



Európsky poľnohospodársky fond pre rozvoj vidieka:
Európa investuje do vidieckych oblastí



**Program
rozvoja vidieka SR**
2014-2020



MINISTERSTVO
PÔDOHOSPODÁRSTVA
A ROZVOJA VIDIEKA
SLOVENSKEJ REPUBLIKY

Táto publikácia je financovaná z Európskeho poľnohospodárskeho fondu pre rozvoj vidieka, projekt: Protipovodňové opatrenia, protierózna ochrana pôdy (012BB340002).

Tomáš Lepeška, Igor Gallay

Protipovodňové a protierózne opatrenia

Učebné texty

Autori:

© Ing. Tomáš Lepeška, PhD., doc. Ing. Igor Gallay, PhD.

Obsah

Predslov.....	5
Časť I.....	6
Voda ako deštrukčný – morfogenetický činiteľ.....	7
Vplyv faktorov prostredia na eróziu a odtok vody.....	16
Konflikty pri využívaní krajiny vo vzťahu k ochrane pôdy a vodných zdrojov.....	26
Rizikové faktory vyplývajúce z lesohospodárskej činnosti.....	29
Časť II.....	36
Vodná bilancia ekosystému.....	37
Výpočet množstva priameho odtoku vody pomocou metódy CN-kriviek.....	55
Zjednodušený výpočet vodnej erózie pôdy povrchovo odtekajúcou vodou.....	64
Užitočné odkazy a literatúra.....	72

Predslov

Vážení účastníci kurzu Protipovodňové a protierózne opatrenia, milí čitatelia!

Predložené učebné texty slúžia ako sprievodný materiál k prezentáciám, ktoré odzneli počas prezenčnej časti kurzu. Celý študijný materiál sme koncipovali ako rozširujúci doplnok k vašim súčasným vedomostiam. Učebné texty sa skladajú z dvoch rovnocenných častí. Prvá časť je venovaná teoretickým poznatkom sústredujúcim sa na erózne (pôdodeštrukčné) procesy, hlavné faktory prostredia a ľudskej činnosti, ktoré ovplyvňujú hydrologický režim a eróziu pôdy a riziká, ktoré sa bežne v krajine vyskytujú a ktoré pri nerešpektovaní prírodných daností môžu spôsobiť závažné environmentálne či ekonomické škody, poprípade až znemožniť konvenčné využívanie krajiny a jej zdrojov. V druhej časti sa čitatelia dozvedia o faktoroch prostredia, ktoré vstupujú do výpočtov – priameho odtoku vody pomocou metódy CN-kriviek a vodnej erózie pôdy, spôsoby výpočtu a modelové príklady výpočtov.

Predložené učebné texty nemajú ambíciu do hĺbky vysvetľovať obsah prednášok. Zamýšľali sme ich ako manuál k rýchlemu uchopeniu problematiky problémov v krajine spojených s pôdnym prostredím, vodou a hospodárením na pôdnom fonde. Odporúčané literárne zdroje a užitočné odkazy na vašu ďalšiu prácu a rozvoj nájdete na konci tohto materiálu.

Časť I.

Teoretické základy problematiky erózie a odtoku vody z krajiny

Voda ako deštrukčný – morfo genetický činiteľ

(vodné a vodno-gravitačné procesy, nivačné, nivačno-gravitačné, kryogravitačné a kryogénne procesy)

V recentných podmienkach Západných Karpát je najmä prúdiaca voda najdôležitejším modelačným-geomorfologickým činiteľom. V nasledujúcich riadkoch budeme popisovať deštrukciu povrchu (pôdy, zvetralín, vegetačného krytu, hornín), v užšom ponímaní pod ňou myslíme najmä **erózne javy** (najmä o eróziu pôdy). Pod pojmom erózia (lat. *erodere* – rozhlodávať) chápeme akékoľvek rozrušovanie povrchu účinkom najrozmanitejších faktorov (činiteľov). Lenže z geomorfologického aspektu je erózia len počiatočnou fázou deštrukčného procesu. Na ňu nevyhnutne nadväzuje transport (odnos) oderodovaného materiálu a jeho postupná sedimentácia.

Pri každom procese erózie, prebieha zároveň aj transport oderodovanej hmoty. Len čo energia prúdiacej vody, ktorou sú rôzne častice pôdy, resp. iného materiálu uchycované, vymieľané alebo obrusované, klesne pod konkrétne rozhranie, eróziívna aktivita ustáva a pri rovnakých hydraulických podmienkach prevažuje transport hmoty (v tomto prípade plavenín) – a pri nasledujúcom poklese dochádza k usadzovaniu. Pri dlhotrvajúcom účinku povrchových vôd sa tvoria tri pásma: pásmo erózie, pásmo dočasných (nestálych) depozitov a pásmo stálych uloženín. Eroziívne pásmo označujeme aj ako **eluviálne**, poniže je pásmo svahového delúvia a nakoniec pásmo podsvahového delúvia alebo len **delúvium**. Delúvium nadväzuje na **alúvium**, poprípade na hydrografickú sieť. Usadeniny ryhovej erózie tvoria tzv. nánosový kužeľ nazývaný aj – **dejekčný kužeľ**. Masívne nánosy zvetralín uložené na úpätí strání sa označujeme ako **prolúvium**.

Na modelácii povrchu území sa zúčastňuje viacero geomorfologických procesov. Pôsobia jednotlivo, no v oveľa väčšej miere združené - so synergickými rozrušujúcimi účinkami na pôdno-zvetralinový plášť, vegetáciu a georeliéf. Sú to svahové procesy, ako aj procesy, ktoré modelujú dná údolí, chrbty, hrebeňov a vrcholov. Tento súbor geomorfologických procesov tvoria mnohé parciálne systémy, ktoré prehľadne zobrazuje tabuľka 1.1. V nasledujúcom texte budeme klásť dôraz na tie procesy a formy, na ktorých sa podieľa voda a jej skupenské formy (ľad, ľadovec, sneh) a sú najčastejšie zastúpené v lesných ekosystémoch, resp. poľnohospodárskej krajine.

Tab. 1.1 Systémové triedenie geomorfologických javov a ich foriem (s akcentom na ich výskyt vo vysokohorských oblastiach – podľa Midriaka 1983)

Kategória deštrukčných javov	Jav	Morfogenetický proces, resp. forma prejavu	Hlavný činiteľ deštrukcie
1. erózne javy	1.1 ľadovcová erózia 1.2 vodná erózia 1.3 snehová erózia 1.4 veterná erózia	Ľadovcová abrázia, plucking, detrakcia exarácia (akumulačné formy: morény, valy) a) zrážková (najmä dažďová) erózia (plošná, ryhová, vnútroplôdna, súfózia) – akumulácia formy: delúviá, kolúviá, prolúviá a iné formy nánosov b) riečna (bystrinná) erózia (akumulačné formy: dejekčné kužele, štrkové lavice, terasy a i.) c) jazerná erózia (akumulačná forma: jazerné sedimenty) Nivačná abrázia, subnivačná erózia (akumulačné formy sutinové valy a i.) Deflácia, eolická korázia (akumulačné formy: deflačné nánosy)	Ľadovcový ľad Zrážková (dažďová a snehová) voda Riečna (bystrinná) voda Jazerná voda Sneh Vietor
2. gravitačné a gravitačno-erózne javy (svahové pohyby)	2.1. zlomiská 2.2 opad zo skalných stien 2.3 zosuny 2.4 úšusty 2.5 zliezanie 2.6 lavíny 2.7 sutinové prúdy 2.8 (akva)soliflukcia	Skalná strž, blokovisko (ako akumulácia forma) Skalný ošyp (úšyp), halda (ako akumulácia forma) Plošný, prúdový zosun (aj ako akumulácia forma) Pôdno-zvetralinová strž (aj ako akumulácia forma) Zliezanie uvoľnených sutín, zliezanie mačino-pôdnej pokrývky, mrazové zliezanie; putujúce balvany (aj ako akumulácia formy) Lavíny celej snehovej pokrývky (akumulácia forma, nivačné – lavínové valy) Vodnato-zemitý prúd (mura, prúd sutinových sedimentov, murová – sutinová lavína (aj ako akumulácia formy) Stekanie, pôdotok	Gravitácia Gravitácia Gravitácia, voda Gravitácia, voda Gravitácia, voda, mráz Gravitácia, sneh Gravitácia, voda Gravitácia, voda
3. kryogénne javy	3.1 regelačné procesy 3.2 gelivácia 3.3 (kryo)soliflukcia	a) pipraková exfoliácia, pipraková soliflukcia (akumulácia forma: uvoľnená zemina <i>in situ</i>) b) mrazové zdvíhanie pôdy (akumulácia forma: načechraná zemina) c) mrazom triedené – štruktúrne pôdy (polygonálne, brázené, dláždené) d) mrazové vegetačné pôdne formy (girlandové a lysinové pôdy, tufury) e) gravitačno-regelačné javy Trieštivá erózia (kongelifrakcia); (akumulácia formy: skalné bloky, úlomky, odrobiny) Geliflukcia (viazaná, voľná, diferenciačná, amorfná; klinotropná, endocyklická; pipraková – ako aj akumulácia formy)	Pipkrake – ihlicovitý pôdny ľad Pôdny ľad Mráz – pôdny ľad Mráz - pôdny ľad, vietor, vegetácia Mráz, gravitácia Puklinový ľad Voda z pôdneho ľadu
4. krasové javy	Krasovatenie územia	Merokarst (chemická denudácia – rozpúšťanie, mechanicko-chemická povrchová erózia, vnútroplôdna – podzemná erózia) (akumulácia formy: rôzne druhy nánosov v podzemných priestoroch)	Zrážková voda
5. antropogénne a antropozoogénne javy	5.1 odlesňovanie a osídľovanie 5.2 baníctvo a hutníctvo 5.3 pastierstvo 5.4 turistika, šport, rekreácia	Odstraňovanie vegetačného krytu, obnažovanie povrchu pôdy Detto + priame deštruktívne zásahy do pôdno-zvetralinového krytu Detto + antropozoogénne formy deštrukcie pôdy Priame stavebno-technické zásahy do pôdno-zvetralinového krytu (následné urýchlené erózne procesy, svahové pohyby, kryopedogénne a krasové procesy)	Človek Človek Človek, dom. zvieratá Človek

Vodná erózia reprezentuje v súčasnosti najdôležitejší geomorfologický proces na našom území. Jej efekt na zemský povrch sa začína už dopadom **kvapiek dažďa** (tzv. splash erózia). Dopadnuté dažďové kvapky oddeľujú drobnejšie čiastočky pôdy alebo mäkkej horniny. Popri nárazovej činnosti kvapiek dažďa sa pri vodno-erózných procesoch uplatňuje aj ron, ktorý je koncentrovaným povrchovým odtokom zrážkovej vody (alebo vody z topiaceho sa snehu) po svahoch. Erózný efekt povrchového odtoku je tým väčší, čím väčší je podiel

minerálnych častí v toku viac-menej neprerušenej vrstvy vody. Transport pôdy eróznou činnosťou povrchovo stekajúcej vody na svahoch sa začína až v momente, keď je unášacia sila vodného prúdu väčšia ako sily, ktoré udržujú častice pôdy, resp. zvetralín na povrchu krajiny. Plošný transport je výsledkom viacerých činiteľov, medzi ktoré patria v prirodzených, človekom neovplyvnených podmienkach okrem intenzity dažďa osobitne sklonitosť, tvar a dĺžka svahov, potom sú to aspekty pôsobiace na rýchlosť i miera povrchového odtoku a schopnosť pôdy resp. zvetralinového plášťa, vsiaknuť zrážky. Ide tak o mechanické, fyzikálne a chemické vlastnosti pôdy (zvetralinového plášťa) a kvantitatívne i kvalitatívne charakteristiky vegetácie. **Fluviálna erózia**, respektíve v užšom ponímaní ako bystrinná erózia, pôsobí deštruktívne predovšetkým tak, že laterálne deštruuje okraje svahov vo forme erózných brehových nátrží (**bočná – laterálna erózia**), čím rozširuje koryto, resp. žľab alebo ho vertikálnym vymieľaním prehĺbuje (**hlbková erózia**). Rovnako sa vyskytuje **spätná (retrográdna) erózia**, čo je proces postupného zahlbovania dna vodných tokov postupujúci v smere proti prúdu toku. Dôsledkom spätnej erózie je riečne pirátstvo. **Jazerná erózia – abrázia** je dôsledok vlnenia stojatých vôd prevažne vplyvom príboja. Zapríčiňuje podmieľanie brehov a transportovaný materiál sa dostáva do vodnej plochy, kde znižuje jej retenčný priestor a často predstavuje zvýšený prísun živín do vodného recipienta.

Pod pojmom **snehová erózia (nivácia)** rozumieme rozrušovanie pôdno-zvetralinového plášťa účinkom snehu. Najvýraznejšie erózne formy indukované snehom sú v odtrhových a transportných pásmach lavínových území (predovšetkým v územiach s frekventovaným výskytom základových lavín) a v lavínových žľaboch, snehových kotloch a ľadovcových karochoch. Takisto sa vyskytujú na lokalitách perénnych snehových polí a vo väčších erózných ryhách (žľaboch), v závejoch na záveterných stranách, pod rozličnými terénnymi hranami alebo v terénnych depresiách. Na týchto miestach sa vyskytujú snehové polia rôznej veľkosti, ktoré majú pomerne dlhé trvanie, počas ktorého sa v ich priestore nedokáže vyvinúť súvislý rastlinný pokryv. Po ich kompletnej roztopení ostávajú tieto miesta obnažené s nechráneným povrchom. Pôsobenie snehu sa pri tomto type deštrukcie povrchu prejavuje priamo a nepriamo. Priama rozrušujúca činnosť spočíva v tlaku a súčasnom pohybe snehu, keď sa pôda a/alebo zvetraliny mechanicky narúša, strháva, zodiera a zbrusuje. Pohyb snehovej pokrývky je na rozdiel od lavín skoro nepozorovateľný. Nepriama rozrušujúca činnosť snehu vyvstáva hlavne z erózneho pôsobenia vody, ktorá sa tvorí roztápaním snehu. Táto voda sa pri

spolupôsobení mrazu na pôdu a horninový podklad prejavuje ako rozkladný faktor. Voda z rozpusteného snehu môže chemickou eróziou vápencov tvoriť aj škrapy a krasové jamy.

Zosuny sú reliéfne (geomorfologické) tvary, ktoré sa vytvárajú zosúvaním. Sú to pomerne dynamické, krátkodobé, kĺzavé pohyby na svahu uloženého materiálu (pôda, zvetraliny, resp. horniny). Pretože charakteristiky pokryvných útvarov na svahoch závisia od hornín, ktorých zvetrávaním vznikajú, pre výskyt zosunov sú rozhodujúce geologické pomery predkvartérneho podložia. Významnú úlohu popri geologických pomeroch zohrávajú tiež poveternostné vplyvy (predovšetkým dlhotrvajúci, intenzívny dážď a topenie snehu). Stabilitu svahu a jeho náchylnosť k týmto geodynamickým javom tiež ovplyvňujú: materiál a jeho štruktúrne vlastnosti, sklon svahu, prítomnosť vody, podzemné otrasy, druh súčasného rastlinného krytu, prítomnosť územia s aktívnymi eróznymi procesmi a charakter a intenzita využívania krajiny. Zosuny môžu prebiehať jednoduchým prenosom (transláciou) alebo po rotačných šmykových plochách. Svahová dynamika sa odohráva po zosuvných plochách, ktoré zväčša tvoria plastické a pre vodu nepriepustné horniny (íl, ílovce, ílovité a slienité bridlice alebo sliene).

Úšusty môžeme pokladať za charakteristické vysokohorské svahové pohyby, pričom na ich vzniku sa zúčastňuje nielen zemská príťažlivosť, ale s častí aj voda. Úšusty sú stržami nehlbokej sutinovej pokrývky alebo plášťa na strmých svahoch. Intenzívne dažďové zrážky vyúsťujú do takého zvodnenia plytkého zvetralinového plášťa, že sa uvoľňuje od horninového podložia, odtrhá sa vo forme tenkých zvetralinových plášťov i s pôdnou pokrývkou, pričom sa strháva (často aj s vegetačným pokryvom) až do údolia. Pohyby môžu byť pomalé, ale aj veľmi rýchle. Po strhnutých pruhoch pôdnej pokrývky alebo ostrovčekoch zvetralinového plášťa zostávajú na svahoch lysinové jazvy väčšinou s obnaženým kamenitým podkladom.

Zliezanie je, v porovnaní s úšustmi, veľmi pomalý svahový pohyb povrchového pôdneho a/alebo zvetralinového plášťa, resp. nespevnených sutín na povrchu svahov vplyvom zemskej príťažlivosti. Zliezanie býva tiež výsledkom objemových zmien pôdno-zvetralinového plášťa súvisiacich so striedaním teploty a vlhkosti v hmote tohto plášťa. Pohyby zliezania zvyčajne nemôžeme priamo pozorovať, lebo sa prejavujú len po dlhšom období. Plazivý pohyb je výsledkom šmýkania, kĺzania a zosadávania materiálu, pričom jeho mechanika sa prejavuje viac-menej rovnako v priestore snehovej pokrývky, v pôde, zvetralinách i ľade. Za kĺzavý pohyb považujeme pomalú transláciu celej pôdnej pokrývky alebo zvetralinového plášťa po naklonenom podklade v smere svahu. Zosadávaním väčšinou označujeme procesy zvislého

poklesu častíc, ktoré boli skorej zdvihnuté (transportované) v smere kolmom na sklon svahu. V chladnom prostredí je zliezanie zreteľne ovplyvňované pôdnym ľadom a tak sa môže nazývať aj mrazovým zliezaním. Geomorfologický efekt zliezania spočíva v pomalých pohyboch pôdno-zvetralinového plášťa, ktorý sa môže pri plytkej mačinovej pokrývke na strmých svahoch vplyvom nerovnakého zvlhčovania a pohybu vlnovite zmrašťovať alebo pri spolupôsobení soliflukčných pohybov vytvára rôzne laloky, záhyby aj terasy. V niektorých prípadoch dochádza vplyvom zliezania aj k vzniku trhlín v mačinovom plášti. Pohybom povrchových vrstiev sutín v zvetralinových plášťoch vo forme zliezania, vzniká aj tzv. hákovanie vrstiev. Medzi pohybujúcou vrstvou zvetralín a statickým povrchom skalného podkladu dochádza treniu, vplyvom ktorého sa vrstvy hornín ohýbajú v smere svahu, vyvliekajú sa tak zo svojej polohy a poprípade potrhajú. Takýmto spôsobom obohacujú svahoviny.

Lavíny sú typické veľmi rýchlym pohybom snehových más po svahu, ktorý vyvolali rozličné príčiny, no najvýraznejšie na ne vplýva gravitácia – radíme ich k nivačno-gravitačným pôdodeštrukčným procesom. Ak snehová lavína strháva zo sebou aj zvetraliny, mačinu, či inú vegetáciu, stáva sa reliéfovým činiteľom. Lavíny sú typické pre vysoké pohoria, no nezriedka ich pozorujeme aj v podhorí – najmä v závislosti od mocnosti snehovej pokrývky, sklonu svahu a typu krajinej pokrývky a spôsobu jej využívania. Rozrušujúci účinok pohybujúceho sa snehu vo forme lavín sa prejavuje nielen v mechanickom poškodení lesnej vegetácie, stavebných objektov, infraštruktúry a pod., ale snehová masa značne vplýva aj na povrch, po ktorom sa zosúva. Lavíny zanechávajú príznačné črty tak akumulácie, ako aj deštrukcie - erózie. Značný efekt majú lavíny pri strhávaní-unášaní nestabilizovaného materiálu zo žlabov i strmých svahov, ako aj pri obrusovaní ich povrchu. Strhnutý, obrúsený materiál rôznorodého pôvodu sa sústreďuje na mieste dopadu snehovej masy, kde v prípade opakujúcich sa lavínových udalostí tvorí nivačné alebo lavínové valy.

Sutinové prúdy – s pribúdaním vody v pôde alebo v zvetralinovom plášti, pohybujúcom sa gravitačne v smere svahu, sa pri jednotlivých svahových pohyboch kvartérnych depozitov, resp. nekonsolidovaných zvetralín tvorí plynulý prechod od gravitačných do fluviálno-gravitačných až gravitačno-fluviálnych procesov. **Zemité a sutinové prúdy** sú plastické až riedko kašovité hmoty, ktoré sa po svahových ryhách a muldách nebadateľne pomaly až mierne rýchlo pohybujú nadol. Podľa toho, či v nich prevládajú zrnité frakcie štrku rozličných dimenzií, alebo jemnozern (do priemeru 2 mm), hovoríme o sutinovom alebo zemitom prúde. Pôdne čiastočky sú obalené vodou, čím sa znižuje ich trenie

s podkladom a uľahčuje ich gravitačný pohyb. Vo vulkanických oblastiach sa vyskytujú podobné bahenné prúdy, ktoré vznikajú zvodnením vulkanoklastík a nazývajú sa **lahary** (nominatív j. č. lahar). Ďalší prípad kašovitých más, skladajúcich sa z vody, pôdy – zvetralín a hrubého štrku sa označujú ako murové lavíny alebo **mury** (nom. j. č. mura). Na ich tvorbe a pohybe sa podieľajú intenzívne zrážky v územiach slabo spevnených vegetáciou. Ich pohyb býva väčšinou sústredený v korytách horských bystrín, nad hornou hranicou lesa aj v žľaboch, vyrytých eróznou činnosťou vody, najmä však predchádzajúcim zbíhaním murových lavín. Deštrukčná činnosť múr je ohromná. Odierajú a rozrývajú pôdno-zvetralinový plášť, prehĺbujú koryto alebo žľab, podmývajú päty svahov, vyvolávajú zosuvy materiálu na svahu a v údoliach rotačnými zlomami unášajú pevný materiál vyššie ležiacich hald. Masa murovej lavíny je schopná premiestňovať skalné bloky o hmotnosti až 100 t., pričom čelo jej prúdu môže dosiahnuť značnú rýchlosť (niektoré zdroje udávajú až 100 km.h^{-1}). Zemné a **sutinové lavíny** sa tvoria po výraznom zvodnení hrubšieho zvetralinového materiálu. Kašovitý materiál tečie ako mura, nie však v ryhách, ale po voľnom svahu. Na rozdiel od transportu materiálu splavovaním, kde sa najrýchlejšie pohybuje voda, v zemitých a sutinových lavínach, resp. v murách sa všetky súčasti kašovitej masy pohybujú viac-menej rovnakým tempom.

Soliflukciou (v literatúre sa môžete stretnúť aj s termínmi akvasoliflukcia, geliflukcia) môžeme celkovo označiť pomalý pohyb vodou nasýteného jemnozrnného materiálu zväčša po svahoch s nevelkým sklonom. Tento transport je výsledkom poklesu kohéznej sily materiálu, pričom toto oslabenie zapríčiňuje zmena hydrostatického tlaku. V literatúre sa soliflukciou označuje zväčša každý pôdotok v akejkoľvek zemepisnej šírke alebo nadmorskej výške. Vo vysokých pohoriach a v blízkosti zaľadnených oblastí, predovšetkým v ich aktívnom periniveoglaciálnom prostredí radíme soliflukciu k procesom spôsobeným pôdnym ľadom (kryosoliflukcia, geliflukcia). Vo zvyšných oblastiach sa pod termínom soliflukcia (akvasoliflukcia) chápe transport najvrchnejších častí vodou nasýtených zemitých zvetralín. Tento transport je veľmi pomalý a zvetraliny sa pohybujú len niekoľko metrov za rok.

Ako **regelačné procesy** označujeme také geomorfologické javy, ktoré vznikajú pri striedaní teploty vzduchu nad a pod bod mrazu, teda pri roztápaní zamrznutej pôdy alebo horniny a jej opakovanom zamrznutí. Počet dní, v ktorom prechádza teplota cez 0°C na príslušnom mieste (tzv. regelačné dni), je význačnou charakteristikou pre zhodnotenie intenzity kryogénnych javov. Z literatúry sú známe príklady, kedy počet regelačných dní dosahuje v priemere 119 dní v roku (Hala Gasienicowa v poľských Tatrách). Regelácia ako

východiskový kryogénny (mrazový) proces sa presadzuje pri tvorbe všetkých povrchových a podpovrchových mrazových tvarov ako sú kamenné moria, mrazom triedené pôdy, vegetačné mrazové pôdne formy – tufury, girlandové pôdy, ľadové klíny, mrazom zvrátené pôdy, pri soliflukcii a podobne. Tieto formy v prostredí vysokých pohorí Západných Karpát vznikali rovnomernejšie v pleistocéne, keď boli drsnejšia klimatické podmienky a tak vplyv mrazu na podložie a tým aj regelačná sféra, boli intenzívnejšie v porovnaní s nedávnym holocénovým obdobím, resp., súčasnou dobou.

Ihlicovitý pôdny ľad (tzv. *pipkrake*) je typ segregáčného ľadu, ktorý vytvárajú prizmatické (hranolovité) kryštály zamrznutím vodou nasýtenej pôdy alebo zeminy. Ľadové kryštáliky sa vo forme ihličiek, stebiel, vlákien alebo stĺpcov orientujú kolmo na povrch svahu a spravidla sa nachádzajú pod tenkou vrstvou nimi vyzdvihnutej pôdy (zeminy). Takýto druh pôdneho ľadu sa zväčša označuje medzinárodným termínom **pipkrake**. V literatúre sa pomerne často používa aj označenie vláknitý a ihličkový ľad. Ihličky pôdneho ľadu majú dĺžku zvyčajne 1,5 – 8 cm, zriedkavo aj viac než 10 cm. Účinkom ihlicovitého pôdneho ľadu sa vrstva pôdy vo väčšine prípadov na povrchu prekypruje tým, že sa na koncoch ľadových ihličiek vyzdvihuje a vytláča z povrchu skelet, ale hlavne tým, že sa nad ihlicami oddeľujú jednotlivé častice jemnej zeminy a pôdnych agregátov od ostatnej pripovrchovej pôdnej masy a transportujú sa nad povrch pôdy. Jedná sa o narušenie pôvodnej štruktúry a kompaktnosti pôdy, hoci mrazové účinky môžu mať v istom zmysle aj kladný efekt na agregáciu pôd. Pôdodeštrukčný efekt ihlicovitého pôdneho ľadu je o to závažnejší, že ľadovými ihličkami sa pôda oddeľuje a vynáša nielen na ich hornom konci, ale pri rozpade ihlíc sa môže práve tak oddeľovať od povrchu pôdy aj jej tenká vrstva, primrznutá na báze (na spodku) ľadových ihličiek. Takto sa deštrukcia pôdy účinkom ihlicovitého pôdneho ľadu znásobuje. Ihlicovitý pôdny ľad je tiež dôležitým činiteľom deštrukcie rastlinného krytu (predovšetkým nad hornou hranicou lesa). Jeho pôsobením dochádza od zdrojov deštrukcie v pôdnom plášti postupná exfoliácia vegetačného krytu (najmä mačiny). V kombinácii s eolickými procesmi sa vytvárajú mačínové závesy a ich postupná deštrukcia, transportné javy typu mrazového zliezania a kĺzania a za spolupôsobenia soliflukcie sa tvoria početné mrazové pôdne formy.

Mrazové zdvíhanie pôdy – tlak, ktorý vyvoláva zamrzajúca voda v pôde, pôsobí všetkými smermi, pričom iniciujú turbačné javy na povrchu pôdy i pod jej povrchom. Premrznutie pôdy sa najviac prejavuje jej zdvihmi. Vyzdvihovanie skeletu o rôznej veľkosti mrazom (vymrznutie) sa považuje za základný druh mrazovej diferenciácie. Rastúci ľad

nadvihuje nadložnú skalú, pričom po roztopení ľadu sa do uvoľneného priestoru dostane zo strán zemina. Takto sa skalný úlomok nedostane nazad do pôvodnej pozície, ale viacnásobným zamrzaním a rozmrzaním pôdneho profilu sa dostane až na povrch.

Štruktúrne – mrazom triedené pôdy sú samostatné formy alebo obrazce povrchu mikroreliefných rozsahov, ktoré sa tvoria mrazovou diferenciáciou zrna zemín, resp. sutín. Genéza týchto foriem sa nevyhnutne neviaže ani s výskytom permafrostu (dlhodobá zamrznutej pôdy), ani s vlhkosťou klímy, ale len s cyklickým výskytom silného morfogeneticky účinného pôdneho mrazu. Polygonálne pôdy sú jednou z najosobitejších foriem štruktúrnych pôd, ktorá sa tvorí zvyčajne na rovnom alebo len veľmi mierne naklonenom povrchu a je charakteristická zjavnou mozaikou triedeného štrkovitého až balvanovitého materiálu v tvare mnohouholníkov alebo kruhov.

Mrazové vegetačné formy sú samostatnou formou mrazových prejavov v pôdnom plášti s čiastočnou alebo nenarušenou mačtinovou pokrývkou. Pri tvorbe a vývoji mrazových vegetačných foriem vystupuje do popredia z mrazových procesov najmä viazaná soľflukcia (všeobecne pôdny ľad). Dôležitými faktormi tvorby týchto foriem – predovšetkým tých, pre ktoré nie je príznačnou črtou celoplošné krytie vegetáciou (lysinné a girlandové pôdy) – sú však ihlicovitý pôdny ľad, pôsobenie vetra, vody, sčasti aj snehu, ako aj antropozoogénne účinky (zoogénna erózia, prte pri pasení a pod.), resp. iné deštruktívne javy.

Gelivácia (trieštivá erózia alebo aj kongelifrakcia) – ľad, ktorý sa tvorí zamrznutím vody v hornine, zväčšuje svoj objem proti tekutej fáze vody viac ako o 9 %. Pomocou takto vznikajúcich síl, to je tlakov z rozťažnosti, sa stáva veľmi význačným deštruktívnym činiteľom. Puklinový ľad, ktorý sa tvorí zamrznutím vody z dažďa alebo z roztopenej snehovej pokrývky v trhlinách, puklinách a póroch kompaktných hornín, tvorí ľadové žily a klíny, ktoré trhavým spôsobom dezintegrujú horniny na bloky a klastické ostrohranné sedimenty. Toto kryogénne trieštenie hornín sa nazýva *kongelifrakcia*.

Krasové javy – kras je z hľadiska geomorfológie zaujímavým a významným fenoménom so systémom charakteristických povrchových i podzemných tvarov reliéfu, so špecifickým hydrologickým režimom a inými charakteristikami. Rozrušovanie skrasovateného povrchu terénu môžeme pokladať za ďalšiu fázu denudácie (obnažovania) podkladu, nastupujúcu po v podstate úplnej deštrukcii a odnose pôdneho krytu na karbonátových horninách (najmä vápencoch). Ide tu viac-menej o začiatok krasových procesov vo záverečnom štádiu pustnutia rendzín, resp. humusovo-karbonátových pôd v dôsledku erózných alebo iných deštruktívnych

procesov. Na tvorbe krasových foriem sa skoro výhradne zúčastňujú procesy chemického zvetrávania sa spolupôsobenia biogénnych zložiek. Zásadným činiteľom je rozpúšťacie (chemické) pôsobenie dažďovej a snehovej vody. K tvarovaniu povrchových krasových foriem však prispievajú aj iné morfogenetické procesy.

Vplyv faktorov prostredia na eróziu a odtok vody

(so zreteľom na pôsobenie vody ako najvýznamnejšieho deštruktívneho činiteľa)

Úvodom tejto kapitoly by sme radi poukázali na fakt, že v prípade eliminácie indukovaných modelačných, resp. deštruktívnych procesov tečúcou vodou, je potrebné zamedziť vzniku povrchového odtoku. Výnimku však tvoria oblasti, kde by jej zadržanie v pôde, či zvetralinách mohlo spôsobiť naštartovanie alebo urýchlenie niektorých geodynamických procesov – napríklad zosuvov.

Z pomedzi faktorov prostredia, ktoré významným spôsobom ovplyvňujú časovú a priestorovú distribúciu vody a jej eróziu (deštruktívnu) činnosť si postupne predstavíme: a) klimatické faktory (s dôrazom najmä na zrážkovú činnosť), geologické faktory (najmä schopnosť horninového prostredia viesť vodu), pôdne charakteristiky, geomorfologické charakteristiky a charakteristiky vegetačného krytu. Z dôvodu obmedzeného rozsahu tejto publikácie sme boli nútení výrazne okresať odborný text a zdroje na ďalšie štúdium uviesť v zozname odporúčanej literatúry.

Klimatické charakteristiky

Najrozhodujúcejším činiteľom, ktorý determinuje množstvo a kvalitu vodných zdrojov sú klimatické faktory. Z týchto budeme ďalšiu pozornosť venovať najmä zrážkam – v našich podmienkach zásadného zdroja vody.

Pôvodcom vodnej pary v ovzduší je aktívny povrch. Z neho je vodná para unášaná do výšok, kde v dôsledku rozpínania a následného poklesu teploty vystupujúceho vzduchu so zvyšujúcou sa nadmorskou výškou, dochádza k ochladeniu tejto vzdušnej masy až na rosný bod, pri ktorom vodná para kondenzuje. Z tohto dôvodu podiel vodných pár klesá so stúpajúcou nadmorskou výškou. Postupným stúpaním sa vodná para zráža na kondenzačných jadrách do malých kvapiek. Nad povrchom týchto kvapôčok klesá nasýtenie vodnej pary a v nasýtenej atmosfére dochádza k ich zlučovaniu. Rýchlosť ich pádu je pomerne nízka, k ich udržaniu vo vzduchu stačia aj pomalé výstupné prúdy – v takých prípadoch sa zhlučujú, hromadia a vytvárajú oblak. Okrem kondenzácie prechádzať do pevného stavu a tvoriť ľadové kryštály. Podľa príčin výstupného pohybu vzduchovej hmoty vedúcej k jej ochladeniu odlišujeme tri druhy vertikálnych zrážok – orografické, konvektívne a cyklonálne zrážky.

Orografické zrážky – vznikajú, keď sa vzdušná masa, ktorá obsahuje vlhkosť tlačí na horskú prekážku. Dochádza k vynútenému stúpaniu vzduchovej hmoty, ktorá sa na podľa suchoadiabatického gradientu ochladzuje (cca 1°C na 100 m nadmorskej výšky). Po dosiahnutí úrovne kondenzácie sa vytvárajú oblaky a pri pokračujúcom stúpaní vzduchu sa tento ochladzuje podľa vlhkoadiabatického gradientu (približne 0,5°C na 100 m výšky) – následne dochádza k vypadávaniu zrážok. Vyššie úhrny atmosférických zrážok na náveterných svahoch pohorí sú teda výsledkom orografického zintenzívnenia zrážok. V záveterných polohách zase vzniká zrážkový tieň. Prúdenie takéhoto vetra môže byť v trvaní hodín až dní a počas zimných mesiacov môže viesť k prudkému topeniu snehovej pokrývky, nakoľko rozdiely teplôt medzi náveternou a záveternou stranou pohorí bývajú značné.

Konvektívne zrážky sa tvoria pri nerovnomernom prehrievaní povrchu krajiny. Dochádza ku konvekcii, teda k tvorbe výstupných prúdov zahriateho vzduchu, ktorý má v dôsledku vyššej teploty (v porovnaní s okolitým vzduchom) menšiu hustotu a prudko stúpa. Výstupom sa adiabaticky ochladzuje, no zároveň sa ochladzuje aj vzduch v okolí a z toho dôvodu pri zemskom povrchu ohriaty balík vzduchu naďalej stúpa – pri dosiahnutí hladiny kondenzácie vznikajú oblaky. Z dôvodu, že pri vlhkoadiabatickom gradiente teplota v oblaku klesá pomalšie ako teplota okolitej atmosféry, výstupný vlhký vzduch tvorí charakteristické kupolovité oblaky (*cumulus*). Pri intenzívnych výstupných prúdoch sa vyvíjajú do podoby búrkových oblakov (*cumulonimbus*), ktoré môžu priniesť intenzívne zrážky.

Cyklonálne zrážky sa vytvárajú v oblastiach cyklón. Pri tomto druhu zrážkových udalostí vzduch stúpa hore kvôli horizontálnemu pohybu vzdušných mäs (rozmerných vzduchových telies, v priestore ktorých je pomerne jednotná vlhkosť aj teplota). Cyklonálne zrážky môžu mať dlhodobý charakter a môžu postihnúť pomerne veľké územia.+

Geologické charakteristiky

Časťou hydrologického cyklu je aj voda v priestore horninových komplexov. Horninové prostredie, v ktorom dochádza k ucelenému obehu podzemnej vody nazývame hydrogeologickou štruktúrou. Podzemná voda sa v horninovom prostredí nachádza v dutinách, najdôležitejšie z nich sú póry, pukliny rôzneho pôvodu a krasové dutiny. Pomer dutín v horninovom prostredí nazývame *pórovitosťou*. Schopnosť horniny viesť vodu označujeme termínom *priepustnosť*. Horninové komplexy, ktoré sú schopné viesť, akumulovať vodu a umožňovať jej odber označujeme ako hydrogeologický kolektor. Nepriepustné horniny

označujeme ako hydrogeologický izolátor – ich priepustnosť je v porovnaní s priepustnosťou priľahlého horninového prostredia výrazne nižšia. Rozmer schopnosti horninového prostredia prepúšťať vodu nazývame *prietočnosť* (transmisivita – T). Na základe transmisivity rozdeľujeme horninové telesá na územia, ktoré majú i) veľmi vysokú transmisivitu (napríklad ľadovcové sedimenty, hrubé štrky riečnych terás), ii) vysokú transmisivitu (napr. vápence, dolomity), iii) miernu transmisivitu (napríklad ílovité vápence, pieskovce) a iv) nízku transmisivitu (žula, granodiorit, svor, rula).

Pôdne faktory

Voda v pôde a zvetralinovom plášti, jej priestorové a časové rozloženie, sa odvíja od schopnosti pôdneho prostredia prijať dopadnuté zrážky, udržať ich vo svojom priestore a od pohybov podpovrchovej vody. Pre naše súčasné podmienky je charakteristický vstup vody do pôdneho prostredia infiltráciou. Pochopenie infiltračnej (vsakovacej) , influkčnej (vtokovej) a retenčnej (zadržiavacej) schopnosti pôdy je preto zásadným predpokladom udržateľného využívania krajiny a jej ekosystémov.

Faktory, ktoré ovplyvňujú **infiltráciu** môžeme veľmi hrubo rozdeliť na hydrologické a pôdne s tým dodatkom, že biologická zložka pôdy sa významne spolupodieľa na celkovej infiltračnej schopnosti pôdneho prostredia. Medzi hydrologické činitele patrí hlavne intenzita a trvanie zrážok. Ak je intenzita dažďa nižšia alebo rovná rýchlosti vsakovania, zrážka vsiakne do pôdy a nedochádza k tvorbe povrchového odtoku. Z pôdných činiteľov sa na infiltrácii podieľa zrnitosť pôdneho prostredia, podiel pórov, ich rozmery a drsnosť, podiel organického materiálu, štruktúra a počiatočná vlhkosť pôdy. Pri infiltrácii sa voda pohybuje najmä v nekapilárnych póroch. Hladina vody, ktorá infiltruje, nevytvára rovinu. Prebieha jazykovito v závislosti od aktuálnych miestnych nerovnakých pôdných podmienok. Na infiltračno-influkčnej charakteristike pôdy sa významne podieľajú všetky otvory a trhliny. Pri infiltrácii v lesných ekosystémoch sa výrazne uplatňuje nadložný humus, ktorý znižuje energiu dopadnutých kvapiek dažďa, zabraňuje tvorbe súvislej vrstvičky vody a tak umožňuje unikanie vzduchu z pôdneho prostredia. Z tohto dôvodu býva v lesoch spravidla vyššia infiltrácia, ako v iných typoch rastlinnej pokrývky.

Vsakovanie zrážky sa preruší v okamihu, keď sú všetky póry vyplnené vodou. Túto situáciu vymedzuje hydrolimita plná vodná kapacita. Voda plynule prestupuje do vnútra pôdno-zvetralinového plášťa. V profile pôdy s postačujúcou hydraulickou vodivosťou (bez

retardačných vrstiev alebo horizontov) pozorujeme vo vrchnom horizonte cca po 24 hodinách od prerušenia vsakovania k stabilizovaniu pôdnej vlhkosti na úrovni poľnej vodnej kapacity. Je to absolútne množstvo zavesenej vody, ktoré pôdne prostredie po prílišnom zavlažení (zrážkou, závlahami) zachytí svojimi kapilárnymi silami v skoro rovnovážnom stave. To predstavuje maximálne množstvo vody, ktoré dokáže pôdne prostredie zadržať dlhšiu dobu. Odvíja sa od množstva organickej hmoty, zrnitosti (skeletnatosti), podielu a kvality pórov, štruktúry a hĺbky pôdneho prostredia.

Geomorfologické faktory

Reliéfne charakteristiky krajiny sa významným spôsobom podieľajú na rozdelení, dostupnosti a koniec-koncov aj o zásobách vody. Už samotné zrážkové úhrny sú výrazne ovplyvnené orografiou a taktiež aj prúdením vetra. Prejavuje sa to ako efekt náveternosti a záveternosti, no aj vzťah dlhodobých úhrnov zrážok a nadmorskej výšky. V našich podmienkach rastie suma atmosférických zrážok o cca 50 mm na 100 m výšky.

Jednou z najvýznamnejších reliéfnych charakteristík, ktoré ovplyvňujú intenzitu infiltrácie vody a jej distribúciu v priestore je **sklon svahu**. Všeobecne môžeme tvrdiť, že so vzrastajúcim sklonom svahu pri inak homogénnych podmienkach klesá množstvo vsiaknutých zrážok – na úkor odtoku vody po povrchu. Príčinou je kratší čas kontaktu vody s povrchom krajiny. Čím je väčší sklon svahu, tým vyššia je rýchlosť vody, jej transportná schopnosť a kinetická energia odtekajúcej vody.

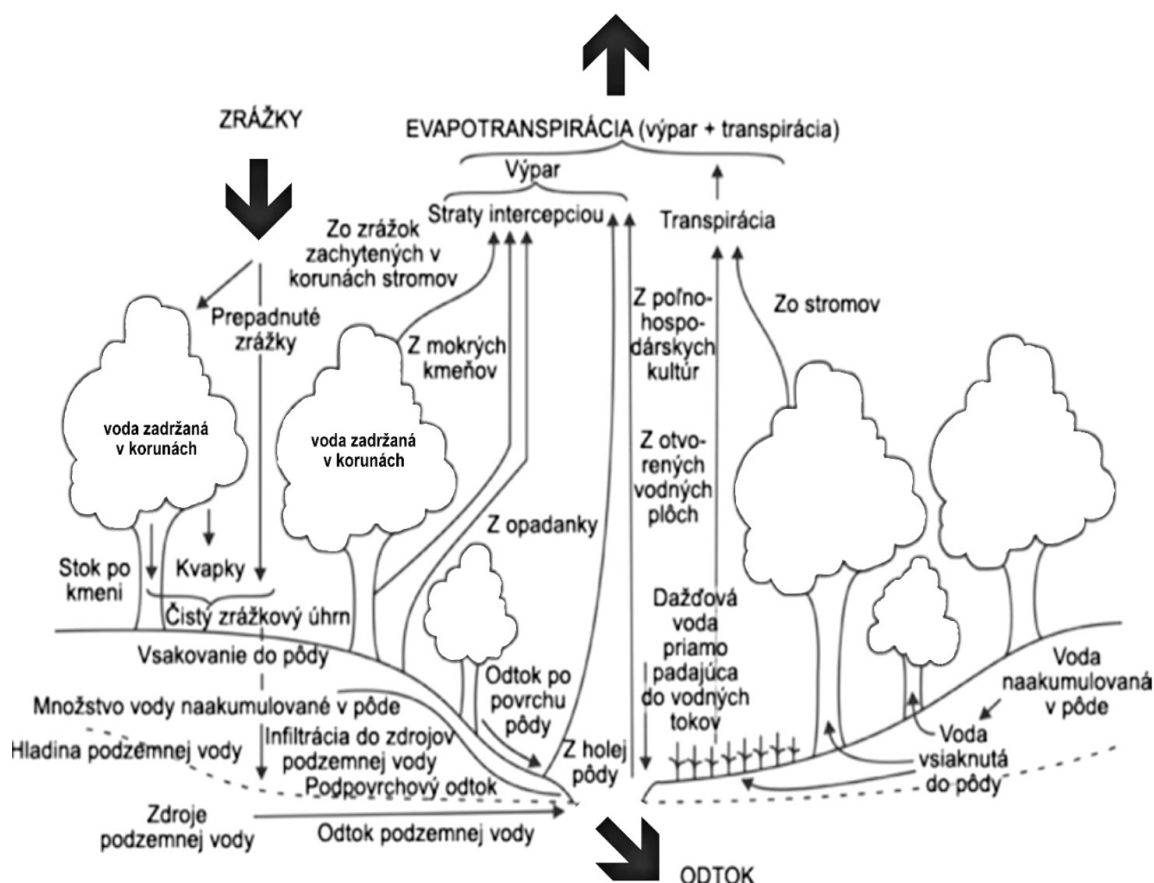
Z rôznych štúdií, ktoré hodnotia intenzitu vsakovania, resp. intenzitu povrchovo odtekajúcej vody a dĺžky svahu môžeme odvodiť záver, že s rastúcou vzdialenosťou zvyčajne rastie aj množstvo povrchového odtoku. Zároveň rastie aj jeho rýchlosť a rozrušujúci účinok. Výnimkou sú niektoré pôdy, ktoré sú v nenasýtenom stave značne priepustné. S rastúcou dĺžkou svahov sa doba kontaktu vody s povrchom predlžuje a rovnako sa predlžuje aj doba, počas ktorej voda môže infiltrovať do prostredia. Z toho dôvodu sa podiel odtoku s dĺžkou svahu znižuje. Tento jav môžeme pozorovať pri predovšetkým pri zrážkach s nízkou intenzitou. Odlišná situácia nastáva pri slabo permabilných pôdach, kde so zväčšujúcou dĺžkou svahu a pri intenzívnych či dlhotrvajúcich dažďoch rastie podiel vody odtekajúcej po povrchu. Spolupôsobenie vsakujúcich zrážok (alebo povrchového odtoku) a pôdno-zvetralinového prostredia, resp. jeho reliéfnych charakteristík sa v niektorých prípadoch môže odraziť v iniciácii geodynamických a/alebo morfogenetických procesoch.

Využitie krajiny a krajinná pokrývka

Možnosti jednotlivých typov krajiny, respektíve krajinnej pokrývky vsiaknuť, zadržať a transportovať vodu, závisia okrem vyššie uvedených atribútov prostredia, aj od formy, spôsobu a intenzity ich využívania človekom. Rôzne činnosti súvisiace s jednotlivými typmi využívania krajiny vplyvajú na súčasné zloženie rastlinného krytu, charakter povrchu krajiny, zhutnenie pôdy a tým aj na infiltráciu a retenciu vody. Vzhľadom, že tieto učebné texty sú určené odborníkom pracujúcim v lesnom hospodárstve, budeme sa sústrediť výsostne na **lesné ekosystémy** a ich špecifiká.

Mechanizmus pohybu atmosférických zrážok v lesných ekosystémoch pomerne presne ilustruje obrázok 1.1. Zrážky najprv dopadajú na povrch stromovej etáže, postupne sa prepadáva na povrch vegetácie nižšie položených vrstiev a neskôr na povrch pôdy. Časť zachytených zrážok v korunách sa dostane na povrch pôdy stekaním po kmeni stromov. Istý podiel dopadnutých zrážok sa v nadzemnej biomase zachytí a vyparí, zvyšok je tvorený vodou zo stoku po kmeni alebo prepadnutou cez voľný priestor v korunovom zápoji. Na povrchu pôdy sa voda v mikro priehlbínach čiastočne zadrží, dochádza k čiastočnej povrchovej akumulácii, neskôr infiltruje do pôdno-zvetralinového pláštia či odtečie po povrchu pôdy. Voda, ktorá vsiakne do lesnej pôdy vytvára zásoby pôdnej vody. Lesné porasty majú preukázateľne pozitívny vplyv na:

- ochranu vodných tokov a stojatých vôd pred dopravou a sedimentáciou materiálu (splavenín/sedimentov),
- zhromažďovanie a zadržiavanie atmosférických zrážok,
- prevažne miestny vplyv na výskyt, rozsah či intenzitu povodní,
- efekt na akosť vodných zdrojov (znižujú podiel tuhých látok vo vodných zdrojoch, ovplyvňujú chemizmus vôd a zlepšujú ich bakteriálnu čistotu),
- regulovanie odtoku z povodí a vodnosť tokov (premena povrchového odtoku na podpovrchový, inhibícia a retardácia povodňových vĺn, spomaľovanie odtoku),
- tvorbu horizontálnych zrážok (rosa a predovšetkým hmla – lesné ekosystémy, ktoré ležia nad cca 800 m n.m. nadlepšujú úhrn zrážok o 250-300 mm za rok „vyčesávaním“ z nízkej oblačnosti, hmly a pod.; najviac horizontálnych zrážok zachytávajú smrekové porasty),
- na výpar vody (desukčná funkcia lesných ekosystémov).



Obrázok 1.1 Náčrt mechanizmu dynamiky vody v lesnom ekosystéme (podľa FAO 2008).

Horizontálne zrážky môžu zásadne ovplyvňovať celkový úhrn zrážok - predovšetkým v lesných ekosystémoch situovaných vo vyšších nadmorských výškach. Na Slovensku ide o horské oblasti nad 800 – 1000 m n. m, ktoré pokladáme za dolnú hranicu nízkej oblačnosti. Nad touto nadmorskou výškou, predovšetkým však v hrebeňových polohách kompenzujú lesné ekosystémy intercepčné straty zachytávaním horizontálnych zrážok. Lesné porasty zachytávajú horizontálne zrážky nielen v tekutom, ale aj v tuhom skupenstve. Ide najmä o námrazu, ktorá môže byť významná pre zvýšenie celkového množstva zrážok vo vyšších hrebeňových, náveterných a vrcholových polohách.

Zrážky (horizontálne aj vertikálne) sa zadržiavajú na povrchu vegetácie molekulárnymi silami. Časť zadržaných zrážok sa vyparí, ďalšia časť postupne odkvapká alebo odtečie do vnútra lesného porastu na povrch pôdy. Zachytávanie atmosférických zrážok na povrchu vegetácie označujeme pojmom **intercepčia**. Intercepciu v lese ovplyvňujú nasledujúce skupiny faktorov: **atmosférické zrážky** (celkový úhrn, dĺžka trvania zrážky, intenzita zrážky, dĺžka

obdobia medzi zrážkami a sezónne prerozdelenie zrážok), **výpar** (schopnosť okolitého prostredia odoberať vodu z povrchu vegetácie) a **lesný ekosystém** (veľkosť a povaha jeho zachytneho povrchu). Pri pomerne nízkych úhrnoch zrážok (približne 2–3 mm) sa prevažná časť kvapiek dažďa zachytí na rastlinnom povrchu. Relatívne intercepčné straty sa znižujú úmerne so zvyšovaním celkového ročného množstva zrážok. Intenzívne zrážky pomerne rýchlo preniknú do priestoru korún stromov, ktoré sa pri nich celé namočia a môžu sa podieľať na ich zachytení. Intercepcia závisí od druhu vegetácie, ale aj jej veku, ktorý determinuje vzrast a do istej miery aj veľkosť koruny. Mladé lesné porasty mávajú vo všeobecnosti malý povrch, teda mávajú relatívne nízke intercepčné straty. Všeobecne sa uvádza, že intercepčný potenciál ekosystému sa pohybuje od 0,5 mm u trávnych porastov a riedkych lesných bukových ekosystémov, až po 2 mm u ihličnanov, no až 6 mm u ihličnatých porastov počas snehových zrážok. Pri hodnotení bilancie intercepcie je potrebné prihliadať aj na význam stekania zachytených zrážok po kmeni stromov. Objem stoku po kmeni v zásadnej miere určuje uhol nasadenia konárov v korune a charakter kôry – teda druh a aj vek stromov. Najlepšie to môžeme ilustrovať pri porovnaní stekania vody po kmeni smrekov a bukov. Pre smrek sa uvádzajú hodnoty stoku po kmeni počas vegetačného obdobia na úrovni 1,4 % zo zrážok na voľnej ploche, pokiaľ čo pre buk až 20 %.

Po preniknutí cez nadzemnú časť lesných porastov zrážková voda vteká alebo infiltruje do pôdneho prostredia. Pohyb vody do priestoru lesnej pôdy značne ovplyvňuje prítomnosť trhlín v pôde, otvory po koreňoch a najmä nadložný humus. Nadložný humus tlmí pohybovú energiu dopadajúcich kvapiek dažďa a súčasne zabraňuje vzniku súvislej vrstvičky vody na povrchu pôdneho prostredia. To, že je voda na povrchu pôdy nespojitá, umožňuje pôdnemu vzduchu unikať do okolia a intenzita vsakovania vody sa zvyšuje.

Jedným zo spôsobov, akým sa voda dostáva z prostredia je kombinácia fyzikálneho výparu (evaporácie) a biologického výparu (transpirácie), čiže **evapotranspirácia**. Z mnohých faktorov, ktoré výpar ovplyvňujú sú najdôležitejšie teplota povrchu, ktorý vodu vyparuje, vlhkosť okolitého vzduchu, rýchlosť prúdenia vzduchu, tlak vzduchu, obsah rozpustených látok vo vode a transpiračné činitele vegetácie – tie sú podmienené okrem iného druhom a vekom rastliny. V našich podmienkach sa takýmto spôsobom vyparí približne dve tretiny ročného úhrnu zrážok a zvyšok vody odtečie. Vzhľadom na pestrú morfológickú skladbu Slovenska, je nerovnomerné rozdelenie evapotranspirácie; v južných oblastiach sa môže vypariť až 95 %

ročného úhrnu zrážok, pokým v horských oblastiach tvorí výpar asi len 30 % dopadnutej zrážkovej vody.

Interakcie medzi lesnými ekosystémami a kvalitou, kvantitou a časovým a priestorovým rozdelením vodných zdrojov už zdôraznilo mnoho autorov. V lesných ekosystémoch sa v spojení vsakovaním atmosférických zrážok najčastejšie spomínajú atribúty ako zastúpenie vegetácie (druh, prirodzenosť), vek, priemerné zakmenenie, etážovitosť a zdravotná kondícia.

Efekt lesných ekosystémov na zníženie najvyšších prietokov zosilnieva úmerne so zvyšovaním nadmorskej výšky až do 4. – 5. (bukového až jedľovo-bukového) lesného vegetačného stupňa, potom sa pomaly znižuje. Tento fakt sa zvykne vysvetľovať recipročným pomerom medzi retenčnou kapacitou lesných porastov, ktorá nie je závislá od nadmorskej výšky (respektíve od vegetačného stupňa) a priemerným ročným úhrnom zrážok i výskytom intenzívnych dažďov, ktorých výskyt a intenzita sa zväčšuje úmerne s nadmorskou výškou. Vo vyšších lesných vegetačných stupňoch, kde sa znižuje aj teplota vzduchu a v dôsledku toho výpar a častom výskyte nízkej oblačnosti a hmiel, retenčný účinok lesných porastov, resp. ich schopnosť znižovať kulminačné povodňové prietoky klesá. V slede skupín lesných typov (slt), zloženom podľa tejto kapacity, figurujú nasledovné lesné porasty s najväčším hydrickým významom: vápencové bučiny – *Fagetum dealpinum* (4.-5. lvs), dubové bučiny – *Querceto-Fagetum* (3. lvs), bučiny – *Fagetum pauper* (3.- 4. lvs) a jaseňové javoriny – *Fraxineto aceretum* (5.-6. lvs). Priemerný hydrický potenciál majú bukové dúbravy – *Fageto-Quercetum* (2. lvs), jedľová bučina – *Abieto-Fagetum* (5.-6 lvs), buková jedlina – *Fageto-Abietum* (5.-6. lvs) a jedľová smrečina – *Abieto-Picetum* (5. lvs). Relatívne malý hydrický potenciál majú jarabinová smrečina – *Sorbeto-Picetum* (7. lvs), kyslá dubová bučina – *Fagetum quercinum* (2.-3. lvs), jedľová bučina so smrekom – *Fageto abietino-picetosum* (5.-6. lvs) a hrabová dúbrava – *Carpineto-Quercetum* (1. lvs).

Pre hospodárenie a udržateľnosť krajiny je kľúčové zabezpečiť čo najrovnomernejšie rozmiestnenie lesných ekosystémov so ochranou územia rozvodníc a pôdy v horských a podhorských oblastiach, resp. všeobecne na svahovitých pozemkoch, najmä s flyšovým podložím a čo najlepšieho mnohostranného zužitkovávania ekosystémových služieb, ako aj ochrany lesa. Z aspektu lesného hospodárstva preto treba hľadiť na to, aby sa najmä do zvyšovania hydrického efektu čo najviac zapájali nielen lesné ekosystémy v kompaktných formáciách podhorských a horských oblastí, ale aj lesy na súčasných nelesných územiach,

eventuálne útvary lesokrovín (resp. sukcesných zárastov väčšinou na niekdajších lúkach a pastvinách), ktoré budú nasledujúcimi sukcesnými procesmi postupne tvoriť les. Takisto podstatné je zaistiť existenciu sprievodnej vegetácie vodných tokov, ktorá je svojimi funkciami resp. ekosystémovými službami jedinečná predovšetkým v odlesnenej nížinnej a kolínnej krajine.

Vplyv lesných ekosystémov na ochranu pôdy pred eróziou sa do značnej miery prekrýva s vodoochrannou (resp. vodohospodárskou) funkciou. Pod obidvoma funkciami lesných ekosystémov sa nekompromisne sleduje cieľ ochrany pôdneho prostredia pred jej rozrušovaním koncentrovaným povrchovým odtokom vo forme tak plošnej ako aj ryhovej erózie, no aj antropogénnou činnosťou odvíjajúcej sa od lesohospodárskej činnosti v lesných porastoch. Ochranu pôdneho prostredia pred neúmernou eróziou zabezpečuje v podstate akýkoľvek lesný porast, nehládajac na jeho druhové zloženie, vekovú štruktúru, zakmenenie, etáživosť, resp. ďalšie charakteristiky, pokiaľ nie je les a pôdny kryt deštruovaný ťažbou, približovaním a transportom drevnej hmoty (popríklad inými aktivitami). Zásadnú úlohu pri ochrane pôdneho prostredia zohráva okrem vegetácie nenarušený pôdny kryt. V lesnom ekosystéme ho tvorí nadložný humus, kamene a balvany i mŕtva drevná hmota. Odumretím drevinovej zložky lesného ekosystému sa jeho protierózne ani vodohospodárske (vodoochranné) pôsobenie neznižuje. Väčšie riziko ako samotné odlesnenie sa spája s vyťažením drevnej hmoty a s ňou súvisiace sprístupňovanie lesných porastov a doprava drevnej hmoty.

Zo spôsobov obhospodarovania v lesných porastoch sú vhodnejšie tie, ktoré majú dlhšiu rubnú dobu, ktoré si nevyžadujú vysokú hustotu približovacích liniek, pokiaľ možno, čo najnižšiu frekvenciu výchovných zásahov a je potrebné eliminovať pohyb mechanizmov mimo dopravnej siete. Pri hospodárení v lesných porastoch je žiadúce uplatniť najmä tieto zásady (podľa Midriaka 2005):

- hospodársky tvar lesa vysoký (semenný),
- podrastový (v maloplošnej forme), výberkový, len výnimočne a v naliehavých prípadoch odrubný hospodársky spôsob. Pri napĺňaní environmentálnych funkcií lesných porastov (napríklad rekreačnej) je vhodné preferovať výberkový hospodársky spôsob,
- rubný vek stromov poväčšine mierne predĺžený,

- v cieľovom drevinovom zložení sa odporúča preferovať zmiešané lesné porasty so zastúpením drevinovej vegetácie blízkeho stanovištne prirodzenému zastúpeniu,
- v cieľovej výstavbe lesných porastov v montánnom stupni je žiadúce, aby šlo o výškovo heterogénne až výberkové porasty s výborne odstupňovaným zápojom, plným zamýšľaným zakmenením a skupinovou až jednotlivou distribúciou drevín v prípade ich miešania. V supramontánnom stupni (vyššie horské polohy) s výnimkou ochranných lesov pôjde o dvojvrstvové alebo iba o jednovrstvové porasty s horizontálnym až uvoľneným zápojom aj uvoľneným cieľovým zakmenením s hlúčikovitým miešaním listnatých drevín do ihličnatých lesných porastov,
- v prečistkách všeobecne predĺžiť návratovú dobu na štyri až päť rokov, v prebierkách na sedem až desať rokov,
- v smrekových porastoch v prebierkách sa odporúča zmenšiť silu zásahu väčšinou do 15 %,
- v rovnorodých smrekových porastoch supramontánneho stupňa výrazne podporovať vtrúsené listnaté dreviny (jarabinu a ostatné prirodzené listnáče), pri zmiešaných lesných porastoch smreka a smrekovca zasa smrekovec. V oblasti hornej hranice lesa je kľúčové sústrediť pozornosť na budovanie zmiešaného pestrého zloženia, čím sa sleduje posilnenie protilávínovej pôdoochranej funkcie lesa – v ťažbovo-obnovných postupoch v rovnorodých smrekových porastoch na svahoch s sklonom na 25° uplatniť okrajový clonný rub len vo výnimočných a opodstatnených prípadoch na granitoidnom horninovom podloží (obnovné pásy viesť len zošíkma cez stráň) – ináč tam aplikovať len podrastový maloplošný clonný rub,
- v jedľových porastoch na územiach s plytkým pôdnym prostredím na karbonátových podložiach by nemala sila výberu prevýšiť 20 %. V drevinovej kompozícii jedle a buka (i smreka) treba v extrémnych podmienkach s vysokým rizikom erózie vylúčiť okrajový clonný rub aj odrub a obnovu lesného porastu zaistiť iba účelovým výberom,
- na celom lesnom pôdnom fonde pristúpiť k sanácii existujúcich strží a výmoľov – systémom prehrádzok, zatrávnenia alebo zalesnenia ryhových líniových foriem vodnej erózie.

Konflikty pri využívaní krajiny vo vzťahu k ochrane pôdy a vodných zdrojov

Prírodné prostredie má v spoločnosti bipolárne postavenie. Z ekologického pohľadu predstavuje diverzitu podmienok a podôb života, bez ktorých by ani ľudská spoločnosť nemohla jestvovať. Z hospodárskeho alebo ekonomického hľadiska reprezentuje rôzne zdroje bezpodmienečné pre realizáciu aktivít spoločnosti. Takéto aktivity sa v dnešnej dobe dominantne realizujú zväčša ako záujmy prosperity jednotlivých rezortov. Sú úzko späté so vzorcami výroby, ale aj so vzorcami spotreby (hodnotového rebríčka konzumentov a súvisiaceho životného štýlu). Antropické činnosti však neraz nie sú v harmónii s krajinnoekologickými podmienkami prostredia a ekologickými medzami krajiny, čo vytvára množstvo moderných ekologických a environmentálnych problémov krajiny, ktoré smerujú k ohrozeniu a narušeniu prírodných podmienok a ich rovnováhy. K najvýznamnejším prírodným zdrojom patria:

- vodné zdroje,
- pôdne prostredie,
- lesné zdroje,
- nerastné bohatstvo,
- prísno pojaté je prírodným zdrojom aj krajinný priestor.

Dopyty ľudskej spoločnosti bývajú značne heterogénne a veľmi často sa dostávajú do vzájomných konfliktov. V dnešnej dobe prevládajú hlavne silné ekonomické záujmy, ktoré sa prejavujú napríklad:

- v podobe veľmi hojných a nezriedka rozsiahlych postavených alebo zamýšľaných objektov (napríklad záujmy priemyselnej výroby, ťažby, územného rozvoja, dopravy),
- v súčasnom alebo plánovanom veľkoplošnom a intenzívnom užívaní územia (poľnohospodárstvo, vodné hospodárstvo, lesné hospodárstvo),
- v podobe nežiadúcich prienikov produktov človeka do ostatných prírodných zdrojov (rôzne podoby znečistenia – chemického, biologického alebo fyzikálneho).

Z hľadiska konfliktov záujmov nás zaujíma najmä limitujúci vplyv prejavov záujmov (dopytu), nie len ich fyzická podstata (napríklad pri objektoch priemyselnej výroby to nie je vlastný materiál budovy, ale územie priemyselnej zóny aj dosah jej nepriaznivých účinkov). V týchto intenciách prejavy týchto záujmov označujeme ako socioekonomické javy v území.

Povaha socioekonomických javov determinuje možnosť ich priestorového prekrývania. V krajine mnohokrát dochádza k ich stretom v rôznych kombináciách, ktoré sa môžu vzájomne obmedzovať, poškodzovať, vylučovať, resp. podporovať – čo môžeme označiť ako strety záujmov.

V nasledujúcej stati uvádzame najtypickejšie prípady ovplyvňovania pôdneho krytu, množstva a kvality vôd ľudskou činnosťou pri využívaní lesnej krajiny.

Konflikty záujmov ochrany pôdy a vody vyplývajúce z lesohospodárskej činnosti

Ako sme uviedli vyššie, lesné ekosystémy môžu zásadne ovplyvniť pôdotvorbu, ochranu pôdy pred eróziou, množstvo aj kvalitu vodných zdrojov a ich časové a priestorové rozdelenie. Medzi neblahé účinky lesných porastov radíme „znečistenie“ blízkych vodných tokov alebo stojatých vôd opadom nadzemnej biomasy (lístia alebo ihličia, kôrou a zvyškami po ťažbe dreva), ktorá sa vo vodnom prostredí rozkladá a tým znižuje kvalitu vôd. Medzi žiaduce a pozitívne efekty lesných porastov patrí napr. prevedenie časti povrchového odtoku na podpovrchový, pričom vo vrchnej vrstve pôdy, v nadložnom humuse, sa ako vo filtri zachytí splavovaný materiál a na neho viazané znečisťujúce látky. Tak sa zlepší akosť vody presakujúcej cez lesnú pôdu do vodných zdrojov. Z aspektu pôsobenia lesného porastu na množstvo vody v riekach a potokoch je významný jeho vplyv na zadržanie zrážky v korunovom (resp. nadzemnom) priestore, dosah na infiltráciu horizontálnych a vertikálnych atmosférických zrážok, na vyparovanie z pôdneho prostredia (evaporáciu) a samotnú transpiráciu vegetácie. Nemenej dôležitá je aj retencia vody v celom priestore lesného ekosystému (v pôdno-zvetralinovom plášti, nadzemnej biomase a pod.).

V odvetví lesného hospodárstva patria k hlavným stresovým faktorom aktivity spojené s holorubným hospodárskym postupom, technicko-stavebnou činnosťou, ako je budovanie lesnej dopravnej siete a skladov drevnej hmoty, transport drevnej hmoty (predovšetkým jej približovanie po nespevnených lesných približovacích cestách – zväžnicach, či v riečiskách vodných tokov), ako aj premena pôvodného drevinového zloženia a výsadba rovnovekých monokultúr. Tieto vplyvy sa prejavujú nielen plošným záberom, bariérovým efektom, poklesom retenčnej schopnosti lesa, ale aj znečistením pôdných a vodných zdrojov ropnými produktmi, deteriorizáciou ovzdušia splodinami z motorových vozidiel, hlučnosťou, deštrukciou pôdy zapríčinenou používaním ťažkých mechanizmov, znížením stability svahov, zvýšením povrchového odtoku a jeho urýchlením, zvýšením tvorby plavenín a splavenín. Ďalej

dochádza k pedokompakcii (uľahnutiu) pôdy, k zníženiu jej pórovitosti a tým k významnému obmedzeniu jej schopnosti zadržiavať a vsakovať zrážky, k zníženiu stability voči abiotickým a biotickým stresovým faktorom, ako aj ku zníženiu biologickej diverzity lesnej krajiny.

Rozvitá dopravná sieť reprezentuje akúsi druhotnú odtokovú sieť, ktorá podnecuje zrýchlený povrchový odtok. Povrchový odtok z cestnej siete je zložený sčasti z priamo spadnutých atmosférických zrážok, zrážok, ktoré prepadli cez korunovú vrstvu a v prípade komunikácií zahĺbených v svahoch, aj z pôdnej vody (hypodermálneho – podpovrchového odtoku). Rozvinutá dopravná sieť teda ustavične odvodňuje hore situované stráne, znižuje hydrickú kapacitu krajiny a zároveň gravitačne odnáša hmotu (splaveniny), ktorá závažne ohrozuje akosť vodných recipientov.

Problém vhodného druhového zloženia porastov sa u nás týka predovšetkým smrečín. Smrek bol neraz vysádzaný aj do podmienok, ktoré nie sú pre túto drevinu optimálne. Do týchto stanovišť bol často vnesený kvôli hospodárskemu dopytu a následnému zvyšovaniu produkcie smrekovej drevnej hmoty. Tými krokmi sa, popri znížení biologickej rozmanitosti, významne znížila tak aj statická, ako aj ekologická stabilita nepôvodných smrekových lesných porastov. A rovnako je potrebné pozorovať aj podstatné zúženie spektra a zmenšenia kapacity ekosystémových služieb lesa, ktoré sa spája s neprimeraným lesným hospodárením.

Práve z toho hľadiska, že lesy poskytujú ľudskej spoločnosti oveľa pestrejšie a ekologicky závažnejšie ekosystémové služby v porovnaní s produkciou drevnej hmoty, je dôležité nevnímať les a lesné hospodárstvo ako len objekt jediného rezortu, ale treba ho chápať v širších súvzťahnostiach. Predstavuje kľúčový faktor podieľajúci sa na zabezpečení kvality života celej socioekonomickej sféry a významný tiež pri ďalšej socioekonomickej prosperite agrárnej krajiny, predovšetkým v submontánných a montánných oblastiach. Z týchto dôvodov je potrebné funkčný potenciál lesov (zvlášť ich mimoprodukčných verejnoprospešných aj produkčných funkcií) implementovať do regionálnych rozvojových plánov, ktorými sú aj plány integrovaného manažmentu povodia.

Rizikové faktory vyplývajúce z lesohospodárskej činnosti

(identifikácia vybraných rizikových faktorov vo vzťahu k pôde a vodným zdrojom)

Tak, ako aj ostatné socioekonomické aktivity, aj hospodárenie v lesných ekosystémoch môže byť spojené s istým stupňom rizika, ktoré môže ohroziť množstvo, kvalitu alebo dostupnosť prírodných zdrojov. V nasledujúcej stati sa budeme bližšie venovať rizikovým faktorom ako sú: geodynamické procesy (erózia, zosuvy), tvar riečnej siete a lesná cestná sieť.

Lesná cestná sieť

Pre určenie vplyvu lesnej dopravnej siete na odtokové pomery územia, potrebujeme identifikovať nasledovné parametre: celkovú dĺžku dopravnej siete v území, ich šírku a hustotu cestnej siete.

Celková dĺžka siete lesných komunikácií predstavuje súčet vzdialeností všetkých tried lesných ciest, ktoré udáva a upravuje STN 73 6108 Lesné cesty a iné účelové komunikácie v lese. Sieť lesných komunikácií sa v zmysle uvedenej STN triedi na:

- a) 1L – odvozné lesné cesty I. triedy, ktoré umožňujú svojou priestorovou konfiguráciou a technickou vybavenosťou prevádzku návrhovým vozidlám počas celého roka. Komunikácie disponujú vozovkou z rozmanitých stavebných materiálov a sú vybavené systémom drenážnych sústav. Minimálna šírka jazdného pruhu je 3,0 m,
- b) 2L – odvozné lesné cesty II. triedy, ktoré umožňujú svojou priestorovou konfiguráciou a nevyhnutnou technickou vybavenosťou návrhovým vozidlám aspoň sezónnu prevádzku. Povrch komunikácie sa doporučuje podľa únosnosti podložného pôdno-zvetralinového plášťa, vybaviť prevádzkovým zhutnením alebo jednoduchou vozovkou s prašným povrchom a systémom drenážnych sústav. Na vyhovujúcich zeminách môžu byť dopravné komunikácie aj bez prevádzkového spevnenia. Minimálna šírka jazdného pruhu je 3,0 m,
- c) T3 - približovacie lesné cesty III. triedy – sú to komunikácie, ktoré zabezpečujú najmä odvoz a približovanie drevnej hmoty; zjazdne pre traktorovú techniku, špeciálne vývozné a približovacie prostriedky. V priaznivých podmienkach je možný odvoz drevnej hmoty. Minimálna voľná šírka cesty je 4,0 m,

d) technologické komunikácie a zariadenia – dočasné približovacie komunikácie a zariadenia, technologické zariadenia a dopravné trasy a linky slúžiace na ťahanie a približovanie vyťaženej drevnej hmoty z lesného porastu alebo jeho časti. Zaradujú sa sem všetky ďalšie nižšie triedy komunikácií, ktoré sa typologicky nezaradili do vyšších tried, ostatné účelové komunikačné zariadenia dotvárajúce lesnú dopravnú sieť, ktoré napĺňajú osobitné funkcie a potreby. Povrch je vždy nespevnený, zvyčajne sa neodstraňuje ani vrchný organický povrch. Zemné práce sa navrhujú len vo špeciálnych prípadoch. Celková šírka cesty je minimálne 1,5 m.

Hustota siete lesných komunikácií vyjadruje celkovú dĺžku komunikácií v hodnotenom území. Pozor, táto stredná hodnota nevyjadruje optimálne sprístupnenie lesného porastu. Stredná hustota lesnej dopravnej siete sa teda vypočíta:

$$H_{lc} = \frac{L_{lc}}{P}$$

kde:

H_{lc} – priemerná hustota lesnej cestnej siete ($m \cdot ha^{-1}$)

L_{lc} – celková dĺžka lesných ciest (m)

P – výmera územia (ha)

Viacere koncepcie a prognózy, ktoré boli spracované či už domácimi alebo zahraničnými autormi, uvádzajú na optimálne sprístupnenie lesných porastov hustotu lesných ciest približne $20 m \cdot ha^{-1}$. Kalkulácia optimálnej (primeranej) hustoty siete lesných komunikácií sa môže odvíjať od morfológických typov terénov lesného fondu alebo podľa *kategórií lesných porastov*. Evaluácia optimálnosti osobitného hľadiska podlieha postupu, podľa ktorého sa hodnotí. Vo všeobecnosti sa odporúčajú minimálne hodnoty optimálnej hustoty siete lesných komunikácií pre rôzne morfológické typy terénov. Najčastejšie sú hodnotené z hľadiska sklonu svahov alebo nadmorskej výšky. Návrh lesnej cestnej siete sa z hľadiska morfológie terénu štandardne uskutočňuje podľa typov krajiny (morfológických typov georeliéfu). Hlavným určujúcim zreteľom pre klasifikáciu týchto pojmov (rovina, pahorkatina a pod.) bol súhrnný vzhľad terénu hodnoteného územia, ktorý je najmä ovplyvňovaný mierou a charakterom jeho rozčlenenia. Z tohto hľadiska aj vecné špecifikácie morfológických typov georeliéfu

boli klasifikované prostredníctvom mier členitosti (najmä výškovej disekcie) reliéfu. Plánovanie siete lesných ciest sa z hľadiska reliéfu realizuje podľa nasledujúcich typov terénu:

- a) roviny – sklon terénu do 20 %, nízka vertikálna členitosť reliéfu (v rozmedzí od 0 do 30 m),
- b) pahorkatiny – sklon terénu 21 až 40 %, výškové rozdiely maximálne 250 až 300 m*, dĺžka svahov do 500 m,
- c) horské terény – sklon svahov viac než 40 %, veľké výškové rozdiely, svahy dlhšie ako 500 m.

* - predstavené výškové rozdiely sú umelou a len veľmi hrubou klasifikáciou pre potreby lesníckej praxe; štandardne používané rozpätia vertikálnej členitosti územia a zodpovedajúcich morfografických typov georeliéfu uvádzajú pre pahorkatiny vertikálnu členitosť 31 – 100 m. Pojem „horské terény“ nie je typ georeliéfu.

Pri plánovaní sprístupňovania lesných porastov je potrebné brať ohľad aj na konkrétne ekologické podmienky a funkcie, ktoré lesné ekosystémy majú plniť. Podľa kritérií, ktoré sa kladú na poskytovanie funkcií lesných porastov, je potrebné uvažovať:

- v hospodárskych lesoch s hustotou lesnej cestnej siete $20 - 25 \text{ m} \cdot \text{ha}^{-1}$,
- v ochranných lesoch s hustotou lesnej cestnej siete $7 - 14 \text{ m} \cdot \text{ha}^{-1}$.

Odporúčaná optimálna hustota lesných ciest v našich podmienkach je:

- nížinné podmienky (do 250 m n.m.) $H \geq 15 \text{ m} \cdot \text{ha}^{-1}$,
- pahorkatiny a nižšie horské polohy (250 až 750 m n.m.) $H \geq 22,5 \text{ m} \cdot \text{ha}^{-1}$,
- pahorkatiny a vyššie horské polohy (viac ako 750 m n.m.) $H \geq 27,5 \text{ m} \cdot \text{ha}^{-1}$,

Pri posudzovaní návrhu optimálneho trasovania a rozmiestnenia lesných ciest v porastoch je potrebné vziať do úvahy kritériá, ktoré predpokladajú potrebnosť či naliehavosť ciest a ktoré zohľadnia environmentálne, lesohospodárske technické a legislatívne aspekty. Medzi hlavné kritéria patria najmä pôdne pomery (hĺbka, zrnitosť, náchylnosť na eróziu), geomorfologické charakteristiky (sklon a dĺžka svahu, expozícia terénu), lesohospodárske ukazovatele (kategorizácia lesov, triedy terénnych typov podľa výšky, technologická typizácia, kritériá na špecifické prírode blízke spôsoby obhospodarovania lesa), technické parametre (technický stav cestnej siete) a legislatívne kritériá (stupeň ochrany prírody, ohrozenie lesných porastov požiarom).

Podľa viacerých spôsobov určenia optimálnej hustoty lesnej cestnej siete majú rozhodujúci vplyv geomorfologické charakteristiky (najmä sklon svahov) a nadmorská výška.

Lesný fond sa v lesnom celku zaradí do troch nasledujúcich agregovaných skupín (AS) sklonov:

- 1 AS – sklon svahov 0 až 20 %,
- 2 AS – sklon svahov 21 až 40 %,
- 3 AS – sklon svahov nad 41 %.

Stanovenie optimálnej hustoty siete lesných ciest v lesnom celku sa realizuje ako vážený aritmetický priemer optimálnej hustoty pre jednotlivé skupiny sklonov (15 m.ha⁻¹, 22,5 m.ha⁻¹, 27,5 m.ha⁻¹) a plochy lesných pozemkov zaradených do príslušnej skupiny sklonov podľa vzorca:

$$OH_{ICS} = \frac{(15 \times F \text{ 1 AS} + 22,5 \times F \text{ 2 AS} + 27,5 \times F \text{ 3 AS})}{F}$$

kde platí:

OH_{ICS} – optimálna hustota lesnej cestnej siete (m.ha⁻¹),

F 1 AS – plocha lesných pozemkov v rozmedzí sklonov 0 – 20 % (ha),

F 2 AS – plocha lesných pozemkov v rozmedzí sklonov 21 – 40 % (ha),

F 3 AS – plocha lesných pozemkov so sklonmi nad 40 % (ha),

F – celková plocha územia (ha).

Geodynamické procesy

V predchádzajúcich statiach sme vymenovali niektoré pôdodeštrukčné procesy, identifikovali ich javy a mechanizmy vzniku. Pravdou je, že nie všetky sa podieľajú na morfológických procesoch na lesnom pôdnom, fonde rovnakou intenzitou, resp. nepredstavujú rovnakú mieru rizika pre socioekonomické aktivity (nielen pre lesohospodársku činnosť). Geodynamické procesy a ich prejavy (formy), ktoré reprezentujú riziko pre krajinné prostredie, plánovanie aktivít a využívanie územia označujeme ako geohazardy (bližšie v tabuľke 1.2).

Tab. 1.2 Geodynamické procesy a potenciálne geohazardy (stručná charakteristika)

Geodynamické javy		Potenciálne geohazardy	
Skupina procesov	Typy procesov	Priame riziko	Sprievodné riziká
Pohyby povrchu územia	pohyby geologických štruktúr, pohyby pozdĺž zlomov, poklesy banských území	zmeny reliéfu, poškodenie až deštrukcia stavieb	podmáčanie až zatopenie územia, zmeny ekosystémov
Seizmické procesy	otrasy zemského povrchu	poškodenie stavieb, zmeny reliéfu a vodného režimu	svahové pohyby, záplavy a požiare, ohrozenie životov
Krasové javy	vznik závrťov, deštrukcia stropov jaskýň, rozširovanie puklín	prepádanie povrchu, škody na objektoch	únik vody z vodných nádrží, svahové pohyby, zmeny vodného režimu
Svahové pohyby	rozvoľňovanie masívov, pohyby blokov skál, zosuvy, zemné prúdy, rútenie a padanie	zmena georeliéfu, poškodenie stavieb, znehodnotenie územia	lineárna erózia, prehradenie vodných tokov a záplavy územia
Erózne procesy	vetrová erózia a akumulácia	odvievanie pôd, zavievanie obrusovanie povrchu	znečistenie ovzdušia a povrchových vôd
	erózia vplyvom tečúcej vody a akumulácia materiálu	splach pôd, vznik výmoľov, poškodenie infraštruktúry, erózia brehov a dna toku, odnos pôdy, zanášanie recipientov	aktivizácia zosuvov, kontaminácia pôdy a vodných zdrojov, vznik alebo aktivizácia svahových pohybov, zmeny hladiny vôd
	abrázia a akumulácia	ústup brehov, zanášanie nádrží, ohrozenie infraštruktúry	vznik alebo aktivizácia svahových pohybov, zmeny georeliéfu
Objemové a štrukturálne zmeny zemín	zmrašťovanie, napúčanie, presadenie, namŕzanie, tunelová erózia - sufózia, stekutenie, zmeny konzistencie zemín	deformácia základových pôd, narušenie infraštruktúry, zmeny georeliéfu	iniciácia alebo aktivizácia svahových pohybov, znehodnotenie základových pôd

Z exogénnych geodynamických procesov sa podrobnejšie venujeme vodnej erózii pôdy a svahovým pohybom, ktoré na lesnom pôdnom fonde reprezentujú najvýznamnejšie riziko vo vzťahu ku kvalite, množstvu a dostupnosti vodných zdrojov a pôdno-zvetralinového plášťa. Abiotické charakteristiky prostredia a ľudská činnosť predstavujú hlavné riziko výskytu geodynamických procesov. Najmä flyšové štruktúry, neogénne štruktúry, ktorý sú typické vrstvami s premenlivou priepustnosťou a rozdielnym pevnostným charakterom, vznik nestability územia len podporuje. K najčastejším typom svahových deformácií patria plošné a prúdové svahové zosuny. Tvorbu zosunov vo flyšových a neogénnych geologických štruktúrach oblastiach výrazne podporuje odlesnenie a zemné práce pri stavbe lesných ciest. Svahové deformácie, oproti iným environmentálnym hazardom, predstavujú riziko hlavne v lokálnom merítku. Ide o procesy hybridnej povahy (kombinácia atmosférických zrážok, antropogénne zásahy, erózia, pôdno-zvetralinový substrát a pod.), ich výskyt je ťažšie predvídateľný a ich následky limitujú alebo vylučujú možnosť ďalšieho využitia územia. Svahové pohyby môžu spôsobiť škody aj prehradením vodného toku, kde sa vytvorí dočasné jazero. Prípadné pretrhnutie takejto hrádze potom znamená vytvorenie záplavovej vlny nižšie v údolí. Nebezpečné následky majú tiež rýchle zosuvy do vodných nádrží.

Medzi ďalšie závažné exogénne geodynamické procesy patrí vodná erózia. Po obnažení povrchu územia (napríklad následkom odlesňovania, pastvy, stavebných prác), sa už pri pomerne malých sklonoch (do 5°) značne zrýchľuje povrchový odtok a vzniká intenzívna erózia pôdy. Táto erózia sa prejavuje najmä vytváraním erózných rýh či výmoľov a následným transportom oderodovaného materiálu do hydrografickej siete.

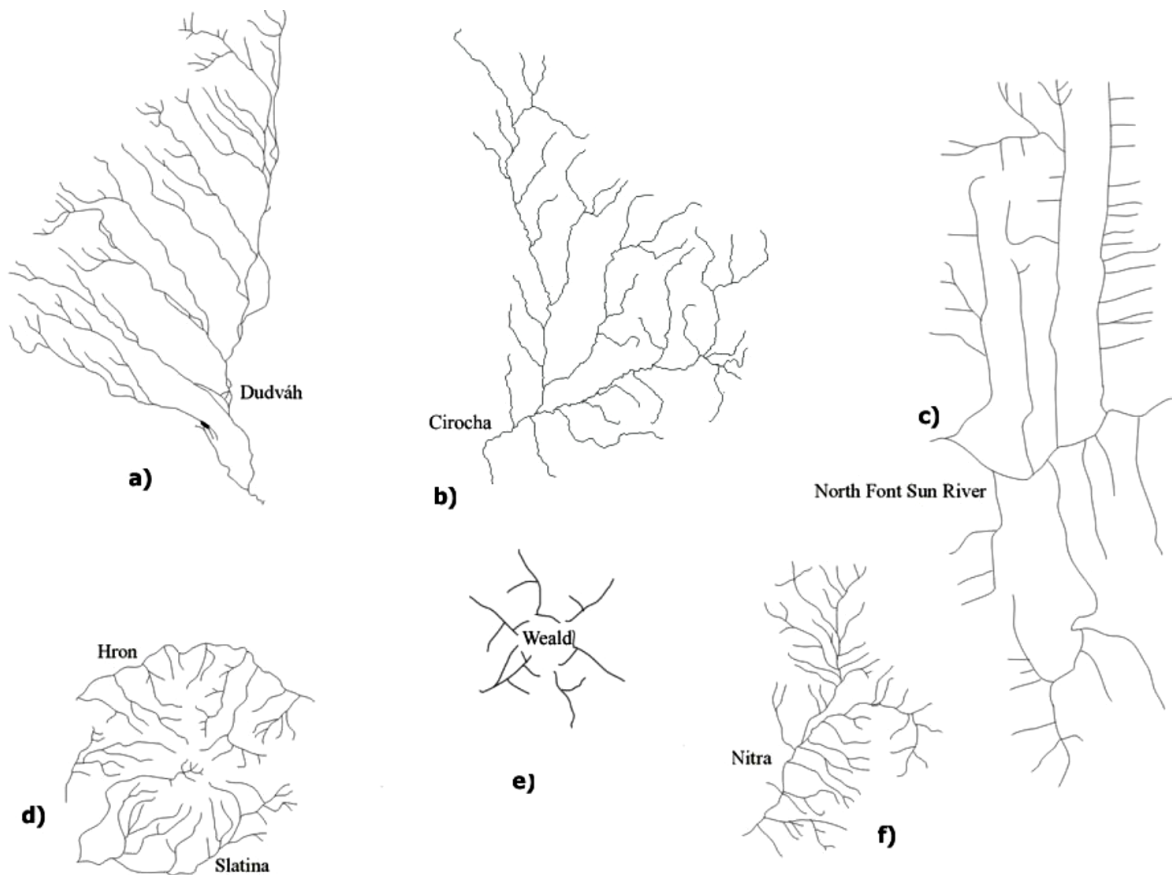
Riziká spojené s morfológiou riečnej siete

Typ riečnej siete má výrazný vplyv na vznik povodňovej vlny. Ak má riečna sieť tvar podobný stromovitej hydrografickej sieti (obrázok 1.2), dochádza k rovnomernému rastu vodnosti na hlavnom toku. Povodňová vlna zasiahne dolný tok v čase, keď obdobie vysokej vodnosti v hornej časti toku už pominulo. V prípade riečnej siete vejárovitého typu, kde sa vodnosť jednotlivých prítokov stretáva v jednom uzlovom bode, prítoky sa do hlavného toku zlievajú na relatívne malom území a toky sú charakteristické podobnou dĺžkou a vodnosťou. Vzniká koncentrovaný nárast vodnosti a tým mohutnejšia povodňová vlna. Tvar povodia je často definovaný charakteristikou α , ktorá sa určuje ako podiel plochy povodia P a druhej mocniny dĺžky toku L

$$\alpha = \frac{P}{L^2}$$

Na základe pomeru šírky a dĺžky údolnice rozoznávame vejárovité (1:1), podlhovasté (1:4) a pretiahnuté (1:5) povodia.

Najzávažnejšie situácie vo vzťahu k ohrozeniu celistvosti a/alebo transportu pôdneho plášťa, odtoku vody, kvality vodných zdrojov a ich dostupnosti nastávajú, keď dôjde ku kombinácii a synergickým účinkom negatívnych faktorov (prostredia a ľudskej činnosti).



Obrázok 1.2 Typy riečnej siete a) asymetrická, b) vejárovitá, c) pravouhlá, d) radiálna, e) prstencovitá, f) stromovitá

Časť II.

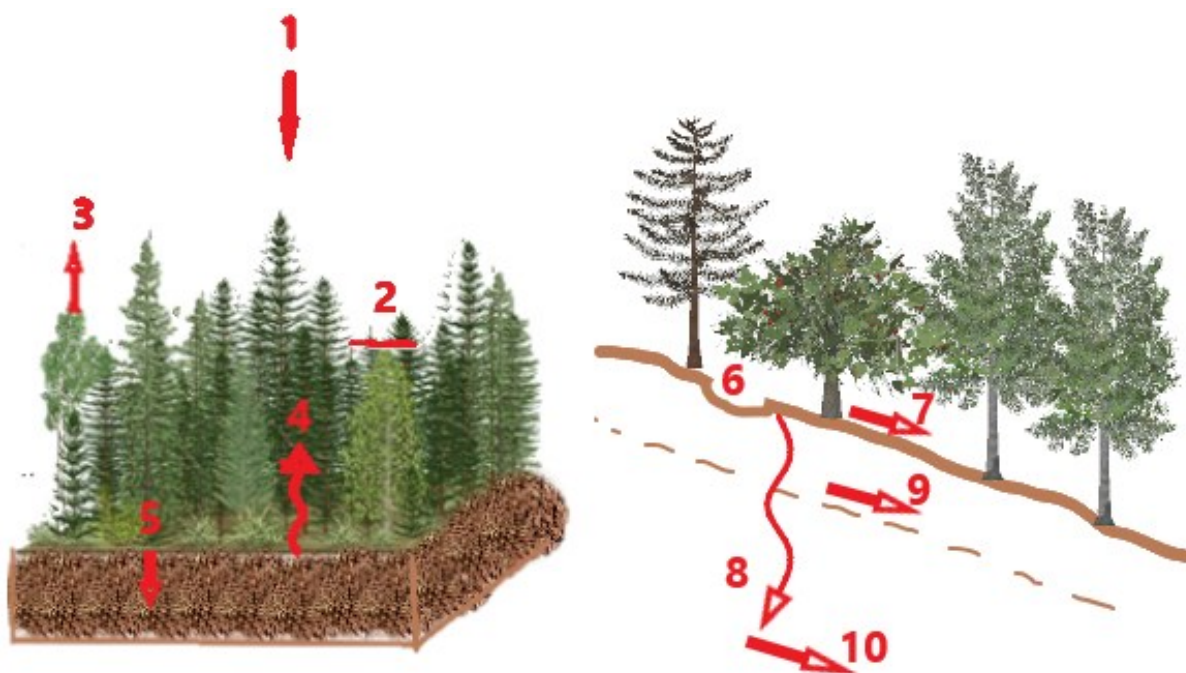
**Výpočet množstva priameho odtoku vody pomocou metódy
CN-kriviek**

**Zjednodušený výpočet vodnej erózie pôdy vplyvom
povrchovo odtekajúcej vody**

Kolobeh vody patrí medzi súbor základných procesov. Mnohé z nich, napriek tomu, že sú nevyhnutné pre život, môžu byť / sú za istých okolností ohrozujúce pre človeka a jeho hospodársku činnosť. Na nasledujúcich riadkoch si popíšeme v základných črtách čo ovplyvňuje jednotlivé zložky bilancie vody v krajine a ako ich ovplyvňuje človek. Ako sa tieto zmeny prejavia na zmene veľkosti odtoku vody z krajiny a na erózii pôdy spôsobenou povrchovo odtekajúcou vodou. Následne si ukážeme ako zjednodušenie môžeme tieto hodnoty vypočítať - modelovať veľkosť povrchového odtoku a vodnej erózie. Nasledujúci text si nenárokuje na úplnosť, popisujeme v ňom len základné pojmy a vzťahy potrebné pre pochopenie problematiky a významu vstupných premenných do vzorcov pre modelovanie týchto procesov.

Vodná bilancia ekosystému

Základnú schému vidieť na obr. 2.1. Spadnuté zrážky (1) sa zachytia na povrchu vegetácie (listov, kmeňov, stoniek, atď.), čo nazývame intercepcia (2).



Obrázok 2.1 Hydrologická bilancia ekosystému

Väčšina zrážok sa však dostane na povrch (prepad pomedzi koruny, opad z listov, stok po kmeni, atď.), z ktorých väčšina vsiakne do pôdy – infiltrácia (5) a menšia časť sa zadrží

v rôznych priehlbínach a nerovnostiach (6), v mŕtvom dreve, machu, pokrývkovom (nadložnom) humuse. Časť infiltrovanej vody sa v pôde zadrží (retencia) v kapilárnych póroch, časť presiakne (8) ešte hlbšie, až narazí na nepriepustné podložie, kde dopĺňa tzv. podzemnú vodu (10). Určitá časť vsiaknutej vody odteká pod povrchom ako podpovrchový vnútropôdny odtok (9), ku ktorému dochádza na svahoch často na rozhraní jednotlivých horizontov pôdy, napr. medzi horizontmi A a B, keď horizont A má lepšiu štruktúru a teda vyššiu priepustnosť ako horizont B a voda prechádzajúca horizontom A sa nestíha infiltrovať do horizontu B. Tento odtok je tým vyšší, čím je horizont B menej priepustný a čím má svah (rozhranie horizontov) vyšší sklon. Vodu z pôdy čerpajú koreňmi rastliny, následne z ktorých sa v dôsledku ich fyziologických procesov vyparuje – transpirácia (3). Voda sa vyparuje i priamo z pôdy (4), z vodnej hladiny, snehu, vlhkých povrchov (aj z povrchu rastlín) ako fyzikálny výpar (evaporácia), čo dohromady ako celkový výpar (fyzikálny i fyziologický) z ekosystému nazývame evapotranspirácia (3+4). Pri intenzívnej zrážke (veľké množstvo spadnutej vody za krátky čas), alebo pri zlej štruktúre pôdy, či veľkom nasýtení pôdy predchádzajúcimi zrážkami, voda dopadnutá na povrch sa nestíha všetka infiltrovať do pôdy. Vtedy dochádza k povrchovému odtoku (7). Podiel povrchového odtoku na celkovom odtoku sa zvyšuje so zvyšujúcou sa intenzitou zrážok, s naplňovaním retenčnej kapacity pôdy (množstvo vody, ktoré je schopná pôda zadržať vo svojich póroch) predchádzajúcimi zrážkami, so zhoršujúcou sa štruktúrou pôdy, závisí od zrnitosti pôdy a priepustnosti geologického podložia, zvyšuje sa tiež s rastúcim sklonom svahu. Povrchový odtok má často negatívne následky:

1. Povrchovo odtekajúca voda podstatne rýchlejšie odtečie do koryta vodného toku, v porovnaní s vnútropôdnym či podzemným odtokom, čoho výsledkom je rýchlejší nástup a vyššia kulminácia prietoku v koryte, čo môže vyústiť až do prekročenia kapacity koryta toku (povodňovej situácie).
2. Povrchový odtok spôsobuje, najmä na nechránenej pôde vegetáciou, rozrušovanie a odnos pôdných častíc – vodnú eróziu pôdy

Vzťah medzi vodnou bilanciou, rozdielnymi prírodnými podmienkami a rôznym využívaním zeme

Existuje veľmi úzky vzťah medzi jednotlivými zložkami vodnej bilancie, prírodnými podmienkami a využívaním zeme. Stručne popíšeme základné vzťahy:

Zrážky

Množstvo zrážok nie je na celom území Slovenska rovnaké. Ročné množstvo zrážok pribúda od juhu na sever Slovenska, zvyšuje sa s rastúcou nadmorskou výškou, ich rozdelenie v rámci roka je do istej miery ovplyvňované aj rastúcou kontinentalitou zo západu na východ. Pravdepodobnosť výskytu extrémnych zrážok určitej výdatnosti tiež nie je všade rovnaká, v niektorých územiach sa extrémne zrážkové udalosti vyskytujú častejšie ako v iných. Tieto závislosti sú dobre viditeľné napríklad aj na mapách Klimatického atlasu Slovenska, ktorý vydal Slovenský hydrometologický ústav (SHMÚ), a to v knižnej i elektronickej podobe a mapové vrstvy sú prístupné i on-line na stránke <http://klimat.shmu.sk/kas/>. Okrem iného tam môžeme nájsť aj mapy priestorového rozdelenia počtu zrážkových dní s dažďami rôznej intenzity, priemerných ročných maxim denných úhrnov či maximálnych jednodňových (aj dvoj- a päťdňových) úhrnov za obdobie rokov 1981 – 2010.

Intercepcia

Zachytávanie zrážok na povrchu vegetácie je tým väčšia, čím väčší je povrch vegetácie, čiže čím je vegetačný kryt vyšší, hustejší, štruktúrovanejší. Z toho logicky vyplýva, že najvyššiu intercepciu má les, za ním nasleduje stromová a krovitá mimolesná vegetácia, potom lúky a pasienky, poľnohospodárske plodiny (u ktorých tiež závisí na výške a hustote pestovanej plodiny) až po holú pôdu (úhor), kde je intercepcia nulová. Avšak ani intercepcia v lese nie je rovnaká, ale závisí od druhového zloženia, zakmenenia (hustoty), veku, štruktúry (etáže), atď., teda aj od intenzity využívania, či prirodzenosti porastu.

Zadržanie vody na povrchu

Voda sa na povrchu zeme zadržiava v rôznych priehlbínach, nerovnostiach reliéfu, mŕtvom rastlinnom materiály, machu a pod. Najviac vhodných podmienok na zadržanie vody na povrchu je v lese, kde sa nachádza najviac priehlbín, mŕtveho dreva, pokrývkový (nadložný) humus, najviac balvanov, machu a pod. Ale aj na poli sa môžu nachádzať brázdy, medze, pozberové zvyšky plodín, ktoré sú schopné zadržať určité množstvo vody, poskytnúť jej dlhší čas na infiltráciu a znížiť, či aspoň spomaliť tak množstvo povrchovo odtečenej vody. Aj keď má les najvyšší potenciál pre zadržanie vody, skutočné množstvo takto zadržanej vody závisí od intenzity jeho využívania, napr. od množstva mŕtveho dreva, obnoveného hospodárskeho spôsobu (veľkosť vyťaženej plochy), hustoty cestnej siete. Hustá sieť lesných ciest

s nefunkčnými odrážkami naopak môže pôsobiť ako drenáž. Zle založené zemné lesné cesty, ktorých povrch je takmer nepriepustný, z ktorého takmer všetka voda odtečie, pôsobia často počas intenzívnych zrážok ako korytá tokov (obr. 2.2), kde sa hromadí voda z okolitých svahov a odteká rýchlo do koryta vodného toku. Voda, ktorá sa mala v poraste zadržať, tak prispieva ku kulminácii prietoku a nožnej povodňovej situácii. To, že sa zemné lesné cesty počas zrážok premienia na dočasné vodné toky spôsobuje i odnos materiálu a zahľbovanie sa koncentrovaného odtoku – lineárnu eróziu, čím sa vlastne zemné cesty premieňajú na výmole zahĺbené podstatne nižšie pod povrch okolitých svahov (obr. 2.3). Rovnaký problém nastáva aj so zemnými cestami v poľnohospodársky využívanom území, ale keďže poľnohospodársky využívané územie zaberá menej sklonené územia, dochádza k tomu najmä v pahorkatinných až vrchovinných oblastiach, kde sa využívajú aj strmšie svahy.



Obrázok 2.2 Koncentrovaný odtok vody na lesnej ceste počas dažďa

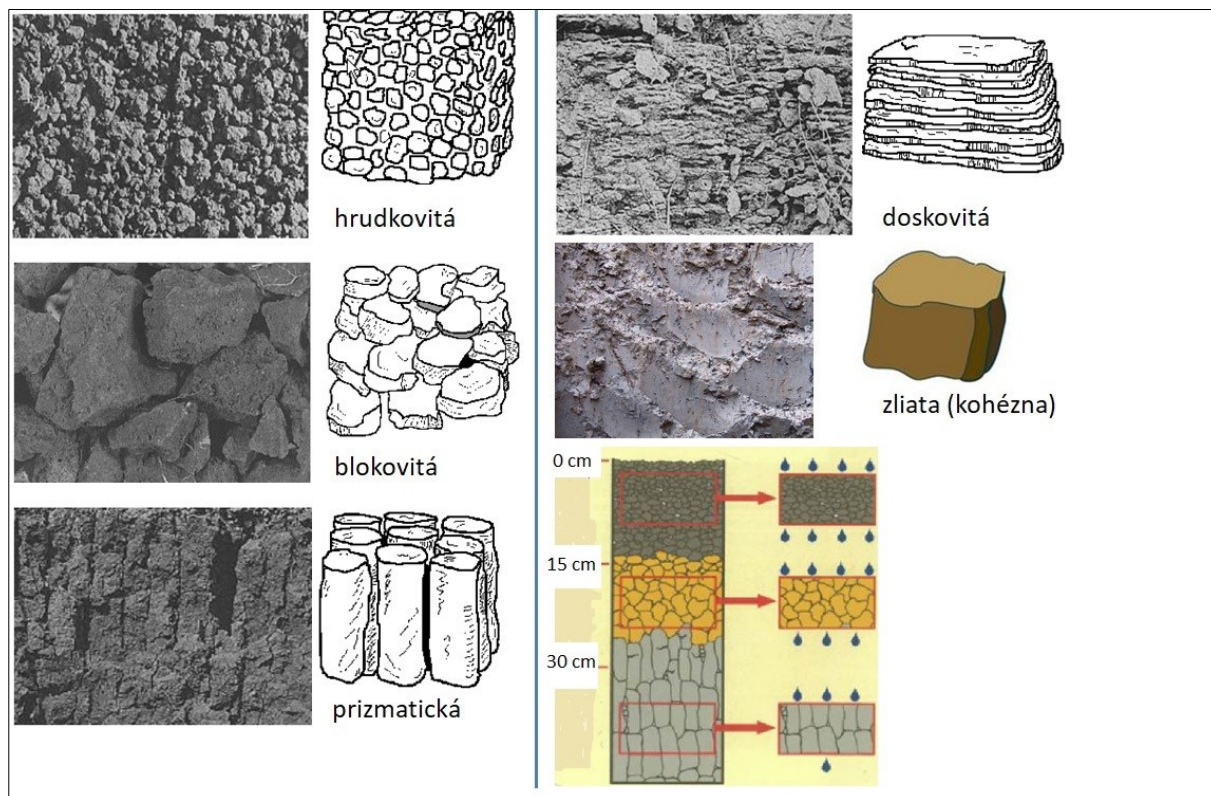


Obrázok 2.3 Zahĺbenie lesnej zemnej cesty pod povrch okolitého terénu v dôsledku výmoľovej erózie

Infiltrácia vody do pôdy

Voda, ktorá sa dostala na povrch zeme vsakuje do pôdy, čo nazývame infiltrácia. Množstvo a rýchlosť vsiaknutej vody závisí od fyzikálnych vlastností pôdy, najmä od štruktúry pôdy, zrnitosti, pórovitosti, zhutnení (kompakcii). Pôda sa skladá z častíc (zŕn) rôznej veľkosti, ktoré delíme na častice s priemerom nad 2 mm, ktoré nazývame skelet (štrk, kamene, balvany) a na zrná s priemerom pod 2 mm – jemnozern. Jemnozern delíme na tri základné frakcie – piesok, prach a íl (v poradí od najväčších po najmenšie). Piesčité a prachovité zrná sú úlomky minerálov z hornín (prvotné minerály), ktorých zvetrávaním vznikla pôda. Ílovité častice (druhotné minerály) vznikli chemickou premenou prvotných minerálov. V závislosti od pomeru jednotlivých veľkostných frakcií rozoznávame pôdy rôznej zrnitosti (pôdny druh). Napríklad podľa Nováka na: piesočnaté, hlinito-piesočnaté, piesočnato-hlinité, hlinité, ílovito-hlinité, ílovité, íly (v poradí od najhrubozrnnejších po najjemnozrnnejšie, teda od ľahkých cez stredne ťažké až po ťažké pôdy). Možno použiť i podrobnejšie členenie (VÚPOP 2000). Čím je pôda skeletnatejšia a hrubozrnnejšia, tým je priepustnejšia a naopak, čím je jemnozrnnejšia, tým je menej priepustná. Preto v územiach, kde prevládajú zrnitostne ľahké pôdy sú za rovnakých ostatných podmienok menej ohrozené povodňami, ako územia s prevládajúcimi zrnitostne ťažkými pôdami. Usporiadanie pôdných častíc nazývame štruktúrou pôdy. Pôdne

častice sa spájajú do väčších celkov – agregátov a konglomerátov. Môžu mať rôzny tvar, napr. guľovité, hranolovité, doskovité agregáty. Môžeme rozlišovať rôzne typy štruktúry pôdy (obr. 2.4) v závislosti od tvaru jednotlivých agregátov, ich veľkosti a stmelenia.



Obrázok 2.4 Príklady rôznych typov štruktúry pôdy

Štruktúra pôdy výrazne ovplyvňuje rýchlosť a množstvo infiltrácie vody. Medzi najpriepustnejšie patria pôdy s hrudkovitou štruktúrou. Priepustnosť klesá v poradí: blokovitá, prizmatická, doskovitá (laminárna), zliata (kohézna) štruktúra pôdy. Zliata štruktúra pôdy býva veľmi málo priepustná až nepriepustná. Štruktúra pôdy sa často mení s hĺbkou pôdneho profilu, keď sa s hĺbkou vplyvom rôznych procesov (antropických i prírodných) zhoršuje, a tým sa často s hĺbkou zhoršuje i priepustnosť pôdy (obr. 2.4 vpravo dole). Štruktúra pôdy súvisí so zrnitosťou pôdy. Piesočnaté pôdy majú často elementárnu štruktúru, pri ktorej pôdne častice nie sú „pozliepané“, ale nachádzajú sa samostatné vedľa seba. Hlinité pôdy, kde je pomerne „vyrovnané“ zastúpenie jednotlivých frakcií jemnozeme, vytvárajú často pôdy s dobrou štruktúrou, ak štruktúra pôdy nie je degradovaná nejakým procesom, napr. vplyvom pôsobenia človeka. Ílovité pôdy, ktoré majú prevahu ílovitých častíc, ktoré fungujú ako „tmel“, čo pri hlinitých pôdach pomáha vytvárať dobrú štruktúru pôdy, avšak pri prevahe týchto častíc je výsledkom často posun k menej priepustným až nepriepustným štruktúram pôdy. Štruktúra

pôdy sa vytvára rôznymi fyzikálnymi procesmi (mrazom, tlakom koreňov rastlín), fyzikálno-chemickými procesmi (koaguláciou, spájaním humínovými látkami) či biologickými procesmi (v tráviacej sústave dážďoviek, stmeľovaním výlučkami koreňov rastlín). Štruktúra pôdy sa mení v čase a môže sa zlepšovať alebo zhoršovať pôsobením rôznych vplyvov, napr. i činnosťou človeka. Pozitívne na vytváranie kvalitnej štruktúry pôdy pôsobí množstvo humusu v pôde. Čím má pôda viac kvalitného vnútropôdneho humusu, tým má kvalitnejšiu štruktúru. To je aj jeden z dôvodov, prečo majú lesné pôdy vo všeobecnosti lepšiu štruktúru, ako pôdy poľnohospodárske. Poľnohospodári môžu zvyšovať množstvo humusu v pôde, a tým aj kvalitu štruktúry pôdy organickým hnojením, zaorávaním pozberových zvyškov a pod. Samotná orba pôdy, zlepšuje štruktúru pôdy, vďaka následnému pôsobeniu mrazu na pôdu počas zimy. Činnosť človeka však pôsobí aj negatívne na štruktúru pôdy, a to najmä zhutňovaním (utláčaním) pôdy ťažkými mechanizmami, napr. pri zbere úrody (obr. 2.5). Pri orbe sa pôda znova prekyprí a štruktúra pôdy sa následne obnoví, aj vďaka hnojeniu a následnému pôsobeniu mrazu, ale orba siaha zvyčajne len do hĺbky 15 cm. Menej často sa orie aj hlbšie, do 30 cm (tzv. hlboká orba). Utláčanie pôdy mechanizmami však siaha podstatne hlbšie (v závislosti od váhy stroja, šírky pneumatík, atď.), a tak hlbšie horizonty poľnohospodárskej pôdy ostávajú naďalej zhutnené. Pri následných zrážkach alebo topení snehu voda dobre vsakuje do pôdy prvých 15 – 30 cm. Ak množstvo vody nepresahuje kapacitu tejto vrstvy, voda vsiakne a zadrží sa v pôde. Ak je však množstvo vody väčšie, presakujúca voda narazí na zhutnené menej priepustné až veľmi slabo priepustné vrstvy (pod 15 – 30 cm), kde sa začne hromadiť. Priepustná vrstva je už nasýtená, ďalšia prichádzajúca voda nemá kam vsiaknuť, prípadne vsakuje len veľmi pomaly (rýchlosť „prichádzajúcej“ vody vysoko prekračuje rýchlosť infiltrácie), a tak sa začne hromadiť na povrchu. Voda hromadiaca sa na povrchu buď vytvára „mláky“ - zaplavuje povrch, ak je uvedená plocha na rovine (obr. 2.5 vpravo dole), alebo odteká po povrchu dole svahom. Na svahu sa v takomto prípade vytvára aj podpovrchový vnútropôdny odtok na rozhraní priepustnej a nepriepustnej (zhutnenej) vrstvy (č. 9 na obr. 2.1). Povrchovo odtekajúca voda spôsobuje eróziu pôdy (najmä na vegetáciou nechránenom povrchu) a tiež sa rýchlejšie dostáva do koryta vodného toku, čím rýchlejšie naplňa jeho kapacitu, čo môže vyústiť až do povodňovej situácie. K zhutňovaniu pôdy ťažkými mechanizmami dochádza aj v lese, napr. na obnovných plochách pri ťažbe. Situácia oproti poľnohospodárskej pôde je však výrazne lepšia, keďže k ťažbe na danej ploche nedochádza každý rok a následne je plocha zalesnená, kedy je štruktúra pôdy vplyvom hlbokého

prekorenenia (fyzikálny vplyv koreňov, koreňové výlučky stmelujú pôdne častice, tvorba vnútropôdneho humusu) obnovená do veľkých hĺbok.



Obrázok 2.5 Zhutnenie pôdy, ktorého výsledkom je zníženie priepustnosti, vododržnosti i množstva vzduch v pôde

Na druhej strane lesy sú zvyčajne na podstatne strmších svahoch, preto na pri ťažbe narušených a zhutnených plochách dochádza rýchlejšie k povrchovému odtoku vody a následnej erózii pôdy, na čo je potrebné myslieť pri spôsobe a použitých technológiách obnovnej ťažby. K veľkému zhutňovaniu ťažkými mechanizmami dochádza samozrejme aj na lesných a poľných cestách, na ktorých nedochádza k žiadnej obnove štruktúry pôdy, len k ďalšiemu utlačaniu, čoho výsledkom je ich viac-menej nulová priepustnosť. To pri hustej sieti nevhodne založených ciest s nefunkčnými odrážkami na odvádzanie vody z ich povrchu môže spôsobiť, že cesty fungujú ako drenáž v území, vytvára sa na nich koncentrovaný odtok vody spôsobujúci lineárnu eróziu pôdy a rýchlo odtekajúca voda môže prispieť k vzniku povodní. Tento problém je vypuklejší na lesnej pôde, keďže lesy sa nachádzajú zvyčajne na podstatne strmších svahoch. K zhutňovaniu pôdy dochádza napr. aj na pasienkoch častým prehánaním

dobytka rovnakou trasou, kedy dobytok svojou váhou utláča pôdu a následkom pohybu zvierat v radoch za sebou sa vytvára sústava vyšliapaných chodníčkov nad. Takéto plochy majú nižšiu priepustnosť, čím prispievajú k zvyšujúcemu sa odtoku vody v krajine a následne sú ďalej degradované eróznymi procesmi (obr. 2.6).



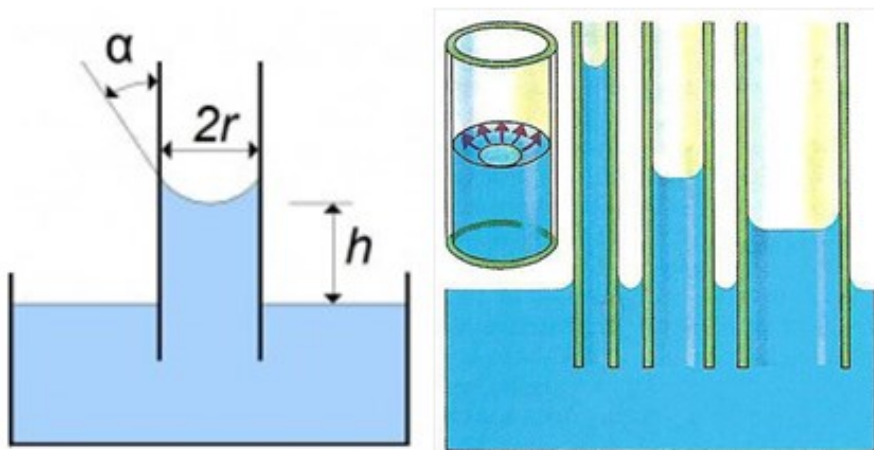
Obrázok 2.6. Zhutnenie pôdy a následná erózia spôsobená dobytkom

Aj človek spôsobuje častým prechodom svojou váhou utláčanie pôdy (napr. skracovanie turistických chodníkov) a s tým spojené zníženie priepustnosti, následné zvýšenie povrchového odtoku a erózneho odnosu. Vplyvy spôsobené preháňaním dobytkom, či váhou človeka siahajú samozrejme do menšej hĺbky ako pri ťažkých strojoch. Korene rastlín zlepšujú štruktúru pôdy nielen v lese, ale aj na poľnohospodárskej pôde či inde. Závisí však na hĺbke, hustote a dobe (dĺžke pôsobenia) prekorenenia. Nie všetky pôdy podliehajú rovnako zhutňovaniu. Čím je pôda jemnozrnnejšia tým ľahšie podlieha zhutneniu, preto čím obsahuje pôda viac ílovitých častíc, tým sú problémy spojené so zhutňovaním vypuklejšie. Zhutňovanie, resp. znížovanie priepustnosti je často výsledkom aj prirodzených procesov (napr. ilimerizácie, oglejenia, atď.), nielen antropogénnych, čoho výsledkom môže byť nižšia priepustnosť hlbších horizontov pôd (obr. 2.4 vpravo dole). Preto v pôde aj pod prirodzeným porastom často vzniká podpovrchový odtok (č. 9 na obr. 2.1) na rozhraní pôdných horizontov, kedy napr. horizont A je zvyčajne priepustnejší (lepšia štruktúra aj vďaka množstvu vnútrópôdneho humusu) oproti horizontu B.

Z vyššie popísaného vyplýva, že najvyššia infiltrácia (najvyššia rýchlosť infiltrácie a množstvo infiltrovanej vody) je vo všeobecnosti v lese, nižšia infiltrácia je na lúkach, za nimi nasledujú pasienky a po nich orná pôda. Najnižšia infiltrácia (takmer nulová až nulová) je na nespevnených cestách a samozrejme asfaltové cesty a iné betónové, asfaltové plochy, strechy budov a pod. sú úplne nepriepustné. V lese má vplyv na rýchlosť infiltrácie aj forma nadložného (opadankového) humusu, uľahnutý (stmelený) nerozložený hlboký opad môže byť veľmi málo priepustný a prichádzajúca voda môže stekať po jeho povrchu a prispievať tak k zvýšenému odtoku v povodí. Lúky vo všeobecnosti vytvárajú lepšie podmienky pre infiltráciu ako pasienky, avšak v istých prípadoch to môže byť aj naopak v závislosti od intenzity využívania. Ako je lúka kosená? Ťažkými mechanizmami, ktoré zhutňujú pôdu a znižujú tak infiltráciu? Ako intenzívne je pasienok spásaný? Alebo je prepásaný len občas a zarastá, čo zvyšuje rýchlosť a množstvo infiltrovanej vody. Tiež infiltrácia na ornej pôde je veľmi závislá od pestovanej plodiny (hustota biomasy – úzkoriadkové alebo širokoriadkové plodiny, hĺbka a hustota prekorenenia, dostatok alebo málo organického opadu a pozberových zvyškov, atď.) a použitých technológií.

Zadržiavanie vody v pôde.

Keďže pôdne častice majú nepravidelný guľovitý tvar vznikajú medzi nimi medzery, aj keby sme ich poukladali čo najtesnejšie vedľa seba. Medzery vznikajú medzi časticami aj pri ich spájaní do agregátov (vo vnútri pôdných agregátov) i medzi agregátmi ležiacimi vedľa seba. Medzery medzi pôdnymi časticami sú rozširované i rastom koreňov rastlín, po odumretí ktorých ostávajú v pôde rôzne široké „tunely“ (dutiny), či vyhrabávaním si chodbičiek rôznymi živočíchmi. Tieto medzery sú navzájom prepojené a nazývame ich póry – pórovitosť pôdy. Pôdne póry majú rôznu šírku v závislosti od zrnitosti, od štruktúry pôdy, kde sa nachádzajú (vo vnútri agregátu, medzi agregátmi), ako vznikli (napr. rastom koreňov a pod.). Pórovitosť (množstvo a hrúbka pórov) pôdy závisí od zrnitosti, štruktúry pôdy, obsahu humusu, spôsobu využívania, atď. O póry sa v pôde delia vzduch, voda, korene rastlín. Z toho vyplýva, že od pórovitosti závisí množstvo vody a vzduchu v pôde (vodno-vzdušný režim). Spodná hranica pórovitosti je 26 %, najčastejšie kolíše od 35 % do 55 % (Šály 1996).



Obrázok 2.7 Kapilárne sily medzi kvapalinou a tuhým telesom. Čím je kapilára tenšia, tým vyššia je výška vzlínania vody

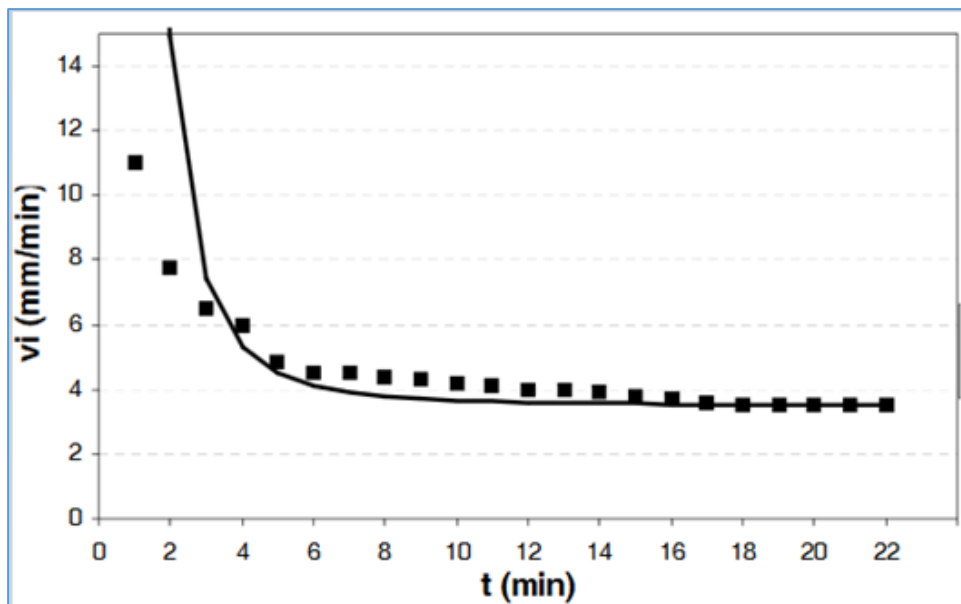
Póry podľa veľkosti (šírky) môžeme deliť na makro (hrubé), mezo (stredné) a mikro (jemné) póry, prípadne ich môžeme členiť ešte podrobnejšie (Čurlík, Šurina 1997). Vhodné je ich tiež deliť na kapilárne a nekapilárne v závislosti od toho, či v nich pôsobia na vodu kapilárne sily, ktoré ju udržia v pôde proti gravitácii. V hrubých nekapilárnych póroch sa voda neudrží, rýchlo nimi vsakuje do hlbších vrstiev, označujeme ich aj ako drénujúce póry. Kapilárne póry zadržujú vodu proti pôsobeniu gravitácie kapilárnymi silami vznikajúcimi v dôsledku povrchového napätia kvapalín medzi kvapalinou a tuhým telesom (obr. 2.7). Množstvo zadržanej vody v pôde závisí od množstva kapilárnych pórov. Čím je pôda hrubozrnnejšia (ľahké pôdy), čím obsahuje viac skeletu, rôznych dutín, chodbičiek a pod., teda čím má viac hrubých nekapilárnych pórov, tým má vyššiu infiltračnú schopnosť (rýchlejšia infiltrácia a väčšie množstvo infiltrovanej vody), ale tým menej vody je schopná zadržať. Po ukončení zrážky voda vplyvom gravitácie z nekapilárnych pórov odtečie, čo znamená, že rastliny nemôžu z týchto pórov čerpať vodu pre svoje potreby. Preto takéto pôdy majú vysokú priepustnosť, územia s takýmito prevládajúcimi pôdami sú menej často ohrozené povodňami, avšak na druhej strane sú takéto pôdy výsušné a rastliny na takýchto pôdach môžu trpieť nedostatkom vlhky (v nekapilárnych póroch voda ani nevzlína z podzemnej vody). Čím má pôda viac kapilárnych pórov, tým viac vody je schopná zadržať. Maximálne množstvo zadržanej vody závisí od percentuálneho podielu kapilárnych pórov a od hĺbky pôdy. Dôležitá je aj hrúbka kapilár. Čím sú kapilárne póry užšie, tým sú kapilárne sily zadržujúce vodu silnejšie. Pod istou

hrúbkou (jemné kapiláry) je pôsobiaca sila taká veľká, že rastliny majú problém ju sacou silou koreňov odtiaľ získať. S hrúbkou kapilár súvisí i rýchlosť infiltrácie, čím sú kapiláry užšie, tým je rýchlosť infiltrácie nižšia. Najviac nekapilárnych pórov sa nachádza v ľahkých (piesočnatých) pôdach, najmenej v ťažkých (ílovitých). Najviac stredných kapilárnych pórov, v ktorých sa voda udrží a aj rastliny k nej majú prístup je v stredne ťažkých (hlinitých) pôdach, najmenej takýchto pórov je v ľahkých (piesočnatých) pôdach. Najviac jemných kapilárnych pórov, s obmedzenou až nedostupnou vodou pre rastliny je v ťažkých (ílovitých) pôdach, najmenej v ľahkých (piesočnatých) pôdach. Z uvedeného vyplýva, že za inak rovnakých podmienok sú povodne najmenej pravdepodobné v území s prevládajúcimi ľahkými pôdami (závisí aj od hĺbky pôdy a priepustnosti geologického podkladu), kde však vegetácia môže trpieť suchom. Najviac ohrozené povodňami budú za inak rovnakých podmienok územia s prevládajúcimi ťažkými pôdami, kde je infiltračná kapacita nízka. Ťažké pôdy často i počas dlhšie trvajúceho bezrážkového obdobia obsahujú dostatok vody, avšak tá môže byť viazaná v jemných kapilárach takou silou, že je pre rastliny nedostupná. V tejto súvislosti nastáva v ťažkých pôdach často problém i so vzduchom, keďže jemných pórov sú vyplnené vodou a pórov, v ktorých by bol vzduch je málo. Množstvo vody, ktoré je pôda počas zrážky schopná zadržať závisí od jej pórovitosti a hĺbky. 1m hlboká pôda pri pórovitosti napr. 40 % by počas dažďa mohla zadržať až 400 mm vody (za predpokladu, že všetky póry by boli prázdne). Trvalejšie by zadržala o niečo menej vody v závislosti od podielu kapilárnych pórov, keďže z nekapilárnych pórov by po skončení zrážky voda odtiekla do podzemnej vody. V skutočnosti však v našich podmienkach nikdy nie sú všetky póry prázdne, a preto je skutočné množstvo vody, ktoré pôda môže zachytiť podstatne nižšie (v lese sa udáva zvyčajne 30 – 40 mm). Preto pri vzniku povodne z určitej zrážkovej udalosti v území je veľmi dôležitá nasýtenosť územia (najmä pôdy) z predchádzajúcich zrážok. Často sme svedkami prípadov, keď jeden rok v určitom území spadne napr. 80 mm za 24 hodín a nedôjde k vyliatiu toku (aj keď kapacita koryta bola takmer prekročená), pričom druhý rok v tom istom území spôsobí povodeň zrážka 60 mm za 24 hodín. Príčinou môže byť práve nasýtenosť povodia z predchádzajúcich zrážok, keď prvý rok prišla uvedená zrážka po predchádzajúcom bez zrážkovom období, keď nasýtenosť pôdy vodou nebola veľká a kapacita pre zachytenie ďalšej vody bola dostatočná. Naopak v nasledujúcom roku prišla zrážková udalosť v čase po týždeň trvajúcich zrážkach, síce nízkej intenzity, ale nasýtenosť pôdy bola vyššia ako predchádzajúci rok a kapacita pre zachytenie ďalšej vody bola podstatne nižšia a nepostačovala pre zrážku uvedenej intenzity.

Keďže množstvo zadržanej vody v pôde je závislé na pórovitosti, a tá závisí od zrnitosti a štruktúry pôdy, z toho vyplýva, že závisí aj od spôsobu využívania zeme, ktoré ovplyvňuje pôdnu štruktúru. Keďže pod lesom sa vytvára najpriaznivejšia štruktúra pôdy, zadrží lesná pôda najviac vody v krajine, za ňou nasledujú lúky, pasienky a orná pôda, v závislosti od pestovanej plodiny, organického hnojenia, spôsobu hospodárenia, použitej techniky, a pod., ako sme o tom písali už i v predchádzajúcom texte.

Povrchový odtok a erózia pôdy

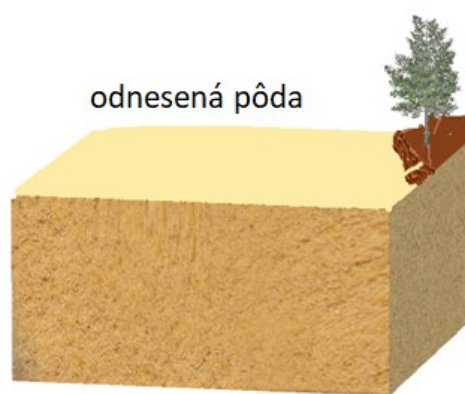
Infiltrácia sa so stúpajúcim množstvom vody v pôde znižuje (obr. 2.8), s tým ako sa póry zaplňujú vodou. Pri zaplnení „všetkých“ pórov sa infiltrácia ustáli na rýchlosti, ktorou prichádzajúca („nová“) voda tlačí vodu nachádzajúcu sa v kapilárach („starú“) pred sebou a vytláča ju do podzemnej vody. Táto ustálená rýchlosť je podstatne nižšia, ako bola rýchlosť infiltrácie na začiatku. Ak je intenzita zrážky (množstvo „prichádzajúcej“ vody) vyššia ako intenzita infiltrácie, voda sa hromadí na povrchu a na svahoch dochádza k povrchovému odtoku. Povrchový odtok je tým vyšší, čím vyšší je (za inak rovnakých podmienok) sklon svahu, keďže voda na povrchu má kratší čas na vsiaknutie.



Obrázok 2.8 Pokles intenzity infiltrácie v čase (údaje v grafe sú len ilustračné).

Rôzne nerovnosti, priehlbiny, rastlinný opad a pod. na povrchu napr. v lese, lúke, ale i brázdy na poli, zdržujú odtok dole svahom a „poskytujú“ vode dlhší čas na vsiaknutie, čo pôsobí priaznivo na znižovanie povrchového odtoku. Povrchovo odtekajúca voda pôsobí

v krajine negatívne. Povrchový odtok sa za podstatne kratší čas ako podpovrchový dostane do koryta vodného toku, čo znamená, že za kratší čas sa akumuluje väčšie množstvo vody v koryte, čo môže viesť k prekročeniu kapacity koryta a následnému vyliatiu vody (povodni). Rýchly odtok vody z územia spôsobuje problém aj po skončení dažďa v čase dlhšieho obdobia bez zrážok, kedy môže „územie trpieť“ následným suchom, keďže povrchovo odtekajúca voda nevsiakla do pôdy, neostala v území a následne chýba. Povrchovo odtekajúca voda spôsobuje eróziu pôdy - rozrušovanie a následný odnos pôdných častíc vodou na svahu, najmä na svahoch nepokrytých alebo slabo pokrytých vegetáciou. Pri plošnom odtoku dochádza k plošnému odnosu pôdných častíc - plošnej erózii (obr. 2.9).



Obrázok 2.9 Plošná erózia pôdy

Po istej vzdialenosti sa odtok na svahu začína koncentrovať (vďaka rôznym nerovnostiam na povrchu a následnému turbulentnému prúdeniu) a prechádza do sústredeného odtoku (koncentrovaná sila), ktorého následkom sa vytvárajú rôzne hlboké a dlhé stružky, ryhy a pri veľmi hlbokom zarezaní až výmole – lineárna erózia (obr. 2.10).



Obrázok 2.10 Lineárna erózia. Obrázok vľavo: stružky a ryhy. Obrázok vpravo: strž.

Vo všeobecnosti je najnižší povrchový odtok v lese a vytvára sa v ňom len veľmi výnimočne. A to najmä z dôvodu vplyvu lesa na vytváranie najpriaznivejšej štruktúry pôdy, vďaka množstvu humusu a organizmov v pôde, hĺbke prekorenenia, pôsobenia koreňových výlučkov a pod., ako bolo uvedené i predchádzajúcich častiach. Tiež množstvo zachytenej vody na povrchu listov (intercepcia), či na povrchu pôdy, je väčšie ako pri iných typoch využívania a prispieva k celovej retencii vody. O niečo slabšie plnia túto úlohu lúky, za ktorými nasledujú pasienky. Povrchový odtok z ornej pôdy je vyšší ako u predchádzajúcich foriem využívania zeme a závisí predovšetkým od pestovanej plodiny (úzko-riadkové či široko-riadkové plodiny, veľkosť biomasy a percento pokrytia povrchu, hĺbka a hustota prekorenenia, doba - dĺžka pokrytia povrchu vegetáciou) a spôsobu hospodárenia (použitá agrotechnika, organické hnojenie, vrstevnicová orba, existencia zasakovacích pásov, prielohov, atď.).

Najvyšší odtok je z plochy sídel, v ktorých sa nachádza veľký podiel nepriepustných či slabo priepustných povrchov. V sídle je snaha povrchovo odtekajúcu vodu čo najrýchlejšie odvieť kanalizačnou sieťou preč, do vodného toku. To spôsobuje už spomínané problémy – rýchle napĺňanie kapacity koryta vodného toku s následnou zvýšenou hrozbou povodne a naopak v čase dlhšieho obdobia bez zrážok rýchlo odtečená voda v meste chýba. Najmä v letných mesiacoch, keď mnohé betónové či asfaltové plochy sa prehrievajú, „nemá sa čo

vyparovať“ z pôdy a ochladzovať, zvlhčovať ovzdušie a zmierňovať tak „prehrievanie sa mesta“, vytváranie tzv. tepelného ostrova. V poslednej dobe sme boli viackrát aj svedkami situácie, že kanalizačná sieť nestačila v niektorých mestách odvádzať dažďovú vodu z príliš intenzívnych zrážok, ktorá následne zaplavila viaceré komunikácie. Jedným z riešení je zachovávanie, podpora a vytváranie (budovanie) rôznych plôch, ako sú trávnaté plochy, aleje, skupinky stromov a krovín, parky, mokrade, dažďové záhrady, zelené strechy, retenčné jazierka, retenčné a zasakovacie priekopy, atď. - teda prvkov tzv. zelenej a modrej infraštruktúry (Enviromagazín 3/2017, Hudeková, Mederly, Tóth 2018). Tiež je vhodné nahrádzať tam kde je to možné nepriepustné povrchy priepustnými alebo polopriepustnými, aby voda mohla vsiaknuť do pôdy, napr. priepustný betón či asfalt, polovegetačné tvárnice na parkoviskách a pod. (Šteiner et al. 2016).

Poradie spôsobov využívania zeme vo vzťahu k ochrane pred eróziou je rovnaké ako pri znižovaní povrchového odtoku. Les chráni pôdu pred eróziou najlepšie. Nie je to len tým, že v lese je najmenší (zvyčajne žiadny) povrchový odtok, ale i vplyvom lesa na štruktúru pôdy, ktorá je odolnejšia voči rozrušovaniu odtekajúcou vodou (okrem vplyvu lesa na vyššiu infiltráciu, vododržnosť pôdy, atď.). Taktiež sieť koreňov, ktorá je v lese najhlbšia, drží pôdne častice spolu a bráni odnosu. Listy stromov i nadložný humus (opadanka) pohlcujú energiu dopadajúcich kvapiek dažďa, ktoré potom nepôsobia deštruktívne na častice pôdy (tzv. splash), ktoré sa prejavuje na pôdach nechránených vegetáciou. V prirodzenom či dobre obhospodarovanom lese preto nedochádza ku škodlivej – akcelerovanej (odnesie sa viac pôdy ako sa za rovnaký čas vytvorí) erózii pôdy. Problémom v lese môže byť príliš intenzívne obhospodarovanie. Veľké obnovné plochy (holiny) a hustá cestná sieť s nevhodným trasovaním (po spádnici) a nefunkčným zachytávaním a odvádzaním povrchovo odtekajúcej vody z telesa cesty (nefunkčné alebo chýbajúce odrážky). Povrch obnovných plôch po ťažbe môže byť v závislosti od použitého technologického postupu silne narušený vyťahovaním kmeňov a pôsobením ťažkých mechanizmov (obr. 2.11).



Obrázok 2.11 Erózia na obnovnej ploche

Následne je určitú dobu (1-2 roky) nechránený vegetáciou, čo umožňuje pôsobenie erózných procesov. Zemné lesné cesty sú často bez vegetácie a málo priepustné až nepriepustné, čo umožňuje vytvárať na ich povrchu koncentrovaný odtok, ktorý vedie k vytváraniu rýh až výmoľov na ich povrchu, ako sme to uvádzali i predchádzajúcom texte. Lúky a pasienky chránia pôdu pred eróziou veľmi dobre vďaka hustému prekoreneniu vrchnej vrstvy pôdy a zlepšovaniu štruktúry pôdy (vyššia infiltrácia, znižovaniu odtoku, vododržnosť pôdy) ako sme uviedli i predchádzajúcom texte. Táto schopnosť je do veľkej miery ovplyvnená kvalitou trávneho porastu (percento pokrytia povrchu), ktoré závisí od intenzity využívania. Lúky plnia protieróznou funkciu lepšie ako pasienky, ktorých povrch (vegetačný kryt) môže byť

narušený príliš intenzívnou pastvou (obr. 2.6). Ochrana pôdy pred eróziou na ornej pôde závisí od pestovanej plodiny, od percenta pokrytia povrchu pôdy biomasou (závisí aj na vývinovom štádiu plodiny počas roka), hĺbke a hustote prekorenenia, použitej agrotechniky a spôsobu obhospodarovania (vrstevnicová orba, organické hnojenie a pod.). Tieto vlastnosti sa prejavujú na hodnotách koeficientu protierózneho vplyvu vegetácie (tab. 2.9) pri výpočte erózných pôdných strát metodikou USLE (pozri ďalej).

Podpovrchový, priamy a podzemný odtok

Voda, ktorá infiltrovala do pôdy presakuje pôsobením gravitácie stále hlbšie (najrýchlejšie v nekapilárnych póroch), až narazí na nepriepustné podložie, kde sa hromadí a vytvára tak podzemnú vodu. Na sklonenej ploche nepriepustného podložia dochádza k podzemnému odtoku, ktorý odteká do vodného toku. Tento odtok je oveľa pomalší ako povrchový, čiže neprispieva k zvýšeniu povodňového prietoku. Naopak napája vodné toky neskôr po zrážke, čo zabezpečuje dostatočnú vodnosť tokov aj v bezzrážkovom období. Z podzemnej vody v kapilárnych póroch voda vzlína proti gravitácii. Čím sú kapilárne póry tenšie, tým voda vzlína vyššie. Najvyššie preto vzlína voda v ílovitých pôdach. Tento proces umožňuje rastlinám čerpať vodu zo zásob podzemnej vody v období bez zrážok. Problémom môže byť príliš nízka výška vzlínania u ľahkých pôd a naopak príliš silné držanie vody v najtenších kapilárach ílovitých pôd, čím voda nemusí byť pre rastliny dosiahnuteľná.

Voda presakujúca pôdou môže naraziť už skôr ako dosiahne podzemnú vodu na menej priepustnú vrstvu (napr. rozhranie horizontov A a B), kde presakujúca voda nestíha vsakovať a preto začne pod povrchom odtekať v smere sklonu – podpovrchový odtok. Tento odtok je pomalší ako povrchový, no napriek tomu sa časť z neho dostane už počas zrážky do vodného toku. Odtok vody, ktorý sa počas zrážky, alebo bezprostredne po jej skončení, dostane do vodného toku (povrchový a časť podpovrchového) nazývame **odtok priamy**.

Výpočet množstva priameho odtoku vody pomocou metódy CN-kriviek

Táto metóda pre určená pre malé povodia s veľkosťou do 30 km². Ak máme spracovať väčšie záujmové územie, rozdelíme ho na menšie čiastkové povodia, ktoré túto podmienku veľkosti spĺňajú. Vstupnými údajmi, ktoré sú potrebné pre použitie metódy sú:

- Informácie o hydrologickej skupine pôd, teda o infiltračných a drenážnych vlastnostiach pôd územia. Hydrologickú skupinu pôd stanovíme na základe údajov o zrnitosti, štruktúre pôdy, prípadne meraním intenzity infiltrácie. Nevyhnutným podkladom je aspoň mapa, digitálna vrstva zrnitosti pôdy. Pre lesné pôdy nájdeme informácie na stránkach NLC, VUPOP....Prípadne, ak máme tú možnosť, môžeme získať presnejšie informácie priamo v teréne a stanovením štruktúry pôdy, prípadne meraním intenzity infiltrácie.
- Informácie o využívaní zeme v hodnotenom území, ktoré získame buď z máp, digitálnych vrstiev (ZB GIS, VUPOP, NLC...) a ortofotosnímok. Ešte podrobnejšie informácie získame mapovaním v teréne.
- Informácie o veľkosti zrážky. Môžeme hodnotiť konkrétnu zrážku, ktorá sa vyskytla v území a my chceme späťne „rekonštruovať“ priebeh udalostí, ktoré potom v území nastali. Alebo môžeme modelovať predpokladanú (nami navrhovanú) zrážku na základe údajov SHMÚ (napr. s dobou opakovania raz za 50 či 100 rokov) a modelovať dôsledky takejto zrážky pri súčasnom využívaní, prípadne ako sa odtok zmení pri zmene využívania určitej časti územia.
- Informácie o nasýtení pôdy predchádzajúcimi zrážkami odvodené z množstva spadnutých zrážok za predchádzajúcich 5 dní pred hodnotenou udalosťou (modelovanou zrážkou). Ako sme si povedali už v predchádzajúcom texte, vznik povodne súvisí aj s voľnou kapacitou pôdy pre zadržanie prichádzajúcej vody. Ak je táto kapacita naplnená vodou z prichádzajúcich zrážok, nová zrážka nemá kam vsiaknuť a vzniká povrchový a podpovrchový odtok (tzv. základný odtok), ktorý môže byť príčinou povodne.

Stanovenie hydrologickej skupiny pôd

Ak riešime väčšie územie je potrebné si najskôr získať, vytvoriť mapu zrnitosti pôd, ktorej interpretáciou podľa tabuľky 2.1 vytvoríme mapu (digitálnu vrstvu) hydrologickej

skupiny pôd. Ak hodnotíme menšie územie, či konkrétny svah, môžeme stanovenie urobiť aj na základe meraní v teréne.

Tabuľka 1.1 Stanovenie hydrologickej skupiny pôdy

Hydrologická skupina	Charakteristika hydrologických vlastností pôdy
A	Pôdy s vysokou rýchlosťou infiltrácie ($> 0,12 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$) aj pri úplnom nasýtení, zahŕňajúce prevažne hlboké, dobre až nadmerné odvodnené piesky alebo štrky
B	Pôdy so strednou rýchlosťou infiltrácie ($0,06 - 0,12 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$) aj pri úplnom nasýtení, zahŕňajúce prevažne pôdy stredne hlboké až hlboké, stredne až dobre odvodnené, hlinito-piesčité až hlinité
C	Pôdy s nízkou rýchlosťou infiltrácie ($0,02 - 0,06 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$) aj pri úplnom nasýtení, zahŕňajúce prevažne pôdy s málo priepustnou vrstvou v pôdnom profile a pôdy ílovito-hlinité až ílovité
D	Pôdy s veľmi nízkou rýchlosťou infiltrácie ($< 0,02 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$) aj pri úplnom nasýtení, zahŕňajúce prevažne íly, pôdy s trvalo vysokou hladinou podzemnej vody, pôdy s vrstvou ílu na povrchu alebo tesne pod ním a plytké pôdy nad takmer nepriepustným podložím.

Stanovenie hodnoty CN pre stredný vlhkosťný stav (stredné nasýtenie) pôdy

Najskôr je potrebné vytvoriť (získať) podrobnú mapu (digitálnu vrstvu) využívania zeme a následne ju prekryť s mapou hydrologických skupín pôd. Čím získame informáciu o kombinácii využívania a infiltračno-drenážnych vlastností pôdy každej plochy v hodnotenom území. Hodnoty CN pri strednom nasýtení pôdy vodou z predchádzajúcich zrážok pre jednotlivé kombinácie využívania a hydrologickej skupiny pôdy získame z tabuľky 2.2.

Tabuľka 2.2 Priemerné ročné hodnoty CN pre stredné nasýtenie pôdy (podľa USDA 1986, Janeček et al. 2012, Muchová, Antal 2013)

Využívanie pôdy	Spôsob obrábania	Hydrologické podmienky pôdneho krytu	Hydrologická skupina pôdy			
			A	B	C	D
Úhor			77	86	91	94
Širokoriadkové plodiny (okopaniny)	Pr	Zlé	72	81	88	91
	Pr	Dobré	67	78	85	89
	Vrst	Zlé	70	79	84	88
	Vrst	Dobré	65	75	82	86
	Vrst+Ps	Zlé	66	74	80	82
	Vrst+Ps	Dobré	62	71	78	81
Úzkoriadkové plodiny (obilniny)	Pr	Zlé	65	76	84	88
	Pr	Dobré	63	75	83	87
	Vrst	Zlé	63	74	82	85
	Vrst	Dobré	61	73	81	84
	Vrst+Ps	Zlé	61	72	79	82

	Vrst+Ps	Dobré	59	70	78	81
Viacročné krmoviny	Pr	Zlé	66	77	85	89
	Pr	Dobré	58	72	81	85
	Vrst	Zlé	64	75	83	85
	Vrst	Dobré	55	69	78	83
Pasienky	percento pokrytia povrchu vegetáciou	< 50%	68	79	86	89
		50 – 75 %	49	69	79	84
		> 75%	39	61	74	80
Lúky			30	58	71	78
Sady, vinice, chmeľnice	pôda medzi pestovanými plodinami bez vegetačného krytu		57	73	82	86
	50 % plochy medzi pestovanými plodinami je pokrytá vegetáciou (trvalý trávny porast, kvetnaté pásy, burina...)		43	65	76	82
	> 50 % plochy medzi pestovanými plodinami je pokrytá vegetáciou		32	58	72	79
Les		Zlé	45	66	77	83
		Priemerné	36	60	73	79
		Dobré	30	55	70	77
Intravilán (priemer)			59	74	82	86
Komunikácie	dlaždené, živičné, makadamové		83	89	92	93
	zemné cesty		76	85	89	91
Nepriepustné povrchy (i asfaltové cesty)			98	98	98	98

Vysvetlivky: Pr – priame riadky orba aj po spádnicí, Vrst – orba po vrstevnici (kontúrovito), Vrst + Ps – orba po vrstevnici spolu s pásovým striedaním plodín, Zlé – zlá štruktúra pôdy bez pozberových zvyškov, Dobré – dobrá štruktúra pôdy s pozberovými zvyškami na viac ako 20% povrchu, t.j. viac ako 850 kg.ha⁻¹ pri širokořádkových alebo 350 kg.ha⁻¹ pri úzkořádkových plodinách

Všimnite si, že hodnoty CN sú tým vyššie, čím menej dané využívanie zadrží vody, teda čím viac z jeho povrchu odtečie a naopak, čím je hodnota CN menšia, tým je povrchový odtok z daného využívania menší.

Stanovenie nasýtenia pôdy predchádzajúcimi zrážkami a prípadná korekcia hodnôt CN

Keďže množstvo a rýchlosť infiltrovanej vody závisí od množstva vody v pôde, a teda aká časť kapacity pôdy je už naplnená, je dôležité pri modelovaní odtoku zohľadňovať stav nasýtenia pôdy na základe množstva spadnutých zrážok za posledných 5 dní pred modelovanou udalosťou. Najskôr na základe tabuľky 2.3 zistíme vplyv obsahu vody v pôde (index predchádzajúcich zrážok) na korekciu hodnôt CN. Množstvo zrážok získame z údajov Slovenského hydrometeorologického ústavu (SHMÚ), ak modelujeme konkrétnu zrážkovú udalosť. Môžeme však modelovať aj hypotetickú udalosť, napr. porovnávať aké dôsledky by

mala zmena využívania určitej plochy na množstvo odtekajúcej vody pri rôznej veľkosti zrážky a rôznom nasýtení pôdy vodou:

- mierne vlhkom stave, Index predchádzajúcich zrážok I (CN I), pri ktorom má pôda najväčšiu kapacitu pre zachytenie zrážok
- strednom stave vlhkosti, Index predchádzajúcich zrážok II (CN II), pri ktorom má pôda už sčasti naplnenú kapacitu
- vlhká, takmer nasýtená pôda, Index predchádzajúcich zrážok III (CN III), pri ktorom má pôda už takmer naplnenú kapacitu.

Tabuľka 2.3 Index predchádzajúcich zrážok

IPZ	Celkový úhrn zrážok za predchádzajúcich 5 dní	
	Mimo vegetačného obdobia	Vo vegetačnom období
CN I	< 13 mm	< 36 mm
CN II	13 – 28 mm	36 – 53 mm
CN III	> 28 mm	> 53 mm

Vysvetlivky: IPZ – index predchádzajúcich zrážok

Hodnoty CN uvádzané v tab. 2.2 platia pre stredný stav vlhkosti (CN II). Ak na základe sumy zrážok za predchádzajúcich 5 dní zistíme (alebo modelujeme hypotetickú situáciu), že nasýtenosť pôdy nezodpovedá strednému stavu vlhkosti, ale je väčšia alebo menšia, musíme hodnoty CN korigovať na základe tab. 4, kde v stĺpci CN II vyhľadáte hodnotu CN stanovenú podľa tab. 2.2. Podľa zistení z tab. 2.3 rozhodneme, v akom vlhkostnom stave sa pôda v čase modelovanej udalosti nachádza. Ak je pôda v mierne vlhkom stave, korigujeme hodnotu CN podľa hodnoty v stĺpci CN I príslušného riadka. Ak na základe tab. 2.3 zistíme, že pôda je vo vlhkom stave, použijeme pre ďalšie výpočty hodnotu zo stĺpca CN III príslušného riadka.

Tabuľka 2.4 Korekcia hodnôt CN pre rôzne vlhkostné stavy pôdy stanovené na základe indexu predchádzajúcich zrážok

CN II	CN I	CN III	CN II	CN I	CN III	CN II	CN I	CN III
98	94	99	75	57	88	52	32	71
97	91	99	74	55	88	51	31	70
96	89	99	73	54	87	50	31	70
95	87	98	72	53	86	49	30	69
94	85	98	71	52	86	48	29	68
93	83	98	70	51	85	47	28	67
92	81	97	69	50	84	46	27	66
91	80	97	68	48	84	45	26	65
90	78	96	67	47	83	44	25	64
89	76	96	66	46	82	43	25	63
88	75	95	65	45	82	42	24	62
87	73	95	64	44	81	41	23	61

86	72	94	63	43	80	40	22	60
85	70	94	62	42	79	39	21	59
84	68	93	61	41	78	38	21	58
83	67	93	60	40	78	37	20	57
82	66	92	59	39	77	36	19	56
81	64	92	58	38	76	35	18	55
80	63	91	57	37	75	34	18	54
79	62	91	56	36	75	33	17	53
78	60	90	55	35	74	32	16	52
77	59	89	54	34	73	31	16	51
76	58	89	53	33	72	30	15	50

Výpočet výšky a objemu priameho odtoku

Metóda CN kriviek určuje objem priameho odtoku na základe predpokladu, že pomer objemu odtoku k úhrnu privalovej zrážky sa rovná pomeru objemu vody zadržanej pri odtoku k potenciálnemu objemu, ktorý môže byť zadržaný.

V prvom kroku si zo stanovených hodnôt CN vypočítame hodnotu potenciálnej retencie:

$$A = 25,4 \times \left(\frac{1000}{CN} - 10 \right) \quad [1]$$

kde: A – maximálna potenciálna retencia (mm), CN – hodnota stanovená na základe tab. 2.2 a tab. 2.4.

Hodnota A predstavuje maximálne potenciálne množstvo vody, ktoré daná plocha (kombinácia využívania a hydrologickej skupiny pôdy) môže zadržať. Odtok začína po zadržení určitého množstva vody zo zrážky (tzv. počiatočná strata, P_s), ktorá je súčtom intercepcie, infiltrácie vody do pôdy a povrchovej retencie. Toto množstvo zadržanej vody zo spadnutej zrážky ešte pre vznikom odtoku bolo stanovená na základe experimentálnych meraní na 20 % z hodnoty potenciálnej retencie plochy ($P_s = 0,2A$, kde A – potenciálna retencia). Preto, ak je výška zrážky (Z) menšia ako 20 % potenciálnej retencie plochy, odtok na danej ploche ani nevznikne, teda objem priameho odtoku (O_{PO}) je rovný 0 a výpočet ukončíme, ak je zrážka väčšia pokračujeme vo výpočte výšky priameho odtoku (H_{PO}).

$$\text{Ak } Z < 0,2 \times A \text{ potom } O_{PO} = 0 \quad [2]$$

$$\text{Ak } Z > 0,2 \times A \text{ potom výpočet } O_{PO}$$

kde: Z – výška zrážky (mm), A - maximálna potenciálna retencia (mm), O_{PO} – objem priameho odtoku (mm)

Výšku priameho odtoku, teda množstva vody v mm odtekajúceho z danej plochy (subpovodia) povrchovo i pod povrchom, ktoré sa už počas trvania dažďa dostane do vodného toku, vypočítame na základe údajov o spadnutej zrážke (či už reálnej alebo hypotetickej, navrhovanej) na základe vzťahu:

$$H_{OP} = \frac{(Z - 0,2 \times A)^2}{Z + 0,8 \times A} \quad [3]$$

kde: H_{OP} – výška priameho odtoku (mm), Z – výška navrhovanej zrážky (mm), A – maximálna potenciálna retencia (mm).

Následne je možné výšku priameho odtoku prepočítať na základe údajov o veľkosti subpovodia (plochy), ktorú vyjadríme v km^2 , na objem priameho odtoku:

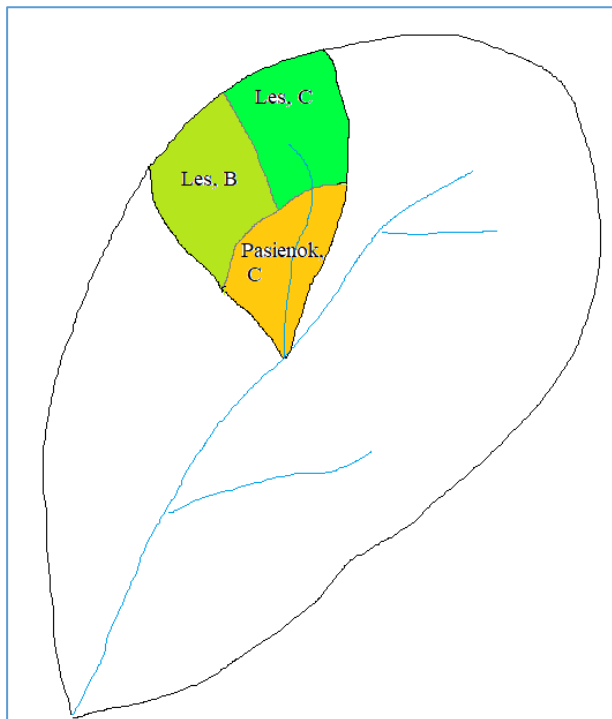
$$O_{PO} = H_{OP} \times P_S \times 1000 \quad [4]$$

kde: O_{PO} – objem priameho odtoku (m^3), H_{OP} – výška priameho odtoku (mm), P_S – plocha subpovodia (km^2)

Ukážka výpočtu

Majme povodie, v ktorom sme vyčlenili subpovodie (obr. 2.12), pre ktoré chceme vypočítať objem odtoku zo zrážky o výške 75 mm, ktorá spadla 15. mája. Suma zrážok za 5 dní pred touto udalosťou bola 68 mm. Rozloha subpovodia je 950,13 ha. Na základe máp a terénneho prieskumu sme zistili, že v území sú hlinité pôdy na 35 % územia, ktoré sme podľa tab. 2.1 zaradili do hydrologickej skupiny B. Väčšinu subpovodia (65 %) zaberajú ílovito-hlinité pôdy, ktoré sme zaradili do hydrologickej skupiny C. V subpovodí prevláda les (67 %), ktorý pokrýva hornú časť subpovodia. V spodnej tretine (33 %) sa nachádzajú pasienky. Prekryvom mapy využívania a hydrologických skupín pôdy sme vytvorili odtokové plochy, pre ktoré sme podľa tab. 2 zistili hodnoty CN II. Keďže v hodnotenom subpovodí sa nachádza 80 ročný lesný porast v dobrom stave s kyprým nadložným humusom, z tab. 2.2 sme stanovili hodnotu CN II

pre les na hlinitej pôde (hydrologická skupina B) na 55. Pre les na ílovito-hlinitej pôde (hydrologická skupina C) sme stanovili CN II = 70.



Obrázok 2.12 Vyčlenené subpovodie a odtokové plochy, charakterizované využívaním zeme a hydrologickou skupinou pôdy

Pasienok v subpovodí má dobrý stav, pokrytie povrchu pôdy vegetáciou je takmer 100 % a nachádza sa na ílovito-hlinitej pôde (hydrologická skupina C), preto sme na základe tab. 2.2 stanovili hodnotu CN II = 74. Keďže úhrn zrážok za 5 dní pred hodnotenou udalosťou bol vyšší ako 53 mm, podľa tab. 2.3 sme zistili, že pôda je takmer úplne nasýtená vodou, a že musíme korigovať hodnoty CN z hodnôt CN II na hodnoty CN III pre každú odtokovú plochu. Podľa tab. 2.4 sme hodnotu pre les na pôde B korigovali z 55 na CN III = 74. Hodnotu pre les na pôde C sme korigovali z 70 na CN III = 85. A hodnotu pre pasienok na pôde C sme z hodnoty 74 korigovali na hodnotu CN III = 88. Tieto korigované hodnoty CN III použijeme v ďalších výpočtoch.

Najskôr vypočítame podľa vzťahu [1] maximálnu potenciálnu retenciu pre každú odtokovú plochu:

$$A_{LES, B} = 25,4 \times (1000/74 - 10) = 89,2 \text{ mm}$$

$$A_{LES,C} = 25,4 \times (1000/85 - 10) = 44,8 \text{ mm}$$

$$A_{Pasienok,C} = 25,4 \times (1000/88 - 10) = 34,6 \text{ mm}$$

Metodika výpočtu predpokladá, na základe experimentálnych meraní, že ešte pred vznikom priameho odtoku, sa 20 % z hodnoty maximálnej potenciálnej retencie zadrží na odtokovej ploche (intercepcia, infiltrácia a retencia pôdy, zadržanie vody na povrchu a pod.). Ak by spadnutá zrážka bola nižšia ako 20 % z potenciálnej retencie, žiaden priamy odtok by nevznikol. Nami hodnotená zrážková udalosť (75 mm) je vyššia, ako 20 % z retencie ($0,2 \times A$) ktorejkoľvek z troch odtokových plôch v subpovodí. Preto môžeme pokračovať vo výpočte výšky priameho odtoku z jednotlivých odtokových plôch podľa vzťahu [3]:

$$H_{OP(LES, B)} = (75 - 0,2 \times 89,2)^2 / (75 + 0,8 \times 89,2) = 3267,3 / 146,4 = 22,3 \text{ mm}$$

$$H_{OP(LES, C)} = (75 - 0,2 \times 44,8)^2 / (75 + 0,8 \times 44,8) = 4361,3 / 110,8 = 39,4 \text{ mm}$$

$$H_{OP(Pasienok, C)} = (75 - 0,2 \times 34,6)^2 / (75 + 0,8 \times 34,6) = 4634,9 / 102,7 = 45,1 \text{ mm}$$

Pre výpočet objemu odtoku zo subpovodia je potrebné najskôr vypočítať vážený aritmetický priemer pre celé subpovodie zo zistených výšok priameho odtoku jednotlivých odtokových plôch a ich rozlohy. Zistené rozlohy z mapy pre LES, B = 332,55 ha, pre LES, C = 304,04 ha a pre Pasienok, C = 313,54 ha.

$$H_{OP SUBPOVODIE} = (22,3 \times 332,55 + 39,4 \times 304,04 + 45,1 \times 313,54) / 950,13 = (7415,865 + 11979,176 + 14140,654) / 950,13 = 35,3 \text{ mm}$$

Následne pre tento priemerný priamy odtok zo subpovodia vypočítame veľkosť objemu odtoku na základe vzťahu [4]. Nezabudneme, že rozlohu subpovodia musíme zadať v km², teda 950,13 ha = 9,5013 km².

$$O_{PO SUBPOVODIE} = 35,3 \times 9,5013 \times 1000 = 335395,9 \text{ m}^3$$

Môžeme teda konštatovať, že z dažďa o výške 75 mm, ktorý zasiahol územie 15. mája, odtieklo v predmetnom subpovodí ako priamy odtok 35,3 mm. Pre posúdenie, či predmetná

zrážka by spôsobila povodeň alebo nie, je potrebné zistiť kapacitu koryta príslušného vodného toku. Z vypočítaných hodnôt výšky a objemu priameho odtoku na základe zistenia ďalších charakteristík územia, z ktorých možno vypočítať ďalšie parametre (ako čas dobehu a doba koncentrácie odtoku a pod.), je možné vypočítať kulminačný prietok a ten porovnať s kapacitou koryta toku. Detailnejší popis týchto postupov možno nájsť napr. v prácach Valtýni (2001), Janeček et al. (2012), Muchová, Antal (2013).

Zjednodušený výpočet vodnej erózie pôdy povrchovo odtekajúcou vodou

Pôdna erózia je prirodzený proces, ktorý je často akcelerovaný človekom v dôsledku v daných podmienkach nevhodného, či príliš intenzívneho využívania zeme. Je to fyzikálny proces, pri ktorom vplyvom povrchovo odtekajúcej vody dochádza k rozrušovaniu a následnému odnosu častíc pôdy. Za škodlivú eróziu možno považovať takú, pri ktorej sa z určitého miesta odnesie za rok viac pôdy, ako sa na tom mieste vytvorí. Rozlišujeme eróziu potenciálnu a reálnu. Potenciálna erózia pôdy predstavuje maximálne možné množstvo odnesenej pôdy z daného miesta dané abiotickými predpokladmi danej plochy pre eróziu. Teda ide o takú eróziu, ktorá by na danom mieste bola, ak by na danej ploche nerástla žiadna vegetácia a neboli na nej ani žiadne technické či iné protierózne opatrenia. Potenciálna erózia teda vyjadruje mieru maximálnej hrozby. Reálna erózia predstavuje množstvo odnesenej pôdy pri súčasných reálnych podmienkach využívania, teda so zohľadnením vegetačného krytu na ploche (keďže vegetácia chráni pôdu pred eróziou), spôsobu hospodárenia a technických či biotechnických protieróznych opatrení. Pre výpočet vodnej erózie pôdy existuje viacero modelov, medzi v praxi ešte stále najčastejšie používaný patrí výpočet na základe Univerzálnej rovnice pôdných strát (USLE), ktorú publikovali Wischmeier a Smith (1978). Podľa tejto metodiky stanovujeme reálnu eróziu rovnicou:

$$E_R = R \times K \times L \times S \times C \times P \quad [5]$$

kde:

E_R – priemerná ročná strata pôdy ($t \cdot ha^{-1} \cdot rok^{-1}$)

R – faktor eróznej účinnosti dažďa (erozivita dažďa), ktorý je definovaný ako súčin energie dažďa a jeho maximálnej 30-minútovej intenzity

K – faktor náchylnosti pôdy na vodnú eróziu (erodovateľnosť pôdy). Je ovplyvnený základnými pôdnymi vlastnosťami ako sú zrnitosť, štruktúra pôdy, obsah organickej hmoty, priepustnosť

L - Dĺžka svahu (L) vyjadruje pomer straty pôdy z plochy určitej dĺžky ku strate pôdy z plochy so štandardnou dĺžkou 22,13m. Čím je plocha, z ktorej voda môže neprerušene

odtekať dlhšia, tým nabereá odtekajúca voda väčšiu rýchlosť a odteká jej väčšie množstvo, čo vedie k väčšej erózii pôdy

S - Sklon svahu vyjadruje pomer straty pôdy z plochy s určitým sklonom ku strate pôdy z plochy so štandardným sklonom 9%. Čím je sklon svahu vyšší, tým vyššia je erózia pôdy (väčšie množstvo povrchovo odtekajúcej vody, odtekajúcej vyššou rýchlosťou = viac energie na rozrušovanie a odnos)

C - faktor ochranného vplyvu vegetačného krytu. Vyjadruje vplyv vegetácie a použitej agrotechniky na intenzitu erózie

P – faktor účinnosti protieróznych opatrení. Je vyjadrený pomerom straty pôdnej hmoty obhospodarovanej aplikáciou určitého spôsobu ochranných opatrení technického alebo agrotechnického (napr. vrstevnicová orba) charakteru a s rovnakým pozemkom, udržiavaným bežnou agrotechnikou bez využitia akýchkoľvek ochranných opatrení

Potenciálnu eróziu vypočítame vynásobením len prvých štyroch koeficientov:

$$E_p = R \times K \times L \times S \quad [6]$$

R – faktor

Faktor eróznej účinnosti dažďa vyjadruje pravdepodobnosť, ako často sa v danom území vyskytujú dažde s určitou intenzitou – spôsobujúcou eróziu (nie všetky dažde majú dostatok energie).

Na výpočet sú potrebné dlhodobé merania (aspoň 30 ročné) intenzity zrážok. Preto nie všetky zrážkomerné stanice sú vhodné pre výpočet. Taktiež samotný výpočet je dosť pracný, preto je jednoduchšie vypočítané hodnoty faktora R pre najbližšiu zrážkomernú stanicu k nášmu územiu prevziať z už vypočítaných hodnôt. Napríklad v práci Ilavská, Jambor, Lazúr (2005), ktorú je možné nájsť na stránke Výskumného ústavu pôdoznanectva a ochrany pôdy v Bratislave (www.vupop.sk) v záložke Publikácie / Rôzne, sú uvedené hodnoty R-faktora pre 86 zrážkomerných staníc. Polohu jednotlivých zrážkomerných staníc je možné zistiť z mapy na stránke Slovenského hydrometeorologického ústavu v Bratislave (www.shmu.sk). V tab. 2.5 uvádzame hodnoty R-faktora pre 15 vybraných staníc.

Tabuľka 2.5 Hodnoty R-faktora pre vybrané zrážkomerné stanice prevzaté z Ilavská, Jambor, Lazúr (2005)

Stanica	R-faktor	Stanica	R - faktor	Stanica	R - faktor
Banská Bystrica	19,90	Modra	12,24	Oravská Lesná	18,72
Banská Štiavnica	20,25	Nové Zámky	14,61	Piešťany	15,40
Bardejov	22,43	Nitra	24,62	Poprad	19,86
Humenné	25,42	Komárno	5,46	Trnava	20,41
Lučenec	20,20	Košice	27,83	Žilina	14,42

Na obr. 2.13 sú zobrazené izolínie hodnôt R-faktora vypočítané Malíškom (1992).



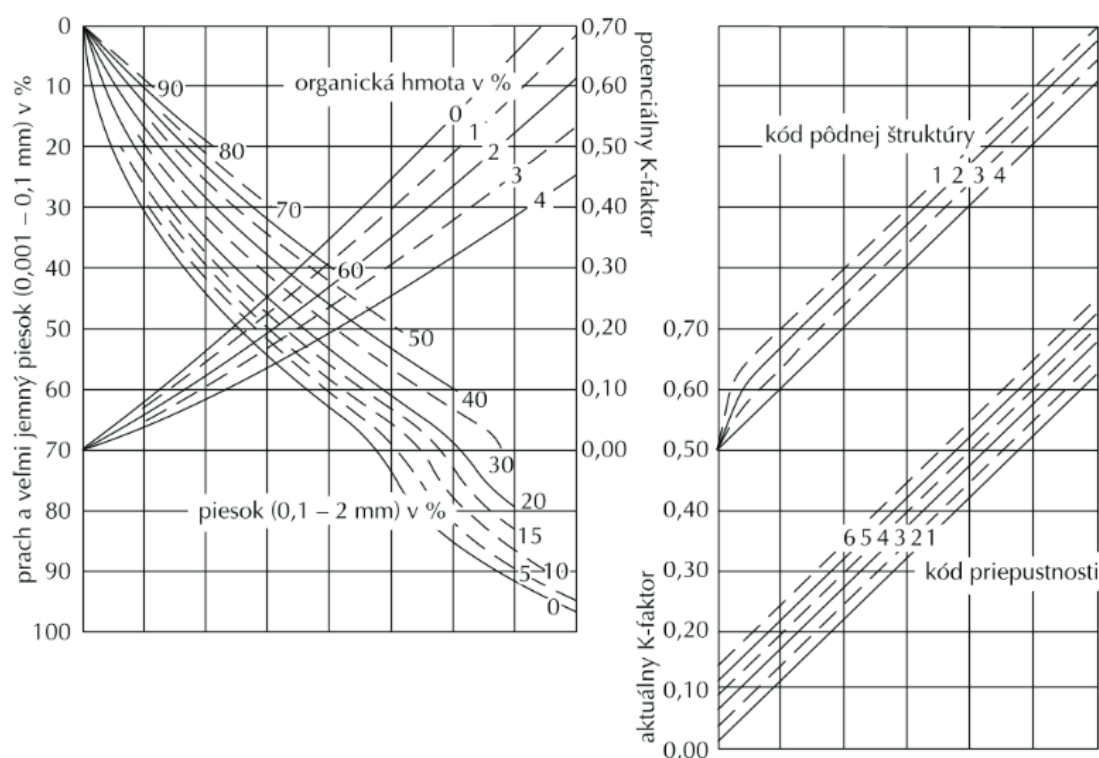
Obrázok 2.13 Izolínie hodnôt R-faktora (Malíšek 1992)

Najlepšie je, ak pre naše územie odvodíme hodnotu R-faktora interpoláciou hodnôt z viacerých okolitých staníc. Postup ako interpoláciu R-faktora uskutočniť využitím nástrojov geografických informačných systémov (GIS) možno nájsť napr. na stránke www.gis.tuzvo.sk v časti „Materiály na stiahnutie“ / „[Modelovanie potenciálnej erózie pôdy, Igor Gallay, 2014](#)“.

K – faktor

Faktor náchylnosti pôdy na vodnú eróziu možno stanoviť na základe zrnitosti, štruktúry pôdy a obsahu humusu z monogramov na obr. 2.14. Podrobnejší postup odčítania uvádza napr. Janeček et al. (2012).

Nomogram pre výpočet K-faktora



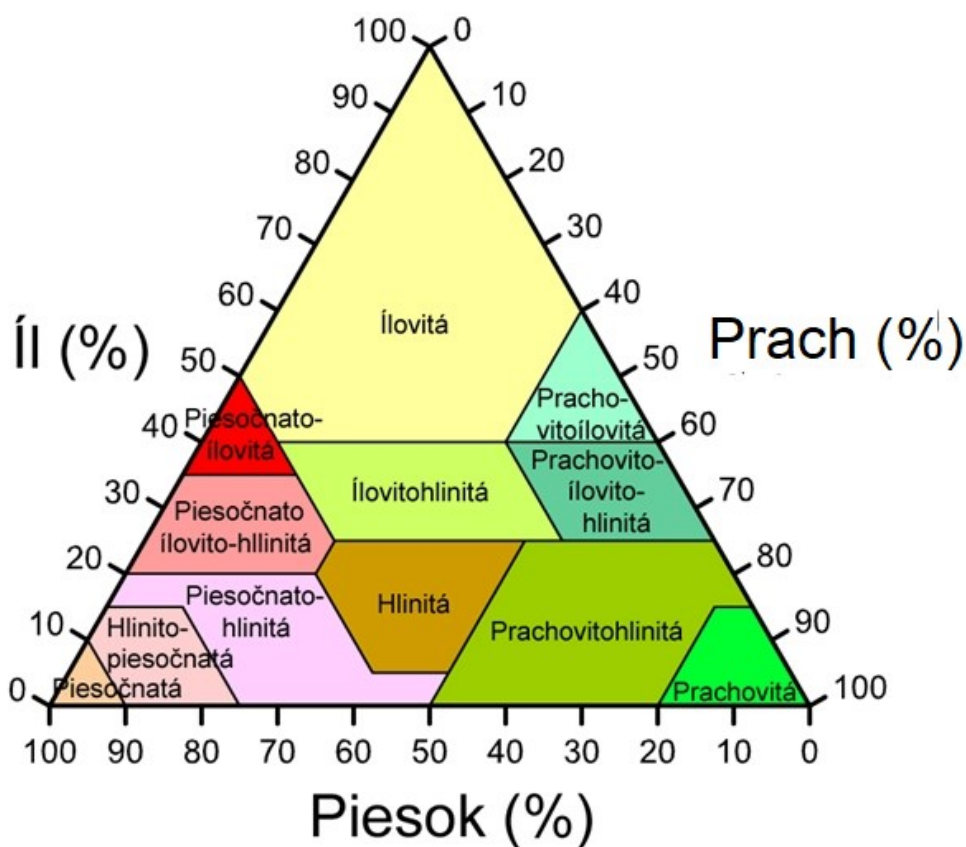
Obrázok 2.14 Nomogram pre stanovenie K –faktora erózie pôdy

Pre poľnohospodárske pôdy možno stanoviť K-faktor na základe čísla hlavnej pôdnej jednotky (HPJ), čo je 3 a 4 číslo 7-miestneho kódu bonitovaných pôdno-ekologických jednotiek (BPEJ). Hodnoty sú uvedené napr. v práci Ilavská, Jambor, Lazúr (2005). Zjednodušene môžeme K-faktor stanoviť na základe zrnitosti podľa tab. 6. Pre lepšiu ilustráciu uvádzame aj zrnitostný trojuholník na obr. 2.15.

Tabuľka 2.6 Koeficienty K-faktora pre kategórie zrnitosti podľa Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs, Canada (<http://www.omafr.gov.on.ca/english/engineer/facts/12-051.htm#t2>)

Zrnitosť	K-faktor		
	priemer	Obsah humusu < 2 %	Obsah humusu > 2 %
ílovitá	0.22	0.24	0,21
Ílovitohlinitá	0.30	0.33	0,28
Hlinitá	0.30	0.34	0,26
Hlinito-piesočnatá	0.04	0.05	0.04
Piesočnatá	0.02	0.03	0.01
Piesočnato ílovito-hlinitá	0.20	–	0.20
Piesočnato-ílovitá	0.13	0.14	0.12

Prachovito-hlinitá	0.38	0.41	0.37
Prachovito-ílovitá	0.26	0.27	0.26
Prachovitoílovitohlinitá	0.32	0.35	0.30



Obrázok 2.15 Zrnitostný trojuholník pre odvodenie kategórii zrnitosti pôdy (Čurlík, Šurina 1997)

L – faktor

Vyjadruje vplyv neprerušenej dĺžky svahu na stratu pôdy. Erózia sa zvyšuje so zvyšujúcou sa dĺžkou svahu, ktorá je definovaná ako horizontálna vzdialenosť od miesta vzniku povrchového odtoku k bodu, kde sa buď sklon svahu zníži natoľko, že začne ukladanie erodovaného materiálu, alebo sa odtok sústreďuje do odtokovej dráhy.

Vypočítať ho môžeme na základe vzťahu: $L = \left(\frac{ld}{22,13} \right)^p$ [7]

kde: L – faktor dĺžky svahu, l_d – neprerušovaná dĺžka svahu (m), p – exponent závislý od sklonu svahu (0,5 pri sklone > 5 %, 0,4 pri sklone 3,1 – 4,9 %, 0,3 pri sklone 1 – 3 %, 0,2 pri sklone pod 1 %)

Je možné použiť už aj vypočítané hodnoty v tab. 2.7.

Tabuľka 2.7 Faktor dĺžky svahu pre vybrané hodnoty neprerušovanej dĺžky svahu

d (m)	5	10	15	20	30	40	50	60	80	100
L - faktor	0,48	0,68	0,82	0,95	1,17	1,35	1,52	1,66	1,91	2,13
d (m)	150	200	250	300	350	400	450	500	600	700
L - faktor	2,61	3,02	3,38	3,69	3,99	4,27	4,52	4,77	5,22	5,64
d (m)	800	900	1000	1100	1200	1300	1400	1500		
L - faktor	6,04	6,39	6,75	7,07	7,39	7,69	7,98	8,26		

Vysvetlivky: d (m) – neprerušovaná dĺžka svahu v metroch

S – faktor

Hodnotu faktora sklonu svahu môžeme vypočítať na základe vzťahu [8],

$$S = \frac{0,43 + 0,3 \times sp + 0,0043 \times sp^2}{6,613} \quad [8]$$

kde: S – faktor sklonu svahu, sp – sklon svahu v %

alebo použijeme už vypočítané hodnoty z tab. 2.8.

Tabuľka 2.8 Vypočítané hodnoty S-faktora pre vybrané hodnoty sklonu svahu

sp (%)	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
S - faktor	0,18	0,26	0,35	0,45	0,57	0,7	0,84	1,0	1,17	
sp (%)	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
S - faktor	1,35	1,55	1,75	1,97	2,21	2,46	2,72	2,99	3,27	3,57
sp (%)	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
S - faktor	3,89	4,21	4,55	4,9	5,26	5,64	6,03	6,43	6,85	7,28

Vysvetlivky: sp – sklon svahu v %

C – faktor

Vyjadruje vplyv plodín a spôsobu obhospodarovania plochy na veľkosť erózie pôdy povrchovo odtekajúcou vodou. Každá plodina má rôzny ochranný účinok (podľa listovej plochy na 1m², hĺbky a hustoty prekorenenia, atď.). Ochranný vplyv vegetácie je priamo úmerný pokrytiu porastom v dobe výskytu erózných zrážok – t.j. v našich podmienkach od apríla do októbra, najčastejšie v júni, júli a auguste. Hodnota ochranného vplyvu závisí do veľkej miery od

vývinového štádia vegetácie. Tu uvádzame (tab. 2.9) len priemerné hodnoty faktora podľa Ilavská, Jambor, Lazúr (2005).

Tabuľka 2.9 Priemerné ročné hodnoty C-faktora pre vybrané plodiny

Názov plodiny	C - faktor
Chmeľnice	0,73
Sady a vinice – bez terasovania	0,62
Sady, vinice – terasované	0,12
Zemiaky	0,60
Zemiaky skoré	0,51
Kukurica na zrno	0,58
Kukurica na siláž	0,49
Cukrová repa	0,53
Obilniny – jarné	0,31
Oziminy	0,18
Ďateloviny	0,015
Lucerna	0,002
Lúky, viacročné trávky	0,005
Les	0,001

Podrobnejšie rozdelenie koeficientov v závislosti od vývinového štádia pestovanej plodiny (obdobie roka) aj s príkladmi výpočtu možno nájsť v práci Janeček et al. (2012).

P – faktor

Vyjadruje pomer odnosu zo skutočného pozemku s aplikáciou určitého spôsobu ochranných opatrení technického alebo agrotechnického rázu, v porovnaní s rovnakým pozemkom, udržiavaným bežnou agrotechnikou, bez využitia akýchkoľvek ochranných opatrení. V tab. 2.10 uvádzame koeficienty P – faktora uvádzanej v práci Ilavská, Jambor, Lazúr (2005).

Tabuľka 2.10 Hodnoty faktora P pre výpočet erózie pôdy na poľnohospodársky využívaných pozemkoch (prevzaté z práce Ilavská, Jambor, Lazúr 2005).

Protierózne opatrenia	Sklon Svahu (%)			
	0 - 7	7 - 12	12 – 18	18 - 24
Priame riadky v ľubovoľnom smere	1,0	1,0	1,0	1,0
Vrstevnicové obrábanie	0,60	0,70	0,90	1,0
Pásové striedanie plodín pri max. šírke a počte pásov	40 m 6 pásov	30 m 4 pásy	20 m 4 pásy	20 m 2 pásy
- striedanie okopanín a viacročných krmovín	0,30	0,35	0,40	0,45
- striedanie okopanín a ozimné obilniny	0,50	0,60	0,75	0,90
Hrádzkovanie	0,25	0,30	0,40	0,45
Terasovanie	-	-	0,05 -0,15	0,05 -0,20

Využitie popísanej metodiky použitím nástrojov GIS možno nájsť napr. na stránke www.gis.tuzvo.sk v časti „Materiály na stiahnutie“ / „[Modelovanie potenciálnej erózie pôdy, Igor Gallay, 2014](#)“.

Užitočné odkazy:

Atlas krajiny SR: <https://app.sazp.sk/atlassr/>

Atlas máp stability svahov Slovenskej republiky:
<https://www.geology.sk/geoinfoportal/mapovy-portal/atlas/atlas-map-stability-svahov-slovenskej-republiky/>

Mapa lesných a pozemných komunikácií SR: <https://gis.nlc.sk.org/lc/>

Literatúra:

Antal, J., 1999. Agrohydroológia. SPU Nitra, 168 p.

Bedrna, Z., 2002. Environmentálne pôdoznanectvo. Veda, Bratislava, 352 p.

Čaboun, V., Tutka, J., Moravčík, M., Kovalčík, M., Sarvašová, Z., Schwarz, M., Zemko, M., 2010.
Uplatňovanie funkcií lesa v krajine. NLC, Zvolen, 285 p.

Čurlík, J., Šurina, B., 1997. Príručka terénneho prieskumu a mapovania pôd. VÚPU Bratislava, 135 p.

Dub, O. (1954). Všeobecná hydroológia Slovenska. Vydavateľstvo Slovenskej Akadémie Vied.

FAO, 2008. Forests and water. A thematic study prepared in the framework of the Global Forest Resources Assessment 2005. Rome.

Gardner, C.M.K., Laryea, K.B, Unger, P.W., 1999. Soil physical constraints to plant growth and crop production. FAO, Rome, 96 p.

Herber, V., Suda, J., 1994. Cvičení z fyzické geografie I. - hydrologie. 1. vyd. PF ZČU, Plzeň.

Hrašna, M., 2005. Impact of Geodynamic Phenomena on the Landscape and Land-use. Život. Prostr., Vol. 39, No. 5, p. 260 – 268

Chábera, S., Kössl, R., 1999. Základy fyzické geografie (přehled hydrogeografie). České Budějovice: Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, 159 p.

Hudeková, Z., Mederly, P., Tóth, A., 2018. Zelená infraštruktúra. Príručka nielen pre samosprávy. Vydala Mestská časť Bratislava - Karlova Ves, v rámci projektu PERFECT, 72 s., <https://www.karlovaves.sk/wp-content/uploads/Zelena-infrastruktura-prirucka-nielen-pre-samospravy.pdf>

- Ilavská, B., Jambor, P., Lazúr, R., 2005. Identifikácia ohrozenia kvality pôdy vodnou a veternou eróziou a návrhy opatrení. VÚPOP Bratislava, 60 p.
- Janeček, M. et al. , 2012. Ochrana zemědělské půdy před erozí. Metodika. FŽP ČZU Praha, 117 p.
- Jandák, J., Pokorný, E., Prax, A., 2007. Půdoznalství. Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně, Brno, 142 p.
- Kutílek, M., 1978. Vodohospodářská pedologie. SNTL, Praha, 294 p.
- Lellák, J., Kubíček, F., 1992. Hydrobiologie. Karolinum, 256 p.
- Lepeška, T., 2019. Ekohydrologia. Skriptá TU vo Zvolene, 136 p.
- Malíšek, A. 1992. Optimálna dĺžka svahu v závislosti na vodnej erózií. Vedecké práce, Bratislava: VÚPÚ, 1992. p. 203-220.
- Midriak, R., 1983. Morfogenéza povrchu vysokých pohorí. VEDA, Bratislava, 516 p.
- Midriak, R., 2005. Horské oblasti a ich trvalo udržateľný rozvoj (Krajinnoekologická štúdia s osobitným zreteľom na územie Slovenska). Technická univerzita vo Zvolene, 174 p.
- Midriak R. et al., 1981: Diferencované obhospodarovanie lesa podľa integrovaných funkcií. Lesnícke štúdie, 31, Príroda, Bratislava, 224 p.
- Miklós, L., Izakovičová, Z., 1997. Krajina ako geosystém. Bratislava: Veda, Bratislava, 152 p.
- Muchová, Z., Antal, J., 2013. Pozemkové úpravy. Vysokoškolská učebnica. SPU Nitra, 336 p.
- Netopil, R., et al., 1984. Fyzická geografie, 1. vydání. Praha: SPN, 272 p.
- NLC 2015. Optimálne sprístupnenie lesa. Metodický postup na stanovenie a hodnotenie vhodnosti výstavby, prestavby alebo rekonštrukcie lesných ciest s cieľom optimalizácie sprístupnenia lesov. MPRaV SR, 66.p. Dostupné (24.11.2020): <http://www.forestportal.sk/odborna-sekcia/vyhotovovatel-psl/Documents/Optim%3%a1ne%20spr%3%adstupnenie%20lesnej%20p%3%b4dy%20.pdf>
- Ruda, A., 2014. Klimatologie a hydrogeografie pro učitele. Pedagogická fakulta Masarykovy Univerzity, Brno, 257 p.
- Pavelková-Chmelová, R., Frajer, J., 2014. Základy fyzické geografie I: Hydrologie. Univerzita

Palackého, Olomouc, 142 p.

STN 73 6108 -Lesná dopravná sieť. Slovenský ústav technickej normalizácie, Bratislava, č. pub. 14483

Šach, F., 1978. Vliv obnovních postupů a těžebně dopravních technologií na erozi půdy na obnovních sečích ve svahových polohách. Zprávy lesnického výzkumu, 32, p. 19-22.

Šály, R., 1996. Pedológia. Skriptá FEE TU vo Zvolene, Zvolen, 196 p.

Šteiner, A., et al., 2016. Katalóg adaptačných opatrení miest a obcí Bratislavského samosprávneho kraja na nepriaznivé zmeny klímy. Karpatský rozvojový inštitút, Bratislavský samosprávny kraj, 154 p.

Trizna, M., 2004. Klimageografia a hydrogeografia. Geo-grafika, Bratislava 154 p.

Valtýni, J., 1986. Vodohospodársky a vodoochranný význam lesa. Lesnícke štúdie, 38, Príroda, Bratislava, 68 p.

Valtýni, J., 2001. Lesy a povodne. Vedec. štúdie 5/2001/A. Technická univerzita Zvolen, 46 p.

Vass, D., Beláček, B., 1998. Geológia. TU Zvolen, 234 p.

VÚPOP, 2000. Morfogenetický klasifikačný systém pôd Slovenska. Bratislava, 76 p.

Zachar, D., 1960. Erózia pôdy. SAV, Bratislava, 308 p.