let (dle místních podmínek).

1.2.3 Ovlivnění kvantitativních parametrů vodních zdrojů

1.2.3.1 Zanášení koryt vodních toků

Erozní produkty transportované ze zemědělských pozemků do vodních toků se zde ukládají v závislosti na charakteru proudění a obecně snižují jeho kapacitu. To má za následek postupný vzestup nivelety dna a tím navazující zvyšování hladiny podzemní vody v okolí koryta a četnější vybřežování. Proces pak vyvolává nutnost údržby koryt, především jejich čištění, což s sebou nese jednak finanční nároky a jednak snižuje přírodní hodnoty koryta (je odstraněno dno spolu s jeho oživením), nezbytný je radikální zásah do břehových porostů a akce je často spojena s úpravou koryta či jeho sanací a stabilizací.
Bilančně je možno orientačně uvažovat, že veškeré splaveniny, které se v zemědělské krajině dostanou do drobných vodních toků, jsou jimi postupně transportovány dále po toku. Sedimentují v korytech větších vodních toků, především pak v jezových zdržích a zejména ve vodních nádržích a rybnících.

1.2.3.2 Zanášení vodních nádrží

S poklesem rychlosti a unášecí síly vodního toku na vstupu do vodní nádrže dochází k vypadávání nesených splavenin. Ty jsou pak zrnitostně selektovány od nejhrubších, které sedimentují jako první, po nejjemnější, které vydrží ve vznosu nejdéle. Materiál se ukládá nejvíce na vtoku do nádrže, kde snižuje hloubku vody, tím se prostor stává dostupnější pro zarůstání vynořenou (emerzní) vegetací, což zvyšuje drsnost a přispívá k dalšímu zpomalení průtoku vody. Tím je ještě více akcelerováno zanášení prostoru a vodní nádrž se tak od vtoku stále rychleji zazemňuje. Pokud je zanášení nádrží výraznější a vodní nádrž plní zásobní účel a její bilancování bylo napjaté, může množství deponovaného sedimentu negativně ovlivnit i zabezpečení dodávek vody, protože nezanedbatelná část zásobního objemu je zabrána sedimentem. U některých vodních nádrží, rybníků a předzdrží dosahuje objem zadrženého sedimentu až desítky procent z celkového dostupného objemu zásobního prostoru. To pak zásadně ovlivňuje jak dobu zdržení, tak zásobní funkci nádrže a zabezpečenost odběrů vody.

1.2.4 Ovlivnění kvalitativních charakteristik vodních zdrojů

Je nepochybné, že existuje významná závislost mezi erozními a transportními procesy a znečištěním povrchových vodních zdrojů. Znečištění se odehrává ve dvou rovinách. První z nich je znečištění fyzikální (mechanické), kdy se jedná o zákal vody. Ten má jednoznačně negativní důsledky na vodní faunu i floru,

jedná se ale většinou o jev spíše krátkodobý a eliminovatelný dostatečně kapacitním usazovacím prostorem. Druhým je znečištění chemické (biochemické), zahrnující transport chemických látek z povodí do hydrografické sítě. Půda se dostává do styku s velkým množstvím chemických látek různého druhu a různého stupně toxicity (průmyslová hnojiva, pesticidy, různé druhy zemědělských odpadů i odpady průmyslové, ukládané na půdu nebo do půdy). Z uvedených látek je nejdiskutovanější fosfor, který je označován za limitující prvek rozvoje eutrofizačních procesů. Fosfor je na jedné straně významnou živinou, potřebnou pro rozvoj všech zelených rostlin, na druhé straně je jeho výskyt v přírodním prostředí v našich podmínkách silně limitován. Proto je hnojení zemědělských ploch fosforečnými hnojivy důležitou podmínkou vysokých výnosů. Nebezpečí erozního fosforu pro vodní nádrže spočívá především v tom, že fosfor se z povrchu částic za příznivých podmínek (především při přechodu k anaerobním podmínkám) může uvolnit zpět do vody ve formách dostupných pro zelené řasy a sinice, a tak přispět k rozvoji eutrofizace a jejích následků.

1.2.5 Ohrožení zastavěného území měst a obcí, komunikací a další infrastruktury v krajině procesy povrchového odtoku a vodní eroze

Významným dopadem erozních procesů na zemědělské půdě je transport produktů eroze – splavenin do zastavěného území obcí a měst. Soustředěný povrchový odtok vniká do zastavěného území v závěrových profilech kritických bodů a jeho negativní účinek je zesilován splaveninami vznikajícími v rámci jejich povodí (sběrných ploch).
Podobně v důsledku erozních procesů na zemědělské půdě dochází k ohrožení infrastruktury v krajině a škodám na ní. V rámci Monitoringu eroze zemědělské půdy jsou evidovány škody na stavbách, studních a ostatní infrastruktuře v intravilánu obcí ve 46 % případů. Škody zahrnují poškození samotných obytných staveb, dalších technických staveb, škody na zahradách a přilehlých pozemcích či na komunikacích v obcích. Intravilán obcí je erozními událostmi často značně ohrožen. Bezmála 59 % dílů půdních bloků, na nichž vznikla erozní událost, leží do vzdálenosti 50 m od nejbližší budovy, přičemž 26 % těchto bloků se nachází v jejich přímém sousedství. Škody na komunikacích jsou evidovány v 82 % případů. Škody zahrnují jak poškození silničních, tak železničních tratí, nejčastěji zanesením vozovky či drážního tělesa erozními sedimenty. Dále jsou zaznamenány škody na doprovodných zařízeních komunikací, jako jsou mostky, propustky apod. Ke škodám dochází na všech typech komunikací, nevyjímaje ani důležité silniční tahy či významné železniční tratě. Tyto události pak mají za následek i přerušení provozu na těchto komunikacích po dobu odstranění škod či naplavených erozních sedimentů.

1.3 Hodnocení ohroženosti zemědělské půdy vodní erozí

Posouzení erozní ohroženosti je standardně prováděno pomocí metody USLE – Univerzální rovnice pro výpočet průměrné dlouhodobé ztráty půdy erozí (Wishmeier a Smith, 1978), která je doporučena pro výpočet průměrné dlouhodobé ztráty půdy (G) jak u nás, tak v zahraničí. Metoda USLE vychází z principu tzv. přípustné ztráty půdy a byla definována jako „maximální hodnota eroze půdy, která dovoluje udržovat trvale a ekonomicky dostupně vysokou úroveň úrodnosti půdy". Vedle této metody je možné hodnotit erozní ohrožení na základě hodnocení konkrétních událostí. Využití epizodního přístupu pomocí fyzikálně založených modelů je věnována kapitola 1.5.

Základní rovnice USLE má tento tvar:

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

Pro potřeby stanovení vhodného způsobu hospodaření na zemědělské půdě lze rovnici transformovat do tvaru vyjadřujícího potřebný ochranný vliv vegetace a protierozních opatření vzhledem k přírodním podmínkám lokality (R, K, L, S) a přípustné roční ztrátě půdy G_p:

$$C_p \cdot P_p = \frac{G_p}{(R \cdot K \cdot L \cdot S)}$$

Veličiny použité ve výše uvedených rovnicích:

G — *průměrná dlouhodobá ztráta půdy ($t.ha^{-1}.rok^{-1}$),*

R — *faktor erozní účinnosti deště vyjádřený v závislosti na kinetické energii a intenzitě erozně nebezpečných dešťů ($MJ.ha^{-1}.cm.h^{-1}.rok^{-1}$),*

K — *faktor erodovatelnosti půdy vyjádřený v závislosti na textuře a struktuře ornice, obsahu organické hmoty a propustnosti půdního profilu ($t.h.MJ^{-1}.cm^{-1}$),*

L — *faktor délky svahu vyjadřující vliv nepřerušené délky svahu na velikost ztráty půdy erozí (bezrozměrný – poměr smyvu ke smyvu na jednotkovém pozemku délky 22,13 m),*

S — *faktor sklonu svahu vyjadřující vliv sklonu svahu na velikost ztráty půdy erozí (bezrozměrný – poměr smyvu ke smyvu na jednotkovém pozemku sklonu 9 %),*

C — *faktor ochranného vlivu vegetace vyjádřený v závislosti na vývoji vegetace a použité agrotechnice,*

P — *faktor účinnosti protierozních opatření,*

G_p — *přípustná míra erozního ohrožení ($t.ha^{-1}.rok^{-1}$),*

$C_p \cdot P_p$ — *přípustný součin faktoru ochranného vlivu vegetace a účinnosti protierozních opatření vzhledem k přípustné míře erozního ohrožení.*

Součin veličin C_p a P_p nabývá hodnot 0 až 1 (případné vyšší hodnoty jsou pro přehlednost reklasifikovány na hodnotu 1).

Překročení míry erozního ohrožení nastává v případě, kdy hodnota součinu faktoru ochranného vlivu vegetace a faktoru účinnosti protierozních opatření překročí přípustnou hodnotu součinu faktoru ochranného vlivu vegetace a faktoru účinnosti protierozních opatření: $C \cdot P > C_p \cdot P_p$

Nepřekročení míry erozního ohrožení nastává v případě, kdy hodnota součinu faktoru ochranného vlivu vegetace a faktoru účinnosti protierozních opatření je menší nebo rovna přípustné hodnotě součinu faktoru ochranného vlivu vegetace a faktoru účinnosti protierozních opatření: $C \cdot P \leq C_p \cdot P_p$

Hodnoty přípustného součinu faktoru ochranného vlivu vegetace a účinnosti protierozních opatření $C_p \cdot P_p$ je možné kategorizovat a pro dané kategorie vyjádřit rámcové osevní postupy a agrotechniky dle následující tabulky.

Tab. 1-2. Kategorizace hodnot $C_p \cdot P_p$ a rámcový popis odpovídajících osevních postupů a agrotechnik

Rozsah hodnot $C_p \cdot P_p$	Slovní popis odpovídajících rámcových osevních postupů a agrotechnik
do 0,005	Ochranné zatravnění
0,006–0,020	Víceleté pícniny nebo ochranné zatravnění
0,021–0,100	Vyloučení erozně nebezpečných plodin a vyšší zastoupení víceletých pícnin
0,101–0,200	Vyloučení erozně nebezpečných plodin a použití půdoochranných technologií
0,201–0,240	Pásové střídání plodin nebo vyloučení erozně nebezpečných plodin
0,241–0,400	Erozně nebezpečné plodiny pěstovány s půdoochrannými technologiemi
0,401 a více	Bez omezení

1.3.1 Faktor erozní účinnosti přívalového deště R

Podle provedených měření na jednotkových pozemcích (Wischmeier a Smith, 1978) je erozní účinnost deště určena zejména jeho kinetickou energií a intenzitou. Empirický vztah předpokládá, že jsou-li ostatní faktory konstantní, ztráta půdy je přímo úměrná celkové kinetické energii deště (Ed) násobené jeho maximální třicetiminutovou intenzitou (I30). R je faktor erozní účinnosti srážek, definovaný jako součin Ed a I30. Pro vyjádření jeho průměrné dlouhodobé hodnoty je nutné určit roční sumu dílčích hodnot R faktoru jednotlivých erozně nebezpečných srážkových epizod (ENS, resp. R_{ENSE}) a takto získané roční hodnoty R faktoru (Rr) následně zprůměrovat do průměrné dlouhodobé roční hodnoty (R_{rAVG}). Výslednou jednotkou je pak ($MJ \cdot ha^{-1} \cdot cm \cdot h^{-1} \cdot rok^{-1}$).
Poznámka: I když jednotka neodpovídá soustavě SI, je v erodologické literatuře běžně používaná a zaužívaná. Někteří autoři vyjadřují R faktor v řádově odlišné jednotce ($MJ \cdot ha^{-1} \cdot mm \cdot h^{-1} \cdot rok^{-1}$).

Ačkoli se od roku 2012 pro celou Českou republiku doporučovalo použití jednotné hodnoty R = 40, s postupující precizací stanovení R faktoru dochází nejen ke zpřesňování výsledků a jejich regionalizaci, ale patrný je i trend postupného nárůstu hodnot.

1.3.1.1 Podrobný metodický postup stanovení R faktoru

V aplikaci ProClimDB byl vytvořen dílčí výpočetní modul, jehož konečným výstupem je Rr_{AVG} pro jednotlivé stanice za hodnocené období. K určení Rr_{AVG} je nutné postupně vyřešit několik dílčích kroků:

Vymezení jednotlivých erozně nebezpečných srážkových epizod
Za jednu srážkovou epizodu je považován déšť oddělený od ostatních dešťů 6 a vícehodinovou přetržkou (pokud je přestávka mezi dešti menší než 6 h., pak tyto deště tvoří jedinou srážkovou epizodu). Srážková epizoda je považována za erozně nebezpečnou srážkovou epizodu (ENSE), pokud splňuje alespoň jednu následující podmínku ($H > 12{,}5$ mm nebo $I15 > 6$ mm $\cdot 15$ min^{-1}); podrobněji:

a) Celkový úhrn srážkové epizody H musí být větší než 12,5 mm.
b) Alespoň jedna patnáctiminutová intenzita (I15) musí být větší než 6 mm (metodou klouzavého průměru jsou stanoveny jednotlivé průměrné 15minutové intenzity; I15 pro celou srážkovou epizodu představuje maximální 15minutový úhrn, který musí být vyšší nebo roven 6 mm).

Samotný výpočet R faktoru
Nejprve je nutno rozdělit celou ENSE na dílčí úseky a pro každý dílčí úsek stanovit jeho kinetickou energii Eds závislosti na jeho úhrnu Hs a intenzitě Is podle vzorce, za dílčí úseky je považována vždy 1 minuta:

$$Eds = 0{,}29 \cdot (1 - 0{,}72\, e - 0{,}05Is) \cdot Hs$$

Kde:

Eds	*kinetická energie s-tého úseku deště ($MJ \cdot ha^{-1}$),*
Is	*průměrná intenzita s-tého úseku deště ($mm \cdot h^{-1}$),*
Hs	*celkový úhrn s-tého úseku deště (mm).*

Celková kinetická energie konkrétní ENSE (Ed) se stanoví jako součet všech Eds:

$$Ed = \sum Ed1 \text{ až } Eds$$

R faktor erozně nebezpečné srážkové epizody (R_{ENSE}) se pak stanoví na základě celkové kinetické energie Ed a maximální 30minutové intenzity I30 celé hodnocené ENSE. I30 se stanoví metodou klouzavého průměru jako nejvyšší průměrná hodnota za 30 minut přepočtená na jednotky $cm \cdot h^{-1}$:

$$R_{ENSE} = Ed \cdot I30$$

Kde:

Ed *celková kinetická energie ENSE ($MJ \cdot ha^{-1}$),*

I30 *maximální 30minutová intenzita ENSE ($cm \cdot h^{-1}$).*

Roční hodnota R faktoru (Rr) dána součtem všech R_{ENSE} v daném roce:

$$Rr = \sum R_{ENSE1} \text{ až } \sum R_{ENSEy}$$

Průměrná dlouhodobá roční/sezonní hodnota R faktoru (R_{rAVG}) se stanoví jako aritmetický průměr ročních, resp. sezonních hodnot Rr:

$$Rr_{avg} = \sum Rr \text{ vydělená počtem let (sezón)}$$

Vstupní data a jejich kontrola

Zdrojem dat je databáze ČHMÚ – databázový manažerský systém CLIDATA.

Výpočet Ekin a RENSE je založen na 1minutových srážkových úhrnech. Jelikož 1minutové srážky nejsou revidovány standardním způsobem, předchází výpočtu R faktoru speciální kontrola kvality dat. Data jsou porovnána s denními úhrny srážek, které jsou systematicky revidovány pomocí různých sofistikovaných algoritmů, včetně prostorového vyhodnocení pomocí GIS. Kontrola je založena především na porovnání těchto dvou datových souborů pomocí jejich rozdílů a poměrů, případně v interakci s jinými meteorologickými jevy a prvky. Dny s nulovými denními srážkami v obou sériích nejsou podrobeny žádné kontrole, na druhou stranu přítomnost nuly pouze v jedné ze dvou sérií není dále zkoumána. Pro nenulové hodnoty je jedním z hlavních aplikovaných pravidel, že poměr mezi denními součty oficiálních denních úhrnů srážek a denními součty získanými z 1minutových záznamů nesmí překročit 25 % (hodnoty s poměry nad 75–125 % byly odstraněny z dalšího zpracování). Časový průběh všech srážkových událostí, definovaných výše uvedenými limity, je hodnocen i graficky, a pokud jsou shledány chybnými (ve smyslu evidentní chyby), jsou z dalšího zpracování vyřazeny a doplnění chybějících hodnot proběhlo až na bázi Rr.

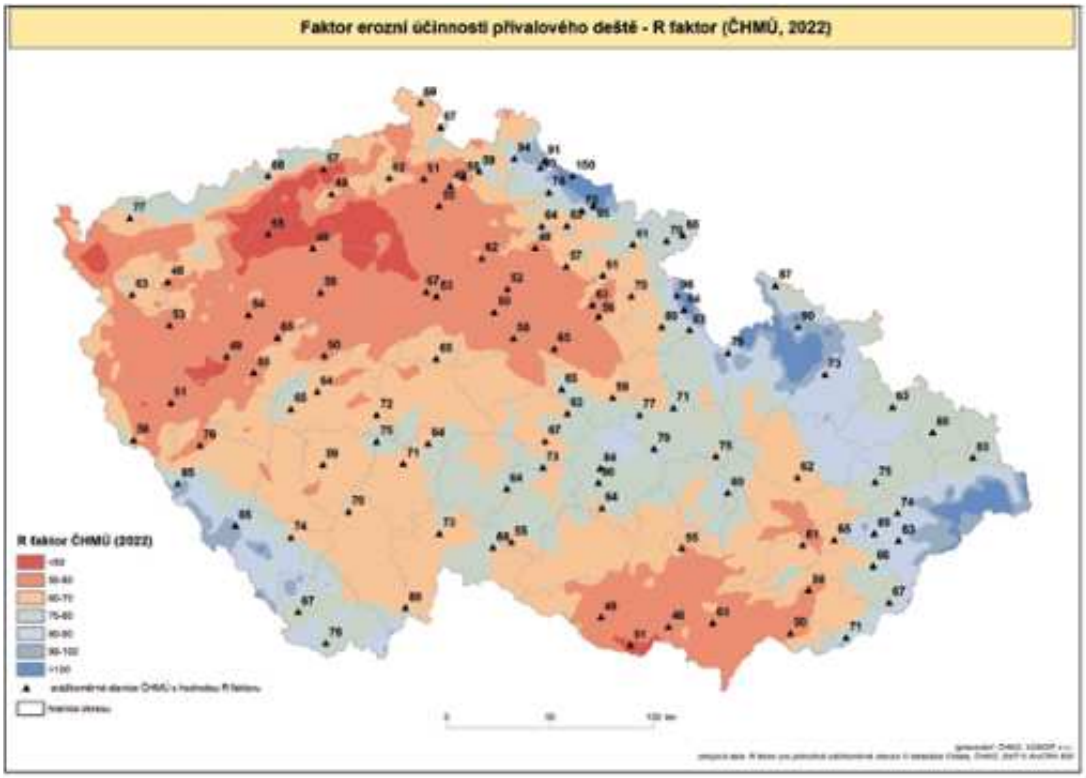
Finální dataset tvoří kombinace měření z automatizovaných stanic (zhruba od počátku tisíciletí) a měření ombrografy používaných před automatizací. Základem pro výpočet R faktoru bylo 111 stanic, které byly vybrány z 356 stanic (pocházejících z ombrografů i automatizovaných stanic, půl na půl), přičemž výběr byl založen na délce série (minimálně 5 let bez přerušení). V případě delších sérií byly uvažovány i mezery v měření a do výběru se promítly i výstupy kontroly kvality dat i detailní metadatové informace a znalost podmínek měření, tedy kombinace objektivních i subjektivních kritérií a know-how. Výpočet R faktoru za referenční období tedy kombinuje data z měření automatickými srážkoměry a ombrogramy, které však monitorovaly srážky vždy od poloviny dubna do poloviny září (v rámci roku tedy dekády 11 až 26). S postupnou klouzavou aktualizací hodnot R faktoru bude možno po kompletním přechodu pouze k datům z automatických srážkoměrů měřících v průběhu celého roku sezonu pro stanovení R faktoru modifikovat/prodloužit.

Následuje výpočet RENSE. Pokud ENSE jsou na základě kontroly kvality dat hodnocena jako relevantní pro výpočet, jsou bez korekce použity pro výpočet Rr. Pokud však některá ENSE byla v daném roce na základě kontroly kvality dat z hodnocení vyřazena, byla hodnota Rr pro daný rok dopočtena z okolních stanic metodou Inverzních vážených vzdáleností IDW (maximální vzdálenost 200 km od doplňované stanice a rozdíl nadm. výšek maximálně 500 m; metoda IDW jako váhu používá reciprokou hodnotu vzdálenosti umocněnou 3 – tato mocnina bere do výpočtu prakticky pouze nejbližší stanice).
Výsledná regionalizovaná mapa R faktoru pro období 1991–2020 i tabulka R_{rAVG} pro všech 111 hodnocených stanic byly získány z ročních map/hodnot Rr získaných výše popsaným způsobem. Výslednou tabulku tak tvoří kompletní, plně srovnatelné časové řady a statistiky za hodnocené období.
Regionalizace R_{rAVG} pro území celé ČR (tedy výsledná regionalizovaná mapa) je založena na interpolaci metodou regresního krigingu s použitím geografických souřadnic, nadmořské výšky a dalších charakteristik terénu jako prediktorů do gridového souboru dat. Výsledek je pro použití ve výpočtech zhlazen na grid 5 x 5 m.

1.3.1.2 Výsledná mapa regionalizovaného R faktoru a její současné využití

Výsledná aktuální platná mapa regionalizovaného R faktoru je k dispozici k prohlédnutí popř. ke stažení na portálu Protierozní kalkulačky (https://kalkulacka.vumop.cz).

Průběžná aktualizace regionalizovaného R faktoru
Na základě výše popsaného metodického postupu s klouzavou aktualizací 30letých hodnot ve 4letých intervalech. Zpracovatel ČHMÚ. Detaily budoucí aktualizace budou zohledňovat závazky a přístupy ukotvené v Protierozní vyhlášce (vyhl. č. 240/2021 Sb.).



Obr. 1–5. Hodnoty regionalizovaného R faktoru pro ČR

1.3.2 Faktor erodovatelnosti půdy K

Vlastnosti půdy ovlivňují její infiltrační schopnost a odolnost půdních agregátů proti rozrušujícímu účinku dopadajících kapek deště a transportu povrchově odtékající vodou.
Faktor erodovatelnosti půdy K (resp. náchylnosti půdy k erozi) je v USLE definován jako ztráta půdy ze standardního pozemku vyjádřená v $t \cdot ha^{-1}$ na jednotku faktoru erozní účinnosti deště R ($MJ \cdot ha^{-1} \cdot cm \cdot h^{-1}$). Faktor erodovatelnosti půdy K je v aktuální platné podobě dostupný k prohlédnutí i ke stažení zdarma na portálu Protierozní kalkulačky (https://kalkulacka.vumop.cz/). Tato rastrová vrstva je pravidelně aktualizována dle aktuálních dat BPEJ a je odvozena podle hlavních půdních jednotek (HPJ, hodnota 2 a 3 místa kódu BPEJ) bonitační soustavy půd dle tabulky uvedené níže.

Tab. 1-3. Hodnoty faktoru K pro jednotlivé HPJ

HPJ	K faktor	HPJ	K faktor
01	0,41	40	0,24
02	0,46	41	0,33
03	0,35	42	0,56
04	0,16	43	0,58
05	0,28	44	0,56
06	0,32	45	0,54
07	0,26	46	0,47
08	0,49	47	0,43
09	0,60	48	0,41
10	0,53	49	0,35
11	0,52	50	0,33
12	0,50	51	0,26
13	0,54	52	0,37
14	0,59	53	0,38
15	0,51	54	0,40
16	0,51	55	0,25
17	0,40	56	0,40
18	0,24	57	0,45
19	0,33	58	0,42
20	0,28	59	0,35
21	0,15	60	0,31
22	0,24	61	0,32
23	0,25	62	0,35
24	0,38	63	0,31
25	0,45	64	0,40
26	0,41	65	Nedostatek dat
27	0,34	66	Nedostatek dat
28	0,29	67	0,44
29	0,32	68	0,49
30	0,23	69	Nedostatek dat
31	0,16	70	0,41
32	0,19	71	0,47
33	0,31	72	0,48
34	0,26	73	0,48
35	0,36	74	Nedostatek dat
36	0,26	75	Nedostatek dat
37	0,16	76	Nedostatek dat
38	0,31	77	Nedostatek dat
39	Nedostatek dat	78	Nedostatek dat

V případě potřeby určení zpřesněného faktoru erodovatelnosti půdy, a to zejména z důvodů degradace půdní struktury vlivem zhutnění, poškození erozními procesy apod., je možné určit faktor K dle vztahu níže v textu. Pro toto stanovení je třeba mít k dispozici základní údaje o dané půdě z výsledků rozborů přímo v terénu odebraných směsných půdních vzorků z různých míst vyšetřovaného pozemku.

Pokud obsah prachu a práškového písku (0,002–0,1 mm) nepřekročí 70 %, lze faktor K určit ze vztahu:

$$K = 0{,}01317 \cdot 0{,}00021 \cdot M^{1{,}14} \cdot (12 - OM) + 3{,}25 \cdot (s - 2) + 2{,}5 \cdot (p - 3)$$

Kde:

M = *(% prachu + % práškového písku) · (100 – % jílu).*
Procentický obsah jílu je ohraničen kategorií velikosti zrn <0,002 mm, procentický obsah prachu a práškového písku je ohraničen kategorií velikosti zrn 0,002–0,1 mm.

OM *procentuální obsah humusu ornice, pokud není již přímo stanoven laboratoří, se určí vynásobením celkového oxidovatelného uhlíku (C_{ox}) hodnotou 1,724.*

s *třída struktury ornice:*

zrnitá	*1,*
drobtovitá	*2,*
hrudkovitá	*3,*
deskovitá, slitá	*4.*

Pokud nebyla třída struktury ornice stanovena dle výše uvedeného nebo se jedná o půdu bezstrukturní, lze třídu struktury stanovit přibližně podle zrnitosti ornice (% obsahu částic <0,01 mm – Novákova stupnice):

půdy lehké	*(p/hp 0–20 %)*	*třída 1,*
půdy střední	*(ph/h 20–45 %)*	*třída 3,*
půdy těžké	*(jh/ju/j nad 45 %)*	*třída 4.*

p *třída propustnosti půdního profilu; lze ji přibližně určit podle HPJ (Tab. 1–4).*

Tab. 1-4. Třída propustnosti půdního profilu podle HPJ

Třída propustnosti	Hlavní půdní jednotka bonitační soustavy (HPJ)
1	04, 05, 17, 21, 31, 32, 37, 40, 55
2	13, 16, 18, 22, 27, 30, 34, 38, 41
3	01, 02, 08, 09, 10, 12, 14, 15, 23, 26, 28, 29, 35, 36, 51, 56
4	03, 06, 11, 19, 24, 25, 33, 42, 43, 44, 45, 46, 48, 50, 52, 58, 60
5	07, 20, 39, 47, 49, 57, 59, 62, 64, 65, 66, 75, 77, 78
6	53, 54, 61, 63, 67, 68, 69, 70, 71, 72, 73, 74, 76

1.3.3 Faktor délky a sklonu svahu LS

V původní variantě Univerzální rovnice dle USDA (Wischmeier a Smith, 1978) L faktor vyjadřuje vliv nepřerušené délky svahu na velikost ztráty půdy erozí a S faktor vyjadřuje vliv sklonu svahu na velikost ztráty půdy erozí, přičemž hodnoty jsou poměřovány se standardním pozemkem o délce 22,13 m a se sklonem 9 %. Protože oba faktory představují poměr smyvu na řešeném pozemku vůči pozemku standardnímu, jsou oba bezrozměrné. Současné principy odvozují L faktor na základě zdrojové plochy povodí, kterou je nahrazena délka svahu.
Topografický LS faktor vyjadřuje význam lokálního sklonu, konfigurace reliéfu a členitosti půdních bloků a velmi podrobně vymezuje místně nejohroženější části pozemků, respektive svahů. Manuální vymezení trajektorií odtokových drah nad vrstevnicovou mapou se již nedoporučuje. Daleko přesnější a objektivnější je určení topografického faktoru prostorově distribuovaného s využitím geografických informačních

systémů. S takovým řešením pracuje rovněž Protierozní kalkulačka, s jejímž využitím jsou určeny hodnoty přípustného smyvu ve smyslu Vyhlášky o ochraně zemědělské půdy před erozí (Vyhláška č. 240/2021 Sb.).

Pro výpočet topografického faktoru na zemědělských pozemcích jsou potřebná následující vstupní data:

- Digitální model reliéfu 4. generace (součást ZABAGED®) a jeho ekvivalenty (dále DMR), ideální velikost pixelu modelu terénu pro výpočet LS faktoru je 5 × 5 m. Pro výpočet je třeba připravit hydrologicky korektní DMR metodou odstranění bezodtokých míst.
- Vrstva (geometrie) prvků přerušujících odtok. S její pomocí je následně vytvořena tzv. plocha pro výpočet eroze. Pro přípravu této vrstvy je možno využít polohopisné prvky zemědělské půdy z databáze ZABAGED, databázi půdních bloků ze systému LPIS, přičemž hranice půdních bloků se nepovažují za prvky přerušující odtok, pokud není na základě terénního průzkumu ověřeno, že jsou doplněny technickými přerušujícími prvky.

Postup výpočtu je následující:

1) V prvním kroku je připravena vrstva plochy pro výpočet eroze, přičemž při běžném výpočtu se za zdrojové plochy erozního odtoku nepovažují lesní porosty, zpevněné plochy, plochy intravilánu a plochy přirozené vyšší vegetace. Za součást způsobilých ploch pro výpočet eroze naopak považujeme trvalé travní porosty a všechny kategorie zemědělsky užívaných pozemků. V odůvodněných případech mohou být do řešených ploch zahrnuty další kategorie využití, pokud průzkum prokazuje, že povrchový odtok se na nich formuje a ohrožuje níže položené pozemky. Za přerušení délky svahu se nepovažují plochy travních porostů ani jiné změny kategorie využití, pokud nejsou doplněny záchytnými prvky. Za přerušení délky svahu lze považovat liniové technické a biotechnické prvky PEO (průlehy, příkopy, protierozní meze s příkopem či průlehem, dimenzované protierozní travní pásy) či polní cestu s nekrytými odvodňovacími prvky (příkopy, průlehy). Za přerušení délky svahu je možno také považovat biokoridory nebo větrolamy v případě jejich doplnění odvodňovacími prvky.
2) Následně je proveden výpočet LS faktoru plošně distribuovanou metodou pomocí vhodného GIS nástroje nebo vhodného erozního modelu.

Za vhodné GIS nástroje pro výpočet LS faktoru a smyvu se považují:

- Volně stažitelný software USLE2D, případně software Watem/SEDEM. Oba nástroje používají ekvivalentní metodu výpočtu LS, která je i podkladem pro vrstvu LS faktoru v Protierozní kalkulačce (vyhláška č. 240/2021 Sb.). Požadovaným nastavením pro výpočet zdrojové plochy odtoku je metoda (Routing Algorithms) „multiple flow" (Quinn et al., 1991), a rovnice dle Nearinga (1997) (LS Algorithms) pro výpočet S faktoru. Použitý exponent (Nearing Slope length exponent: McCool (1987, 1989) (rill=interrill).
  Software lze stáhnout na adrese: https://ees.kuleuven.be/en/geography/modelling a dále na webu Protierozní kalkulačky.
- Model Atlas EROZE. Zdrojová plocha odtoku je v rámci Atlas EROZE počítána pomocí identifikace odtokových linií přímo na modelech typu TIN. Výstupem je rastrový model LS faktoru, jehož rozlišení je určeno uživatelským parametrem v nastavení programu. Doporučené rozlišení pro výpočet je 5 m. LS faktor je vypočten níže popsanou kombinací rovnic dle Goverse a Desmeta (1996), Mitášové (1996) a Nearinga (1997). Jedná se o komerční model českého výrobce, součást GIS Atlas DMT: https://www.atlasltd.cz/dmt/nastroje/modul-eroze/.

V odůvodněných případech lze použít alternativní řešení s využitím dále uvedených rovnic, které lze integrovat do libovolné GIS platformy. Je však nutné upozornit na to, že metody výpočtu zdrojové plochy povrchového odtoku používané jednotlivými GIS se výrazně liší a nejsou vzájemně zastupitelné. Vedou k odlišným hodnotám zdrojové plochy vstupující do výpočtu LS faktoru, tedy i k odlišným výsledným hodnotám ztráty půdy na jednotlivých erozně hodnocených plochách (EHP). Taková řešení proto považujeme za indikativní a nelze je přímo porovnávat s hodnotami LS faktoru vypočtenými v souladu s vyhláškou č. 240/2021 Sb. Pro výpočet LS faktoru se nedoporučuje použití metody jednosměrného odtoku

ve směru největšího sklonu v prostředích rastrových GIS, pracující pouze s osmi směry odtokových trajektorií. Při výpočtu LS faktoru a hodnocení vodní eroze metodou USLE **je vždy třeba uvést použitý GIS a použitou metodu výpočtu zdrojové plochy povrchového odtoku**.

Doporučované vztahy pro výpočet LS faktoru jsou následující:
Pro každý pixel DMR je vhodné nejprve určit parametr „beta", zpřesňující hodnotu L faktoru na základě lokálního sklonu DMR:

$$beta = \frac{\sin(sklon)}{0.0896 \cdot [3 \sin^{0.8}(sklon) + 0.56]}$$

Kde:
sklon *úhel sklonu odtokové linie (lokální maximální sklon) (°),*
beta *parametr sklonu pro výpočet L faktoru.*

Následně je určen samotný L faktor (Mitášová, 1996; Desmet a Govers, 1996):

$$L = \left(\frac{Facc}{22.13\, resolution(|\sin(aspect)| + |\cos(aspect)|)} \right)^{\frac{beta}{beta+1}}$$

Kde:
L *výsledný L faktor,*
Facc *plocha povodí k řešenému pixelu (bodu) (m^2),*
aspect *azimut ve směru odtokové linie (maximálního sklonu) (°),*
resolution *rozlišení vstupního rastru (délka hrany pixelu) (m),*
beta *parametr sklonu pro výpočet L faktoru.*

Pro S faktor je vhodné využít rovnici dle Nearinga (1997) ve tvaru:

$$S = -1.5 + \frac{17}{[1 + e^{(2.3-6.1 \sin(sklon))}]}$$

Kde:
S *výsledný S faktor,*
sklon *úhel sklonu odtokové linie (lokální maximální sklon) (°),*
beta *parametr sklonu pro výpočet L faktoru.*

Poznámka: GIS metody určení topografického faktoru vždy produkují výrazně zvýšené hodnoty LS faktoru v drahách soustředěného odtoku (DSO) s významnou potenciální akumulací povrchového odtoku a sedimentu během erozně odtokových epizod. To není překážkou pro jejich správnou interpretaci. Tato místa jsou na pozemcích prakticky vždy skutečně riziková. V těchto DSO může docházet k velmi variabilním projevům erozního poškození. Mohou se stát lokalitami s velmi akcelerovanou výmolnou erozí, stejně jako lokalitami s převažující sedimentací erodovaného materiálu (zejména v patách svahů), a to v závislosti na lokálním podélném sklonu těchto údolnic, intenzitě a úhrnu příčinné srážky a zrnitosti transportovaného erozního materiálu. Je zcela správné, že vysoké místní hodnoty LS faktoru jsou zahrnovány do zvýšení celkového průměrného smyvu erozně hodnocených ploch, pokud uvedené DSO nejsou vyjmuty z řešení z důvodu návrhu jejich stabilizačních opatření. Proto doporučujeme nejprve posoudit DSO a navrhnout na nich vhodná opatření (pro toto lze využít fyzikální modely (viz kapitolu 1.5) a dimenzovat opatření dle zásad uvedených v kapitole (1.6.3.14) a poté řešit výpočet LS faktoru v ploše pozemků. Rozhodujícím faktorem vzniku erozních rýh v DSO (vedle půdních, morfologických, srážkových

poměrů aj.) je velikost přispívající plochy a způsob jejího využití. Jako erozně nebezpečné lze určit DSO s velikostí přispívající plochy 5 ha a vyšší. Tyto DSO mají být dále posouzeny a ve zdůvodněných případech, zejména kdy na dotčených plochách nelze vyloučit pěstování erozně nebezpečných plodin, se naurhne jejich stabilizace.

1.3.4 Faktor ochranného vlivu vegetace C

Faktor ochranného vlivu vegetace (C faktor) patří k základním faktorům ovlivňujícím erozní procesy. V rámci univerzální rovnice má tento faktor hodnoty v intervalu 0–1, kde na této stupnici nejnižší hodnoty mají plodiny či kultury nejlépe chránící půdu proti vodní erozi (např. trvalé travní porosty; nejvyšší hodnotu pak mají plodiny s nízkou ochranou proti erozi, zejména širokořádkové plodiny). C faktor vyjadřuje vliv osevního postupu a agrotechniky, je definován jako poměr ztráty půdy ze specificky obdělávaného pozemku k odpovídající ztrátě půdy z pozemku udržovaného jako trvalý kypřený úhor (Wischmeier a Smith, 1978).
Hodnotu C faktoru ovlivňuje konkrétní kombinace vegetačního pokryvu, sledu plodin, použité agrotechniky, také však záleží na aktuální fázi rostlinného vývoje a na ochraně půdy, kterou poskytují rostlinné zbytky a vybrané agrotechnické operace v okamžiku přívalového deště (Wischmeier a Smith, 1978). Odvození faktoru C pro konkrétní lokalitu tedy vyžaduje i znalost rozložení výskytu erozně nebezpečných dešťů v průběhu roku. Účinnost vegetačního pokryvu se v průběhu roku postupně mění.
Přesný počet plodin pěstovaných v Česku není znám. Číselník plodin v registru půdy LPIS používaný pro evidenci hospodaření zemědělských podniků obsahuje více než 450 plodin. Výčet základních druhů obilnin, okopanin, luskovin, jetelovin, trav a meziplodin pak činí více než 70. V roce 2022 bylo deklarováno celkem 235 plodin, z nichž 54 bylo pěstováno na výměře větší než 1000 ha. Pouze 22 plodin bylo pěstováno na ploše větší než 10 tis. ha. Minimálně pro tyto hlavní plodiny a agrotechniky by měly být hodnoty C faktoru buď experimentálně zjištěny, nebo odvozeny (Tab. 1–5).

Tab. 1-5. Výměra plodin deklarovaných v jednotných žádostech v roce 2022

Plodina	Výměra (ha)	Plodina	Výměra (ha)
Pšenice ozimá	786 987	Trávy	39 508
Řepka ozimá	343 780	Tritikale ozimé	36 771
Kukuřice	289 761	Sója	28 741
Ječmen jarní	207 065	Žito ozimé	28 305
Ječmen ozimý	122 576	Jetelotravní směs	27 995
Vojtěška	74 155	Mák	22 113
Jetel bílý	68 165	Slunečnice	17 645
Cukrovka	58 302	Směsi bílkovinné	13 984
Pšenice jarní	51 896	Hořčice bílá	13 960
Oves	45 298	Pšenice špalda	11 008
Hrách	42 980		

1.3.4.1 Stanovení hodnot C faktoru

SLR (Soil Loss Ratio) vyjadřuje poměr mezi měřeným smyvem z pozemku zatíženého konkrétní erozní srážkou a smyvem z kypřeného nechráněného úhoru za identických podmínek (stejný sklon, půda a délka pozemku). Naměřením hodnot SLR při několika růstových fázích lze určit jeho denní průběh pro danou plodinu od zasetí do sklizně.

Pro nově zaváděné plodiny a agrotechnické postupy, kde hodnoty C faktoru nejsou známy, je možné s výhodou využít mobilní simulátor deště, se kterým je možné ochranný účinek vegetace i agrotechniky v konkrétním případě stanovit naměřením hodnoty poměru odnosu SLR (Mistr et al., 2016).

$$C = \frac{\sum C_i \cdot R_i}{R} = \frac{\sum SLR \cdot R_i}{R}$$

Kde:

C *výsledný C faktor,*

C_i *odpovídá hodnotě SLR,*

R_i *část R faktoru pro odpovídající roční periodu,*

R *celkový roční R faktor.*

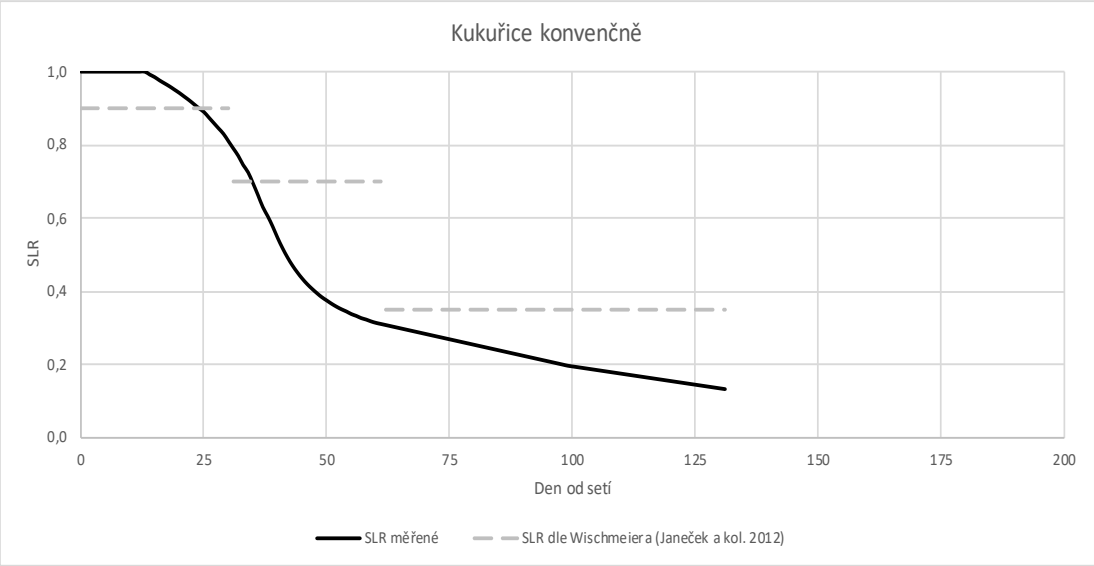
Je nepochybné, že vliv vegetace na pozemku během vegetační sezony má na aktuální ochranu půdy zásadní efekt. Ten se navíc mění s klimatickými podmínkami (zemědělskými produkčními oblastmi) a je v rámci výpočtu akcentován časovým rozdělením hodnot faktoru R (erozní účinnost deště) během roku. Tím jsou akcentována ta období růstu, která spadají do období vysoké pravděpodobnosti erozně účinných srážek.

Tab. 1-6. Rozdělení erozně účinných srážek v průběhu roku

Měsíc	Dekáda*	% R dekády	% R měsíce
IV	N11	2,8	6,5
	N12	3,7	
V	N13	4,7	17,0
	N14	5,6	
	N15	6,6	
VI	N16	7,7	24,8
	N17	8,4	
	N18	8,7	
VII	N19	8,9	25,3
	N20	8,5	
	N21	7,9	
VIII	N22	7,2	18,7
	N23	6,3	
	N24	5,2	
IX	N25	4,3	7,7
	N26	3,4	

*Pozn.: * Výpočet R faktoru za referenční období kombinuje data z měření automatickými srážkoměry a ombrogramy (cca do roku 2000). Tyto přístroje monitorovaly srážky uždy od polovíny dubna do polovíny září (v rámci roku tedy dekády 11 až 26). S postupnou klouzavou aktualizací hodnot R faktoru bude možno po kompletním přechodu pouze k datům z automatických srážkoměrů měřících v průběhu celého roku sezonu pro stanovení R faktoru modifikovat/prodloužit a tím i modifikovat rozložení R faktoru u roku pro účely stanovení průměrné hodnoty C faktoru.*

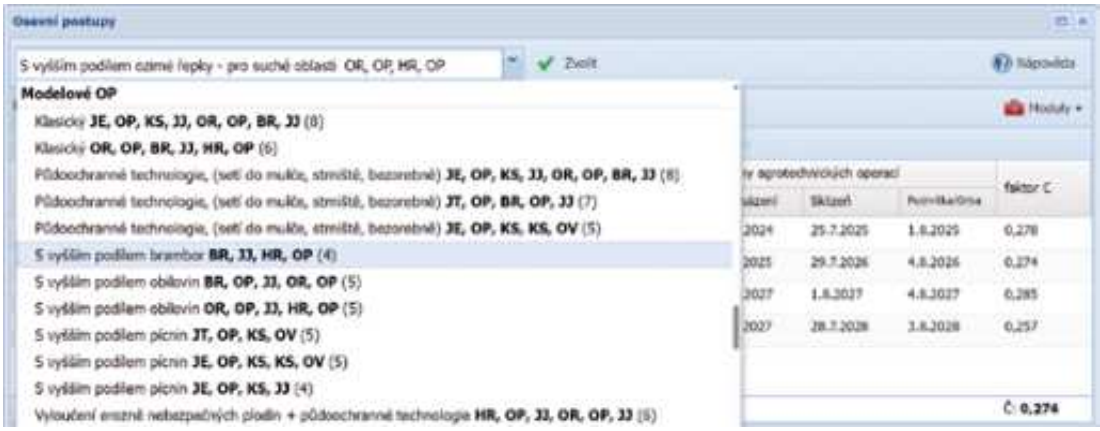
Hodnoty SLR po jednotlivých dnech od zasetí vyjadřují zvyšující se účinek ochrany půdy s rostoucí listovou plochou a kořenovým systémem. Jsou určeny na základě simulací pro konkrétní plodiny a substitucí pro neměřené skupiny plodin s obdobným ochranným účinkem. SLR je základem pro určení celkové sezonní hodnoty součinu faktorů C · P pro daný osevní postup.



Obr. 1-6. Příklad grafického vyjádření časového průběhu SLR pro kukuřici s konvenčním zpracováním půdy

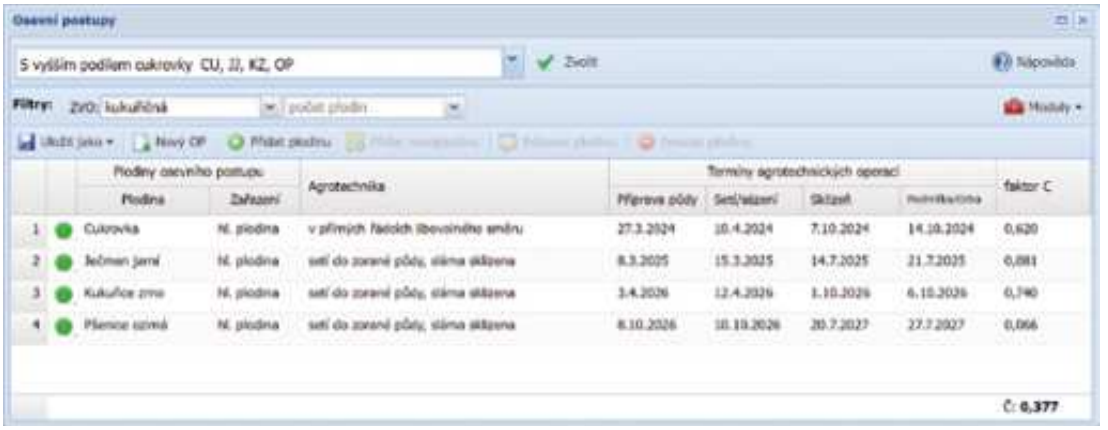
Grafické průběhy funkcí jsou ukončeny minimálními hodnotami SLR odpovídajícími termínu sklizně navazující plodiny v rámci konkrétních osevních postupů. Průběhy SLR plodin a agrotechniky jsou pak v kombinaci s termíny předseťové přípravy, setí a sklizně základem pro odvození celkových sezonních hodnot C faktoru.

Číselné hodnoty průběhů SLR základních plodin po jednotlivých dnech ode dne zasetí do sklizně jsou dostupné v příloze metodiky (Mistr et al., 2021) nebo v Protierozní kalkulačce (https://kalkulacka.vumop.cz). Pro určení C faktoru, případně součinu C · P, doporučujeme použít Protierozní kalkulačku. V jejím prostředí lze využít více než 40 modelových osevních sledů s různou agrotechnikou pro jednotlivé výrobní oblasti (Obr. 1-7 a Obr. 1-8).



Obr. 1-7. Modelové oseuní sledy s různou agrotechnikou připravené v Protierozní kalkulačce

V případě potřeby je možné tyto osevní sledy modifikovat nebo si nadefinovat libovolný používaný osevní sled plodin, termíny potřebných agrotechnických operací i používanou agrotechniku a půdoochranné postupy. Výpočetní modul kalkulačky sám doplní průběhy SLR, zkombinuje je s časovým rozdělením hodnot faktoru R a určí celkovou dlouhodobou hodnotu C faktoru pro vybraný osevní sled.



Obr. 1-8. Příklad osevního sledu s vyšším zastoupením okopanin a konvenční agrotechnikou

Pro rychlé hodnocení protierozní ochrany v daném území je možné použít tzv. indikativní C faktor, který vychází ze skutečně pěstovaných plodin deklarovaných zemědělci v jednotné žádosti o dotace. Indikativní C faktor (Obr. 1-9) vyjadřuje průměrnou hodnotu osevního sledu plodin v posledních pěti letech při použití klasické agrotechniky. Vrstva indikativního C faktoru je pravidelně aktualizována. Hodnoty je možné získat v Protierozní kalkulačce (https://kalkulacka.vumop.cz).

Obr. 1-9. Hodnoty indikativního C faktoru vycházející ze skutečně pěstovaných plodin na DPB v posledních 5 letech

Tab. 1-7. Pro trvalé porosty a kultury jsou používány následující hodnoty C faktoru

Plodina	C faktor	Plodina	C faktor
Pícniny víceleté	0,020	Chmelnice – úhor	0,802
Louky	0,005*	Chmelnice – 50 % zatravněno	0,307
Sady – úhor	0,450	Chmelnice – 100 % zatravněno	0,020
Sady – 50 % zatravněno	0,175	Vinice – úhor	0,752
Sady – 100 % zatravněno	0,010	Vinice – 50 % zatravněno	0,285
Úhor zelený jednoletý	0,150	Vinice – 100 % zatravněno	0,010
Úhor (zelený / nektarodárný víceletý)	0,020		

** při pokryvnosti 95 a více %*

1.3.5 Faktor účinnosti protierozních opatření P

Faktor účinnosti protierozních opatření P vyjadřuje poměr erozního smyvu při realizaci protierozních opatření ke smyvu na pozemku obdělávaném bez těchto opatření ve směru sklonu pozemku. Ze šesti vstupních faktorů RUSLE/USLE jsou hodnoty P faktoru dány konkrétními opatřeními na pozemku, jsou ale ovlivňovány i faktory dalšími (např. odvodněním), které mohou mít vliv na infiltraci a odtok vody. P faktor je při výpočtu erozního smyvu vyjádřením účinků ochranných opatření, kterými mohou být vrstevnicové (konturové) obhospodařování nebo pásové střídání plodin. Uvedená opatření ovlivňují vodní erozi úpravou proudění vody, snížením objemu a rychlosti odtoku či úpravou sklonu svahu (Renard et al., 1997). Hodnota P faktoru klesá se zvyšující se účinností ochranných opatření a snižuje se tak i rychlost a objem odtoku, přičemž dochází k ukládání transportovaného materiálu přímo na povrchu půdy svahu. Ovlivňování erozních procesů prostřednictvím ochranných opatření je velmi důležité, při jejich plánování však musíme vždy vycházet z místních podmínek, které mohou ovlivnit hodnotu P faktoru. Literatura uvádí různé hodnoty P faktoru pro jednotlivá ochranná opatření za rozdílných podmínek (Wischmeier a Smith, 1978; Renard et al., 1997; Foster et al., 2002 a další). I přes rozdílné publikované P faktory uvádíme níže průměrné hodnoty pro některá z možných opatření.

1.3.5.1 Vrstevnicové obdělávání

U vrstevnicového obdělávání (rovněž známé jako konturové hospodaření) jsou pozemky obdělávány ve směru vrstevnic s max. odklonem 30° s cílem zpomalení odtoku vody a posílení její infiltrace do půdy. V důsledku je pak cílem snížit erozi půdy, omezit poškozování kvality půdy a minimalizovat transport sedimentů do povrchových vod a s nimi i živin a pesticidů a optimalizovat pěstování plodin z pohledu produktivity i zdraví rostlin. Účinnost vrstevnicového obdělávání je dána nejen sklonem pozemku ale i maximální délkou odtokové linie svahu, na kterém je opatření aplikováno. Vycházíme-li z různých prací (Wischmeier a Smith, 1978; Janeček et al., 2012; Mistr a Janoušek, 2021; standardy USDA-NRCS a další), pak je při zohlednění sklonu a maximální přípustné délky pozemku po směru odtokové linie možné počítat s P faktory uvedenými v Tab. 1-8. Parametry pro určení P faktoru jsou dány nejdelší odtokovou linií na pozemku a jejím průměrným sklonem.

Tab. 1-8. Hodnoty P faktoru pro vrstevnicové obdělávání

Průměrný sklon nejdelší odtokové linie (%)	Maximální délka pro aplikaci opatření (m)	P faktor
0–4	300	0,6
4–7	120	0,6
7–12	60	0,7
12–18	40	0,9

1.3.5.2 Pásové střídání plodin

Další protierozní opatření, pásové střídání plodin (PSP), můžeme definovat jako plánované střídání plodin odolných vůči erozi a k této erozi náchylných, příp. úhoru v předem naplánovaných pásech ve směru blízkém vrstevnicím. Cíle tohoto opatření jsou obdobné jako u vrstevnicového obhospodařování, navíc při zakládání neprodukčních ploch (většinou zatravněných) je možné usilovat i o posílení biodiverzity v území. Protierozní účinnost pásového střídání plodin závisí na vlastním systému pásového střídání i na pěstovaných plodinách. U nich počítáme s průměrným C faktorem pro obě plodiny na chráněných a ochranných pásech. Pro vlastní pásové střídání plodin je pak v souladu s literaturou (uvedenou v předchozí subkapitole u vrstevnicového obdělávání) možno počítat při zohlednění sklonu svahu s P faktory uvedenými v Tab. 1-9.

Vždy je nutné respektovat způsob navrhování pásového střídání plodin popsaný v kapitole 1.6.1.3, kdy zejména:

- šířka chráněných a ochranných pásů dosahuje u obou pásů stejné hodnoty (z hlediska potřeby střídání plodin),
- za ochranný se považuje pás o šířce od 20 do 42 m kultivovaný a setý ve směru blízkém vrstevnicím,
- šířka pásů nesmí přesáhnout 42 m.

Základní parametry pro návrh a realizaci pásového střídání plodin a jeho účinnosti jsou uvedeny v certifikované metodice Dumbrovský, Šarapatka a kol. (2023).

Tab. 1-9. Hodnoty P faktoru pro pásové střídání plodin při různém sklonu svahu

Sklon svahu (%)	Hodnoty P faktoru u pásového střídání plodin
0,0–7,0	0,27
7,1–12,0	0,30
12,1–18,0	0,40
>18,1	0,45

1.3.6 Limity erozního smyuu G_p

Základním dokumentem v ČR, který stanovuje závazné limity dlouhodobé ztráty půdy je vyhláška č. 240/2021 Sb., o ochraně zemědělské půdy před erozí, která nabyla účinnosti 1. 7. 2021. Limity přípustné míry erozního ohrožení jsou definovány pro jednotlivé hloubky půdy. Ty jsou stanoveny na základě BPEJ. Přípustná míra erozního ohrožení vodní erozí je stanovena následovně (Tab. 1-10):

Tab. 1-10. Vymezení hloubky půdy z BPEJ učetně odpovídající maximální přípustné míry erozního ohrožení (převzato z uyhlášky č. 240/2021 Sb.)

Charakteristika kategorie	Hloubka půdy (cm)	Hodnota 5. číslice kódu BPEJ (sdruženého kódu skeletovitosti a hloubky půdy)	Přípustná míra erozního ohrožení ($t.ha^{-1}.rok^{-1}$)
Půda hluboká	> 60	0, 2, 3	9
Půda středně hluboká	30–60	1, 4, 7	9
Půda mělká	< 30	5, 6, 8, 9	2

Pro půdy s kódem 8 a 9 je hloubka půdy u garantované urstvě ue uýpočtu eroze nastauena jako mělká z principu předběžné opatrnosti. Podrobná charakteristika BPEJ a HPJ je uuedena ue uyhlášce č. 227/2018 Sb., o charakteristice bonitouaných půdně ekologických jednotek a postupu pro jejich uedení a aktualizaci.

Návazné předpisy, Standardy dobrého zemědělského a environmentálního stavu (DZES) a metodický návod k provádění pozemkových úprav (SPÚ, 2022) řešící protierozní ochranu, jsou v souladu s národní legislativou a jsou řešeny v rámci vlastních metodických postupů.

Výše uvedené stanovené hodnoty jsou konsenzuální a vychází z dlouhodobě prováděných výzkumných prací a doporučení.

Samotné určení limitních hodnot přípustné ztráty půdy vodní erozí je poměrně komplikované. Na tuto problematiku lze totiž nahlížet z více úhlů pohledu. Striktně environmentálním pohledem je nutné zabránit jakékoliv ztrátě půdy nad schopnost její obnovy. Tedy takto určená limitní hodnota přípustné ztráty půdy v podstatě odpovídá teoretické rychlosti pedogenetických procesů pro různé druhy a typy půd a lze ji interpretovat tak, že je to ztráta, která je průběžně nahrazována přirozenou tvorbou půdního profilu. Jde tak především o hledání objektivní pravdy a tento přístup můžeme také nazvat akademickým. Při pragmatickém aplikovaném přístupu je kromě environmentální složky doplněna také otázka smysluplného využívání půdy pro zemědělskou produkci a hlavní cíl tohoto přístupu lze vyjádřit jako

udržitelné fungování společnosti, a především hospodářských procesů v určitém časovém období. Toto období může být 20–25, 50 nebo 100 let. To znamená, že v tomto případě je úplné zabránění erozním ztrátám obvykle nedosažitelné. Důraz je kladen především na udržení stabilní produktivity půdy a předcházení katastrofickým situacím, jako jsou sesuvy půdy, povodně, zničení infrastruktury apod. Podle definice USDA (United States Department of Agriculture) je přijatelná ztráta půdy maximální míra roční eroze půdy, která umožní ekonomicky udržet produktivitu plodin po neomezenou dobu. Přijatelná dlouhodobá ztráta půdy se pak pohybuje v rozmezí od 2,5 do 12,4 $t.ha^{-1} \cdot rok^{-1}$.

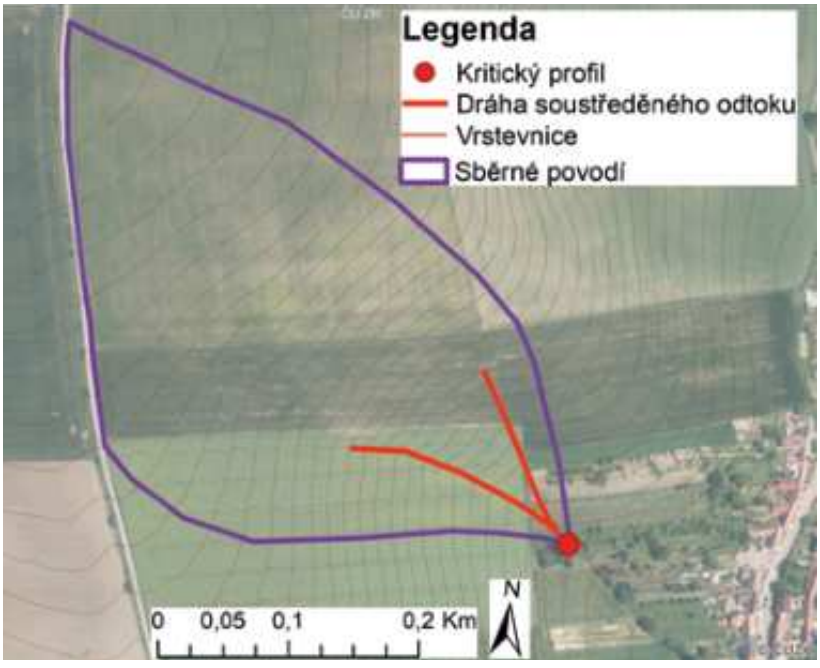
1.4 Stanovení drah soustředěného odtoku (DSO) a kritických profilů (KB)

Dráhy soustředěného odtoku (DSO) jsou místa přirozených údolnic, ve kterých dochází ke koncentraci povrchového odtoku a možnému vzniku erozních rýh. Kritické profily se stanovují z důvodu identifikace lokalit, ve kterých dochází ke křížení DSO s intravilánem či jinými prvky vyžadujícími zvýšenou ochranu před povrchovým odtokem a erozí.

DSO včetně přispívajících ploch povodí se vymezují nejčastěji v GIS prostředí na základě hydrologicky korektního DMR (DMR4G). Rozhodujícím faktorem pro definování DSO je velikost přispívající plochy povodí dané DSO a způsob jejího využití. Jako erozně nebezpečné uvažujeme DSO s přispívající plochou povodí 5 ha a vyšší.

V rámci návrhu opatření protierozní ochrany se tyto potenciální zdroje koncentrovaného povrchového odtoku a erozních rýh vyhodnotí a navrhne se způsob jejich stabilizace. Způsob stabilizace (a následné řešení protierozní ochrany) se odvíjí od toho, kam daná DSO ústí (intravilán, vodní tok, les aj.).

Do kategorie kritických profilů zahrnujeme také kritické body, které jsou stanoveny v rámci celé ČR. Podrobněji o způsobu vymezení kritických bodů pojednává publikace Drbal et al. (2009). Identifikované kritické body lze získat z databáze VÚV TGM (HEIS) a také z databáze POVIS (https://1url.cz/11qgW). K takto stanovenému kritickému profilu stanovíme jeho sběrnou plochu povodí, vypočteme základní charakteristiky přímého odtoku (objem přímého odtoku, kulminační průtok) a navrhneme odpovídající způsob stabilizace DSO.



Obr. 1-10. Určení dráhy soustředěného odtoku a kritického profilu

1.5 Fyzikálně založené metody hodnocení vodní eroze

Fyzikální modely založené na matematickém modelování konkrétní srážkové události jsou účinným doplňujícím nástrojem pro posouzení náchylnosti lokality ke vzniku vodní eroze a návrhu protierozních opatření v případech, kdy není cílem stanovit dlouhodobou průměrnou ztrátu půdy pomocí metody USLE. Z tohoto důvodu se epizodní fyzikálně založené modely používají obecně méně než modely založené na metodě USLE. Jedná se zejména o posouzení extremity konkrétní proběhlé události, modelování v morfologicky členitém terénu, kde nejsou splněny podmínky pro platnost rovnice USLE. Tyto nástroje popisují dopady simulované epizody, tedy je možné s nimi posoudit konkrétní erozní událost. Často tyto nástroje hodnotí nejen erozní ohroženost, ale zároveň i hydrologickou odezvu a lze je tak využít i pro návrh opatření 1.6. Fyzikálně založené modely popisují erozi na základě známých fyzikálních procesů. Jejich další výhodou je, že mimo uvolnění půdy (erozi) modelují také transport a depozici erozí uvolněného sedimentu.
Fyzikálně založené epizodní modely dokážou odpovědět na kombinaci otázek:

- Kdy nastane problém – při jaké kombinaci roční doby a plodiny, při jaké srážce?
- Jaká zavést protierozní opatření, aby byla lokalita chráněna na určitou dobu opakování (návrhovou srážku)? Případně porovnat reálnou událost s možnými dopady.
- Jak dimenzovat technická protierozní opatření na návrhové srážky?
- Jaké objekty jsou erozí ohroženy?

Dřívější limit použitelnosti těchto modelů, který byl dán nedostupností vstupních dat v dostatečném prostorovém rozlišení, je již překonán a vstupní data neznamenají omezení pro rutinní využití těchto nástrojů. Využití těchto modelů je limitováno nutnou znalostí popisovaných procesů a znalostí prostředí konkrétního modelu. Významným benefitem je využití těchto modelů jako nástroj k efektivní ochraně před škodami na intravilánu a vodních útvarech a v dalších situacích, kde je nezbytné přejít ke konceptu epizodnímu.
Vzhledem k tomu, že příčina erozní události je kombinace mnoha faktorů, nejen srážek, z pohledu limitů je třeba při navrhování a dimenzování protierozních opatření předpokládat nejhorší možný scénář (tzv. „worst case") vzniku erozní události (aby došlo k minimalizaci rizik). Nastavení limitu by mělo být voleno i s ohledem na to, zda je výhodnější investovat do prevence a ochrany, nebo do sanace škod. Různé oblasti vyžadují různou míru ochrany, obdobně jako je to v případě navrhování protipovodňové ochrany. Proto limitní hodnoty (v případě epizodního přístupu) mají být prostorově rozložené a vyžadují různé přístupy k jejich stanovení.
Za aplikačně využitelné modely, které byly testovány pro využití v českém prostředí, je možné považovat model SMODERP (Kavka, 2022) a Erosion-3D (Schmidt, 1996).

1.5.1 SMODERP

Tento model rozlišuje procesy plošné a rýhové eroze. Za erozně ohroženou oblast je pak definována ta, kde je překročena limitní rychlost nebo tečné napětí plošného odtoku a kde dochází ke vzniku zvýšené eroze. Detailněji je tento model popsán v kapitole 4 a případně na webu www.smoderp.fsv.cvut.cz.

1.5.2 Erosion-3D

Matematický simulační model Erosion-3D je typickým příkladem inženýrsky (tedy pro praktické využití) orientovaného, plně distribuovaného epizodního fyzikálně založeného matematického simulačního modelu srážkoodtokových vztahů, erozních a transportních procesů. Model byl odvozen v podmínkách sousedního Saska a klimatické, půdní i morfologické podmínky jeho vzniku jsou tedy velmi podobné podmínkám v ČR.
Základní slabinou pro rutinní využití modelu Erosion-3D byla nedostatečná kompatibilita datových zdrojů mezi standardy v Německu, kde byl model vyvinut, a podmínkami ČR. Zejména v oblasti půdních

map a databází půdních parametrů. Metodika „Využití matematického simulačního modelu Erosion-3D pro posuzování erozní ohroženosti a navrhování ochranných opatření", Beitlerová et al. (2021), tento problém odstraňuje vytvořením konverzních nástrojů pro přípravu vstupních dat, které umožní aplikaci modelu Erosion-3D se stejným komfortem a spolehlivostí jako v Německu.
Kromě nepochybného zásadního posunu vpřed a možnosti širšího rutinního uplatnění fyzikálně založeného epizodního přístupu v posuzování erozní ohroženosti je třeba zmínit následující:

Pozitiva:
- umožnění zahrnutí časově proměnné návrhové srážky,
- možnost práce s dobou opakování návrhové srážky, a tedy i stupněm zabezpečení návrhu,
- spolehlivější a efektivnější navrhování a dimenzování prvků i systémů technických protierozních opatření,
- fyzikálně založený přístup, zajišťující konstantní spolehlivost metody v rámci mezí platnosti využitých rovnic a fyzikálních zákonů.

Negativa:
- nejasné ukotvení v české legislativě pro stanovení erozní ohroženosti zemědělské půdy,
- problematická konfrontace se zavedeným konceptem hodnot přípustné ztráty půdy.

1.6 Ochrana proti vodní erozi

1.6.1 Opatření organizačního charakteru

Organizační protierozní opatření úzce souvisejí s optimalizací využívání půdy v krajinném prostoru. Může se jednat o návrhy v rámci pozemkových úprav nebo o systémy hospodaření na půdě, které mají protierozní funkci. Mezi organizační opatření můžeme zahrnout návrhy optimálního tvaru a velikosti pozemku, delimitaci kultur, protierozní umístění pěstovaných plodin, ochranné zatravnění a zalesnění, pásové střídání plodin a agrolesnictví.

1.6.1.1 Optimální tvar a velikost pozemku

Velikost pozemku / půdního bloku je v praxi ovlivňována řadou faktorů, mezi něž můžeme zařadit přírodní, směřující k vytváření menších obdělávaných půdních celků, a ekonomické, které směřují k tvorbě spíše větších bloků. Mohou být i další požadavky, např. legislativní, kdy je dle zásad Dobrého zemědělského a environmentálního stavu (DZES) 7 požadováno omezení plochy jedné plodiny na 30 ha, na dílech půdních bloků zařazených do kategorie silně erozně ohrožené (SEO) je pak omezení na 10 ha. S ohledem na návrh protierozních opatření by mělo být situování pozemku / dílu půdního bloku (DPB) delší stranou ve směru vrstevnic, což zároveň vede k vrstevnicovému obdělávání a zkracuje délku po spádnici. Současně je žádoucí, aby tato délka ve směru odtokových linií nepřekračovala maximální přípustnou délku. Výpočet maximální přípustné délky pozemku se provádí na základě maximálního tečného napětí. Tuto metodu popisuje např. Dýrová (1988). To platí i pro délku této linie procházející přes více než jeden pozemek/DPB, pokud není přerušen odtok mezi nimi. V praxi lze tento typ organizačního opatření implementovat zejména při projektování a realizaci opatření pozemkových úprav, kde je nutné řešit vedle protierozní ochrany zejména vodní hospodářství krajiny, územní systémy ekologické stability a dopravní dostupnost. Při návrzích těchto společných zařízení v rámci projektu pozemkových úprav je přitom postupováno v souladu s metodickým návodem pro provádění pozemkových úprav (SPÚ, 2022) a platným technickým standardem plánu společných zařízení (PSZ).
Optimální tvar pozemku lze však řešit i se zohledněním technických a ekonomických podmínek hospodařícího subjektu a potřeb zemědělské výroby, ovšem se zahrnutím environmentálních hledisek.

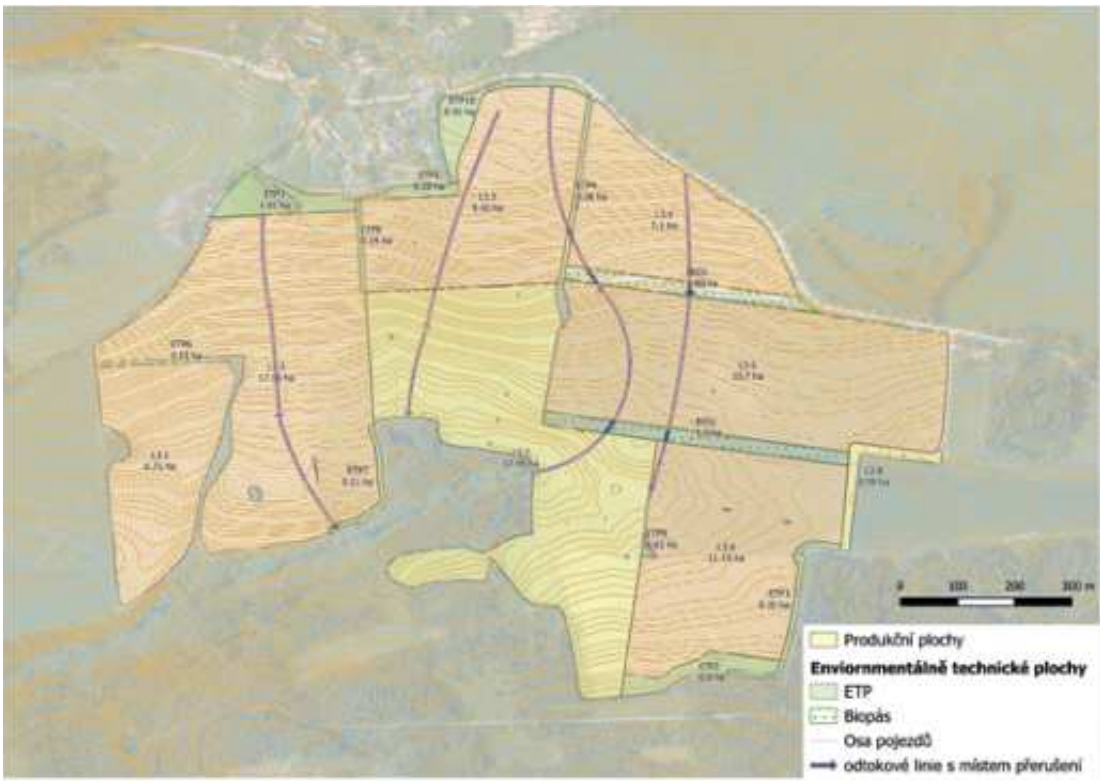
1.6.1.1.1 Optimalizace unitřního uspořádání půdních bloků

Komplexní návrh optimalizace vnitřního uspořádání půdních bloků a jejich dílů je velmi individuální záležitostí. Přesto již lze na základě provedených implementací v provozních podmínkách shrnout nejenom základní cíle, ale i principy návrhů členění včetně vyčíslení jejich benefitů.

Primárním cílem je vytvoření stabilních produkčních ploch určených pro pěstování tržních plodin v rámci půdních bloků a jejich dílů. Takto vzniklé produkční plochy mají umožnit cílený a předem definovaný pohyb pracovních souprav, který zajistí snížení technogenního zhutnění, snížení spotřeby PHM, omezení spotřeby osiv (přesevy), snížení spotřeby hnojiv, pesticidů, pomocných látek, biopesticidů a bioagens (zamezení překryvu na nepravidelných plochách apod.). Zároveň musí tvorba produkčních ploch respektovat stávající legislativní a vědecká kritéria pro eliminaci negativního vlivu rostlinné výroby na životní prostředí (eliminace větrné a vodní eroze, stabilita organické hmoty, podpora retenční schopnosti půdy apod.).

Souvislá plocha jedné plodiny je dána jednak vnějšími pevnými prvky v krajině a také možnostmi obhospodařování. Z pohledu efektivního obhospodařování lze plochu určit z délky pojezdu a šířky záběru pracovních strojů. Délka pojezdu je ve většině případů optimalizována tak, aby umožňovala dojezd soupravy na souvrať či k místu plnění zásobníků. Počítá se tedy s velikostí zásobníků osiva, rozmetadla, postřikovače, tak aby k jejich plnění mohlo docházet na hranicích plochy jedné plodiny na environmentálně-technických plochách (ETP). Tím je zajištěno snížení počtu nepracovních pojezdů po pozemku, sníženo zatížení a riziko zhutnění a vznik následných degradačních procesů půdy.

Na erozně ohrožených plochách musí být preferováno umístění environmentálně-technických ploch kolmo na odtokové linie v místech vypočtené maximální délky odtokové linie. Umístěním ETP do vhodně voleného místa svahu dojde k přerušení povrchového odtoku a zároveň k rozdělení pozemku.



Obr. 1-11. Příklady návrhu environmentálně-technických a produkčních ploch při optimalizaci (Brant a Kapička, 2022)

1.6.1.2 Delimitace kultur, protierozní umístění pěstovaných plodin, ochranné zatravnění a zalesnění

Delimitace kultur je prostorové a funkční využití pozemků a v rámci organizace zemědělského půdního fondu se jedná o ornou půdu, chmelnice, vinice, zahrady, ovocné sady, trvalé travní porosty (louky a pastviny). Pro účely evidence půdy LPIS jsou definovány jednotlivé druhy kultur spadající do 4 základních kategorií: orná půda (standardní orná půda, travní porost na orné půdě, úhor), trvalý travní porost, trvalá kultura (vinice, chmelnice, ovocný sad, školka, rychle rostoucí dřeviny, jiná trvalá kultura) a ostatní kultura (zalesněná půda, rybník, mimoprodukční plocha, jiná kultura). U delimitace kultur jde o umístění jednotlivých výše uvedených kultur v rámci organizace půdního fondu s respektováním přírodních i provozních podmínek jednotlivých krajinných území.
Na neohrožených nebo jen mírně erozně ohrožených plochách orné půdy je vhodné pěstovat plodiny s nízkou ochrannou funkcí (zejména širokořádkové, jako je kukuřice, brambory nebo cukrovka). Na orné půdě středně erozí ohrožené je nutné nedostatečný ochranný účinek těchto plodin řešit zavedením půdoochranných technologií (pokud mohou být vůbec do osevního postupu z pohledu protierozní ochrany zařazeny) nebo tyto plodiny střídat v pásech s plodinami dobře chránícími půdu.
Ochranné zatravnění se používá na pozemcích, které z důvodu ztrát půdy erozí nelze využívat jako ornou půdu. Trvalými travními porosty by měly být chráněny i plochy podél břehů vodních toků a nádrží, dráhy soustředěného odtoku, mělké půdy a profily průlehů a tělesa ochranných hrázek. Ochranné zatravnění zvyšuje drsnost povrchu, přispívá k ukládání půdních částic nesených povrchovým odtokem a ke zpomalení rychlosti povrchového odtoku, rovněž mohou plnit tyto travní porosty funkci sedimentačních a zasakovacích pásů umístěných přímo na půdních blocích nebo jejich dílech.
Ochranné zalesnění zajišťuje vysokou protierozní funkci a nejčastěji se uplatňuje jako plošné zalesnění nebo jako ochranné lesní pásy. Podmínky pro poskytnutí dotace na zalesňování zemědělské půdy jsou stanoveny nařízením vlády č. 63/2023 Sb. a rozpracovány v metodice č. 63/2023 k provádění tohoto nařízení vlády.
Na výběr plodin a kultur má značný vliv svažitost pozemků.

Orientační kritéria rozmístění plodin a kultur v krajině:

- do 5 % – plodiny s nízkou ochrannou funkcí, u delších svahů půdoochranné technologie,
- do 12 % – plodiny se střední ochrannou funkcí (obilniny, řepka), plodiny s nízkou ochrannou funkcí s půdoochrannými technologiemi,
- do 20 % – plodiny se střední ochrannou funkcí (obilniny, řepka), protierozní osevní postupy,
- nad 20 % – ochranné zatravnění,
- nad 30 % – ochranné zalesnění.

1.6.1.3 Pásové střídání plodin

Pásové střídání plodin (PSP) představuje účinné opatření proti vodní i větrné erozi, které je založeno na pravidelném střídání pásů plodin chráněných s nízkým protierozním účinkem a pásů plodin ochranných s vysokým protierozním účinkem zakládaných ve směru blízkému vrstevnicím. Pásy plodin s různým protierozním účinkem se musí střídat tak, aby voda z chráněného pásu byla zachycena na ochranném pásu a infiltrovala se do půdy. Maximální přípustné zastoupení chráněné, erozně nebezpečné plodiny by nemělo překročit 50 % výměry pozemku – dílu půdního bloku (DPB). Protierozní efekt tohoto systému pěstování plodin je v metodice zohledněn C faktorem (kombinace dvou plodin) a P faktorem. C faktor se vypočítá jako vážený průměr C faktoru na DPB. Hodnota faktoru P pro PSP se stanoví se zohledněním sklonu pozemku (viz Tab. 1-9). PSP, tak jak je definováno v této kapitole, nelze považovat za opatření sloužící k přerušení povrchového odtoku. Za přerušení délky svahu je možno považovat jen technické liniové protierozní opatření (příkop, průleh aj.) přerušující délku svahu nebo protierozní travní pás za předpokladu doložení výpočtu prokazujícího jeho účinnost.
Při návrhu tohoto systému hospodaření je vymezena a ze souřadnic realizována směrová trajektorie. Směrová trajektorie (vodicí pás), od níž se následně vymezují ostatní pásy, musí respektovat bezpečnost

práce a nesmí přesahovat stanovenou mez svahové dostupnosti jakékoli používané techniky pro realizaci PSP a agrotechnické operace spojené s tímto způsobem hospodaření.
V případě silně sklonitých pozemků s výraznou vertikální a horizontální členitostí je (po vyloučení výrazně členité a sklonité části pozemku nad 20 %) navrženo a realizováno podle potřeby více vodicích trajektorií, podle nichž se potom provádějí veškeré agrotechnické operace. Na takových pozemcích je navíc nutno PSP doplnit organizačními opatřeními (zařazením zatravněných pásů) a agrotechnickými protierozními opatřeními (setí do krycí plodiny, do mulče, strip-till aj.).
Šířka ochranného pásu se stanovuje na základě vyhodnocení erozních a odtokových poměrů řešené lokality se zohledněním druhu plodiny, úrovně protierozních opatření a parametrů používané zemědělské techniky. Navržená šířka musí umožnit, aby se na něm zachytila a do půdy infiltrovala voda přitékající z chráněného pásu a také voda ze srážky spadlé na vlastní ochranný pás.
Šířka chráněných a ochranných pásů dosahuje u obou pásů stejné hodnoty (z hlediska potřeby střídání plodin). Za ochranný se považuje pás o šířce od 20 do 42 m kultivovaný a setý ve směru blízkém vrstevnicím, na kterém bude zajištěna pokryvnost:

1. Souvislým porostem starším 45 dnů od zasetí,
2. strništěm,
3. souvislým porostem meziplodiny nebo
4. strništěm kultivovaným technologií strip-till.

Šířka pásů nesmí přesáhnout 42 m, resp. hodnotu, kdy výše erozního smyvu na chráněném pásu převyšuje limitní hodnoty.
Protierozní účinnost pásového střídání závisí na pěstovaných plodinách v ochranných a chráněných pásech. Jednotlivé plodiny se na ochranném a chráněném pásu vhodně doplňují, přičemž na erozně značně ohrožených plochách musí být použita další půdoochranná technologie.
Na lokalitách pásového střídání plodin jsou vždy vytvořeny i neprodukční zatravněné plochy, které mají značný význam pro ochranu půdy, zadržování vody, ochranu zastavěných území a posílení biodiverzity, ale slouží i pro pohyb techniky při obhospodařování produkčních ploch pásů. Tyto plochy jsou osety doporučenou skladbou trav a bylin a dosahují max. 30 % výměry řešeného produkčního bloku, představují plochy nevhodné pro PSP, manipulační souvratě na okrajích pozemku či manipulační plochy dělící nadměrně dlouhé pásy nebo dráhy soustředěného povrchového odtoku (DSO). Neprodukční prvek stabilizace údolnic (DSO) musí zemědělec založit vždy na místech, kde mu to bude ukládat podkladová vrstva LPIS. Jako neprodukční jsou myšleny také plochy se svažitostí nad 20 %.
Podrobný popis a základní parametry pro návrh a realizaci pásového střídání plodin jsou uvedeny v metodickém návodu (Dumbrovský, Šarapatka et al., 2023).

Obr. 1-12. Příklad realizace pásového střídání plodin na pozemcích společnosti Rostěnice,a.s.

1.6.1.4 Agrolesnické systémy

Agrolesnické systémy (zemědělsko-lesnické systémy) jsou definovány v rámci společné zemědělské politiky EU v nařízení 1305/2013 jako systémy hospodaření na půdě, v jejichž rámci je stejný pozemek zároveň využíván k pěstování stromů a k zemědělské produkci. Bližší informace o agrolesnických systémech (ALS) lze získat z odborných metodik (Lojka et al., 2020; Weger et al., 2022) a ze stránek Českého spolku pro agrolesnictví (https://agrolesnictvi.cz). Dle uvedených metodik lze mezi ALS zařadit silvoorebné systémy s pěstováním dřevin na orné půdě, silvopastevní systémy, v nichž jsou pěstovány dřeviny na trvalých travních porostech s chovem zvířat, agrolesnictví v trvalých kulturách (sadech), výmladkové plantáže rychle rostoucích dřevin (RRD) s chovem zvířat, liniové výsadby dřevin na okrajích půdních bloků a městské/vesnické agrolesnictví.

Obr. 1-13. Příklad realizace agrolesnického systému na stanici Michovka, VÚKOZ, v. v. i., Průhonice – stromy na orné půdě

V rámci Strategického plánu Společné zemědělské politiky 2023–2027 vznikl na podporu ALS dotační titul na založení ALS a na péči o založený ALS. Podmínky k udělení dotace, parametry založení ALS a jeho následnou péči stanovuje nařízení vlády č. 140/2023. Metodika k nařízení vlády a další podpůrné dokumenty pro realizaci ALS jsou k dispozici na stránkách MZe a SZIF (https://eagri.cz/public/portal/mze/dotace/szp-pro-obdobi-2021-2027/rozvoj-venkova/agrolesnictvi; https://www.szif.cz/cs/szp23-agroles). V podmínkách je uvedeno, že z hlediska stylu výsadby lze ALS dělit pouze na silvoorebný a na silvopastevní systém. Silvoorebný systém lze založit na orné půdě (R, dle LPIS) nebo na travním porostu (G, dle LPIS), dřeviny lze vysadit jen v liniích v počtu 100 ks na 1 hektar, linie stromů se nazývá ochranný pás dřevin (zatravněný), jehož šířka je 1–10 m a rozestup ochranných pásů dřevin je 10–100 m. Silvopastevní systém lze založit na trvalém travním porostu (T, dle LPIS), dřeviny mohou být vysazovány v liniích nebo roztrouseně v počtu 100 ks na 1 hektar. Další potřebné podmínky a parametry týkající se založení a péče o ALS (dřeviny, ochranný pás dřevin, administrace aj.) a jejich aktuální podobu je nutné zjistit v samotném nařízení vlády č. 140/2023 a v jeho metodice MZe.

Agrolesnické systémy sledují nejen stránku zvýšení produkce biomasy na jednotku plochy, ale i další přínosy související s ekosystémovými službami, kde s některými můžeme počítat v delším časovém horizontu.

Jedná se zejména o následující funkce:

- environmentální, kde kombinace zemědělského a lesnického systému přináší výhody pro půdu i biodiverzitu (příznivější prostředí pro organismy, omezování eroze, infiltrace vody do půdy, vyšší dodávka organické hmoty do půdy, ovlivňování mikroklimatu atd.),

– ekonomické, kdy je zachována nebo zvýšena celková produkce, tato je více diverzifikovaná, polní plodiny jsou lépe chráněny před nepříznivými klimatickými vlivy, prostředí je příznivější pro opylovače atd.,
– sociální a kulturní související s vyšší zaměstnaností, zlepšováním vztahů obyvatelstva k okolní krajině, s pozitivním obrazem zemědělství atd.

Agrolesnické systémy mohou mít při správném návrhu a respektování požadavků na ochranu půdy proti erozi pozitivní vliv na erozní a odtokové poměry, které se mohou projevovat nejen v rámci organizačních opatření souvisejících s protierozním rozmísťováním plodin a pásovým střídáním plodin, ale úzce souvisí i s agrotechnickými a biotechnickými opatřeními (vrstevnicové obdělávání, zasakovací pásy, stabilizace drah soustředěného odtoku atd.).

Protierozní efekt ALS je v metodice zohledněn C faktorem (silvoorebný systém: kombinace dvou plodin – orné půdy nebo travního porostu se zatravněným ochranným pásem dřevin; silvopastevní systém: pouze trvalý travní porost) a za určitých podmínek také P faktorem. C faktor v kombinaci s vrstevnicovým obděláváním a PSP se vypočítá jako vážený průměr C faktoru na DPB, v ostatních případech lze C faktor stanovit dle kapitoly 1.3.4 faktor ochranného vlivu vegetace C. Hodnotu faktoru P je možné snížit pouze za předpokladu, že ALS bude v kombinaci s vrstevnicovým obděláváním (viz Tab. 1-8) nebo v kombinaci s PSP (viz Tab. 1-9). ALS, tak jak je definován v této kapitole, nelze považovat za opatření sloužící k přerušení povrchového odtoku. Za přerušení délky svahu je možno považovat jen technické liniové protierozní opatření (příkop, průleh aj.) přerušující délku svahu nebo protierozní travní pás za předpokladu doložení výpočtu prokazujícího jeho účinnost.

1.6.1.5 Posílení biologické rozmanitosti v zemědělské krajině s využitím konceptu konektivity

Značné problémy v současné zemědělské krajině způsobuje nejen degradace půdy např. erozí, ale i ztráta biologické rozmanitosti organismů. Alarmujícím problémem je úbytek živočichů v zemědělské krajině, a to zejména bezobratlých. Klíčem k podpoře druhové rozmanitosti zemědělské krajiny je její heterogenita. V zemědělské krajině usilujeme o podporu biodiverzity prostřednictvím budování územních systémů ekologické stability (ÚSES). Tento systém může v krajině plnit vedle ekologické funkce i další doplňkové funkce, zejména funkci půdoochrannou a vodohospodářskou. V systému ÚSES pracujeme s biocentry, biokoridory a interakčními prvky podle schválených metodických podkladů (např. Maděra a Zímová, 2005; Bínová et al., 2017; Kovář et al., 2023). U návrhu opatření na posílení biodiverzity máme v současnosti metodiky pro plánování ÚSES, do budoucna se jako perspektivní jeví metodické přístupy na podporu konektivity mimoprodukčních stanovišť, tedy právě těch, na která se v agrární krajině tato rozmanitost váže. Pro naplnění této funkce je však nezbytné navrhovat mimoprodukční stanoviště s ohledem na funkční konektivitu krajiny, tj. s ohledem na potřeby jednoho nebo více cílových druhů (může se jednat o druhy indikační, deštníkové, ohrožené, podporující ekosystémové služby ap.). Vytvořením sítě zdrojových biotopů těchto druhů podpoříme konektivitu těchto prvků a tím také podpoříme rozšíření vybraných druhů. Metod pro výpočet funkční konektivity je více (např. McRae a Beier, 2007; Pierik et al., 2016). V současné době a se stávajícími metodickými nástroji je nutné se snažit implementovat prvky ÚSES zejména při plánování technických protierozních opatření tak, aby tyto mohly jak plnit v krajině protierozní funkci, tak zvýšit diverzitu v krajinném prostoru.

1.6.2 Opatření agrotechnického charakteru

Agrotechnická protierozní opatření jsou založena na minimalizaci období, kdy je půda bez vegetačního pokryvu, a na zvýšení drsnosti povrchu půdy. Jedná se o opatření, která chrání půdní povrch především v období největšího výskytu přívalových srážek (červen, červenec, srpen), kdy erozně nebezpečné plodiny (kukuřice, brambory, cukrová řepa, slunečnice, čirok apod.) svým vzrůstem nebo zapojením nedostatečně kryjí půdu. Z dlouhodobého hlediska agrotechnická opatření přispívají ke zvýšení retenčních vlastností půdy a zvyšují její odolnost vůči erozi.

Do agrotechnických protierozních opatření řadíme především tzv. ochranné obdělávání (Conservation Tillage). Tato technologie spočívá v uchování co největšího množství posklizňových zbytků po předplodinách na povrchu půdy vytvářením pokryvu mulčem a v nenarušování půdního profilu, aby se tento mohl vyvíjet přirozeným způsobem a nadměrným provzdušňováním nedocházelo k přílišné akceleraci mineralizace živin a tím ochuzování o humus, což má ve svém důsledku dopad na zhoršování fyzikálních vlastností půd, zejména její erodovatelnost. Ochranný vliv závisí na stupni pokrytí půdy mulčem, výšce a rovnoměrnosti mulče a na způsobu zpracování půdy (hloubce a způsobu rozrušení půdního profilu, počtu pojezdů mechanizace atp.).

1.6.1.2 Zakládání porostu do ochranné plodiny, meziplodiny nebo rostlinných zbytků

Při zakládání porostu do ochranné plodiny se po sklizni předplodiny půda většinou zpracovává pouze kypřením, bezprostředně poté následuje výsev meziplodiny. Na podzim nebo na jaře se provádí přímý výsev do meziplodiny speciálním secím strojem.

Obr. 1-14. Setí pšenice ozimé bezorebným secím strojem do rostlinných zbytků hořčice (foto: Labris)

Při setí do posklizňových zbytků předplodiny ponechaných na povrchu půdy se půda po sklizni nezpracovává. Na podzim nebo na jaře probíhá výsev plodiny do půdy přesným secím strojem pro přímé setí do nezpracované půdy. Tato technologie je bezorebná a vyžaduje likvidaci plevelů použitím herbicidů, není tedy vhodná pro ekologické zemědělství.

Při zakládání plodiny do mulče meziplodin se využívá nadzemní biomasa meziplodin, a to buď strniskových (umrtvené mrazem), anebo ozimých (umrtvené chemicky). Po sklizni předplodiny se provede hlubší

Obr. 1-15. Výsev bezorebným secím strojem do strniště předplodiny

podmítka, na kterou ihned navazuje setí strniskových meziplodin. Při použití ozimých meziplodin (termín zasetí do 15. září) se předseťová příprava půdy provede až před jejich setím. Během zimy vymrzající meziplodina (hořčice bílá, svazenka vratičolistá) odumře (případně je desikována) a na jaře se vysévá do půdy pokryté mulčem vzniklým z porostu vymrzlé meziplodiny. K likvidaci přezimujících plevelů a další nežádoucí vegetace je někdy nutné i po strniskových meziplodinách aplikovat neselektivní herbicid.

Obr. 1-16. Výsev kukuřice bezorebným secím strojem do uymrzající meziplodiny

1.6.2.2 Zakládání porostu do mělce zpracované půdy

Mělké zpracování půdy je zpracování horní vrstvy půdy do hloubky maximálně 20 cm, které se provádí hlavně po sklizni obilnin nebo dříve sklízených olejnin, které na rozdíl od podmítky zajišťuje vytvoření optimálních půdních vlastností pro následnou plodinu.

Cílem mělkého zpracování je nakypření horní vrstvy půdy, urovnání povrchu pozemku, zapravení posklizňových zbytků a potlačení vzešlých plevelných druhů. Intenzita zpracování půdy, hloubka zpracování, míra zaklopení posklizňových zbytků a jejich promísení s půdou, kvalita urovnání povrchu pozemku atd. jsou určeny především konstrukcí a principem práce použitých mechanizačních prostředků.
Po provedení mělkého zpracování půdy následuje předseťová příprava a setí nebo jsou tyto pracovní operace slučovány. V rámci minimalizace lze mělké zpracování půdy, předseťovou přípravu a setí provést v jedné pracovní operaci.

Obr. 1-17. Minimalizace zpracování půdy

1.6.2.3 Pásové zpracování půdy

Pásové zpracování půdy, také známé jako strip-till, kombinuje výhody plošného zpracování půdy a setí do nezpracované půdy (no-till). Strip-till je způsob zpracování půdy, při kterém se půda nezpracovává na celé ploše pole, ale pouze v úzkých pásech (15–20 cm). Mezi zpracovanými pásy zůstává 60 a více procent plochy nezpracované půdy, která je chráněna rostlinnými zbytky předplodiny. V závislosti na půdních podmínkách lze pásové zpracování půdy provést na podzim nebo na jaře. Na jaře je do zpracovaného pásu zaseta hlavní plodina. Během vzcházení plní protierozní ochranu nezpracovaná plocha spolu s rostlinnými zbytky.

Obr. 1-18. Porost cukrovky založený do strip-till

1.6.2.4 Zakládání porostu s pomocnou plodinou

Pomocné plodiny jsou obecně vnímány jako rostliny, které napomáhají dosažení pěstebních a ekologických cílů při pěstování hlavní plodiny. Mohou být rovněž s úspěchem využity pro tvorbu pokryvu/mulče na povrchu půdy, čímž přispívají k omezení erozních procesů, podpoře infiltrace a slouží jako zdroj organické hmoty.

Při zakládání pásových výsevů pomocných plodin je možné využít celoplošné kypření půdy pro základní zpracování půdy a podzimní výsev pomocných plodin. Hloubka kypření se odvíjí od stavu půdy, předplodiny a potřeby kypření půdy pro budoucí hlavní plodinu. Pomocné plodiny se pak zakládají buď konvenčním secím strojem, kde se před výsevem zaslepí semenovody secích botek v místech, kde bude následně zaseta hlavní plodina, nebo je možné je zakládat pásovým kypřičem či plečkou, kdy je osivo vyseto v budoucím meziřádku za pracovní nástroje kypřící půdu.

V rámci dosavadního vývoje technologických postupů s využitím pomocných plodin dochází k jejich uplatňování především v porostech obilnin, zejména pšenice ozimé, ozimé řepky, kukuřice seté a máku setého. Menší praktické zkušenosti jsou prozatím s využitím pomocných plodin v cukrové řepě, ve slunečnici (Brant et al., 2019) a pomocné plodiny jsou rovněž ověřovány v trvalých kulturách.

Obr. 1-19. Mák založený s pomocnou plodinou (stav porostu počátkem května)

1.6.2.5 Zakládání porostu s podsevem

Agrotechnické opatření, při kterém se provádí výsev vhodné směsky (meziplodiny) do krycí plodiny. Výsev je prováděn jak do jařin, tak do ozimů. Je možné ho provádět současně s výsevem krycí plodiny, nebo samostatně kolmo na řádky krycí plodiny.

Obr. 1-20. Porost ozimé řepky s podsevem

1.6.2.6 Vrstevnicové obdělávání

Orbou po vrstevnicích nebo s malým odklonem (do 30°) od vrstevnic otočnými pluhy, které překlápějí půdu proti svahu, je možné významným způsobem přispět k ochraně půdy před erozí. Překlápěním půdy proti svahu je navíc možno výrazně omezit tzv. „erozi orbou", která je u nás zatím podceňována. K protierozní ochraně také přispívá provádění dalších agrotechnických operací tímto způsobem (setí/sázení, ostatní kultivace a sklizňové práce). Vrstevnicové obdělávání je podmíněno možnostmi použití mechanizačních prostředků pro jejich práci na svahu.

Obr. 1-21. Setí/sázení po vrstevnici

1.6.2.7 Hrázkování, důlkování u brambor

Technologie hrázkování je použitelná při pěstování brambor a spočívá v založení ochranných hrázek v meziřadí hrůbků. Hrázkovačem se založí ve stejné vzdálenosti hrázky mezi hrůbky, čímž vznikne řada malých retenčních prostorů, které brání vzniku soustředěného povrchového odtoku a podporují zadržení vody přímo na pozemku.

Hrázkování lze provést následovně:

- provádí se buď při sázení upraveným sazečem, nebo bezprostředně po výsadbě brambor speciálním strojem – hrázkovačem,
- řádky musí být vedeny s mírným sklonem od vrstevnic,
- aby bylo opatření co nejúčinnější, max. nepřerušená délka pozemku po svahu (spádnici) by neměla přesáhnout 200 m.

Technologie důlkování je použitelná samostatně, nebo obdobně jako hrázkování. Jde o klasickou technologii pěstování s cílem vytvořit důlky v meziřadí ve vzdálenosti 30–40 cm. Důlky omezují povrchový odtok v meziřadí a zvyšují infiltraci vody. Zpravidla se uvažuje, že lze na 1 ha vytvořit 28 000 důlků o objemu 2 l, což představuje možnost zadržení 56 $m^3 \cdot ha^{-1}$.

Důlkování lze provést následovně:

- provádí se bezprostředně po výsadbě brambor speciálním strojem – důlkovačem, který je možno připojit za zahrnovací radlice sazeče a tělesa oborávače brambor,
- řádky musí být vedeny vrstevnicově,
- aby bylo opatření co nejúčinnější, max. nepřerušená délka pozemku po svahu (spádnici) by neměla přesáhnout 200 m.

Obr. 1-23. Vsakovací žlábek a důlky na pourchu hrůbku po simulaci 60 mm srážky

Modifikaci využívající přednosti obou zmiňovaných technologií pro pěstování brambor představují tzv. půdoochranné pakety. S jejich využitím se počítá především na mírně svažitých pozemcích. Princip zpracování hrůbku spočívá ve vymělčení a zúžení nekolejové brázdy v kombinaci s důlkováním a hrázkováním. Upravený tvar hrůbku významně zlepšuje zadržení srážkové vody, zpomaluje povrchový odtok a tím snižuje i riziko vzniku vodní eroze. Tato skutečnost zcela jednoznačně přispívá ke zlepšení vodního režimu uvnitř samotného hrůbku. Ten se zároveň odráží na lepší využitelnosti minerálních hnojiv, která při aplikaci do míst s vyšší vláhovou jistotou zvyšují prokořenění v hrůbku a urychlují příjem dodaných živin, čímž snižují riziko jejich ztrát vyplavením.

Obr. 1-24. Důlkování a hrázkování – protierozní paket

1.6.2.8 Pomocné plodiny u prostoru mezihrůbku při pěstování brambor

Výsev pomocné plodiny do porostu brambor je prováděn hned při sázení. Tento způsob založení je použitelný v technologiích využívajících záhonové odkameňování i v technologii klasické a za podmínky, že během vegetace se neprovádí kultivační zásahy pro regulaci plevele. Výhodou je rychlejší zakrytí půdy a omezení dalšího přejezdu po pozemku. Pro využití tohoto způsobu založení pomocné plodiny je nutné modifikovat sazeč brambor. Pomocnou plodinu vysetou během sázení je vhodné před zapojením porostu umrtvit, aby nedošlo k zaplevelení a konkurenci mezi bramborami a pomocnými plodinami.

Obr. 1-25. Pomocná plodina u prostoru mezihrůbku brambor

1.6.2.9 Ozelenění připravených hrůbků pro sázení brambor

Jedná se o technologii uplatňovanou například ve Spolkové republice Německo, kde jsou na lehčích půdách vytvořeny hrůbky, které jsou osety většinou vymrzající meziplodinou. Na jaře dochází k výsadbě do připravených hrůbků pokrytých rostlinnými zbytky. Sazeče je nutné osadit řezným diskem, který usnadňuje pronikání radlice vytvářející rýhu pro výsadbu brambor do půdy. Případně je vrchol hrůbků kypřen čelně umístěnými rotačními branami. Technologie je primárně vhodná do technologií bez odkameňování.

1.6.2.10 Podrývání, dlátování

Podrývání představuje technologii, která omezuje působení vodní eroze a zároveň snižuje stupeň zhutnění půd. Podrývání je v podstatě velmi hluboké kypření (min. do hloubky 35 cm). K podrývání je možné využít dlátové kypřiče (různého konstrukčního řešení), kombinované kypřiče nebo podrýváky, které umožňují prokypření půdy při minimálním narušení jejího povrchu. Podrývání představuje technologii, která zlepšuje infiltrační vlastnosti půdy, snižuje stupeň zhutnění a tím následně snižuje náchylnost půdy k vodní erozi. Pracovní hloubku kypřiče/podrýváku při podrývání lze stanovit právě podle hloubky zhutnění nebo vlhkosti zpracovávané půdy, vždy však musí být minimálně 35 cm. Při hlubším kypření je nutné zohlednit vlhkost půdy, která by měla být v době kypření drobivá (půdní masa se rozpadá při mírném tlaku). Hloubka podrývání by měla být minimálně o 5–10 cm větší, než je zemědělcem využívaná hloubka orby.

Obr. 1-26. Půdoochranná technologie podrývání

Dlátování (hloubkové kypření) je využitelné zejména u cukrové řepy, kdy pasivními dláty kultivujeme meziřadí rostlin a docilujeme vyššího efektu zasakování povrchové vody než u plečkování.

1.6.3 Technická protierozní opatření (TPEO)

Technická opatření se v povodí navrhují jako základní prvek komplexního systému protierozních opatření zejména na pozemcích, kde nepříznivé důsledky povrchového odtoku ohrožují zastavěnou část obce. Navrhují se vždy v systému s opatřeními agrotechnickými a organizačními, které zvyšují jejich účinnost. Optimálním návrhem prostorového rozmístění liniových záchytných prvků technických opatření dojde ke snížení hodnoty faktoru délky svahu L, poloha prvků tak vychází z výpočtu erozního ohrožení. Prvky jsou navrhovány tak, aby svou lokalizací (vedle funkce přerušení délky svahu a rozčlenění pozemků) usměrňovaly směr obdělávání pozemků a způsob hospodaření zemědělských subjektů. Vhodným rozčleněním svahu je možno do těmito prvky vymezených pásů situovat různé kultury, v důsledku čehož dojde nejen ke snížení hodnoty faktoru ochranného vlivu vegetace C, ale také ke zvýšení retenční schopnosti území, které se v hydrologickém výpočtu projevuje například snížením průměrné hodnoty čísla CN.
Vedle uvedených základních funkcí mají TPEO spolu s doprovodnou dřevinnou zelení význam i z hlediska krajinně estetického a ekologického. Systém liniových technických protierozních prvků v kombinaci se zelení může fungovat v krajině i jako významná součást územních systémů ekologické stability (ÚSES). Komplexní systém ochranných opatření v povodí se navrhuje a realizuje zpravidla v rámci procesu pozemkových úprav.

Mezi technická protierozní opatření je možno zahrnovat:

- protierozní průlehy,
- protierozní příkopy,
- protierozní meze,
- protierozní hrázky,
- terasování,
- polní cesty s protierozní funkcí,
- zatravněné údolnice se stabilizovanou dráhou soustředěného odtoku (SDSO),
- protierozní travní pásy.

1.6.3.1 Protierozní průlehy

Průleh je mělký, široký příkop s mírným sklonem svahů (max 1:4). Průlehy se navrhují jako záchytné a svodné. Záchytné mohou být buď vsakovací – s přísně nulovým podélným sklonem a dimenzované na objem odtoku z návrhové srážky, nebo odváděcí, které mají mírný podélný sklon a dimenzují se na kulminační průtok při návrhové srážce. Obecně se navrhují pro zachycení a neškodné odvedení vody i splavenin, zejména z intenzivních krátkodobě trvajících přívalových dešťů nebo náhlého tání sněhu. Používají se optimálně na pravidelných méně sklonitých svazích (do 15 %) s nižší vertikální a horizontální členitostí. S výjimkou zasakovacích variant jsou napojeny na systém svodných prvků a hydrografickou síť v povodí.
Základní výhodou průlehů oproti příkopům je jejich přejezdnost mechanizací díky mírným sklonům svahů. Vzdálenost průlehů od sebe, resp. od začátku pozemku se navrhuje s přihlédnutím ke kritické, resp. přípustné délce svahu.

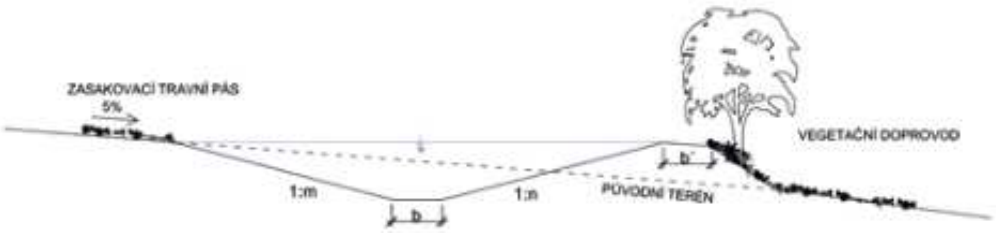
Průlehy je možné navrhovat jako:

A) Záchytné s funkcí:
   a) vsakovací – vhodné pro lehké a středně těžké půdy pro přerušení délky svahu;
   b) kombinované (vsakovací + odváděcí funkce) – na lehkých a středně těžkých půdách, pro přerušení délky svahu a ochranu zastavěného území, tato varianta předpokládá mírný podélný sklon nivelety průlehu a vložení přehrážek do průlehu, které vytvoří kaskádu vsakovacích zdrží;
   c) odváděcí – na těžkých půdách s minimálním vsakem, pro přerušení délky svahu a ochranu zastavěného území.

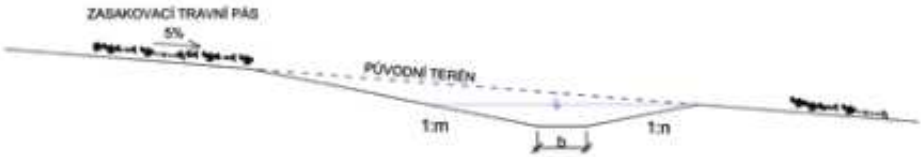
B) Svodné.

Uvedené varianty se doporučují doplnit doprovodnou hrázkou, zasakovacím travním pásem a vegetačním doprovodem.

Obr. 1-27. Záchytný průleh s funkcí odváděcí se zemní hrázkou a ozeleněním



Obr. 1-28. Vzorový řez – Záchytný průleh s funkcí odváděcí se zemní hrázkou, se zasakovacím travním pásem a vegetačním doprovodem



Obr. 1-29. Vzorový řez – Záchytný průleh s funkcí odváděcí bez zemní hrázky, se zasakovacím travním pásem

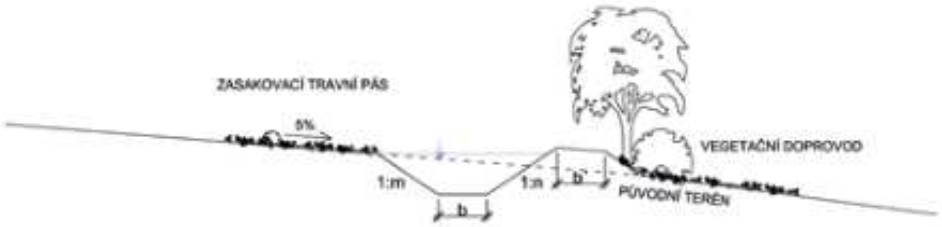
1.6.3.2 Protierozní příkopy

Protierozní příkopy se zpravidla navrhují při ochraně zastavěného území obce nebo pro přerušení povrchového odtoku na pozemku k zamezení soustředění odtoku. Příkopy se také navrhují jako záchytné kombinované (vsakovací + odváděcí funkce), případně při konturovém situování na lehkých a středních půdách mohou mít funkci zasakovací. Vzhledem k malému specifickému objemu je to ale spíše výjimkou, a pokud je prvek zasakovací, dává se přednost průlehu, který má větší retenční objem vzhledem k většímu příčnému profilu. S výjimkou zasakovacích variant jsou příkopy vždy napojeny na systém svodných prvků a hydrografickou síť v povodí.
Svodné příkopy jsou recipientem záchytných a sběrných prvků (příkopů, průlehů, hrázek a mezí). Navrhují se zejména jako svodné pro neškodné odvedení vody i splavenin do recipientu. Odvádí vodu z intenzivních krátkodobě trvajících přívalových dešťů nebo náhlého tání sněhu. Svodné příkopy jsou situovány zpravidla ve vyšším podélném sklonu, a proto jsou zpravidla zpevněny.
Svou funkcí je příkop velmi blízký protieroznímu průlehu. Hlavní odlišnost spočívá ve tvaru a hloubce příčného profilu. Ve srovnání s průlehem mívá větší hloubku a sklon svahů (1:1,5 až 1:2), na rozdíl od průlehů, kde svahy nepřekračují sklon 1:4. K přejezdu technikou je na příkopech nezbytné budovat přejezdy s propustky. Propustky je nutno dimenzovat na základě návrhových průtoků s využitím například podle metodiky Hydraulické posouzení propustků (Balvín et al., 2016).
Protierozní příkopy je možné navrhovat z hlediska jejich funkce jako:

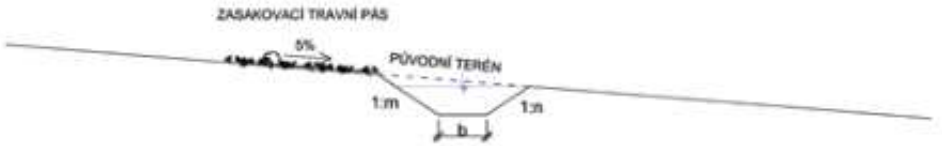
A. Záchytné s funkcí:
   a) vsakovací – vhodné pro lehké a středně těžké půdy pro přerušení délky svahu. Jedná se o výjimečné řešení, obvykle se dává přednost průlehům, které mají větší příčný profil, větší retenční prostor i plochu omočeného obvodu, která umožňuje infiltraci;
   b) kombinované (vsakovací + odváděcí funkce) – na lehkých a středně těžkých půdách, pro přerušení délky svahu a ochranu zastavěného území, v takovém případě je možno do příkopu vkládat přehrážky pro podporu retenční funkce;
   c) odváděcí – na těžkých půdách s minimálním vsakem, pro přerušení délky svahu a ochranu zastavěného území;
B. Svodné.

Uvedené varianty se doporučují doplnit doprovodnou hrázkou, zasakovacím travním pásem a vegetačním doprovodem.

Obr. 1-30. Záchytný příkop s funkcí odváděcí bez zemní hrázky, se zasakovacím travním pásem a vegetačním doprovodem



Obr. 1-31 Vzorový řez – Záchytný příkop s funkcí odváděcí se zemní hrázkou, se zasakovacím travním pásem a vegetačním doprovodem



Obr. 1-32. Vzorový řez – Záchytný příkop s funkcí odváděcí bez zemní hrázky, se zasakovacím travním pásem

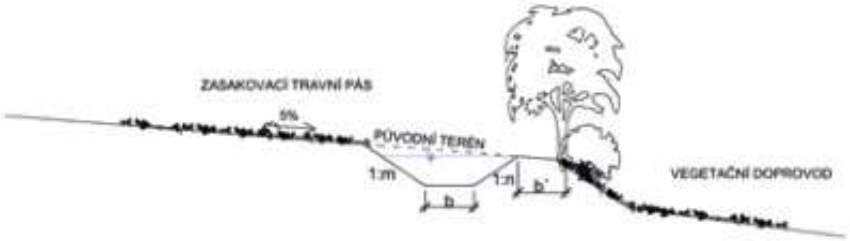
1.6.3.3 Protierozní meze

Protierozní meze jsou navrhovány jako trvalá překážka povrchového odtoku. Protierozní meze mohou být stávající historické, představující terénní stupeň, vytvořený dlouhodobým postupným naoráváním z horní a odoráváním z dolní strany, nebo postupným zanášením prostoru nad hrázkou sedimentem, nebo nově navrhované. Meze nově navrhované jsou pro zajištění max. účinnosti doplňovány několika dílčími funkčními prvky: sedimentačním či zasakovacím pásem nad mezí, vlastním tělesem meze a zasakovacím či odváděcím liniovým prvkem (příkop, průleh) nad nebo pod mezí.
Navrhují se tam, kde je zajištěn pro jejich konstrukci potřebný objem zeminy. V případě doprovodného liniového prvku je využita zemina získaná při jeho realizaci. Doprovodné liniové prvky (příkop, průleh) jsou dimenzovány podle potřeby na zvolený N-letý návrhový průtok (viz kap 1.6.3.14).

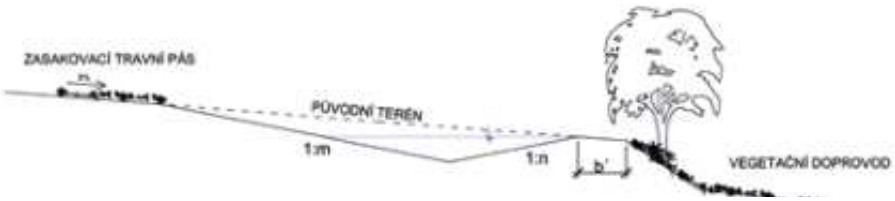
Meze je možné navrhovat z hlediska jejich funkce jako:

a) vsakovací – pro přerušení délky svahu – liniový prvek (průleh nebo příkop) nad nebo pod mezí – pro lehké a středně těžké půdy;
b) kombinované (vsakovací + odváděcí funkce) – pro ochranu zastavěného území a přerušení délky svahu – liniový prvek nad nebo pod mezí;
c) kombinované (sedimentační + odváděcí funkce) – pro přerušení délky svahu – se sedimentačním pásem a liniovým prvkem pod mezí;
d) odváděcí – pro ochranu zastavěného území a přerušení délky svahu – liniový prvek nad nebo pod mezí – pro těžké půdy s minimálním vsakem.

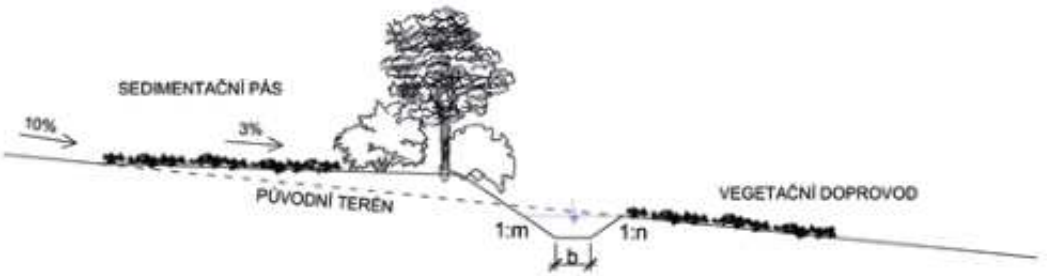
Obr. 1-33. Protierozní mez představující terénní stupeň



Obr. 1-34. Vzorový řez – Mez kombinovaná (vsakovací + odváděcí funkce) s liniovým prvkem (příkop) nad mezí, se zasakovacím travním pásem a s vegetačním doprovodem



Obr. 1-35. Vzorový řez – Mez kombinovaná (vsakovací + odváděcí funkce) s liniovým prvkem (průleh) nad mezí, se zasakovacím travním pásem a s vegetačním doprovodem



Obr. 1-36. Vzorový řez – Mez kombinovaná (sedimentační + odváděcí funkce) s liniovým prvkem (příkop) pod mezí, se zasakovacím travním pásem a s vegetačním doprovodem

1.6.3.4 Protierozní hrázky

Protierozní hrázky se navrhují na erozně ohrožených pozemcích, zejména tam, kde dochází k ohrožení zastavěného území povrchovým odtokem a souvisejícím transportem splavenin. Hrázky se budují převážně jako zemní, nejvýše 1 m až 1,5 m vysoké, opevněné zatravněním. Hrázky mohou být vybaveny vypouštěcím zařízením, které zajistí odtok vody. Navrhují se tam, kde je zajištěn pro jejich konstrukci potřebný objem zeminy. V případě doprovodného průlehu je využita zemina získaná při jeho realizaci.

Protierozní hrázky je možné navrhovat jako:

a) kombinované (záchytné vsakovací + odváděcí funkce) – na lehkých a středně těžkých půdách, pro přerušení délky svahu a ochranu zastavěného území;
b) odváděcí – na těžkých půdách s minimálním vsakem, pro přerušení délky svahu a ochranu zastavěného území;
c) záchytné vsakovací – vhodné pro lehké a středně těžké půdy pro přerušení délky svahu.

Těleso protierozní hrázky může být navrhováno v kombinaci s průlehy, zatravněným zasakovacím a sedimentačním pásem a s vegetačním doprovodem.

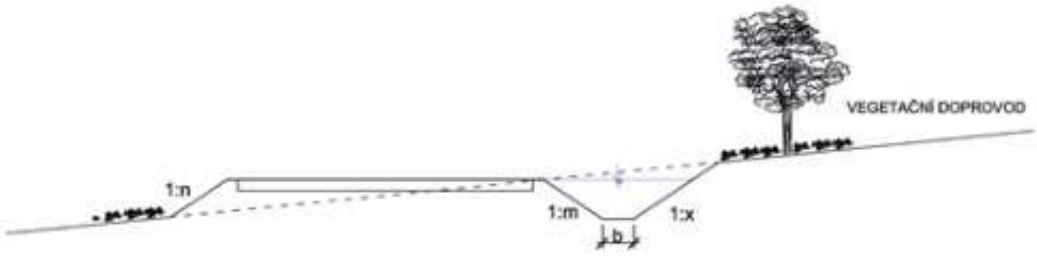
Obr. 1-37. Protierozní hrázka se záchytnou a usakovací funkcí

Obr. 1-38. Vzorový řez – Protierozní hrázka se záchytnou a usakovací funkcí se zasakovacím travním pásem a vegetačním doprovodem

1.6.3.5 Polní cesty s protierozní funkcí

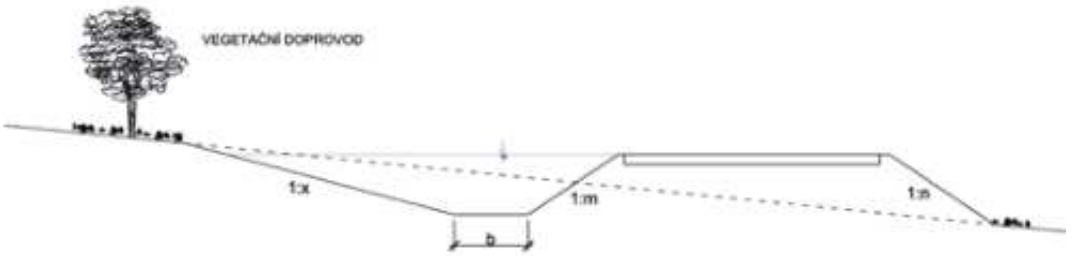
Protierozní funkci zde plní nekrytý odvodňovací prvek (příkop, průleh) navrhovaný zejména také k plnění funkce odvodnění konstrukčních vrstev vozovky. Parametry odvodňovacího prvku se stanoví dle ČSN 73 6109 Projektování polních cest. V případě situování napříč svahu může přerušovat délku svahu či zachytit povrchový odtok z jeho sběrné plochy. V tomto případě musí být dimenzován podobně jako ostatní technická protierozní opatření a zároveň splnit požadavky ČSN 73 6109.

Obr. 1-39. Polní cesta s protierozní funkcí s příkopem a s vegetačním doprovodem



Obr. 1-40. Vzorový řez – Polní cesta s protierozní funkcí s příkopem a s vegetačním doprovodem

Obr. 1-41. Polní cesta s protierozní funkcí s průlehem a doprovodným ozeleněním



Obr. 1-42. Vzorový řez – Polní cesta s protierozní funkcí – s průlehem, zasakovacím travním pásem a doprovodným ozeleněním

1.6.3.6 Terasování

Terasování je protierozní opatření na svahových pozemcích ke zmenšení jejich velkého sklonu terénními stupni, k rozdělení svahu na úseky, aby povrchový odtok nedosáhl nebezpečného erozního účinku, a ke zlepšení využití mechanizace. Terasování umožňuje využívat pozemky, které pro velký sklon a členitost by nebylo možno současnými formami zemědělské výroby jinak efektivně využívat.

Základní funkční rozdělení, varianty uspořádání v příčném profilu:
Terasy je možné z hlediska šířky terasové plošiny rozdělit na:

- Terasy úzké – jsou terasy, umožňující výsadbu 1 až 2 řad vinné révy nebo ovocných stromů a keřů.
- Terasy široké – jsou terasy, umožňující výsadbu nejméně tří řad vinné révy nebo ovocných stromů a keřů. Nejmenší šířka terasové plošiny širokých teras pro vinice je 8 m, při vzdálenosti řad 2 m a 12 m při vzdálenosti řad 3 m. Pro sady podle ovocného druhu a typu výsadby 10 m až 20 m a pro ornou půdu 20 m. Pro bližší specifikaci jsou terasy středně široké v šířce plošiny do 50 m a velmi široké nad 50 m.
- Plošné urovnávky – terasové dílce – jsou terasové útvary zpravidla neparalelní, kde délka není výrazně převládajícím rozměrem. Nejmenší šířka je 20 m. Pro stanovení dalšího charakteru terasového dílce je posuzován jeho větší rozměr jako délka terasy. Terasové dílce jsou podtypem teras širokých.

Terasy jsou tvořeny terasovou plošinou a terasovým svahem. Terasová plošina je produktivní plocha terasy, omezená svojí šířkou a délkou. V situaci je určena svým půdorysným průmětem. Její základní parametry jsou:

- Šířka terasové plošiny je vzdálenost mezi nejbližšími hranami svahů, měřena ve směru kolmém k podélné ose terasy.
- Délka terasové plošiny je rozměr ve směru řad výsadby, měřený v ose terasové plošiny a omezený příčně začátkem a koncem terasové plošiny.
- Převýšení terasové plošiny je rozdíl výškové kóty bodu vnější (násypové, vrcholové) hrany a vnitřní (zářezové, úpatní) hrany terasové plošiny.

Terasový svah je uměle vytvořený strmý svah mezi plošinami. Přináleží vždy k terasové plošině výše položené. Plocha je omezená jeho délkou a šířkou:

- Šířka terasového svahu v situaci je omezená nejbližšími hranami plošin, je měřená ve směru kolmém k podélnému směru terasy. Jde o půdorysný průmět skutečné šířky.
- Délka terasového svahu je rozměr ve směru řad výsadby, měřený v zářezové (úpatní) hraně a omezený příčně začátkem a koncem hrany terasového svahu v jeho úpatí (patě).
- Výška terasového svahu je svislá vzdálenost průsečnic jednoho svahu s plošinami (rozdíl kót v patě a vrcholu svahu v tomtéž příčném řezu terasou).

1.6.3.7 Zatravněné údolnice se stabilizovanou dráhou soustředěného odtoku (SDSO)

Přirozené dráhy soustředěného odtoku zpevněné travním porostem jsou schopny bezpečně (bez projevů eroze) odvést soustředěný povrchový odtok. K němu dochází v důsledku morfologické heterogenity krajiny, zejména na horizontálně i vertikálně členitých pozemcích v údolnicích, kdy soustředěně po povrchu odtékající voda v těchto místech zpravidla způsobuje erozní rýhy. Je proto nezbytné tyto potenciální dráhy soustředěného odtoku stabilizovat tak, aby jejich příčný profil umožnil neškodné odvedení soustředěného odtoku vznikajícího v době přívalových dešťů nebo jarního tání. Vedle snížení hodnot erozních smyvů a minimalizace formování efemerních strží, zatravněním stabilizovaná dráha soustředěného odtoku umožní i zachycení živin a agrochemikálií. Složení travního porostu pro SDSO je uvedeno v metodice (Dumbrovský et al., 2023).
Kapacita přírodních parabolických profilů je většinou adekvátní k odvedení soustředěného povrchového odtoku a je třeba pouze definovat rozsah zatravnění. Nejvhodnější ochranou těchto exponovaných míst je zatravnění.

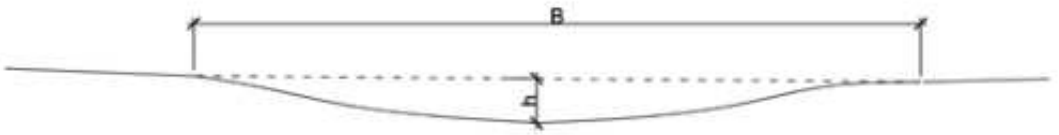
SDSO je možné navrhovat jako:

a) Stabilizační, vsakovací – chrání DSO před projevy dopady soustředěného a zamezují vzniku eroze a efemerních rýh, na lehkých a středně těžkých půdách se uplatní vsakovací funkce.
b) Kombinované – vedle ochranné funkce plní funkci svodného prvku, mohou být do nich zaústěny záchytné průlehy, protierozní meze a hrázky.
c) Stabilizační a manipulační – vedle základní stabilizační a ochranné funkce plní funkci manipulační v případě navazujícího pásového střídání plodin.

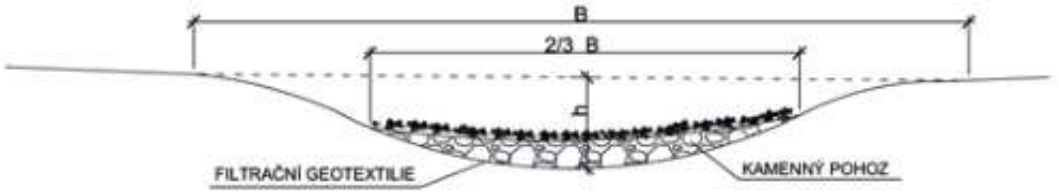
Varianty SDSO:

a) stabilizované zatravněním,
b) stabilizované zatravněním doplněným jiným typem opevnění (např. kamenný zához),
c) stabilizované zatravněním s doplněním zemními či kamennými hrázkami.

Obr. 1-43. Stabilizovaná dráha soustředěného odtoku u k. ú. Starovice



Obr. 1-44. Vzorový řez – Parabolický profil stabilizované dráhy soustředěného odtoku



Obr. 1-45. Vzorový řez – parabolický profil stabilizované dráhy soustředěného odtoku se dnem zpevněným kamenným pohozem

1.6.3.8 Protierozní travní pásy

Protierozní travní pás je vrstevnicově orientovaný pás trávy v bloku orné půdy, jehož parametry jsou definovány výpočtem a jehož primární funkcí je ochrana zemědělské půdy před erozí (nikoliv intravilánu). Výzkumem protierozních travních pásů se v minulosti zabývala celá řada autorů (Dýrová, 1988; Holý, 1994; Kasprzak, 1989; Hejduk, 2011). V posledních letech se jejich vlivem a implementací do krajiny zabývají práce autorů Doležal et al. (2016), Karásek et al. (2021, 2022) aj.

Protierozní travní pás musí zachytit a do půdy vsáknout veškerou vodu, která na něj v průběhu deště spadne a zároveň přiteče ze svahu nad travním pásem. Toto opatření se navrhuje a dimenzuje na návrhové srážky s nižší dobou opakování (N = 10 let), neboť chrání zemědělskou půdu (nikoliv intravilán, infrastrukturu aj.). Protierozní travní pás můžeme považovat za technické protierozní opatření (viz. normu ČSN 75 4500 – Protierozní ochrana), které přerušuje délku svahu. Nezbytné je však splnění následujících kritérií:

– protierozní travní pás (jeho šířka po spádnici) je dimenzován výpočtem (výpočet je doložen),
– protierozní travní pás je veden vrstevnicově, příp. s minimálním odklonem od vrstevnic,
– protierozní travní pás je určen k ochraně zemědělské půdy před erozí, nikoliv k ochraně intravilánu,
– nachází-li se v ploše protierozního travního pásu dráha soustředěného odtoku (DSO), musí být dostatečně stabilizována (minimálně zatravněním) v celé délce nad i pod travním pásem,
– návrh protierozního travního pásu je doporučen zejména na půdách s vyšší infiltrační schopností (hydrologické skupiny půd A, B).

Obr. 1-46. Ukázka protierozního travního pásu v k. ú. Starovice

Za účelem návrhu a dimenzování je možno využít webovou aplikaci na geoportálu VÚMOP, v. v. i., s názvem „Návrh protierozních travních pásů v zemědělské krajině". Tato aplikace je dostupná na adrese https://protieroznipasy.vumop.cz/.

Pro určení polohy protierozního travního pásu doporučujeme využít limitní délku svahu dle tečného napětí nebo kritické rychlosti. Ty jsou stanoveny na základě nevymílajícího tangenciálního napětí vody, které se porovnává s měrnou tíhou vody. Tyto hodnoty je možné získat pomocí fyzikálně založených modelů (např. SMODERP) nebo pomocí vztahu pro výpočet přípustné délky svahu dle rovnice (Dýrová, 1988):

$$\varphi_\tau = \frac{100 \cdot \tau_n^{\frac{5}{3}}}{\gamma_u^{\frac{5}{3}} \cdot n_3 \cdot CN \cdot i \cdot J^{\frac{7}{6}}}$$

Kde:

φ_τ	*přípustná délka svahu (m),*
τ_n	*nevymílající tečné napětí vody pro danou půdu (Pa),*
γ_u	*měrná tíha vody (N.m^{-3}),*
n_3	*dílčí odtokový součinitel,*
CN	*hodnota CN křivky,*
i	*náhradní intenzita deště (m.s^{-1}),*
n	*relativní drsnost povrchu,*
J	*sklon území (%).*

Vzhledem k dostupnosti dat, univerzálnosti a použitelnosti v rámci celé ČR pro dimenzování šířky protierozních travních pásů doporučujeme metodu popsanou v práci Holý (1994). Tato metoda je následně doporučena i v dalších certifikovaných metodikách a vědeckých pracích (např. Doležal et al., 2016; Karásek et al., 2021 a 2022 aj.), případně je dále rozpracována a implementována v aplikaci https://protieroznipasy.vumop.cz/.

Pro určení šířky protierozního travního pásu doporučujeme využít rovnici (Holý, 1994):

$$D = \frac{\varphi_L \cdot i_S \cdot L}{(i_u - i_S)}$$

Kde:

i_s *intenzita srážky (m.s^{-1}),*
L *délka nechráněného svahu (m),*
D *šířka protierozního travního pásu (m),*
i_u *intenzita usaku (m.s^{-1}),*
φ_L *objemový odtokový součinitel, počítaný jako součin $n_3 \cdot n_4$*
n_3 *součinitel vyjadřující sklonitost území,*
n_4 *součinitel vyjadřující propustnost půdy.*

Tab. 1-11. Součinitel n_3 – sklonitost území pro dimenzování PTP (Holý, 1994)

J (%)	5	10	20	30
n_3	0,4	0,57	0,8	1

Tab. 1-12. Součinitel n_4 – propustnost půdy pro dimenzování PTP (Holý, 1994)

Propustnost půdy (resp. hydrologická skupina půd dle BPEJ)	**n_4**
A – Velmi propustná (pískovce vnějšího flyše, hnědé půdy, zadrnované písky a štěrky, černozem s pískem).	0,45
B – Propustná (písky, písčité slínovce, vápenité černozemě, hnědé hlinitopísčité půdy).	0,65
C – Méně propustná (písky, písčité větrající horniny, váté písky, šedé lesní půdy, hlinité půdy šedé).	0,80
D – Nepropustná (rašeliny, slatiny, horské louky, horniny, krystalické jíly a spraše, zabahněná půdy a močály).	0,95

1.6.3.9 Technické parametry navrhování TPEO

Technické parametry průtočného profilu a potřeby opevnění liniových TPEO se stanoví vždy na základě dimenzování zejména v závislosti na charakteristikách návrhového průtoku a objemu odtoku při respektování požadavků inženýrsko-geologického průzkumu.

1.6.3.10 Zásady prostorové lokalizace TPEO (příkop, průleh, hrázka, mez, SDSO)

Rozhodující pro návrh prostorové lokalizace TPEO je:

Ochrana zastavěného území:

– hydrologické a morfologické poměry, možnost zaústění do recipientu.

Protierozní ochrana půdy mimo plochy ohrožující zastavěné území:

– snížení erozního ohrožení přerušením délky svahu, morfologické a hydrologické poměry, možnost zaústění do recipientu. Dráha soustředěného povrchového odtoku (SDSO) určená ke stabilizaci se vymezí na základě digitálního modelu terénu, a to vždy s korekcí po jarním tání sněhu či po srážce vyšší intenzity.

1.6.3.11 Účinnost TPEO (erozní poměry, odtokové poměry)

1) Z hlediska erozního smyvu
   Optimálním návrhem prostorového rozmístění liniových technických protierozních opatření, které se navrhují v systému s organizačními a agrotechnickými opatřeními, dojde ke snížení hodnoty faktoru délky svahu L. Účinnost záchytných prvků vedených konturově či s malým sklonem (1–3 %), vedle funkce přerušení délky svahu a rozčlenění pozemků, spočívá zejména v ovlivnění směru obdělávání (blízko konturovému) s možností snížení faktoru P. Vhodným rozčleněním svahu je také možno do těmito prvky vymezených pozemků situovat různé plodiny a dosáhnout snížení hodnoty faktoru ochranného vlivu vegetace C. Po realizaci SDSO dojde ke snížení erozního smyvu prostřednictvím omezení vzniku soustředěného povrchového odtoku a efemerních rýh.

2) Z hlediska optimalizace charakteristik přímého odtoku
   V případě návrhu a realizace záchytných liniových prvků TPEO změnou směru obdělávání (blízko konturovému) a vlivem rozčlenění svahu umožňujícího situovat a střídat plodiny s různou ochrannou funkcí s plodinami s vysokou ochrannou funkcí dojde ke snížení hodnoty čísla CN.

1.6.3.12 Výpočet základních parametrů průtočného profilu a potřeby opevnění TPEO

Liniová technická opatření TPEO je nutno dimenzovat na základě základních hydraulických rovnic. Výpočet základních charakteristik přímého odtoku vychází z hydrologického modelování. Data pro návrh prvků TPEO mimo hydrografickou síť je možné získat pomocí hydrologického modelování. Jako základní metodu je možno použít metodu SCS-CN. V případě dimenzování prvků TPEO s plošně rozsáhlejší sběrnou plochou pro ochranu zastavěného území se doporučuje použití fyzikálně založeného epizodního simulačního modelu.

Liniová technická protierozní opatření (průlehy a příkopy) je třeba navrhovat na základě návrhových N-letých průtoků s využitím základních hydraulických vztahů. Při navrhování příčného profilu a sklonu je nutno zajistit neškodné odvedení návrhových kulminačních průtoků s pravděpodobností výskytu N = 10 let nebo individuálně podle stupně ochrany zájmového území (viz tab. 1-14).

Liniová TPEO se dimenzují na kulminační průtok odtoku ze srážky příslušné doby opakování pomocí Chézyho rovnice ve tvaru:

$$Q = S \cdot \frac{1}{n} \cdot R^{\frac{2}{3}} \cdot I^{\frac{1}{2}} \qquad (m^3 \cdot s^{-1})$$

Kde:

Q	*průtok* ($m^3 \cdot s^{-1}$),
S	*průtočná plocha* (m^2),
R	*hydraulický poloměr (m),* $R = \frac{S}{O}$
O	*omočený obvod (m),*
n	*Manningův součinitel drsnosti (–),*
I	*sklon dna příkopu (–).*

Při dimenzování liniových technických prvků počítáme pro daný kulminační průtok Q při daném sklonu nivelety koryta a navržených drsnostních poměrech n šířku v koruně B a hloubku průtočného profilu h při známém tvaru (nepravidelný lichoběžník, pravidelný lichoběžník) o navrženém sklonu svahů 1 : m. Podle těchto předpokladů stanovíme dle konkrétní situace maximální možné hodnoty h, příp. *v* a vypočítáme potřebnou plochu průtočného profilu F:

$$S = \frac{Q}{v} \qquad (m^2)$$

Následně, na základě příslušného vztahu pro plochu lichoběžníka, příp. trojúhelníka, vypočteme potřebné parametry průtočného profilu a na jejich základě posoudíme průtočnost stanoveného profilu, např. u lichoběžníku platí pro šířku koryta ve dně b, průtočnou plochu F a omočený obvod *O* vztahy:

$$F = h \cdot (b + m \cdot h) \qquad (m^2)$$

$$b = \frac{F - h^2 \cdot m}{h} \qquad (m)$$

$$O = b + 2 \cdot h \cdot \sqrt{1 + m^2} \qquad (m)$$

Doporučený postup

1. Pro daný zvolený profil se provede výpočet hydraulického poloměru:

$$R = \frac{S}{O} \qquad (m)$$

2. Na základě R a Manningova drsnostního koeficientu pro navržený stav koryta se stanoví rychlostní koeficient C podle Manningova vztahu:

$$C = \frac{1}{n} \cdot R^{\frac{1}{6}} \qquad (m^{0,5} \cdot s^{-1})$$

3. Dosadí se do Chézyho rovnice a vypočítá se střední profilová rychlost pro navržený průtočný profil.

$$v = C \cdot \sqrt{R \cdot I} \qquad (m \cdot s^{-1})$$

4. Vypočítá se průtok.

$$Q_v = F \cdot v \qquad (m^3 \cdot s^{-1})$$

5. Porovná se, zda $Q_v = Q$.

6. Nevyhovuje-li vypočtené průtokové množství Q_v požadavku stanoveného kulminačního průtoku Q, je nutno výpočet opakovat po úpravě příslušné hodnoty h či jiných parametrů průtočného profilu.

7. Vyhovuje-li $Q_v = Q$, posoudí se střední profilová rychlost pro navržený způsob opevnění koryta.

8. Nevyhovuje-li, změní se úpravou trasy podélný sklon nivelety koryta a případně některý z parametrů průtočného profilu koryta (b, 1 : m, h).

9. Pro stanovené návrhové parametry (b, h, m) se vypracují příčné řezy.

Dimenzování vsakovacího průlehu a příkopu

Vsakovací průlehy a příkopy je nutno dimenzovat na objem odtoku vody z návrhové srážky. Vzhledem k rychlosti procesu odtoku vody z přívalové srážky se při stanovení přítoku vody nepočítá s infiltrací vody do půdního profilu ani s výparem z vodní hladiny.

Dimenzování vsakovacího příkopu vychází z geometrie příkopu:

$$V = (b \cdot h + m \cdot h^2) \cdot 1{,}0\ m \qquad (m^3)$$

Kde:

V *objem příkopu na 1,0 bm délky (m^3),*

b *šířka dna příkopu (m),*

h *hloubka dna příkopu pod úrouní terénu (m),*

m *sklon svahů (–).*

Určení druhu opevnění liniových technických prvků PEO

Stabilizace dna a svahů průlehů a příkopů se provádí na základě výpočtu tečného napětí. Orientačně se dá možnost vegetačního opevnění průlehů a příkopů použít při rychlostech do 1,5 $m \cdot s^{-1}$, krátkodobě je možno toto opevnění zatížit rychlostí až 2 $m \cdot s^{-1}$.

Pro opevnění protierozních průlehů a příkopů je možno použít zatravnění, kamenný zához, polovegetační tvárnice, tvárnice betonové meliorační aj. Vedle opevnění dna a svahů příkopů je nutno stabilizovat dno příkopu po určitých vzdálenostech stabilizačními prahy. Tyto stabilizační prahy se navrhují buď betonové, nebo z lomového kamene do betonu, šířka prahů ve směru toku 0,4 m, hloubka pod úroveň dna 0,6 m. Vsakovací příkopy jsou zpevněny vegetačně zatravněním.

Určení druhu opevnění dle výpočtu hodnot tečného napětí vychází v prvním kroku z rovnice pro střední tečné napětí:

$$E = 9806 \cdot R \cdot I \qquad (Pa)$$

Kde:

E *střední tečné napětí (Pa),*

I *sklon nivelety v absolutní hodnotě (–),*

R *hydraulický poloměr (m).*

$$E_{max} = 1{,}2 \cdot E \qquad (Pa)$$

Kde:

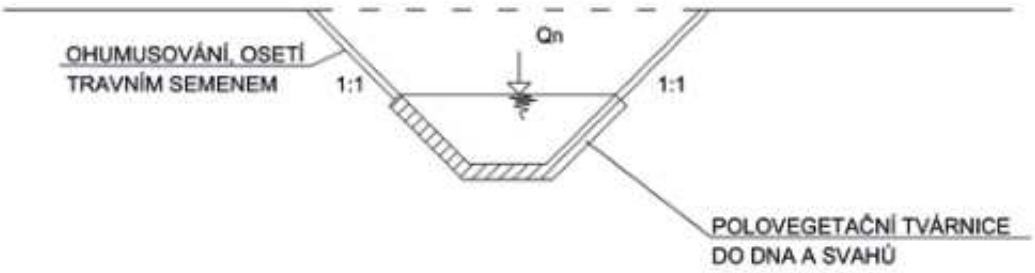
E_{max} *krajní tečné napětí (Pa).*

Vhodný materiál lze pak vybrat pomocí následující tabulky.

Tab. 1-13. Hodnoty krajních tangenciálních napětí

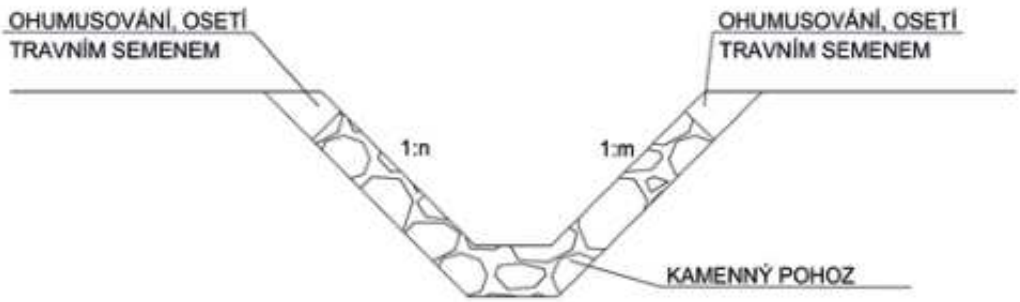
Typ opevnění	Tečné napětí
Travnatý drn nekosený	70
Travnatý drn kosený	80
Travnatý koberec	90
Plůtek z tyčoviny	150
Štěrk de 0,10 m	100
Štěrk de 0,13 m	120
Štěrk de 0,15 m	130
Štěrk de 0,18 m	150
Tvárnice Klas	160
Desky 30 x 60 x 10	150
Tvárnice TBM	200
Polovegetační tvárnice IZT – neověřené	200
Fólie PVC	90

Obr. 1-47. Zpevnění svodného příkopu - polovegetační tvárnice



Obr. 1-48. Vzorový řez – Zpevnění svodného příkopu polovegetačními tvárnicemi

Obr. 1-49. Zpevnění svodného příkopu - kamenný pohoz, drátokamenné přehrážky



Obr. 1-50. Vzorový řez – Zpevnění svodného příkopu – kamenný pohoz

Návrh základních parametrů liniových technických protierozních opatření (SDSO)

SDSO je nutno dimenzovat na základě základních hydraulických rovnic pro průtok. Pro výpočet základních charakteristik přímého odtoku je možno použít metodu SCS-CN. V případě dimenzování SDSO s plošně rozsáhlejší sběrnou plochou pro ochranu zastavěného území se doporučuje použití fyzikálně založeného epizodního simulačního modelu. Určení druhu opevnění dle výpočtu hodnot tečného napětí. Potřebná šířka zatravnění údolnice B (m) se stanoví na základě znalosti střední profilové rychlosti vody v ($m \cdot s^{-1}$), návrhového kulminačního průtoku Qm ($m^3 \cdot s^{-1}$), podélného sklonu údolnice (%) a hloubky vody ve středu údolnice (m). V některých případech však může být přirozený příčný profil nedostatečný a je nutné jej upravit. Při navrhování tvaru příčného profilu musí být brán v úvahu především požadavek funkčnosti. Velmi dobře lze zobecnit optimální příčný profil parabolou s malou hloubkou. Je to nejběžnější tvar nejvíce odpovídající přírodně vymodelovaným vodním cestám.

K návrhu odpovídajících parametrů zatravněných údolnic potřebujeme znát hydrologické podklady a hydraulické parametry, na jejichž základě navrhneme parametry průtočné plochy příčného profilu,

$$S = \frac{2}{3} \cdot B \cdot H \qquad (m^2)$$

jakož i potřebu opevnění.

$$B = 1{,}5 \cdot \frac{S}{H} \qquad (m)$$

Kde:

S	*průtočná plocha parabolického profilu zatravněné údolnice,*
B	*šířka profilu zatravněné údolnice při hloubce H,*
b	*šířka profilu zatravněné údolnice ve dně při hloubce H = 0,*
H	*hloubka profilu zatravněné údolnice.*

Při zakládání travních porostů na DSO je třeba vycházet z posouzení vzájemných vztahů stanovištních podmínek, složení porostu a specifičnosti jeho funkce. Travní porost, který je pěstován a udržován v prostoru údolnice, je nejdůležitější částí tohoto protierozního opatření. V druhovém složení jsou preferovány trávy výběžkaté, tvořící pevný drn (doporučené travní směsi pro různé podmínky viz. metodikua Dumbrovský et al., 2023).

Při realizaci zatravnění se doporučuje postupovat v krocích patrných z Obr. 1-51. Dvě třetiny navržené šířky se osejí v podélném směru podél vnějších stran navrženého rozsahu zatravnění (viz krok a), následně se třetina šířky podél osy vysévá napříč (viz kroky b a c.).

Obr. 1-51. Doporučený postup osetí DSO

Při realizaci zatravněných drah soustředěného odtoku je nutno pečlivě zajistit napojení navazujících částí pozemku (sběrných ploch) a vyvarovat se vytvoření brázdy či vyjetých kolejí podél zatravněné údolnice.

Obr. 1-52. Příklad paralelních rýh podél zatrauněné dráhy soustředěného odtoku

1.6.3.13 Možné střety při návrhu TPEO – inženýrské sítě, odvodnění

Je třeba vždy požádat o vyjádření vlastníky a správce inženýrských sítí a respektovat jejich požadavky. V případě střetu se systémem odvodnění je nutno navrhnout opatření k zachování jeho funkčnosti.

1.6.3.14 Doporučení zabezpečenosti pro dimenzování základních typů TPEO

Doporučená doba opakování hydrologických charakteristik pro posuzování a návrh technických prvků protierozní ochrany vychází z ČSN 75 4500 – Protierozní ochrana zemědělské půdy. Při návrhu TPEO je vždy nutné posoudit, co konkrétně daný prvek TPEO chrání. Od toho se odvíjí způsob jeho návrhu a dimenzování.

Tab. 1-14. Doporučená doba opakování hydrologických charakteristik pro posuzování a návrh technických pruků protierozní ochrany dle ČSN 75 4500 – Protierozní ochrana zemědělské půdy

Předmět ochrany	Doba opakování (roky)
Louky a pastviny	2–5
Orná půda	5–10
Sady, vinice, chmelnice	10–20
Kanály, příkopy a průlehy na terasách	20–100
Další zdůvodněné případy (méně důležité objekty, stavby apod.)	10–20
Intravilán, stavby	50
Důležitá sídla a průmyslové celky	100
Vodárenské toky a nádrže	50–100
Význačné přírodní útvary	20–100

2 Eroze táním sněhu

Výskyt sněhové pokrývky v ČR je místně i časově velmi proměnlivý. Erozí táním sněhu mohou být postihovány jak horské a podhorské oblasti s větším zorněním, kde hrozí erozní události zejména v předjarním a jarním období, tak morfologicky členitá území v nižších nadmořských výškách, kde může vlivem periodického roztávání sněhové pokrývky v průběhu zimy vlivem kolísání teplot docházet k opakovaným erozním událostem. V odůvodněných případech, kdy je například potřeba odhadnout roční odnos látek nesených erozním smyvem do recipientů, je vhodné vyhodnotit i procesy eroze z tání sněhu a při návrhu protierozních opatření zohlednit i rizika eroze táním sněhu.

2.1 Teoretické minimum k erozi z tání sněhu

Na vznik a průběh eroze v zimním období má velký vliv stav půdního povrchu, teplota a vlhkost půdy. Hlavním rysem eroze způsobené táním sněhu je promrzání půdy v zimním období, při kterém dochází k vyloučení vody z půdy, jež vytváří okolo půdních hrudek ledové krystalky. Tyto krystalky rozrušují půdní agregáty tak, že vznikají jemné částice, které jsou při tání sněhu uvolněny a odnášeny. Roztátá svrchní vrstva půdy je náchylná k eroznímu poškození. Dalším účinkem zamrzání půdy je zvýšení erodibility půdy v jarních měsících, kdy je značně snížena možnost infiltrace vody do spodních vrstev. V tomto období dochází k poměrně silné erozi v povrchové vrstvě i přesto, že je množství tajícího sněhu malé. Erozní proces v období tání sněhu je nadále urychlován s příchodem vyšších teplot doprovázených dešťovými srážkami.

2.2 Stanovení intenzity eroze z tání sněhu

Intenzita eroze způsobená táním sněhu je určena rychlostí tání sněhu, množstvím tající vody, propustností půdy, rozpadem půdních agregátů mrazem a obsahem vlhkosti v půdě. Rychlost tání je obvykle značně menší než intenzita deště, která je běžně zaznamenávána během 24 hodin. Půda bývá v zimě zmrzlá a voda v povrchové vrstvě zamrzlá, čímž se rychlost infiltrace snižuje. V důsledku toho značná část tající vody odteče pryč, a tak je odtokový koeficient z tání sněhu na zamrzlé půdě obvykle vyšší než u vody srážkové.
Intenzita eroze z tání sněhu podle Zachara (1982) vychází z univerzální rovnice pro výpočet dlouhodobé ztráty půdy z pozemků dle vztahu Wischmeiera a Smitha (1978), ve které je faktor R nahrazen faktorem rychlosti tání sněhu a množstvím vody vzniklé táním sněhu během dvacetidenního období. Tyto dvě charakteristiky je možno souhrnně označit jako erozní potenciál vody akumulované ve sněhové pokrývce.

Empirický vzorec pro výpočet eroze z tání sněhu:

$$Es = m \cdot h \cdot k \cdot LS \cdot C \cdot P \cdot K$$

Kde:

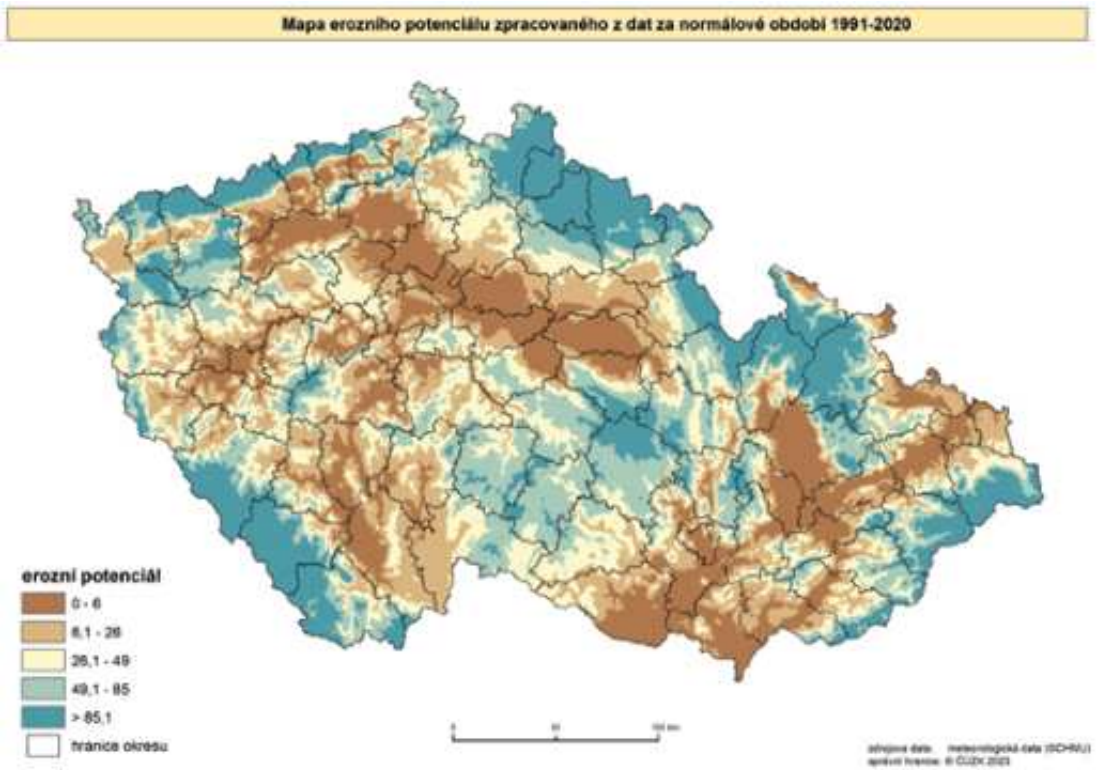
Es	*intenzita eroze ($t \cdot ha^{-1} \cdot rok^{-1}$),*
m	*rychlost tání sněhu ($mm \cdot den^{-1}$),*
h	*množství vody vzniklé táním sněhu během dvacetidenního období (cm),*
k	*faktor odtoku vody násobený číslem 1,5 až 3 (dle stavu promrznutí půdy),*
LS	*topografický faktor (-),*
C	*faktor ochranného vlivu vegetace v období erozně nebezpečného tání sněhu (-),*
P	*faktor protierozních opatření (-),*
K	*faktor erodovatelnosti půdy (-).*

2.3 Rajonizace oblastí ohrožených erozí z tání sněhu

Množství vody vzniklé táním sněhu (h) a rychlost tání sněhu (m) lze odvodit z databáze ČHMÚ o údajích SVH (vodní hodnota sněhu) a SCE (celková výška sněhové pokrývky). Tyto hodnoty je možno souhrnně označit jako erozní potenciál vody akumulované ve sněhové pokrývce (Ep). Stanovení hodnot erozního potenciálu je možno využít pro rajonizaci erozního ohrožení půd v období tání sněhu. Výpočet erozního potenciálu byl nově proveden pro soubor 235 klimatologických a srážkoměrných stanic vybraných dle dostupnosti dat v období 1991–2020. Pro výpočet byly využity denní hodnoty celkové výšky sněhové pokrývky a vypočítané údaje vodní hodnoty sněhu pro tzv. chladná období roku, v tomto případě v měsících říjen až květen následujícího roku, celkově tedy byla zpracována data za období 1990/1991 až 2019/2020. Hodnota erozního potenciálu sněhové pokrývky se pak vypočítala vynásobením hodnot h (v cm) a m (v $mm \cdot den^{-1}$) pro jednotlivá „chladná období". Z ročních hodnot se pak spočítaly průměrné hodnoty erozního potenciálu sněhu pro normálové období 1991–2020 (blíže viz metodiku Podhrázská et al., 2022).

Z tohoto souboru byla v GIS zpracována bodová vrstva. Hodnoty erozního potenciálu sněhu pro jednotlivé stanice byly interpolovány do plochy ČR. Zpracována tak byla mapa erozního potenciálu vody, akumulované ve sněhové pokrývce (Obr. 2-1), která podobně jako mapa regionalizovaného R faktoru slouží jako vstupní vrstva pro stanovení potenciálního erozního smyvu z tání sněhu. Mapa je zpracována na základě použití aktuálních dat 1991–2020 a nahrazuje mapu erozního potenciálu, uvedenou v metodice Janeček et al. (2012).

Výsledná aktuální platná mapa erozního potenciálu je k dispozici ke stažení na portálu Protierozní kalkulačky (https://kalkulacka.vumop.cz).



Obr. 2-1. Mapa erozního potenciálu zpracovaného z dat za normálové období 1991–2020

2.4 Stanovení erozních faktorů pro hodnocení eroze z tání sněhu

Upravená rovnice dle Zachara (1982) je ve vztahu:

$$Es = Ep \cdot k \cdot LS \cdot C \cdot P \cdot K$$

Kde:

Es	*intenzita eroze ($t \cdot ha^{-1} \cdot rok^{-1}$),*
Ep	*erozní potenciál,*
k	*faktor odtoku vody násobený číslem 1,5 až 3 (dle stavu promrznutí půdy),*
LS	*topografický faktor (-),*
C	*faktor ochranného vlivu vegetace v období erozně nebezpečného tání sněhu (-),*
P	*faktor protierozních opatření (-),*
K	*faktor erodovatelnosti půdy (-).*

Erozní potenciál Ep
Určí se z mapy erozního potenciálu.

Faktory LS, P, K
Stanovují se standardními postupy podle metody výpočtu pro vodní erozi.

Odtokový koeficient k
Hodnota odtokového koeficientu v období tání sněhu, kdy je půda nasycena vodou, je rovna 0,5. Hodnota koeficientu k se násobí číslem z intervalu 1,5 až 3 podle promrznutí půdy s ohledem na možnost infiltrace vody do půdy a náchylnosti půdy k erozi. Pokud je půda v období tání sněhu nepromrzlá, volíme hodnotu 1,5; v případě plně promrzlé půdy byla zvolena hodnota 2. Stavu, kdy se nad promrzlou vrstvou půdy nachází rozmrzlá vrstva, odpovídá hodnota 3. V případě, kdy nejsou k dispozici údaje o promrzání půdy, je možno použít střední hodnotu součinitele pro zamrzlou půdu 2 a potom hodnota odtokového koeficientu k = 1.

Faktor C
Analýzou faktoru C v mimovegetačním období se v minulosti zabýval zejména tým Mendelovy univerzity v Brně (Malenová a Toman, 2005; Pokladníková, Toman a Středa, 2008; Středová et al., 2012):

$$C_{NO} = 0{,}8656 C_{VO} + 0{,}128$$

Kde:

C_{NO}	*C faktor v období tání sněhu,*
C_{VO}	*C faktor ve vegetačním období.*

C faktor pro potřeby výpočtu eroze z tání sněhu je možno stanovit buď přímo na základě vlastního výpočtu C v mimovegetačním období, nebo přepočtem dle rovnice za použití C_{VO} dle různých postupů (doporučujeme přepočet C_{VO} z Protierozní kalkulačky, podobně jako u eroze vodní).

2.4.1 *Softwarový modul eroze z tání sněhu u programu Atlas DMT*

Podobně jako řešení vodní eroze je i modul Eroze z tání sněhu součástí programu Atlas DMT a doplňuje tak jeho stávající i aktuálně dokončované moduly, které jsou určené projektantům pozemkových úprav i dalším příbuzným profesím. Bližší informace na https://www.atlasltd.cz/dmt/nastroje/modul-eroze/#1678179370049-042bbe48-e0cd.
Hodnocení ohroženosti zemědělské půdy erozí táním sněhu se potom provádí obdobně jako u eroze vodní (viz kapitola 1.3)

2.5 Specifika návrhů opatření proti erozi z tání sněhu

Opatření proti erozi je potřeba navrhovat na základě komplexního průzkumu území a znalosti místních poměrů. Neexistuje univerzální šablona pro návrh systému opatření, vždy je možno podle konkrétních podmínek navrhovat kombinace opatření, v nichž jednotlivé typy opatření jsou zastoupeny více či méně a mají větší či menší efekt.
Při návrzích opatření proti erozi z tání sněhu lze využít doporučovaná opatření proti vodní erozi. Velký důraz je kladen na zajištění půdního pokryvu v mimovegetačním období využitím půdoochranných technologií (zachování strniště, založení porostu ozimů nebo meziplodin a další vhodné postupy). Tam, kde je půda z agrotechnických důvodů ponechána bez pokryvu a dovolují to půdní vlastnosti, lze doporučit orbu po vrstevnici a ponechání pozemku v hrubé brázdě. Voda z tajícího sněhu je zachycena v brázdě, což umožní postupné zasakování do půdních profilů. Také je možno využít mobilních technických zábran, zejména k zachycení splavenin v drahách soustředěného odtoku nebo v jiných exponovaných částech svahu. Mezi tato opatření se řadí vyskládané balíky slámy, protierozní rohože a hrůbky, speciální tkané textilie upevněné na opěrných sloupcích, vegetační bariéry apod. Výhodou těchto opatření je jejich mobilita, tzn. že mohou být ponechána na pozemku od sklizně plodiny až do jarních prací a poté odstraněna.
V podmínkách České republiky většinou postačí k ochraně půdy v mimovegetačním období standardně navrhovaná opatření proti vodní erozi. V oblastech, kde se vyskytují časté škody způsobené táním sněhu, a v případě, že je zjištěno vyšší riziko eroze z tání sněhu než z přívalových srážek, je vhodné zvýšit ochranu půdy v mimovegetačním období a případná technická opatření dimenzovat na vyšší zjištěnou hodnotu erozního smyvu.

3 Větrná eroze

Větrná eroze (eolická) vzniká mechanickou činností větru, který rozrušuje půdní povrch (abraze), odnáší uvolněné půdní částice (deflace) a ukládá je na jiných místech (akumulace). Tyto 3 fáze na sebe úzce navazují. K prvním dvěma fázím dochází působením turbulentního proudu přízemního větru s energií, jež je schopna překonat gravitační síly půdních částí. Třetí fáze nastává při poklesu energie větru pod uvedenou mez.

Větrná eroze je typickým jevem v aridních a semiaridních oblastech, ale i v humidních oblastech na vysychavých půdách nekrytých vegetací s nepříznivými fyzikálními vlastnostmi. Výskyt je častý tedy nejen v oblasti východní a jižní Evropy (kde jsou přirozené silné podmínky pro její vznik), ale i v mírném podnebí severozápadní Evropy, kde primárně ovlivňuje lehké půdy. Jsou dokumentovány i silné projevy větrné eroze na těžkých půdách za specifických klimatických podmínek. V České republice jsou větrnou erozí ohrožovány zejména oblasti jižní Moravy a Polabí s výskytem lehkých, výsušných půd. Specifické oblasti s těžkými půdami ohroženými větrnou erozí se vyskytují zejména v území jihovýchodní Moravy a Litoměřicka. Půdy v těchto územích mění silně svou strukturu vlivem klimatických podmínek v zimním období (promrzání a následné rozmrzání povrchu půdy) a následným suchem v jarních měsících. Vlivem silných výsušných větrů, které jsou pro tyto oblasti typické, pak dochází zejména v jarních obdobích k výskytu větrné eroze až prašným bouřím.

Obr. 3-1. Prašná bouře u Břeclavi

Obr. 3-2. Zavátí komunikace u Mikulova

3.1 Příčiny větrné eroze

Větrnou erozi ovlivňují meteorologické a půdní poměry, které mohou být zesilovány či zeslabovány dalšími faktory ovlivňovanými přímými zásahy člověka, jako je drsnost půdního povrchu, půdní krusta, vegetační kryt půdy a délka nechráněného pozemku.

Z meteorologických faktorů jsou to především rychlost a směr větru, srážky a výpar. Čím větší je rozměr půdních částic, tím je potřebná větší rychlost větru při zemi, aby nastal odnos. Minimální rychlost větru, při které nastává proces větrné eroze nad přípustnou mez, se nazývá kritická rychlost. Je různá pro různé druhy půd, pohybuje se v rozmezí 21–48 $km \cdot h^{-1}$.

Rychlost větru při zemi výrazně ovlivňuje půdní povrch, se zvyšující se drsností povrchu dochází k brzdícímu účinku. Zdrsnění povrchu snižuje rychlost větru, oproti hladkému povrchu asi až o 40 %. Dále závisí eroze půdy na době trvání a četnosti výskytu větru.

Z půdních faktorů ovlivňujících větrnou erozi je to především struktura půdy (hlavně obsah jílovitých částic), velikost půdních částic (zrnitostní skladba, hlavně obsah neerodovatelných částic), vlhkost půdy, drsnost půdního povrchu (povrchové a terénní úpravy, vegetační kryt) a nepřerušená délka území ve směru působení větru

3.2 Důsledky větrné eroze

3.2.1 *Hrozba pro trvalou udržitelnost úrodnosti půdy*

Jedním z negativních důsledků větrné eroze je degradace půdního profilu. Ta je primárně způsobena rozpadem půdních agregátů vlivem dynamického působení větru, odnosem jemných půdních částic a následným snížením mocnosti půdního profilu a zvýšením skeletovitosti půdy (zvýšení relativního obsahu větší frakce). Míra vlivu odnosu půdy je závislá na tom, o jakou frakci a množství se jedná. Velikost erodovaných částic, ztráta půdy a úbytek půdního profilu závisí však na intenzitě působení erozních činitelů – zejména tedy na aktuálním stavu půdy a povětrnostních podmínkách. Skutečně erodované mohou být i půdní částice o velikosti řádu milimetrů. Na jihovýchodní Moravě v blízkosti Bílých Karpat dochází téměř každoročně v důsledku větrné eroze na erodovaných plochách ke snížení povrchu půdy o 4–5 mm. V ohniscích prašné bouře však není zvláštností vyfoukání ornice do hloubky 1–2 cm.
Za hranici mezi normální (přirozenou) a zrychlenou (antropogenní) erozí se považuje hodnota odnosu půdy 0,5 m^3 z hektaru za rok, tj. odnos vrstvy půdy o mocnosti 0,05 mm. Maximální přípustné množství odnosu, tj. průměrný odnos půdy při 60 % zastoupení půdních částic větších než 0,8 mm, se rovná u našich půd 1,4 $g \cdot m^{-2}$, tj. 14 $kg \cdot ha^{-1}$.
V návaznosti na odnos jemných částic půdy na daném místě následuje například:

- snížení obsahu všech látek vázaných na erodované částice (humusové látky, minerální živiny aj.) – tj. následná potřeba vyšší aplikace chybějících látek,
- změna vodního režimu půdy – vyplavování aplikovaných hnojiv a dalších látek z písčitých vrstev do nižších vrstev a podzemních vod,
- změna zrnitosti půdy, zvýšení relativního podílu hrubší frakce, zvýšením podílu písku nastává snížení sorpční kapacity, úbytek bazických iontů (vápník, hořčík, draslík…) a dalších živin.

Tyto jevy mají negativní vliv na biologickou aktivitu v půdě a půdní úrodnost.

3.2.2 *Transport a sedimentace půdních částic*

V zásadě jsou známy tři základní druhy transportu materiálu větrnou erozí:

- Reptační [lat. reptare = rolovat]

Reptační transport materiálu – tento druh transportu materiálu je relativně krátký, jen zřídka jsou částice půd transportovány dále než několik málo metrů. Pohybují se částice o velikosti 0,5–2,0 mm. Výsledkem ukládání částic jsou přesypy, čeřiny, barchany, duny.

- Saltační [lat. saltare = skákavý]

Saltační transport materiálu – má u písčitých a dalších lehkých půd největší podíl na transportu materiálu větrem. V rámci tohoto druhu transportu jsou půdní částice vlivem vztlaku větru odpoutány od povrchu a podél parabolické dráhy se skákavým pohybem dostávají do okolního proudění vzduchu. Neustálým opakováním saltačního procesu mohou částice překonat vzdálenost až stovek metrů. Letícími půdními částicemi způsobuje tento pohyb také výrazné škody na klíčících rostlinách. Saltační transport unáší částečky o velikosti 0,02 mm až 0,5 mm.

- Suspenzní [lat. suspendere = vznášení se]

Suspenzní transport materiálu – velmi jemné půdní částice (pod 0,01 mm) jsou zvedány do výše více než několika stovek metrů, rychlost pádu je velmi malá, zůstávají dlouho v ovzduší a mohou být přenášeny i na velké vzdálenosti (i tisíce km), půda je ochuzována o humus a dochází ke skeletizaci půd.
Při poklesu rychlosti větru pod unášecí sílu nastává ukládání neseného materiálu – sedimentace. Většinou se tak děje na návětrné nebo závětrné straně překážek, ať už terénních, krajinných nebo technických (valy, porosty, budovy, komunikace, vodní toky…). Při navátí silné vrstvy půdy na zemědělském pozemku dochází k překrytí původního půdního horizontu i s plodinami, díky čemuž je další vzcházení mladých rostlin zastaveno. Nerovnoměrná sedimentace má za následek vznik terénních nerovností, čímž se zvyšuje potenciál k akumulaci sedimentů po další erozní události a tím např. k omezení funkčnosti příkopů snížením průtočného profilu, případně úplným zavátím. Vznikají také navátiny podél komunikací, plotů, staveb a také poprašek, povlaky z erodovaných částic v otevřené krajině a v intravilánech obcí a měst.

3.2.3 *Transport chemických látek*

Ztráta jemné části půdy erozí má za následek změnu chemického složení půdy. Chemické látky v půdě zahrnují přirozené složky, jako jsou organické a anorganické sloučeniny, a také látky přidané člověkem, jako jsou hnojiva a pesticidy. Tyto látky ovlivňují mnoho důležitých vlastností půdy, jako je schopnost udržovat stabilní pH, cyklus živin, výživa rostlin a biologická aktivita. Pokud se tyto látky ztratí nebo se přesunou do jiných míst, může to mít negativní dopad na úrodnost půdy a kvalitu plodin. V místech, kde se usazuje erodovaná půda, se mohou objevit různé efekty v závislosti na typu a množství sedimentu. Některé sedimenty mohou být bohaté na minerální živiny a humus, což zvyšuje úrodnost půdy a podporuje růst rostlin, které vyžadují hodně živin. Jiné sedimenty mohou být chudé na živiny a humus, což snižuje úrodnost půdy a vyhovuje pouze rostlinám, které jsou přizpůsobeny suchým a chudým podmínkám. Transport chemických látek erozí také způsobuje znečištění vodních útvarů a má negativní dopady na ekosystémy.

3.3 Teoretická východiska

Intenzita větrné eroze je dlouhodobě zkoumána pomocí různých metod, které je v základu možno dělit na reálné měření erozních projevů anebo jejich modelování. Procesy větrné eroze lze studovat některými stejnými metodami jako vodní erozi (nivelační, objemová, pedologická, morfologická, vegetační, fotogrammetrická, historická), ale vhodnější jsou pro tento účel deflametrické a tunelové metody. Podstatou těchto metod je zachycení půdních částic unášených větrem v různých přírodních podmínkách, v různých výškách nad povrchem půdy. Získané údaje umožňují stanovit intenzitu větrné eroze a její vztahy k různým faktorům a podmínkám; kvalitativně umožňují posoudit selektivní působení na půdu.
Prostřednictvím aerodynamického tunelu se napodobují větrné podmínky působící v terénu na půdní povrch. Při pokusech v aerodynamickém tunelu bylo zjištěno, že v odneseném materiálu převládají částice určitých velikostí. Čím je vyšší obsah jílovitých částic v půdě (částic menších než 0,01 mm), tím je vyšší odolnost těchto půd vůči erozi, neboť tyto částice se shlukují do agregátů, které odolávají náporu větru. (Wang et al., 2019) Chepil (1958) na základě výzkumů v aerodynamickém tunelu stanovil hranici mezi půdními částicemi, které jsou náchylné k odnosu větrem, (tzv. erodovatelnými) a půdními částicemi odolnými (tzv. neerodovatelnými) na velikost 0,84 mm a označil ji jako tzv. kritické minimum. V podmínkách českých zemí Pasák (1970) na základě výzkumu procesů ovlivňujících erodovatelnost půdy zjistil závislost odnosu půdy větrem na obsahu jílnatých částic a vlhkosti půdy a stanovil několik rovnic vyjadřujících tyto vztahy (blíže Janeček et al., 2002). Při větrné erozi na těžkých půdách za specifických klimatických podmínek se vlivem větru dostávají do pohybu nejen jemné půdní částice, ale i celé půdní agregáty. Hranice erodovatelnosti, tedy velikosti větrem odnášených půdních částic (resp. agregátů), se v těchto oblastech posunuje až na hodnotu 2 mm (Švehlík, 1988).
Matematickým modelováním větrné eroze odvozeným na základě reálných měření se zabývala řada autorů. Rozvoj geografických informačních systémů umožnil i vývoj nových metod modelování erozních procesů. Pro kvantifikaci půdního rizika se často používají modely založené na fyzikálních procesech (WEQ, WEPS, RWEQ). Nejznámější a ve světě nejpoužívanější je rovnice Woodruffa a Siddowaye (1965) nazvaná Wind Erosion Equation (WEQ), která komplexně posuzuje všechny vlivy na proces větrné eroze. Pro naše poměry byla rozpracována Vránou (1978). Tato rovnice umožňuje stanovení velikosti potenciální ztráty půdy a posouzení vlivu navržených protierozních opatření. (Naopak některé přesné modely větrné eroze založené na GIS, např. „WEELS" (Větrná eroze na evropských lehkých půdách), jsou velmi náročné na data a jejich praktická aplikace je takto omezená.) V Německu byl použit kompromisní způsob odhadu rizika větru. Jedná se o normu DIN 19706:2013-02 „Kvalita – Stanovení rizika eroze půdy způsobené větrem". Mapa „Potenciální riziko větrné eroze půdy na orných půdách v Německu" vychází z pedologických (kategorie půdy, obsah humusu) a klimatických faktorů (průměrná roční rychlost větru ve výšce 10 m nad zemí); informace o využití půdy jsou odvozeny z datového souboru krajinného pokryvu CORINE.

3.3.1 *Metodické uchopení problematiky větrné eroze u ČR*

Větrnou erozí v metodické a metodologické rovině v podmínkách České republiky se v současné době zabývá podrobněji pětice účelových metodik, kdy každá přistupuje k této problematice z jiné perspektivy. Těžištěm je problematika opatření proti větrné erozi, jmenovitě otázka větrolamů. Ohroženost území větrnou erozí je hodnocena v úrovni potenciálu prostřednictvím kombinace půdních a klimatických faktorů a prostorovým vyjádřením rizik v podobě mapy.

První komplexní mapou vyjadřující náchylnost půd ČR k větrné erozi byla mapa, která kombinovala informace o hlavních půdních jednotkách a klimatickém regionu z databáze BPEJ (Janeček et al., 2002). Dalšími přístupy byla následně upřesňována a rozšiřována databáze vstupních dat.

Metodika „Optimalizace funkcí větrolamů v zemědělské krajině" (Podhrázská et al., 2008) je zaměřena na optimalizaci konstrukce větrolamů, jejich optimální druhové skladby, péče a situování směru a zapojení v síti. Důležité jsou také návrhy na jejich doplnění, rekonstrukci a obnovy tak, aby působily integrovaně. Návrhu předchází analýza erozních rizik v území, hodnocení účinnosti stávajících prvků protierozní ochrany a hodnocení účinnosti navrhovaných opatření. Za tímto účelem byl v metodice vypracován postup, umožňující analýzu území z hlediska ohroženosti pozemků větrnou erozí a následný návrh na optimální uspořádání sítě větrolamů včetně návodu na rekonstrukci a obnovu stávajících.

Cílem metodiky „Hodnocení účinnosti trvalých vegetačních bariér v ochraně proti větrné erozi" (Podhrázská et al., 2011) je stanovit a popsat metody a postupy pro určení propustnosti (porozity) trvalých vegetačních bariér. Metodika umožňuje určit míru snížení rychlosti vzdušných mas protékajících bariérami a tím určit jejich účinnost proti škodlivým účinkům větrné eroze. Metodika se zabývá zejména porozitou větrolamů a modely k predikci větrných podmínek (WAsP – Wind Atlas Analysis and Application Program a WEng – WAsP Engineering).

Text metodiky „Hodnocení účinnosti a realizace větrolamů v krajině jako nástroj pro ochranu půdy ohrožené větrnou erozí" (Khel et al., 2017) je členěn na dvě části – část teoretickou a metodickou. První část slouží k obecnému popisu problematiky, věnuje se podstatě degradačního procesu, jeho mapování, škodám, které způsobuje, a v druhé části problematice hodnocení účinnosti větrolamů a metodám zakládání větrolamů. V metodice jsou uvedeny převody BPEJ na skupiny lesních typů (SLT) a výběr vhodných dřevin pro tyto SLT.

Metodika „Řízení rizika větrné eroze" (Doležal et al., 2017) se zaměřuje především na definici postupů hodnocení rizika větrné eroze na základě analýzy procesu větrné eroze a analýzy jednotlivých faktorů; popis důsledků a možnosti řízení rizika v procesu pozemkových úprav; popis metody stanovení vlivu trvalých vegetačních bariér na snížení rizika eroze a poznatky a zkušenosti s projektováním těchto prvků v rámci pozemkových úprav.

Metodika „Zakládání a údržba větrolamů ve zhoršených pedoklimatických podmínkách" (Podhrázská et al., 2021) zprostředkovává informace o nových poznatcích v problematice větrné eroze s akcentem na návrhy adaptačních opatření v souvislosti se změnou klimatu. Metodika poskytuje návody k zakládání a údržbě adaptabilních větrolamů, k výběru vhodné druhové skladby v nepříznivých podmínkách a jejich optimálního prostorového a funkčního umístění v síti krajiny. Rovněž poskytuje informace o metodách stanovení potenciální ohroženosti území větrnou erozí a provádění návrhů ochranných opatření, určených především projektantům pozemkových úprav, popřípadě zpracovatelům dalších krajinotvorných opatření.

3.4 Hodnocení erozního ohrožení půdy větrnou erozí

Erozní ohroženost zemědělských půd ČR je v současnosti hodnocena podle mapy „Mapa oblastí potenciálně ohrožených větrnou erozí na podkladu půdně-klimatických faktorů" (dále jen MPK) (Doležal et al., 2017). Na podkladě této mapy je možné identifikovat potenciálně nejrizikovější oblasti na území ČR. Tato mapa představuje základní podklad pro hodnocení ohroženosti pozemků se zohledněním ochranného vlivu existujících či navržených vegetačních bariér (větrolamy, ostatní liniové prvky).

Mapa je syntézou informací o půdních a klimatických faktorech, které vedou ke vzniku větrné eroze.

Zdrojem informací o půdních faktorech je celostátní databáze BPEJ. Klimatické charakteristiky jsou sestaveny z vybraných dat získaných z měření na meteorologických stanicích ČHMÚ. Pro potřeby sestavení mapy byla bodová klimatická data regionalizována v prostředí GIS. Tato mapa představuje jeden ze vstupů pro stanovení celkové ohroženosti větrnou erozí.

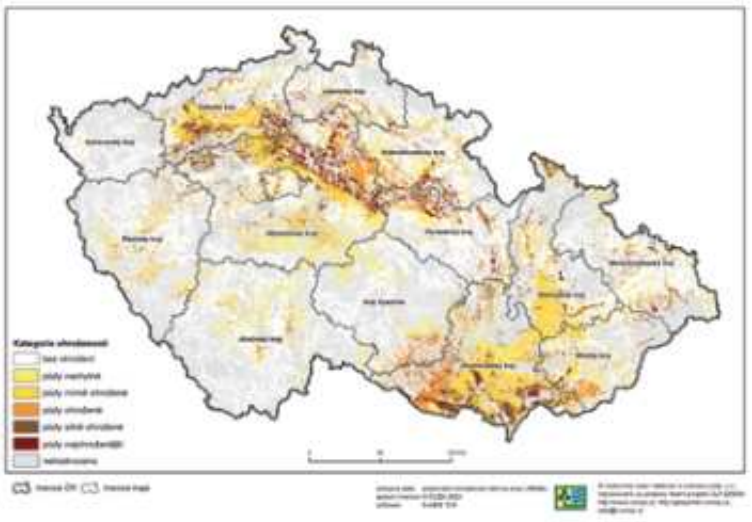
Vstupní mapové vrstvy (název / zdroj dat):

1. Potenciální ohroženost lehkých půd (BPEJ).
2. Potenciální ohroženost těžkých půd (BPEJ).
3. Mapa nepříznivých podmínek pro těžké půdy v zimním období (data ČHMÚ).
4. Riziko vzniku přísušků v jarním a podzimním období (data ČHMÚ).
5. Mapa větrných podmínek v jarním a podzimním období (data ČHMÚ).

Ohroženosti v jednotlivých vstupních vrstvách jsou vyjádřeny semikvantitativně a podle postupu popsaného v metodice Doležal et al. (2017) se postupně syntetizují. Výsledná mapa potenciální ohroženosti zemědělské půdy větrnou erozí je pak podle hodnot dosaženého koeficientu ohroženosti klasifikována do 6 kategorii ohroženosti (viz tabulku Tab. 3-1.). Mapa (MPK) vyjadřuje potenciální ohroženost v detailu polygonů BPEJ a je přístupná online na geoportálu SOWACGIS VUMOP (https://vetrnaeroze.vumop.cz/). Kromě toho je k dispozici ke stažení na portálu Protierozní kalkulačky (https://kalkulacka.vumop.cz). Aktuální informace o dostupnosti datových vrstev budou vždy k dispozici na geoportálu SOWACGIS VUMOP v aplikaci Řízení rizika větrné eroze.

Tab. 3-1. Popis kategorií ohroženosti větrnou erozí

Kategorie ohroženosti	Koeficient	Popis
1	< 4	Bez ohrožení (nehodnoceno)
2	4,1–6,0	Půdy náchylné
3	6,1–9,0	Půdy mírně ohrožené
4	9,1–13,0	Půdy ohrožené
5	13,1–16,0	Půdy silně ohrožené
6	> 16,1	Půdy nejohroženější



Obr. 3-3. Potenciální ohroženost zemědělské půdy větrnou erozí vyjádřená u kategoriích erozní ohroženosti (MPK)

3.4.1 Stanovení erozní ohroženosti větrnou erozí se zohledněním vegetačních bariér

V celorepublikovém měřítku byla zpracována mapa potenciální ohroženosti větrnou erozí se zahrnutím ochranných zón stávajících vegetačních bariér a jejich vlivu na tolerovanou délku pozemků (Kučera et al., 2021). Mapa je zpřístupněna online na geoportálu SOWACGIS a na portálu MZe AgriGIS (https://hub.agrigis.cz/ –> ÚAP –> Plochy vodní a větrné eroze –> Ohroženost zemědělské půdy větrnou erozí. Pro tvorbu mapy bylo nutno datové podklady o vegetačních bariérách, plochách pro výpočet eroze (mapa byla zpracována na půdní bloky) a převládajících směrech větrů do určité míry generalizovat. Při práci v lokálním měřítku, například při pozemkové úpravě, je potřebné tyto datové podklady zpřesnit dle informací z terénního průzkumu, zaměření současného stavu a aktuálních údajů o povětrnostních podmínkách. Zmíněná mapa tedy slouží jako vodítko pro bližší specifikaci území nejohroženějších větrnou erozí. Pro modelování ochranných zón vegetačních bariér a jejich zohlednění v mapě MPK lze doporučit interaktivní webovou mapovou aplikaci na geoportálu SOWAC-GIS „Řízení rizika větrné eroze" (Obr. 3-4), která je veřejně dostupná na https://geoportal.vumop.cz/vetrnaeroze). Webová aplikace umožňuje využít automatizované a interaktivní nástroje. Tyto nástroje na základě půdních vlastností, klimatických charakteristik, větrných podmínek a vybraných parametrů větrolamů dokážou vyhodnotit ohroženost zájmového území z pohledu větrné eroze. Webová aplikace je určena širší skupině uživatelů, zejména odborné veřejnosti a projektantům pozemkových úprav. Na základě posouzení ohrožených území je možné definovat prioritní oblasti, kde je účelné navrhovat a postupně realizovat ochranná opatření. Výsledky hodnocení slouží k posouzení možnosti návrhu opatření ke zmírnění rizika větrné eroze ve vybraných územích. Základem je vždy vyhodnocení míry rizika pro posuzované území při uvažování vlivu současného stavu a při postupném zapojení všech navrhovaných opatření.

Obr. 3-4. Úvodní stránka se ustupem do mapové aplikace

Následující text se věnuje popisu syntézy vrstev pro zohlednění ochranných zón stávajících nebo navržených vegetačních bariér a tolerovaných délek pozemků na podkladě mapy MPK (Obr. 3-3).

3.4.1.1 Příprava podkladů

Základním východiskem je Mapa oblastí potenciálně ohrožených větrnou erozí na podkladu půdně-klimatických faktorů a stanovení plochy pro výpočet eroze.

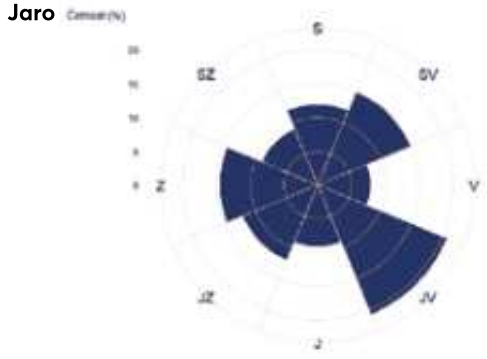
Mapa (MPK)
Mapa slouží jako podkladová vrstva pro další hodnocení rizika větrné eroze. Bližší popis viz kapitolu 3.4). Tato kapitola obsahuje odkaz, kde je možné stáhnout aktuální verzi mapy MPK a dále ji využít pro výpočet v prostředí GIS.

Plocha pro výpočet eroze
Plocha pro výpočet eroze definuje území za účelem další analýzy rizika větrné eroze. Je to území mezi stávajícími větrnými bariérami, kterými mohou být zástavba, les, větrolamy, ostatní vegetační bariéry (stromořadí, alej, břehový porost, malé lesní celky). Pro plošné vymezení plochy pro výpočet eroze z hlediska větrné eroze lze v první fázi využít půdní bloky (dále jen PB) z databáze LPIS a dále je, dle terénního průzkumu, upravit dle zjištěných informací.

Základní pravidla pro stanovení plochy pro výpočet větrné eroze:

- hranice uživatelských bloků LPIS není přerušením délky pozemku a nedělí plochu pro výpočet eroze (není-li doplněna trvalou vegetační bariérou),
- prostá změna zemědělské kultury není přerušením a nedělí plochu pro výpočet eroze,
- do plochy pro výpočet eroze nezahrnujeme lesy, intravilán, aj. kultury nezemědělského charakteru,
- do plochy pro výpočet eroze nezahrnujeme plochy trvalých kultur,
- polní cesta (libovolného povrchu) bez doplňkové trvalé vegetační bariéry (stromořadí, větrolam) není přerušením a nedělí plochy pro výpočet eroze,
- zásadní roli hraje terénní průzkum, při kterém jsou objektivně posouzeny bariéry přerušující délku pozemku ve směru převládajících větrů a dělící plochy pro výpočet eroze.

Zajištění datových podkladů pro stanovení převládajícího směru větru (větrná růžice)
Při hodnocení větrné eroze je zásadní znalost převládajícího směru větru pro hodnocenou lokalitu. Údaje o převládajícím směru větru vstupují do hodnocení ochranných zón větrných bariér (kapitola 3.4.2) a do stanovení tolerovaných délek pozemků (kapitola 3.4.3). Pro podklady o převládajícím směru větru je doporučeno získání větrné růžice od Českého hydrometeorologického ústavu (ČHMÚ). Klíčovými jsou údaje o převládajícím směru a rychlostech větru (zejména nad 10 m.s^{-1} měřeno ve výšce 10m nad povrchem) v jarním (1. března – 31. května) a podzimním (1. září – 30. listopadu) období, včetně údajů maximálního nárazu větru. Délka analyzovaného období činí 10 let. Směrem větru se rozumí směr, odkud vítr vane. Udává se obvykle v úhlových stupních od 1 do 360 stupňů (v našem případě 8 segmentů). Například čistý severní vítr má hodnotu 360°, čistý východní 90°, jižní 180° a západní 270°. Pokud je někde uveden vítr např. 135°, jedná se o jihovýchodní směr.



Obr. 3-5. Ukázka větrné růžice pro lokalitu Moravský Žižkov v jarním období (měsíce březen až květen)

Identifikace trvalých vegetačních bariér

K nejúčinnějším opatřením proti větrné erozi patří trvalé vegetační bariéry. Mohou to být umělé větrné zábrany nebo liniové prvky trvalé dřevinné vegetace. 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 ochranný lesní pás (OLP) a větrolam. OLP představují prvky, které jsou identifikované z databáze Ústavu pro hospodářskou úpravu lesů (ÚHÚL), kde jsou tyto prvky vedeny jako lesy se zvýšenou funkcí půdoochrannou, 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.

V zájmovém území by měly být identifikovány především liniové prvky v okolí zemědělské půdy, u kterých je možné předpokládat jejich ochranný účinek proti větrné erozi. Jako zdroj dat lze využít dostupné podklady MZe (ÚHUL, Lesy ČR, LPIS-EVP), MŽP (databáze výsadby větrolamů) a ZABAGED. Prvky vegetačních bariér jsou kategorizovány podle typu s ohledem na jejich účinnost (Tab. 3-2). Kategorizace je prováděna podle kritérií uvedených v metodických postupech Podhrázská et al. (2008), Doležal et al. (2017) a Podhrázská et al. (2021). Pro zařazení prvků je žádoucí ověření v terénu.

Tab. 3-2.: Kategorizace pruků 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

Kritéria pro kategorizaci v tabulce Tab. 3-2 byla následující:

- Větrolam (včetně OLP) – poměr délky ku 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).

Obr. 3-6. Příklad vegetační bariéry typu větrolam

Obr. 3-7. Příklad vegetační bariéry typu stromořadí (nově založené)

Obr. 3-8. Příklad vegetační bariéry typu břehový porost

3.4.1.2 Syntéza datových podkladů

Tato kapitola se věnuje popisu syntézy vrstev pro zohlednění ochranných zón vegetačních bariér a tolerovaných délek pozemků.

Vyhodnocení účinnosti ochranných zón vegetačních bariér
Vstupní vrstvy:

- Oblasti potenciálně ohrožené větrnou erozí (MPK).
- Identifikované vegetační bariéry.
- Převládající směr větru (větrná růžice).

Účinnost trvalých vegetačních prvků reprezentují 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 bariér. Jejich délka závisí na typu vegetační bariéry, který současně reprezentuje jejich očekávanou účinnost. Účinnost je určována částečně vnější strukturou. Vnější struktura je reprezentována šířkou, výškou, tvarem a orientací. K hodnocení účinnosti větrolamů se často používá i hodnoty optické porozity (OP). OP je brána jako podíl pozadí, viditelného z kolmého směru na větrolam.

Rozsah ochranné zóny je možné stanovit na základě tří přístupů:

- Tabelární, dle metodiky Podhrázská et al. (2008) – pevná ochranná zóna pro větrolamy a ostatní liniové vegetační prvky – pevné zóny pro návětrnou i závětrnou stranu (optimální větrolam). Tento přístup je doporučen pro stanovení ochranné zóny v případě nedostupnosti detailních informací o prostorových parametrech vegetačních bariér a v případě návrhu nových větrolamů, kdy nejsou známy přesné cílové prostorové parametry bariéry (viz Tab. 3-3).

Tab. 3-3. Ochranné zóny vegetačních bariér

Název prvku (kód)	Závětrná strana (m)	Návětrná strana (m)
Větrolam, ochranný lesní pás (1, 6)	300	100
Ostatní vegetační bariéry (2, 3)	150	50
Malé lesní celky (4) a les (5)	Nehodnoceno	Nehodnoceno

- Dle rovnice Středová et al. (2012), Doležal et al., (2017) – základem je závislost mezi optickou porozitou (OP) a účinností větrolamu. Funkce udává podíl snížení rychlosti větru na závětrné i návětrné straně.
- Dle rovnice Řeháček et al. (2017), Khel et al. (2017) – základem je závislost mezi optickou porozitou, výškou větrolamu a jeho účinností. Funkce udává podíl snížení rychlosti větru pouze na závětrné straně větrolamu.

Hodnoty parametru OP a výšky vegetační bariéry je v těchto případech nutné stanovit terénním průzkumem (Khel et al., 2017).

Uvažovaný vliv stávajících vegetačních bariér se v mapě MPK projeví změnou kategorie potenciální ohroženosti na základě Tab. 3-4. To znamená, že část pozemku, která je chráněna vegetační bariérou, je zařazena do kategorie (stupně) ohroženosti 1. Vegetační bariéry tedy snižují ohroženost pozemku v ochranné zóně na nejnižší možný stupeň. Na nechráněné části pozemku se ohroženost nemění.

Tab. 3-4. Schéma pro uvažování vlivu vegetačních bariér na potenciální ohroženost větrnou erozí

Kategorie (stupeň) ohroženosti	Kategorie potenciální ohroženosti části plochy pozemku s výskytem ochranné zóny	Kategorie potenciální ohroženosti zbývající plochy pozemku bez výskytu ochranné zóny
1	1	1
2	1	2
3	1	3
4	1	4
5	1	5
6	1	6

Do výstupní mapy MPK se vliv ochranných zón dále zanese dle kódového označení uvedeného v Tab. 3-5. Důvod zavedení kódového označení bude vysvětlen níže v části Vyhodnocení tolerovaných délek pro erozně hodnocené pozemky.

Tab. 3-5. Kódové vyjádření kategorií ohroženosti s rozlišením chráněných a nechráněných pozemků ochrannou zónou

Kategorie (stupeň) ohroženosti	Kód chráněných pozemků	Kategorie potenciální ohroženosti zbývající plochy pozemku bez výskytu ochranné zóny
1	10	10
2	10	20
3	10	30
4	10	40
5	10	50
6	10	60

Po zahrnutí vlivu stávajících vegetačních bariér do vrstvy MPK se provede vyhodnocení kategorie (stupně) potenciální ohroženosti na plochu pro výpočet eroze. Tímto získáme aktualizovanou vrstvu potenciální ohroženosti vyjádřenou na plochu pro výpočet eroze (MPK-zóny). Tento postup je důležitý z pohledu dalšího vyhodnocení tolerovaných délek pozemků. Výsledná kategorie potenciální ohroženosti byla stanovena jako převládající hodnota kategorie ohroženosti (majority/modus).

Vyhodnocení tolerovaných délek pro erozně hodnocené pozemky

Vstupní vrstvy:

- Směr převládajícího směru větru.
- Aktualizovaná vrstva plochy pro výpočet eroze (s uvažovanou ochrannou zónou vegetačních bariér (MPK-zóny).

Území je vyhodnoceno jako náchylné k větrné erozi, pokud jeho maximální délka překročí maximální tolerovanou délku stanovenou pro jednotlivé kategorie ohroženosti.

V závislosti na náchylnosti půdy k erozi byla stanovena tolerovaná délka pozemku (Tab. 3-6) v převládajícím směru větru. Pro stanovení překročené délky pozemku bylo využito vrstvy oblastí vymezující působení nejvýraznějších erozně nebezpečných větrů a ploch pro výpočet eroze. Na Obr. 3-9 je uveden příklad hodnocení dílu půdního bloku s vyznačeným převládajícím směrem větru a stanovenou ochrannou zónou větrolamu a maximální délkou pozemku.

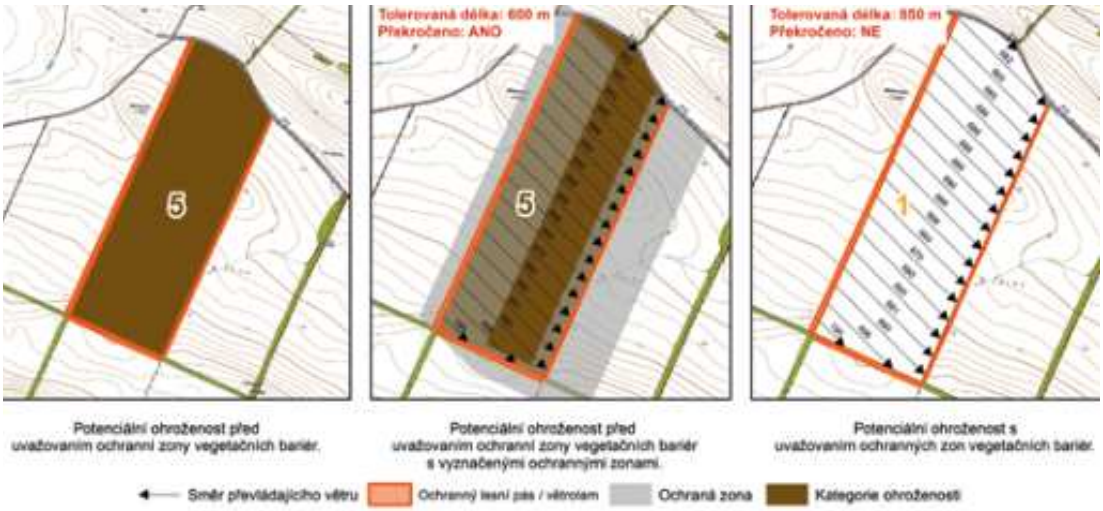
Tab. 3-6. Maximální tolerovaná délka pozemku

Kategorie potenciální ohroženosti pozemku	Tolerovaná délka (m)
1–4	850
5	600
6	350

Do výstupní mapy potenciální ohroženosti (MPK-zóny) je hodnocení tolerovaných délek pozemků zaneseno dle kódového označení uvedeného v Tab. 3-7. Tato tabulka ukazuje zatřídění jednotlivých kódových označení do konečné kategorizace potenciální ohroženosti pozemku vyjádřeného ve dvanácti stupních ohroženosti. Důvodem zavedení kódového označení je možnost rozlišení, který faktor způsobuje ohroženost území větrnou erozí. Z kódového označení je 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 bariéry. Kód 30 znamená, že území je mírně ohroženo z hlediska půdy a klimatu, není chráněno vegetační bariérou, 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 bariérou, a navíc je příliš dlouhé ve směru působení větru (maximální tolerovaná délka je překročena).

Tab. 3-7. Kódové vyjádření stupně ohroženosti s rozlišením nepřekročené a překročené tolerované délky

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



Obr. 3-9. Ukázka přehodnocení kategorie erozní ohroženosti na půdním bloku (EHP) při zahrnutí vlivu vegetačních bariér (maximální šířka pozemku ve směru převládajícího větru je 686 m)

Při návrzích technických protierozních opatření (větrolamů) a hodnocení jejich účinnosti se využije postup uvedený v kapitole 3.4.1. Pokud není možné aplikovat na hodnocené ploše vyhovující počet a umístění větrolamů tak, aby byla hodnocená plocha plně chráněna větrolamy, doporučuje se využít doplňujících protierozních opatření (agrotechnických a organizačních).

3.5 Ochrana proti větrné erozi

Obdobně jako u eroze vodní je možno využít k ochraně proti větrné erozi celou řadu opatření agrotechnických, organizačních a technických.

3.5.1 Organizační opatření

Zásadou je tvar půdních bloků situovat delší stranou kolmo k převládajícím směrům větrů a jejich šířku volit tak, aby umožňovala založení dostatečného počtu a šířky pásů při pásovém střídání plodin. Limitní rozměry půdních bloků jsou dány způsobem hospodaření (používání ochranných agrotechnologií) a existencí nebo návrhem trvalých větrných bariér tvořících jejich přirozené hranice. Velikost pozemku potom volíme v závislosti na jeho přípustné délce ve směru převládajících větrů, viz Tab. 3-6.
Při protierozním rozmísťování plodin se využívá přirozené odolnosti plodin vůči větrné erozi. Obecně plodiny s nízkou ochrannou funkcí (speciální plodiny – zelenina, koření) jsou méně odolné než plodiny zajišťující pokryv půdy v období erozně účinných větrů (dobře zapojené ozimé porosty). Na půdách silně ohrožených větrnou erozí se doporučuje ochranné zatravnění nebo zalesnění.
Rovněž je možno využít pásového střídání plodin s využitím střídání výškově rozdílných plodin v pásech kolmo na směr větru. Pásy s plodinami odolnějšími vůči větrné erozi nebo strniště snižují rychlost a sílu větru u povrchu půdy, zmenšují nebo zastavují odnos půdy a omezují výpar z povrchu půdy. Obvykle se navrhují pásy široké od 40 až 50 m do 100 až 200 m.
Příkladem pásového střídání je střídání úzkých pásů kulisových plodin (např. 4 řádky kukuřice nechány přes zimu), které chrání plodiny ohrožené erozí (zeleninu, cukrovku). Šířka chráněného pásu v případě ponechané kukuřice o výšce cca 2 m se odhaduje na 60 m.

3.5.2 Agrotechnická opatření

Ochranné obdělávání zahrnuje celou řadu technologických postupů, k nimž se řadí přímý výsev do ochranné plodiny nebo strniště, mulčování, využívání meziplodin a minimalizace (sdružování) pracovních postupů. Tyto metody jsou obdobné jako u eroze vodní, lze proto využít postupů uvedených v kapitole 1.6.2.
Protierozní účinky těchto zásahů se projeví:

- zvýšením drsnosti povrchu půdy,
- zmenšením přímého účinku větru na povrch půdy,
- zlepšením půdní struktury,
- zvýšením půdní vlhkosti,
- zkrácením meziporostního období.

3.5.3 Technická opatření proti větrné erozi – větrolamy

Základním opatřením trvalého charakteru proti negativním účinkům větrné eroze jsou větrolamy. Obecně se jedná o různě široké pásy stromů a keřů s protierozní funkcí, 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).

3.5.3.1 Typy větrolamů a jejich účinnost

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. 3-10. 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. 3-11. Ukázka neprodouvavého větrolamu

– Poloprodouvavý (polopropustný) – tvořený 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. 3-12. Ukázka poloprodouvavého větrolamu

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).

3.5.3.2 Předpoklady pro optimální prostorovou a funkční skladbu větrolamů v podmínkách změny klimatu

V rovinatém terénu by měly být větrolamy uspořádány v síti obdélníkových tvarů, kde delší strany představují hlavní větrolamy situované kolmo na převládající směr větru a kratší strany jsou vedlejší větrolamy. V členitém terénu je vhodné přihlížet k jeho konfiguraci a umístit pásy na vyvýšená místa, čímž se ještě zvýší jejich účinnost. Důležitým předpokladem vysoké účinnosti větrolamů je nejen jejich údržba, ale i správná volba dřevin. Je třeba zohlednit především dvě základní podmínky – druhy musí odpovídat přírodním podmínkám a vyhovovat danému stanovišti a současně musí být vhodné pro konstrukci větrolamu, tj. dosáhnout vhodné výšky, zajistit potřebnou propustnost a dlouhověkost.
Pro dosažení rychlého účinku, dostatečné odolnosti a trvalosti větrolamu i vzhledem k adaptaci na klimatickou změnu je vhodné zajistit kombinaci více dřevin. Doporučit lze následující postupy:

- Používat dřeviny, které mají předpoklady dobré prosperity na daném stanovišti v současnosti a blízké budoucnosti, včetně dostatečné zimovzdornosti. Současně mají předpoklad dostatečné adaptace na možné změny klimatu.
- Usilovat o co nejvyšší možnou (prakticky uplatnitelnou) diverzifikaci taxonomické struktury jednotlivých větrolamů a tím snižovat dopad možného selhání některého z taxonů. Usilovat o co nejvyšší možnou diverzifikaci věkové struktury větrolamů na daném území a tím zvýšit jejich kontinuální účinnost v dané krajině.
- Nevylučovat uplatnění (relativně) krátkověkých taxonů stromů; během jejich života nelze očekávat tak výrazné změny klimatu jako u dlouhověkých.
- Brát do úvahy požadavky ochrany přírody, především:
  - Předpokládané změny klimatu mohou vyvolat či zesílit schopnost samovolného rozšiřování u taxonů nepůvodních v ČR a expanzivnost taxonů původních.
  - V rámci možností upřednostňovat místní populace dřevin původních v ČR a minimalizovat tak genetickou erozi.
  - V rámci možností respektovat, že některé dřeviny jsou u nás původní jen na omezeném území.
- Nepoužívat sazenice zbytečně vyspělé a vypěstované v nadměrně příznivých podmínkách, protože se hůře adaptují na nepříznivé podmínky trvalého stanoviště.

Pří výběru dřevin je nutno zohlednit řadu aspektů, kterými jsou především:

- vlastnosti stanoviště a jeho předpokládané změny,
- požadovaná funkce dřevin,
- předpokládaný způsob zakládání a údržby,
- dostupnost taxonů,
- fytopatologická situace,
- možné negativní působení dřevin.

Zásadním problémem větrolamů je zanedbaná nebo zcela vynechaná pěstební péče. Stav jednotlivých dřevin a následně i celého porostu, přímo závisí na vývoji celé porostní skupiny. Bez přiměřených zásahů do porostu ve formě prořezávek a probírek, bez případných dosadeb je úspěch založení prvku velmi nejistý ve všech případech. Je nutné kontrolovat a ovlivňovat vývoj na úrovni jedinců s cílem tvorby funkčního zdravého porostu. Předpoklad pravidelných probírek v pěti- až desetiletých intervalech je tak pro zdravý vývoj porostu prakticky nezbytný zvláště v případech husté výsadby lesnického typu. Z toho plyne organizačně-technická a finanční náročnost této naprosto opomíjené rozvojové péče.

3.5.3.3 Metody zakládání větrolamů

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) nemají žádnou, nebo pouze omezenou funkci ochrany před účinky větru.
- Pozemky šíře cca 7–20 a více m (často biokoridory nebo interakční prvky typu větrolam) plní funkci protierozní v závislosti na typu prvku:
  - Bariéra typu „prodouvavý větrolam" (často prvek ÚSES založený bez ohledu na sekundární protierozní funkci)
  - 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 poté 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 až 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 zemědělské půdě se doporučuje 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 a dřevin a vlastnosti stanoviště a dřevin promítnout do koncepce řešení formou vhodného uspořádání s cílem minimalizace pěstebních zásahů při využití autoregulačních principů zakládaného porostu.

Popisovaná doporučení a postupy se týkají zakládání nových větrolamů mimo lesní pozemky (v případě větrolamů na lesní půdě – OLP je situace odlišná). 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 nutné počítat 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.

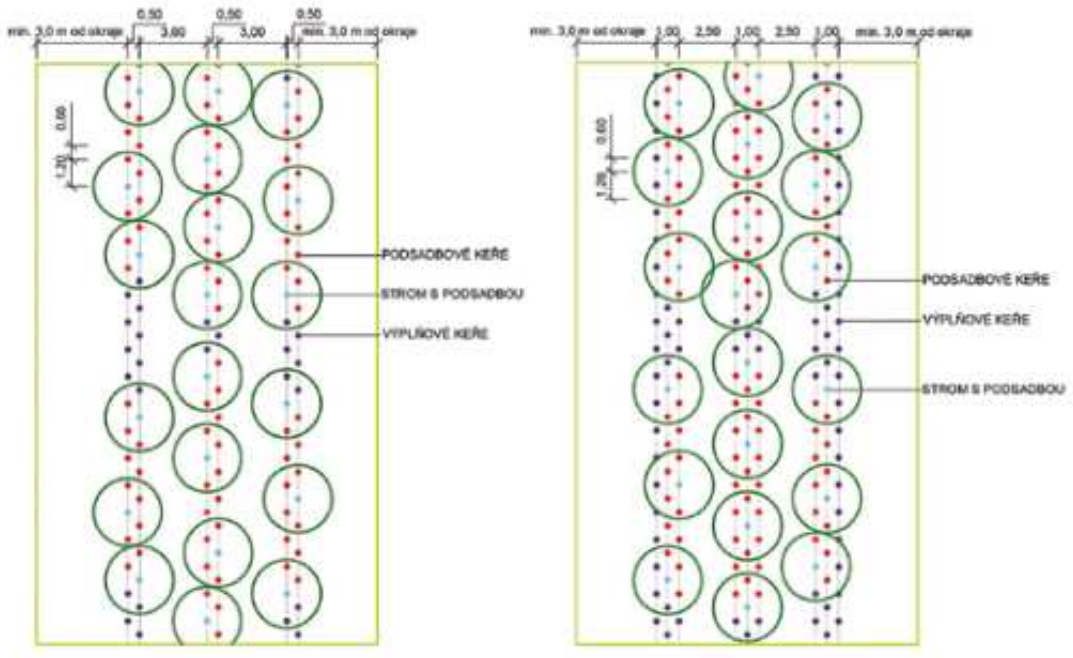
3.5.3.4 Náurhy technického založení větrolamů

Zakládání větrolamů v zemědělské krajině vyžaduje teoretické a praktické znalosti k dané problematice i znalosti specifik místních podmínek. Větrolamy se nyní zakládají zejména v oblastech intenzivně zemědělsky využívaných k omezení dopadů sucha a zvýšení biodiverzity krajiny. S tím souvisí i snahy o využití adaptačních metod zakládání dřevinné vegetace a také využívání taxonů odolných vůči změnám klimatu.
Technické založení větrolamu je dáno výsadbovým schématem, po výsadbě musí následovat údržba a následná péče tak, aby byla zabezpečena jeho optimální účinnost. Výsadbové schéma je vždy potřeba přizpůsobit místním podmínkám a účelu využití. Různá výsadbová schémata mohou být využita na pozemcích určených plnění funkcí lesa (PUPFL), jiná na územích v sousedství intravilánu nebo pro účely plnění primární funkce biokoridoru.
Například cílem Lesů ČR je mít výsadbová schémata na PUPFL taková, aby zabezpečila nejen ochranný, ale i druhotně hospodářský význam tohoto lesa. Na tom jsou závislé i způsoby zakládání a údržby porostu a výběr taxonů s ohledem na specifika lesních půd. Možnými návrhy složení větrolamů a jejich výsadbovými schématy s návazností na skupiny lesních typů (SLT) se zabývá metodika Khel et al. (2017). Další možná výsadbová schémata lze nalézt v metodice Podhrázská et al. (2008), kde jsou prezentovány různé příklady návrhových schémat větrolamů v integraci s cestní sítí, vodním tokem nebo biokoridory, včetně návrhové skladby dřevin. Další doporučení lze získat např. v Agentuře ochrany přírody (AOPK) ČR, metodických návodech k zakládání lokálních USES aj.

Příklad výsadbových schémat větrolamů jako vegetačních prvků s výraznou autoregulací
Výsadbová schémata uplatňovaná v současné době zejména v pozemkových úpravách k ochraně půdy před erozí a posílení biodiverzity se soustřeďují na docílení maximální efektivity realizovaného opatření s využitím autoregulačního principu založeného větrolamu. V následujícím textu je uveden příklad zakládání větrolamů, vycházející z metodiky „Zakládání a údržba větrolamů ve zhoršených pedoklimatických podmínkách" (Podhrázská et al., 2021). Tento postup lze doporučit v projektování větrolamů v pozemkových úpravách, jelikož prakticky odpovídá požadavkům na výsadby liniových vegetačních prvků s extenzivní údržbou (minimalizovanou pěstební péčí). Podstatným znakem je i umístění stromů v cílovém sponu (nejsou nezbytné probírky).
Výsadbové schéma lze upravit podle plošného rozsahu výsadeb a lze pracovat buď se schématem založeným na použití tzv. dvojřad (nižší počet kusů dřevin na plochu – Obr. 3-13) u výsadeb plošně rozsáhlejších, nebo se schématem založeným na použití tzv. trojřad (vyšší počet kusů dřevin na plochu Obr. 3-13) s ohledem na celkovou ekonomickou náročnost založení prvku. Výsadbový spon je vhodné upravit, pokud to vyžadují specifika stanoviště, požadované funkce dřevinného prvku či použitého sortimentu dřevin.
Schéma lze dále upravit s ohledem na požadovanou funkci. Typicky vyšší (u větrolamů) nebo nižší počet stromů (u prvků ÚSES) na plochu z celkového počtu použitých dřevin. Tento postup lze doporučit pro podmínky nejběžnějších typů lokalit s potřebou realizace opatření proti větrné erozi na zemědělské půdě v podmínkách uvažovaných klimatických změn.
Doporučené uspořádání pracuje se třemi skupinami dřevin:

- stromy (stromovité keře),
- keře podsadbové,
- keře výplňové.

Autoregulační princip je dán využitím ekologických vlastností jednotlivých taxonů dřevin – zejména jejich konkurenceschopnosti. Upravené výsadbové schéma pracuje s jednotlivými druhy dřevin v párech, kdy ke každé skupině stromů konkrétního druhu (10ks) je přiřazena skupina podsadbových keřů konkrétního druhu (4–50 ks). Podle požadované hustoty porostu lze pracovat s dvouřadami, nebo trojřadami. V případě dvouřad je práce s výplňovými keři náročnější, u systému s trojřadami lze krajní řady využít pro výsadbu výplňových keřů, které budou plnit funkci pláště.



Obr. 3-13. Výsadbové schéma využívající systém dvouřad (vlevo) a výsadbové schéma využívající systém trojřad (vpravo)

Osazovací schéma, které zohledňuje výše uvedené předpoklady a potřeby funkčnosti výsledného prvku, je postaveno na principu dřevinných vegetačních prvků s výraznou autoregulací, které významně snižují náklady na ekonomickou náročnost v době rozvojové péče.

Schéma pouze objasňuje způsob rozmístění funkčních typů dřevin ve dvouřadách nebo trojřadách. Použití tohoto způsobu se předpokládá u rozsáhlejších liniových prvků. Tyto prvky je vhodné členit na samostatné výsadbové úseky o délce 100 m. Při využití systému dvojřad je v úseku 100 m s uvedeným sponem cca 480 ks dřevin, u trojřad je to cca 720 ks dřevin. tento způsob výsadeb ponechává určitou volnost dodavateli výsadeb. Při realizaci výsadeb je tak potřeba mít na paměti požadovanou funkci prvku, jedná se o větrnou bariéru, která by měla být ideálně tvořena souvislým a zapojeným porostem. Rozhodující je proto pravidelné a souvislé rozmístění stromů bez mezer mezi skupinami ve sponu, který je blízký cílovému sponu.

Bližší popis uvedeného postupu a praktické návody pro projektování a realizaci vegetačních prvků s výraznou autoregulací uvádí příslušná metodika (Podhrázská a kol., 2021).

Obr. 3-14. Ukázka nově zrealizovaného větrolamu/biokoridoru v k. ú. Kostice

4 Hydrologické výpočty pro odvození návrhových veličin technických opatření v krajině

4.1 Principy hydrologických modelů a jejich využití

Technická opatření, která jsou navrhována za účelem protierozní ochrany, vyžadují hydraulicko-hydrologický návrh. Ten se skládá z odvození návrhových parametrů (maximální průtok, objem odtoku, průběh povodňové vlny) pomocí hydrologického modelu a následného hydraulického návrhu vlastního prvku.
Principy využité v této metodice předpokládají jako hlavní příčinu vzniku intenzivního přímého odtoku v ploše povodí a na tocích v malých povodích krátkodobé intenzivní srážky. Výběr hydrologických metod je tak omezen na epizodní modely s tím, že nejsou nijak uvažovány další příčiny vzniku odtoku, jako je tání sněhu nebo trvalé srážky či kombinace těchto jevů.
Pro výběr vhodného modelu je klíčové znát podmínky jeho využití a princip jeho řešení a z nich vycházející limity. Využívány jsou tzv. srážkoodtokové modely:

- založené na metodě SCS-CN v kombinaci s jednotkovým hydrogramem – empiricky odvozená metoda na základě konceptuálního popisu funkce povodí se znalostí historických měřených dat,
- epizodní procesně (fyzikálně) založené modely – matematicky popisují a integrují jednotlivé procesy tvorby přímého odtoku.

Výhodou metody SCS-CN je její jednoduchost, menší nároky na přesnost a množství vstupních dat a menší nároky na interpretaci výsledků. Pro většinu návrhů opatření se jedná o dostatečně přesnou metodu. Výběr modelu je ovlivněn dalšími podmínkami:

- kvalitou a prostorovou podrobností vstupních dat,
- mírou zjednodušení zvoleného řešení příslušného modelu,
- počátečními podmínkami a možností kalibrace,
- členitostí terénu a povrchu – členitá území se značnou heterogenitou,
- typem úlohy:
  - návrh opatření nebo posouzení reálné proběhlé události,
  - typem navrhovaného prvku a potřebou zabezpečenosti z pohledu případných způsobených škod, vyjádřeného dobou opakování.

4.2 Metoda SCS-CN s jednotkovým hydrogramem

Metoda odtokových křivek SCS-CN (SCS, 1986) je v českých podmínkách jednou z nejpoužívanějších metod pro výpočet výšky přímého odtoku a následně pro stanovení objemu přímého odtoku. Spojením s jednotkovým hydrogramem se také používá k určení maximálního průtoku a možného průběhu povodňové vlny. Limitem této metody je, že nezohledňuje tvar průběhu intenzit / hyetogram návrhové srážky.

4.2.1 Vstupní data

Vstupní data pro hydrologické modelování jsou srážková data, morfologická data, data o využití území a půdním pokryvu a půdní data. Využití různých datových zdrojů může vést k odlišnostem v odvození návrhových charakteristik. Při zpracování je třeba využívat aktuální zdroje a použité zdroje uvést při zpracovávání úloh.

4.2.1.1 Návrhové srážky a stav počátečního nasycení

Pro potřeby této metodiky je získání veličin – pro dimenzování opatření realizovaných v ploše povodí a pro návrhy opatření na drobných vodních tocích v povodí o celkové ploše do 5 km^2 – možné standardně dvěma způsoby. Tím prvním jsou reálné změřené srážkové události (epizody), nebo jsou využívány návrhové srážky s definovanou dobou opakování.
Návrhové srážky jsou klíčovým vstupem pro odvození návrhových hydrologických veličin. Pro potřeby odvození návrhových veličin je třeba do hydrologického výpočtu zahrnout čtyři základní charakteristiky deště:

- délku trvání příčinného deště,
- celkový úhrn srážky, který odpovídá příslušné době opakování návrhového deště,
- možné tvary hyetogramů pro příslušnou dobu opakování,
- stav počátečního nasycení, který odpovídá zvolené době opakování a jednotlivým hyetogramům návrhových srážek.

Využívání přímo reálných epizod je poměrně problematické zejména v případě konvektivních srážek, která staniční data nemusí postihnout. Do popředí se dostává využití kombinace staničních měření se srážkovými radary. Současné prostorové rozlišení srážkových radarů je 1 x 1 km. Využití přímo reálných epizod se tak většinou omezuje na potřeby resimulace z důvodu popisu extremity proběhlé události a zhodnocení jejích dopadů. Obecně lze říci, že reálné epizody nejsou k dispozici pro celé území ČR, a jejich využití je tak omezené a nelze je doporučit jako univerzální zdroj vstupů.
Druhým způsobem je využití návrhových srážek o určité délce trvání deště a době opakování a tomu odpovídajícího úhrnu. Samotný úhrn srážky je možné v délce srážky rozdělit rovnoměrně do tzv. blokového deště (jedna hodnota intenzity po celou dobu trvání srážky), anebo mohou být využity odvozené – syntetické tvary srážek pro časové okno šesti hodin na základě charakterů reálných dešťů (Kavka, 2023). Využití blokových dešťů je problematické zejména při odvozování návrhových průtoků, neboť je zanedbána proměnlivá intenzita deště. Průběh syntetických tvarů má proměnlivou intenzitu a zastupuje určitý typ reálných srážek.
Jejich způsob využití podrobně definuje související metodika „Krátkodobé srážky pro hydrologické modelování a navrhování drobných vodohospodářských staveb v krajině" (Kavka et al., 2023), která doporučuje postup využití kombinací šestihodinové návrhové srážky se zastoupením šesti typů návrhových hyetogramů a jim příslušného počátečního nasycení povodí. Data návrhových srážek jsou poskytována ve vazbě na konkrétní lokalitu a zvolenou dobu opakování návrhového deště. Tyto odvozené šestihodinové deště včetně zastoupení hyetogramů postihují zastoupení intenzivních konvektivních srážek a větší část déletrvajících srážek. Vliv srážek delších než šest hodin je postihnut uváděným stavem počátečního nasycení.
Pro odvození návrhových veličin je možno využít návrhovou srážku o délce trvání odpovídající době koncentrace posuzovaného povodí, přičemž úhrn této srážky lze získat redukcí denního úhrnu zvolené doby opakování.
Využití konkrétního zdroje srážkových dat má dopad na výběr z metod výpočtu, které jsou uvedeny dále, a může tak mít dopad na odvození odtokových charakteristik. V případě, že se zjistí rozdíly v odvozených odtokových charakteristikách různými přístupy, doporučuje se využít vyšší hodnoty pro zajištění vyšší bezpečnosti při návrhu parametrů technických opatření zejména při ochraně intravilánu a kritické infrastruktury.

Blokový déšť
Blokové deště jsou v praxi rozšířené z důvodu jejich historického užívání jako jediného zdroje dat o srážkách.
Samotná metoda redukovaných denních srážek vychází z představy, že v rámci denních srážek se reálně vyskytují srážky kratší. Pro ČR byl tento způsob odvozen F. Hrádkem (Hrádek, 1994). Jeho aplikace je podmíněna optimalizací redukčních koeficientů, které se v ní vyskytují, a aktualizací denních úhrnů srážek. Redukční metoda vede k získání blokového deště bez podrobnější specifikace průběhu intenzit srážky – tvaru hyetogramu. Ve výpočtu je srážka implicitně uvažována jako konstantní – blokový déšť

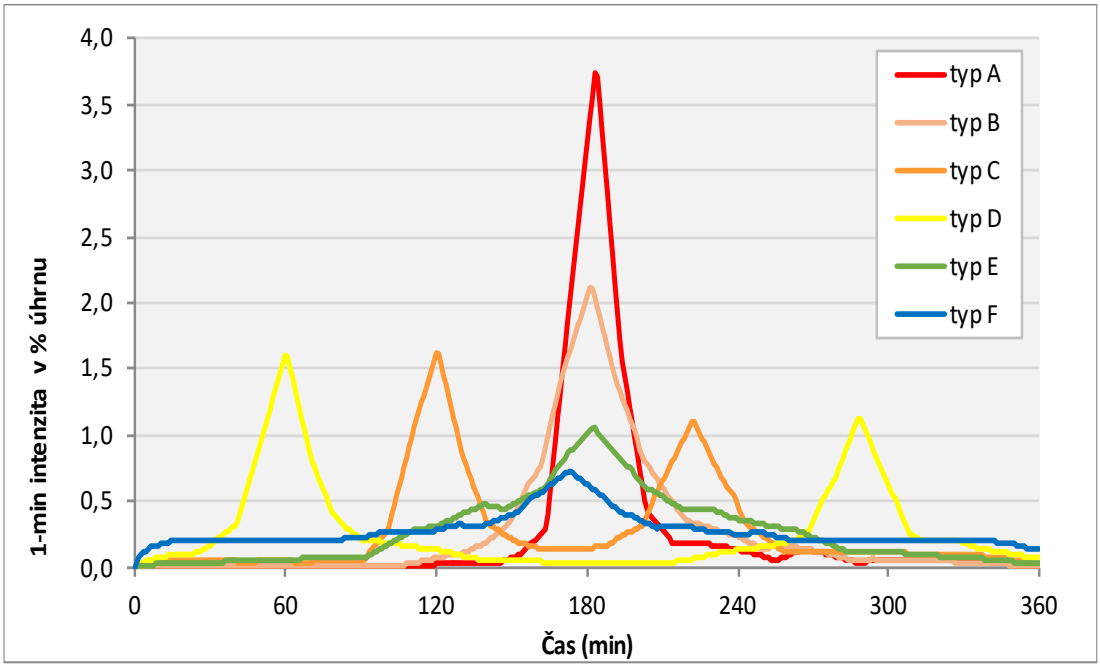
s tím, že jsou zanedbány části srážky před výskytem uvažovaného maxima a po něm, což může ovlivnit odvozené veličiny návrhového objemu i kulminačního průtoku. Vztahy a koeficienty redukční metody pro území ČR (Hrádek, 1994) byly odvozeny na základě maximálních intenzit dešťů (Trupl, 1958) pro povodí Labe a denních úhrnů do roku 1985 (Šamaj, 1985). Hodnoty denních úhrnů byly opakovaně aktualizovány a lze je získat od ČHMÚ, samotné koeficienty redukční metody však stále vychází z původní datové základny.

Návrhové šestihodinové srážky

Návrhové šestihodinové srážky jsou odvozeny na základě analýz historických srážek pro fixní šestihodinové okno. Charakteristikou těchto srážek je, že dostatečně postihují variabilitu příčinné srážky. Uvedené okno zahrnuje výskyt a intenzity jak konvektivních (bouřkových) srážek, tak nejintenzivnější část stratiformních (déle trvajících) srážek. Kratší časové okno tuto variabilitu nepostihuje. Tyto odvozené návrhové srážky popisují nejen intenzitu deště, ale také možné zastoupení syntetických hyetogramů popsaných dále. Zároveň se zpravidla jedná o jednu srážkovou událost na rozdíl od denních úhrnů, které mohou zahrnovat více nezávislých srážek. Uvedená vlastnost může být problematická z pohledu odtoku, protože povodeň může být vyvolána právě několika nezávislými srážkami jdoucími po sobě. Využití variant šestihodinového deště vede ke stochastickému řešení výsledného průtoku. Návrhové srážky jsou na území ČR značně proměnlivé. Úhrny ve dvou odlišných lokalitách mohou být pro určitou dobu opakování až dvojnásobné. Ucelená data návrhových (krátkodobých) srážek pro doby opakování 2 až 100 let jsou dostupná na portálu rain.fsv.cvut.cz, kde jsou poskytována prostřednictvím webových služeb, které umožňují jejich efektivní využití.

Zastoupení průběhů intenzit srážek

Na základě analýz historických srážek na území ČR byly odvozeny syntetické průběhy intenzit šestihodinových srážek – návrhové hyetogramy (Müller et al., 2018), které jsou rovněž dostupné na rain.fsv.cvut.cz.



Obr. 4-1. Šestice syntetických průběhů šestihodinových srážek pro území ČR

Zastoupení typů jednotlivých průběhů je stejně jako v případě úhrnů na území ČR proměnlivé. Z hlediska rozložení srážek platí, že s rostoucí dobou opakování návrhového úhrnu dochází k větší koncentraci vysokých hodnot zastoupení jednotlivých typů hyetogramů ve specifických oblastech.

Dostupnost charakteristik návrhových srážek

Data návrhových šestihodinových srážek (intenzita, zastoupení tvarů a počáteční podmínky) jsou společně poskytována na portálu rain.fsv.cvut.cz. Kromě podrobného popisu poskytovaných dat je zde uveden i návod ke konkrétním službám. Pro nejběžnější využití slouží webová aplikace HYDRORAIN-6H (https://rain.fsv.cvut.cz/webapp2/hydrorain_6h/).

Srážkové scénáře

Do odvození návrhových veličin (zejména maximální průtok a objem odtoku) je třeba zahrnout fakt, že návrhový déšť o určitém úhrnu (době opakování) v určitém místě může mít různý průběh intenzit, kterým odpovídají příslušné pravděpodobnosti stavu počátečního nasycení. Pro využití v návrhové praxi je tato nejistota redukována na zastoupení šesti variant popsaných tvarů typických hyetogramů s odpovídajícím počátečním stavem nasycenosti. Odvození výsledné návrhové veličiny (maximální průtok nebo objem odtoku), která je redukována na jednu návrhovou hodnotu, v sobě musí zahrnout pravděpodobnost zastoupení odezev na jednotlivé hyetogramy a k nim odpovídajících počátečních nasyceností j se zahrnutím jejich pravděpodobnosti. Tyto veličiny jsou jinak využívány pro metodu SCS-CN a jinak ve fyzikálních modelech.

Intenzita srážky, zastoupení tvarů a k nim určená předchozí nasycenost jsou prostorově značně variabilní, a to i v závislosti na době opakování. Obecně platí, že pro varianty srážek koncentrovaných do jednoho krátkého časového úseku (tvary hyetogramů A a B) jsou pravděpodobnosti výskytu vlhkého počátečního stavu na úrovni CN3 na většině území nižší než 20 %. Naopak srážky rozložené vcelku rovnoměrně do celého šestihodinového úseku (typ F) se vyznačují zvýšenou pravděpodobností vlhkého stavu, neboť se často jedná o nejintenzivnější výsek déletrvající srážkové události.

Stav počátečního nasycení

Předpokládané počáteční nasycení zásadně ovlivňuje průběh hydrologické odezvy. Ve vazbě na jednotlivé tvary hyetogramu byla provedena analýza nasycenosti, která předcházela významným srážkovým událostem, pomocí ukazatele předchozích srážek za pět dní (API5). Ze získaných hodnot API je odvozen kvantil stavu počátečního nasycení, který je podobně jako návrhové úhrny proměnlivý nejen prostorově na území ČR, ale také podle doby opakování a podle průběhu návrhové srážky, které předchází. Interpretace kvantilu počátečního nasycení a jeho využití při hydrologickém výpočtu je závislá na zvoleném hydrologickém modelu.

Z hlediska klasické metody SCS-CN se rozlišují pouze tři počáteční stavy, které vychází právě ze stanovení Indexu předchozích srážek (API5) a vedou ke třem variantám CN hodnoty: CN1 – suchý stav, CN2 – běžné počáteční nasycení, CN 3 – zvýšené počáteční nasycení. Z analýz API ze srážkových dat na celém území ČR lze říct, že hodnota API, která odpovídá podprůměrnému předchozímu nasycení a tedy CN1, se na území ČR téměř nevyskytuje a pro návrh opatření pro zachycení nebo převedení intenzivních odtoků se využití tohoto stavu pro podmínky ČR nedoporučuje.

Možné stavy nasycení povodí jsou tak redukovány na stavy CN2, které odpovídá normálnímu nasycení, a CN3 odpovídající zvýšenému počátečnímu nasycení. Hodnota CN3 je vypočtena z CN2 podle následujícího vztahu.

$$CN_3 = 23\ CN_2 / (10 + 0{,}13\ CN_2)$$

V případě nehomogenního povodí je třeba přepočet CN3 provést pro každou elementární odtokovou plochu a teprve poté stanovit průměr pro hodnocené povodí.

4.2.1.2 Morfologie

Data o morfologii, jako je nadmořská výška, sklon, akumulace atp., vychází z výškopisu, který je v dostatečné podrobnosti (prostorové rozlišení 5 x 5 m) v rastrové podobě pro ČR dostupný na ČÚZK jako DMR4G.

4.2.1.3 Využití území

Pro území ČR jsou dostupné zdroje o využití území ve vektorové podobě v dostatečném rozlišení součástí ZABAGED. Nově jsou součástí ZABAGED kategorizované lesní porosty. Problematickou zůstává kategorie „orná půda a ostatní dále nespecifikované plochy". Pro zemědělskou půdu lze pro její zpřesnění využít veřejnou část databáze Veřejný registr půdy LPIS, která obsahuje geometrii využívaných zemědělských ploch. Kombinací těchto dvou vrstev je možné zpřesnit přiřazení charakteristik povrchu jak pro metodu CN, tak pro fyzikálně založené modely. Součástí návrhu opatření by měl být provedený terénní průzkum, při kterém je možné plochy dále kategorizovat a doplnit nemapované prvky, případně rozšíření nebo zmenšení hodnoceného území z důvodů přítomnosti přerušujících prvků v ploše povodí. Může se jednat o liniové technické prvky (příkopy, průlehy aj.) vybudované v ploše povodí z důvodů protierozní ochrany. Dále upřesnit množství zpevněných ploch, které zásadně ovlivňují odtokovou odezvu zejména z návrhových dešťů o nižších intenzitách.

4.2.1.4 Půdní data

Vlastnosti půdy ovlivňují hydrologickou bilanci zejména prostřednictvím infiltrace. Samotná infiltrace srážkové vody do půdy je složitý proces, který je ovlivněn celou řadou podmínek. Zásadní vliv má půdní textura – zrnitostní složení, obsah organické hmoty a objemová hmotnost. Mimo tyto fyzikálně popsatelné charakteristiky ovlivňuje hydrologické vlastnosti půd také její vznik, tedy pedogeneze a hloubka půdního horizontu.
Nejpřesnější metodou získání hydrologických vlastností půdy je pedologický průzkum a následné odvození charakteristik půdy v terénu nebo z odebraných vzorků.
Určitým zjednodušením jsou pak odvozené mapové podklady půdních vlastností (BPEJ, digitální mapování půd). Pro metodu SCS-CN byly pro ČR různými autory odvozeny různé mapy hydrologických skupin půd (HSP). Mezi těmito zdroji jsou podstatné rozdíly, které vychází ze způsobu jejich odvození. Doporučuje se aplikace méně příznivých podmínek nebo výběr jednoho z mapových zdrojů podle výsledků vlastního pedologického průzkumu.
Mapy HSP a texturních vlastností vycházející z autorů (Strouhal et al., 2021; Žížala et al., 2021; Beitlerová et al., 2021) jsou dostupné na rain.fsv.cvut.cz a vumop.cz.
Na geoportálu VÚMOP jsou rovněž k dispozici mapy hydrologických funkcí půdy (Vopravil, 2018), dostupné v náhledové formě. Pro projekční praxi, či jiné aplikační využití, je možné o tyto mapy požádat na oddělení Pedologie a ochrana půdy VUMOP,v.v.i.

4.2.2 Odvození objemu přímého odtoku – metoda SCS-CN

Metoda CN odvozuje výšku přímého odtoku ze zákona zachování objemu a z předpokladu, že poměr odtokové výšky k srážkovému úhrnu bez počátečních ztrát (intercepce, povrchová retence) je roven poměru infiltrované části srážky k maximální potenciální retenci. Základní vztah pro určení odtokové výšky – úhrnu efektivní srážky uvádí následující rovnice:

$$H_0 = \frac{(H_S - I_a)^2}{(H_s - I_a + A)}$$

Kde:

H_0 *výška přímého odtoku (mm),*
H_s *celkový srážkový úhrn (mm),*
I_a *počáteční ztráta (mm),*
A *maximální potenciální retence (mm).*

Ke stanovení přímého odtoku (odtokových ztrát) je využívána metoda CN, neboť je dobře aplikovatelná na nepozorovaná povodí a veškerá vstupní data jsou snadno k dispozici. Na základě vstupních dat využití území, hydrologických skupin půd a tabulek CN jsou vypočteny průměrné hodnoty CN a hodnoty počáteční ztráty Ia (Initial Abstraction), které se vyjadřují jako procentuální podíl maximální potenciální retence A:

$$Ia = \lambda A$$

λ je poměrový koeficient s odvozenou hodnotou 0,2 (20 % vychází z výsledků analýzy na malých experimentálních povodích v USA), ale v odůvodněných případech lze použít jinou hodnotu. Např. pro urbanizovaná hladká povodí bez výrazné vegetace ve výši 10 % (případně uvedeným způsobem může být postihnuto silné zhutnění zemědělských ploch), pro povodí s členitým povrchem a hustou vegetací ve výši 25 %. Maximální potenciální retence povodí A je určena na základě hodnoty odtokové křivky CN jako:

$$A = 25{,}4 \left(\frac{1000}{CN} - 10 \right)$$

Objem přímého odtoku je pak následně odvozen ze získané výšky odtoku dle vztahu:

$$V = H_0 \cdot P \cdot 1000$$

Kde:

V *objem přímého odtoku (m^3),*
H_0 *výška přímého odtoku (mm),*
P *plocha přispívajícího povodí (km^2).*

Samotné určení čísla CN je kombinací typu povrchu, infiltrační schopnosti půdy a stavu počátečního nasycení. Tyto hodnoty jsou většinou určeny tabelárně podle následujících charakteristik (Janeček, 2012):

- hydrologických vlastností půd rozdělených na základě minimálních rychlostí infiltrace vody do půdy bez pokryvu po dlouhodobém sycení,
- vlhkosti půdy určované na základě 5denního úhrnu předcházejících srážek, resp. indexu předchozích srážek (API5) ve 3 stupních: CN1 – suchý stav (který se v ČR prakticky nevyskytuje a návrhy na tento stav mohou být podhodnoceny), CN2 – běžné počáteční nasycení, CN 3 – zvýšené počáteční nasycení. Pro návrhové účely se uvažuje CN2 pro běžné počáteční nasycení půdy vodou, nebo v případě zvolené metody 6hodinových srážek kombinace zastoupení běžného nasycení (CN2) a zvýšeného nasycení (CN3),
- využití půdy, vegetačního pokryvu, způsobu obdělávání a uplatnění protierozních opatření.

Hodnoty CN pro stupeň středního nasycení (CN2) jsou uvedeny v Tab. 4-1.

Tab. 4-1. Tabulka vybraných kategorií hodnot CN

Typ využití povrchu		CN2 pro příslušné hydrologické skupiny			
		A	B	C	D
Orná půda	Neoseto – dobré hydrologické podm.*, posklizňové zbytky	74	83	88	90
	Mimoprodukční plocha a navržená technická opatření na OP	39	61	74	80
	Širokořádkové plodiny – špatné hydrologické podm.*, přímé řádky	72	81	88	91
	Širokořádkové plodiny – dobré hydrologické podm.*, vrstevnicové řádky	65	75	82	86
	Úzkořádkové plodiny – špatné hydrologické podm.*, přímé řádky	65	76	84	88
	Úzkořádkové plodiny – dobré hydrologické podm.*, vrstevnicové řádky	61	73	81	84
	Víceleté pícniny, vrstevnicové řádky, dobré hydrologické podm.*	61	73	81	84
	Úhor černý	77	86	91	94
Travní porost	Intenzivní pastviny – špatné hydrologické podm.*	68	79	86	89
	Extenzivní pastviny a louky – dobré hydrologické podm.*	39	61	74	80
	Travní kultury na mělkých půdách (horské louky, vrchoviště vřesoviště) – nasycené půdy, špatné hydrologické podm.*	77	86	91	94
Intenzivní sady, vinice, chmelnice s holým meziřadím		60	74	83	87
Lesní porost	Lesní porost – dobré hydrologické podm.**	30	50	60	67
	Lesní porost – střední hydrologické podm.**	56	71	80	85
	Lesní porost – špatné hydrologické podm.**	51	69	79	85
	Lesní porost křovinatý	30	50	60	67
	Školka a rychle rostoucí dřeviny	48	67	77	83
Extenzivní smíšené porosty	Málo udržované vícedruhové porosty (křoviny na lesní půdě, extenzivní sady a doprovodná vegetace komunikací a toků)	43	65	76	82
	Udržované plochy s vícedruhovými porosty (zahrady, parky, sady a hřbitovy)	49	69	79	84
	Trvale zamokřené plochy (mokřady, zamořené louky atp.)	85	90	93	94
	Řídká vegetace	63	77	84	89
	Mimoprodukční plocha	30	58	71	78
Antropogenní a zpevněné plochy* **	Nepropustné povrchy	89	92	94	95
	Polopropustné povrchy	61	75	83	87
	Antropogenní propustné plochy	51	68	79	84
Vodní plochy		99	99	99	99

* *Dobré nebo špatné hydrologické podmínky zemědělských půd závisí především na oseuních postupech zhutnění půdy, její degradaci, hustotě zapojení porostu během roku, procentuálním zastoupení jetelotrav u oseuním postupu, množství posklizňových zbytků na pourchu, na drsnosti pourchu.*

** *Hydrologické podmínky lesních porostů jsou závislé především na hustotě pokryuu, bylinného patra, hrabanky apod. Nerozložené listí, jehličí, větévky, kůra a jiné zbytky vegetace na lesní půdě tvoří hrabanku, ze které uzniká urstva nadložního humusu. Dobré hydrologické podmínky lze aplikovat tam, kde jsou lesní porosty u přirozeném klimatickém pásmu a jedná . Produkční, hospodářsky intenzivně využívané lesy s minimem bylinného patra jsou pak řazeny do špatných hydrologických podmínek. Špatné hydrologické podmínky jsou také na mělkých lesních půdách a na půdách o velkých sklonech.*

*** *Za nepropustné plochy je považována městská zástauba s převládajícím komerčním a obchodním uužitím, 85 % a více zcela nepropustných pourchů (střechy, asfaltové silnice atp.) napojených na kanalizaci. Za středně propustné plochy jsou pak považována urbanizovaná území s koeficientem zastavěnosti cca 40 %, za dobré podmínky pak urbanizovaná území s koeficientem zastavěnosti do 20 %.*

Uvedená čísla odpovídají průměrným hospodářským podmínkám během vegetačního období. Sezonní změny v CN se při návrhu opatření neuvažují. Detailnější popis jednotlivých kategorií je možné získat z originálních metodik SCS-CN nebo také na stránkách https://rain.fsv.cvut.cz/scs-cn/ anebo jsou součástí dále uvedených SW nástrojů.

4.2.3 Výpočet kulminačního průtoku

Samotná metoda SCS-CN poskytuje pouze informaci o objemu přímého odtoku. Pro návrh odváděcích opatření je klíčové odvodit rovněž návrhový průtok, který odpovídá kulminačnímu průtoku odezvy na návrhové srážky, což znamená pro zadaný hyetogram návrhové srážky, případně blokový déšť odvodit maximum vyvolané odtokové vlny. Standardně výpočet probíhá ve třech krocích:

a) Odvození doby zpoždění (T_{lag}) a doby koncentrace (T_c)
b) Stanovení tvaru hydrogramu
c) Odvození maximálního průtoku

Odvození doby zpoždění a doby koncentrace

Tvar a rychlost hydrologické odezvy příslušného záleží na tvaru povodí, převýšení a dalších parametrech, které jsou vyjádřeny charakteristikami povodí (T_{lag} a T_c).

Pro určení doby zpoždění T_{lag}, lze využít níže uvedenou rovnici, která zohledňuje základní parametry povodí. Doba zpoždění T_{lag} je v modelu stanovena z morfologických charakteristik povodí dle vztahu:

$$T_{lag} = \frac{(3{,}281 \cdot L)^{0{,}8}\,(0{,}0394 \cdot A + 1)^{0{,}7}}{1900 \cdot \sqrt{Y}}$$

Kde:

T_{lag}	*doba zpoždění (h),*
L	*délka údolnice k rozvodnici (m),*
Y	*průměrný sklon povodí (%),*
A	*maximální retence povodí (mm).*

Výsledná doba kulminace se pak zaokrouhlí na nejbližší násobek délky srážkového pulzu, který odpovídá zvolenému časovému kroku výpočtu. Doporučuje se časový krok 5 nebo 10 minut.

Dalším parametrem je doba koncentrace, která odpovídá času potřebnému k odtoku z hydrologicky nejvzdálenějšího bodu povodí. Pro výpočet doby koncentrace T_c je k dispozici několik vztahů, pro praktické úlohy na malých povodích se jedná například o vzorec:

$$T_c = \frac{T_{lag}}{0,6}$$

Kde:

T_c *doba koncentrace pourchového odtoku (h),*

T_{lag} *doba zpoždění (h).*

Odhad doby koncentrace je na základě jednotlivých fází typu odtoku také uváděn v metodice Janeček (2012), kde se samotná hodnota T_c odvozuje jako součet časů jednotlivých fází odtoku podle rovnice ve tvaru:

$$T_c = T_{ca} + T_{cb} + T_{cc}$$

Kde:

T_c *doba koncentrace pourchového odtoku (h),*

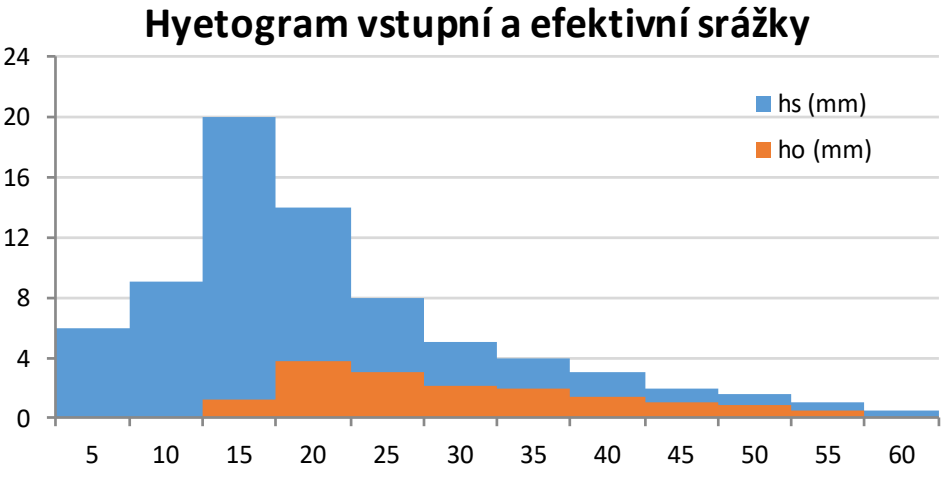
T_{ca} *doba trvání plošného pourchového odtoku (h),*

T_{cb} *doba trvání soustředěného odtoku o malé hloubce (h),*

T_{cc} *doba trvání soustředěného odtoku v korytech (h).*

Odvození tvaru odtokové odezvy a maximálního průtoku

Pro odvození kulminačního průtoku existuje řada metod. Zvolená metoda by měla odpovídat charakteru území, jeho velikosti, chodu srážek a případně by měla být zvolena na základě kalibrací. Je možné použít metodu uvedenou v metodice (Janeček, 2012), která je určena pro početní řešení i bez využití SW. Softwarové nástroje popsané dále nejprve odvozují tzv. hyetogram efektivní srážky, který spočívá v aplikaci výše uvedených vztahů metody CN postupně ve všech časových krocích. V každém časovém kroku je vyčíslena kumulativní srážková výška H_s, z ní kumulativní počáteční ztráta I_a a poté kumulativní odtoková výška H_o. Rozdílem kumulativních odtokových výšek H_o ve vedlejších časových krocích jsou určeny pulzy efektivní srážky h_o, které dohromady tvoří hyetogram efektivní srážky (viz Obr. 4-2).



Obr. 4-2. Průběh návrhové srážky (hs) a efektivní srážky (h_o)

K odvození průběhu odtokové vlny a z něj odvozeného maximálního průtoku se v hydrologii používají různé metody, z čehož nejvhodnější jsou uvedeny dále.
Maximální průtok odvozovaný na základě nomogramů je uveden v metodice (Janeček, 2012). Odvození těchto nomogramů bylo provedeno na základě výpočtů odezev na návrhové hyetogramy srážek v USA metodou jednotkového hydrogramu.
Za standardní je považována dále popsaná metoda jednotkového hydrogramu dané doby trvání. Jednotkový hydrogram představuje odtokovou vlnu vyvolanou jednotkovým srážkovým pulzem (např. 1 mm) spadlým v definovaném časovém kroku. Výsledný odtokový hydrogram vzniká součtem dílčích odtokových vln vyvolaných jednotlivými pulzy efektivní srážky. Z celé řady typů hydrogramů jsou doporučovány dva:

- SCS hydrogram,
- Clarkův hydrogram.

SCS jednotkový hydrogram
Prvním a nejjednodušším pro aplikaci je bezrozměrný jednotkový hydrogram dle SCS, který je dostatečný pro výpočet kulminačního průtoku z jednotlivých pozemků. Jeho tvar je definován relativními jednotkami na obou osách.

Tento hydrogram je navržen tak, že jeho doba poklesu je rovna pětinásobku doby kulminace T_p, celková délka jednotkového hydrogramu je tedy se započtením vzestupné i sestupné větve rovna pětinásobku T_p:

$$T_{CELK} = 5 \cdot T_p$$

Osa x je definována jako poměr aktuálního času vůči pevně zvolené době kulminace T_p, která je jediným parametrem křivky. Osa *y* je potom relativní podíl aktuálního průtoku vůči maximální hodnotě kulminačního průtoku Q_p, která se dopočítává dle zákona zachování objemu z T_p. Při praktickém výpočtu záleží na časovém kroku srážkového pulzu D, který je doporučován použít o délce 5 minut a na hodnotě T_p *(lze využít i jiné časové kroky D v závislosti na kroku příčinné srážky)*. Ta se určuje jako polovina časového kroku srážky plus tzv. doba zpoždění (posun kulminace oproti středu srážkového pulzu):

$$T_p = \frac{D}{2} + T_{lag}$$

Kulminační průtok příslušného srážkového pulzu se stanoví ze vztahu:

$$Q_p = \frac{(H_0 \cdot P)}{(4{,}806 \cdot T_p)}$$

Kde:

H_O *výška přímého odtoku (efektivní srážkový pulz) (mm),*
P *plocha povodí (km^2),*
T_p *doba kulminace (hod),*
Q_p *kulminační průtok srážkového pulzu ($m^3.s^{-1}$).*

Pro odvození jednotkového hydrogramu ze vzorce výše přitom uvažujeme pro konkrétní povodí jeden milimetr efektivní srážky a již konkrétní plochu povodí a vypočtenou dobu koncentrace odtoku v daném povodí. Podle originální metodiky SCS-CN (SCS 1986) se následně získanými parametry Q_p a T_p přenásobí tabelované hodnoty pořadnic bezrozměrného hydrogramu, čímž se získá tabelovaná funkce Q (m^3/s) v závislosti na t (h). Nevýhodou tohoto přístupu je, že časový krok této tabelované funkce neodpovídá časovému kroku hyetogramu efektivní srážky a je nutné získané hodnoty interpolovat. Automatizovat lze tento výpočet např. využitím volně dostupného modelu HEC-HMS. Pro ruční výpočet je nejsnadnější aproximace průběhu originálního bezrozměrného hydrogramu gamma funkcí dle vztahu:

$$Q = Q_p \cdot \left[\frac{t}{T_p \cdot e^{\left(1 - \frac{t}{T_p}\right)}} \right]^{3,7}$$

Takto určený jednotkový hydrogram je dále použit pro přenásobení každého efektivního srážkového pulzu s příslušným posunem. Součtem dílčích odezev na všechny efektivní srážkové pulzy je stanoven výsledný odtokový hydrogram. Maximální hodnota tohoto hydrogramu odpovídá návrhovému kulminačnímu průtoku. Tento přístup je využit v modulu Atlas HYDROLOGIE a lze jej aplikovat v prostředí HEC-HMS.

Clarkův hydrogram

Tento hydrogram je na rozdíl od SCS hydrogramu dvouparametrický a jeho využití je vhodné pro odvození kulminačních průtoků z malých povodí. Prvním parametrem je výše uvedená doba koncentrace a dále pak hodnota Transformačního faktoru (R) je dána dle vzorce vycházejícího z metodiky odvozené v USA (Straub a kol., 2000):

$$R = a(0{,}00062137L)^b \, (5280 \cdot S_{1085})^c$$

Kde:

L	*délka údolnice (m),*
S_{1085}	*průměrný sklon údolnice v úseku mezi 10–85 % délky (–),*
a, b, c	*parametry.*

Parametry byly stanoveny na základě zkušeností ze simulačních výpočtů povodňových událostí na území ČR na hodnoty a = 80, b = 0,342, c = –0,79 (Kavka, 2023).

Výpočet průběhu odtoku je nad rámec této metodiky a doporučuje se využít takto získané parametry ve specializovaných SW viz kapitola 4.3. V případě výpočtu kulminačních průtoků v závěrovém profilu malých povodí se doporučuje pro transformaci vlny v korytě využít transformační metodu Muskingum-Cunge, která je rovněž součástí SW. Metoda vychází z jednoduché bilance přítoku a odtoku v rámci úseku vodního toku a je podrobněji popsána v manuálu USACE (1994).

4.3 Doporučovaný software využívající metodu SCS-CN

Metoda SCS-CN je integrována do řady komerčních i otevřených modelovacích prostředků, např. volně dostupného HEC-HMS nebo českého Atlas Hydrologie. Nicméně platí, že v případě navrhování vodních děl na vodních tocích, kde dochází ke vzdouvání hladiny nebo akumulaci vod, je zásadní bezpečnost. Poskytování návrhových dat je pro navrhování opatření na síti vodních toků podřízeno ČSN 75 1400 („Hydrologické údaje povrchových vod"). Tato norma stanoví, že standardní hydrologické údaje zpracovává nebo ověřuje odborně způsobilá právnická osoba pověřená ústředním orgánem státní správy v dané oblasti. Touto činností je Ministerstvem životního prostředí pověřen Český hydrometeorologický ústav (ČHMÚ). Metoda SCS-CN je využívána v určitých případech při odvozování těchto standardních údajů právě podle ČSN 75 1400.

4.3.1 HEC-HMS

Otevřené prostředí HEC-HMS umožňuje využití širšího množství modelů než hojně využívanou metodu SCS-CN. Pro navrhování opatření je v prostředí programu možné využít kombinaci právě metody SCS-CN s SCS jednotkovým hydrogramem, případně Clarkovým hydrogramem. Parametry výpočetních metod si uživatel zadává do prostředí po výpočtu v externích programech. Jejich odvození a import umožňuje nadstavba GeoHMS, volně dostupný toolbox pro ArcGIS.

4.3.2 Atlas HYDROLOGIE

Model Atlas HYDROLOGIE je plně integrován do prostředí Atlas DMT. Jedná se o nadstavbový modul, při jehož využití má uživatel k dispozici všechny nástroje programu Atlas pro práci s modelem terénu, editace i tvorbu tiskových sestav. Při využití tohoto modulu jsou uživateli k dispozici nástroje pro generování plochy povodí ke zvolenému uzávěrovému profilu, automatizovaný import dat, editaci a optimalizaci návrhů opatření, export výstupů přímo do tiskových sestav a nástroj pro orientační dimenzování vybraného opatření. V modulu je plně integrována metoda SCS-CN pro výpočet objemu odtoku a transformace povodňové vlny pomocí SCS jednotkového hydrogramu. Popis výpočtu je dostupný v manuálu uvedeném na webových stránkách firmy Atlas.

4.3.3 HydroRAIN

Volně dostupný nástroj přístupný na stránce rain.fsv.cvut.cz, který slouží pro odvození návrhového objemu odtoku a který v sobě zároveň integruje výše popsaný přístup modelování více typů příčinných srážek. Jedná se o jednoduchý nástroj, který na základě výběru polohy na mapě území ČR a při zadání velikosti zkoumaného pozemku a zadané hodnoty CN2 a po výběru zvolené doby opakování vypočte návrhový objem odtoku. Aplikace HYDRORAIN-CN je dostupná na adrese (https://rain.fsv.cvut.cz/webapp2/hydrorain_cn/).

4.3.4 DESQ

Program pracuje s využitím metody SCS-CN a denními srážkovými úhrny a umožňuje jejich redukci na srážku o kratší době trvání. Program umožňuje práci s blokovým deštěm. Sam otná doba koncentrace je počítána s využitím drsnosti povrchu podle metody uvedené v Janeček et al. (2012). Program je poměrně jednoduše ovladatelný. Uživatel zadává pouze základní údaje o povodí a výšku (případně trvání deště podle zvolené varianty výpočtu). Program je schopen sám spočítat redukovaný déšť, a tak určit návrhový průtok i hydrogram povodně. V rámci práce s modelem je nutné dbát upozornění ohledně hodnot denních návrhových úhrnů, využití redukčních metod a doby koncentrace pro určení maximálního průtoku.

4.4 Fyzikálně založené modely

Vedle metody SCS-CN jsou pro navrhování opatření v krajině využívány fyzikálně založené procesní modely. Většina aplikačních modelů redukuje popis přírodních procesů na modelování konkrétní epizody a popisuje pouze vybrané procesy, základ tvoří bilanční vztahy a rovnice popisu proudění. Množství vody na povrchu, které se následně formuje do povrchového odtoku, vychází z bilance vody na povrchu, do které jsou uvažovány procesy infiltrace, retence a intercepce. Výpar a transpirace se vzhledem k epizodnímu řešení zanedbávají. Popis proudění je řešen zjednodušeně, nejčastěji formou kinematické vlny. Některé modely oddělují proces plošného odtoku od rýhového. Odtok hydrografickou sítí vodních toků je řešen samostatně. Rychlá složka proudění vody v půdním prostředí, která je také součástí přímého odtoku, je v modelech integrována zcela výjimečně.
Infiltrace je řešena pomocí infiltračních rovnic, do kterých vstupuje jak charakteristika půdního prostředí, tak stav počátečního nasycení. Tyto charakteristiky jsou získány buď měřením v terénu, anebo jejich odhady na základě pedotransferových funkcí, a to na základě půdní textury. Střední hodnoty pro jednotlivé půdní druhy jsou uvedeny v publikaci Kavka et al. (2021).

Výhodou procesně založených modelů je detailnější popis procesů. Příkladem může být počáteční nasycení, které je v procesních modelech definováno v počátečních podmínkách infiltrační rutiny prakticky spojitě (což je jeden ze zásadních rozdílů oproti metodě CN, kde je definováno třemi stavy CN1, CN2 a CN3). Fyzikální modely umožňují pracovat s hodnotami předchozího nasycení jakožto kontinuální hodnotou. Stav počátečního nasycení, který je zároveň počáteční podmínkou dané simulace, je odvozován analogicky jako pro metodu SCS-CN s rozdílem přesnějších určení stavu počátečního nasycení.
Stav počátečního nasycení má dopad na konkrétní parametry infiltračních rutin, které využívá konkrétní fyzikální model (např. Phillip, Green-Ampt, Richardsova rovnice), u kterých je mimo hydraulických charakteristik půd nutné definovat i počáteční nasycení půdního profilu. Určitým vodítkem mohou být stavy půdní vlhkosti odpovídající různým hydrolimitům (Kubát, 2024). Za suchý stav odpovídající běžné hodnotě API lze považovat bod snížené dostupnosti půdní vláhy. Za vlhký stav hodnotu polní kapacity, ta odpovídá poměrně vlhkému půdnímu prostředí, které typicky nastává přibližně 2 až 3 dny po předchozí vydatné srážkové události (objemová vlhkost při sacím tlaku 33 kPa, ČSN EN ISO 11274). Za zcela vlhký stav je uvažováno plné nasycení půdního profilu po předchozích srážkách a při modelování části déletrvajících dešťů.
Mimo infiltračních rutin stav počátečního nasycení také ovlivňuje další parametry fyzikálních modelů, jako je povrchová retence a intercepce.
Vstupní datová základna je pro procesně založené modely v současnosti dostatečná a v dostatečném prostorovém rozlišení. Nevýhodou těchto modelů jsou větší nároky na uživatele, znalost prostředí modelu a výpočetní numerický čas. Tyto nevýhody pak vyvažují klady v podobě výstupů v pravidelném rastru – celé řešené doméně a propojením hydrologického modelu s hodnocením erozního ohrožení do jednoho nástroje.
V případě využití modelu musí uživatel popsat, jakým způsobem konkrétní model zachycuje jednotlivé procesy a v jakém nastavení je využil pro výpočet.
Je nad rámec této metodiky detailně popisovat jednotlivé modely a principy řešení, ty jsou uvedeny v manuálech příslušných modelů. Popis modelů, které jsou, anebo byly v minulosti v českém prostředí využity, včetně rozboru principů řešení, je uveden v metodice Kavka (2018, 2023). Příkladem je model SMODERP 2D. Tento procesně založený hydrologicko-erozní model je přímo zacílen na odvození návrhových veličin pro navrhování drobných staveb v krajině. Výsledky tohoto epizodního modelu lze využít k získání příslušných návrhových parametrů pro navrhovaná opatření staveb v krajině. V modelu jsou zahrnuty procesy infiltrace, povrchové retence, intercepce. Model odlišuje formování odtoku v plošném, soustředěném/rýhovém odtoku a odtoku v síti vodních toků. Model je popsán v publikaci (Kavka et al., 2022). Model je dostupný na stránkách Katedry hydromeliorací a krajinného inženýrství, Fakulty stavební, ČVUT v Praze (smoderp.fsv.cvut.cz).

5 Ekonomické aspekty eroze půd

Eroze půdy negativně ovlivňuje nejen vlastní půdu, ale i další složky životního prostředí a potravinovou bezpečnost. V souvislosti s tímto typem degradace půdy se počítá s možným snížením celosvětové zemědělské produkce o 33,7 milionu tun s doprovodným zvýšením světových cen komodit a potravinářských výrobků o 0,4–3,5 % v závislosti na kategorii těchto výrobků (Lal, 1998).
V Evropě je přibližně jedna třetina půdy vystavena vysokému až velmi vysokému riziku vodní eroze (van den Born et al., 2000). Odhadovaná roční ztráta produktivity se u plodin v EU odhaduje na přibližně 1,2 miliardy EUR a roční náklady související s erozí půdy jsou pro zemědělský sektor EU na úrovni přibližně 300 milionů EUR, což vede ke ztrátě přibližně 155 milionů EUR na HDP (Panagos et al., 2018). Zároveň práce poukazují na roční ztráty produktivity pro jednotlivé země EU, přičemž k největším ztrátám dochází ve státech jižní Evropy, menší problémy jsou zaznamenávány ve střední a severní Evropě.
Odhadovat globální ekonomické dopady eroze není jednoduché a v literárních zdrojích se informace značně liší. Kromě ztráty půdy a změn půdních vlastností způsobuje eroze půdy ekonomické ztráty, které mohou být vyjádřeny v nákladech vzniklých nejen zemědělcům, ale i celé společnosti za nápravu škod. V USA tak byly náklady související s erozí půdy odhadnuty na 44 miliard dolarů ročně (Telles et al., 2011). Řada studií popisuje erozní procesy se škodami a náklady na místě (tzv. on site náklady), kdy ztráta půdy přímo ovlivňuje zemědělskou produkci se snížením výnosů, ztrátou živin a poškozením kvality půdy. Celosvětově se ztráta půdy v důsledku eroze odhaduje na 20–30 Gt za rok a s tímto množstvím přicházíme i o 23–42 Mt dusíku a 15–26 Mt fosforu, přičemž tyto živiny musí být nahrazeny hnojením (FAO a ITPS, 2015).
Výše celospolečenských nákladů a přínosů v zemědělství úzce souvisí se stavem krajiny a s její schopností regulovat přírodní procesy, redukovat výši negativních externalit a poskytovat další užitky v podobě např. estetických vjemů a rekreačních příležitostí. Tyto přínosy krajiny se nazývají ekosystémové služby. Ekosystémové služby jsou děleny do 4 základních kategorií. Jedná se o regulační, kulturní, produkční a podpůrné ekosystémové služby.
Je možné identifikovat široké spektrum ekosystémových služeb (např. Macháč et al., 2020), jejichž míra poskytování je negativně dotčena vodní erozí, transportem a depozicí sedimentů, respektive zavedení opatření na ochranu půdy má na jejich poskytování pozitivní dopad.
Opatření podporující ochranu půdy je možné rozdělit do následujících kategorií regulačních a produkčních služeb:

- regulace odtoku,
- redukce povodňového rizika,
- ovlivnění jakosti vody,
- omezení eroze půdy a ztráty živin,
- produkce plodin.

Nerealizace opatření má za následek omezení poskytování ekosystémových služeb vlivem zrychlené vodní eroze. Dochází k ochuzení zemědělské půdy o nejúrodnější část – ornici, zhoršení fyzikálně-chemických vlastností půd, zmenšení mocnosti půdního profilu, zvýšení štěrkovitosti, snížení obsahu živin a humusu, snížení propustnosti půdy, poškození plodin, znesnadnění pohybu strojů po pozemcích a ztrátě osiv, sadby, hnojiv a přípravků na ochranu rostlin a tím se samozřejmě snižují i hektarové výnosy. Navíc transportované půdní částice a na nich vázané látky znečišťují vodní zdroje a zanášejí akumulační prostory nádrží, snižují průtočnou kapacitu toků, vyvolávají zakalení povrchových vod, zhoršují prostředí pro vodní organismy, zvyšují náklady na úpravu vody a těžbu sedimentu.
Vedle úbytku ornice a ztráty živin vedoucích k poklesu úrodnosti a tím výnosů má eroze půdy dopad i na celé povodí a intravilán obcí. Významně je negativně ovlivněna nejen kvalita vody, což má za následek eutrofizaci, ale také dochází k zanášení vodních toků a nádrží. Současně dochází k ohrožení intravilánu obcí, komunikací a další infrastruktury v krajině procesy povrchového odtoku.

Finanční náklady spojené s odstraněním sedimentů a náhradou živin a ztracené zeminy je možné vyjádřit pomocí ukazatelů postihujících jednotlivé dopady eroze:

- Ztráta orniční vrstvy v $t \cdot ha^{-1} rok^{-1}$ ($m^3 \cdot rok^{-1}$) je škodou, kterou je možné vyčíslit na základě výpočtu oderodovaného objemu půdy z erozně hodnocené plochy, kdy průměrná cena ornice je kalkulována ve výši 400–500 $Kč \cdot m^{-3}$.
- Pokles ceny půdy při postupující erozi, kdy dochází ke změnám BPEJ, lze ohodnotit s využitím vyhlášky č. 441/2013 Sb., k provedení zákona o oceňování majetku (oceňovací vyhláška).
- Snížení produkční schopnosti půdy a snížení výnosů je v současné době předmětem řady publikací na toto téma. Toto snížení výnosů na půdách ohrožených erozí je zapříčiněno zmenšením mocnosti povrchových horizontů, ztrátami živin a změnami vlastností půdy. FAO odhaduje, že průměrná ztráta 10 cm půdy má za následek 4 % snížení výnosů. Existují různé způsoby, jak tento problém studovat. Je možné hodnotit např. změny ceny půdy v důsledku eroze, pokles produkce plodin nebo lze použít makroekonomické modely. Možné je také kvantifikovat náklady na opatření proti erozi. S rozvojem technických možností jsou k dispozici i nástroje dálkového průzkumu Země (DPZ). Stále častěji se při studiu výnosů využívají vhodné indexy. Jeden z nejzmiňovanějších indexů týkajících se výnosu plodin je normalizovaný vegetační index (NDVI) nebo vegetační index EVI. Technologie DPZ s vysokým rozlišením lze také úspěšně použít k získání informací o hodnocení půdy bez vegetace a k definování rychlosti eroze, a to zejména na černozemních půdách. Tento přístup byl využit i při výzkumu v ČR, kde na erozí ovlivněných plochách s černozemí vycházel výnos obilnin cca o 16 % nižší než na erozí neovlivněných plochách (Šarapatka a Bednář, 2021). To odpovídá i starším studiím (např. Dzhadan et al., 1975), kdy na černozemích bylo snížení výnosů obilnin na středně erozně ohrožených plochách o 28 %. Obdobné hodnoty byly použity i v ČR, kdy v rámci řešeného povodí autoři uvažovali se snížením průměrné hrubé zemědělské produkce, příspěvku na úhradu zisku a fixních nákladů o 10 % u střední eroze, o 20 % u silné eroze a o 30 % u velmi silné eroze (Pražan a Koutná, 2012).
- Sanace efemerních rýh, kdy je možné vyčíslit náklady na tuto sanaci.
- Ztráta živin a vyčíslení nákladů na pořízení těchto živin podle jejich obsahu v 1 m^3 oderodované půdy.

Další škody a náklady představují zátěž, kterou nese životní prostředí, ekonomika a společnost. Tyto škody mimo vlastní erodovanou lokalitu (tzv. off site vlivy nebo náklady) jsou způsobeny především sedimentací odnášeného materiálu, snížením kapacity koryt řek a nádrží, zvyšujícím se rizikem povodní atd. Kromě těchto uvedených problémů obsahují sedimenty chemické látky, které mohou znečišťovat vodní toky, zvyšuje se jejich úživnost a vznikají problémy s eutrofizací. Počítat lze např. s následujícími náklady:

- Odtěžení zeminy a její transport zpět na pozemek nebo skládku, kdy průměrné náklady na odtěžení 1 m^3 zeminy mohou činit 450 Kč (v roce výpočtu se specifikují podle ceníku např. na klientském portálu ÚRS – app.urs.cz). K tomu je nutné připočítat transportní náklady, které se mění podle kontaminace tohoto sedimentu, kde nastávají možnosti jeho rozprostření na pozemek nebo nutnost s ním nakládat jako s toxickým odpadem.
- Likvidace sedimentů jako nebezpečného odpadu, kdy při překročení stanovených limitů musí být tento převezen na skládku nebezpečného odpadu. Náklady na odstranění sedimentů odtěžením a převozem na jiné místo je nutné kalkulovat podle platných ceníků.

Informací o vlivu erozních procesů na škody či zvýšené náklady můžeme v literatuře najít řadu s různými přístupy a publikovanými hodnotami.
Například Cost Benefit analýza (Mistr et al., 2021) provedená při procesu přijímání Protierozní vyhlášky ukázala, že změnou osevních postupů a používáním účinných půdoochranných technologií se sníží potenciální odnos ornice, díky čemuž dojde k omezení zrychlené vodní eroze půdy, zhoršování fyzikálně-chemických vlastností půd, zmenšování mocnosti půdního profilu, zvyšování štěrkovitosti, snižování obsahu živin a humusu, snižování propustnosti půdy, poškozování plodin, znesnadňování pohybu strojů po pozemcích, ztráty osiv, sadby, hnojiv a přípravků na ochranu rostlin a tím samozřejmě omezení snižování hektarových výnosů. Navíc opatření omezí množství transportovaných půdních částic a na nich vázaných látek, které zanáší akumulační prostory nádrží a snižují průtočnou kapacitu toků.

Tab. 5-1. Potenciální snížení množství usazeného sedimentu přijetím Protierozní vyhlášky 240/2021 Sb.

Plochy sídel a infrastruktury Vodní plochy	Snížení usazení sedimentu (%)	Hospodářské plochy	Snížení usazení sedimentu (%)
Sídla	22,1	Orná půda	21,8
Silniční a uliční síť	22,6	Sady	33,4
Železniční síť	24,2	Vinice	40,1
Polní cesty	27,3	Chmelnice	28
Vodní nádrže	16,7	Trvalé travní porosty	23
Říční síť	16,7	Lesní porosty	26,7

Hodnota, o kterou se díky zavedení regulace v podobě Protierozní vyhlášky sníží potenciální náklady spojené s odstraňováním následků eroze, byla vyčíslena na 3,2 mld. Kč ročně.

Z uvedeného je patrné, že erozní procesy mají jak výrazný vliv na kvalitu půdy a výnosy plodin, tak negativně ovlivňují vodní prostředí, způsobují škody v intravilánech obcí atd. Všechny tyto problémy mají svůj ekonomický rozměr, se kterým je nutné počítat a snažit se ochranou půdy a protierozními opatřeními vznikající škody minimalizovat.

6 Přílohy a praktické ukázky postupů, výpočtů, navrhování, dimenzování

6.1 Praktická ukázka stanovení ohroženosti území vodní erozí

Vzorový postup výpočtu vychází z Univerzální rovnice ztráty půdy vodní erozí (USLE), jež je popsána v kapitole 1.3. a je aplikována v GIS prostředí.

Pro stanovení dlouhodobé průměrné ztráty půdy vodní erozí (G):

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

Pro stanovení maximální přípustné hodnoty ochranného vlivu vegetace a protierozních opatření (C_p . P_p):

$$C_p \cdot P_p = \frac{G_p}{R \cdot K \cdot L \cdot S}$$

Jednotlivé faktory USLE zpracovatel vytvoří na základě informací uvedených v této metodice, nebo si stáhne (v případě, že daná vrstva je stahovatelná) z aplikace „Protierozní kalkulačka" (https://kalkulacka.vumop.cz/).

6.1.1 *Vymezení plochy pro výpočet eroze a erozně hodnocených ploch (EHP)*

Výpočet erozního smyvu v prostředí GIS závisí na kvalitě zdrojových dat. Zajištění těchto dat je jedním ze základních kroků při řešení problematiky týkající se identifikace lokalit (pozemků) ohrožených vodní erozí. Při použití metod s využitím GIS se pracuje s daty jednotlivých uvedených faktorů ve formě rastru nebo konstant.
Pro výpočet eroze, kdy nástroje GIS nad DMR umožňují vyhodnotit průběh erozního procesu od začátku jeho vzniku až do místa jeho ukončení, není nutno pracovat s erozně uzavřenými celky (jak definuje vyhláška č. 240/2021 Sb.), ale analýzy se provádí v rámci vymezené plochy pro výpočet eroze.

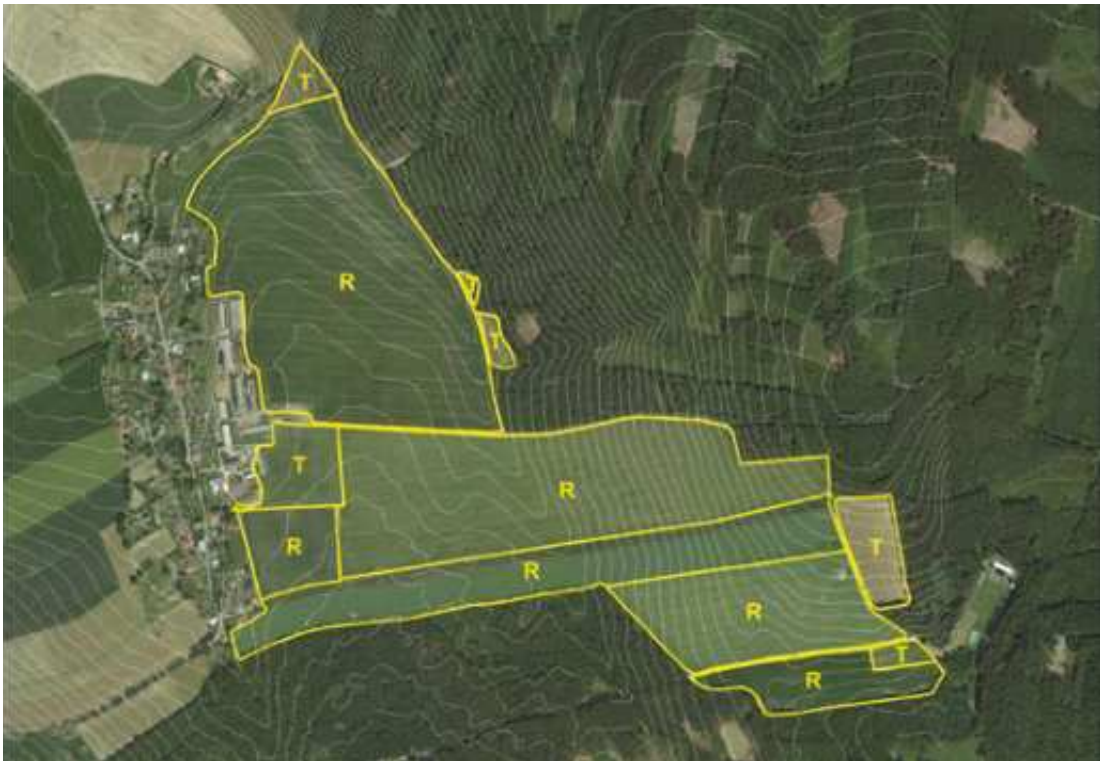
6.1.1.1 *Plocha pro výpočet eroze*

Je souvislé území, v rámci kterého dochází k lokálně uzavřenému eroznímu procesu na zemědělské půdě, ohraničenému místem, ve kterém vzniká povrchový odtok, a hranicí, kde je povrchový odtok přerušen. Plocha pro výpočet eroze může být území libovolné velikosti, pro které hodlá zpracovatel provést korektní výpočet vrstvy LS faktoru. Dále pro toto území zajistí všechny další vrstvy USLE a následně pomocí GIS vypočítá ohroženost vodní erozí. Podkladem pro stanovení plochy pro výpočet eroze jsou mapové podklady ZABAGED (polohopis, výškopis), LPIS, zaměření skutečného stavu, terénní šetření a případně hydrologické deriváty digitálního modelu terénu jako např. odtokové linie aj.

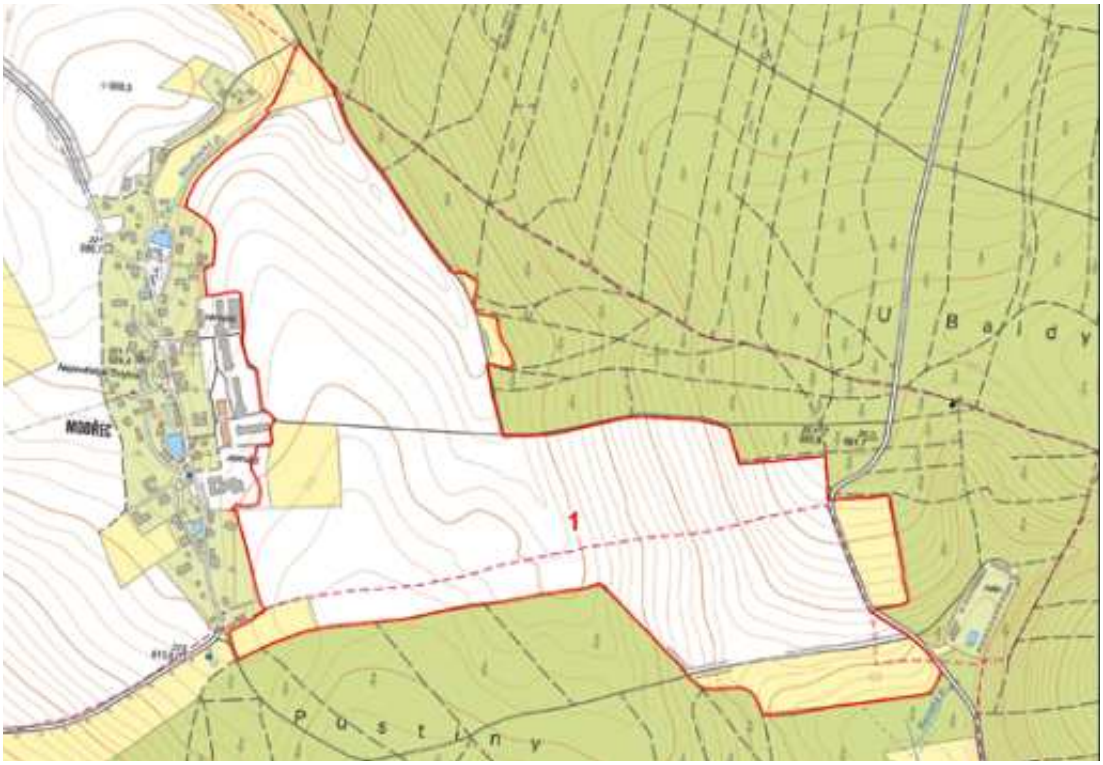
Základní pravidla správného stanovení plochy pro výpočet eroze:

- Hranice uživatelských bloků LPIS není přerušením svahu a nedělí plochu pro výpočet eroze (pokud se v ní nevyskytuje prvek přerušující povrchový odtok).
- Prostá změna zemědělské kultury není přerušením svahu a nedělí plochu pro výpočet eroze.
- Do plochy pro výpočet eroze nezahrnujeme lesy, intravilán ani jiné kultury nezemědělského charakteru.
- Do plochy pro výpočet eroze zahrnujeme veškeré plochy trvalých kultur.
- Polní cesta (libovolného povrchu) bez doplňkového liniového technického nebo biotechnického prvku (příkop, průleh aj.) není přerušením svahu a nedělí plochy pro výpočet eroze.
- U plochy pro výpočet eroze s jedním převažujícím druhem pozemku (např. orná půda či TTP) je možné zahrnout do výpočtu plošně nevýznamné jiné druhy pozemků (viz problematiku polních cest, ostatních ploch aj.),
- Zásadní roli hraje terénní průzkum a zaměření skutečného stavu, při kterém jsou objektivně posouzeny bariéry přerušující odtok vody po svahu a dělicí plochy pro výpočet eroze.

Následující obrázky prezentují správné stanovení plochy pro výpočet eroze v modelovém území.
Obr. 6-1 zobrazuje území, pro které budou vypočteny hodnoty G a $C_p \cdot P_p$. Na obrázku je na podkladu ortofotomapy vykreslen současný LPIS, tedy obhospodařované plochy včetně kódového označení kultury (R = orná půda, T = trvalý travní porost).



Obr. 6-1. Půdní bloky LPIS v modelovém území (písmeno v PB označuje způsob využití) na podkladě ortofoto (© ČÚZK; ©MZe)



Obr. 6-2. Správně vymezená plocha pro výpočet eroze pro modelové území na podkladě základní mapy ČR 1 : 10000 (© ČÚZK; © MZe)

6.1.1.2 Erozně hodnocená plocha (EHP)

Pro statistické vyhodnocení ohroženosti vodní erozí se určí erozně hodnocené plochy (EHP). EHP zpracovatel definuje na základě účelu, pro který ohroženost území vodní erozí stanovuje. Pro určení EHP je možné využít jako výchozí podklady bloky LPIS, zaměření skutečného stavu či jiné definované plochy. V místech, kde je vyhodnocena erozní ohroženost, ale nejsou zde stanoveny bloky LPIS, jsou (zejména v procesu pozemkových úprav) EHP doplněny na základě zaměření skutečného stavu s korekcí na stav zjištěný podrobným terénním průzkumem.

EHP = plocha (území), ve kterém erozi pomocí GIS nástrojů vyhodnocuji/kvantifikuji.

Erozně hodnocenou plochou může být:

- půdní blok (příp. díl půdního bloku LPIS),
- plocha stanovená dle zaměření skutečného stavu,
- parcela Katastru nemovitostí (KN),
- jiná libovolná definovaná plocha (kombinace výše uvedeného, příp. povodí, k. ú. aj.).

6.1.2 Postup stanovení dlouhodobé průměrné ztráty půdy vodní erozí „G“

Výpočet USLE ve formátu G = R · K · LS · C · P je aplikován v prostředí GIS na vybraném modelovém území, které je rovněž interpretováno v předcházející kapitole zabývající se stanovením plochy pro výpočet eroze.
Vzorová ukázka výpočtu erozní ohroženosti v modelovém území s využitím vstupních dat:

Tab. 6-1. Zdrojová data pro ukázkový výpočet ohroženosti modelového území vodní erozí

Faktor USLE	Použitá data	
R faktor	Staženo z portálu Protierozní kalkulačky	©VÚMOP, v. v. i.
K faktor	Staženo z portálu Protierozní kalkulačky	©VÚMOP, v. v. i.
LS faktor	DMR 4G (hydrologicky korektní)	©ČÚZK
	Registr půdních bloků LPIS	©MZe
C faktor	Indikativní C faktor – staženo z portálu Protierozní kalkulačky	©VÚMOP, v. v. i.
P faktor	Nejsou známé v dané lokalitě	
G_p	Staženo z portálu Protierozní kalkulačky	©VÚMOP, v. v. i.

6.1.2.1 R faktor

Zpracovatel využije rastrovou vrstvu R faktoru, která je v aktuální platné podobě dostupná k prohlédnutí i ke stažení zdarma na portálu Protierozní kalkulačky (https://kalkulacka.vumop.cz/).

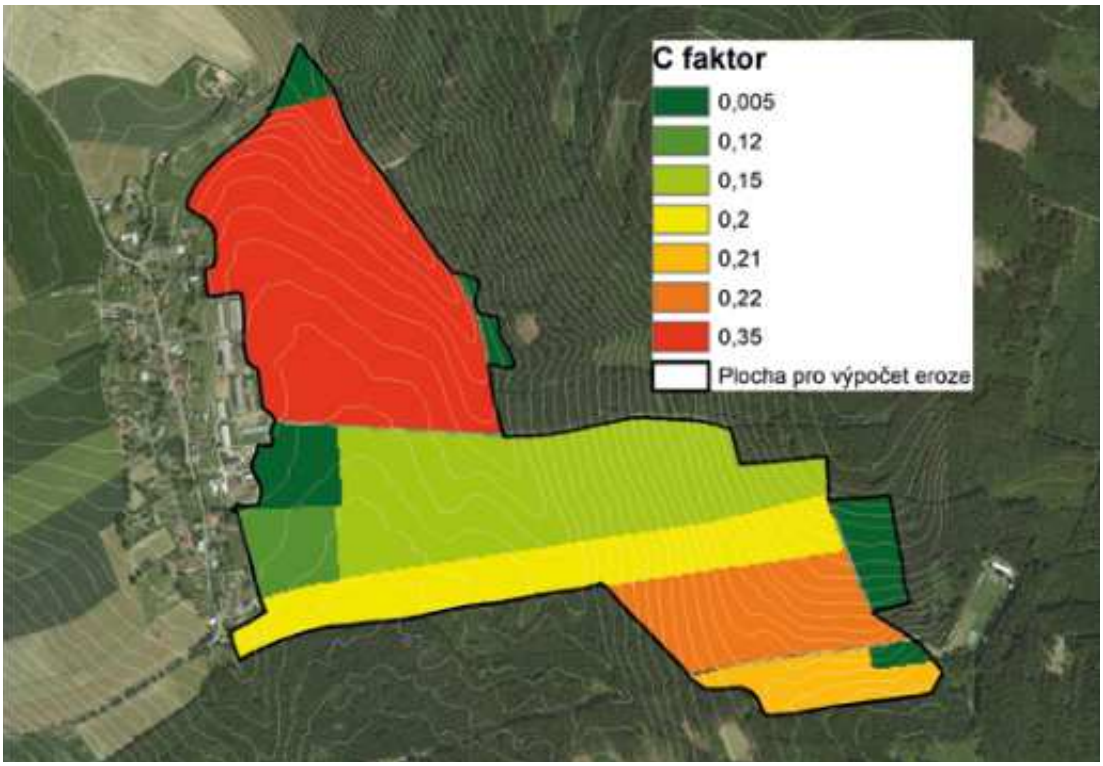
6.1.2.2 K faktor

Zpracovatel využije rastrovou vrstvu K faktoru, která je v aktuální platné podobě dostupná k prohlédnutí i ke stažení zdarma na portálu Protierozní kalkulačky (https://kalkulacka.vumop.cz/), nebo je zpracován dle tabulky K faktoru pro jednotlivé HPJ uvedené v této metodice (kapitola 1.3.2).

6.1.2.3 C faktor

Pro stanovení výpočtu C faktoru je možno využít vrstvu „Indikativní C faktor“, která je k dispozici k prohlédnutí i ke stažení na portálu Protierozní kalkulačky (https://kalkulacka.vumop.cz/) (viz kapitola 1.3.4). Jedná se o vypočtenou vrstvu C faktoru, která odpovídá plodinám / sledu plodin deklarovaným v rámci LPIS jednotlivými hospodařícími subjekty a je pravidelně aktualizována. Tuto vrstvu využije zpracovatel zejména v případě, že pro zájmové území nemá k dispozici detailní informace o osevních postupech, včetně termínů a typů jednotlivých agrotechnických operací na předmětných pozemcích (resp. pokud se jedná o pozemky mimo LPIS). Jestliže však tyto informace zpracovatel má, použije pro výpočet skutečné hodnoty C faktoru Protierozní kalkulačku (viz kapitolu 1.3.4).
V procesu pozemkových úprav při analýze současného stavu je nutno při stanovení C faktoru použít druhy pozemku dle skutečného stavu (pro jehož určení lze využít zaměření skutečného stavu a bloky LPIS) s jeho ověřením a doplněním podrobným průzkumem terénu. V případě existence rozporu mezi druhy pozemků dle skutečnosti a stavem evidovaným v KN (např. skutečný stav – TTP, stav dle KN – orná půda) bude pro určení C faktoru zohledněn stav dle KN s výjimkou stavu, který je v rozporu se zákonem na ochranu ZPF (např. dle KN TTP a skutečný stav orná půda). To v praxi znamená, že

vrstva indikativního C faktoru při procesu pozemkových úprav musí být konfrontována se stavem dle KN a skutečným stavem a případně zpracovatelem upravena. V případě rozporu, kdy v KN je evidován druh pozemku orná půda a skutečný stav je např. TTP nebo tráva na orné půdě, použije zpracovatel pro daný blok C faktor pro ornou půdu vypočtený na základě skutečného osevního postupu nebo použije průměrnou hodnotu indikativního C faktoru orné půdy v daném katastrálním území.
Výpočet C faktoru pro vyhodnocení účinnosti navržených PEO se provede pro jednotlivé druhy pozemků a jednotlivé typy organizačních či agrotechnických opatření.



Obr. 6-3. Ukázka vrstvy indikativního C faktoru pro modelové území (vrstva stažena z portálu Protierozní kalkulačky https://kalkulacka.vumop.cz/)

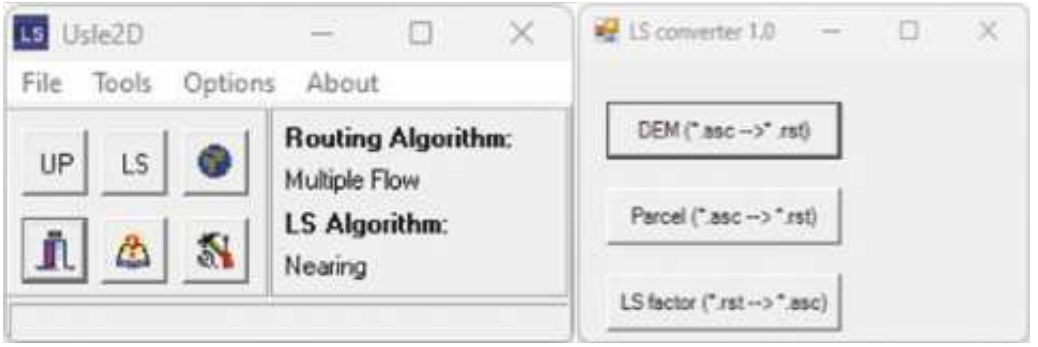
6.1.2.4 LS faktor

Postup stanovení LS faktoru je popsán v kapitole 1.3.4. Výpočet LS faktoru pro dané řešené území (k. ú., obvod PÚ, povodí) se provádí s využitím nástrojů GIS nad DMR (hydrologicky korektní) v takovém rozsahu, který umožňuje vyhodnotit průběh erozního procesu od začátku jeho vzniku (od rozvodnice, od bariéry přerušující povrchový odtok) až do místa jeho ukončení (začátek akumulace, bariéra přerušující povrchový odtok aj.). Zásadní je tedy správné stanovení plochy pro výpočet eroze (popsané v kapitole 6.1.1), přičemž v daném rozsahu plochy jsou specifikovány a prostorově lokalizovány překážky (bariéry) povrchového odtoku přerušující délku svahu.
Za přerušení délky svahu lze považovat např. silnice s odvodňovacími prvky, liniové technické a biotechnické prvky PEO (průlehy, příkopy, protierozní meze s příkopem či průlehem) či polní cesty s nekrytými odvodňovacími prvky (příkopy, průlehy). Za přerušení délky svahu je možno také považovat protierozní travní pás za předpokladu doložení výpočtu dokladujícího jeho účinnost.
Pro ukázku uvádíme stanovení LS faktoru s využitím bezplatného softwaru USLE2D. Požadované nastavení pro výpočet zdrojové plochy odtoku je metoda „multiple flow" (Quinn et al., 1991) a rovnice dle Nearinga (1997) pro výpočet S faktoru.

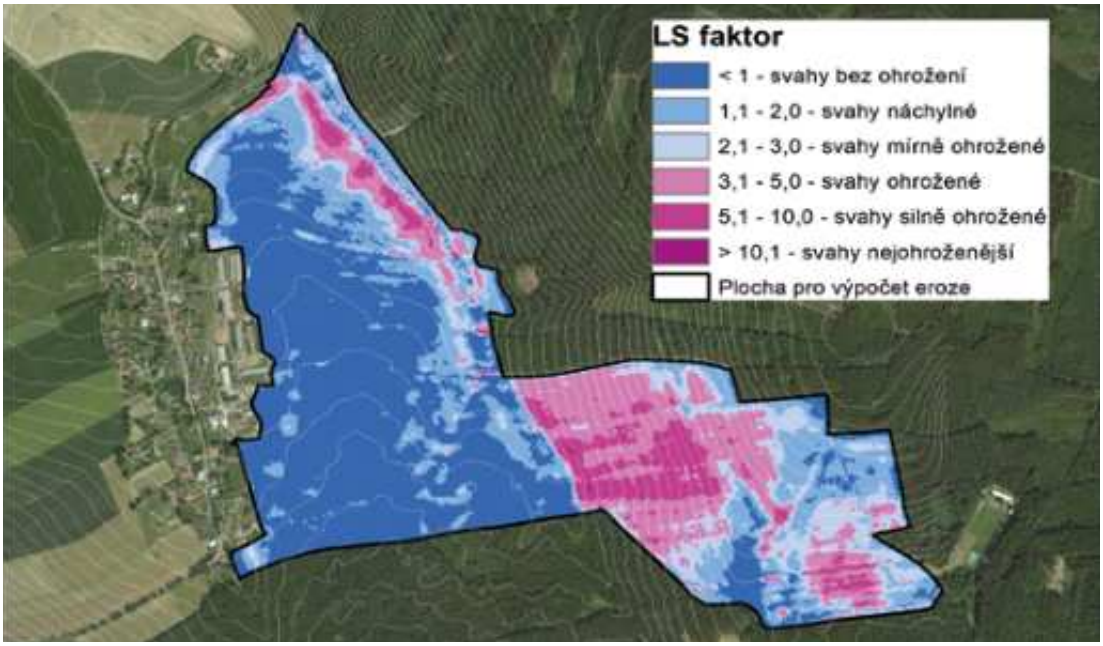
V rámci modelového příkladu bylo na základě terénního průzkumu zjištěno, že polní cesty v zájmové ploše nejsou doplněny technickým prvkem, který by odtok (erozi) dokázal efektivně přerušit, a proto budou zahrnuty do plochy pro výpočet eroze (Obr. 6-4). Ve dvou případech se jedná o nezpevněné polní cesty mezi půdními bloky (bez příkopu), v dalším případě se jedná o polní cestu s asfaltovým povrchem rovněž bez příkopu či jiného doprovodného technického prvku. Plochy trvalých travních porostů rovněž zahrnujeme do plochy pro výpočet eroze.

Obr. 6-4. Ukázka polních cest u ploše pro uýpočet eroze (červeně), které nepřerušují délku svahu (nejsou doplněny příkopem či jiným technickým prvkem) (© ČÚZK)

Výsledkem je konstatování, že celé zájmové území složené z několika obhospodařovaných půdních bloků odlišných kultur tvoří jednu souvislou plochu pro výpočet eroze. Na této ploše budeme vyhodnocovat vrstvu LS faktoru a následně pro toto území zajistíme všechny další vstupní vrstvy USLE (R, C, K, P) a vrstvu G_p. Následuje výpočet rastru hodnot G a C_p . P_p.



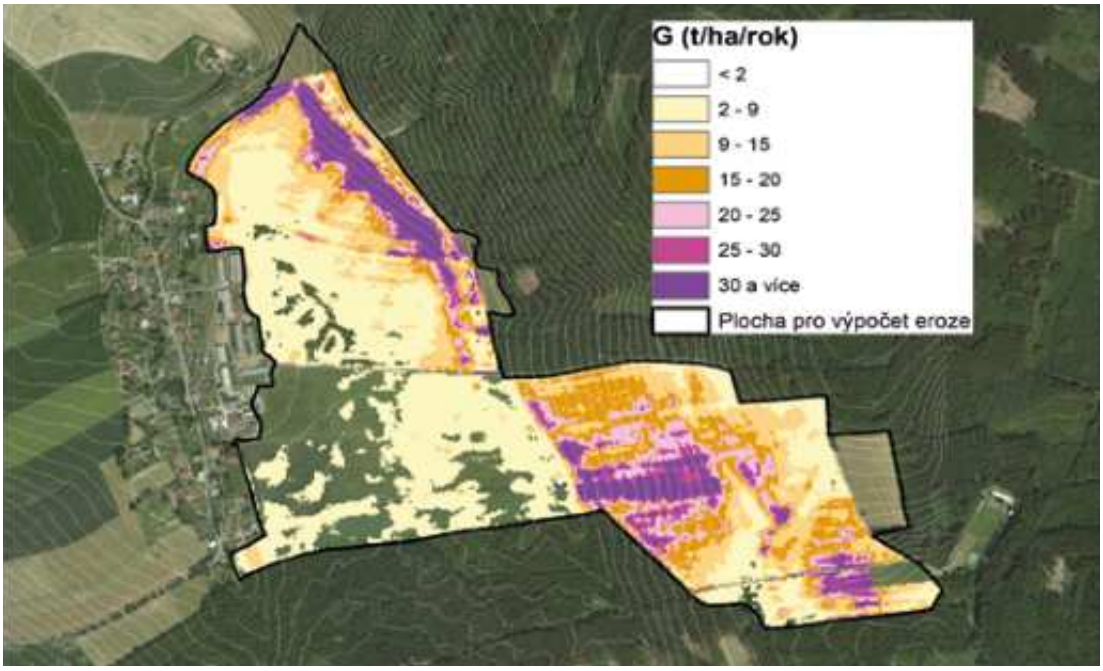
Obr. 6-5. Ukázka prostředí softwaru USLE 2D a softwaru pro konverzi dat LS converter



Obr. 6-6. Ukázka stanovení urstvy LS faktoru pro modelové území

6.1.2.5 Výpočet dlouhodobé průměrné ztráty půdy vodní erozí „G"

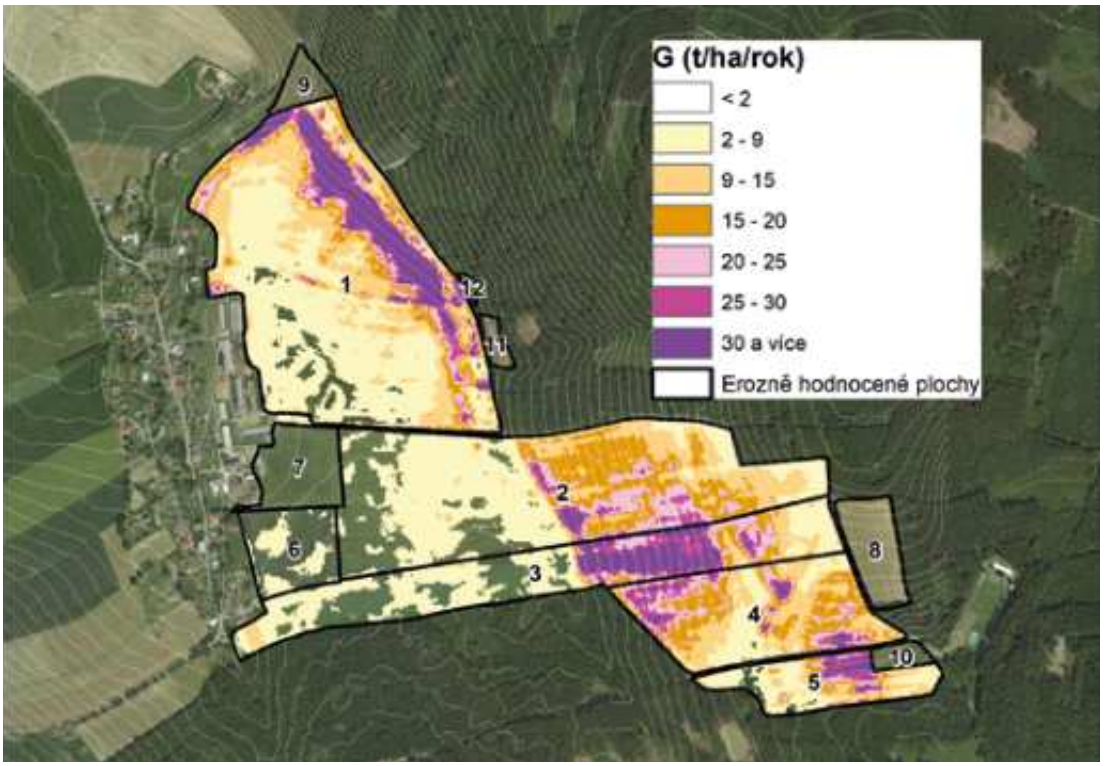
Jedná se o součin faktorů G = R· K · LS · C · P aplikovaný v prostředí GIS. Výsledkem je rastr hodnot o rozlišení 5 x 5 m/pixel (v případě využití DMR 4G). Tento rastr je následně klasifikován na jednotlivé intervaly hodnoty G ($t \cdot ha^{-1} \cdot rok^{-1}$). Intervaly hodnot G v sobě odráží limitní hodnoty přípustné ztráty půdy, které jsou stanoveny vyhláškou č. 240/2021 Sb., o ochraně zemědělské půdy před erozí.



Obr. 6-7. Ukázka stanovení urstvy dlouhodobé průměrné ztráty půdy vodní erozí „G" pro modelové území

6.1.2.6 *Vyhodnocení rastru dlouhodobé průměrné ztráty půdy vodní erozí*

Rastr dlouhodobé průměrné ztráty půdy vodní erozí G je pomocí zonální statistiky v prostředí GIS vyhodnocen dle míry zastoupení (počtu) jednotlivých pixelů hodnot G v jednotlivých klasifikovaných intervalech hodnot G. Klasifikovaný rastr statisticky vyhodnocujeme pro definované erozně hodnocené plochy (EHP). Na následujícím obrázku uvádíme příklad, kdy plochy EHP odpovídají půdním blokům LPIS. Zpracovatel tedy bude kvantifikovat hodnoty G pro jednotlivé půdní bloky LPIS.



Obr. 6-8. Ukázka jednoho z možných způsobů vymezení erozně hodnocených ploch (EHP) s využitím hranic půdních bloků LPIS na podkladě vypočtené vrstvy erozní ohroženosti G

Tab. 6-2. Vyhodnocení podílů intervalu hodnot G (v procentech plochy EHP, kdy jako plochy EHP jsou zvoleny půdní bloky LPIS) v modelovém území

EHP	DPB (LPIS)	Plocha (ha)	Výpočet zonální statistiky na ploše EHP						
			Podíl intervalu hodnot G (t·ha^{-1}·rok^{-1}) v procentech						
			0–2	2–9	9–15	15–20	20–25	25–30	30 a více
1	3302/5	30,20	4,0	44,3	22,0	8,5	5,8	3,8	11,5
2	3401/8	24,05	17,8	39,9	14,5	16,5	8,0	2,5	0,9
3	3401/9	13,48	20,8	39,8	7,7	4,9	7,1	5,8	13,8
4	3401/5	10,08	0,3	18,0	29,0	25,9	14,7	8,0	4,2
5	2402/1	4,42	5,3	39,6	22,3	9,3	7,6	7,8	8,2
6	3401/12	3,41	69,0	30,9	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0
7	3401/2	3,09	100,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
8	2401	2,51	100,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
9	3302/3	0,96	99,7	0,0	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0
10	2402/2	0,61	100,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
11	3304/1	0,48	100,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
12	3305/1	0,14	100,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Při výpočtu míry erozního ohrožení je rozhodující zobrazený plošný rozsah jednotlivých kategorií erozního smyvu a jemu odpovídající zastoupení jednotlivých kategorií smyvu ve výpočtové tabulce (Tab. 6-2). Doporučuje se, aby rozsah nadlimitních kategorií v odůvodněných případech nepřekračoval 20 %, přičemž tento tolerovaný rozsah nesmí tvořit souvislou plochu.

6.1.3 Postup stanovení maximální přípustné hodnoty ochranného vlivu vegetace a protierozních opatření „$C_p \cdot P_p$“

Vzhledem k tomu, že z hlediska hospodaření na orné půdě je ve vztahu k erozní ohroženosti ovlivnitelný pouze ochranný účinek vegetace a účinnost protierozních opatření, byl z rovnice USLE odvozen model pro hodnocení erozní ohroženosti na základě maximálních přípustných hodnot faktoru ochranného vlivu vegetace a protierozních opatření. Pomocí výsledků tohoto modelu je možné stanovit návod, jak hospodařit na daném EHP tak, aby nedocházelo k nadlimitní ztrátě půdy vodní erozí.
Překročení míry erozního ohrožení vyjadřuje erozní ohrožení zemědělské půdy, při kterém je překročena přípustná ztráta půdy erozí. Vyjádřeno ve tvaru:

$$C \cdot P > C_p \cdot P_p$$

Nepřekročení míry erozního ohrožení, při kterém není překročena přípustná ztráta půdy erozí, lze vyjádřit vztahem:

$$C \cdot P \leq C_p \cdot P_p$$

kde hodnota součinu $C_p \cdot P_p$ představuje součin hodnot faktoru ochranného vlivu vegetace a faktoru protierozních opatření, při jehož překročení dojde k překročení přípustné ztráty půdy erozí.

Tato metoda a její definice předpokládají vyjádření součinu $C_p \cdot P_p$ jako jedné hodnoty pro dané EHP určené na základě výpočtu nad rastrem hodnot $C_p \cdot P_p$ v daném EHP. Rastr hodnot $C_p \cdot P_p$ je nutno upravit tak, aby nabýval definičního oboru hodnot faktoru $C_p \cdot P_p$ v intervalu 0–1. Postup určení reprezentativní hodnoty vychází z určení mediánu nejohroženějších ploch v posuzovaném EHP dle následujících pravidel:
1) Pokud se na posuzované ploše nachází souvislá plocha větší než 2 ha s hodnotami $C_p \cdot P_p$ rovnými nebo menšími 0,1, přiřadí se posuzované ploše mediánová hodnota souvislé plochy (nebo více souvislých ploch) větší než 2 ha s hodnotami $C_p \cdot P_p$ rovnými nebo menšími 0,1, pokud by byla nižší než mediánová hodnota posuzované plochy, nebo
2) Pokud se na posuzované ploše nachází souvislá plocha větší než 2 ha s hodnotami $C_p \cdot P_p$ rovnými nebo menšími 0,4, přiřadí se posuzované ploše mediánová hodnota souvislé plochy (nebo více souvislých ploch) větší než 2 ha s hodnotami $C_p \cdot P_p$ rovnými nebo menšími 0,4, pokud by byla nižší než mediánová hodnota posuzované plochy.
Pokud se na posuzované ploše nenachází souvislá plocha podle bodu 1 nebo bodu 2, přiřadí se posuzované ploše mediánová hodnota posuzované plochy.
Vyhodnocení dle výše popsaných pravidel je nutně prováděno v rámci několika GIS operací. Pro jednoduchou a jednotnou interpretaci je na stránkách Protierozní kalkulačky (https://kalkulacka.vumop.cz/) volně ke stažení nástroj pro stanovení výpočtu $C_p \cdot P_p$.
Pro jednoduchou interpretaci lze osevní postupy a jejich hodnoty součinu faktorů C · P vyjádřit ve skupinách (Tab. 6-3). Tím se ale řešení velmi a zbytečně generalizuje, proto je v atributech dotčeného pozemku uvedena konkrétní hodnota maximálního $C_p \cdot P_p$ faktoru.

Tab. 6-3. Rámcové kategorie oseuních postupů a agrotechnik

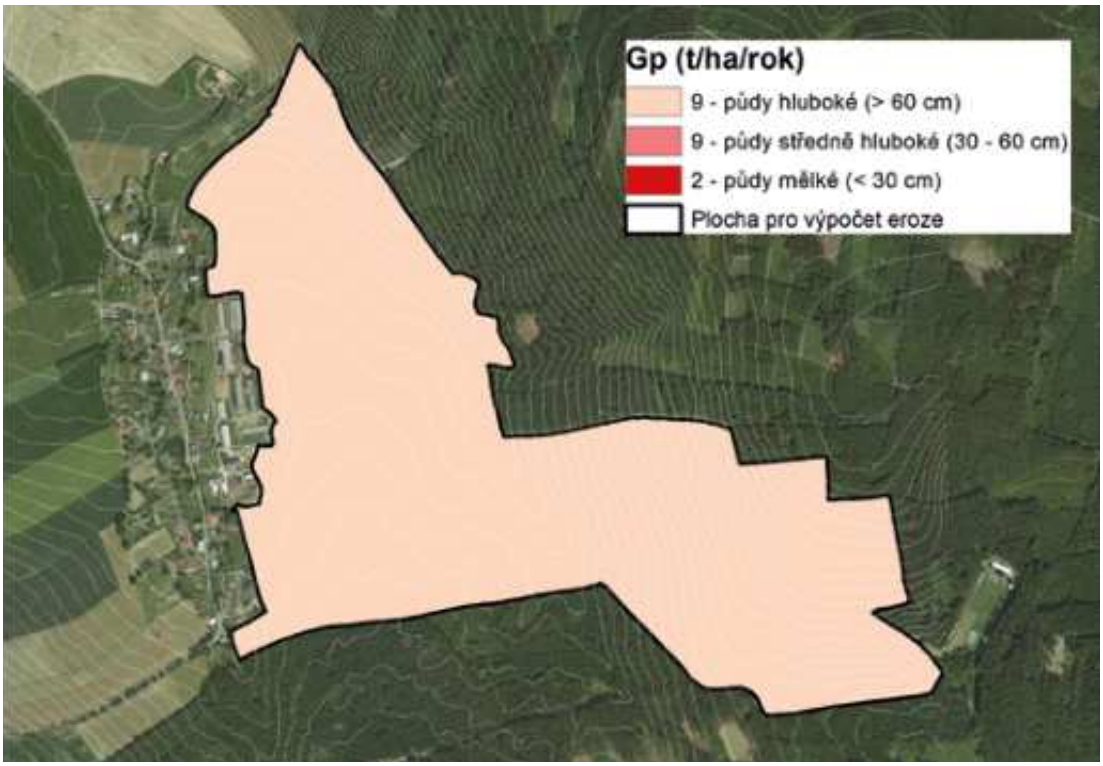
Rozsah hodnot C · P	Slovní popis rámcových osevních postupů a agrotechnik
do 0,005	Ochranné zatravnění
0,006–0,020	Víceleté pícniny nebo ochranné zatravnění
0,021–0,100	Vyloučení erozně nebezpečných plodin a vyšší zastoupení víceletých pícnin
0,101–0,200	Vyloučení erozně nebezpečných plodin a použití půdoochranných technologií
0,201–0,240	Pásové střídání plodin nebo vyloučení erozně nebezpečných plodin
0,241–0,400	Erozně nebezpečné plodiny pěstovány s půdoochrannými technologiemi
0,401 a více	Bez omezení

Pro potřeby standardů dobrého zemědělského a environmentálního stavu (DZES), které zajišťují zemědělské hospodaření ve shodě s ochranou životního prostředí a jsou součástí Kontroly podmíněnosti (Cross Compliance), v tomto případě konkrétně pro standard DZES 5 (Standard obhospodařování půdy způsobem, který snižuje riziko degradace půdy a eroze, včetně zohlednění sklonu svahu) byly na základě rozsahu maximálních hodnot faktoru $C_p \cdot P_p$ stanoveny kategorie erozní ohroženosti uvedené v Tab. 6-4.

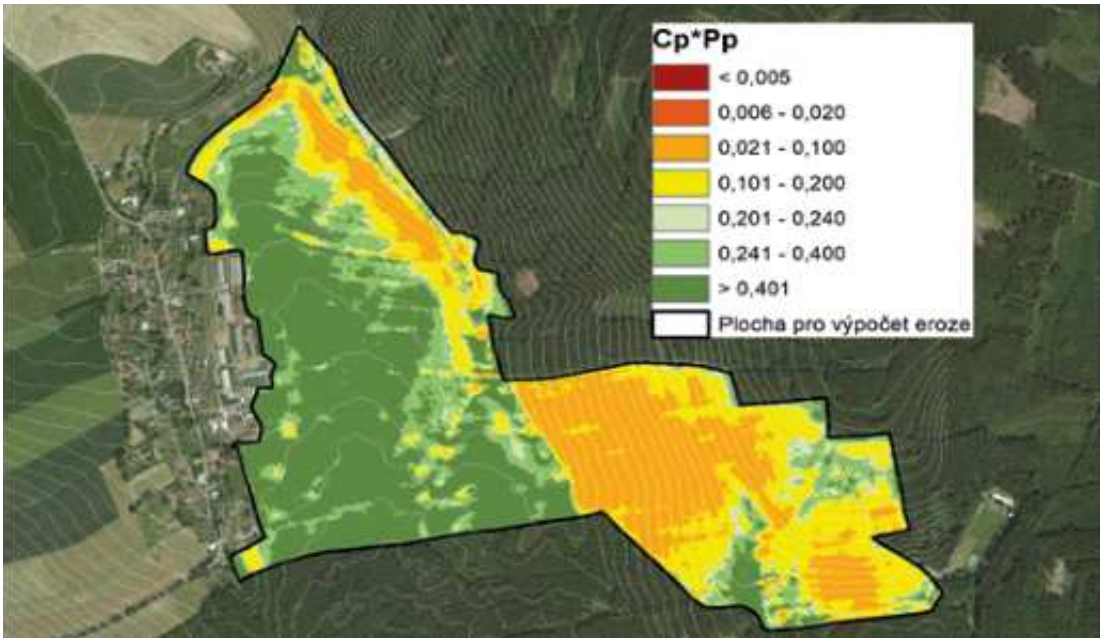
Tab. 6-4. Zařazení maximálních hodnot faktoru C_p . P_p do kategorií erozní ohroženosti dle standardu DZES 5

Rozsah hodnot $C_p \cdot P_p$	Zkratka	Popis
do 0,045	SEO	Plochy silně erozně ohrožené
0,045–0,15	MEO I	Plochy mírně erozně ohrožené s vyšším rizikem
0,15–0,4	MEO II	Plochy mírně erozně ohrožené s nižším rizikem
0,4 a více	NEO	Plochy bez omezení

Výpočet USLE ve formátu $C_p \cdot P_p = G_p / (R \cdot K \cdot LS)$ je aplikován v prostředí GIS na vybraném modelovém území prezentovaném v předchozích kapitolách. Jednotlivé vstupní vrstvy (faktory) jsou převzaty z předchozí kapitoly, pouze je nutné dopracovat vrstvu přípustné míry erozního ohrožení vodní erozí G_p (kapitola 1.3.6). Vrstvu G_p je možno prohlédnout, příp. zdarma stáhnout v rastrové podobě na portálu Protierozní kalkulačky (https://kalkulacka.vumop.cz/).
V modelovém území (Obr. 6-9) se nachází hluboké až středně hluboké půdy (G_p viz legenda na Obr. 6-9).



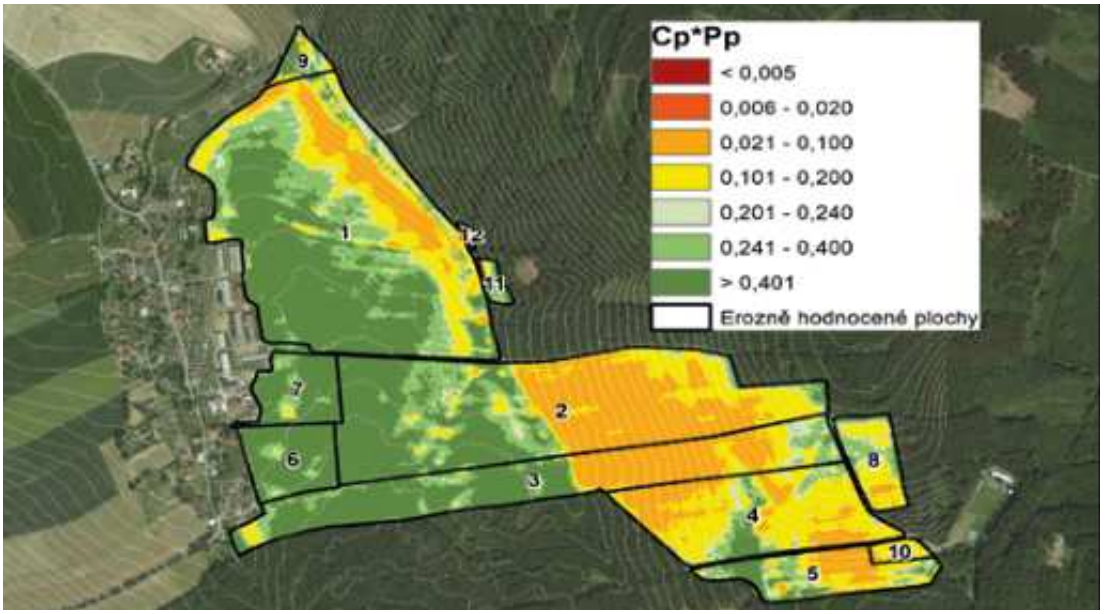
Obr. 6-9. Ukázka stanovení urstvy G_p pro modelové území



Obr. 6-10. Ukázka stanovení urstvy C_p . P_p pro modelové území

6.1.3.1 Vyhodnocení rastru maximální přípustné hodnoty ochranného ulivu vegetace a protierozních opatření „$C_p \cdot P_p$"

Z rastru maximální přípustné hodnoty ochranného vlivu vegetace a protierozních opatření součinu C_p . P_p je pomocí metod popsaných v kapitole 6.1.3 vypočten medián (hodnota) pro jednotlivé definované EHP. Na následujícím obrázku Obr. 6-11 uvádíme příklad, kdy plochy EHP odpovídají půdním blokům LPIS. Tedy pro jednotlivé půdní bloky LPIS zpracovatel kvantifikuje medián hodnot $C_p \cdot P_p$ a těmto hodnotám přiřadí informace o zařazení do kategorie erozní ohroženosti dle standardu DZES 5.



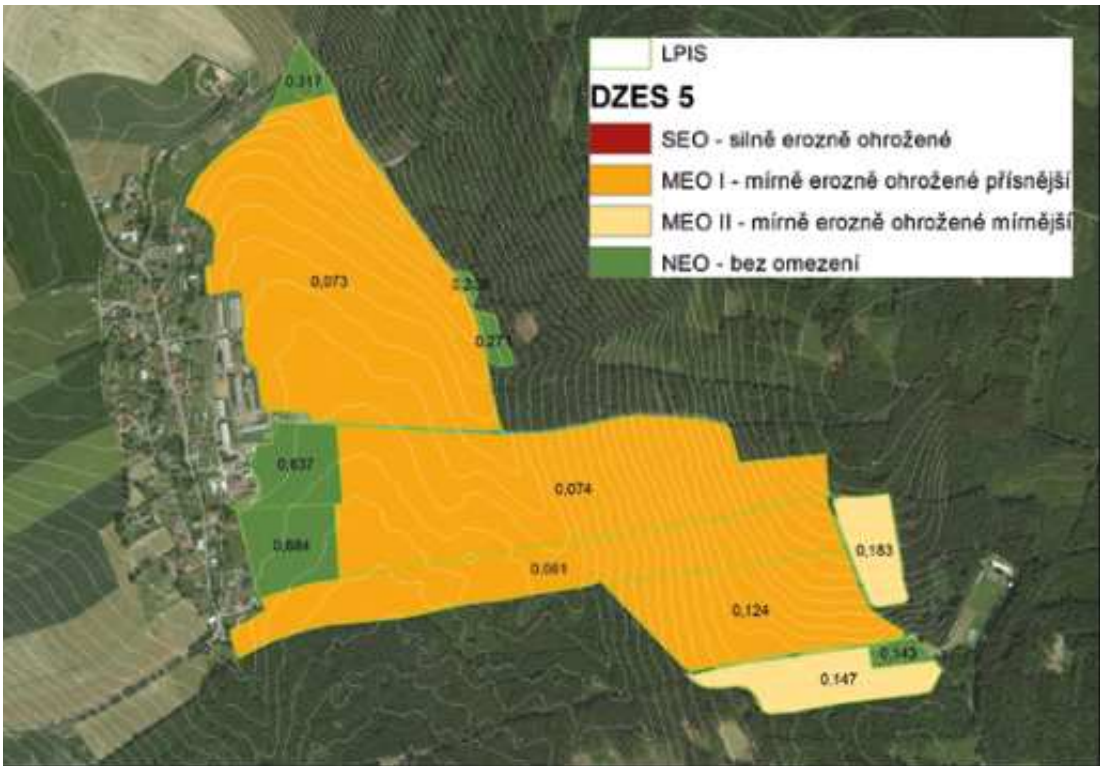
Obr. 6-11. Ukázka jednoho z možných způsobů vymezení erozně hodnocených ploch (EHP) s využitím hranic půdních bloků LPIS na podkladě vypočtené urstvy maximální přípustné hodnoty ochranného ulivu vegetace a protierozních opatření „$C_p \cdot P_p$"

Tab. 6-5. Vyhodnocení podílů intervalu hodnot $C_p \cdot P_p$ (medián plochy EHP, kdy jako plochy EHP jsou zvoleny půdní bloky LPIS) v modelovém území

EHP	DPB (LPIS)	Plocha (ha)	$C_p \cdot P_p$ (medián)	DZES 5	EHP	DPB (LPIS)	Plocha (ha)	$C_p \cdot P_p$ (medián)	DZES 5
1	3302/5	30,2	0,073	MEO I	7	3401/2	3,09	0,637	NEO
2	3401/8	24,05	0,074	MEO I	8	2401	2,51	0,183	MEO II
3	3401/9	13,48	0,061	MEO I	9	3302/3	0,96	0,317	NEO
4	3401/5	10,08	0,124	MEO I	10	2402/2	0,61	0,143	NEO
5	2402/1	4,42	0,147	MEO II	11	3304/1	0,48	0,271	NEO
6	3401/12	3,41	0,684	NEO	12	3305/1	0,14	0,238	NEO

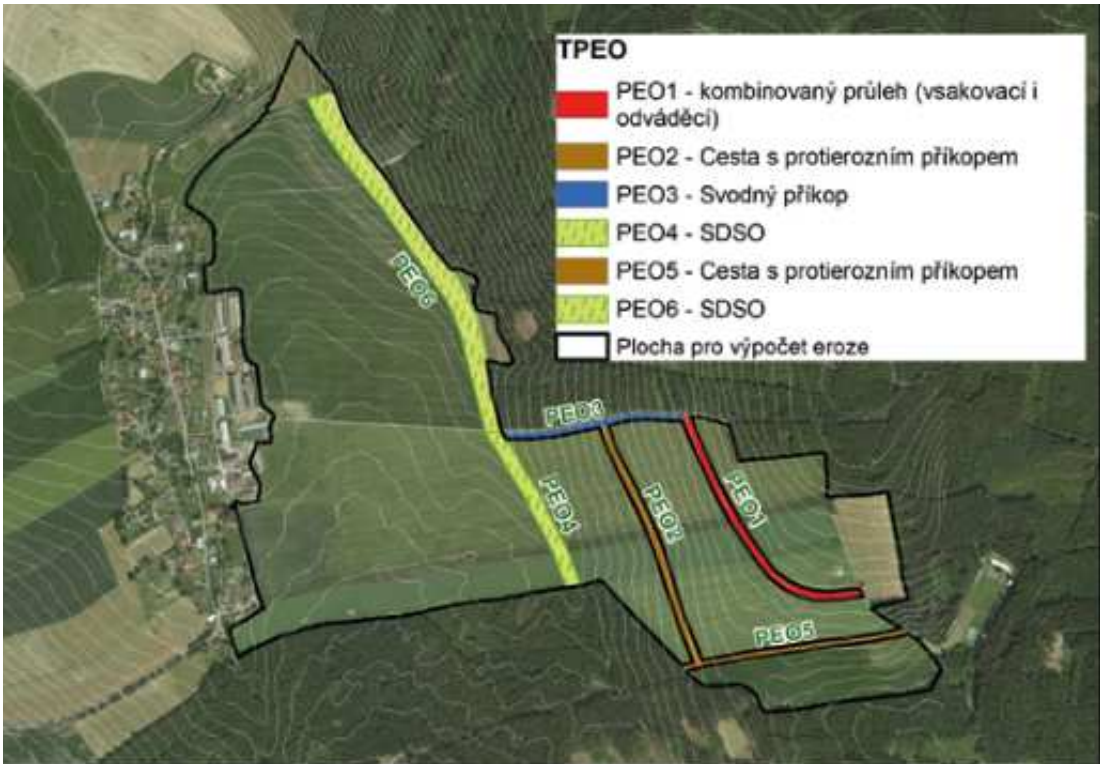
6.2 Příklad vyhodnocení ohroženosti území vodní erozí po návrhu technických protierozních opatření s využitím hodnot G a součinu $C_p \cdot P_p$ v modelovém území

Následující kapitola pojednává o jednom z možných způsobů řešení protierozní ochrany v modelovém území. Prokázalo se, že zájmové území je erozně ohroženo (viz 6.1.2 a 6.1.3). Obhospodařované díly půdních bloků jsou v současnosti zařazeny dle míry erozní ohroženosti do kategorií MEO 1, MEO 2, NEO (dle standardu DZES 5). Cílem projektanta je navrhnout efektivní protierozní opatření formou technických prvků (TPEO) a dále stanovit na zemědělské půdě (půdních blocích) uživateli ochranný způsob hospodaření formou $C_p \cdot P_p$ tak, aby splňoval limit maximální přípustné ztráty půdy „G_p" popsaný v kapitole 1.3.6.

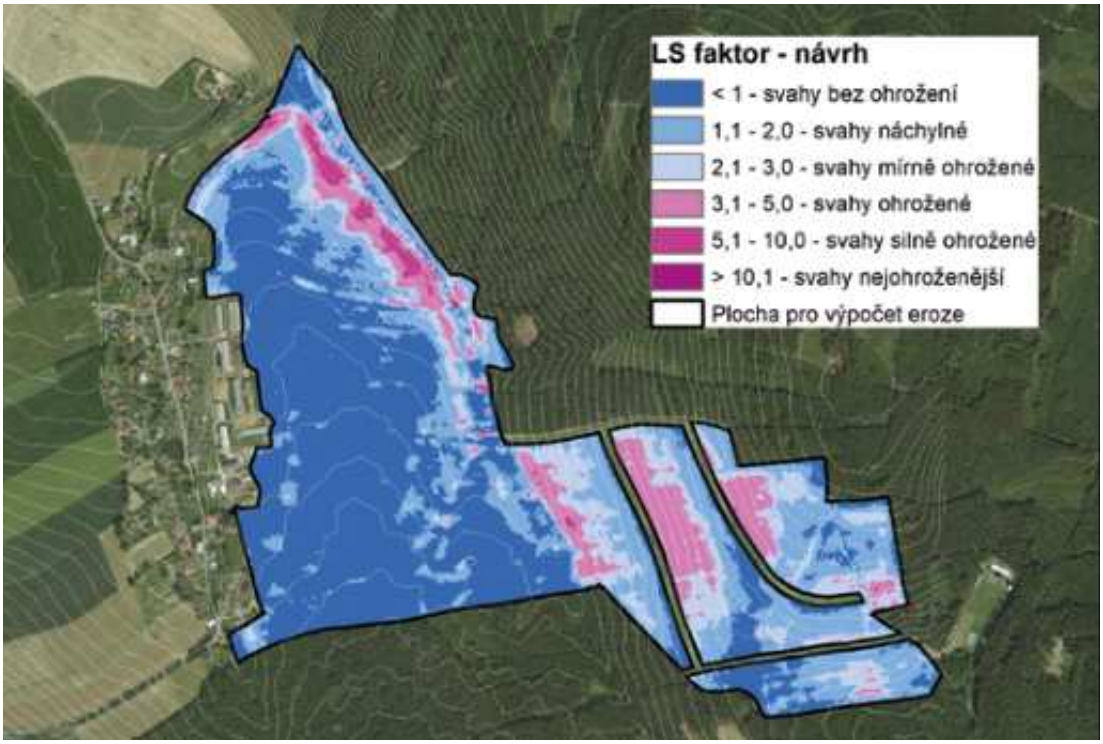


Obr. 6-12. Zařazení půdních bloků LPIS v modelovém území do kategorií erozní ohroženosti dle standardu DZES 5 (2024)

Projektant v řešeném území v prvním kroku navrhuje na základě terénního průzkumu a analýzy erozní ohroženosti technická protierozní opatření (TPEO). Díky nim dojde k efektivnímu rozdělení půdních bloků, přerušení svahů (přerušení LS faktoru). Výsledkem je snížení erozní ohroženosti v nejexponovanějších částech zájmového území a rovněž snížení limitních hodnot $C_p \cdot P_p$. To ve výsledku může znamenat přeřazení nově vzniklých půdních bloků (rozdělených díky TPEO) do jiných kategorií erozní ohroženosti dle standardu DZES 5, a tím snížení požadavků na protierozní ochranu (osevní postupy, půdoochranné technologie aj.) pro hospodařící subjekt.
Konkrétně v modelovém území (Obr. 6-13) projektant navrhuje opatření na nejexponovanějších svazích s nejvyšší erozní ohrožeností a v identifikované dráze soustředěného odtoku (DSO) s přispívající plochou povodí větší než 5 ha TPEO s označením PEO1–PEO6. Jedná se o návrh 1 kombinovaného průlehu (vsakovací i odváděcí), 1 svodného příkopu, 2 cest s protierozním příkopem, stabilizace DSO (SDSO – sběrná plocha povodí větší než 5 ha). Tento návrh slouží jako jeden z možných způsobů řešení protierozní ochrany dané lokality.

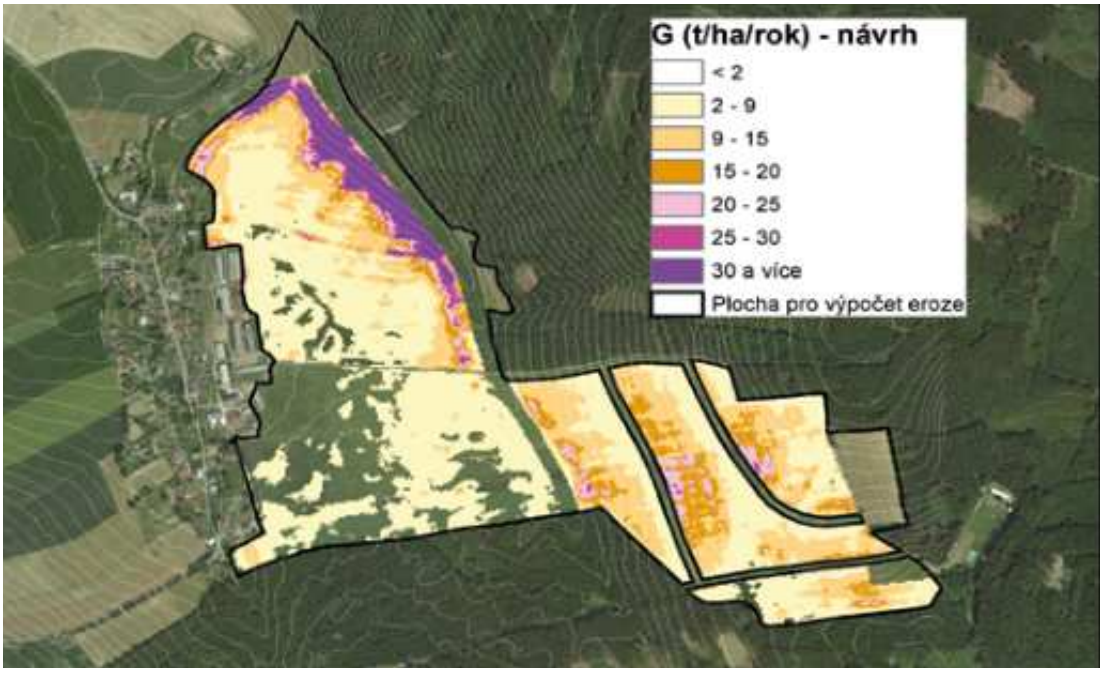


Obr. 6-13. Ukázka návrhu technických protierozních opatření (TPEO) u modelovém území

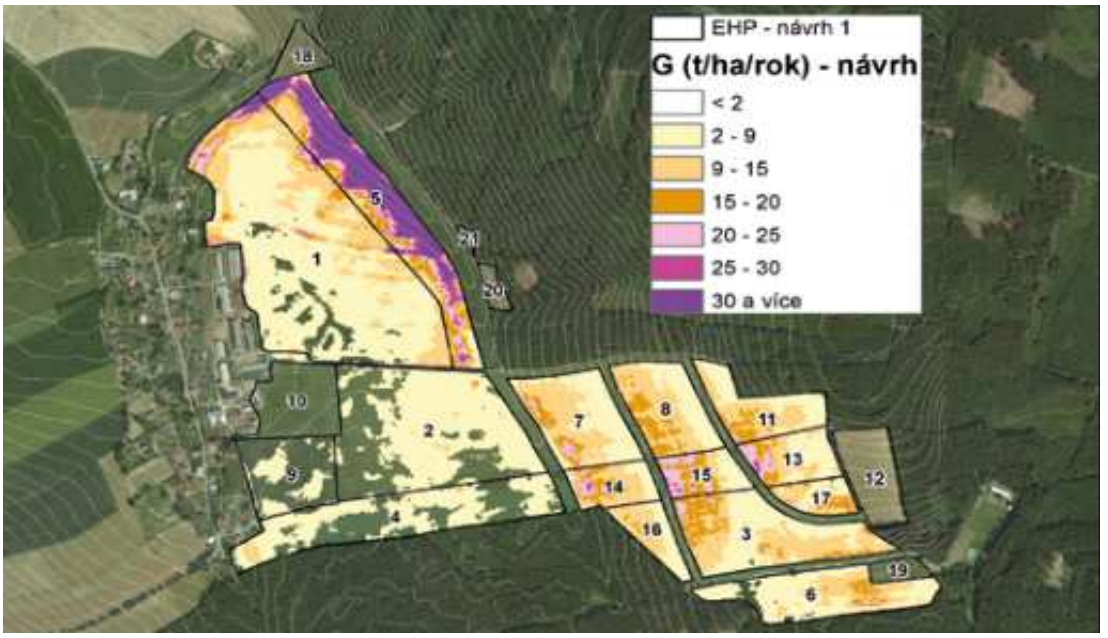


Obr. 6-14. Ukázka stanovení LS faktoru po návrhu TPEO u modelovém území

Při výpočtu dlouhodobé průměrné ztráty půdy vodní erozí G zůstávají vstupní faktory USLE vyjma přepočteného LS faktoru (Obr. 6-14) identické jako v předcházející kapitole 6.1.2 zabývající se postupem stanovení vodní eroze. Na rastru G (Obr. 6-15) je evidentní snížení erozní ohroženosti pod navrženými TPEO.



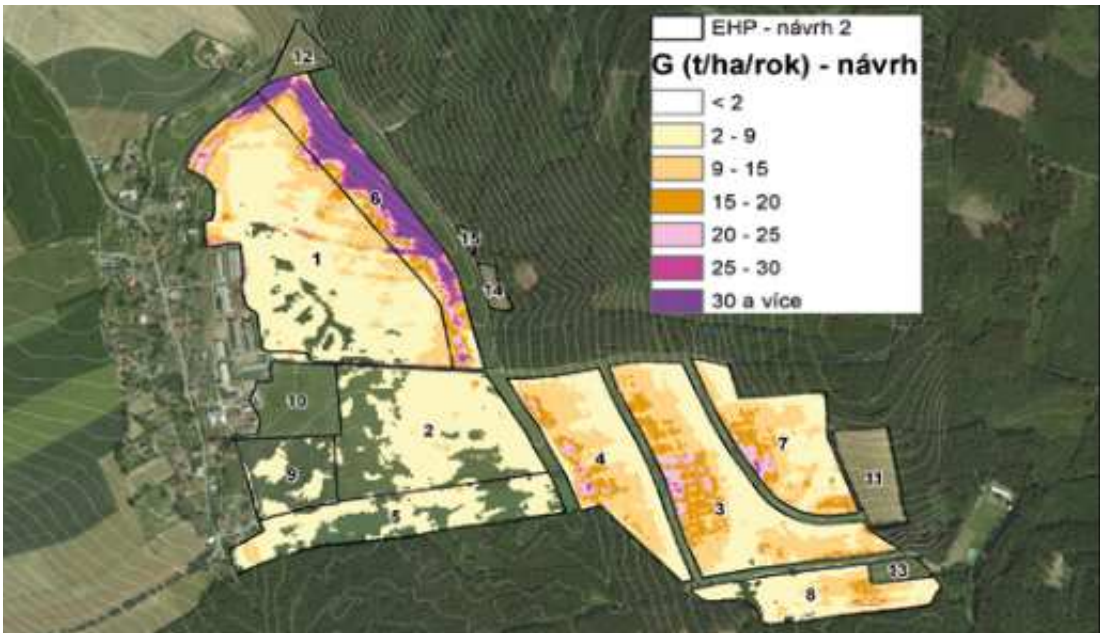
Obr. 6-15. Ukázka vypočtené vrstvy dlouhodobé průměrné ztráty půdy vodní erozí „G" po návrhu TPEO u modelovém



Obr. 6-16. Ukázka vyhodnocení erozní ohroženosti na plochy EHP – varianta 1 (využity původní hranice půdních bloků LPIS dělené navrženými PEO)

Tab. 6-6. Ukázka výpočtu intervalů hodnot erozní ohroženosti pro definované EHP – návrh 1

EHP	Plocha (ha)	Výpočet zonální statistiky na ploše EHP						
		Podíl intervalu hodnot G (t·ha^{-1}·rok^{-1}) v procentech						
		0–2	2–9	9–15	15–20	20–25	25–30	30 a více
1	19,67	6,1	63,6	22,4	3,6	2,2	0,6	1,4
2	11,17	36,6	62,3	1,0	0,1	0,0	0,0	0,0
3	5,77	0,2	42,3	38,6	16,0	2,8	0,1	0,0
4	7,01	39,5	57,7	2,7	0,1	0,0	0,0	0,0
5	6,92	0,0	3,2	12,9	16,9	14,1	11,7	41,2
6	4,42	6,1	58,7	27,8	6,5	0,9	0,0	0,0
7	4,23	0,0	48,8	39,0	9,1	2,9	0,1	0,0
8	3,55	0,0	36,3	45,7	18,1	0,0	0,0	0,0
9	3,41	70,7	29,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
10	3,09	100,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
11	2,82	1,1	44,7	41,1	11,7	1,4	0,0	0,0
12	2,51	100,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
13	2,17	0,0	44,3	28,8	12,4	12,9	1,6	0,0
14	1,80	0,0	24,4	43,8	20,8	9,3	1,7	0,0
15	1,74	0,0	26,4	12,6	31,1	26,5	3,4	0,0
16	1,48	0,0	47,2	49,7	3,1	0,0	0,0	0,0
17	1,26	0,4	32,6	42,5	21,5	3,0	0,0	0,0
18	0,96	99,2	0,0	0,8	0,0	0,0	0,0	0,0
19	0,61	100,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
20	0,48	100,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
21	0,14	100,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

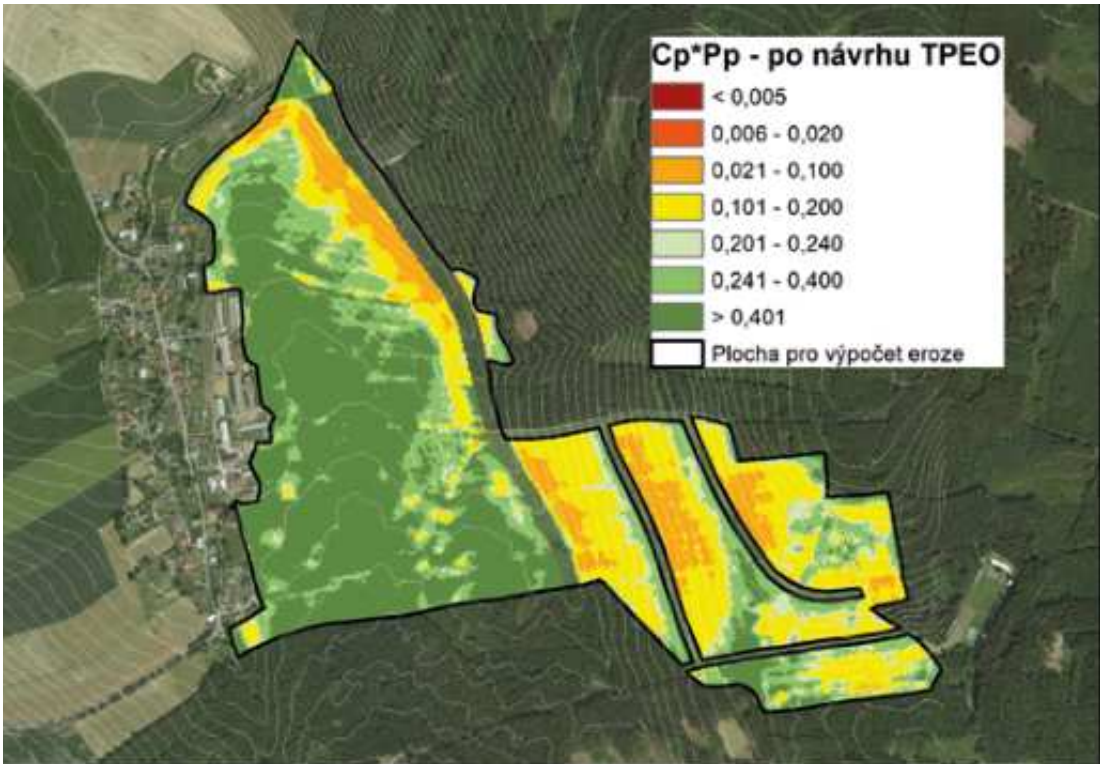


Obr. 6-17. Ukázka vyhodnocení erozní ohroženosti na plochy EHP – varianta 2 (využity původní hranice půdních bloků LPIS dělené navrženými PEO a upravené pro efektivnější způsob hospodaření)

Tab. 6-7. Ukázka vyhodnocení erozní ohroženosti na plochy EHP – návrh 2

EHP	Plocha (ha)	Výpočet zonální statistiky na ploše EHP						
		Podíl intervalu hodnot G (t·ha^{-1}·rok^{-1}) v procentech						
		0–2	2–9	9–15	15–20	20–25	25–30	30 a více
1	19,67	6,1	63,6	22,4	3,6	2,2	0,6	1,4
2	11,17	36,6	62,3	1,0	0,1	0,0	0,0	0,0
3	11,06	0,1	37,8	36,7	19,1	5,7	0,6	0,0
4	7,52	0,0	42,6	42,2	10,8	3,9	0,4	0,0
5	7,01	39,5	57,7	2,7	0,1	0,0	0,0	0,0
6	6,92	0,0	3,2	12,9	16,9	14,1	11,7	41,2
7	6,25	0,6	42,2	37,1	13,9	5,7	0,6	0,0
8	4,42	6,1	58,7	27,8	6,5	0,9	0,0	0,0
9	3,41	70,7	29,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
10	3,09	100,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
11	2,51	100,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
12	0,96	99,2	0,0	0,8	0,0	0,0	0,0	0,0
13	0,61	100	0	0	0	0	0	0
14	0,48	100	0	0	0	0	0	0
15	0,14	100	0	0	0	0	0	0

Při výpočtu maximální přípustné hodnoty ochranného vlivu vegetace C_p v kombinaci s protierozními opatřeními Pp vidíme rovněž snížení hodnot ($C_p \cdot P_p$) v místech pod navrženými TPEO (Obr. 6-13).



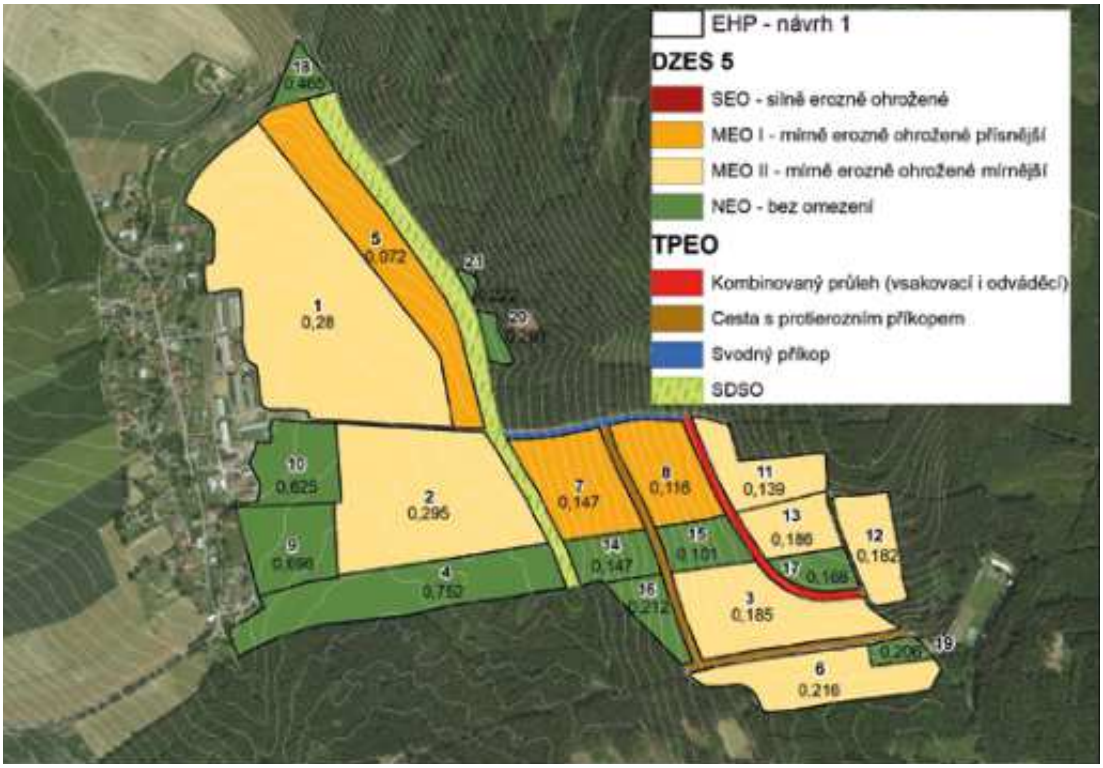
Obr. 6-18. Ukázka stanovení vrstvy $C_p \cdot P_p$ po návrhu technických/biotechnických protierozních opatření v modelovém území

Projektantem navržené TPEO je v druhém kroku nutné doplnit dalšími „měkkými" protierozními opatřeními organizačního a agrotechnického charakteru. Jedním z nich může být úprava velikosti obhospodařovaných půdních bloků, popřípadě dílů půdních bloků.

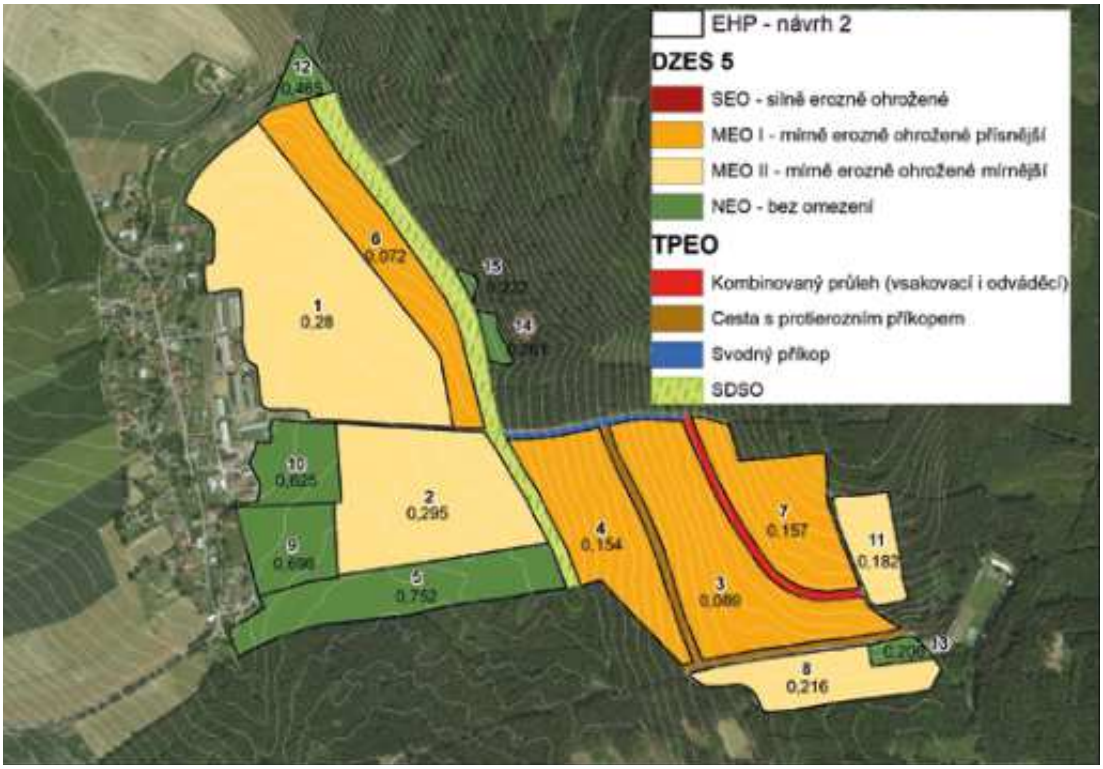
Při definování tvaru a velikosti nových půdních bloků projektant vychází ze stávajícího stavu a upravuje ho v závislosti na navržených technických prvcích v řešeném území, po dohodě s vlastníky a uživateli ZPF. V tomto případě již záleží na dohodě projektanta, uživatele a vlastníka, jaký bude budoucí způsob hospodaření na zemědělské půdě, resp. jaké budou mít tvary obhospodařované půdní bloky po návrhu TPEO. Dle toho projektant stanoví EHP a vypočte pro ně hodnotu $C_p \cdot P_p$ po návrhu.

Příkladem může být vzorový návrh nového uspořádání půdních bloků (Obr. 6-19, Obr. 6-20), kdy projektant po návrhu TPEO dále rozdělil rozsáhlý půdní blok na severu modelového území na 2 samostatné půdní bloky (svažitou a erozně ohroženou část půdního bloku vymezil jako samostatný půdní blok) (západně od navržené SDSO). Původně byl celý půdní blok zařazen do kategorie MEO I. Po oddělení exponované erozně ohrožené východní části do samostatného půdního bloku dochází k přeřazení západní části půdního bloku do kategorie MEO II. Půdní bloky mezi jednotlivými TPEO ponechal projektant v původních rozlohách, pouze došlo k jejich zmenšení (EHP – návrh 1 viz Obr. 6-19), případně půdní bloky sloučil do větších celků, které bude možné efektivněji obhospodařovat (EHP – návrh 2 viz Obr. 6-20). Pro jednotlivé EHP (v tomto případě kombinace stávajících půdních bloků LPIS a nově navržených půdních bloků) vypočteme medián rastru $C_p \cdot P_p$. Tato hodnota dává hospodařícímu subjektu limitní způsob hospodaření na uvedených EHP. Zemědělec si v tomto případě sám stanoví (např. v Protierozní kalkulačce), jakým způsobem hospodaření (kombinací osevního postupu, použité agrotechniky, půdoochranných technologií) docílí požadované hodnoty $C_p \cdot P_p$.

Na uvedeném příkladu je vidět evidentní pozitivní posun (při porovnání se současným stavem viz Obr. 6-12) v zařazení jednotlivých půdních bloků do kategorie erozní ohroženosti dle DZES 5.



Obr. 6-19. Ukázka výsledného řešení návrhu TPEO v kombinaci s limitními hodnotami $C_p \cdot P_p$ v modelovém území (varianta EHP – návrh 1).



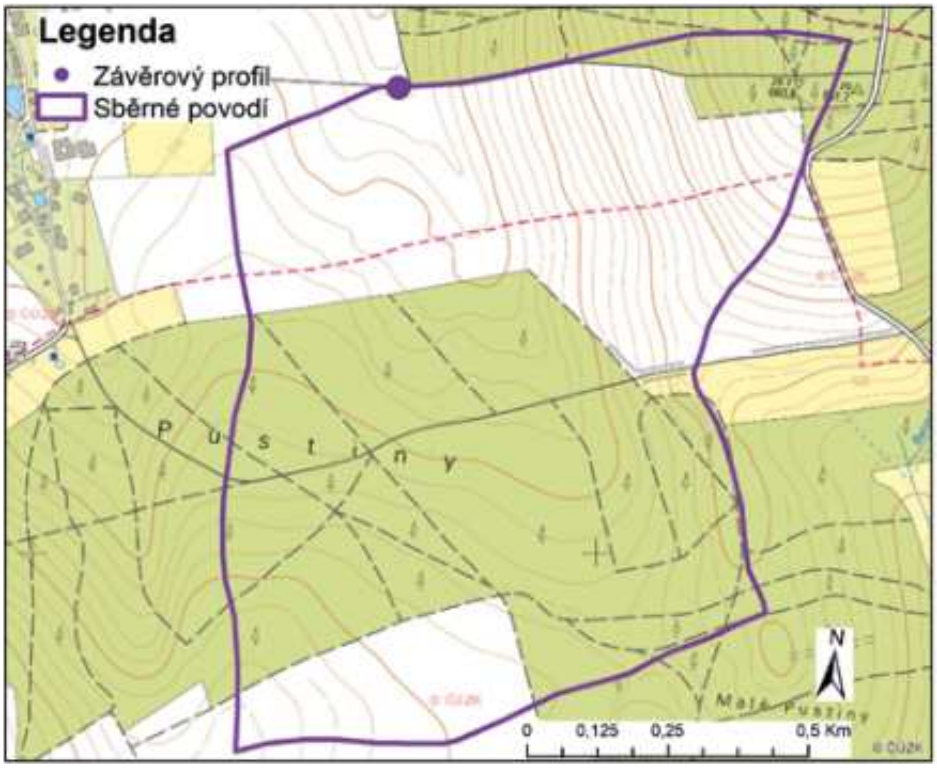
Obr. 6-20. Ukázka výsledného řešení návrhu TPEO v kombinaci s limitními hodnotami $C_p \cdot P_p$ v modelovém území (varianta EHP – návrh 2)

6.3 Praktická ukázka výpočtu hydrologických charakteristik

6.3.1 Příklad získání návrhových parametrů v závěrovém profilu řešené lokality

Následující příklad pracuje s využitím šestihodinových srážek a pravděpodobného zastoupení tvarů, pomocí metody SCS-CN a jednotkového hydrogramu za využití GIS pro odvození charakteristik území a programu HEC-HMS pro odvození návrhových parametrů (viz kapitolu 4.2). Odvození je provedeno pro stoletou návrhovou šestihodinovou srážku a je zohledněno zastoupení tvarů hyetogramů a rozložení stupně nasycení před příčinnou srážkou.
Dále použitá vstupní data, sestavený model v prostředí HEC-HMS je dostupný na rain.fsv.cvut.cz/cn.

Charakteristika území
Vymezená lokalita se závěrovým profilem.



Obr. 6-21. Vymezené sběrné povodí k závěrovému profilu na podkladě základní mapy ČR 1 : 10000 (© ČÚZK; © MZe)

Hydrologické charakteristiky z digitálního modelu terénu (viz Tab. 6-8).

Tab. 6-8. Hydrologické charakteristiky získané z digitálního modelu terénu

Charakteristika		Popis
Plocha povodí A	0,98 km^2	Plocha odvozena na základě DMR 4G se zahrnutím svodných prvků.
Průměrný sklon povodí Y	4,98 %	Odvozen jako průměr pomocí nástroje Slope.
Maximální délka odtokové dráhy L	1632m	Odvozen jako maximum pomocí nástroje FlowLength.

Hydrologická charakteristika území vyjádřená pomocí CN

Příklad odvození hodnot CN pomocí GIS nástrojů je uveden například https://training.gismentors.eu/qgis-pokrocily/2.14/hydrologie/scs-cn.html. Zde využitá hodnota je již výsledkem propojení vrstev hydrologických skupin půd a využití území podle tabulky Tab. 4-1 (v kapitole 4.2.2.).

Uvedené hodnoty odpovídají průměrnému stavu nasycení. Odvozená hodnota, která je využita pro další návrh, je pak průměrem pro řešené území (získaná například pomocí zonální statistiky). Průměrná hodnota pro CN2 je pak 71,2.

Hodnota zvýšeného nasycení CN3 je pak vypoètena pro každý pixel vstupního rastru podle vztahu

$$CN_3 = 23 \frac{CN_2}{(10 + 0{,}13\ CN_2)} = 84{,}6$$

Dále byly spočteny parametry potřebné pro stanovení hydrologické odezvy pro metodu SCS-CN a jednotkový SCS hydrogram. Jedná se zejména o odvození maximální potenciální retence A a doby kulminace Tlag:

Maximální potenciální retence (CN2):

$$A = 25{,}4 \left(\frac{1000}{CN} - 10 \right) = 102{,}7\ (mm)$$

Maximální potenciální retence (CN3):

$$A = 25{,}4 \left(\frac{1000}{CN} - 10 \right) = 46{,}2\ (mm)$$

Doba kulminace (CN2):

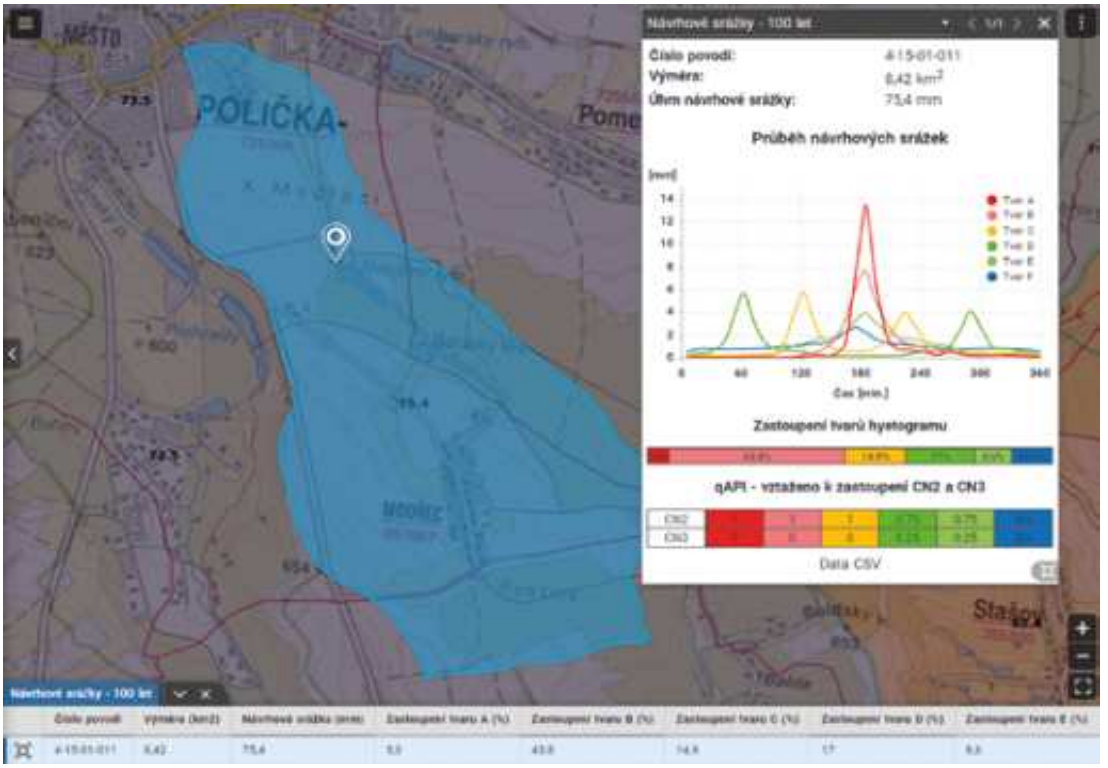
$$T_{lag} = \frac{(3{,}281 \cdot L)^{0{,}8}\ (0{,}0394 \cdot A + 1)^{0{,}7}}{1900 \cdot \sqrt{Y}} = 45\ (min)$$

Doba kulminace (CN3):

$$T_{lag} = \frac{(3{,}281 \cdot L)^{0{,}8}\ (0{,}0394 \cdot A + 1)^{0{,}7}}{1900 \cdot \sqrt{Y}} = 30\ (min)$$

Charakteristiky návrhových srážek

Charakteristiky návrhových srážek byly získány pro příslušné povodí IV. řádu ze serveru rain.fsv.cvut.cz viz následující obrázek. Je zde získán úhrn návrhové srážky i pravděpodobná zastoupení výskytu hyetogramů a stavu počátečního nasycení.



Obr. 6-22. Výřez datové obrazovky rain.fsv.cvut.cz

Výběr dat získaných z aplikace rain.fsv.cvut.cz po jejich stažení (Tab. 6-9).

Tab. 6-9. Výběr dat získaných z aplikace rain.

Objem srážky	**H_N100T360_mm**					
	75,50					
Pravděpodobn. zastoupení tvarů	P_N100tvarA_%	P_N100tvarB_%	P_N100tvarC_%	P_N100tvarD_%	P_N100tvarE_%	P_N100tvarF_%
	5.3	43.8	14.9	17,0	8,5	10,4
Rozdělení pravděpodobn. zastoupení CN2 a CN3	CN2_tvarA	CN2_tvarB	CN2_tvarC	CN2_tvarD	CN2_tvarE	CN2_tvarF
	1	1	1	0,75	0,75	0,5
	CN3_tvarA	CN3_tvarB	CN3_tvarC	CN3_tvarD	CN3_tvarE	CN3_tvarF
	0	0	0	0,25	0,25	0.5

Pozn.: Názvy sloupců odpovídají názvům z poskytovaného .csv souboru.

Výpočet návrhového objemu a maximálního průtoku

Výpočet objemů a maximálních průtoků jednotlivých scénářů srážek byl proveden v prostředí HEC-HMS. Vzorový model je dostupný na rain.fsv.cvut.cz/cn. Výsledky jednotlivých simulací jsou tabelárně uvedeny v následujících dvou tabulkách. První pro výpočet objemu odtoku a druhá pak pro výpočet kulminačního průtoku.

Tab. 6-10. Výsledky jednotlivých simulací a výpočet objemu odtoku při uvažovaném zastoupení jednotlivých tvarů hyetogramů a pravděpodobnosti zvýšeného nasycení

Tvar hyeto-gramu	P (mm)	zast. P (%)	CN2	CN3	zast. CN2 (%)	zast. CN3 (%)	V_ CN2 (m^3)	V_ CN3 (m^3)	V_vaz_ CN2 (m^3)	V_vaz_ CN3 (m^3)
A	75,5	5,3l	71,2	84,6	100	0	18700	38900	994	0
B	75,5	43,7	71,2	84,6	100	0	18700	38900	8187	0
C	75,5	14,9	71,2	84,6	100	0	18700	38900	2787	0
D	75,5	17,0	71,2	84,6	75	25	18700	38900	2383	1653
E	75,5	08,5	71,2	84,6	75	25	18700	38900	1200	833
F	75,5	10,4	71,2	84,6	50	50	18700	38900	976	2031
							Návrhový objem odtoku (m^3)			21045

Tab. 6-11. Výsledky jednotlivých simulací a výpočet maximálního průtoku při uvažovaném zastoupení jednotlivých tvarů hyetogramů a pravděpodobnosti zvýšeného nasycení

Tvar hyeto-gramu	P (mm)	zast. P (%)	CN2	CN3	zast. CN2 (%)	zast. CN3 (%)	V_ CN2 (m^3)	V_ CN3 (m^3)	V_vaz_ CN2 (m^3)	V_vaz_ CN3 (m^3)
A	75,5	5,3	71,2	84,6	100	0	3,70	11,07	0,20	0,00
B	75,5	43,7	71,2	84,6	100	0	3,23	8,80	1,40	0,00
C	75,5	14,9	71,2	84,6	100	0	2,78	5,99	0,42	0,00
D	75,5	17,0	71,2	84,6	75	25	2,86	5,88	0,37	0,25
E	75,5	8,5	71,2	84,6	75	25	2,36	5,68	0,15	0,12
F	75,5	10,4	71,2	84,6	50	50	1,57	4,05	0,08	0,21
							Návrhový průtok ($m^3.s^{-1}$)			3,20

Jako výsledná hodnota kulminačního průtoku pro návrh technických opatření se sběrnou plochou do 5 km^2 se bere vyšší z vypočítaných hodnot váženého průměru nebo kulminačního průtoku s nejvyšším pravděpodobnostním zastoupením pro scénář CN2 ze všech šesti uváděných hodnot. Pro uvedený příklad se jedná o výsledný maximální průtok Q = 3.23 $m^3.s^{-1}$.

V případě, že jsou si hodnoty pravděpodobnostního zastoupení pro dva a více scénářů velmi blízké, může projektant využít scénář s vyšším kulminačním průtokem, i když uvedený scénář bude mít pravděpodobnostní zastoupení nižší, např. scénář B by měl P = 20 % a scénář C by měl P = 21 %.

6.4 Standard pro jednotnou klasifikaci a barevné zobrazování legend vrstev eroze

R faktor	Popis	barva			HEX
Rozsah hodnot		R	G	B	
do 50,0		214	47	39	#D62F27
50,1–60,0		237	117	81	#ED7551
60,1–70,0		250	185	132	#FAB984
70,1–80,0		192	204	190	#C0CCBE
80,1–90,0		192	204	230	#C0CCE6
90,1–100,0		132	158	186	#849EBA
100,1 a více		69	117	181	#4575B5
K faktor	**Popis**	**barva**			**HEX**
Rozsah hodnot		R	G	B	
do 0,20	Nenáchylné půdy	69	117	181	#4575B5
0,20–0,30	Slabě náchylné půdy	162	180	189	#A2B4BD
0,30–0,40	Středně náchylné půdy	255	255	191	#FFFFBF
0,40–0,50	Silně náchylné půdy	245	152	105	#F59869
0,50–1,00	Nejnáchylnější půdy	214	47	39	#D62F27
LS faktor	**Popis**	**barva**			**HEX**
Rozsah hodnot		R	G	B	
do 1,0	Svahy bez ohrožení	0	112	255	#0070FF
1,1–2,0	Svahy náchylné	115	178	255	#73B2FF
2,1–3,0	Svahy mírně ohrožené	190	210	255	#BED2FF
3,1–5,0	Svahy ohrožené	255	115	223	#FF73DF
5,1–10,0	Svahy silně ohrožené	230	0	169	#E600A9
10,1 a více	Svahy nejohroženější	168	0	132	#A80084
G_p	**Popis**	**barva**			**HEX**
Rozsah hodnot		R	G	B	
2	Mělké půdy (méně než 30 cm)	214	0	0	#D60000
9	Středně hluboké půdy (30–60 cm)	255	127	127	#FF7F7F
9	Hluboké půdy (více než 60 cm)	255	214	190	#FFD6BE
G	**Popis**	**barva**			**HEX**
Rozsah hodnot		R	G	B	
do 2,0	Bez ohrožení – průhledná barva	-	-	-	-
2,0–9,0		255	255	190	#FFFFBE
9,1–15,0		255	211	127	#FFD37F
15,1–20,0		255	170	0	#FFAA00
20,1–25,0		255	190	232	#FFBEE8
25,1–30,0		255	0	197	#FF00C5
30,1 a více		132	0	168	#8400A8

$C_p \cdot P_p$	Popis	barva			HEX
Rozsah hodnot	Rámcové agrotechniky a osevy	R	G	B	
do 0,005	Ochranné zatravnění	168	0	0	#A80000
0,006–0,020	Víceleté pícniny nebo ochranné zatravnění	255	85	0	#FF5500
0,021–0,100	Vyloučení erozně nebezpečných plodin a vyšší zastoupení víceletých pícnin	255	170	0	#FFAA00
0,101–0,200	Vyloučení erozně nebezpečných plodin a použití půdoochranných technologií	255	255	0	#FFFF00
0,201–0,240	Pásové střídání plodin nebo vyloučení erozně nebezpečných plodin	211	255	190	#D3FFBE
0,241–0,400	Erozně nebezpečné plodiny pěstovány s půdoochrannými technologiemi	137	205	102	#89CD66
0,401 a více	Bez omezení	92	137	68	#5C8944
DZES 5	**Popis**	**barva**			**HEX**
Rozsah hodnot		R	G	B	
SEO	Silně erozně ohrožené	168	0	0	#A80000
MEO I	Mírně erozně ohrožené přísnější	255	170	0	#FFAA00
MEO II	Mírně erozně ohrožené mírnější	254	224	139	#FEE08B
NEO	Bez omezení	92	137	68	#5C8944
Kategorie ohroženosti větrnou erozí	**Koeficient ohroženosti (= popis)**	**barva**			**HEX**
Rozsah hodnot		R	G	B	
1	< 4	255	255	255	#FFFFFF
2	4,1–6,0	255	255	109	#FFFF6D
3	6,1–9,0	254	212	72	#FED448
4	9,1–13,0	248	152	48	#F89830
5	13,1–16,0	130	84	50	#825432
6	> 16,1	128	18	19	#801213
Erozní potenciál (zimní eroze)	**Popis**	**barva**			**HEX**
Rozsah hodnot		R	G	B	
0–6		156	85	31	#9C551F
6,1–26		207	162	99	#CFA263
26,1–49		255	255	191	#FFFFBF
49,1–85		145	189	168	#91BDA8
> 85,1		33	130	145	#218291

7 Seznam použitých informačních zdrojů

7.1 Související předpisy

V Česku vytváří základní rámec ochrany půdy **zákon č. 334/1992 Sb., o ochraně zemědělského půdního fondu, ve znění pozdějších předpisů**. Tento zákon mimo jiné zakazuje způsobovat ohrožení zemědělské půdy erozí překračováním přípustné míry jejího erozního ohrožení stanovené prováděcím právním předpisem a zakazuje poškozovat fyzikální, chemické nebo biologické vlastnosti zemědělské půdy jejím zhutňováním, zamokřováním, vysoušením, překrýváním nebo narušováním erozí. Vlastníkům, případně nájemcům zákon ukládá, aby hospodařili na ZPF tak, aby neznečišťovali půdu a tím i potravní řetězec a zdroje pitné vody škodlivými látkami ohrožujícími zdraví nebo život lidí a existenci živých organismů, nepoškozovali okolní pozemky a příznivé fyzikální, biologické a chemické vlastnosti půdy a chránili obdělávané pozemky podle schválených projektů pozemkových úprav. V případě zjištění způsobu hospodaření, které není v souladu se zákonem a dochází k poškození nebo kontaminaci půdy, je příslušný orgán ochrany zmocněn k provedení správního řízení k uložení opatření. Způsob nápravy při erozním ohrožení volí původce závadného stavu podle prováděcího právního předpisu.
Tímto prováděcím právním předpisem je **vyhláška č. 240/2021 Sb., o ochraně zemědělské půdy před erozí** (dále PEV), která podrobně stanovuje řešení erozního ohrožení vodní erozí a dále způsob hodnocení erozního ohrožení zemědělské půdy vodní erozí, přípustnou míru erozního ohrožení vodní erozí a opatření k jeho snížení. Podstatný je fakt, že PEV je založena na USLE, stanovuje přípustnou míru erozního ohrožení na základě průměrné dlouhodobé ztráty půdy vyjádřené v tunách na 1 ha za 1 rok v závislosti na hloubce půdy a referenčním výpočtem erozního ohrožení vodní erozí stanovuje výpočet provedený v Protierozní kalkulačce.
Protierozní vyhláška je závazná pro celou plochu ZPF vyjma pozemků s trvalou kulturou nebo těch, na nichž jsou pěstovány zeleninové druhy, jahodník, léčivé, aromatické nebo kořeninové rostliny. Nápravná opatření však vyhláška vyžaduje pouze v případě opakované evidence erozní události v systému Monitoringu eroze zemědělské půdy. Tento systém je nástrojem pro celorepublikový sběr dat o erozních událostech a hodnocení účinnosti protierozních opatření definovaných v platných právních normách. V rámci Monitoringu se zajišťují a vyhodnocují informace o proběhlých erozních událostech, které po vyhodnocení poskytují státní správě zpětnou vazbu o účinnosti přijatých opatření. Výstupy Monitoringu tak slouží pro definici nutných úprav opatření pro zmírnění negativních účinků erozních událostí na úrovni jednotlivých událostí i na národní úrovni.

Standardy Dobrého zemědělského a environmentálního stavu (DZES) zajišťují zemědělské hospodaření ve shodě s ochranou životního prostředí a jsou součástí Kontroly podmíněnosti (Cross Compliance). Hospodaření v souladu se standardy DZES je implementací Společné zemědělské politiky, která je na národních úrovních řízena Strategickým plánem SZP. Pro protierozní ochranu je nejdůležitější standard DZES 5, který upravuje podmínky pěstování erozně nebezpečných plodin na erozně ohrožených půdách. Vymezení půd silně a mírně erozně ohrožených podle DZES 5 je založeno taktéž na dlouhodobé ztrátě půdy a implementaci rovnice USLE.

Pozemkové úpravy
Proces pozemkových úprav se řídí zákonem č. 139/2002 Sb., o pozemkových úpravách a pozemkových úřadech. Zákonem a prováděcí vyhláškou č. 13/2014 Sb., o postupu při provádění pozemkových úprav a náležitostech návrhu pozemkových úprav, je stanoveno, že důležitou součástí pozemkových úprav je mimo jiné také protierozní ochrana, jak v rámci rozboru současného stavu, tak v rámci plánu společných zařízení. Podrobný postup zpracování erozní ohroženosti v rámci PÚ řeší samostatné metodické postupy, které vydává Státní pozemkový úřad (SPÚ, 2022). Základem pro výpočet erozní ohroženosti vodní erozí je metoda USLE popsaná v této metodice.

Legislativa EU

V prosinci 2019 představila Evropská komise „Zelenou dohodu pro Evropu" s hlavním cílem dosáhnout klimaticky neutrální Evropy do roku 2050. Velké ambice zelené dohody rozpracovala EK pro zemědělce ve strategii „Od zemědělce ke spotřebiteli". Mezi klíčové cíle patří omezení závislosti na pesticidech a syntetických hnojivech (o 50 % do roku 2030), zvýšení diverzity pěstovaných zemědělských plodin, zlepšení života chovaných zvířat, zvýšení podílu zemědělské půdy obhospodařované v režimu ekologického zemědělství (na 25 % do roku 2030). Zmiňuje se nový ekologický obchodní model ukládání uhlíku, oběhové hospodářství založené na biotechnologiích. Také se má znovu otevřít a posílit ustanovení o integrované ochraně rostlin. Důležitá je také informace, že zemědělství je odpovědné za 10,3 % emisí skleníkových plynů a téměř 70 % z nich pochází z odvětví živočišné výroby, což pravděpodobně bude směřovat ke snahám o její redukci. To vše jsou změny, které vyvolají nutnost průběžně revidovat doporučení a metodiky protierozní ochrany (příkladem budiž současná závislost některých protierozních technologií na chemické likvidaci porostu).

Zcela jistě se na situaci projeví také strategie EU v oblasti biologické rozmanitosti do roku 2030 „Navrácení přírody do našeho života", která doplňuje požadavky například na 10 % zemědělské plochy s vysoce rozmanitými krajinnými prvky, požadavkem na minimalizaci využívání celých stromů, potravin a krmiv pro výrobu energie, potřebu měření ekologické stopy výrobků a organizací.

V listopadu 2021 byla dále vydána Strategie EU pro půdu do roku 2030 „Využití zdravé půdy pro lidi, potraviny, přírodu a klima". Vize EK je, že do roku 2050 budou všechny půdní ekosystémy EU ve zdravém stavu, a tudíž odolnější, což si v tomto desetiletí vyžádá velmi rozhodné změny. Z velkého množství cílů je relevantní zmínit například střednědobý – do roku 2030 (usilovat o dosažení světa s neutrální degradací půdy) a jeden cíl dlouhodobý – do roku 2050 dosáhnout nulového čistého záboru půdy.

Tato zásadní transformace má být podpořena novou „Společnou zemědělskou politikou na roky 2023–2027", kdy velmi zjednodušeně dotace mají být směřovány především zemědělcům, kteří plní výše popsané ekologické ambice. Členské státy předkládají tzv. „Strategické plány SZP", které obsahují nastavení i výše zmíněných Standardů dobrého zemědělského a environmentálního stavu neboli DZES.

Dalším důležitým nástrojem na prosazení „Zelené dohody" je nařízení EU o taxonomii, které určuje, za jakých podmínek se hospodářská činnost kvalifikuje jako významně přispívající ke zmírňování změny klimatu nebo k přizpůsobování se změně klimatu, a to, zda tato činnost významně nepoškozuje některý z dalších environmentálních cílů. Pro rostlinnou produkci byly navrženy 3 způsoby, jak je možné taxonomii plnit – skrze rozsáhlé oblasti bohaté na biologickou rozmanitost, skrze udržitelnou bilanci dusíku na vstupu do podniku, nebo pokud se podnik zcela zdrží používání syntetických přípravků na ochranu rostlin. Prokázání shody bude nutné provádět prostřednictvím plánu řízení udržitelnosti farmy včetně pravidelného ověřování nezávislou třetí stranou. Toto relativně nenápadné nařízení může mít na sektor zemědělství velmi zásadní dopady, protože vtahuje do hry finanční sektor a do budoucna udělá finance dražší či méně dostupné pro ty, kteří nebudou podmínky taxonomie splňovat.

V červnu 2023 zveřejnila Komise návrh směrnice Evropského parlamentu a Rady o monitoringu a odolnosti půdy. Návrh směrnice stojí na třech pilířích, monitoringu zdraví půd a jeho vyhodnocování, stanovení zásad udržitelného hospodaření s půdou a problematice kontaminovaných míst a jejich identifikaci. Ač aktuálně nelze předjímat výslednou podobu směrnice, je nutné zmínit hodnotu jednoho z navrhovaných deskriptorů zdraví půdy, a to konkrétně eroze (vodní, větrné, zpracováním půdy, sklizňové). Je jím limit přípustného smyvu 2 $t.ha.rok^{-1}$. Tento limit (a obecně další strategie) se mimo jiné opírají o výsledky Evropského výzkumného centra JRC a Evropskou mapu erozní ohroženosti zemědělské půdy, odvozenou pomocí RUSLE (Panagos et al., 2015). Tato mapa je nicméně v příkrém rozporu s detailnějšími mapami aktuální ztráty půdy na úrovni jednotlivých zemí, které byly zpracovány místně adjustovanými metodami a na základě místně nejaktuálnějších vstupních dat – především půdních, klimatických a využití území. Takové porovnání pro ČR, Bavorsko a Rakousko publikoval například Fiener et al. (2020), kde prokázal významné rozdíly mezi jednotlivými národně specifickými metodami navzájem, a především vůči celoevropské mapě. Mapa JRC tak má své zásadní opodstatnění při srovnání intenzity eroze mezi jednotlivými regiony, ale je zcela zavádějící v národních měřítcích, a to jak v absolutních hodnotách, tak v prostorovém rozložení. Reálnou míru podrobnosti, měřených a shromažďovaných dat a používaných metod na národní úrovni k vymezení erozní ohroženosti shrnuje právě tato předkládaná metodika.

7.2 Použitá legislativa, normy, standardy, metodiky

ČSN 73 6201 Projektování mostních objektů
ČSN 75 4500 Protierozní ochrana zemědělské půdy
ČSN 75 2101 Ekologizace úprav vodních toků
ČSN 75 2130 Křížení a souběhy vodních toků s dráhami, pozemními komunikacemi a vedeními
ČSN 75 2405 Vodohospodářská řešení vodních nádrží
ČSN 75 2410 Malé vody
ČSN 73 6109 Projektování polních cest
Metodický návod pro provádění pozemkových úprav, MN 01/2022, Státní pozemkový úřad.
Metodika k provádění nařízení vlády č. 140/2023 Sb., o stanovení podmínek provádění opatření Agrolesnictví a o změně některých souvisejících nařízení vlády. Ministerstvo zemědělství.
Metodika k provádění nařízení vlády č. 63/2023 Sb., o stanovení podmínek provádění opatření pro Zalesňování zemědělské půdy. Ministerstvo zemědělství.
Nařízení Evropského parlamentu a Rady č. 1305/2013, o podpoře pro rozvoj venkova z Evropského zemědělského fondu pro rozvoj venkova (EZFRV) a o zrušení nařízení Rady (ES) č. 1698/2005. Úřední věstník Evropské unie.
Nařízení vlády č. 63/2023 Sb., o stanovení podmínek provádění opatření pro zalesňování zemědělské půdy.
Nařízení vlády č. 140/2023 Sb., o stanovení podmínek provádění opatření agrolesnictví a o změně nařízení vlády č. 307/2014 Sb., o stanovení podrobností evidence využití půdy podle uživatelských vztahů, ve znění pozdějších předpisů, a nařízení vlády č. 69/2023 Sb., o stanovení podmínek provádění opatření v odvětví vína (nařízení vlády o stanovení podmínek provádění opatření agrolesnictví).
Technická doporučení pro hrazení bystřin a strží, Ministerstvo zemědělství – Česká společnost krajinných inženýrů, 2020.
Technický standard dokumentace PSZ v pozemkových úpravách, Státní pozemkový úřad, 2022.
TNV 75 2102 Úpravy potoků
TNV 75 2103 Úpravy řek
TNV 75 2415 Suché nádrže
TNV 75 2935 Posuzování bezpečnosti vodních děl při povodních
Vyhláška č. 13/2014 Sb., o postupu při provádění pozemkových úprav a náležitostech návrhu pozemkových úprav, ve znění pozdějších předpisů.
Vyhláška č. 240/2021 Sb., o ochraně zemědělské půdy před erozí.
Vyhláška č. 441/2013 Sb., k provedení zákona o oceňování majetku (oceňovací vyhláška).
Zákon č. 334/1992 Sb., o ochraně zemědělského půdního fondu.
Zákon č. 139/2002 Sb., o pozemkových úpravách a pozemkových úřadech a o změně zákona č. 229/1991 Sb., o úpravě vlastnických vztahů k půdě a jinému zemědělskému majetku, ve znění pozdějších předpisů.

7.3 Související a použité zdroje informací (doporučená literatura)

BALVÍN, P.; HAVLÍK, A.; JUREČKOVÁ, P.; PICEK, T.; TRNKA, M. 2016. Hydraulické posouzení propustků. Metodiky. Praha. Dostupné online z: https://www.mdcr.cz/getattachment/dokumenty/veda-a-vyzkum/certifikovane-metodiky/dopravni-stavitelstvi/hydraulicke-posouzeni-propustku/hydraulicke-posouzeni-propustku.pdf.aspx.

BÍNOVÁ, L.; CULEK, M.; GLOS, J. et al. 2017. Metodika vymezování územního systému ekologické stability. Ministerstvo životního prostředí.

BILBRO, J. D.; FRYEAR, D. W. 1988. Annual herbaceous windbarriers for protecting crops and soils and managing snowfall. Agr. Ecosystems. Environ. 22–23, 149–161.

BEITLEROVÁ, H.; ŽÍŽALA D.; MINAŘÍK, R.; STROUHAL, L.; KAVKA, P. a JUŘICOVÁ, A. 2021. Fyzikální a hydropedologické vlastnosti půd ČR. B. m.: Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy.

BEITLEROVÁ, H.; DEVÁTÝ, J.; STEHLÍK, M.; LENZ, J.; KAPIČKA, J.; DOSTÁL, T.; PAVEL, M.; ŽÍŽALA, D.; MINAŘÍK, R.; JUŘICOVÁ, A.; ZELENKOVÁ, K. 2021. Využití matematického simulačního modelu EROSION-3D pro posuzování erozní ohroženosti a navrhování ochranných opatření (1. vydání). Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, v. v. i.

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

BRANT, V.; KROULÍK, M.; ŠMÖGER L.; ZÁBRANSKÝ, P.; ŠKEŘÍKOVÁ, M; HAMOUZ, P. a TYŠER L. 2019. Pomocné plodiny v pěstebních systémech polních plodin [online]. Praha: Centrum precizního zemědělství ČZU. ISBN 978-80-88351-03-0. Dostupné z: https://cpz.czu.cz/dl/81815?lang=cs.

BRANT, V.; KAPIČKA, J.; KROULÍK, M.; VÁŇOVÁ, V.; LANG, J.; TRÁVNÍČEK, J. a BREZÁNI A. 2022. Precizní postupy v ekologickém zemědělství, Úroda (2), 28–32.

DZHADAN, G. I.; DEMIDENKO, M. K.; CHABANOV, G. N. 1975. Effect of the degree of erodibility of soils on their agrochemical properties and grain crop yield. Sov. Soil Sci. 7, 579–584.

DOLEŽAL, P.; KARÁSEK, P. et al. 2016. Metodický návod k provádění vybraných činností v procesu pozemkových úprav. Brno: Agroprojekt PSO, s. r. o., VÚMOP, v. v. i., VUT v Brně, Mendelova univerzita v Brně, 56 s.

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: SPÚ, číslo osvědčení: 2/2017 SPU/O.

DRBAL, K.; DUMBROVSKÝ, M. et al. 2009. Metodický návod pro identifikaci KB. Brno: Věstník MŽP, 7 s.

Dostupné na: http://www.povis.cz/mzp/KB_metodicky_navod_identifikace.pdf.

DUMBROVSKÝ, M.; DRBAL, K.; SOBOTKOVÁ, V.; UHROVÁ, J. 2020. An approach to identifying and evaluating the potential formation of ephemeral gullies in the conditions of the Czech Republic. Soil and Water Res., 15, 38–46.

DUMBROVSKÝ, M.; ŠARAPATKA, B. et al. 2023. Pásové střídání plodin jako protierozní a adaptační opatření v pozemkových úpravách. Certifikovaná metodika. Univerzita Palackého v Olomouci.

DÝROVÁ, E. 1988. Ochrana a organizace povodí. Brno: ES VUT Brno.

FAO a ITPS. 2015. Status and World´s Soils. Food and Agriculture Organization of the United Nations and Intergovernmental Technical Panel on Soils. Rome, Italy.

FIENER, P.; DOSTÁL, T.; KRÁSA, J.; SCHMALTZ, E.; STRAUSS, P.; WILKEN, F. 2020. „Operational USLE-Based Modelling of Soil Erosion in Czech Republic, Austria, and Bavaria—Differences in Model Adaptation, Parametrization, and Data Availability" Applied Sciences 10, no. 10: 3647. https://doi.org/10.3390/app10103647.

FOSTER, G. R.; YODER, D. C.; WEESIES, G. A.; MCCOOL, D. K.; MCGREGOR, K. C.; BINGNER, R. L. 2002. User's Guide-Revised Universal Soil Loss Equation Version 2 (RUSLE 2). USDA – Agricultural Research Service, Washington, DC, USA.

DESMET, P. J. J.; GOVERS, G. 1996. A GIS Procedure for Automatically Calculating the USLE LS Factor on Topographically Complex Landscape Units. Journal of Soil and Water Conservation, 51, 427–433.

HEJDUK, S. 2011. Vliv pícních porostů na vznik povrchových odtoků srážkových vod a náhlých povodní. Habilitační práce. Brno: Mendelova univerzita v Brně.

HOLÝ, M. 1994. Eroze a životní prostředí. Praha: ČVUT Praha.

HRÁDEK, F.; KOVÁŘ, P. 1994. Výpočet Náhradních intenzit přívalových dešťů. Vodní hospodářství. 11: 49.

CHEPIL, W. S. 1958. Soil conditions that influence wind erosion. Technical. Bulletin., no. 1185. U.S. Dept. Agr., Washington.

JANEČEK, M. et al. 2002. Ochrana zemědělské půdy před erozí. ISV nakladatelství, Praha, 201 s.

JANEČEK, M. et al. 2007. Ochrana zemědělské půdy před erozí, metodika. Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, v. v. i., Praha, 76 s. ISBN 978-80-254-0973-2.

JANEČEK, M. et al. 2012. Ochrana zemědělské půdy před erozí. Metodika, ČZU Praha.

KARÁSEK, P.; KAPIČKA, J. 2021. Grass strips in the landscape of the Czech Republic. In Fialová J. (ed.) Public recreation and landscape protection – with sense hand in hand! Křtiny: Mendelu, 10.–11. 5. 2021, 231–235. ISBN 978-80-7509-779-8 (print) ISBN 978-80-7509-780-4 (pdf).

KARÁSEK, P.; LANG, J.; JANOUŠEK, M.; VOJTĚCHOVSKÝ, T. 2022. Software pro návrh a dimenzování přerušovacích pásů v krajině. Interaktivní webová aplikace dostupná na: https://protieroznipasy.vumop.cz/. VÚMOP, v. v. i.

KARÁSEK, P. et al. 2022. Vzorové příklady návrhu protierozních travních pásů jako polyfunkčního opatření v erozně ohroženém území. Nmap – Specializovaná mapa s odborným obsahem. Brno: VÚMOP, v. v. i.

KARÁSEK, P.; POCHOP, M.; KONEČNÁ, J. 2022. Comparison of the Methods for LS Factor Calculation when Evaluating the Erosion Risk in a Small Agricultural Area Using the USLE Tool. Journal of Ecological Engineering. 23(1), 100–109.

KASPRZAK, K. 1989. Ochrana vodních nádrží před znečištěním erozními smyvy. Dílčí závěrečná zpráva tématu RVHP 2.1. „Racionální využití a ochrana vodních nádrží". Brno: Mendelova univerzita.

KAVKA, P., MULLER, M., STROUHAL, L. 2018. Krátkodobé srážky pro hydrologické modelování a navrhování drobných vodohospodářských staveb v krajině. First. Prague: ČVUT v Praze. Https://rain.fsv.cvut.cz/.

KAVKA, P.;VANÍČEK, M.;DUFKA, D. 2021. Ochrana umělých svahů před erozí a stabilizace povrchové vrstvy. ČVUT v Praze. ISBN: 978-80-01-06806-9

KAVKA, P.; JEŘÁBEK, J.; LANDA M. 2022. SMODERP2D-Sheet and Rill Runoff Routine Validation at Three Scale Levels. Water, 14 (3), 327 . https://doi.org/10.3390/W14030327.

KAVKA, P. et al. 2023. Krátkodobé srážky pro hydrologické modelování a navrhování drobných vodohospodářských staveb v krajině. Certifikovaná metodika. ČVUT v Praze, Praha, 69 s. ISBN: 978-80-01-07115-1.

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.

KOVÁŘ, M. et al. 2023. Standardy péče o přírodu a krajinu, Vytváření ÚSES (plány a projekty), Agentura ochrany přírody a krajiny.

KUČERA, J.; PODHRÁZSKÁ, J.; STŘEDA, T.; STŘEDOVÁ, H.; PAPAJ, V. 2021. Mapa účelové kategorizace trvalých vegetačních prvků v územích ohrožených větrnou erozí, Certifikovaná mapa. Brno: VÚMOP, v. v. i. Certifikační orgán: 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. 2021. Ohroženost zemědělské půdy větrnou erozí se zohledněním vlivu trvalých vegetačních prvků, Certifikovaná mapa. Brno: VÚMOP, v. v. i. Certifikační orgán: MZe, číslo osvědčení: 2021 MZE-66471/2021-11120.

KUBÁT, J. F. A KOL. 2024. Estimation of Infiltration Parameters: The Role of Pedotransfer Functions and Initial Moisture Conditions, Journal of Hydrology, 633, 130954.

LAL, R. 1998. Soil and erosion impact on agronomic productivity and environmental quality. Critical Reviews in Plant Sciences, 17(4), 319–464.

LOJKA, B. a kol. 2020. Zavádění agrolesnických systémů na zemědělské půdě. Metodika. Praha: ČZU Praha. Dostupné z: https://agrolesnictvi.cz/certifikovana-metodika-zavadeni-agrolesnickych-systemu-na-zemedelske-pude/.

MADĚRA, P.; ZIMOVÁ, E. (eds.) 2005. Metodické postupy projektování lokálního ÚSES. Ústav lesnické botaniky, dendrologie a typologie MZLU v Brně.

MACHÁČ, J.; NOBILIS, L.; ZAŇKOVÁ, L.; MATĚJKA, J.; DUBOVÁ, L.; HERKLE, M.; MAŇHAL, J.; 2020. Metodika ocenění externalit produkce biomasy a zahrnutí jejich vlivů do regulace rozvoje OZE 51.

MALENOVÁ, P.; TOMAN, F. 2005. Impact of Snowthawing on endangered Range of Soil Erosion. [online]. Available at: http://mnet.mendelu.cz/mendelnet2005/articles/enviro/malenova.pdf.

MCRAE, B. H.; BEIER, P. 2007. Circuit theory predicts gene flow in plant and animal populations. Proc. Natl. Acad. Sci., 104, 19885–19890. https://doi.org/10.1073/pnas.0706568104.

MISTR, M.; DOSTÁL, T.; BRANT, V.; KRÁSA, J.; STŘEDA, T.; NOVOTNÝ, I.; STŘEDOVÁ, H; KROULÍK, M.; PIVEC, J.; ZUMR, D. 2016. Stanovení faktoru ochranného vlivu vegetace pomocí simulátoru deště, in: Certifikovaná metodika. Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, v. v. i., Praha, 54 s.

MISTR, M.; JANOUŠEK, Z. 2021. Vrstevnicové obdělávání a pásové střídání plodin jako účinná protierozní opatření. Česká technologická platforma pro zemědělství, online (https://www.ctpz.cz/vyzkum/vrstevnicove-obdelavani-a-pasove-stridani-plodin-jako-ucinna-protierozni-opatreni-1136).

MISTR, M.; NOVOTNÝ, I.; KAPIČKA, J.; VÁŇOVÁ, V.; BRÁZDA J. 2021. Analýza a vyhodnocení ekonomických dopadů současných i plánovaných opatření na ochranu půdy. Zpráva k plnění Smlouvy o poskytnutí služeb č.: 200202. Praha-Zbraslav: VÚMOP, v. v. i.

MITASOVA, H.; HOFIERKA, J.; ZLOCHA, M.; IVERSON, L. 1996. Modelling topographic potential for erosion and deposition using GIS, International journal of geographical information systems, 10:5, 629–641.

MÜLLER, M.; BLIŽŇÁK, V.; KAŠPAR, M. 2018. Analysis of rainfall time structures on a scale of hours. Atmos. Res., 211, 38–51. DOI: 10.1016/j.atmosres.2018.04.015.

NEARING, M. A.; NORTON, L. D.; BULGAKOV, D. A.; LARIONOV, G. A.; WEST, L. T.; DONTSOVA, K. M. 1997. Hydraulics and erosion in eroding rills, Water Resour. Res., 33(4), 865–876,

PANAGOS, P.; BORRELLI, P.; MEUSBURGER, K.; ALEWELL, CH.; LUGATO, E.; MONTANARELLA, L. 2015. Estimating the soil erosion cover-management factor at the European Scale. Land Use Policy, 48, 38–50.

PANAGOS, P.; STANDARDI, G.; BORRELLI, P.; LUGATO, E.; MONTANARELLA, L.; BOSELLO, F. 2018. Cost of agricultural productivity loss due to soil erosion in the European Union: From direct cost evaluation approaches to the use of macroeconomic models. Land Degrad. Dev., 29, 471–484.

PASÁK, V. 1970. Větrná eroze půdy. Výzkumný ústav meliorací. 186 s.

PIERIK, M. E.; DELL'ACQUA, M.; CONFALONIERI, R.; BOCCHI, S.; GOMARASCA, S. 2016. Designing ecological corridors in a fragmented landscape: a fuzzy approach to circuit connectivity analysis. Ecol. Indic., 67, 807–820. https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2016.03.32.

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

PODHRÁZSKÁ, J.; LITSCHMANN T.; HRADIL M. et al. 2011. Hodnocení účinnosti trvalých vegetačních bariér v ochraně proti větrné erozi. Brno: Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy Praha, ISBN 978-80-87361-10-8.

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.

POKLADNÍKOVÁ, H.; TOMAN, F.; STŘEDA, T. 2008. Negative impacts of snow melting on the soil. Acta univ.

Agric. Et silvic. Mendel. Brun., LVI, No. 1, pp. 143–148.

PRAŽAN, J.; KOUTNÁ, K. 2012. Efektivnost a ekonomické aspekty vybraných opatření ochrany půdy a vody. Technická zpráva pro účely etapy 03 výzkumného záměru VÚMOP, v. v. i., 57 s.

QUINN, P.; BEVEN, K.; CHEVALLIER, P.; PLANCHON, O. 1991. The prediction of hillslope flow paths for distributed hydrological modelling using digital terrain models. Hydrol. Process., 5: 59–79.

SCHMIDT, J.; VON WERNER, M.; MICHAEL, A. 1996. EROSION-2D/3D: Ein Computermodell zu Simulation der Bodenerosion durch Wasser. Dresden/Freiberg, Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft/Sächsisches Landesamt für Umwelt und Geologie, 240 s. (vergriffen)

SPÚ. 2022. Metodický návod pro provádění pozemkových úprav. Praha: SPÚ, 139 s.

STRAUB, T. D.; MELCHING, C. S.; KOCHER, K. E. 2000. Equations for estimating Clark unit-hydrograph parameters for small rural watersheds in Illinois: U. S. Geological Survey Water-Resources Investigations Report 00–4184, 30 p., https://doi.org/10.3133/wri004184.

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.

ŠAMAJ, F.; VALOVIČ, Š.; BRÁZDIL, R. 1985. Denné úhrny zrážok s mimoriadnou výdatnosťou v ČSSR v období 1901–1980. Zborník prác SHMÚ Bratislava.

ŠARAPATKA, B.; BEDNÁŘ, M. 2021. Agricultural Production on Erosion-Affected Land from the Perspective of Remote Sensing. Agronomy 11, 2216. https://doi.org/10.3390/agronomy11112216.

ŠVEHLÍK, R. 1988. Hranice erodovatelnosti půdy větrem. Zprávy Geografického ústavu ČSAV 25(4), 19–42.

TRUPL, J. 1958. Intenzity krátkodobých dešťů v povodích Labe, Odry a Moravy. Práce a studie, sv. 97. Praha: VÚV.

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 and Water Res., 12, 128–135.

TELLES, T. S.; GUIMARAES, M. F.; FALCI DECHEN, S. C. 2011. The cost of soil erosion. Revista Brasileira de Ciencia do Solo, 35, 287–298.

RENARD, K. G. et al., 1997. Predicting Soil Erosion by Water: A Guide to Conservation Planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE) (Agricultural Handbook 703). US Department of Agriculture, Washington, DC, 404.

VOPRAVIL, J.; KHEL, T.; HEŘMANOVSKÁ, D.; HOLUBÍK, O.; HUISLOVÁ P., 2018. Mapové vymezení infiltračních schopností a propustnosti zemědělských a nezemědělských půd ČR s celorepublikovou územní kategorizací. VÚMOP, v. v. i.

VAN DEN BORN, G. J.; DE HAAN, B. J.; PEARCE, D. W.; HOWARTH, A. 2000. Technical Report on Soil Degradation in Europe: An Integralted Economic and Environmental Assessment; RIVM Report 481505018; National Institute of Public Health and Environment—RIVM: Bilthoven, The Netherlands.

WANG, R.; LIA, Q.; ZHOUB, N.; CHANGC, C.; GUOC, Z.; LI, J. 2019. Effect of wind speed on aggregate size distribution of windblown sediment. Aeolian Research, 36, 1–8. DOI: 10.1016/j.aeolia.2018.10.001.

WEGER, J. a kol. 2022. Doporučené postupy a komponenty agrolesnických systémů pro obnovu a posílení mimoprodukčních funkcí krajiny. Metodika. Průhonice: VÚKOZ, v. v. i. Dostupné z: https://www.vukoz.cz/wp-content/uploads/2023/03/metodika-als-epsilon-fin-3.pdf.

WISCHMEIER, W.; SMITH, D. 1978. Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning. In: Agricultural Handbook No. 537. US Department of Agriculture, Washington, DC, USA.

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

ZACHAR, O. 1982. Soil erosion. Elsevier, Amsterdam, 547 s.

ŽÍŽALA, D.; MINAŘÍK, R.; JUŘICOVÁ, A.; ZÁDOROVÁ, T.; BEITLEROVÁ, H.; PENÍŽEK, V. 2021. „Soubor detailních map půdních vlastností ČR – Zemědělské půdy." Praha: Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, v. v. i.

7.4 Použité internetové zdroje, geoportály

Geoportál ČÚZK	https://geoportal.cuzk.cz/
Geoportál SOWAC GIS (VUMOP)	https://geoportal.vumop.cz/
Monitoring eroze	https://me.vumop.cz/
Návrh protierozních travních pásů	https://protieroznipasy.vumop.cz/
Protierozní kalkulačka	https://kalkulacka.vumop.cz
Řízení rizika větrné eroze	https://vetrnaeroze.vumop.cz/
Geoportál SPÚ	https://geoportal.spucr.cz/
Veřejný registr půdy – LPIS	https://eagri.cz/public/app/lpisext/lpis/verejny2/plpis/
Rain @ FSV ČVUT v Praze	https://rain.fsv.cvut.cz/

Seznam obrázků

Obr. 1-1.	Ukázka území s viditelnými projevy degradace zemědělské půdy erozí	11
Obr. 1-2.	Rýhová eroze na zemědělském pozemku	12
Obr. 1-3.	Erozní rýhy na zemědělském pozemku	12
Obr. 1-4.	Ukázka sedimentačního kužele na zemědělském pozemku	14
Obr. 1-5.	Hodnoty regionalizovaného R faktoru pro ČR	22
Obr. 1-6.	Příklad grafického vyjádření časového průběhu SLR pro kukuřici s konvenčním zpracováním půdy	30
Obr. 1-7.	Modelové osevní sledy a různou agrotechnikou připravené v Protierozní kalkulačce	30
Obr. 1-8.	Příklad osevního sledu s vyšším zastoupením okopanin a konvenční agrotechnikou	30
Obr. 1-9.	Hodnoty indikativního C faktoru vycházející ze skutečně pěstovaných plodin na DPB v posledních 5 letech	31
Obr. 1-10.	Určení dráhy soustředěného odtoku a kritického profilu	35
Obr. 1-11.	Příklady návrhu environmentálně-technických a produkčních ploch při optimalizaci (Brant a Kapička, 2022)	38
Obr. 1-12.	Příklad realizace pásového střídání plodin v ZD Rostěnice a.s.	40
Obr. 1-13.	Příklad realizace agrolesnického systému na stanici Michovka, VÚKOZ, v. v. i. Průhonice – stromy na orné půdě	41
Obr. 1-14.	Setí pšenice ozimé bezorebným secím strojem do rostlinných zbytků hořčice (foto: Labris)	43
Obr. 1-15.	Výsev bezorebným secím strojem do strniště předplodiny	44
Obr. 1-16.	Výsev kukuřice bezorebným secím strojem do vymrzající meziplodiny	44
Obr. 1-17.	Minimalizace zpracování půdy	45
Obr. 1-18.	Porost cukrovky založený do strip till	46
Obr. 1-19.	Mák založený s pomocnou plodinou (stav porostu počátkem května)	47
Obr. 1-20.	Porost ozimé řepky s podsevem vojtěšky (stav k 3.9.)	47
Obr. 1-21.	Setí/sázení po vrstevnici	48
Obr. 1-22.	Zařízení na hrázkování brambor s detailem hrázky v meziřadí brambor	49
Obr. 1-23.	Vsakovací žlábek a důlky na povrchu hrůbku po simulaci 60 mm srážky	50
Obr. 1-24.	Důlkování a hrázkování – Paket	50
Obr. 1-25.	Pomocná plodina v prostoru mezihrůbku brambor	51
Obr. 1-26.	Půdoochranná technologie podrývání	52
Obr. 1-27.	Záchytný průleh s funkcí odváděcí se zemní hrázkou a ozeleněním	54
Obr. 1-28.	Vzorový řez – Záchytný průleh s funkcí odváděcí se zemní hrázkou, se zasakovacím travním pásem a vegetačním doprovodem	54
Obr. 1-29.	Vzorový řez – Záchytný průleh s funkcí odváděcí bez zemní hrázky, se zasakovacím travním pásem	54

Obr. 1-30. Záchytný příkop s funkcí odváděcí bez zemní hrázky, se zasakovacím travním pásem a vegetačním doprovodem 56
Obr. 1-31 Vzorový řez – Záchytný příkop s funkcí odváděcí se zemní hrázkou, se zasakovacím travním pásem a vegetačním doprovodem 56
Obr. 1-32. Vzorový řez – Záchytný příkop s funkcí odváděcí bez zemní hrázky, se zasakovacím travním pásem 56
Obr. 1-33. Mez se sedimentačním pásem s ozeleněním a liniovým prvkem (příkopem) pod mezí 57
Obr. 1-34. Vzorový řez – mez kombinovaná (vsakovací + odváděcí funkce) s liniovým prvkem (příkop) nad mezí, se zasakovacím travním pásem a s vegetačním doprovodem 57
Obr. 1-35. Vzorový řez – mez kombinovaná (vsakovací + odváděcí funkce) s liniovým prvkem (průleh) nad mezí, se zasakovacím travním pásem a s vegetačním doprovodem 57
Obr. 1-36. Vzorový řez – mez kombinovaná (sedimentační + odváděcí funkce) s liniovým prvkem (příkop) pod mezí, se zasakovacím travním pásem a s vegetačním doprovodem 58
Obr. 1-37. Protierozní hrázka se záchytnou a vsakovací funkcí 58
Obr. 1-38. Vzorový řez – Protierozní hrázka se záchytnou a vsakovací funkcí se zasakovacím travním pásem a vegetačním doprovodem 59
Obr. 1-39. Polní cesta s protierozní funkcí s příkopem a s vegetačním doprovodem 59
Obr. 1-40. Vzorový řez – Polní cesta s protierozní funkcí s příkopem a s vegetačním doprovodem 59
Obr. 1-41. Zatravněná polní cesta s protierozní funkcí – s průlehem, zasakovacím travním pásem a doprovodným ozeleněním 60
Obr. 1-42. Vzorový řez – Polní cesta s protierozní funkcí – s průlehem, zasakovacím travním pásem a doprovodným ozeleněním 60
Obr. 1-43. Stabilizovaná dráha soustředěného odtoku v k.ú. Starovice 62
Obr. 1-44. Vzorový řez – Parabolický profil stabilizované dráhy soustředěného odtoku 62
Obr. 1-45. Vzorový řez – parabolický profil stabilizované dráhy soustředěného odtoku se zpevněným dnem kamenným záhozem 62
Obr. 1-46. Ukázka protierozního travního pásu v k.ú. Starovice 63
Obr. 1-47. Zpevnění svodného příkopu – tvárnice betonové meliorační, stabilizační prahy 69
Obr. 1-48. Vzorový řez – Zpevnění svodného příkopu – polovegetační tvárnice 69
Obr. 1-49. Zpevnění svodného příkopu – kamenný pohoz, stabilizační prahy 70
Obr. 1-50. Vzorový řez – Zpevnění svodného příkopu – kamenný pohoz 70
Obr. 1-51. Doporučený postup osetí DSO 71
Obr. 1-52. Příklad paralelních rýh podél údolnice 71
Obr. 2-1. Mapa erozního potenciálu zpracovaného z dat za normálové období 1991–2020 75
Obr. 3-1 Prašná bouře u Břeclavi 78
Obr. 3-2 Zavátí komunikace u Mikulova 79
Obr. 3-3 Potenciální ohroženost zemědělské půdy větrnou erozí vyjádřená v kategoriích erozní ohroženosti (MPK) 84
Obr. 3-4. Úvodní stránka se vstupem do mapové aplikace 85
Obr. 3-5. Ukázka větrná růžice pro lokalitu Moravský Žižkov v jarním období (měsíce březen až květen) 86
Obr. 3-6 Příklad vegetační bariéry typu větrolam 88
Obr. 3-7 Příklad vegetační bariéry typu stromořadí (nově založené) 88
Obr. 3-8 Příklad vegetační bariéry typu břehový porost 89
Obr. 3-9 Ukázka přehodnocení kategorie erozní ohroženosti na půdním bloku (EHP) při zahrnutí vlivu vegetačních bariér (maximální šířka pozemku ve směru převládajícího větru je 686m) 92
Obr. 3-10 Ukázka prodouvavého větrolamu 94
Obr. 3-11 Ukázka neprodouvavého větrolamu 94

Obr. 3-12	Ukázka poloprodouvavého větrolamu	95
Obr. 3-13	Výsadbové schéma využívající systém dvouøad (vlevo) a výsadbové schéma využívající systém trojřad (vpravo)	99
Obr. 3-14.	Ukázka nově zrealizovaného větrolamu/biokoridoru v k.ú. Kostice	100
Obr. 4-1.	Šestice syntetických průběhů šestihodinových srážek pro území ČR	104
Obr. 4-2.	Průběh návrhové srážky (hs) a efektivní srážky (h0)	111
Obr. 6-1.	Půdní bloky LPIS v modelovém území (písmeno v PB označuje způsob využití) na podkladě ortofoto (© ČÚZK; ©MZe)	120
Obr. 6-2.	Správně vymezená plocha pro výpočet eroze pro modelové území na podkladě základní mapy ČR 1:10000 (© ČÚZK; ©MZe)	121
Obr. 6-3.	Ukázka vrstvy indikativního C faktoru pro modelové území (vrstva stažena z portálu Protierozní kalkulačky https://kalkulacka.vumop.cz/)	123
Obr. 6-4.	Ukázka polních cest v ploše pro výpočet eroze (červeně), které nepřerušují délku svahu (nejsou doplněny příkopem či jiným technickým prvkem) (© ČÚZK)	124
Obr. 6-5.	Ukázka prostředí software USLE 2D a software pro konverzi dat LS converter	124
Obr. 6-6.	Ukázka stanovení vrstvy LS faktoru pro modelové území	125
Obr. 6-7.	Ukázka stanovení vrstvy dlouhodobé průměrné ztráty půdy vodní erozí „G“ pro modelové území	126
Obr. 6-8.	Ukázka jednoho z možných způsobů vymezení erozně hodnocených ploch (EHP) s využitím hranic půdních bloků LPIS na podkladě vypočtené vrstvy erozní ohroženosti G	127
Obr. 6-9.	Ukázka stanovení vrstvy G_p pro modelové území	130
Obr. 6-10.	Ukázka stanovení vrstvy $C_p \cdot P_p$ pro modelové území	130
Obr. 6-11.	Ukázka jednoho z možných způsobů vymezení erozně hodnocených ploch (EHP) (využitím hranic půdních bloků LPIS) na podkladě vypočtené vrstvy maximální přípustné hodnoty ochranného vlivu vegetace a protierozních opatření „$C_p \cdot P_p$“	131
Obr. 6-12.	Zařazení půdních bloků LPIS v modelovém území do kategorií erozní ohroženosti dle standardu DZES 5 (2024)	132
Obr. 6-13.	Ukázka návrhu technických protierozních opatření (TPEO) v modelovém území	133
Obr. 6-14.	Ukázka stanovení LS faktoru po návrhu TPEO v modelovém území	133
Obr. 6-15.	Ukázka vypočtené vrstvy dlouhodobé průměrné ztráty půdy vodní erozí „G“ po návrhu TPEO v modelovém území	134
Obr. 6-16.	Ukázka vyhodnocení erozní ohroženosti na plochy EHP – varianta 1 (využity původní hranice půdních bloků LPIS dělené navrženými PEO)	135
Obr. 6-17.	Ukázka vyhodnocení erozní ohroženosti na plochy EHP – varianta 2 (využity původní hranice půdních bloků LPIS dělené navrženými PEO a upravené pro efektivnější způsob hospodaření)	136
Obr. 6-18.	Ukázka stanovení vrstvy $C_p \cdot P_p$ po návrhu technických/biotechnických protierozních opatření v modelovém území	137
Obr. 6-19.	Ukázka výsledného řešení návrhu TPEO v kombinaci s limitními hodnotami $C_p \cdot P_p$ v modelovém území (varianta EHP – návrh 1).	138
Obr. 6-20.	Ukázka výsledného řešení návrhu TPEO v kombinaci s limitními hodnotami $C_p \cdot P_p$ v modelovém území (varianta EHP – návrh 2).	138
Obr. 6-21.	Vymezené sběrné povodí k závěrovému profilu na podkladě základní mapy ČR 1:10000 (© ČÚZK; ©MZe)	139
Obr. 6-22.	Výřez datové obrazovky rain.fsv.cvut.cz	141

Seznam tabulek

Tab. 1-1.	Specifikace jednotlivých forem projevů eroze	13
Tab. 1-2.	Kategorizace hodnot $C_p \cdot P_p$ a rámcový popis odpovídajících rámcových osevních postupů a agrotechnik	19
Tab. 1-3.	Hodnoty faktoru K pro jednotlivé HPJ	23
Tab. 1-4.	Třída propustnosti půdního profilu podle HPJ	24
Tab. 1-5.	Výměra plodin deklarovaných v jednotných žádostech v roce 2022	28
Tab. 1-6.	Rozdělení erozně účinných srážek v průběhu roku	29
Tab. 1-7.	Pro trvalé porosty a kultury jsou používány následující hodnoty C faktoru	31
Tab. 1-8.	Hodnoty P faktoru pro vrstevnicové obdělávání	32
Tab. 1-9.	Hodnoty P faktoru pro pásové støídání plodin pøi rùzném sklonu svahu.	33
Tab. 1-10.	Vymezení hloubky půdy z BPEJ včetně odpovídající maximální přípustné míry erozního ohrožení (převzato z Vyhlášky č. 240/2021 Sb.)	33
Tab. 1-11.	Součinitel n_3 – sklonitost území pro dimenzování PTP (Holý, 1994)	64
Tab. 1-12.	Součinitel n_4 – propustnost půdy pro dimenzování PTP (Holý, 1994)	65
Tab. 1-13.	Hodnoty krajních tangenciálních napětí	68
Tab. 1-14.	Doporučená doba opakování hydrologických charakteristik pro posuzování a návrh technických prvků protierozní ochrany dle ČSN 75 4500 – Protierozní ochrana zemědělské půdy	72
Tab. 3-1	Popis kategorií ohroženosti větrnou erozí	84
Tab. 3-2:	Kategorizace prvků v databázi vegetačních bariér pro potřeby modelování ochranných zón	87
Tab. 3-3:	Ochranné zóny vegetačních bariér	90
Tab. 3-4.	Schéma pro uvažování vlivu vegetačních bariér na potenciální ohroženost větrnou erozí	90
Tab. 3-5	Kódové vyjádření kategorií ohroženosti s rozlišením chráněných a nechráněných pozemků ochrannou	91
Tab. 3-6	Maximální tolerovaná délka pozemku	91
Tab. 3-7	Kódové vyjádření stupně ohroženosti s rozlišením nepřekročené a překročené tolerované délky	92
Tab. 4-1.	Tabulka vybraných kategorií hodnot CN	108
Tab. 5-1.	Potencionální snížení množství usazeného sedimentu přijetím Protierozní vyhlášky 240/2021 Sb.	118
Tab. 6-1.	Zdrojová data pro ukázkový výpočet ohroženosti modelového území vodní erozí	122
Tab. 6-2.	Vyhodnocení podílů intervalu hodnot G (v procentech plochy EHP, kdy jako plochy EHP jsou zvoleny půdní bloky LPIS) v modelovém území	127
Tab. 6-3.	Rámcové kategorie osevních postupů a agrotechnik	129
Tab. 6-4.	Zařazení maximálních hodnot faktoru $C_p \cdot P_p$ do kategorií erozní ohroženosti dle standardu DZES 5	129
Tab. 6-5.	Vyhodnocení podílů intervalu hodnot $C_p \cdot P_p$ (medián plochy EHP, kdy jako plochy EHP jsou zvoleny půdní bloky LPIS) v modelovém území	131
Tab. 6-6.	Ukázka výpočtu intervalů hodnot erozní ohroženosti pro definované EHP – návrh 1	135
Tab. 6-7.	Ukázka vyhodnocení erozní ohroženosti na plochy EHP – návrh 2	136
Tab. 6-8.	Hydrologické charakteristiky získané z digitálního modelu terénu	139
Tab. 6-9.	Výběr dat získaných z aplikace rain.fsv.cvut	141
Tab. 6-10.	Výsledky jednotlivých simulací a výpočet objemu odtoku při uvažovaném zastoupení jednotlivých tvarů hyetogramů a pravděpodobnosti zvýšeného nasycení.	142
Tab. 6-11.	Výsledky jednotlivých simulací a výpočet maximálního průtoku při uvažovaném zastoupení jednotlivých tvarů hyetogramů a pravděpodobnosti zvýšeného nasycení.	142

Podhrázská Jana a kol.: Ochrana zemědělské půdy před erozí. Metodika.
Vydal: Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, v.v.i.
Počet stran: 144
Vytiskl: Ministerstvo životního prostředí, Vršovická 1442/65, 100 10 Praha 10
Distribuce: Žabovřeská 250,156 00 Praha – Zbraslav
Praha, 2024, vydání první
ISBN: 978-80-7212-668-2
© Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, v.v.i., 2024