



EVROPSKÁ UNIE
Fond soudržnosti
Operační program Technická pomoc



MINISTERSTVO
PRO MÍSTNÍ
ROZVOJ ČR

METODICKÝ POSTUP Č. 2

Posuzování erodovatelnosti a hydrických vlastností lesních půd a posuzování a kvantifikace objemu splavenin - hodnocení rizik erozí



Český svaz vědeckotechnických společností z.s.

Obsah

1.	ÚVOD DO PROBLEMATIKY.....	4
2.	CÍLE METODIKY.....	4
2.1	TECHNICKÉ	4
2.2	EKONOMICKÉ	4
3.	LITERÁRNÍ REŠERŠE.....	5
3.1	Popis základních veličin.....	5
3.1.1	Eroze.....	5
3.1.2	Druhy eroze.....	5
3.1.3	Třídění eroze podle intenzity.....	7
3.1.4	Činitelé a podmínky vodní eroze.....	7
3.1.5	Splaveniny.....	7
3.1.6	Stabilita koryta bystřiny.....	12
3.1.7	Nevymílající rychlost vody.....	12
3.1.8	Kompenzační a stabilní sklon splaveninového dna.....	12
3.1.9	Odběry a rozbory splaveninových směsí.....	13
3.2	Stabilizace erozních rýh a strží.....	14
3.2.1	Opatření proti zvětšování rýh.....	14
3.2.2	Stabilizace dna a vrcholů erozních rýh a strží.....	14
3.2.3	Stabilizace břehů strží.....	15
3.2.4	Stabilizace menších výmolů.....	15
3.3	Stabilizace svahových nátrží.....	15
3.3.1	Charakteristika.....	15
3.3.2	Stabilizace.....	15
3.4	Stabilizace sutí a suťových proudů.....	16
3.4.1	Charakteristika.....	16
3.4.2	Stabilizace.....	16
3.5	Stabilizace svahových sesuvů.....	17
3.5.1	Charakteristika.....	17
3.5.2	Stabilizace, protisesuvná opatření.....	17
4.	PLATNÁ LEGISLATIVA.....	17
4.1	Vodní politika EU	17
4.1.1	Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2000/60/ES, kterou se stanoví rámec pro činnost Evropského společenství v oblasti vodní politiky.....	17
4.1.2	Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2007/60/ES o vyhodnocování a zvládnání povodňových rizik.....	20

4.1.3	Spolupráce v rámci EHK OSN - Úmluva o ochraně a využívání hraničních vodních toků a mezinárodních jezer	22
4.1.4	Protokol o vodě a zdraví k úmluvě o ochraně a využívání hraničních vodních toků a mezinárodních jezer z roku 1992	22
4.2	Vodní politika ČR	23
5.	POSTUP ŘEŠENÍ A VÝSTUPY.....	23
6.	NÁVRH METODIKY.....	30
6.1	Základní zdroje dat	30
6.2	Použité metody a postupy.....	30
6.3	Analýzy dat.....	31
6.3.1	Analýza rizika vzniku eroze v lesních majetcích	31
6.4	Výstupy	31
7.	SEZNAM PODKLADŮ.....	32
8.	ZKRATKY.....	35
9.	SEZNAM OBRÁZKŮ	35
10.	SEZNAM TABULEK	35
11.	PŘÍLOHA.....	36

1. ÚVOD DO PROBLEMATIKY

Vážným problémem je skutečnost, že dopravní linky nižších kategorií a nedostatečně udržované lesní odvozní cesty představují výrazné riziko z hlediska eroze lesní půdy. „Zpřístupnění lesa představuje jeden z fenoménů, kdy dochází k ovlivnění lesních ekosystémů hospodářskou činností. Při nerespektování ekologických limitů dochází k nepříznivému ovlivnění hydrologických poměrů v daném povodí a následné těžebně-dopravní erozi. Současná platná lesnická legislativa (z. č. 289/95 Sb.), zejména pro vlastníky lesů nad 50 ha má za to, že vytváří podmínky pro minimalizaci následků těžebně-dopravní činnosti. Na úrovni např. velikosti uplatnění holé seče a následnému přiřazení další jsou legislativní opatření závazná, na úrovni např. druhové skladby dřevin jsou to ukazatele doporučující (mimo podíl MZD) a na úrovni zpřístupnění lesa a následných těžebně-dopravních technologií se maximálně doporučují povýrobní úpravy pracovišť. Širší paleta možností uplatnění optimalizace LCS je zpravidla zakotvena v OPRL, jako doporučující ukazatel.

Pro vlastníka lesa je pak jednodušší uplatnění krátkozrakých opatření, představujících uplatnění levnějších těžebně-dopravních technologií (TDT) a nižších přímých nákladů na odvozním místě (OM). Ovšem zpravidla mnohdy za cenu poškození přírodního prostředí s následky provázející změnu vodního režimu lesní půdy a následné vyvolání těžebně-dopravní eroze (TDE). To jsou nesporné důvody pro vytváření podmínek podpořit politiku dotačních titulů a motivaci vlastníka pro uplatnění zpřístupnění lesa minimalizující jeho poškození“ (MACKŮ, 2015).

Je nutné nalézt vhodné parametry, které budou využity pro stanovení priorit v oblasti oprav a rekonstrukcí lesní cestní sítě s cílem minimalizace vzniku eroze. Tyto parametry budou využitelné také pro definování priorit v oblasti preventivních opatření proti povodním. Každá opravená nebo rekonstruovaná cesta, nebo každá úprava toku nebo stavba příčných objektů přispějí k eliminaci nebo alespoň k minimalizaci rizika vzniku eroze.

2. CÍLE METODIKY

Hlavním cílem tohoto projektu je odpovědět na otázku: **Jak se změnila hustota lesních cest v ČR díky podpoře z Programu rozvoje venkova.** Podpůrným cílem je posouzení a vzájemný vliv eroze a lesní cestní sítě. Cíl lze poté definovat také jako:

„...zjišťování měřených veličin, které vyjádří míru poškození půdy. Zaměřit se přitom zejména na těžebně - dopravní erozi. Z lokalit vybraných cíleným a sofistikovaným metodickým výběrem jsou zjišťovány údaje kvantifikující množství splavenin... Kvantifikací objemu splavenin, a vyčíslením nákladů na jejich sanaci bude možné stanovit měřitelnou a ověřitelnou metodikou, a z toho odvodit výši újmy ve smyslu zákona“ (Sekanina, 2018)

2.1 TECHNICKÉ

- Identifikace problematických a rizikových oblastí
- Kvantifikace objemu splavenin pro danou oblast

2.2 EKONOMICKÉ

- Náklady na skladování/asanování odpadu/splavenin

Posouzení daného LHC z hlediska ekologických limitů zpřístupnění lesa vychází ze dvou aspektů: širšího (synekologického) pojetí zahrnujícího regionální hlediska dle lokalizace území a pojetí užšího (ekosystémového) striktně vázaného na řešené území.

VÚV TGM v projektu Strategie před negativními dopady povodní a erozními jevy přírodě blízkými opatřeními v ČR (2015) rozděluje území do kategorií A, B, C (viz mapová příloha). Nejvíce ohrožená je kategorie A (na lesní půdě 40%), následuje kategorie B (na lesní půdě 46%) a kategorie C (na lesní půdě 14%). Přiřazení daného LHC do kategorie území je proto prvním krokem a ukazatelem naléhavosti

uplatnění opatření. Následuje začlenění LHC do odvozního celku (spektra transportních segmentů) často přesahující plochu daného LHC a posouzení kritéria skutečné a optimální hustoty odvozních cest.

V užším pojetí na úrovni LHC se profilují ekologické limity jednak na úrovni hydrických vlastností lesních půd a hydrologických podmínek porostních typů a jednak na úrovni ohrožení lesních půd těžebně-dopravní erozí. Cílem projektu je definovat spektrum ekologických limitů ovlivňujících zpřístupnění lesa a na tomto základě vymezit kritéria pro přiznání dotačních titulů.

3. LITERÁRNÍ REŠERŠE

3.1 Popis základních veličin

3.1.1 Eroze

Z hlediska protierozní a protipovodňové ochrany je lesní hospodářství jednou z nejvýznamnějších biotechnických činností v krajině v povodí drobných vodních toků a bystřin. Při obhospodařování lesů je k zajištění minimálního povrchového odtoku nezbytné používat co nejšetrnější těžební technologie. Při těžbě a dopravě dříví a prakticky při všech činnostech lesnického hospodaření je nutné zabráňovat soustředěnému povrchovému odtoku srážkových vod (KREČMER a kol., 1984).

V současné době je eroze definována jako komplexní proces, spočívající v destrukčním účinku přírodních činitelů jako jsou voda, vítr, sníh a led na půdní povrch (ALEXANDER, 2014). Dochází k rozrušování povrchu litosféry a pedosféry, odnosu půdních částic a jejímu následnému usazování v místech, kde poklesne účinnost těchto erozních činitelů, které svým mechanickým působením rozrušují a degradují původní bioticky a hydricky nejhodnotnější vrstvy půdy. Eroze působí na zemský povrch tím, že na jedné straně povrch snižuje – degraduje a na druhé straně hromaděním usazené hmoty materiál akumuluje, usazuje. Zatímco se hydroedafické podmínky při degradaci zhoršují, při přesunu materiálu mohou mít proměnlivý charakter a při akumulaci se mohou dokonce zlepšovat. Platí to především pro podsahová deluvia, některá aluvia a spraše (ZACHAR, 1984).

Kromě erozních jevů, při kterých půdu rozrušuje pohybující se materiál, se může destrukce projevovat i působením gravitace, změnami vnitřního tření, teplotními změnami, především střídavým zamrzáním a rozmrzáním půdy, případně kombinací těchto vlivů. Uvedené jevy jsou převážně přírodního charakteru, ale může je ovlivnit svým působením i člověk a to zejména při těžbě a dopravě dřeva. Proto podle míry vlivu zásahu člověka do erozních procesů můžeme rozlišovat přirozenou, naturální pozměněnou a antropogenní erozi.

3.1.2 Druhy eroze

Eroze je velmi komplikovaný jev, proto ji klasifikujeme dle několika základních parametrů:

Podle erozních činitelů můžeme erozi rozdělit na erozi vodní (akvatickou), větrnou (eolickou), ledovcovou (glaciální), sněhovou (nivální), zemní a antropogenní (způsobenou člověkem). Na svazích, respektive na zemském povrchu vznikají různé útvary (plošné, výmolné či proudové) způsobené působením exogenních činitelů. Třídění erozních jevů podle těchto útvarů, tzv. forem je velmi složité, neboť eroze je jen jednou z forem modelování území. Podle vyskytující se formy erozních útvarů lze odvodit její původ, intenzitu, vývoj a lze usuzovat i o možnostech ochrany půd před erozí (JANEČEK a kol., 2002).

V další části bude podrobněji popsána zejména vodní a antropogenní eroze.

Zemní eroze - způsobuje činnost suťových proudů, které jsou tvořeny vodou prosyceným suťovým materiálem, při jehož pohybu dolů do údolí dochází k narušování podkladu, následně dojde ke vzniku hlubokých rýh.

Antropogenní eroze - velmi výrazně se podílí na procesu zrychlené eroze a to jak přímým, tak nepřímým působením. Přímý vliv se projevuje zejména realizací technických staveb a urbanizací. Řadíme sem například cestní erozi, těžební a pastvovou erozi (ZACHAR, 1984).

Vodní eroze – která se dále dělí na srážkovou (pluviální) říční (fluviální), jezerní (limnickou) a mořskou. Holý (1978) definuje vodní erozi jako komplexní proces, zahrnující rozrušování půdního povrchu, transport a sedimentaci uvolněných půdních částic působením vody. Vodní eroze, rozrušuje zemský povrch kinetickou energií dešťových kapek a mechanickou silou povrchově odtékající vody. Vodní eroze tvoří třífázový proces. V první fázi dochází k rozrušování půdního povrchu, v druhé fázi bývají uvolněné půdní částice transportovány na jiné místo. Poslední fází je sedimentace transportovaného materiálu v místech, kde dochází k poklesu energie povrchového odtoku (NOVOTNÝ, 2014).

Antropogenní a vodní eroze působí velmi často současně.

Formy vodní eroze - formy vodní eroze jsou odvozeny z negativního působení erozních činitelů na půdním povrchu. Jedná se především o erozi povrchovou a podpovrchovou. Povrchovou vodní erozi dále dělíme na plošnou, rýhovou a proudovou.

Plošná – povrchová srážková voda rozrušuje půdní hmotu rovnoměrně na celé ploše území, hovoříme o splachování a smývání, tím dochází k postupnému snižování mocnosti půdy.

Selektivní eroze působí na přemísťování nejmenších půdních částic, odnášených při povrchovém odtoku. Při působení plošné selektivní eroze dochází ke změně půdní textury, zrnitosti půdy, mění se obsah živin v půdě a zhoršují se jak chemické, tak fyzikální vlastnosti půdy (NOVOTNÝ, 2014).

Vrstevná eroze probíhá v širokých pruzích na celé ploše svahu, dochází při ní ke ztrátě celé orniční vrstvy.

Rýhová eroze - vzniká postupným soustředěním povrchového odtoku, který vyrývá v půdním povrchu mělké zářezy, které se postupně prohlubují. Tento druh eroze vzniká v členitém terénu na dlouhých svazích (NOVOTNÝ, 2014). Dle intenzity dělíme výmolnou erozi na rýžkovou a brázdovou, rýhovou, výmolnou a stržovou.

U lesních cest se lze setkat s těmito formami eroze:

Eroze rýžková a brázdová vzniká soustředěním povrchového odtoku do úzkých zářezů. Eroze rýžková je utvářena hustou sítí úzkých rýžek (širokých a hlubokých 2–10 cm). Menší hustota výskytu mělkých a širších zářezů poukazuje na erozi brázdovou. Tento druh eroze postihuje velké plochy.

Rýhová eroze se podílí na formování hlubších a širších rýh (širokých a hlubokých 10–30 cm). Jednotlivé rýhy se směrem po svahu postupně spojují a prohlubují jako důsledek těžebně- dopravních procesů.

Výmolná eroze je charakterizována výmoly s kaskádovitými stupni širokými a hlubokými více jak 30 cm. Tento druh eroze vzniká v místech koncentrace a soutoku přívalových vod v úžlabinách, údolích, cestách a příkopech. Tato forma eroze postihuje víc zemědělskou půdu.

Stržová eroze se řadí mezi nejpokročilejší a nejnebezpečnější stádium výmolné eroze. Vzniklé strže mají svou šířku i hloubku mnohdy větší než jeden metr a jejich délka může být větší než jeden kilometr (Novotný, 2014).

Proudová eroze - vzniká působením vodního proudu ve vodních tocích. Dle intenzity se proudová eroze dělí na dnovou, břehovou a bystřinou.

Dnová eroze je charakteristická tím, že je rozrušováno pouze dno toku. Jedná se o formu podélné eroze probíhající v podélném směru osy daného toku.

Břehová eroze spadá pod formu příčné eroze, která probíhá kolmo na osu toku a tím dochází k rozrušování přilehlých břehů (HOLÝ, 1978).

Bystřinná eroze se projevuje zejména v členitém terénu vyšších poloh s příkrými svahy. Při působení bystřinné eroze dochází k odnosu velkého množství erodovaného materiálu, což bývá zapříčiněno nedostatečným půdním krytem a prudkými poklesy svahů v těchto polohách (ŠARAPATKA a kol., 2002).

Tunelová eroze je druh eroze, při které dochází k vymílání dutin, chodbiček a tunelů pod povrchem půdy. Při dlouhodobém působení tunelové eroze může dojít k proboření již dříve vzniklých útvarů a vytváří se hlubší povrchové výmoly (HOLÝ, 1978).

Hlavním problémem je kombinace vodní a antropogenní eroze, která vzniká zejména na dopravních linkách nižších kategorií se zanedbanou údržbou. Tyto linky se rychle mění v sekundární vodní toky a strže.

3.1.3 Třídění eroze podle intenzity

Dalším kritériem, podle kterého se erozní jevy třídí je jejich intenzita a aktivita, vyjádřená pohybem půdy, respektive zvětráváním, které souvisí s těmito procesy.

Erozi, která je na rozhraní mezi škodlivou a neškodnou, nazýváme erozí vyrovnanou neboli kompenzační. Z hlediska ochrany půdy je velmi důležité stanovit hodnotu přípustné, tolerované eroze, která by se v normálních podmínkách měla rovnat vyrovnané erozi. Byla stanovena škála hodnocení intenzity eroze na slabou (nepatrnou), střední, silnou, velmi silnou a katastrofální (ZACHAR, 1984).

3.1.4 Činitelé a podmínky vodní eroze

Vznik a průběh erozního procesu je ovlivněný působením kombinace přírodních a člověkem vytvořených podmínek, dochází k prolínání a vzájemnému ovlivňování těchto dvou činitelů. Mezi přírodní činitele lze zařadit klimatické a hydrologické podmínky, morfologii terénu, geologické a pedologické poměry, hospodářské zásahy a vegetaci. Poslední jmenované jsou z části sice přírodním faktorem, ale v dnešní krajině již ovlivněny činností člověka (JANEČEK a kol., 2002).

3.1.5 Splaveniny

Podle způsobu pohybu dělíme materiál pohybující se v korytě na: **Splaveniny** – to je materiál, který se při svém pohybu vodním tokem vyznačuje kontaktem se dnem nebo s břehy koryta (TRIZNA, 2012), jde většinou o zrna s větším průměrem. **Plaveniny** – mají malý průměr zrn (kal), ve vodě se vznášejí. Dle Tlapáka a Herynka (2001) jsou tyto rozrušené částice horninového materiálu rozptýleny a unášeny proudem. Van Rijn (1993) plaveniny definuje jako částice transportované bez jakéhokoli kontaktu s korytem, jež se pohybují prakticky stejnou rychlostí jako proudící voda (ONDRÁČKOVÁ, 2015). Přesná hranice mezi splaveninami a plaveninami není ustálená, závisí od okamžitých hydraulických podmínek v toku. Většinou se však uvádí jako hranice mezi plaveninami a splaveninami průměr zrn 2–7 mm, v rámci problematiky hrazení bystřin jsou důležité především splaveniny. (ZACHAR, 1984)

Zuna (2008) definuje splaveniny jako: „Splaveniny jsou části zvětralých hornin, přemístěné do vodopisné sítě. Původ splavenin je především v plošné vodní erozi a v korytové erozi prvků vodopisné sítě. Velké množství splavenin vzniká v horských oblastech bystřinnou erozí, tj. sesuvy svahů úvalů bystřin, svahovými sesuvy a při erozi strží. Splaveniny v korytech bystřin a horských potoků představují velmi nestejnou směs písku, šterku, valounů a balvanů, jednotlivá zrna této směsi se liší svou velikostí a tvarem. Složení splaveninové směsi, způsob uložení jednotlivých zrn a jejich vzájemné ovlivňování určuje podmínky proudění vody v korytě a odolnosti dna a břehů. Zjištění vlastností splaveninové směsi je proto základní úlohou při navrhování zahrazovacích úprav. U bystřinných toků se v období mezi velkými vodami na povrchu dna vytváří tzv. krycí vrstva, tvořená hrubšími zrny. Pod krycí vrstvou je podložní vrstva z nevytříděné splaveninové směsi, složená ze zrn různé velikosti, od nejjemnějšího písku až po velké splaveninové částice. V korytech bystřin jsou často ve splaveninové směsi i balvany, které pro jejich velkou hmotnost není možné ze dna vyzvednout.“

3.1.5.1 Vlastnosti splavenin

„Dno přirozených potočních koryt tvoří splaveniny, které při poklesu energie vodního proudu ukládají ve zcela nesourodé směsi zrn různé velikosti, různého tvaru i různé hmotnosti... Horské potoky

a bystriny se vyznačují tím, že směsi jejich splavenin zahrnují zrna všech frakcí, tj. hlínu, písek, drobný a hrubý štěrk, valouny i balvany, od potoků rovin a pahorkatin se liší především velkým množstvím hrubých splavenin. Tato různorodost významně ovlivňuje proudění vody, jeho turbulenci a účinnost při tlumení energie vodního proudu a tím i stabilitu koryta. Poznání vlastností splavenin a jejich směsí je proto prvním krokem při řešení stabilizace bystrinného koryta. Pro posouzení charakteru a působení splavenin na proudění vody a stabilitu koryta je nezbytné výstižně charakterizovat splaveninovou směs bystrinného dna. To je možné na základě rozboru vlastností jednotlivých zrn této směsi. Základními vlastnostmi splavenin je jejich velikost, tvar a hmotnost, významné jsou také úhel tření splaveninové směsi, kohese zrn a způsob uložení splavenin na dně koryta.

Rozborem splavenin a jejich směsí a posuzováním jejich vlivu na proudění vody, stabilitu koryta a na transport splavenin v korytě se zabývalo mnoho autorů. Protože se jedná o řešení zákonitostí s neurčitými vstupy, je kompatibilita jednotlivých experimentálních i teoreticko-experimentálních výstupů řešení splaveninového režimu nízká. O problematice splavenin existuje řada odborné literatury. Pro potřeby navrhování zahrazovacích úprav v podmínkách České republiky je zpracována otázka vlivu splavenin na proudění vody a stabilitu koryta souborně (NOVÁK, 1988 In: ZUNA, 2008).

3.1.5.2 Velikost zrn splavenin

Důležitou vlastností splaveninového zrna je jeho velikost, určená třemi na sebe kolmými rozměry. Jsou to rozměry: a (nejdelší osa), b (střední osa) a c (nejkratší osa). Tyto rozměry jednak udávají velikost splaveninové částice, jednak je lze použít pro určení hmotnosti a tvaru splavenin. Za základní rozměr se považuje délka střední osy splaveninové částice b – které jsou na sebe kolmé. Rozměr střední osy se u menších splaveninových zrn zjišťuje proséváním na sítích, rozměr zrn se střední osou větší než 80 mm, která lze ze dna vyzvednout, se zjišťuje provlékáním tzv. kalibry, tj. šablonami s kruhovými otvory, popř. změřením střední osy, např. posuvným měřítkem. Odpovídající rozměr balvanů je dán délkou střední osy, která bývá většinou přístupná pro měření velkým posuvným měřítkem.

3.1.5.3 Tvar zrn splavenin

Tvar splavenin ovlivňuje utváření povrchové krycí vrstvy dna a také odpor kladený při obtékání zrn vodou. Splaveniny bystrin a horských potoků jsou tvarově velmi různorodé a z tohoto hlediska se dělí na splaveniny zaoblené a hranaté se šesti kategoriemi (tabulka 1). Tvar splavenin se obvykle vyjadřuje různými součiniteli, z nichž jsou důležité především index kulovitosti I a součinitel plochosti K_p .

$$I = \sqrt[3]{\frac{b \cdot c}{a^2}}$$

$$K_p = \frac{a + b}{2c}$$

Tabulka 1 Tvarové kategorie splavenin

Kategorie	Zaoblené	Hranaté
1.	Koule	Krychle
2.	Elipsoid	Hranol
3.	Elipsoid protáhlý	Hranol protáhlý
4.	Disk	Deska
5.	Disk protáhlý	Deska protáhlá
6.	Tyč zaoblená	Tyč hranatá

Zatřídění splaveninových zrn do tvarových kategorií se pak provádí podle poměru jejich os $b : a - c : b - a$ podle hodnot indexu kulovitosti a součinitele plochosti. Mezní hodnoty tvarových charakteristik pro zatřídění splavenin jsou uvedeny v tabulka 2.

Tabulka 2 Mezní hodnoty tvarových charakteristik

Kategorie	b/a	c/b	I	K_p
Koule, krychle	$\geq 0,64$	$\geq 0,63$	$\geq 0,75$	$\leq 1,6$
Elipsoid zploštělý	$> 0,77$	$\geq 0,4 < 0,72$	$\geq 0,65 < 0,86$	$\leq 2,5 > 1,6$
Hranol	$\geq 0,64$	$\geq 0,47$	$\geq 0,6 < 0,75$	$\leq 2,5 > 1,33$
Elipsoid - hranol protáhlý	$\geq 0,35 < 0,64$	$\geq 0,52$	$\geq 0,5 < 0,75$	$\leq 2,5 > 1,33$
Disk, deska	$\geq 0,64$	$< 0,52$	$< 0,74$	$> 2,5$
Disk, deska protáhlá	$\geq 0,43 < 0,64$	$< 0,66$	$< 0,60$	$> 2,5$
Tyč	$< 0,43$	$\leq 1,0$	$< 0,5$	$> 1,93$

Vliv tvaru splaveninového zrna na velikost ploch jeho stěn a na jeho objem se vyjadřuje pomocí tvarových koeficientů. Vztah mezi skutečnou plochou největšího průřezu S_C zrna v rovině os $a - c$ a plochou $S = b^2$ vyjadřuje tvarový součinitel K_1 , vztah mezi skutečnou plochou průřezu zrna S_B v rovině os $a - b$ a plochou $S = b^2$ je vyjádřen součinitelem K_2 a poměr mezi skutečným objemem zrna V_Z a objemem zrna podle vztahu $V = b^3$ udává součinitel K_3 .

$$K_1 = \frac{S_C}{b^2} \quad K_2 = \frac{S_B}{b^2} \quad K_3 = \frac{V_Z}{b^3}$$

Uvedené vztahy vyjadřují předchozí rovnice, velikost zrna b , tj. délka střední osy se zjišťuje změřením nebo síťovým rozborem. Hodnoty tvarových koeficientů uvádí pro různé tvarové kategorie a pro různé horniny tabulka 3 a 4. Pokud je splaveninová směs složena ze zrn různých hornin je třeba tvarové koeficienty K_1 , K_2 a K_3 stanovit váženým průměrem podle počtu příslušných zrn splavenin, a to ve vazbě na tvar zrn nebo na druh horniny.

Tabulka 3 Hodnoty tvarových koeficientů podle druhu horniny

Hornina	K ₁	K ₂	K ₃
Žula	0,726	1,017	0,418
Křemenný porfyr	0,671	1,016	0,363
Migmatit	0,675	1,134	0,368
Rula	0,738	1,290	0,384
Granodiorit	0,687	1,153	0,358
Granulit	0,684	1,120	0,353
Čedič	0,758	1,131	0,375
Břidlice	0,696	1,256	0,340
Svor	0,591	1,161	0,349
Fylit	0,592	1,225	0,340
Pískovce permské	0,666	1,031	0,371
Pískovce flyšové	0,659	1,194	0,361
Pískovce křídové	0,640	1,125	0,359
Droba	0,705	1,391	0,335
Slínovce	0,532	1,025	0,290

Tabulka 4 Hodnoty tvarových koeficientů podle tvaru splavenin

Tvarové kategorie	K ₁	K ₂	K ₃
Koule	0,725	0,900	0,367
Krychle	0,721	0,898	0,350
Elipsoid	0,761	1,174	0,417
Hranol	0,776	1,123	0,399
Disk	0,502	1,207	0,292
Deska	0,517	1,220	0,298

3.1.5.4 Hmotnost splaveninových zrn

Hmotnost splaveninových zrn ovlivňuje začátek a průběh jejich pohybu ve vodním proudu. Ve výpočtech splaveninového režimu se užívá hustoty splavenin $\rho_m = 2,65 \text{ tm}^{-3}$, hustota splavenin však závisí na jejich geologickém původu a je proto přesnější využívat odpovídající hodnoty, např. podle tabulka 5.

Hmotnost jednotlivých zrn splavenin a jejich frakcí se zjišťuje vážením po jejich odběru při terénním zpracování vzorků splaveninové směsi. Hmotnost balvanů G (kg), které nelze vyzvednout ze dna koryta se určuje podle změřené střední osy „b“ pomocí vztahu (následující vzoreček). Součinitel A a exponent B , které vyjadřují vliv druhu horniny na tvar splaveninového zrna, jsou uvedeny v tabulka 5.

$$G = A \cdot b^B \text{ (ZUNA, 2008)}$$

Tabulka 5 Parametry rovnice $G = A \cdot b^B$

Hornina	ρ_m [tm^{-3}]	A	B
Žula	2,62	0,0011	3,007
Křemenný porfyr	2,58	0,0022	2,628
Migmatit	2,69	0,0016	2,691
Rula	2,63	0,0028	2,444
Granodiorit	2,70	0,0013	2,847
Granulit	2,63	0,0015	2,685
Čedič	2,86	0,0016	2,783
Břidlice	2,68	0,0015	2,650
Svor	2,71	0,0043	2,336
Fylit	2,70	0,0022	2,506
Pískovce permské	2,55	0,0013	2,830
Pískovce flyšové	2,55	0,0013	2,806
Pískovce křídové	2,00	0,0014	2,736
Droba	2,68	0,0011	2,847
Slínovce	2,47	0,0013	2,680

Charakteristika koryta	n
Zemní koryta periodických vodních toků v příznivých podmínkách, pravidelné šterkoviště koryta horských vodních toků, sklon $i = 0,003 - 0,007$	0,040
Koryta periodických vodních toků se značným transportem splavenin, koryto z hrubého šterku nebo zarostlé vegetací, sklon $i = 0,007 - 0,015$	0,050
Koryta horských periodických vodních toků značně zarostlá vegetací a křivolaká, dno ze šterku a valounů, sklon $i = 0,015 - 0,050$	0,067
Balvanitá koryta horských toků, sklon $i = 0,08 - 0,09$	0,080
Balvanitá koryta horských toků, křivolaká, ve dně hrubé balvany, sklon $i = 0,08 - 0,09$	0,100
Balvanitá koryta horských toků, křivolaká, ve dně hrubé balvany, značný transport splavenin, sklon $i = 0,08 - 0,09$	0,200

3.1.5.5 Zdroje splavenin

Splaveniny jsou výsledkem erozních procesů v povodí a zejména v korytě. Eroze začíná na svazích v okolí koryta, kam dopadá srážková voda a rozrušuje povrch. Následně se začínají tvořit odtokové rýhy a sítě pramenů, kterými jsou unášeny minerální částice půdy či organický materiál (ONDRÁČKOVÁ, 2015). Postupně dochází k soustředování těchto ronových rýh a zvyšuje se erozní síla vody a unášeného materiálu přibývá. S tím souvisí mimo jiné odtokové poměry povodí, reliéf, sklon svahů, vlastnosti podloží, půdní pokryv a vegetace (NETOPIL, 1981). Při zvýšeném průtoku vody v korytě se zvyšuje i rychlost proudící vody a dochází k vymílání dna a podemílání břehů. Především na konkávní straně oblouku koryta dochází k mohutnějšímu odnosu materiálu a podemílání břehů a vzniku strží a výmolů, může dojít až k sesuvu břehu a odnosu materiálu proudící vodou do dolní části toku. (ZACHAR, 1984)

3.1.6 Stabilita koryta bystřiny

Splaveniny nejsou v pohybu v případě, když působící síly na jejich pohyb jsou v rovnováze se silami, které drží splaveniny v klidu. Tento vztah lze matematicky vyjádřit takto:

$$\xi p \varrho \frac{v^2}{2g} = V(\varrho_o - \varrho) f \cos \alpha$$

ξ = tvarový koeficient splaveniny, pro kulovitý tvar 0,7886 a pro rotační elipsoid 0,8

p = projekce splavenin ve směru toku vody

ϱ = měrná hmotnost vody

v = rychlost, při které se ještě splaveniny nedostávají do pohybu

g = gravitační zrychlení

V = objem splavenin

ϱ_o = měrná hmotnost splavenin

f = součinitel terénu

α = podélný sklon dna

Pohyb splavenin určují tři základní veličiny – tangenciální napětí při dně, nevymílající rychlost vody a podélný sklon. Všechny tři hodnoty na sebe vzájemně navazují a jsou jedna na druhé závislé. Problematika stability koryta toku je velmi složitá, jenom matematické vyjádření je často nedostačující proto autoři opírají svoje výsledky většinou o pozorování z laboratoře nebo přímo z terénu.

Lesní cestní síť se za určitých okolností a podmínek stává hydrografickou sítí, na kterou navíc působí antropogenní síly. Proto musí být navržena tak, aby k tomu pokud možno, nedocházelo nebo jen v minimální míře. Zde důležitou roli sehrává podélný a příčný sklon dopravních linek.

3.1.7 Nevymílající rychlost vody

Jedná se o rychlost vody, při které ještě nedochází k pohybu splavenin. Na výpočtu této veličiny se podílelo mnoho autorů, je zvolen **Meyer-Peterův** vzorec

$$v_o = c \sqrt{0,047 (\varrho_o - \varrho) d_m}$$

c = rychlostní součinitel podle Pavlovského

d_m = směrodatný průměr zrna

Meyer-Peter uvádí pro začátek pohybu splavenin vzorec, který vychází z hodnoty měrného průtoku vody za 1 s^{-1} na 1 m šířky koryta q , z podélného sklonu I v %, a z velikosti směrodatného zrna d_m v metrech. Kostanta $a = 0,17$.

$$q^{2/3} I = a * d_m$$

3.1.8 Kompenzační a stabilní sklon splaveninového dna

Rovnováha mezi hydrologickou energií povodí a stabilitou potočního koryta se vyjadřuje tzv. vyrovnávacím (kompenzačním) sklonem. Podle Skatuly (1960; In ZUNA, 2008) je kompenzační sklon ten, při kterém má voda právě jen tolik energie, že nesené splaveniny a plaveniny ještě neukládá, ale další již nepřibírá. Tento sklon odpovídá sklonu podélného profilu v trati, kde koryto přechází

z erozního do akumulárního úseku koryta, a závisí na hydraulických podmínkách a na fyzikálních vlastnostech splavenin.

Stabilní sklon, který je menší než sklon kompenzační, zajistí stabilitu koryta při průtoku vody bez splavenin. Přesné stanovení hodnoty stabilního sklonu není možné, protože jeho hodnota závisí nejen na odolnosti splavenin proti uvedení do pohybu, na tvaru průtočného profilu a na průběhu tečného napětí po obvodu průtočného profilu, ale také na stupni nasycenosti proudící vody splaveninami.

Úprava dna koryta ve stabilním sklonu, při kterém nebude nutné dno koryta opevňovat je základní metodou zahrazovacích úprav. Je založena na zrnitostním rozboru splaveninového materiálu dna a na návrhu vhodného tvaru průtočného koryta s nízkou hodnotou hydraulického poloměru. V praxi se používá řady empirických a empiricko-teoretických rovnic“ (ZUNA, 2008).

Této problematice se věnovalo několik autorů. Valentini svým důkladným pozorováním severoitalských řek dospěl k tomuto vzorci:

$$I = C \frac{b}{R}$$
$$C = \frac{(q_o - q)}{100c^2}$$

C = konstanta, která má pro bystřinné proudění hodnotu 0,093 a pro říční 0,871

b = průměrná splavenina, na určeném místě v korytě se na 1m² odeberou vzorky splavenin do nádoby o známém objemu a nádoba se dolije vodou. Rozdíl mezi objemem nádoby a objemem dolité vody je objem splavenin.

Valentini vycházel ze zjednodušeného předpokladu že splaveniny mají kostkovitý tvar, proto v rovnici platí:

$$b = \sqrt{\frac{V}{n}}$$

b = průměr střední splaveniny

V = objem splavenin

n = počet splavenin

3.1.9 Odběry a rozborů splaveninových směsí

„Průzkum splavenin a jeho vyhodnocení je základním podkladem pro návrh úpravy, zejména u šterkonosných bystřinných toků. Základním parametrem splaveninové směsi je průměr efektivního (směrodatného) zrna d_m , které se zjistí rozбором zrnitosti splavenin, odebraných ze dna koryta. V praxi hrazení bystřin je nejčastěji užívána metoda odběru hromadného vzorku a určení hmotnosti zrnitostních frakcí. Vzorek splavenin se odebírá buď z krycí vrstvy dna, nebo z nevytříděné vrstvy splavenin, střední průměr zrna se zjišťuje pomocí sít s kruhovými otvory, u větších s použitím kruhových kalibrů. Protože za použití této metody byly odvozeny empirické rovnice, používané při zahrazovacích úpravách, je vhodné používat stejný postup i nadále...“ (ZUNA, 2008).

Všechny tyto vzorce a definice se týkají primárně problematiky hrazení bystřin a strží. Počítá se s přiměřeným využitím i v problematice zjišťování a hodnocení eroze na lesní cestní síti.

3.2 Stabilizace erozních rýh a strží

„Výmoly a strže vznikají při soustředěném odtoku povrchových vod. Nejčastější příčinou jejich vzniku je zvyšování podílu povrchového odtoku a jeho soustředování v depresích nebo v uměle vytvořených rýhách. Erozní rýhy v depresích se označují jako dnové, erozní rýhy v uměle vytvořených brázdách, kolejích, cestách a jiných liniích se mohou vytvořit i na svahu a označují se jako rýhy svahové. Typickým znakem výmolů a strží je skutečnost, že se v nich voda vyskytuje jen periodicky, při prudkých deštích nebo tání sněhu, mimo tyto periody rýhy většinou vysychají.

Hlavní příčiny vzniku erozních rýh a strží jsou odlesňování, nevhodné trasování lesních cest, svážnic, odvodňovacích příkopů, gravitační přiblížování dřeva a vytváření hlubokých kolejí dopravními a těžebními mechanismy, ale i požáry nebo pastva. Odstranění nebo minimalizace těchto příčin je nejúčinnějším preventivním opatřením proti vzniku výmolů a strží.

3.2.1 Opatření proti zvětšování rýh

Při snaze zabránit zvětšování erozních rýh a strží je vždy nejnnutnější zjistit příčinu jejich vzniku. V mnohých případech postačí odstranění těchto příčin pro minimalizaci nebo snížení nákladů na nákladné stabilizace rýh.

Mezi opatření pro zabránění zvětšování rýh patří především odvedení povrchové vody stékající do aktivní části rýhy. Odvodňovací příkopy a kanály se umísťují po směru vrstevnic, se sklonem po svahu do 1,5%, přičemž zachycená voda z nich je odváděna bočním žlabem na dno rýhy. Nad odvodňovacím příkopem se podle potřeby může vybudovat ještě horizontálně přerušovaný záchytný příkop, který také zmenší povrchový odtok vody.

V případě že je půda vrcholové části rýh určena k zalesnění, je výhodnější místo záchytných příkopů vybudovat záchytné terasy se záchytným prostorem a hlavní dřeviny vysazovat na terasy a ostatní mezi terasy. Tím se povrchový odtok sníží na minimum a s ním i erozní účinek vody přitékající do rýhy z výše položených míst. Mezi další opatření pro zastavení růstu erozních rýh patří všechny úpravy, kterými se sníží podíl a koncentrace povrchových vod ve sběrném území. Konkrétně jde o vybudování a údržbu příkopů u cest, trvalých travních porostů nebo orba provedená směrem po vrstevnici a podobně.

3.2.2 Stabilizace dna a vrcholů erozních rýh a strží

Po zachycení nebo odvedení vod z okolí erozních výmolů a rýh se může přikročit ke stabilizaci dna a vrcholů erozních rýh. Nejčastějším způsobem je stabilizace pomocí příčných objektů, jako jsou prahy a stupně, přehrážky, zápletové ploty, kamenné záhozy a jiné. Jejich úlohou je odstupňovat dno rýhy, zvýšit jeho drsnost, a tím zpomalit odtok vody, snížit její erozní činnost a dosáhnout akumulace uvolněného materiálu na dně rýhy. Příčnými objekty se dosáhne i zvýšení nivelety dna a zmenšení sklonitosti břehů rýhy.

Velikost erozních rýh, jejich aktivita a tvar rozhoduje také o rozmístění příčných objektů a jejich dimenzích, případně druhu použitého materiálu. U velkých strží se ještě mezi příčné objekty vkládají odvodňovací žlaby (kynety), případně se buduje malé dlážděné koryto, kterými se povrchová soustředěná na dně rýhy bezeškodně odvádí.

Z uvedeného přehledu opatření je patrné, že způsoby stabilizace dna a vrcholů erozních rýh jsou velmi rozmanité a jejich výběr závisí nejen na charakteru rýhy, ale je třeba uvažovat také o budoucím využívání území poškozeného rýhovou erozí. Při výběru metody stabilizace si je třeba uvědomit, že technická opatření mají plnit stabilizační funkci jen dočasně v první fázi stabilizace, potom by měla trvalé zpevnění rýhy zabezpečovat vegetace, nejčastěji les nebo trvalý travní porost“ (ZACHAR, 1984).

U lesních cest lze pracovat s podélným sklonem a tak stabilizovat situaci v území.

3.2.3 Stabilizace břehů strží

„Ke stabilizaci břehů se přistupuje pouze u větších rýh s vysokými břehy a intenzivnímu destrukčním procesy. Tyto rýhy se v literatuře označují jako strže. Při stabilizaci strmých břehů strží se používají zápletové ploty, plotové terasy, kamenné terasy, přičemž se všechny typy objektů umísťují ve směru vrstevnic, a to v souvislých ale i v přerušovaných řadách. Přerušované ploty nebo terasy se rozmísťují šachovnicově nad sebou. V případě že je dno rýhy dostatečně stabilizované, nebo i zvýšené tak, že nehrozí další zvyšování sklonitosti břehů a jejich další destrukce, může se přikročit k jejich stabilizaci pomocí zatravňování.

Ve většině případů je nejvýhodnější strmé břehy erozních rýh zalesnit. U velkých strží je potřebné zalesnit i přilehlé okraje strží, aby nenastaly opětovně erozní procesy. K zalesnění se používají dřeviny, které mají v juvenilním stádiu rychlý růst a za krátkou dobu po výsadbě jsou schopné chránit půdu. Mezi takovéto dřeviny patří například borovice černá, borovice lesní, modřín opadavý, javory, lípy a na dně rýh olše, vrby a jasaný“ (ZACHAR, 1984). V některých lokalitách je vhodnější využití trávy - drnu.

3.2.4 Stabilizace menších výmolů

„Při stabilizaci menších výmolů se volí jednodušší postupy, podle způsobu využívání území a charakteru výmolů. Malé erozní rýhy postačí jen zahrnout a tyto mírné terénní deprese zatravnit, čímž se erozní činnost vody omezí na neškodnou míru. V případě že se výmoly vyskytují na odlehlejších místech, na skeletnatých půdách lze využít soustavu několika menších stupňů. Pomocí nichž se dno výmolu zpevní a zaplní nánosy, takto vyplněná erozní rýha se může dále zalesnit nebo zatravnit. Místo stupňů lze využít i garnisáží, plůtků z vrbového proutí nebo proutěné válce. Při budování takovýchto úprav se vždy postupuje od spodu nahoru, tak že se proutí ukládá na dno ve směru toku vody, přičemž konce prutů se podepřou dřevěnými kůly, aby je tekoucí voda nezatlačila na dno a nepokryla nánosy. Vrbové pruty brzy zakoření a už v druhém roce plní stabilizační funkci“ (ZACHAR, 1984).

Zásadním problémem a preventivním opatřením u lesní cestní sítě je dodržení podélného a příčného sklonu při jejich realizaci, pravidelná údržba a čištění odvodňovacích zařízení při jejich provozu a okamžité řešení všech vzniklých problémů.

3.3 Stabilizace svahových nátrží

3.3.1 Charakteristika

„Svahové nátrže vznikají převážně hloubkovou nebo boční erozí soustředěného toku. V prvním případě jde o porušování stability svahů a strmých strání postupným zařezáváním se koryta řeky, bystřiny nebo strže do terénu. Jedná se o typické důsledky vertikální eroze. V druhém případě je příčinou vzniku a aktivace destrukčních procesů ve formě strží podmývání paty svahu. Tento jev umožňuje šikmé uložení podložních vrstev směrem k patě svahu. Nebo v případě tektonické poruchy usměrňující tok vody k patě svahu. Často také nátrže vznikají i při meandrování toku a při vychylování osy toku, šterkonosným přítokem. V ostatních případech vznikají svahové nátrže po technických zásazích člověka, buď nesprávným usměrněním toku, nebo zvýšením erozní činnosti v korytě.

Charakteristickým znakem svahových nátrží jsou relativně intenzivní destrukční procesy, při kterých se uplatňuje plošná a rýhová eroze, sesouvání, odhalování svahů a podobně. Oproti ostatním erozním jevům mají nátrže jednu nevýhodu, že se všechen přemístěný materiál dostane ve formě splavenin do toku. Proto je stabilizování svahových nátrží při hrazení bystřin prvořadým úkolem.

3.3.2 Stabilizace

Při stabilizaci svahových nátrží je třeba v první řadě odstranit příčinu jejich vzniku. Z výše uvedeného textu vyplývá, že touto příčinou může být hloubková eroze, boční eroze, boční akumulace nánosů a i umělé usměrnění toku technickými zásahy. Nejúčinnějším prostředkem proti narušení stability svahu hloubkovou erozí je budování soustavy příčných objektů v korytě bystřiny nebo strže,

pomocí nichž se zamezí dalšímu prohlubování dna koryta, a jeho úroveň se akumulací splavenin zvýší a omezí se transport splavenin do nižších částí toku. Po takovém ustálení dna a zvýšení základny nátrže je možné přikročit k jeho stabilizaci. Proti narušování svahu boční erozí, zapříčiněnou geologickou stavbou území, je možné zamezit výstavbou příčných a podélných objektů v korytě, pomocí nichž se tok usměrní a zastaví se další podemílání svahu. Po takovéto úpravě se pata svahu ještě zpěvně opěrnou zdí a svahová nátrž se stabilizuje zalesněním.

Snižování stability svahových nátrží technickými zásahy se může uskutečňovat zužováním průtokového profilu koryta a změnou směru toku. Obě dvě příčiny je možné odstranit rozličnými způsoby stabilizace od budování příčných objektů v korytě a stabilizování břehů až po zpevňování paty svahu. Velmi důležitým stabilizačním prvkem je výsadba a péče o dřeviny a vegetaci včetně využití hydroosevu, obecně všechny tyto biotechnická opatření, velmi účinně zajišťuje stabilitu svahu. Avšak všechny tyto popsané metody vyžadují důkladnou úpravu svahu a jsou poměrně nákladné“ (ZACHAR, 1984)

Jak již bylo uvedeno výše, zásadním problémem a preventivním opatřením u lesní cestní sítě je dodržení podélného a příčného sklonu při jejich realizaci, pravidelná údržba a čištění odvodňovacích zařízení při jejich provozu a okamžité řešení všech vzniklých problémů.

3.4 Stabilizace sutí a suťových proudů

3.4.1 Charakteristika

„Tyto jevy se vyskytují v nejextrémnějších přírodních podmínkách a jejich stabilizace se uskutečňuje výlučně lesnickými metodami. Sutě se tvoří buď vnitřněpůdním vyplavováním jemnozrnného materiálu v povrchovém zvětralinovém plášti, nebo hromaděním hrubého stěrkového až kamenitého materiálu při různých svahových pohybech. Šterkovitá a kamenitá vrstva vzniká i při selektivní srážkové erozi, při jejím hromaděním pod skalnatými stěnami a při kryogenních procesech vyzdviháváním skeletu a kamenů na povrch půdy vlivem mrazu. Poměrně často se tvoří suťová a kamenná pole v periglaciálním prostředí. Nakonec suťová pole mohou vznikat i uměle, při stavbě cest, tvorbě hald a podobně. Kromě přírodních činitelů a podmínek tvorbu sutí a sutinových proudů ovlivňuje i lidská činnost. Jejich vznik člověk urychluje odstraňováním a poškozováním trvalé vegetace, pasením dobytka, požáry a všemi způsoby, kterými způsobuje urychlování povrchové a podpovrchové eroze.

Suťové proudy se vyskytují pouze ve vysokých pohořích kde nahromaděné velké množství labilního, převážně skeletnatého materiálu. Hlavní příčinou jejich vzniku jsou prudké lijáky, které nasycují povrchové vrstvy půdy. Stabilitu dále snižuje mráz a sníh, který může poškodit vegetační kryt a mechanicky i stabilitu půdy.

3.4.2 Stabilizace

Z výše uvedených skutečností vyplývá, že neúčinnějším opatřením proti vzniku sutí a suťových proudů je udržení trvalé a pokud možno i kompaktní vegetace, v pásmu pod horní hranicí lesa. Větší pozornost je třeba věnovat právě obnaženým plochám, žlabům a lavinovým polím. Účinným opatřením jsou protilavinová opatření a stabilizace horních toků bystřin, se zaměřením a stabilizací strží a výmolů, popřípadě odklon soustředěného povrchového odtoku nad nimi.

Suťové pole je možné nejlépe stabilizovat soustavou palisádových plůtků a kamenných zídek a teras. Pod ochranou těchto objektů je možné vysazovat sazenice do jamek vyplněných zeminou. Proti škodlivým účinkům suťových proudů se na bystřinách budují různé masivní stavby, které mají za úkol suťový proud roztržít, roztržít, zpomalit jeho rychlost nebo ho úplně zastavit a zachytit. Řadíme sem například železobetonové tetraedry, kříže, piloty, kamenné hráze a železobetonové soustavy přehrážek. Obecně je cílem všech těchto opatření zpomalení a zachycení suťových proudů.

3.5 Stabilizace svahových sesuvů

3.5.1 Charakteristika

Svahový sesuv je sklouzávání vrchní vrstvy půdy a zeminy po méně propustné skluzné vrstvě. Od zemního, půdního nebo suťového toku se liší tím, že se pohybující se masy materiálu nepromíchávají, jen deformují. Míra deformací závisí od množství pohybující se masy, od tvaru sesuvu, obsahu vody v nadložních vrstvách a od rychlosti pohybu. Příčinou vzniku sesuvu je především narušení stability nadložních vrstev. Toto narušení stability vzniká postupným vyplavováním tlumících složek mezi dvěma na sobě ležícími vrstvami. Na tvorbě trhlin se podílejí poměrně hodně také klimatické jevy jako mráz a sucho. Pohyb nadložních vrstev může vzniknout i při snížení stability svahu, a to jeho podemletím, podkopáním, přetnutí tělesem cestního tělesa nebo jiným technickým zásahem. Sesuvy může způsobovat i změna vodního režimu půdy, spojená se zvýšenou infiltrací, snížením odběru vody rostlinami, zvýšeným přítokem okolních vod, vztlínáním ze zvýšené hladiny toků a vodních nádrží.

3.5.2 Stabilizace, protisesuvná opatření

Mezi základní protisesuvná opatření patří odvodnění, které se vykonává různými způsoby podle charakteru a velikosti sesuvu. V nevyhnutelných případech se odvodnění kombinuje se zpevňováním svahů různými kovovými, železobetonovými, kamennými a jinými konstrukcemi. Největší efekt odvodnění půdy se dosáhne soustavnou drenáží nebo kamennými žebry. Jedná se o zpevňovací prvek zapuštěný asi 0,5m pod úroveň smykové plochy. Svodné i sběrné žebra jsou od sebe vzdálené 4 až 5m. Sběrná žebra do sebe klenbovitě zapadají, čímž se zvyšuje stabilita celé soustavy. V případě drobných sesuvů v prostředí, které lze zalesnit je vhodné využít hlubokořenicí dřeviny s vysokým výparem. Z jehličnatých dřevin lze uvést modřín opadavý a jedli, z listnatých potom vrby, olše, topoly, jasaný a javory“ (ZACHAR, 1984)

Pro svahové sesuvy a jejich stabilizaci platí, že je nutné zajistit dodržení podélného a příčného sklonu při jejich realizaci, pravidelná údržba a čištění odvodňovacích zařízení při jejich provozu a okamžitě řešení všech vzniklých problémů. Ideálním řešením je se takovým lokalitám vyhnout úplně.

4. PLATNÁ LEGISLATIVA

4.1 Vodní politika EU

4.1.1 Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2000/60/ES, kterou se stanoví rámec pro činnost Evropského společenství v oblasti vodní politiky

„Dne 22. prosince 2000 nabyla účinnosti Směrnice 2000/60/ES Evropského parlamentu a Rady ze dne 23. října 2000, kterou se stanoví rámec pro činnost Evropského společenství v oblasti vodní politiky (dále jen „Rámcová směrnice o vodách“ či „RSV“). Tato směrnice představuje pravděpodobně nejvýznamnější legislativní nástroj v oblasti vodní politiky a je zároveň jednou z nejsložitějších směrnic vytvořených na úrovni Evropské unie (dále jen „EU“).

Za účelem zajištění koordinovaného přístupu při provádění Rámcové směrnice o vodách na úrovni Evropské unie byla uzavřena vzájemná dohoda členských států, Evropské komise a Norska na společné implementační strategii (Common Implementation Strategy; dále jen „CIS“) pro tuto směrnici, a to již v květnu 2001, tj. jen pět měsíců po vstupu směrnice v platnost. Jedním z důvodů pro ustavení CIS byl i fakt, že řada povodí významných evropských řek pokrývá území hned několika států (např. povodí řeky Dunaje zahrnuje území 14 států) a přes rozdílné administrativní a územní členění, je nezbytný společný a koordinovaný přístup k ochraně vod, což přispívá k efektivnímu a úspěšnému provádění této směrnice. Především z těchto důvodů byla do společného procesu zavádění RSV zapojena kromě členských států EU, kandidátských zemí a zemí EHP i řada nevládních organizací a dalších zúčastněných subjektů.

V rámci organizační struktury CIS byly ustaveny pracovní skupiny, které se zabývají konkrétními dílčími tématy. Řídícím orgánem v rámci CIS jsou „vodní ředitelé“, kteří na svých zasedáních schvalují

výstupy (např. směrné dokumenty EK (Guidance documents) apod.) z těchto pracovních skupin. Koordinační roli ve struktuře CIS zajišťuje Strategická koordinační skupina (SCG), která koordinuje činnosti pracovních skupin a je podřízená grémiu „vodních ředitelů“ EU. ČR zastupují, s ohledem na sdílené kompetence ve vodním hospodářství mezi resorty ministerstva životního prostředí a ministerstva zemědělství, dva „vodní ředitelé“, jakožto zástupci obou resortů“ (MŽP, 2008–2018).

„Důvodem jejího vzniku je sjednocení různých způsobů stávající ochrany vod uvnitř Společenství a prosazování integrované péče o životní prostředí. Vývoj Rámcové směrnice vodní politiky trval více než 10 let, přičemž dodnes vyvolává uvnitř Společenství intenzivní vědeckou a politickou debatu. V současnosti je Rámcová směrnice vodní politiky doplněna několika dceřinými směrnici a provázána se Směrnicí o zvládání povodňových rizik (2007/60/ES). Rámcová směrnice vodní politiky nahlíží na vodní hospodářství z celkového hlediska a jeho hlavním cílem je zabránit jakémukoli zhoršení stavu vodních útvarů a chránit a zlepšit stav vodních ekosystémů a přilehlých mokřadů. Zaměřuje se na podporu udržitelného užívání vod a bude přispívat ke zmírnění následků záplav a suchých období.

Rámcová směrnice vodní politiky se vztahuje na veškeré vodstvo – vnitrozemské povrchové vody, podzemní vody, brakické a pobřežní vody. Celoevropsky zavádí princip integrovaného přístupu pro záležitosti spojené s kvalitou a kvantitou vody a s problematikou povrchových a podzemních vod a pro vodní hospodářství zavádí Směrnice princip správy založený na jednotce povodí – v České republice je tento princip zaveden již od 60. let minulého století. Voda je tudíž považována za souvislý celek. Prvořadým cílem této politiky je dosažení „dobrého stavu“ všech vod do roku 2015. To je Rámcovou směrnicí vodní politiky přesně stanoveno. Tento cíl je předmětem několika přesně definovaných výjimek vztahujících se na určité okolnosti umožňující odklad dosažení dobrého stavu po dvě plánovací období tj. až do 22. 12. 2027.

Implementace Rámcové směrnice vodní politiky neznamená pouhou aplikaci nových technických norem, ale potřebu zavést zcela nový komplexní režim správy vod a vodních zdrojů založený na jednotce povodí, bez ohledu na stávající administrativní či (v případě mezinárodních vodních toků) národní hranice. To vyžaduje úzkou mezinárodní spolupráci v mezinárodních povodích, která byla pro území České republiky zahájena již v závěru minulého století v rámci mezinárodních komisí na ochranu Labe, Dunaje a Odry, jež principy a úkoly stanovené Rámcovou směrnicí vodní politiky konzistentně začlenily do náplně své práce.

Rámcová směrnice vodní politiky představuje jednu z nejsložitějších směrnic vytvořenou Evropskou komisí, která pokrývá celou oblast životního prostředí. Naplňování úkolů a cílů Rámcové směrnice vodní politiky tak není jen záležitostí vodohospodářů a ochránců přírody, ale zásadní roli při naplňování Rámcové směrnice vodní politiky má též zemědělství, průmysl, lesnictví, územní plánování a další obory.

Související dokumenty:

- 8. Pokyny k zajištění účasti veřejnosti podle rámcové směrnice vodní politiky
- Informační podpora procesu plánování v oblasti vod a naplnění požadavků Rámcové směrnice
- 11. Nejlepší postupy pro přípravu plánů povodí
- 1. Ekonomika a životní prostředí - úkoly spojené s implementací rámcové vodní směrnice
- 10. Referenční podmínky pro vnitrozemské povrchové vody
- Statistické aspekty identifikace trendů znečištění podzemních vod a seskupování výsledků monitorování
- 7. Pokyny pro monitorování podle Rámcové směrnice o vodní politice
- 3. Analýza vlivů a dopadů v souladu s rámcovou směrnicí vodní politiky
- 2. Určení vodních útvarů
- 4. Stanovení a vymezení silně ovlivněných umělých vodních útvarů
- Twinning projekt Implementace Rámcové směrnice
- Metodický přístup k aplikaci článku 4 Rámcové směrnice vodní politiky ES v plánech oblastí povodí

- Vymezení oblastí povodí v členských státech“ (MZE, 2009–2018).

„**Plánování v oblasti vod** navazuje na vodohospodářské plánování, které má v ČR dlouhou tradici. Novým impulsem pro podobu vodohospodářského plánování bylo přijetí Rámcové směrnice o vodách v roce 2000. Plánování v oblasti vod je mimořádně rozsáhlým a komplexním procesem, který podle vodního zákona zajišťuje stát a který implementuje požadavky Rámcové směrnice o vodách a neobejde se bez účinné koordinace širokého spektra zúčastněných subjektů. Za tímto účelem Ministerstvo zemědělství v roce 2003 ustanovilo Komisi pro plánování v oblasti vod a fakticky tím odstartovalo proces plánování v České republice. Aktuální informace z výstupů jednání Komise i další informace o plánování v oblasti vod v ČR je možno nalézt na stránkách Ministerstva zemědělství.

V souvislosti s přípravou nové české vodohospodářské legislativy, která reagovala na požadavek transpozice této směrnice do českého právního řádu, byl v zákoně č. 254/2001 Sb., o vodách a o změně některých zákonů (vodní zákon), zpracován zcela nový systém vodohospodářského plánování a pro tento systém bylo zavedeno nové označení „Plánování v oblasti vod“.

Plánování v oblasti vod je rozděleno do tří období. První období probíhalo v letech 2009–2015, druhé období probíhá v letech 2016–2021 a třetí období bude probíhat v letech 2022–2027.“ (MŽP, 2008–2018)

„**I. plánovací období probíhalo v letech 2009–2015**, a v jeho rámci došlo ke zpracování a přijetí plánů povodí v následujících úrovních:

- Plán hlavních povodí České republiky (schválené PDF Usnesení vlády č. 562 ze dne 23. května 2007, jehož závazné části byly vyhlášeny nařízením vlády č. 262/2007 Sb.) představoval dlouhodobou koncepci v plánování v oblasti vod. Integruje záměry a cíle resortních politik ústředních vodoprávních úřadů, zejména Koncepce vodohospodářské politiky Ministerstva zemědělství pro období po vstupu do Evropské unie na léta 2004–2010 a Státní politiky životního prostředí 2004–2010, a stal se základním podkladem pro zpracování plánů oblastí povodí.
- Plány oblastí povodí byly koncepční dokumenty, jež shrnuly informace o současném stavu vodních útvarů v oblastech povodí a stanovily konkrétní cíle zaměřené na dosažení dobrého stavu vodního prostředí, prevenci zhoršování stavu vodního prostředí, podporu udržitelného využívání vod, snížení vlivů extrémních průtokových stavů (povodní a sucha) a navrhly opatření k jejich zajištění do roku 2015. Osm plánů oblastí povodí bylo do konce roku 2009 schváleno zastupitelstvy jednotlivých krajů. Plány oblastí povodí představovaly požadovanou základní úroveň zpracování plánů povodí podle Rámcové směrnice o vodách. Byly z nich sestaveny souhrnné Plány národních částí mezinárodních oblastí povodí Labe, Odry a Dunaje, a ty byly vkladem České republiky do Plánů mezinárodních oblastí povodí Labe, Odry a Dunaje.

II. plánovací období probíhá v letech 2015–2021, a v rámci jeho přípravy došlo k první aktualizaci plánů povodí. V reakci na připomínky Evropské komise (tzv. infringement) k implementaci Rámcové směrnice o vodách byla pro druhé plánovací období úpravou legislativy (novela vodního zákona č. 150/2010 Sb.) stanovena nová struktura zpracování plánů povodí. Aktualizace plánů povodí do roku 2015 probíhala ve třech úrovních:

- mezinárodní plány povodí – pro mezinárodní oblasti povodí,
- národní plány povodí – pro části mezinárodních oblastí povodí na území České republiky,
- plány dílčích povodí – pro dílčí povodí.

Národní plány povodí pořizuje Ministerstvo zemědělství a Ministerstvo životního prostředí ve spolupráci s příslušnými správci povodí a místně příslušnými krajskými úřady. Schvaluje je vláda. Plány dílčích povodí pořizují správci povodí podle své působnosti ve spolupráci s příslušnými krajskými úřady a ve spolupráci s ústředními vodoprávními úřady. Podle své územní působnosti je schvalují kraje. Souběžně byly v koordinaci zpracovány a schváleny plány pro zvládání povodňových rizik, které implementují požadavky směrnice 2007/60/ES o vyhodnocování a zvládání povodňových rizik (dále jen Povodňová směrnice). Plány pro zvládání povodňových rizik pořizuje Ministerstvo životního prostředí a Ministerstvo zemědělství ve spolupráci s příslušnými správci povodí a místně příslušnými krajskými úřady. Schvaluje je vláda.

III. plánovací období bude probíhat v letech 2021–2027. V rámci přípravy na toto plánovací období bude provedena druhá aktualizace plánů povodí a první aktualizace plánů pro zvládání povodňových rizik.“ (MZE, 2009–2018)

4.1.2 Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2007/60/ES o vyhodnocování a zvládání povodňových rizik

„Po zavedení směrnice Evropského parlamentu a Rady 2007/60/ES o vyhodnocování a zvládání povodňových rizik (dále jen „Povodňová směrnice“), byla do činností CIS zahrnuta také koordinace povodňové ochrany na úrovni EU.

V současné době, dle schváleného plánu prací na období 2016–2018, struktura CIS zahrnuje pět tematických skupin věnujících se problematice ekologického stavu – pracovní skupina „ECOSTAT“, chemickým látkám ve vodním prostředí – pracovní skupina „Chemicals“, podzemním vodám – pracovní skupina „Groundwater“, povodňové ochraně – pracovní skupina „Floods“ a oblasti správy dat a reportingu – pracovní skupina „Data and Information Sharing“. Hlavním výstupem činnosti pracovních skupin CIS bylo do současnosti vytvoření více než třiceti směrných dokumentů a řady technických dokumentů. Tyto dokumenty slouží jako podpůrný metodický přístup k provádění směrnice, který je však v řadě oblastí potřeba přizpůsobit specifickým podmínkám členských států EU. V neposlední řadě je vhodné zmínit, že působení v rámci pracovních skupin významně posiluje vzájemnou výměnu zkušeností z jednotlivých národních úrovní, což přispívá k lepší koordinaci provádění Rámcové směrnice o vodách a Povodňové směrnice.

„Směrnice EU 2007/60/ES o vyhodnocování a zvládání povodňových rizik (dále jen směrnice 2007/60/ES) si klade za cíl předejít nepříznivým dopadům povodní, nebo je omezit vypracováním plánů pro zvládání povodňových rizik. Vzhledem k tomu, že se příčiny a následky povodní v různých regionech Evropy liší, měly by uvedené plány zohlednit konkrétní charakteristiky oblastí, kterých se týkají, a navrhnout řešení podle potřeb a priorit těchto oblastí.

Proces implementace směrnice 2007/60/ES byl v ČR iniciován již v průběhu vlastní tvorby předpisu. Podrobným rozbohem byly definovány problémové okruhy, jejichž řešení bylo zajištěno: (I) transpozicí principů směrnice do právního řádu ČR, (II) zahájením vývoje metodických nástrojů nezbytných ke splnění jednotlivých požadavků směrnice. Oba časově náročné dílčí procesy byly moderovány mezirezortní pracovní skupinou vedenou Ministerstvem životního prostředí ČR.

V příspěvku jsou uvedeny principy vybraných metodických postupů včetně dosažených výsledků. Zejména se jedná o fázi vymezení oblastí s významným rizikem, metodickou podporu tvorby map povodňového nebezpečí a povodňových rizik, zpracování dokumentací oblastí s významným povodňovým rizikem a Plánů pro zvládání povodňových rizik. Dále jsou zmíněny povinnosti spojené s reportováním výsledků jednotlivých fází implementace směrnice 2007/60/ES Evropské komisi.

• Definice pojmů

Povodňové nebezpečí – charakterizuje stav s potenciálem způsobit nežádoucí následky (povodňové škody) v záplavovém území. Povodňové nebezpečí lze definovat také jako „hrozbu“ události (povodně), která vyvolá např. ztráty na lidských životech, škody na majetku, přírodě a krajině. Povodňové nebezpečí může být kvantifikováno pomocí hodnot základních charakteristik průběhu povodně (hloubka, rychlost).

Zranitelnost území – vlastnost území, která se projevuje jeho náchylností k poškození a škodám v důsledku malé odolnosti vůči extrémnímu zatížení povodní, tj. v důsledku tzv. expozice.

Povodňové ohrožení – je vyjádřeno jako kombinace pravděpodobnosti výskytu nežádoucího jevu (povodně) a nebezpečí. Zásadní rozdíl mezi povodňovým ohrožením a povodňovým rizikem spočívá v tom, že ohrožení není vázáno na konkrétní objekty v záplavovém území (ZÚ) s definovanou zranitelností. Ohrožení je možné vyjádřit plošně pro celé ZÚ bez ohledu na to, co se v něm nachází. V okamžiku, kdy ohrožení vztáhneme ke konkrétnímu objektu v ZÚ s definovanou zranitelností, začíná představovat povodňové riziko. V rámci metody matice rizika je povodňové ohrožení vyjádřeno jako funkce pravděpodobnosti výskytu daného povodňového scénáře a tzv. intenzity povodně.

Povodňové riziko – je vyjádřeno nejčastěji jako kombinace pravděpodobnosti výskytu nežádoucího hydrologického jevu (povodně, scénáře nebezpečí) a jeho nepříznivých dopadů na lidské zdraví, životní prostředí, kulturní dědictví a hospodářskou činnost.

- **Implementace směrnice 2007/60/ES do zákonných norem v České republice**

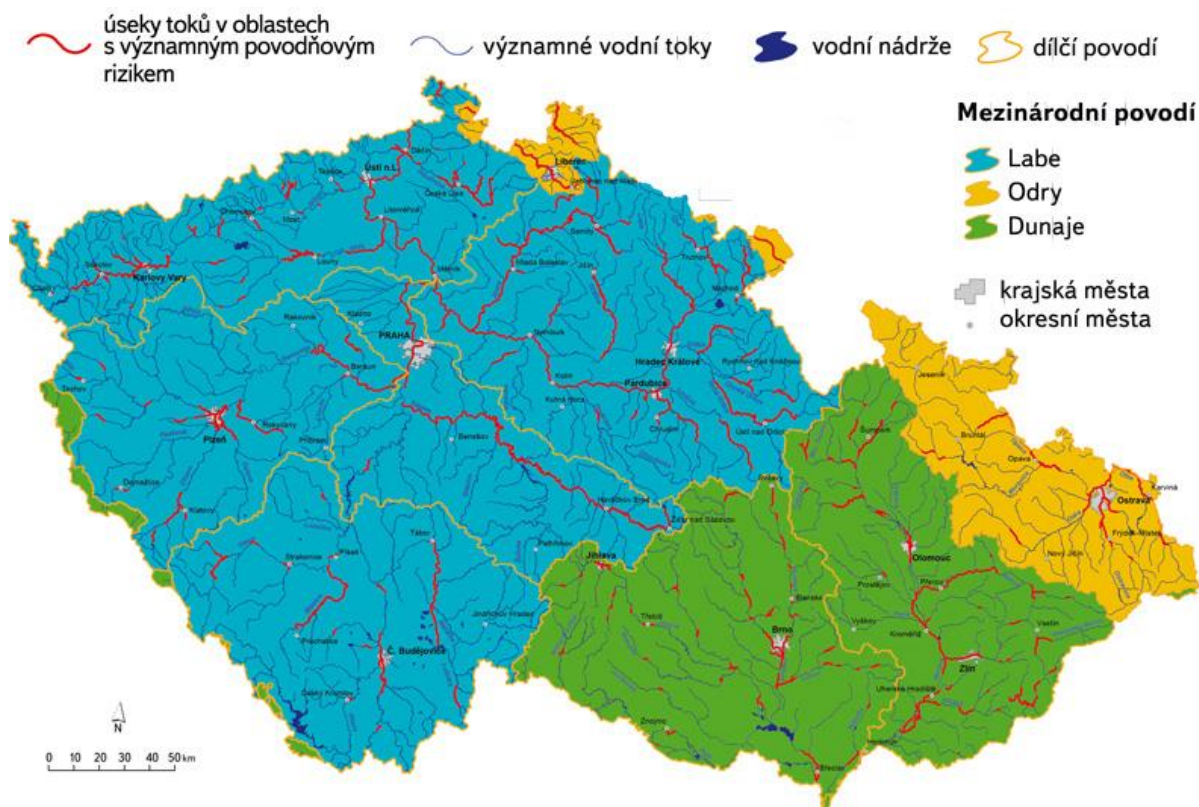
Splnění úkolů požadovaných směrnicí 2007/60/ES znamenalo iniciaci procesu její implementace do právního prostředí a institucionálního rámce České republiky již od druhé poloviny roku 2007 v gesci Ministerstva životního prostředí ČR (dále jen MŽP).

Zásadní byla transpozice principů směrnice a terminologického aparátu do novely zákona č. 254/2001 Sb., o vodách a o změně některých zákonů (vodní zákon) zákonem č. 150/2010 Sb. S účinností od 1. 8. 2010. Druhým právním předpisem, který úzce souvisí se směrnicí o vyhodnocování a zvládání povodňových rizik, je nová vyhláška č. 24/2011 Sb., o plánech povodí a plánech pro zvládání povodňových rizik (účinnost od 4. 3. 2011). Vyhláška uvádí způsob a formu zpracování předběžného vyhodnocení povodňových rizik, obsah a způsob zpracování map povodňového nebezpečí, map povodňových rizik a formy jejich zveřejnění, obsah a způsob zpracování plánů povodí a plánů pro zvládání povodňových rizik a konečně způsob zpřístupnění přípravných prací, návrhů plánů pro aktivní zapojení veřejnosti.

- **Výsledky předběžného vyhodnocení povodňových rizik**

Výsledkem analýz je vymezení úseků vodních toků a také seznam obcí, u kterých jsou povodňová rizika předběžně vyhodnocena jako významná a pro které byly následně zpracovávány mapy povodňového nebezpečí a povodňových rizik v rámci šestiletého cyklu příprav plánů povodí a plánů pro zvládání povodňových rizik.

V době zpracování úlohy předběžného vyhodnocení povodňových rizik byly dostupné údaje vymezených záplavových území pro 10 890 km vodních toků, což představuje cca 67 % tzv. významných vodních toků (podle vyhlášky č. 178/2012 Sb.). Hlavním výstupem je přehledná mapa dílčích povodí v České republice s vyznačenými úseky vodních toků, které charakterizují oblasti s významným povodňovým rizikem (obrázek 1). Celková délka úseků významných vodních toků v oblastech, kde bylo vyhodnoceno povodňové riziko jako významné, činí 2 965 km.“ (ŠTĚPÁNKOVÁ a kol., 2017)



Obrázek 1 Úseky vodních toků definující oblasti s významným povodňovým rizikem (ŠTĚPÁNKOVÁ a kol., 2017)

4.1.3 Spolupráce v rámci EHK OSN - Úmluva o ochraně a využívání hraničních vodních toků a mezinárodních jezer

„Úmluvu o vodách ratifikovalo 34 států v oblasti EHK OSN. Česká republika tak učinila 12. června 2000... Cílem Úmluvy o vodách je zajistit ochranu a racionální využívání hraničních vodních toků a mezinárodních jezer. Požadavky současných generací mají být plněny bez omezování generací budoucích. Úmluva o vodách směřuje k podpoře únosného hospodaření s vodními zdroji, k monitorování a vyhodnocování stavu hraničních vod, ke vzájemné výměně informací, k vypracování postupů hlášení havarijní a povodňové služby a k další mezinárodní spolupráci. Spolupráce dle zásad Úmluvy o vodách má být realizována především prostřednictvím smluv a dohod, které jsou uzavírány státy sdílejícími hraniční vody, nebo které upravují spolupráci zainteresovaných států v ucelených povodích.

V současné době existují čtyři hlavní programové oblasti Úmluvy o vodách:

- prosazování Úmluvy o vodách a jejích aktivit a konzultační služby
- integrované řízení vodních zdrojů a souvisejících ekosystémů
- monitoring a hodnocení
- voda a lidské zdraví

Novela vodního zákona rovněž zakotvila do českého právního řádu i další významnou součást plánování v oblasti vod, a to náležitosti implementace směrnice Evropského parlamentu a Rady 2007/60/ES o vyhodnocování a zvládnutí povodňových rizik. Účelem této směrnice je stanovit rámec pro vyhodnocování a zvládnutí povodňových rizik s cílem snížit nepříznivé účinky na lidské zdraví, životní prostředí, kulturní dědictví a hospodářskou činnost, které souvisejí s povodněmi. Dle požadavků této směrnice jsou pořizovány Plány pro zvládnutí povodňových rizik“ (MŽP, 2008–2018)

4.1.4 Protokol o vodě a zdraví k úmluvě o ochraně a využívání hraničních vodních toků a mezinárodních jezer z roku 1992

„Protokol vstoupil v platnost dne 4. srpna 2005“ (MŽP, 2008–2018).

„Cílem tohoto Protokolu je na všech úrovních, v kontextu národním, přeshraničním i mezinárodním, podporovat ochranu lidského zdraví a prospěchu z hlediska jednotlivců i společnosti, a to v rámci trvale udržitelného rozvoje prostřednictvím zkvalitnění vodního hospodářství, včetně ochrany vodních ekosystémů a prostřednictvím prevence, kontroly a omezení výskytu chorob souvisejících s vodou.“ (MŽP, 2000)

„Moderní principy ochrany vod, založené na bázi hydrologických povodí velkých řek překračujících hranice více států, se v České republice začaly uplatňovat v roce 1990 zahájením spolupráce při ochraně Labe podle Dohody o Mezinárodní komisi pro ochranu Labe. O něco později byly zahájeny práce na přípravě Úmluvy o spolupráci pro ochranu a únosné využívání Dunaje a Dohody o Mezinárodní komisi pro ochranu Odry před znečištěním.

Spolupráce v ochraně vod v ucelených mezinárodních povodích je v souladu se strategií ochrany vod prosazovanou v České republice a založenou na principu komplexní ochrany povrchových a podzemních vod v ucelených hydrologických povodích nebo hydrogeologických rajonech.

Mnohostranná mezinárodní spolupráce je prostřednictvím Mezinárodních komisí pro ochranu Labe, Dunaje a Odry zaměřena zejména na:

- umožnění užívání vody, a to především získávání pitné vody z břehové infiltrace a zemědělské využívání vody a sedimentů
- usilování o dosažení vodního ekosystému, který bude co možná nejbližší přírodnímu stavu se zdravou četností druhů
- snižování zatížení Labe, Odry a Dunaje škodlivými látkami
- snižování zatížení Severního moře z povodí Labe, Černého moře z povodí Dunaje a Baltického moře z povodí Odry
- protipovodňovou ochranu
- koordinovanou implementaci Směrnice 2000/60/ES Evropského parlamentu a Rady ustavující rámec pro činnost Společenství v oblasti vodní politiky v mezinárodních oblastech povodí“ (MŽP, 2008–2018)

4.2 Vodní politika ČR

Zákon č. 114/1992 Sb., o ochraně přírody a krajiny

Zákon č. 254/2001 Sb., o vodách a o změně některých dalších zákonů (vodní zákon).

Rostoucí četnost klimatických extrémů u nás i v Evropě vyžaduje užší mezinárodní spolupráci. K tomu byly zpracovány a přijaty výše uvedené dokumenty. Ty ale řeší problémy na mezistátní úrovni. Konkrétní situací v lesích ČR se nezaobírají. Proto je důležité jít v rámci celostátní problematiky na tu úroveň, kde problémy vznikají, kde je lze specifikovat a tam je vhodným způsobem řešit. Prvním krokem je identifikace rizika a jeho rozsahu a nebezpečnosti.

5. POSTUP ŘEŠENÍ A VÝSTUPY

Podnětem ke vzniku eroze na lesní půdě je zpravidla použití nevhodných TDT. Půda je erodována jednak při samotném těžebně-dopravním procesu, jednak následným působením srážkové vody na těch plochách, kde došlo ke stržení bylinného patra a humusového krytu a k poškození povrchového půdního minerálního horizontu. Souhrnně lze v této souvislosti hovořit o těžebně-dopravní erozi (TDE), definované jako objem půdy přemístěné v době těžby a soustředování dřeva působením dopravních prostředků, jejich nákladu a vody (ŠACH, 1988).

Půda je erodována jednak při samotném těžebně-dopravním procesu, jednak následným působením srážkové vody na lokalitách, kde došlo ke stržení bylinného patra, humusového krytu a k poškození povrchového půdního minerálního horizontu (ULRICH, VAVŘÍČEK, 2013). Ohrožení lesních porostů TDE představuje interakci mezi odolností lesních půd a stavem infrastruktury zpřístupnění lesa. Kritériem je hustota odvozních cest (m/ha) v rámci typu transportního segmentu (TS), resp. na úrovni

odvozního celku. Na základě inventarizace LCS je posouzení hustoty odvozních cest a odolnosti lesní půdy k TDE.

Odolnost lesní půdy vůči těžebně-dopravní erozi (TDE) je kvantifikována na úrovni stupně erodovatelnosti lesních půd. Základní hodnotící jednotkou je půdní typ na úrovni subtypu, který je součástí ekosystémové jednotky lesního typu. Erodatelnost lesní půdy vůči TDE klasifikuje potenciální ohrožení TDE. Finálním výstupem je stupeň erodovatelnosti přiřazený k jednotce lesního typu.

Prvním krokem k minimalizaci těžebně-dopravní eroze (TDE) je nutný předpoklad pravidelné důsledné údržby odvozních cest a povýrobní úpravy pracovišť. Minimalizace poškození (ŠACH, 1988) převážně lehce erodovatelných půd je závislá na stavu nasycení půdního profilu vodou. V praxi to znamená, jakmile přesáhne hloubka koleje jednorázového pojezdu kolovým prostředkem cca 20 cm, hrozí následná rýhová eroze půdy.“ (MACKŮ, 2015)

5.1 Zóny kategorie povodí A, B, C

Zonace povodí III. řádu dle kategorií vymezuje stupeň ohrožení negativního vlivu dopadů povodní a erozivních jevů. V rámci širších vztahů z hlediska ohrožení daného LHC těmito jevy se navrhuje lokalizovat řešené území dle kategorie povodí. V rámci povodí kategorie A a B projektu Strategie před negativními dopady povodní a erozivními jevy (2015) jsou obsaženy informace o struktuře zastoupených porostních typů dle LVS, prostorové fragmentaci lesů a stupni erozivního ohrožení lesní půdy (ELP) v transportních segmentech (TS).

5.2 Odvozní celky

Druhým krokem v rámci širších vztahů je začlenění daného LHC do jednotek odvozních celků (OC). Odvozní celek je soubor transportních segmentů (TS), pro výpočet dopravní optimalizace lesní cestní sítě. Má mít jednotný směr odvozu z lesa na manipulační sklad, k železniční vlečce případně k odběrateli. Velikost se stanoví podle konkrétních podmínek, nejméně jeden TS. Hranice jsou totožné s hranicemi TS a respektují hranice významných vlastníků. TS je soubor porostů, které gravitují na jednu hlavní odvozní cestu. Dříví se soustřeďuje k jednomu nebo více odvozním místům. Transportní segment má mít přirozené hranice na gravitačních předělech (hřebenech, vodotečích, okrajích lesa) nebo umělé (odvozní cesty, železniční tratě, rozdělovací síť).

Vrstva OC je výchozím podkladem pro posouzení modelové a skutečné hustoty LCS.

5.3 Tvorba vrstvy hydrického potenciálu lesní půdy

Princip hodnocení vlastností lesních půd naráží na mnoho nejasností. Hodnotíme-li půdní vlastnosti zjištěné podle konkrétních fyzikálně chemických analýz půdních profilů pouze vztažené na taxonomickou klasifikační půdní jednotku (NĚMEČEK a kol., 2001, 2011), jedná se vždy o omezenou vypovídací schopnost. Z uvedené skutečnosti pak vyplývá, že jednotka půdního typu a subtypu sama o sobě bez bližší charakteristiky klimatu, expozice, nadmořské výšky, jako hodnotící jednotka je pro komplexní hodnocení půdních vlastností nevyhovující (MACKŮ, 2000). Klasifikační půdní jednotku je proto nutné ošetřit vazbou na jednotku ekosystémovou. Pro účely tvorby vrstvy hydrického potenciálu je dostatečná vypovídací schopnost, tj. na úrovni lesního typu (LT) či souboru lesních typů (SLT). Jde o využití tzv. systémového efektu umožňujícího dostatečnou a přehlednou precizaci přírodních podmínek pro rámec půdních klasifikačních jednotek.

Pro vyhodnocení hydrických vlastností lesních půd byla použita metoda odvození typu vodního režimu lesní půdy (MACKŮ, 2000) s následným vyhodnocením potenciálu hydrické funkce. Podle parametrů hydrické funkce lze k jednotkám lesních typů či SLT přiřadit hydrologické skupiny půd, resp. jejich variantu pro lesní půdy (MACKŮ, 2012). Výstupem je mapa hydrologických skupin půd.

Tabulka 6 Typ vodního režimu lesní půdy

stupeň	typ vodního režimu*	hydraulická vodivost**	RVK***	HSP
1	G (R)	pod 0,02	nad 34	D
2	P	0,02-0,06	30 – 34	C - D
3	V L	0,02-0,06	23 – 30	C
4	T1	0,06 – 0,12	14 – 23	B
5	T2	nad0,12	pod 14	A

** Hydraulická vodivost při nasycení vodou v $\text{mm} \cdot \text{min}^{-1}$

*** *RVK...retenční vodní kapacita půdy v % objemové vlhkosti (MACKŮ, 1982)*

* Charakteristiky typu vodního režimu lesní půdy (MACKŮ, 2000)

R - Rašeliny

Rašelinný horizont je hlubší než 50 cm. Trvale zamokřené plochy se specifickým vodním režimem. Většinou ploché terénní deprese, v horských oblastech také vrchoviště. Rašeliny se často nacházejí v pramenných oblastech a mají vodohospodářský význam. Převládající edafická kategorie - R.

G- Půdy trvale zamokřené

Zamokření stagnující podzemní vodou, jejíž hladina je blízko povrchu. Většinou ploché terénní deprese se špatnými odtokovými poměry. Půdní typy - gleje a glejové subtypy. Převládající edafické kategorie - G,T.

V- Půdy zamokřené svahovou proudící vodou

Plošné svahové a podsvahové vývěry. Na mírných plochých svazích tvoří často mozaiku zamokřených pramenišť podle výskytu podzemních překážek, které usměrní proudící podzemní vodu k povrchu. Většinou dlouhé ploché horské svahy pramenných oblastí. Převládající edafické kategorie - V, U.

L- Luhy

Zamokření proudící podzemní vodou, korespondující s hladinou ve vodním toku. Intenzita zamokření se během roku mění podle kolísání průtoku v recipientu. Inundační území vodních toků s mírným spádem, nívné půdy, typologická kategorie L.

P - Pseudogleje

Periodické zamokření povrchovou vodou vyvolávající pseudoglejový proces. Reliéf terénu tvoří zpravidla plošiny a mírné terénní deprese. Intenzita zamokření kolísá s vývojovým stádiem porostu a jeho desukční funkcí.

T2 – Terestrické lehké půdy

Písčité a skeletové půdy s vysokou retencí a vysokou propustností srážkové vody.

T1 - Terestrické lehké až středně těžké půdy

Půdy s dobrou až vysokou retenční schopností a relativní dobrou přístupností vody.

Tabulka 7 Zastoupení souborů lesních typů (SLT) dle typu vodního režimu lesní půdy

typ vodního režimu	typologické jednotky (SLT)	stupeň vodního režimu	
R G	0-8T, 0-8G, 8V,8Q,8P 0-9R	1	velmi nízký
P	0-1Q, 0-2O, 1-2V 0-7P, 2-7Q, 3-7V 3-7O	2	nízký
V L*	3-7V9 1-6L, U	3	průměrný
T2	3-8S, 1-7B, 1-6H 1-6D, 3-7N, 3-8S, 8K,8Z 1-7I, 1-3J, 3-8F, 9K,9Z	4	vysoký
T1**	0-5M,0-2K,0-5C, 1-2S 1-5W, 1-8A, 0-8Y	5	mimořádný

Tabulka 8 Tvorba vrstvy hydrického potenciálu lesní půdy vychází z podkladu lesnických typologických jednotek (OBLASTNÍ TYPOLOGICKÉ ELABORÁTY, 2008), kterým je přiřazena hydrologická skupina půd.

Skupina	Charakteristika hydrologických vlastností
A	Půdy s vysokou rychlostí infiltrace (nad 0,12mm/min) i při úplném nasycení, zahrnující převážně hluboké, dobře až nadměrně odvodněné písky nebo šterky
AB	
B	Půdy se střední rychlostí infiltrace (0,06 - 0,12 mm/min) i při úplném nasycení, zahrnující převážně půdy středně hluboké až hluboké, středně až dobře odvodněné, hlinitopísčité až jílovitohlinité
C	Půdy s nízkou rychlostí infiltrace (0,02 - 0,06 mm/min) při úplném nasycení, zahrnující převážně půdy s málo propustnou vrstvou v půdním profilu a půdy jílovitohlinité až jílovité
BC	
D	Půdy s velmi nízkou rychlostí infiltrace (pod 0,02 mm/min) půdy s trvale vysokou hladinou podzemní vody, půdy s vrstvou jílu na povrchu nebo těsně pod ním a mělké půdy nad téměř nepropustným podložím.
CD	

Tabulka 9 Hydrologické skupiny lesních půd (úprava MACKŮ, 2012)

ISLH		HSP	ISLH		HSP	ISLH		HSP
kód	LT		kód	LT		kód	LT	
1	0C1	B	55	0Q5	CD	109	1D4	B
2	0C2	BC	56	0R1	D	110	1D5	B
3	0C3	B	57	0R2	D	111	1D6	B
4	0C4	B	58	0R3	D	112	1D7	B
5	0C5	B	59	0R4	D	113	1D8	B
6	0C6	B	60	0R5	D	114	1D9	B
7	0G0	CD	61	0R6	D	115	1G0	D
8	0G1	D	62	0R7	D	116	1G1	D
:	:	:	:	:	:	:	:	:
1009	7Y9	AB	1064	8V9	D	1119	9Z9r	D

Přiřazení hydrologických skupin půd (HSP*) k jednotkám lesních typů dle ISLH

5.4 Tvorba vrstvy hydrologických podmínek lesních porostů

Poznatky lesnické hydrologie ukazují, že rozhodující vliv na srážkoodtokové procesy v lesním ekosystému má lesní půda. Vlastní druhová skladba, struktura či věk nejsou tak podstatným faktorem hydrických účinků lesů v povodích střední Evropy s obvyklým obhospodařováním lesů (KREČMER, 2003). Lesní porosty však přesto mohou do jisté míry hydrologické podmínky ovlivňovat.

Účinné jevy vymezující hydrologické podmínky lesních porostů vyplývají jednak:

- i když dojde k naplnění vodní kapacity lesního ekosystému (40–60 mm), les působí i po tom lépe ve srážkoodtokovém procesu než ostatní kultury. Převažuje podpovrchový (hypodermický) odtok půdou, srážková voda je odváděna se zdržením (retardací) a stále si udržuje určitou infiltraci pro další srážkové vody do půdy (VAŠKŮ, 2005),
- dalším jevem, charakteristickým pro lesní porosty je jejich desukční (odčerpávací) funkce. Transpiračním procesem se opět uvolňuje kapacita pro příjem dalších srážek. Obecně lze předpokládat, že lesní porost odčerpá za 24 hod až 5 litrů vody na m², za týden až 40 litrů vody na m² za bezsrážkového počasí radiačního typu. Půdní vegetace na holině může odčerpat za týden až 26 litrů vody z m². Desukční schopnost lesních dřevin se ve srovnání s půdní vegetací projevuje výrazně na hlubších půdách s větším prostorem pro kořenové systémy dřevin. Desukční funkce lesa na vodou ovlivněných půdách udržuje jejich volnou vodní kapacitu v rhizosféře a tak i zde se projevuje vliv lesa v retenčních a retardačních schopnostech. Dynamika desukce je pochopitelně ovlivněna druhem dřeviny, resp. zda jde o listnaté či jehličnaté a vývojovým stádiem, tedy růstovou dynamikou. Ta kulminuje cca mezi 20–30 lety (KANTOR, 1989). Ukazatelem je zde běžný přírůst (BP) hroubí v m³.ha⁻¹, jehož absolutní hodnoty závisí na bonitě dřeviny a trofnosti stanoviště. Čím živnější stanoviště tím lepší bonita dřeviny a hodnoty BP,
- fenomén horizontálních srážek v polohách nad 600 m, zejména na návětrných polohách. Uvádí se navýšení cca 10% srážek oproti volné ploše (KREČMER, KŘEČEK, 1981).
- fenomén intercepce, především u jehličnanů, např. intercepční ztráta při srážce 50 mm byla zjištěna v průměru 12% oproti volné ploše (ŠVIHLA, 2001).
- vliv nadložního humusu na minimalizaci povrchového odtoku je podmíněn aplikací vhodných těžebně-dopravních technologií, neboť jediná svážnice je schopna přeměnit podpovrchový odtok na soustředěný s erozními destrukčními důsledky.

Z pohledu výdajových složek vodního režimu se jehličnaté a listnaté porosty mezi sebou liší zejména svou interpecí. V širokém průměru se zadrží a později vypaří v zapojených smrkových porostech 25–41 % ročních srážek, v bukových porostech pouze 8–20 % (KANTOR, 1983). Výrazně nižší ztráty srážkové vody celkovou interpecí listnatých porostů lze vysvětlit jejich bezlistým stavem v mimovegetačních obdobích, nízkou skropnou kapacitou a zpravidla významným stokem po kmenech stromů. V horských polohách mohou být a také jsou intercepční ztráty nadlepeny horizontálními srážkami, ale i v těchto případech je tato položka neproduktivního výparu u listnáčů přibližně poloviční než u jehličnanů.

Na základě analýz řady experimentů (KANTOR, 1989), lze s vysokou mírou pravděpodobnosti považovat za prokázané, že výpar z povrchu půdy a přízemní vegetace i transpirace dřevin (celková evapotranspirace lesních ekosystémů) jsou spíše než druhovým složením lesních porostů ovlivněny povětrnostními a půdními podmínkami.

Na základě uvedených skutečností ovlivňujících hydrologické podmínky lesních porostů byly analyzovány k jednotce porostní skupina (rozdělení lesa) následující atributy:

- druhová skladba dřevin lesních porostů na úrovni dat ve formě jehličnany, listnáče a jejich smíšení na úrovni kumulovaných lesních typů (KPT),
- věková (vývojová) struktura lesních porostů na úrovni dat dle vývojových stádií.

Výstupem je mapa hydrologických podmínek lesních porostů.

Tabulka 10 Charakteristika hydrologických podmínek

Stupeň*	charakt. hydrolog.podmínek
1	dobré
2	střední
3	podmíněné (omezené)

Tabulka 11 Stupeň charakteristiky hydrologických podmínek

KPT**	vývojové fáze porostů***		
	VN	VS	VM
PJ	2	1	1
PL	3	2	2
DJ	2	1	1
DL	3	2	2
FF	3	1	2

Tabulka 12 Struktura kumulovaných porostních typů (KPT)

KPT	%smíšení	jehličnaté (J)	listnaté (L)
P	+ 91	PJ	PL
D	61 - 90,9	DJ	DL
F	40,1 - 60,9	FF	FF

Tabulka 13 Vývojové fáze lesních porostů

fáze	věk
VN	< 10, holina
VS	11 - 65
VM	>66

5.5 Tvorba vrstvy odtokových CN křivek

Vrstva spektra odtokových křivek vzniká průnikem:

- vrstvy hydrologických skupin půd - HSP
- vrstvy hydrologických podmínek lesních porostů - HLP

Podkladem pro vyhodnocení průměrných hodnot CN křivek jsou materiály JANEČEK (1984). Pokud jde o vyhodnocení bezlesí, které je součástí PUPFlu (zákon o lesích č. 289/1995 Sb.) a je mu přiřazena jednotka lesnické typologie, tím i hydrologická skupina půd, lze čísla CN křivek přiřadit podle charakteru pokryvu půdy. Výstupem je mapa hodnot odtokových CN křivek.

Tabulka 14 Průměrné hodnoty odtokových CN křivek

hydrologické podmínky	hydrologické skupiny půd						
	A	AB	B	BC	C	CD	D
1	30	30	55	55	70	70	77
2	36	36	60	60	73	73	79
3	45	55	66	70	77	77	83

5.6 Stanovení odolnosti lesní půdy vůči těžebně-dopravní erozi

Stanovení kritérií, které mají podchytit odolnost, resp. náchylnost svrchních půdních horizontů k poškození včetně promítnutí sklonu i tvaru svahu, resp. jeho vyústění ve stanovení kritického sklonu svahu, je značně obtížné. Naráží zejména na nedostatek exaktně zjištěných údajů. Složitost rozhodovacího procesu vyplývá především z velkého počtu kritérií, když některá jsou kvalitativního typu a dají se vyjádřit jen slovně.

Obecně jde o tendenci půdy resp. agregátů na půdním povrchu se rozpadat a formovat povrchovou kůru pod vlivem deště. Základní faktory (půdní vlastnosti), které tuto vlastnost ovlivňují, jsou půdní textura (zejména podíl prachu a jílu), pH a obsah organické hmoty. Pod vlivem deště dochází k rozpadu struktury půdního povrchu. V momentě proschnutí svrchní půdní vrstvy pak k rozptýlení a nové formaci koloidů. Podobně lze charakterizovat rozpadavost půdy (AOYAMA, ANGERS, N'DAYEGAMIYE, 1999).

Potenciální zranitelnost lesní půdy erozí lze diferencovat dle lesních typů (Oblastní typologické elaboráty, 2008) neboť jsou součástí těchto ekosystémových jednotek. Dílčí faktor erodovatelnost půdy definuje dispozici svrchních půdních horizontů typologických jednotek k erozi včetně půdotvorných substrátů. Erodovatelnost půdy souvisí s charakterem půdotvorného substrátu a s genetickým vývojem půdního tělesa vyúsťující do základní půdně taxonomické jednotky.

Ekosystémová jednotka na úrovni lesního typu je schopna velmi dobře vymezit erodovatelnost lesní půdy. Jako kritérium nejlépe vyhovuje stupeň erodovatelnosti půd představující náchylnost půdy k TDE, definované jako míra odolnosti půdy proti působení erozních činitelů.

Podkladem pro přiřazení stupně erodovatelnosti lesních půd (ELP) je seznam lesních typů pro ISLH (informační systém lesního hospodářství). Ten koresponduje s mapou lesních typů. Forma nadložního humusu odpovídá potenciální přírodní vegetaci dle lesního typu.

Posuzování rezistence proti erozním procesům půdního prostředí je orientováno zejména k povrchovým horizontům a do genetické hloubky vnitropůdního tělesa. Odolnost půdy dle základních půdních jednotek je úzce zaměřena na dílčí charakteristiky, které jsou od jiných kritérií značně diferencované. Významně se liší např. pro definici půdní úrodnosti.

Tvorba vrstvy erodovatelnosti lesních půd představuje následující kroky:

- Pořízení vektoru mapy lesnické typologie z datového skladu prostřednictvím programu GIS TOPOL.
- Sestavení atributové tabulky přiřazení k jednotkám lesních typů hodnoty stupně erodovatelnosti.
- Implementace stupně erodovatelnosti do GIS TOPOL výstupem formátu *.shp

Finálním výstupem je geografická vrstva ELP ve formátu .shp. Východiskem pro vrstvu erodovatelnosti lesních půd je sestavení atributové tabulky:

Tabulka 15 Erodovatelnost lesních půd (ULRICH, VAVŘÍČEK, 2013)

stupeň erodovatelnosti	erodovatelnost	půdotvorné substráty	půdně taxonomické jednotky*
1	extrémně erodovatelné	sprašové hlíny, spraše, váté písky	luvisoly, regosoly, arenozemě, antropické půdy
2	lehce erodovatelné	hlinité substráty flyšových hornin s rytmickou příměsí jílu, jílovité břidlice	rankery, rendziny, pararendziny
3	středně lehce erodovatelné	substráty rytmického flyše s převahou pískovců, paleogenní slepence, slíny, slínovce, karbonátové horniny	luvisoly oglejené, kambisoly rankerové, podzosoly, vertisoly
4	středně těžce erodovatelné	pískovce, arkózy, brekcie, břidličnaté ruly, fylity, vápence a navětralé žuly	stagnosoly, oglejené subtypy kambisolů a podzosolů
5	těžce erodovatelné	droby, horniny krystalinika šterky, (diority, žuly, syenity, amfibolity), písky, neovulkanity, křemité pískovce, křemence atd.	gleje, kambisoly, černosoly, fluvisoly, organosoly

* Taxonomický klasifikační systém půd (NĚMEČEK a kol., 2001,2011)

Organozemě, rašelinné a zrašelinělé gleje nejsou hodnoceny a mají označení erodovatelnosti 0.

Tabulka 16 Přiřazení stupně erodovatelnosti půd (ELP) k jednotkám lesních typů dle ISLH (2012)

ISLH		ELP*	ISLH		ELP*	ISLH		ELP*
kód	LT		kód	LT		kód	LT	
1	0C1	2	55	0Q5	4	109	1D4	3
2	0C2	3	56	0R1	-	110	1D5	3
3	0C3	2	57	0R2	-	111	1D6	3
4	0C4	2	58	0R3	-	112	1D7	3
5	0C5	2	59	0R4	-	113	1D8	3
6	0C6	2	60	0R5	-	114	1D9	3
7	0G0	4	61	0R6	-	115	1G0	5
8	0G1	5	62	0R7	-	116	1G1	5
:	:	:	:	:	:	:	:	:
1009	7Y9	2	1064	8V9	5	1119	9Z9r	5

Tabulka 17 Komparace erodovatelnosti a propustnosti půd vůči eroznímu faktoru – K (dle univerzální rovnice podle Wischmeiera a Smithe, JANEČEK a kol., 2012)

st. erodovatelnosti	Hydrologická* skupina půd		půdní druh	interval faktoru K
1	A		písčité	0,10 - 0,20
2		AB	hlinitopísčité	0,21 - 0,30
3	B		písčitohlinité	0,31 - 0,40
	C	BC		
4	D		hlinité	0,41 - 0,50
5		CD	jílovitohlinité**	0,51 - 0,70

Pozn.: * upraveno MACKŮ, 2012

** Organozemě, rašelinné a zrašelinělé gleje nejsou hodnoceny.

Vazba na faktor erodovatelnosti K dle univerzální rovnice podle Wischmeiera a Smithe je u lesních půd velmi problematická. Vyplývá to jednak ze zcela rozdílného charakteru lesní půdy (nadložní humus, sekvence horizontů atd.) a charakteru lesního ekosystému. Komparace mezi stupněm erodovatelnosti půdy a faktorem erodovatelnosti K existuje jen rámcově pro odvození orientačních hodnot potenciálního odnosu půdy. Na úrovni potenciální eroze půdy lze konstatovat, že odnos půdy v lesním ekosystému nepřekračuje $0,5 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$.

Pokud ovšem dojde k porušení krytu nadložního humusu vlivem těžebně-dopravního procesu na vyklizovacích, přibližovacích a vyvázečích linkách či technicky nedostatečně vybavených svážnicích, dochází při srážkách k soustředěnému odtoku a masivní rýhové erozi tedy těžebně-dopravní erozi v závislosti na erodovatelnosti půdy. Erozní ohrožení je odvozeno komparativně v kontextu se stupněm erodovatelnosti půdní jednotky, zrnitosti a propustnosti.

Výstupem je mapa stupně erodovatelnosti lesních půd.

5.7 Návrh optimalizace zpřístupnění lesa

Na základě analýz širších vztahů dle lokalizace daného LHC v zóně kategorií povodí (A, B, C) a příslušnosti k odvoznímu celku s následným porovnáním skutečných a optimálních parametrů LCS, lze přistoupit na základě vyhodnocení ekologických limitů, tj. hydrických vlastností lesních půd, hydrologických podmínek lesních porostů a ohrožení lesních půd TDE k návrhu opatření v rámci TS.

Klíčem k eliminaci lesních porostů TDE je interakce mezi odolností lesních půd a stavem infrastruktury zpřístupnění lesa. Kritériem je hustota odvozních cest (m/ha) v rámci typu transportního

segmentu (TS). Optimální hustota odvozních cest v TS se pohybuje v rozmezí 15–27,5 m/ha. Tento parametr podmiňuje nasazení modelových TDT limitujících poškození lesního ekosystému.

Postup vyhodnocení interakce stupně erodovatelnosti půd a hustoty LCS představuje následující kroky:

1. krok

Tabulka 18 Stupeň optimální hustoty odvozní sítě

% optimální hustoty			
do 50	51-90	91-110	nad 111
1	2	3	3+
nedostatečná	podmíněná	optimální	předimenzovaná

Překrytím vektorových vrstev odolnosti proti TDE a stupněm optimální hustoty dopravní sítě vznikne mapa současného ohrožení lesních porostů TDE.

2. krok

Tabulka 19 Vyhodnocení hustoty odvozních cest v transportních segmentech TS dle ELP:

typ TS	ozn. TS	erodovatelnost					délka odvozních cest						model	stav	vyhodnocení stavu
		2	3	4	5	celkem	stav	návrh	celkem	stav	návrh	celkem			
		ha					m			m.ha ⁻¹				%	stupeň

Výstupem je mapa ohrožení TDE.

6. NÁVRH METODIKY

6.1 Základní zdroje dat

- Oblastní plány rozvoje lesů a to zejména:
 - Lesní odvozní cesty
 - Les OPRL
 - Transportní segmenty
 - Lesnická typologie
 - Erodovatelnost lesních půd
 - Hydrické vlastnosti lesních půd
 - Těžebně-dopravní klasifikace podle Macků – Popelka – Simanov
 - Digitální model terénu
 - Povodí IV řádu
 - Lesní hospodářské celky
 - Správní a administrativní hranice
- Data ČÚZK
- Data VÚV TGM
- Zprávy o implementaci ESIF v ČR
- Výroční zprávy PRV
- Data SZIF

6.2 Použité metody a postupy

Pro naši práci byly vybrány parametry: erodovatelnost lesních půd, hydrické vlastnosti lesních půd, terénní a technologická typizace podle těžebně-dopravní klasifikace Macků – Popelka – Simanov.

Důvodem pro jejich výběr byla dostupnost zdrojových dat pro analýzy GIS anebo možnost jednoduchého matematického vyjádření dané veličiny. U všech vybraných parametrů byla důležitá jejich vysoká vypovídací hodnota.

Data budou zpracována s využitím geografických informačních systémů (GIS). V prostředí GIS budou realizovány také všechny analýzy. Všechna vstupní a výstupní data jsou v systému S – JTSK¹. Základní metodou budou prostorové dotazy a překryvy jednotlivých vrstev s příslušným obsahem.

Na základě provedených analýz pak budou zpracovány výstupy pro vyhodnocení efektivity investic do LCS a rizika ohrožení lesních majetků erozí.

6.3 Analýzy dat

V rámci projektu bude pracováno s již shromážděnými primárními daty uloženými v datových archivech. Nad těmito daty budou provedeny **sekundární analýzy dat**. Konkrétně se bude jednat o **následující analýzy**:

6.3.1 Analýza rizika vzniku eroze v lesních majetcích

Tato analýza bude obsahovat následující dílčí analýzy na úrovni jednotlivých LHC:

- Sklonitost území podle jednotlivých LHC
- Posouzení erodovatelnosti lesních půd podle jednotlivých LHC
- Posouzení hydrických vlastností lesních půd podle jednotlivých LHC
- Kvantifikaci potenciálního objemu splavenin podle povodí IV. řádu a LHC

Tyto analýzy budou ještě doplněny o:

- Přiřazení řešeného LHC k zóně kategorie povodí dle ohrožení A, B, C. Průnikem vrstev povodí kategorie A a B pro které jsou zpracovány vrstvy KPT, TS, ELP a LVS. Máme tak k dispozici informace o těchto ekologických limitech na daném LHC (MACKŮ, SIROTA, 2015).
- Přiřazením řešeného LHC k vrstvě OC a spektra TS (elaborát OPRL 1998–2002) dostaneme informaci o zařazení LHC k danému OC a spektru TS. S inventarizací LCS a porovnáním modelů hustoty LCS máme k dispozici analyzovanou situaci.
- Zpracování vrstvy hydrologických vlastností půd, hydrologických podmínek porostů a vrstvy odtokových křivek. Výstupem jsou příslušné mapy.
- Zpracování vrstvy ELP s průnikem TS dle OC. Výsledkem je lokalizace kritických míst dle stupně ohrožení TDE a nedostatečné hustoty LCS. Finálním výsledkem je mapa stupně ohrožení lesní půdy TDE.
- Na základě uvedených analýz, lze navrhnout zejména v ohrožených lokalitách doplnění LCS na požadované modelové parametry.

Pozn.: podle rozlohy LHC se navrhuje pracovat na úrovni velmi malého povodí (do 500 ha), případně s více velmi malými povodími (JAŘABÁČ, CHLEBEK, 1987). Důvodem je unikátnost odtokových poměrů v lesních povodích a jejich reakce na uvedené ekologické limity, zejména na hydrologické podmínky lesních porostů.

Vlastní kritéria na výběr LHC pro přiznání dotačního titulu se budou odvíjet jednak od stavu inventarizované LCS k modelu a kvantifikace ohrožených lokalit TDE. Širší kritérium zahrnující přiřazení LHC k ohroženým zónám kategorie A, B a C se jeví jako podmiňující v souladu s odtokovými poměry na úrovni velmi malého povodí.

6.4 Výstupy

Využitím výše uvedených dat vzniknou grafické a numerické podklady zpracované do grafů, tabulek, map a průvodního textu.

¹ S – JTSK = Systém jednotné trigonometrické sítě katastrální

7. SEZNAM PODKLADŮ

- ALLMAN, M. a kol., 2017. Negativne dopady ťažbovo-dopravných technológií na lesnú pôdu a možnosti prevencie v lesoch Slovenska. Technická univerzita Zvolen. 132 s.
- AOYAMA, M., ANGERS, D. A., N'DAYEGAMIYE, A., 1999. Particulate and mineral-associated organic matter in water-stable aggregates as affected by mineral fertilizer and manure applications. *Canadian Journal of Soil Science*, volume 79, number 2
- BENEŠ J., 1986: Optimalizace lesní dopravní sítě, In *Lesnictví*, 1986, vol. 32, no. 12, s. 1089-1114.
- BERGMEISTER, K. a kol., 2009. *Schutzbauwerke gegen Wildbachgefahren*. Berlin: Ernst&Sohn, Verlag für Architektur und technische Wissenschaften GmbH & Co. KG, Berlin. 211 s. ISBN 978-3-433-02945-9.
- BÍBA M., JAŘABÁČ M., VÍCHA Z., 2006. Poznatky z padesátiletého lesnicko-hydrologického výzkumu v Beskydských experimentálních povodích. *Zprávy lesnického výzkumu*, 51 (1): s. 44–56.
- ČSN 75 2106 Hrazení bystrín a strží
- DRBAL K. a kol. 2009. Metodický návod pro identifikaci KB. VVV TGM. Brno.
- CHLEBEK, A., JAŘABÁČ, M., 1997. Význam lesů pro ochranu před povodněmi. *Zprávy lesn. výzk.*, 42, č. 2, s. 1 - 8
- JANEČEK, M., 1984. Odhad objemu přímého odtoku z malého zalesněného povodí “metodou čísel odtokových křivek”. Sborník ze symposia: “Lesotechnické meliorácie v ČSSR”. Brno - Zvolen - Ostrava, s. 156 -166.
- JANEČEK, M. a kol., 2012. Ochrana zemědělské půdy před erozí. Novelizovaná certifikovaná pro praxi. Sborník Konference krajinné inženýrství 2012, ČSKI, s. 65-69
- JAŘABÁČ M., CHLEBEK A., 1987. Vliv pokračujících těžeb porostů v povodí a obnovy na odtok vody (Beskydy). Jíloviště-Strnady, Výzkumný ústav lesního hospodářství a myslivosti: 20 s.
- HANÁK, K. a kol., 2008. Stavby pro plnění funkcí lesa. Praha: Informační centrum ČKAIT, s.r.o. ISBN 978-80-87093-76-4.
- HANÁK, K., 2012: Zpřístupňování lesa, MZLU Brno, 152 s.
- HEGG, C., 2006. Waldwirkung auf Hochwasser. LWF Wissen Ber. Bayer. Landesanst. Wald Forstwirtschaft. 55: 29-33. Dostupné z: http://www.waldwissen.net/wald/schutzfunktion/wasser/wsl_waldwirkung_hochwasser/index_DE
- HUBAČIKOVÁ, V., 2009. *Hydrologie*. Brno: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně. 42 s. ISBN 978-80-7157-638-9.
- KANTOR P., 1983. Intercepční ztráty smrkových a bukových porostů. *Vodohosp. Čas.* 31, s. 643-651
- KANTOR, P., 1989. Transpirace smrkových a bukových porostů. *Vodohosp. Čas.*, 37, s. 222-237
- KANTOR, P., 1994. Vodní bilance porostů různých dřevin a jejich vliv na genezi odtoku. Závěrečná zpráva úkolu N 03-329-869, VÚHLM Zbraslav-Strnady
- KARLEN, D. L. 1997. Soil duality: A concept, definition and framework for evaluation, *Soil Sci Soc. Am. J.* 61: s. 4-10
- KELLOMAKI, S., KARJALAINEN, T., MOHREN, F., LAPVETELAINEN, T. (eds.), 2000. Expert assessments on the likely impacts of climate change on forests and forestry in Europe. *EFI Proceedings* 34
- KRAVKA, M. a kol., 2009. *Úpravy malých vodních toků v krajině a lesnické meliorace*. Brno: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně. 132 s. ISBN 978-80-7375-337-5.
- KRAVKA, M. a kol., 2009. *Základy lesnické a krajinářské hydrologie a hydrauliky*. Brno: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně. 113 s. ISBN 978-80-7375-338-2.
- KREČMER, V., KŘEČEK, J., 1980. Horizontální srážky z mlhy v lesích jako položka vodní bilance v horské krajině. *Meteorologické zprávy* 32, 2, s. 78-81,
- KREČMER, V., KŘEČEK, J., 1981. Lesnatost jako hydrologická charakteristika povodí. *Lesnictví* 27, č. 5, s. 461-470
- KREČMER, V. a kol., 2003. *Lesy a povodně*. Praha MŽP, s. 48
- MACKŮ, J., 1982. Stanovení hodnot polní kapacity a jejich využití v pedologické a inženýrsko-geologické praxi, ÚHÚL Brandýs nad Labem, s. 5

- MACKŮ, J. a kol., 1996. Metodika zpracování oblastních plánů rozvoje lesů, ÚHÚL Brandýs n.L., 90 s.
- MACKŮ, J., 1997. Funkce lesa v hospodářsko-úpravnickém plánování, disertační práce, MZLU Brno, 150 s.
- MACKŮ, J., 1999. Zpřístupnění lesa, in Metodika OPRL, ÚHÚL Brandýs nad Labem
- MACKŮ, J., 2000. in projekt VaV 640/3/99 Systém komplexního hodnocení půd, AOPK ČR, 81 s.
- MACKŮ, J., 2006. Optimalizace Těžebně-dopravních technologií, podklad pro kalkulaci modelových technologií v přibližování dřeva na OM in Modely hospodářských opatření a vlastních nákladů OJ LČR dle SLT, CZU Praha, grantová agentura LČR, 3 s. přílohy
- MACKŮ, J., 2012. Problematika stanovení hydrologických skupin půd v lesích, sborník ČSKI, s. 15-21
- MACKŮ, J., SIROTA, I., 2015. Stanovení hydrického potenciálu lesní půdy včetně vlivu lesních porostů, Stanovení odolnosti lesní půdy vůči těžebně-dopravní erozi in Strategie ochrany před negativními dopady povodní a erozivními jevy přírodě blízkými opatřeními v ČR, VÚV TGM, 2015)
- MAJOR J., 1951. A functional, factorial approach to plant ecology. Ecology, 32: 392-412.
- MANIAK, U., 2010. Hydrologie und Wasserwirtschaft. Berlin, Heidelberg 2010: Springer-Verlag Berlin, Heidelberg. 686 s. ISBN 978-3-642-05395-5.
- MARKART, G., KOHL, B., 2009. Wie viel Wasser speichert der Waldboden? Abflussverhalten und Erosion. BFW-Praxisinformation 19, s. 25 – 26
- METODICKÝ NÁVOD PRO IDENTIFIKACI KB [online PDF] [cit. 2018-07-03] Dostupné z: http://www.povis.cz/mzp/KB_metodicky_navod_identifikace.pdf
- NĚMEČEK, J., a kol., 2001,2011. Taxonomický klasifikační systém půd ČR, ČZU Praha, ISBN 978-80-213-2155-7, 93 s.
- OBLASTNÍ TYPOLOGICKÉ ELABORÁTY, 2008, ÚHÚL Brandýs nad Labem, CD
- OBLASTNÍ PLÁNY ROZVOJE LESŮ - OPRL 1999–2003, ÚHÚL Brandýs nad Labem
- PATT, H., GONSOWSKI, P., 2011. Wasserbau. Berlin, Heidelberg 2011: Springer-Verlag Berlin, Heidelberg. 410 s. ISBN 978-3-642-11962-0.
- PATT, H., GONSOWSKI, P., 2013. Hochwasserhandbuch. Berlin, Heidelberg 2013: Springer-Verlag Berlin, Heidelberg. 696 s. ISBN 978-3-642-28190-7.
- PORTÁL eAGRI - resortní portál Ministerstva zemědělství [online]. © 2009–2018 Ministerstvo zemědělství [cit. 2018-07-03]. Dostupné z: <http://eagri.cz/public/web/mze/>
- PROTOKOL O VODĚ A ZDRAVÍ k úmluvě o ochraně a využívání hraničních vodních toků a mezinárodních jezer z roku 1992 podepsaný v Londýně 17. června 1999 [online PDF]. Ministerstvo životního prostředí 2000 [cit. 2018-07-03]. Dostupné z: [https://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/protokol_voda_zdravi/\\$FILE/OOV-protokol_voda_zdravi-19990617.pdf](https://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/protokol_voda_zdravi/$FILE/OOV-protokol_voda_zdravi-19990617.pdf)
- PŘÍVALOVÉ POVODNĚ. ČHMÚ [online PDF]. [Cit. 2018-07-03]. Dostupné z: http://www.povis.cz/mzp/Privalove_povodne.pdf
- SIMANOV, V., MACKŮ, J., POPELKA, J., 1992. Terénní klasifikace z pohledu ekologizace výrobních procesů v lesním hospodářství. In: Progresívne trendy ťažbovodopravného obhospodarovania lesov, Zborník medzinárodnej vedeckej konferencie, Technická univerzita Zvolen s. 156–161
- ŠACH, F., 1988. Metoda stanovení nebezpečí těžebně dopravní eroze a její aplikace v protierozní ochraně lesních pozemků. In: Práce VÚLHM. 72. Jíloviště-Strnady, VÚLHM s. 75–104
- ŠTĚPÁNKOVÁ, P., TEJKALOVÁ, J., DRBAL, K. Proces implementace směrnice 2007/60/ES o vyhodnocování a zvládání povodňových rizik v podmínkách České republiky In: Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka [online] Publikováno 07/04/2017 [cit. 2018-07-03] Dostupné z: <https://www.vtei.cz/2017/04/proces-implementace-smernice-200760es-o-vyhodnocovani-a-zvladani-povodnovych-rizik-v-podminkach-ceske-republiky/>
- ŠVIHLA, V., 2001. Vliv lesa na odtokové poměry na malém povodí, Lesnická práce 2/2001, 66-68
- ŠVIHLA V., 2003. Nejlepšími přehradami jsou lesy. Lesy a povodně. Celost. seminář, MŽP Praha, s.47–57
- TLAPÁK, V. a kol. 2001. Úpravy vodních toků a hrazení bystřin. Brno: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně. 146 s. ISBN 80-7157-551-8.

- ULRICH, R., VAVŘÍČEK, D., 2013. Certifikovaná metodika ukazatelů a systému technologických postupů v rámci těžební činnosti a udržitelného využívání lesních ekosystémů, MZLU Brno, 42 s.
- UNCKA, J. a kol., 2010 Bleskové povodně - návrh metodiky stanovení ohrožení území a varovného systému. GIS Ostrava. http://gis.vsb.cz/GIS_Ostrava/GIS_Ova_2010/sbornik/Lists/Papers/CZ_5_5.pdf
- VÁLEK, Z., 1977. Lesní dřeviny jako vodohospodářský a protierozní činitel, SNZ Praha, s. 208
- VALTÝNI, J., JAKUBIS, M. 1998. Lesnícke meliorácie a zahrádzanie bystrín. Zvolen. Technická univerzita Zvolen. 270 s. ISBN 80-228-0793-1.
- VAŠKŮ, Z., 2005. Inženýrské změny krajinné struktury jako základní soubor opatření pro vyrovnávání extrémů vodního režimu, Sb. příspěvků ke konferenci tvář naší země, sv. 4, Studio JB 200
- VAVŘÍČEK, D., ULRICH, R., KUČERA, A., 2014. Ochrana půdy v těžebně dopravní činnosti. MZLU Brno. 100 s. ISBN 987-80-7509-148-2
- VODNÍ POLITIKA EU. Ministerstvo životního prostředí [online]. © 2008–2018 Ministerstvo životního prostředí [cit. 2018-07-03]. Dostupné z: https://www.mzp.cz/cz/vodni_politika_eu
- VYHL. MZe ČR č.83/96 Sb.
- VYSKOT, I., a kol., 1999. Kvantifikace a kvantitativní hodnocení celospolečenských funkcí lesů ČR jako podklad pro jejich oceňování, MZLU Brno
www.uhul.cz
- WIE VIEL WASSER SPEICHERT DER WALDBODEN? [online]. [cit. 2018-07-03]. Dostupné z: http://www.waldwissen.net/wald/schutzfunktion/wasser/bfw_wasserspeicher_boden/index_DE
- ZACHAR, D., 1984. Lesnícke meliorácie. Bratislava: Príroda Bratislava. 485 s.

8. ZKRATKY

BP	Běžný přírůst
CN	Číslo odtokové křivky
ELP	Stupeň erodovatelnosti lesních půd
GIS	Geografický informační systém
HLP	Hydrologické podmínky lesních porostů
HSP	Hydrologická skupina půd
HÚL	Hospodářská úprava lesů
ISLH	Informační systém lesního hospodářství
KPT	Kumulovaný porostní typ
LHC	Lesní hospodářský celek
OC	Odvozní celek
OPRL	Oblastní plán rozvoje lesů
OTE	Oblastní typologický elaborát
PLO	Přírodní lesní oblast
PUPFL	Pozemky určené k plnění funkcí lesa
RVK	Retenční vodní kapacita
TDE	Těžebně-dopravní eroze
TDT	Těžebně-dopravní technologie
TS	Transportní segment
TT	Terénní typ
ÚHÚL	Ústav pro hospodářská úprava lesů
UKT	Universální kolový traktor

9. SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1 Úseky vodních toků definující oblasti s významným povodňovým rizikem (ŠTĚPÁNKOVÁ a kol., 2017).....	22
---	----

10. SEZNAM TABULEK

Tabulka 1 Tvarové kategorie splavenin	8
Tabulka 2 Mezní hodnoty tvarových charakteristik	9
Tabulka 3 Hodnoty tvarových koeficientů podle druhu horniny	10
Tabulka 4 Hodnoty tvarových koeficientů podle tvaru splavenin.....	10
Tabulka 5 Parametry rovnice $G = A \cdot b^B$	11
Tabulka 6 Typ vodního režimu lesní půdy.....	24
Tabulka 7 Zastoupení souborů lesních typů (SLT) dle typu vodního režimu lesní půdy.....	25
Tabulka 8 Tvorba vrstvy hydrického potenciálu lesní půdy vychází z podkladu lesnických typologických jednotek (OBLASTNÍ TYPOLOGICKÉ ELABORÁTY, 2008), kterým je přiřazena hydrologická skupina půd.	25
Tabulka 9 Hydrologické skupiny lesních půd (úprava MACKŮ, 2012).....	26
Tabulka 10 Charakteristika hydrologických podmínek	27
Tabulka 11 Stupeň charakteristiky hydrologických podmínek	27
Tabulka 12 Struktura kumulovaných porostních typů (KPT)	27
Tabulka 13 Vývojové fáze lesních porostů	27
Tabulka 14 Průměrné hodnoty odtokových CN křivek.....	27
Tabulka 15 Erodovatelnost lesních půd (ULRICH, VAVŘÍČEK, 2013)	28
Tabulka 16 Přiřazení stupně erodovatelnosti půd (ELP) k jednotkám lesních typů dle ISLH (2012) ..	29

Tabulka 17 Komparace erodovatelnosti a propustnosti půd vůči eroznímu faktoru – K (dle univerzální rovnice podle Wischmeiera a Smithe, JANEČEK a kol., 2012)	29
Tabulka 18 Stupeň optimální hustoty odvozní sítě	30
Tabulka 19 Vyhodnocení hustoty odvozních cest v transportních segmentech TS dle ELP:	30

11. PŘÍLOHA

Rozdělení území ČR do kategorií A, B, C“ (Macků, 2015)

PŘÍLOHA č. 10

Rozdělení území ČR do kategorií

- Kategorie A - dílčí část A-1
- Kategorie A - dílčí část A-2
- Kategorie A - dílčí část A-3
- Kategorie A - dílčí část A-4
- Kategorie A - dílčí část A-5
- Kategorie A - dílčí část A-6
- Kategorie B
- Kategorie C
- významné vodní toky
- krajská města

