MOŽNOSTI VYUŽITIA LESA PRI PROTIPOVODŇOVEJ OCHRANE

Vladimír Čaboun

V príspevku sú stručne uvedené doterajšie súhrnné poznatky o vodnej bilancii lesných ekosystémov, o vplyve lesa, drevinovej skladby, ťažbových a dopravných technológií na odtokové a erózne pomery. Samostatná pozornosť je venovaná jednotlivým zložkám vodnej bilancie, vplyvu lesa na evapotranspiráciu, intercepciu, infiltráciu, retenciu, vplyvu lesa na odtok vody pri roztápajúcom sa snehu, ako aj konkrétnym výsledkom získaným na modelovom povodí rieky Kysuca a Predmieranka.

Uvedené sú určujúce faktory výsledného odtokového množstva a jeho časových zmien. Na záver je zhrnutá celá problematika vplyvu lesných ekosystémov na odtokové pomery povodia, uvedený je návrh vhodných metód obhospodarovania lesa z hľadiska plnenia protipovodňovej funkcie lesa a potreba ďalšieho výskumu v tejto oblasti.

Kľúčové slová: vodná bilancia, lesné ekosystémy, protipovodňová ochrana

Possibility of forest utilization for antiflooding protection *There are briefly introduced existing knowledge of water balance, hydric functions and influences of forest ecosystems and its structure on basin flow condition in the article. Special attention is addicted of individual components of water balance, forest influence on evapotranspiration, interception, infiltration, retention, of forest influence on water flow by snow melting and of forests effects on high-flood-water waves and of results raised on modeling basin Kysuca and Predmieranka.*

There is mentioned determining factors of final flow mass and its time changes there. In conclusion is summarized complete problems of influences of forest ecosystems on Basin flow condition, mentioned is proposal of applicable methods of forest management from point of view of forest antiflood function and necessarily of research continuality.

Key words: Water balance, forest ecosystems, antiflooding protection

---

1. ÚVOD - PRÍČINY POVODNÍ

Zrážkovo – odtokový režim v malých povodiach úzko súvisí s širokou škálou prírodných a miestnych podmienok. Väčšina podieľajúcich sa prvkov má veľkú variabilitu hodnôt. V malých horských povodiach, ktoré majú pomerne veľkú lesnatosť, bývajú príčinou povodní podľa M. JAŘABÁČA a A. CHLEBEKA (2000) dažde trojakého druhu:

1. *Búrkové prietrže mračien, zasahujúce pomerne malú plochu a trvajúce krátky čas – 1 až 2 hodiny, ktorých intenzita je často väčšia ako 2 mm.min^{-1}.*
2. *Búrkové dažde spojené so studeným frontom postupujúcim do Európy z Atlantického oceánu; tie môžu mať spočiatku podobnú intenzitu ako krátkodobé búrkové dažde, neskôr môžu zasiahnuť väčšie územie, kde sa vyskytne menej intenzívny dážď trvajúci i niekoľko dní. Vyskytujú sa prevažne v lete, len výnimočne začiatkom jari alebo v neskorej jeseni.*
3. *Regionálne dažde, nadväzujúce na cyklóny postupujúce do strednej Európy spravidla z juhu na sever po van Bebberovej dráhe V_b; súčasne s nimi prúdi od severu chladný vzduch. To podmieňuje v oblasti stretu síce menej intenzívne, ale dlhotrvajúce dažde zasahujúce často územie väčšie ako 10 tisíc km^2. Také dažde sa vyskytli koncom júna a začiatkom júla 1997 na viacerých miestach Slovenska a na území severovýchodnej Moravy, kde zapríčinili rozsiahle povodne na riekach Odra a Morava. Hoci tam intenzita dažďa dosahovala len 0,1 až 0,25 mm.min^{-1}, hodnoty špecifických odtokov z čiastkových povodí, v čase kulminácie boli 3 až 4 m^3.s^{-1}.km^{-2}.*

Ako uvádzajú spomínaní autori, najnebezpečnejšie povodne sú takmer vždy vyvolávané mimoriadne silnými dažďami, ktoré sa väčšinou vyskytujú v teplom ročnom období. Len ojedinele môžu byť povodne vyvolané náhlym topením snehu počas dažďa, čo je však pravdepodobnejšie v pahorkatinách a na nížinách.

Brechtel (1970) rozlišuje dva typy povodňových odtokov:

1. *Sú to predovšetkým miestne, prevažne krátkodobé povodne, ktoré vznikajú z povrchových odtokov vtedy, keď zrážky vysokej intenzity lokálne prevýšia infiltračné schopnosti pôdy.*

2. *Rozsiahlejšie a dlhšie trvajúce povodne, ktoré sú spôsobené výdatnými dažďami zasahujúcimi väčšiu plochu, alebo náhlym a intenzívnym topením snehu (vpád teplého vzduchu – dážď na sneh). V takomto prípade dochádza v celej oblasti k prekročeniu infiltračnej schopnosti a zadržiavaniu vody.*

Oba typy povodňových odtokov môžu byť redukované komplexnými úpravami povodí, ale v rôznej miere. Kým v prvom prípade je možné zlepšiť situáciu aj na poľnohospodársky využívaných pôdach opatreniami zvyšujúcimi zásak, v druhom prípade môže tlmiť povodňové maximá iba les (BRECHTEL 1970).

Extrémne dažde a nimi vyvolané odtoky majú pomerne malú početnosť opakovania, ale v nadväznosti na predpokladané globálne otepľovanie klímy, väčšina odborníkov predpokladá v budúcnosti ich častejší výskyt a intenzitu.

2. VPLYV LESNATOSTI NA ODTOK VODY PRI POVODŇOVÝCH VLNÁCH

Zovšeobecňujúce poznatky o vplyve celkovej lesnatosti povodia, ktoré uvádza VALTÝNI (1986) hovoria, že najvýraznejšie je ovplyvnený maximálny špecifický odtok vo flyšových oblastiach (čo sa potvrdilo aj v lete r.1997 - oblasť Kysúc, Torysy atď.), kde aj malý pokles v lesnatosti sa odrazí vo výraznom zvýšení maximálnych odtokových množstiev a ich rozkolísanosti. Najmenej je odtok ovplyvnený zmenou lesnatosti v povodiach na karbonátových podložiach, kde rozhodujúcu úlohu zohráva horninové prostredie a transformácia zrážok do podzemných vôd. Tam je účinok zmeny lesnatosti na odtok približne polovičný ako vo flyši.

Napriek mnohým často rozporným výsledkom štúdia vplyvu lesa na odtok vody je nesporné, že lesy síce nemôžu celkom zabrániť povodňovým vlnám, môžu však výrazným spôsobom zmierniť ich priebeh. Na základe Válkových meraní z Čiech z 2 porovnávacích povodí možno extrémny vodný stav na bystrine s lesnatým povodím, aký je tam pravdepodobný raz za 100 rokov ("storočná voda"), v zrovnávacom bezlesom povodí očakávať každých 16 rokov (MRÁČEK, KREČMER 1975).

2.1. Retenčná a ifiltračná kapacita lesných ekosystémov pri povodňových vlnách

Kľúčovým faktorom, ktorý zohráva rozhodujúcu úlohu pri modifikovaní odtoku z lesných porastov aj pri vysokých úhrnoch zrážok, je retenčná kapacita a infiltrácia lesných pôd. K prekročeniu retenčnej kapacity lesných pôd a v konečnom dôsledku aj lesných porastov môže dôjsť v zásade dvomi spôsobmi (MINĎÁŠ, ČABOUN 2002). Predstavme si, že máme fľašu, ktorá má určitý objem (retenčná kapacita) a určitý rozmer hrdla fľaše, ktorý limituje množstvo vody, ktoré môžeme do fľaše naliať (infiltračný koeficient). Ak do fľaše lejeme vodu, ktorá je schopná prejsť cez hrdlo fľaše tak naplníme celý obsah fľaše a ďalšie dodávané množstvo vyteká von. Tento prípad nastal napr. v lete roku 2001, keď menej intenzívne zrážky dokázali postupne nasycovať pôdu bez výraznejšej zmeny odtoku, ale nakoľko tento dážď trval niekoľko dní došlo k úplnému naplneniu retenčnej kapacity lesa a prebytková zrážková voda v celom objeme priamo prechádzala do odtoku a výrazne dynamizovala povodňovú vlnu až po určitom čase (rádovo desiatky hodín). V druhom prípade ak do fľaše lejeme naraz veľký objem vody, ktorý nestačí prejsť hrdlom fľaše časť z tejto vody sa dostáva mimo, aj keď je vo fľaši ešte voľný priestor. Tento druhý prípad nastal napr. v júli roku 2002, keď intenzita zrážok pri lokálnych búrkach bola taká vysoká, že retenčná kapacita lesnej pôdy a porastov sa nestačila napĺňať a prebytok zrážkovej vody prechádzal priamo povrchovým odtokom s minimálnym časovým posunom do riečnej siete.

Urobme si ešte predstavu aká je vlastne veľkosť retenčnej kapacity lesných ekosystémov. Kapacita nasýtenia korún lesných drevín zrážkovou vodou predstavuje hodnotu rádove 10 mm, čo pri úhrnoch zrážok pri povodňových situáciách zväčša nepredstavuje ani 10 % z celkového množstva spadnutých zrážok. Kapacita nasýtenia krovinatej, bylinnej vrstvy a vrstvy opadanky môže byť veľmi rozdielna a zväčša sa pohybuje na úrovni 5-20 mm. Pre najrozšírenejšie lesné pôdy na Slovensku môžeme podľa výsledkov výskumu uvažovať s retenčnou kapacitou 30-40 mm. Ak to zosumarizujeme tak celkovú retenčnú kapacitu lesných porastov môžeme odhadovať v rozsahu 45 - 70 mm. Táto hodnota platí pre stav 100 %-nej lesnatosti v krajine a pre zakmenenie 1,0 (resp. zápoj 100%). Súčasťou lesných komplexov sú však aj bezlesé plochy (lesné cesty, odvozné miesta, lúky, rúbaniská), ktorých retenčná

kapacita je oveľa nižšia, takmer až nulová (penetrované lesné cesty), čím sa celková retenčná kapacita lesnej krajiny znižuje. Pokles retenčnej kapacity krajiny pochopiteľne s klesajúcim percentom lesnatosti klesá, spočiatku pomalšie, do hodnoty 50-60 %-nej lesnatosti, pod touto hranicou je pokles s lesnatosťou oveľa výraznejší.
Problematika infiltrácie zrážkovej vody v pôde úzko súvisí so stavom vrstvy nadložného humusu. Ak v procese hospodárenia v lese dôjde k narušeniu tejto vrstvy okamžite dochádza k rapídnemu zvýšeniu povrchového odtoku a zvýšeniu erózneho odnosu, a tým aj k rozkolísanosti prietokov.
Aj VALTÝNI (2001) uvádza, že povodne sa vyskytli v povodiach rôznej lesnatosti. Hoci neboli publikované výsledky špecifických analýz vplyvu lesnatosti povodí na povodňové prietoky, vo viacerých publikovaných prácach sa autori vyjadrili k spomenutému problému. Zhodli sa v tom, že sa kritické dažde vyskytli spravidla v čase úplného alebo aspoň veľkého nasýtenia povodí vodou z predchádzajúcich zrážok. Potom lesné ekosystémy, predovšetkým lesné pôdy, ktoré majú v normálnom (nenasýtenom) stave veľkú retenčnú kapacitu, nedokázali úplne zadržať vodu z extrémnych zrážok, ani spomaliť odtok z povodia a rozdiel medzi odtokom zo zalesnených a bezlesích častí povodia v čase kulminácie povodne, bol relatívne malý. V takýchto prípadoch sa lesné porasty výrazne nepodieľali na retencii a retardácii odtoku z povodia bez ohľadu na zastúpenie drevín, vek, zakmenenie, spôsob obhospodarovania a iné charakteristiky.
VALTÝNI a KAZDA (2002) uvádzajú, že ak sa vyskytne extrémný dážď v krátkom časovom intervale s výdatnosťou napr. 100 mm, v našich prírodných podmienkach, po povrchu odtečie zo zalesnenej časti povodia len rozdiel medzi výškou dažďa a momentálnou retenčnou (zadržiavacou) kapacitou lesného ekosystému, čiže približne 40 % vody. Pri podobnej zrážke v povodí Malá Svinka v roku 1998 zadržali lesné porasty v hornej časti 68 mm vody, kým lúky a pasienky len 46 mm vody, teda približne 67 % z množstva vody zadržaného lesom. Výrazne horšiu schopnosť zadržiavania vody má však najmä orná pôda v období bez vegetačného krytu. Pôda ako rezervoár vody má úžasný potenciál a môže zadržiavať až 400 mm vody. V našich prírodných podmienkach je však voda stále čiastočne nasýtená vodou. Ak sa pôda úplne nasýti, dažďová voda odteká po jej povrchu a vzniká najnebezpečnejší odtok pre tvorbu povodne.

2.2. Vplyv lesa na odtok vody pri roztápaní sa snehu

Z hľadiska vplyvu vegetácie na odtokové pomery v povodí nie je možné zanedbať vplyv vegetácie na množstvo odtekajúcej vody z povodia pri roztápaní sa snehu. BRECHTEL (1970) uvádza výsledky meraní z horskej oblasti Vogelsberg (nad 600 m.n.m.), kde je jasne vidieť, že les má dôležitú funkciu pri zabraňovaní rýchlemu topeniu snehu. Kým z lúk odtieklo za 1 deň 5,8 – 11,8 mm - vzhľadom na expozíciu svahu, zo smrekového lesa odtieklo 5,0 mm a z bukového 4,3 mm vody z topiaceho sa snehu bez ohľadu na expozíciu svahu. Ukázalo sa, že druhová skladba a vek porastu sú pre ukladanie snehu a jeho topenie veľmi dôležité. Kým porasty zložené z listnatých drevín môžu (vzhľadom na intercepciu mnohých snežení) spôsobiť, že sa až o 20 % menej snehu dostane na pôdu ako v bezlesí, ale väčšinou je to 5 – 10 %; ihličnaté porasty znižujú kvantitu snehových zrážok dopadajúcich na pôdu o 20 – 40 % (WISLER a BRATER 1959 ex BRECHTEL 1970). Táto skutočnosť tiež môže zohrávať veľmi dôležitú úlohu pri kvantitatívnom útlme jarných povodní. Je teda možné povedať, že v oblastiach s veľkými snehovými zrážkami má les rozhodujúci vodohospodársky význam tým, že znižuje maximá povodňových odtokov na jar a rozkladá odtok na dlhšie obdobie.

2.3. Protipovodňový potenciál lesných geobiocenóz

Odtok z lesa i povodňový prietok je ovplyvňovaný nielen lesnatosťou povodia, ale tiež vekom a hustotou (zakmenením), zastúpením drevín, štruktúrou a inými charakteristikami lesných porastov.
Charakteristiku lesa vyjadrujeme jeho príslušnosťou do skupiny lesných typov (slt), čo sú podľa A. ZLATNÍKA (1976) súborné geobiocenologické jednotky, združujúce ekologicky podobné lesné typy a používajú sa ako súborné mapovacie jednotky lesnícko-typologických máp. Reprezentujú skupiny typov geobiocenóz, podobné podľa zastúpenia hlavných druhov drevín a štruktúry rastlinných spoločenstiev i klimatických, pôdnych a hydrických podmienok. Vzájomné vzťahy medzi jednotlivými komponentmi geobiocenózy založené na výmene látok a energie sú konštantné. Z toho

usudzujeme na špecifické účinky jednotlivých slt na odtok – výslednú zložku obehu vody v lese. Niektoré slt môžu ovplyvňovať odtok rovnako, kým iné sú od nich odlišné.
Hydrický protipovodňový potenciál chápeme ako potenciálny účinok lesa na zmenšenie kulminačných povodňových prietokov. Jednotlivé slt môžu mať z tohto hľadiska podobný, alebo navzájom odlišný význam.
Podľa výsledkov výskumu zameraného na zisťovanie hydrického potenciálu lesa bolo vyhodnotených 12 najvýznamnejších slt, zastúpených na 93,6 % plochy skúmaných lesov (244 tis. ha), pričom najmenšia skupina slt bola zastúpená na viac ako 2 tisíc ha; predpokladáme, že vyhodnotený súbor lesných porastov vhodne reprezentuje celkový stav lesov Slovenska.

3. VODNÁ BILANCIA LESNÝCH EKOSYSTÉMOV

Bilancia vody v lesnom ekosystéme vyjadruje vzájomný vzťah medzi príjmovými zložkami vody (atmosférické zrážky) a výdajovými zložkami vody (evapotranspirácia, odtok do povrchových a podzemných vôd). V prípade, že atmosférické zrážky (Z) sú jediným zdrojom vody pre lesný porast môžeme všeobecnú rovnicu vodnej bilancie vyjadriť nasledovne:

$$Z = \Delta W + ET + O$$

Z dlhodobého hľadiska preto platí, že priemerný úhrn zrážok sa rovná evapotranspirácii (ET) a odtoku (priesaku) vody (O). ΔW je zmena zásob vody v pôde a fytomase.
Z hľadiska posudzovania účinku lesov na transformáciu zrážok do povrchového (hydrologického) odtoku musíme osobitne zohľadňovať dva prípady. V prvom prípade ide o hodnotenie vplyvu lesa na celkovú vodnosť povrchových tokov, kedy rozhodujúcu úlohu zohráva veľkosť celkovej evapotranspirácie (celkový výpar) lesných ekosystémov, ktorá vo vzťahu k množstvu spadnutých zrážok udáva koľko vody opúšťa lesný ekosystém vo forme povrchového resp. podzemného odtoku. V druhom prípade ide o hodnotenie vplyvu lesa z hľadiska jeho protipovodňovej účinnosti, a to najmä vo vzťahu k tvorbe povrchového odtoku (stekanie zrážkovej vody po povrchu pôdy), kedy rozhodujúci význam má hodnotenie okamžitého záchytu zrážok v korunách lesných porastov (intercepcia) a stav bylinnej vrstvy a vrstvy nadložného humusu, ktoré majú rozhodujúci podiel na infiltráciu padajúcich dažďových kvapiek do pôdneho prostredia. Pozrime sa preto bližšie na rozhodujúce procesy, ktoré v konečnom dôsledku určujú akú úlohu bude lesný ekosystém zohrávať v hydrologickom režime krajiny.
Kantor (1984) študoval v experimentálnom dospelom smrekovom a bukovom poraste v Orlických horách (890 m.n.m.) všetky zložky vodnej bilancie. Z priemerných ročných zrážok volnej plochy 1296 mm pripadlo v smrekovom poraste na sumárny výpar 487 mm = 37,6 % (intercepcia 212 mm = 16,3 %, transpirácia 195 mm = 15,1 %, evaporácia z pôdy 80 mm = 6,2 %). V bukovom poraste 344 mm = 26,5 % (intercepcia 86 = 6,7 %, transpirácia 181 mm = 13,9 %, , evaporácia z pôdy 77 mm = 5,9 % zrážok z volnej plochy). Povrchový odtok bol v dôsledku značnej retenčnej schopnosti lesných pôd v obidvoch porastoch zanedbateľný. Rozhodujúca časť zrážkových vôd odtiekla v podzemnej forme. Zo smrekového porastu to bolo ročne priemerne 773 mm, z bukového 909 mm. Experimentálnym sledovaním v Orlických horách bola potvrdená nevýznamnosť rozdielu evaporačných hodnôt medzi zrovnávanými porastami. Celoročný priemer pri smreku bol 80,2 mm = 6,2 %, pri buku 76, 8 mm = 5,9 % zrážok.

3.1. Intercepčný proces v lesných porastoch

WEIHE (1970) uvádza výsledky meraní zadržiavania vody zmáčaním povrchu drevín (intercepciou) v smrekovom a bukovom lese pri rôznom množstve zrážok. Skropné straty závisia od veľkosti zmočiteľného povrchu. Pre svoj väčší povrch spôsobujú smrekové porasty väčšiu skropnú stratu než bukové porasty. Veľmi dôležité sú pre nás najmä údaje z horskej – smrekovej oblasti Nemecka pri priehrade Kerspe, s bohatými zrážkami. Pre porovnanie sú však významné aj údaje z teplejšej a suchšej bukovej oblasti pri Schapdettene. Z publikovaných výsledkov vyplýva, že v teplejšej oblasti pri 6 mm zrážkach dochádza k úplnému zmočeniu korún smreka, pričom sa na pôdu dostane 3 mm zrážok. V chladnejšej horskej oblasti je skropná strata o 1 mm väčšia a predstavuje 4 mm. K úplnému zmočeniu je potrebných 8 mm zrážok.

Úplne iná situácia je v bukových porastoch. Kým celkové skropné straty pri smreku boli 4 mm, pri buku boli iba 0,5 mm a zmáčanie bukov je ukončené už pri 1 mm zrážke. Pri bukových porastoch steká zrážková voda po kmeni, v smrekových porastoch sa dostáva na pôdu odkvapkávaním z ihličiek pdstatne rovnomernejšie po pocelej ploche.
Určujúcim faktorom, okrem meteorologických činiteľov (intenzita zrážok, celkový úhrn, výskyt horizontálnych zrážok), najmä pre celkovú hodnotu intercepcie, má charakter korunovej vrstvy lesného porastu, resp. lesného porastu ako celku. Na základe početných pozorovaní (INTRIBUS 1977, KANTOR 1983, KREČMER 1973, KREČMER *et al.* 1981, PETRÍK 1991, VALTÝNI 1986, MINĎÁŠ 1999, MINĎÁŠ, ČABOUN 2002) možno konštatovať, že celkovú intercepciu lesného porastu determinujú z pohľadu lesného porastu nasledovné faktory:

- drevinové zloženie
- zápoj, resp. zakmenenie lesného porastu
- vek porastu.

Záverom tejto časti je potrebné upozorniť, že všetky predchádzajúce konštatovania vo vzťahu k intercepčnému procesu sa vzťahovali na procesy vypadávania kvapalných zrážok. Intercepčný proces v období vypadávania tuhých (najmä snehových) zrážok má odlišný charakter, čo je spôsobené nasledovnými faktormi:

- *dlhodobá akumulácia snehu*
- *nízka intenzita evaporácie (nízka teplota) intercepčne zadržiavaného snehu v korunách*
- *výrazný vplyv vetra (sfúkavanie) a teploty vzduchu (skvapkávanie) na intercepčné straty snehu.*

Pri bilančných hodnoteniach intercepcie nemožno z úvah pri vodnej bilancii lesných porastov zanedbať význam stekania zrážkovej vody po kmeňoch stromov. Rozhodujúcim faktorom, určujúcim množstvo stečenej vody po kmeňoch, je uhol nasadenia konárov a charakter kôry (nepriamo teda druh a vek dreviny). Markantne je tento fakt viditeľný pri porovnaní stoku po kmeni u smreka a buka. KANTOR (1981) uvádza pre buk hodnotu stoku po kmeni vo vegetačnom období 19,9 % zo zrážok voľnej plochy, zatiaľ čo pre smrek táto hodnota predstavuje len 1,4 %. Veľké diferencie v stoku po kmeni pre rôzne dreviny zistil na lokalite Mláčik aj PETRÍK (1986). Ten istý autor poukazuje aj na výrazné rozdiely v stoku po kmeni pre buk v rôznom postavení v poraste, kde výrazne dominujú stromy úrovňové a predrastavé.

3.2 Evapotranspirácia lesných ekosystémov

Pojem evapotranspirácia lesných ekosystémov v sebe zahŕňa tri dôležité zložky, a to tzv. neproduktívny (intercepčný) výpar (výpar zachytenej zrážkovej vody najmä v korunách lesných drevín), ďalej je to výpar z pôdy a nakoniec výpar z lesných drevín, krovín a bylín (výdaj vody rastlinami prevažne cez prieduchy listov a ihlíc - transpirácia).
Podkorunové zrážky predstavujú tú časť zrážkovej vody, ktorá preniká na pôdny povrch buď priamo alebo odkvapom (BIOKLIMATOLOGICKÝ SLOVNÍK 1980). Interakciou korún lesného porastu (napr. krovinového a bylinného podrastu) dochádza k záchytu určitého množstva zrážkovej vody, ktorá sa vyparí a predstavuje stratovú položku v rovnici vodnej bilancie. Tento proces záchytu zrážkovej vody lesným porastom nazývame intercepcia. Intercepcia je najčastejšie vyjadrovaná ako rozdiel zrážok voľnej plochy a podkorunových, prípadne porastových zrážok. Spravidla sa intercepcia zhodnocuje za dlhšie časové obdobie (vegetačné obdobie, rok), vtedy hovoríme o úhrnnej intercepcii ako o množstve zrážok zadržaných v korunách za určité obdobie.
Početné merania v Čechách a na Slovensku poukázali na odlišný priebeh intercepčného procesu v rôznych nadmorských výškach. KREČMER (1973) na základe analýzy viacročných meraní podkorunových zrážok v Orlických horách dokumentoval význam konkrétnych meteorologických podmienok pre priebeh intercepčného procesu a to najmä v spojitosti s výskytom horizontálnych zrážok z hmly. Rozdiely v intercepčnom procese pri výskyte hmly a bez výskytu hmly môžeme dokumentovať krivkou (resp. priamkou) prepúšťania zrážok, ktorá sa v prípade bez výskytu hmlových zrážok nachádza pod krivkou maximálneho prepúšťania, naproti tomu v prípade výskytu zrážok z hmly sa namerané hodnoty prepúšťania zrážok nachádzajú nad maximálnou hladinou.
V tejto súvislosti je potrebné spomenúť aj otázku, aký je ďalší osud intercepčne zachytenej vody v korunách, nakoľko, ak hovoríme o intercepcii ako o strate časti zachytených zrážok, je namieste

poukázať, akými procesmi dochádza k tejto strate. Je zrejmé, že zachytená voda v korunovom priestore lesného porastu podlieha tzv. neproduktívnemu (intercepčnému) výparu podobného charakteru ako výpar z voľnej vodnej hladiny (BENETIN 1983). Intercepčný výpar je determinovaný prakticky len vonkajšími meteorologickými činiteľmi (teplota, vlhkosť, prúdenie vzduchu) pre daný lesný porast.

Aj napriek tomu, že transpirácia lesných porastov predstavuje vo vegetačnom období podstatnú časť z celkového výparu z lesa, v lesníckom hydrologickom výskume je stanovenie jej hodnôt stále nedoriešeným a otvoreným problémom. Ako uvádza KANTOR (1990), v strednej Európe sa podiel evapotranspirácie z celkového množstva zrážok odhaduje na 40–90 %. Podiel evapotranspirácie na vodnej bilancii povodia, či ekosystému závisí prevažne od:

1) *klimatických pomerov stanovišťa, tj. od množstva a rozloženia zrážok, vlhkosti pôdy a od tzv. evaporačných požiadaviek ovzdušia, ktoré predstavujú spolupôsobenie viacerých meteorologických prvkov (teplota, vlhkosť, prúdenie a tlak vzduchu),*
2) *vegetačného krytu a jeho vlastností, nakoľko výpar z vegetácie (transpirácia) je určovaný nielen fyzikálnymi zákonitosťami, ale i anatomickými, morfologickými a fyziologickými vlastnosťami rastlín.*

Množstvo vody vyparené z lesných porastov je určované najmä drevinovým zložením, vekom, štruktúrou i zdravotným stavom porastov, tj. vzájomnými vzťahmi medzi lesným porastom a okolitým prostredím.

Výsledky týkajúce sa transpirácie celých lesných porastov sú ťažko porovnateľné. Transpiráciu lesných porastov môžeme charakterizovať len určitým rozmedzím. BRECHTEL a LENHARDT (*ex* KANTOR 1989) zostavili údaje o transpirácii porastov európskych drevín z niekoľkých desiatok literárnych prameňov. Podľa nich sa pohybujú ročné hodnoty transpirácie v bukových porastoch v rozpätí 290–497 mm (v priemere 313 mm za rok) a v smrekových porastoch 100–516 mm (v priemere 286 mm za rok). Transpiráciou bukových a smrekových porastov sa v Orlických horách zaoberal KANTOR (1983, 1984, 1989). Podľa neho transpirácia dospelých bukových a smrekových porastov v oblasti stredoeurópskych stredohôr dosahuje 200 až 250 mm za rok. V zhode s týmto tvrdením sú i zistenia TUŽINSKÉHO (1987), ktorý stanovil evapotranspiráciu bukového porastu v Malých Karpatoch 223 mm za rok. Aktuálna transpirácia na hektár modelového bukového porastu vypočítaná na základe meraných hodnôt transpiračného prúdu v roku 1996 v lokalite Poľana – Hukavský grúň (850 m n. m.) na troch modelových stromoch buka je 258 mm za vegetačné obdobie (mesiace máj až október) pri potenciálnej evapotranspirácii 483 mm a zrážkovom úhrne 735 mm (STŘELCOVÁ & MINĎÁŠ 2000). Z úhrnu zrážok porast transpiroval 35 % a z potenciálnej evapotranspirácie to predstavovalo 46 %. Priemerná denná transpirácia za celé vegetačné obdobie bola 1,6 mm.

3.3 Infiltrácia zrážkovej vody do lesných pôd

Po prechode jednotlivými vrstvami nadzemnej časti lesného porastu sa zrážková voda dostáva do kontaktu s pôdnym prostredím, kde dochádza k výraznej transformácii jej ďalšieho pohybu. Značná vertikálna dynamika zrážok podmienená voľným gravitačným pohybom (čiastočne zmierňovaný kontaktom s vegetačným krytom) sa v styku s pôdou výrazne spomaľuje. Zrážková voda po dopade na pôdu steká po jej povrchu alebo vsakuje do pôdy, kde sa transformuje do jednej z foriem pôdnej vody. Z hľadiska vodnej bilancie má najväčší význam kapilárna (rastliny) a gravitačná voda (odtok do hydrogeologických štruktúr).

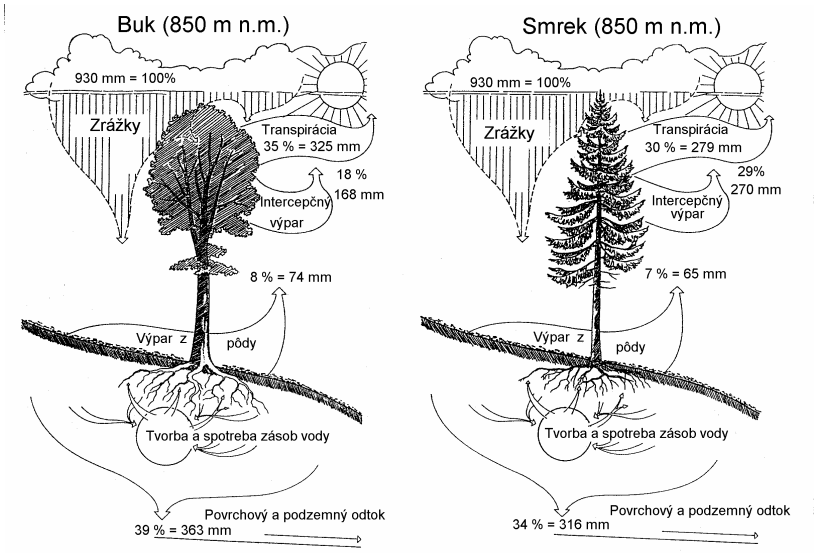
Proces infiltrácie je ovplyvnený jednak intenzitou a časovým trvaním zrážok a jednak charakterom pôdneho prostredia, najmä zrnitostným zložením pôdy a počiatočným vlhkostným stavom. Priepustnosť pre vodu je dôležitou vodno-fyzikálnou vlastnosťou, ktorá sa pri rovnakej pôde mení podľa jej vlhkosti, čím je pôda vlhšia, tým je menšia jej priepustnosť pre vodu (ŠÁLY 1988). Práve vzhľadom na rôzny vlhkostný stav pôd vykazujú experimentálne merané hodnoty aj na tom istom stanovišti značný rozptyl hodnôt. Ako príklad môžeme uviesť výsledky meraní KANTORA (1984) z obdobia 1977-81, kde sa hodnoty vertikálneho priesaku vody v hĺbke 70 cm pohybovali od 22,9 až do 51,6 % zrážok z voľnej plochy pre smrekový porast a od 39,9 % (v extrémne suchom roku) do 65 % zrážok z voľnej plochy pre bukový porast. Päťročný priemer priesaku vo vegetačnom období bol v smrekovom poraste 311,6 mm (42,6% letných zrážok) a 409,5 mm (56,3% zrážok). Uvedené výsledky zároveň dokumentujú rozdiely v kvantite priesakových vôd vplyvom rôzneho drevinového zloženia skúmaných porastov. Ešte väčšie rozdiely je možné vidieť z celoročných priemerných údajov

na experimentálných plochách v Orlických horách. V smrekovom poraste presiaklo pôdou a v podzemnej forme odtieklo 59,6 % zrážok z voľnej plochy. V bukovom poraste to bolo až 70,1 % zrážok. Pri buku tak došlo k zvýšeniu priesaku a podpovrchového odtoku o 10,5 % v porovnaní so smrekovým porastom. V absolútnych hodnotách bolo v sledovanom období z každého ha dospelého bukového porastu v Orlických horách k dispozícii ročne o 1350 m^3 vody viac než z porastov smrekových.

Ako miera vsakovania vody do pôdy slúži koeficient infiltrácie. Jeho analytické vyjadrenie pomocou rovníc na vyjadrenie pohybu vody v nenasýtenom pôdnom prostredí je pomerne zložité, preto sa na vyjadrenie časového priebehu infiltrácie používajú empirické vzťahy (VALTÝNI 1986). ŠÁLY (1988) uvádza hodnoty vsakovacích koeficientov v rozpätí 1-5 mm za hodinu pre ílovité pôdy, pre ílové hliny 10-50 $mm.h^{-1}$, pre hliny 50-100 $mm.h^{-1}$, pre piesčité hliny 100-150 $mm.h^{-1}$ a pre piesky viac ako 200 $mm.h^{-1}$.

V tejto časti je potrebné spomenúť aj problematiku povrchového odtoku, ktorý chápeme ako odtok vody, ktorá neinfiltrovala do pôdneho profilu a dosiahla vodný tok po pôvodnom pôdnom povrchu. Vznik povrchového odtoku a jeho množstvo sú hlavným faktorom, ktorý ovplyvňuje hydrologický režim povrchových tokov (maximálne prietoky) pri intenzívnych resp. dlhotrvajúcich zrážkach. Povrchový odtok je proces, na ktorého intenzitu v lese vplýva celkový úhrn i intenzita zrážok, sklon a expozícia svahu, drevinové zloženie, vek a štruktúra (zakmenenie, zápoj) lesného porastu i typ bylinnej vrstvy, hrúbka a forma nadložného humusu i pôdneho humusu a v konečnom dôsledku priepustnosť pôdy (teda jej zrnitostné a hydrofyzikálne vlastnosti) i stupeň jej premrznutia, čo rozhoduje o infiltrácii vody do pôdy (MIDRIAK 1992). Uvedený autor pre hospodárske podmienky lesných porastov ihličnatých drevín na Slovensku (smrek, jedľa, borovica, smrekovec) uvádza hodnoty od 22 do 782 (priemerne 255) $l.ha^{-1}$ za deň, čo je 0.07-2.52% (priemerne len 0.99%) z množstva zrážok, ktoré dopadli na voľnú plochu bez lesného porastu. V porastoch listnatých drevín (buk, dub, hrab) na Slovensku povrchove odteká 34 - 1080 (priemerne 323) $l.ha^{-1}.deň^{-1}$, t.j. 0.14-5.03% (priemerne 1.52%) zo zrážok na voľnej ploche (MIDRIAK 1992). Tieto údaje sa vzťahujú na lesné porasty s normálnym zápojom a nenarušeným stavom vrstvy pokryvného humusu.

Konkrétny prípad rozloženia zrážok a vodnej bilancie lesného porastu na príklade smrekového a bukového porastu v orografickom celku Poľana (850 m n.m.) ilustruje obr.1. Najväčšia časť vody z ročného úhrnu zrážok sa spotrebuje na fyzikálny a fyziologický výpar (intercepcia, transpirácia a evaporácia). Menšia časť vody infiltruje do pôdneho prostredia resp. odteká po povrchu pôdy. Len zanedbateľné množstvo vody sa akumuluje v pôde a fytomase vo forme zásob. Z predloženého obrázku (obr. 1) je zrejmý vplyv drevinového zloženia na distribúciu jednotlivých prvkov vodnej bilancie lesných ekosystémov.



Obr.1 Kolobeh vody a vodná bilancia dospelého bukového a smrekového porastu. (Poľana – Hukavský grúň) (STŘELCOVÁ, MINĎÁŠ 2000)

Fig. 1 Hydrologic cycle and *water balance of adult beech and spruce forest. (Poľana – Hukavský grúň)* (STŘELCOVÁ, MINĎÁŠ 2000)

4. SPRACOVANIE VÝSLEDKOV MERANÍ VODNEJ BILANCIE NA VÝSKUMNEJ PLOCHE GRÚNIK (POVODIE KYSUCE) Z HĽADISKA KVANTITY A KVALITY PRIESAKOVÝCH VÔD

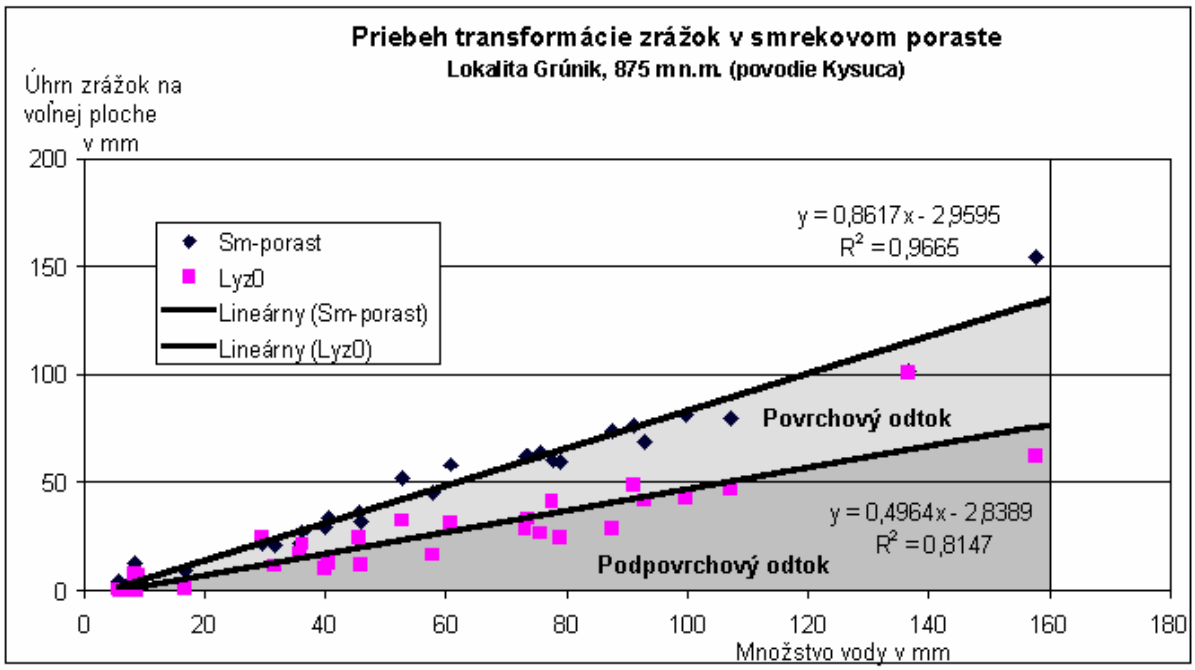
Na trvalej výskumnej ploche na Grúniku (horná časť povodia Predmieranky) v hrebeňovej časti Moravsko-sliezskych Beskýd sa v smrekovom poraste (vek 90 rokov, zápoj 75%) inštalovali platňové lyzimetre, a to na rozhraní nadložného humusu a minerálnej pôdy (celkove v 3 bodoch), v hĺbke 15 a 35 cm. Pôdnym predstaviteľom je modálny podzol, bylinný kryt je tvorený typickými druhmi kyslého radu (Vaccinium, Deschampsia a pod.) s pokryvnosťou 90%. Sklon svahu je 20-30°. Z lesníckeho hľadiska predstavuje tento porast typického predstaviteľa kyslých smrečín vonkajšieho flyšu.
V priebehu rokov 2000 až 2002 sa realizovali odbery lyzimetrických vôd v pravidelných dvojtýždňových periódach. Kumulatívne vzorky vôd sa analyzovali v laboratóriu LVÚ. Z nameraných údajov sa analyzovali kvantitatívne hodnoty a priebeh priesaku zrážkovej vody v jednotlivých pôdnych profiloch. Identifikoval sa významný vplyv vrstvy nadložného humusu a bylinného krytu na povrchový odtok (v zmysle Midriaka, odtok zrážkovej vody po povrchu pôdy) v závislosti od úhrnu zrážok. Pri analýze kvality priesakových vôd sa zistil dominantný vplyv pôdy na transformáciu chemického zloženia zrážkovej vody.

4. 1 Výsledky meraní podkorunových zrážok - intercepcia

Na tej istej lokalite sa realizuje aj sledovanie atmosférických zrážok na voľnej ploche a podkorunové zrážky v smrekovom poraste. Na základe nameraných údajov sa odvodili intercepčné krivky diferencovane podľa štruktúry porastu. Na základe veľkosti jednotlivých intercepčných strát sa identifikovali situácie s pravdepodobným výskytom hmlových zrážok (v zimnom období sa doplnkovo sledovali aj námrazové javy). V prípade kvality zrážkových vôd sa odvodili faktory obohatenia pre jednotlivé sledované ióny.
Podľa vypočítanej rovnice intercepčnej priamky môžeme konštatovať, že skropná kapacita korún sledovaného smrekového porastu predstavuje hodnotu 3 mm. Priemerná intercepcia tohto porastu reprezentuje hodnotu 14% z úhrnu zrážok voľnej plochy, 86% zrážok teda preniká korunovou vrstvou lesného porastu. Táto hodnota intercepcie je v porovnaní s hodnotami pre smrekové porasty (20-50%) pomerne nízka a dokladuje nezanedbateľný význam horizontálnych zrážok v tejto hrebeňovej časti Moravsko-sliezskych Beskýd. Ojedinele sa vyskytli aj prípady, kedy úhrny zrážok v poraste boli vyššie ako na voľnej ploche.

4. 2 Výsledky meraní lyzimetrických vôd - priesak

Obr.2 dokumentuje doterajšie výsledky hodnotenia procesu intercepcie a priesaku zrážkovej vody cez vrstvu nadložného humusu v horskom smrekovom poraste. Rozdiel medzi tými dvomi regresnými priamkami nám určuje množstvo vody, ktoré je transformované do zásoby vody (zvýšenia obsahu vody) vo vrstve nadložného humusu a do povrchového odtoku (v zmysle Midriaka: odtekanie zrážkovej vody po povrchu pôdy). Z tohto hľadiska sú zaujímavé výsledky pre dva odlišné prípady výskytu vysokého zrážkového úhrnu. Prvý prípad je zo začiatku augusta 2000, kedy v priebehu 2 týždňov spadlo 137 mm zrážok, toto množstvo zrážok však bolo spojené s cyklonálnymi zrážkami, preto dochádzalo k plynulému zasakovaniu zrážok do pôdy. Rozdiel medzi podkorunovými zrážkami a hodnotou priesaku na hornej hranici minerálnej vrstvy pôdy bol len 1,5 mm, zvyšných 102 mm sa dostalo do pôdy. Odlišný prípad bol z júla 2001, kedy v druhej polovici mesiaca spadlo 158 mm, avšak prevažne vo forme intenzívnych zrážok búrkového charakteru, čo spôsobilo, že rozdiel medzi hodnotou podkorunových zrážok a množstvom priesakovej vody pod vrstvou nadložného humusu bol až 92 mm, z čoho cca 85-90 mm sa transformovalo do povrchového odtoku a zapríčinilo vznik lokálnych povodní.



Obr.2 Priebeh transformácie zrážok v smrekovom poraste na TVP Grúnik (Minďáš, Čaboun 2002)

Fig. 2 Running of precipitate transformation in spruce forest on PRP Grúnik(Minďáš, Čaboun 2002)

5. OBHOSPODAROVANIE LESOV VO VZŤAHU K VODNEJ BILANCII POVODIA

Obhospodarovanie lesov vo vzťahu k vodnej bilancii povodia a celkovo k charakteru hydrickej účinnosti lesov prináša so sebou celý rad rizikových faktorov. Na druhej strane rozumne usmernená hospodárska činnosť vo vodohospodársky významných oblastiach môže priniesť kladné, často aj priamo ekonomicky vyčísliteľné úžitky (napr. zlepšenie kvality vody, a tým zníženie nákladov na jej úpravu). Z tohto hľadiska najrizikovejším prvkom sa javí ťažbovo-obnovná činnosť, a to najmä holorubná forma rúbaňového hospodárskeho spôsobu. Je potrebné poznamenať, že existencia samotného holorubu ešte nemusí znamenať výraznejšiu zmenu odtokových pomerov. Negatíva tejto činnosti sa objavujú až v súvislosti s poškodzovaním a narušením kompaktnosti povrchu pôdy pri odvoze dreva. Nadväzujúcim faktorom, ktorého význam je ešte stále podceňovaný, je lesná sieť približovacích a odvozných ciest. Výsledky z oblasti moravskej časti Beskýd ukázali, že založenie pásových holorubov nespôsobilo badateľné zmeny v odtoku. Ale následné zriadenie prístupových komunikácií pre otváranie porastov k ťažbe viedlo okamžite k ohromnému zvýšeniu erózneho odnosu pôdnych suspenzií z neupravených trás a nespevnených násypoch až o 300%.

5.1 Vplyv holorubov na vodnú bilanciu

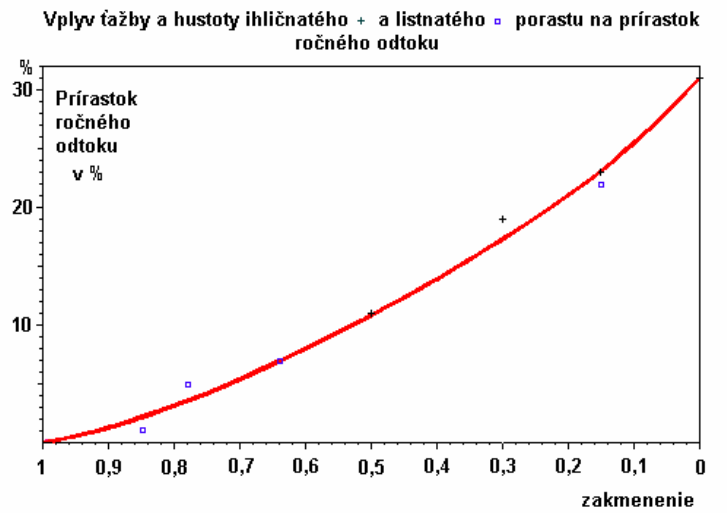
KANTOR (1992) uvádza, že na základe 10 ročných pozorovaní vodnej bilancie smrekového porastu v Orlických horách pred obnovou a po jeho obnove holorubom, že celkový výpar dospelého porastu bol v priemere 408 mm za vegetačné obdobie a nezaistená 1 – 5 ročná kultúra vykazovala 307 mm za vegetačné obdobie. Povrchový odttok bol úplne zanedbateľný nie len v dospelom poraste, ale aj v kultúre založenej na holorube. Už vo veku 15 – 20 rokov sa vodná bilancia smreku stabilizuje a dosahuje približne úroveň dospelých porastov.

V protiklade k dospelým porastom sú naše poznatky o hydrických účinkoch najmladších vývojových fáz lesných porastov dosiaľ veľmi malé. Nutnosť riešenia tejto otázky má veľký význam najmä v imisných oblastiach a na rozsiahlých kalamitných plochách, kde vznikajú nové pokolenia lesa.

Intercepcia a transpirácia kultúr v prvých rokoch po výsadbe je úplne zanedbateľná, takže z výdajových položiek ovplyvňuje vodnú bilanciu iba výpar z pôdy a z prízemnej vegetácie. Jeho hodnoty v úplne zaburinených kultúrach kolíšu od 270 do 390 mm za vegetačné obdobie (FEDOROV,

1977; RAEV a SERAFIMOV 1980 ex KANTOR 1987). Zvýšený odtok vody na odlesnenej časti povodia môže byť zaznamenaný v dôsledku nižšieho celkového výparu v prvých rokoch po ťažbe (KŘEČEK 1980), čo však čoskoro zaniká vzhľadom k skorému zarasteniu plochy burinou a novým porastom (KANTOR 1980).
Závažnou otázkou hydrickej účinnosti holorubu, resp. mladých porastov založených po holoruboch a kalamitách je možnosť vzniku povrchového odtoku zrážkových vôd s následnou eróziou. Väčšinou sa povrchový odttok aj na odlesnených plochách koncentruje len na transportnú sieť (odvozné cesty, zvážnice, približovacie cesty a linky v miestach, kde bola ťažkými mechanizmami poškodená vrchná vrstva pôdy. Poznatky o vplyve transportnej siete vrátane približovacích liniek na odtokové pomery imisných holorubov zhrnul ŠACH (1990). Dlhodobý a intezívny výskum síce priniesol množstvo výsledkov, aj kvalitatívne nových pohľadov. Napriek tomu sú naše znalosti o mimoriadne zložitých hydrických účinkoch lesa stále nedostatočné.
V súvislosti s odklonom od holorubnej formy rúbaňového hospodárskeho spôsobu v prospech podrastových foriem možno predpokladať najmä vo flyšovej oblasti kladné efekty na hydrické účinky lesov, čo však bude v značnej miere podmienené dodržiavaním technologickej disciplíny a ekologického prístupu najmä v procese ťažby a odvoze dreva a sprístupňovaní porastov. Ináč nebude možné znižovať riziko eróznych strát a rozkolísanosti prietokov.

5.2 Vplyv ťažby a hustoty porastu na odtok vody



Obr.3 Vplyv ťažby a hustoty lesných porastov na prírastok ročného odtoku

Fig.3 Influence of cuting and forests density on growth of annual waterflow

Vplyv ťažby a zakmenenia na ročný odtok z povodia bol sledovaný v ihličnatých aj listnatých porastoch najmä v USA. Na základe údajov WILMA a DUNFORDA (1948), REINHARTA, ESCHNERA A TRIMBLA (1963), ktoré uvádza BRECHTEL (1970) sme zostrojili graf vplyvu ťažby a hustoty ihličnatého a listnatého porastu na prírastok ročného odtoku.
V modelovom povodí horného toku Predmieranky (povodie Kysuce) sa v priebehu vegetačného obdobia uskutočnil terénny prieskum výskytu eróznych javov a to jednak v porastoch v štádiu obnovy (realizácia obnovných ťažieb) a jednak na lesnej dopravnej sieti. Urobila sa fotodokumentácia zistených javov a urobil sa aj ich priestorový výskyt. Z terénneho zistenia vyplynulo, že najrizikovejšími faktormi tvorby povrchového odtoku bola sieť približovacích ciest a pracovných polí spojených s realizáciou obnovných ťažieb príp. odstraňovaním následkov veľkoplošných kalamít (veterné, hmyzie). Tieto faktory priamo súvisia s aktivizáciou tzv. sekundárnej hydrickej siete, ktorá sa stáva aktívnou v čase väčších zrážkových udalostí. Primárne ju tvoria povrchovo narušené časti spravidla odlesnených plôch po ťažbe (jazdné linky približovacích mechanizmov), ktoré sa zbiehajú do jednej zbernice, ktorou je smer približovania dreva (približovacia linka). Tu už dosahuje povrchový odtok takú intenzitu, že v priebehu 1-2 rokov po ťažbe dochádza k značnému odnosu organickej aj

minerálnej zložky pôdy a obnažuje sa pôdny skelet. Tieto erózne ryhy ústia v určitom mieste na spevnené lesné odvozné cesty (penetrované asfaltom), čím sa povrchový odtok značne urýchľuje a rýchlo sa napája na primárnu hydrickú sieť (údolný tok).

6. ZHRNUTIE A NÁVRH VHODNÝCH METÓD OBHOSPODAROVANIA LESA Z HĽADISKA PLNENIA PROTIPOVODŇOVEJ FUNKCIE

Značné množstvo experimentov z povodí s rôznym stupňom lesnatosti, rôznym drevinovým zložením, spôsobom obhospodarovania lesov a pod., čo umožnilo určitý stupeň generalizácie poznatkov vzťahu lesa a odtoku. Všeobecne sa potvrdilo, že lesy majú (MRÁČEK, KREČMER, 1975):

- mimoriadnu schopnosť zadržiavať zrážkovú vodu v odtoku (*retenčnú schopnosť*),
- hromadiť zrážkovú vodu na rozsiahlom povrchu drevín, v pôdnej pokrývke a v samotnej pôde (*akumulačnú schopnosť*),
- spomaľovať odtok vody premenou povrchového odtoku v odtok podzemný (*retardačnú funkciu*).

Konkrétny účinok lesných porastov v určitom povodí môže byť veľmi špecifický, nakoľko odtok je determinovaný komplexom faktorov, z ktorých viaceré môžu pôsobiť protichodne a komplikujú tak správanie sa celého zrážkovo-odtokového systému v danom povodí. Určujúcimi faktormi výsledého odtokového množstva a jeho časových zmien sú najmä:

- *geomorfologická charakteristika reliéfu* (sklonitosť, reliéfova členitosť a pod.),
- *hydrogeologická stavba povodia* (charakter priepustnosti hornín, prítomnosť zvodnených vrstiev a pod.),
- *meteorologické podmienky* (dĺžka trvania a intenzita zrážok, spolupôsobenie horizontálnych zrážok a pod.),
- *vodná bilancia lesných porastov* (intercepcia, zásoby pôdnej vody, stav lesnej cestnej siete vo vzťahu k povrchovému odtoku a pod.),
- *celková lesnatosť povodia a štruktúra nelesnej krajiny povodia* (MINĎÁŠ a kol., 1998).

Ako uvádza aj Švihla (2001), nakoľko vplyv lesa na vodu v krajine nie je jednoduchý, je ťažké jeho zovšeobecnenie. Preto je dôležité venovať pozornosť úplnej hydrologickej charakteristike vplyvu lesa na odtokové pomery v malých povodiach. Veľké lesné komplexy zvyšujú celkový úhrn zrážok oproti bezlesiu maximálne o 5 - 6 %. Na horách lesy zvyšujú zrážkový úhrn zachytávaním horizontálnych zrážok. Úhrnný odtok z väčších lesních celkov je spravidla nižší než celkový odtok z bezlesia (z polí a luk). Celkový ročný objem odtoku z lesov predstavuje v priemere 0,75 - 1,04 odtoku z poľnohospodárskych kultúr. Nižší celkový odtok vody z lesných porastov oproti bezlesiu je spôsobený vyššou intercepciou lesných porastov oproti lúkam alebo poľným kulturam. Nedokázalo sa v našich podmienkach s dostatočnou štatisticky významnu preukaznosťou, že by holoruby, resp. kalamity v zalesnených povodiach významne ovplyvnili odtok z povodia. Spôsobuje to rýchla regenerácia nízkych porastov, ktoré pomerne rýchlo (za 2 – 5 rokov) prevezmú vo veľkej miere hydrickú funkciu lesného porastu. Už vo veku 15 – 20 rokov sa vodná bilancia smreku stabilizuje a dosahuje približne úroveň dospelých porastov.

Les vďaka vlastnostiam lesnej pôdy umožňuje infiltráciu vody do pôdy a znižuje povrchový odtok, a teda aj riziko erózie. Pretože vrstva pôdy je relatívne tenká a vodivá s vysokým sklonom nepriepustného podložia, tvorí sa podpovrchový odtok, ktorým sa napájajú podzemné vody, pramene a povrchové toky.

Vplyv vegetácie (lesa) na vodnú hodnotu snehu nie je vždy rovnaký, ale v zásade sa mení v období akumulácie a v období topenia snehu. V období akumulácie bývajú vplyvom zachytávania snehu v korunách stromov (intercepcie) zásoby snehu na otvorených plochách vyššie ako v lese. V období topenia snehu je v lese príkon energie oproti voľnej ploche nižší, takže snehová pokrývka sa tam topí pomalšie a dlhšie ako na otvorenej ploche.

Na záver je možné konštatovať, že lesné komplexy znižujú extrémity zrážok - znižujú veľkosť odtoku veľkých vôd a zvyšujú veľkosť odtoku nižších. V našich pomeroch môže lesný porast spôsobiť zníženie maximálneho odtoku až o 50 % (Dub 1959). Naopak v najsuchších mesiacoch bol odtok z lesa 1,43-krát vyšší než odtok z polí a 1,58-krát vyšší než odtok z trvalých trávnych porastov (Švihla 2001). K celkovému výparu uvádza Švihla (2001), že podľa prehľadu zverejneného KANTOROM a KLÍMOM (1997) pre oblasť pahorkatín centrálnej Evropy sa celkový výpar pohybuje v ihličnatých

porostoch mezi 506 - 687 mm.rok^{-1} s priemerom 554 mm.rok^{-1} a v listnatých porastoch 390 - 673 mm.rok^{-1} s priemerom 508 mm.rok^{-1}. Pre zrovnanie výpar z trvalých trávnych porastov sa v týchto podmienkach pohybuje mezi 350 - 550 mm.rok^{-1}, priemerne 450 mm.rok^{-1}. V horských oblastiach je to samozrejme o čosi menej, vzhľadom na príkon slnečnej energie.

V našich prírodných podmienkach môže zachytiť nadzemná časť dospelého lesa vo väčšine prípadov okolo 5 mm, maximálne 10 mm dažďovej vody. Kapacita nasýtenia krovinatej, bylinnej vrstvy a vrstvy opadanky môže byť veľmi rozdielna a zväčša sa pohybuje na úrovni 5-20 mm. Pre najrozšírenejšie lesné pôdy na Slovensku môžeme uvažovať s retenčnou kapacitou 30-40 mm. Spolu približne 60 mm. Celková retenčná kapacita lesných porastov pri krátkodobých intenzívnych zrážkach môže dosahovať až 70 mm. Táto hodnota platí pre stav 100 %-nej lesnatosti v krajine a pre zakmenenie 1,0 (resp. zápoj 100%). Súčasťou lesných komplexov sú však aj bezlesé plochy (lesné cesty, odvozné miesta, lúky, rúbaniská), ktorých retenčná kapacita je oveľa nižšia, prípadne až nulová (penetrované lesné cesty), čím sa celková retenčná kapacita lesnej krajiny znižuje. Ak sa teda vyskytne extrémny dážď v krátkom časovom intervale s výdatnosťou napr. 100 mm, po povrchu odtečie zo zalesnenej časti povodia len rozdiel medzi výškou dažďa a momentálnou retenčnou (zadržiavacou) kapacitou lesného ekosystému, minimálne 30 % vody, čo v tomto prípade predstavuje 30 mm. Uvedenej sumárnej kalkulácii zodpovedajú aj údaje VALTÝNIHO a KAZDU (2002), z podobnej zrážky v povodí Malá Svinka v roku 1998, kedy zadržali lesné porasty v hornej časti 68 mm vody, kým lúky a pasienky len 46 mm vody, teda približne 67 % z množstva vody zadržaného lesom. Výrazne horšiu schopnosť zadržiavania vody má však najmä orná pôda v období bez vegetačného krytu. Podobne na trvalej výskumnej ploche na Grúniku (horná časť povodia Predmieranky) v hrebeňovej časti Moravsko-sliezskych Beskýd sa v 60 ročnom smrekovom poraste v druhej polovici júla 2001, kedy spadlo 158 mm prevažne vo forme intenzívnych zrážok búrkového charakteru, sa v lesnom ekosystéme zachytilo a pretransformovala na podpovrchový odtok 66 mm zrážok.

Pokles retenčnej kapacity krajiny s klesajúcim percentom lesnatosti klesá. Spočiatku pomalšie, do hodnoty 50-60 %-nej lesnatosti, následne - pod touto hranicou je pokles s lesnatosťou oveľa výraznejší.

Problematika infiltrácie zrážkovej vody v pôde úzko súvisí so stavom vrstvy nadložného humusu. Ak v procese hospodárenia v lese dôjde k narušeniu tejto vrstvy okamžite dochádza k rapídnemu zvýšeniu povrchového odtoku a zvýšeniu erózneho odnosu, a tým aj k rozkolísanosti prietokov. Kľúčovým faktorom utvárania odtoku pri prívalovom daždi je vsak (infiltrácia), ktorý rozhoduje o retencii a tým aj o veľkosti efektívneho dážďa, ako aj o tom, či bude zrážková voda odtekať pomaly pôdou, či rýchlo po povrchu. Pri dlhotrvajúcich dažďoch s dobou trvania niekoľko dní, s veľmi malou intenzitou, zasahujúcou územie o rozlohe niekoľkých stoviek až tisíc km^2, sa rozhodujúcou mierou podieľa na veľkosti odtoku doba trvania dažďa a rýchlosť postupu zrážkovej vody k záujmovému profilu. Veľkosť povodia, ktoré se podieľa na odtoku, je tým väčšia, čím viac rastie doba trvania dažďa a jej zodpovedajúca doba koncentrácie.

Aj lesný ekosystém (v ideálnej štruktúre) má teda svoje kapacitné možnosti zachytávania zrážok (do 50 – 70 mm) a potom dochádza k povrchovému odtoku. Ak sa však vyskytnú opakované silné dažďe, môže dôjsť až k extrémnej situácii, že povrch drevín, pôdy a nedrevnej vegetácie je zmočený a pôda je nasýtená vodou, retenčná schopnosť lesa klesne na nulu a každá ďalšia zrážka odteká ako povrchová voda. V takomto prípade má les už iba spomaľujúcu funkciu pre odtekajúcu vodu. Z hľadiska záchytného v takomto prípade pomôžu už iba technické opatrenia.

Z flyšového súvrstvia voda vyteká v podobe bariérových alebo puklinových prameňov, alebo skryto napája povrchový tok. Problematika odtoku vody po svahu v malých povodiach, ako vyplýva aj z práce HLAVČOVEJ, HOLKU, SZOLGAYA (2001), nie je taká jednoduchá ako by sa zdalo. Preto si vyžaduje najmä v spojitosti s vplyvom vegetácie na odtokové pomery aj v budúcnosi podrobnejší systematický výskum.

Z hľadiska obhospodarovania je dôležité uvedomiť si, očakávanú dôležitú vodohospodársku a ďalšie hydrické funkcie lesa (ČABOUN 1996), čo môže uspokojivo a dlhodobo plniť iba les zdravý, zodpovedajúci daným stanovištným podmienkam, teda les ekologicky stabilný. Dôležita zásada pre vytvorenie ekologicky stabilného lesa je priblížiť ich štruktúru prirodzenej druhovej, vekovej a priestorovej štruktúre lesa. Aj z dlhodobej analýzy v povodí Červíku (LOCHMAN a kol. 1998 ex ŠVIHLA 2001) vyplynulo, že vekové a druhové rozrôznenie lesných porastov je pre veľkosť odtoku podstatné. Veľmi dôležitý je poznatok, že bezlesie dáva oproti zalesnenej pôde o 47 % vyššiu

kulmináciu veľkých vôd. Zalesnením bezlesia sa teda zníži kulminácia veľkých vôd približne 1,5-násobne.
Aj KREŠL (2001) uvádza, že celková retencia v zalesnenom povodí môže predstavovať priemerne 70 mm a viac. Je možné teda predpokladať, že správne obhospodarovaný lesný porast môže počas počiatočných 30 min. trvania dažďa zadržať a previesť do pôdy všetkú zrážkovú vodu (z prívalového dážďa) vyskytujúcej se s pravdepodobnosťou dosiahnutia, resp. i prekročenia raz za sto rokov. Pri dlhotrvajúcich dažďoch s intenzitou menšou, než je intenzita vsaku, se nemôže uplatniť vplyv rôznej kvality lesného porastu ani lesnej pôdy a v prvých hodinách dažďa je rozhodujúcim činiteľom iba retenčná kapacita pôdy. Nepriaznivo se pri retenčnej kapacite lesných pôd prejavuje narušovanie nadložného humusu a zhutňovanie pôdy pri ťažbe a sústreďovaní dreva. Podobne nepriaznivo sa prejavuje aj cestná sieť, která skracuje dĺžku nesústredeného odtoku, znižuje vsak, povrchovú akumuláciu a zárezmi prevádza podpovrchový odtok na povrchový, čím urýchľuje odtok.
Zachar (2001) uvádza, že výskumami bolo zistené, že les znižuje odtok z lejakových vôd najmä na nepriepustných pôdach. Čím je pôda a podložie menej priepustné, tým je rozdiel v odtoku medzi lesným a poľnohospodárskym územím väčší. Ďalej píše, že okrem lesa, trvalých trávnatých porastov a poľnohospodárskych kultúr má pri ochrane proti povodniam dôležitý význam sieť ciest, najmä ciest na lesnom a poľnom území. Ich hustota (dĺžka) rozmiestnenie a odvodňovacia schopnosť rozhodujú o rýchlosti odtoku vody z povodia, a tým o deštrukčnom účinku vody.
Spomínaný autor ďalej upozorňuje, že osobitná pozornosť by sa mala zamerať na hospodárenie v lesoch, vypracovať súbor protipovodňových a iných ochranných opatrení na lesnom území, ktoré by sa týkali spôsobu hospodárenia, zákazu holorubov na väčších plochách, zalesňovaním nechránených plôch vzniknutých ťažbou, pohromami, imisiami, zamedziť drancovaniu lesa a vylúčiť spôsoby porušovania pôdy ťažkými mechanizmami a inými.

Použitá literatúra:

Benetin, V. (1983): Analytické riešenie vzťahu medzi transpiráciou a výparom z intercepcie. Vodohospodársky časopis, 31, č. 3-4, s. 354-368.

Bioklimatologický slovník - terminologický a explikativní. Academia, (1980), Praha, , 244 s.

Brechtel, H.M. (1970): Komplexní úprava povodí. Nová hlediska při obhospodařování krajiny. Zprávy les. Výsk. 16, , 2, s. 1 – 8

Bucha,T. a kol. (1996): PHARE MERA Forest ecosystems Mapping Sub-Project. Záverečná správa projektu, LVÚ Zvolen, 137 p.

Bucha,T.- Vladovič, J. (1997): Teroretická a praktické východiská uplatnenia DPZ a GIS ako súčasti klasifikácie stanovištnej vhodnosti drevinového zloženia. Konferencia Les-drevo-životné prostredie 8 - 11.september 1997, Zborník referátov, sekcia č.3, s.71-78.

Bucha,T.Botár,I.,Vladovič,J.,Meňuš,M.,Machková,N.,Brunclíková,I. (1997):Drevinové zloženie Slovenska. Mapa 1:500000, SAŽP B.Bystrica,.

Čaboun, V. (1996): Ekológia lesa. Vysokoškolský učebný text pre FEE TU Zvolen, TU Zvolen, 194 s.

Čaboun, V. (2003)**:** Vplyv lesných ekosystémov na odtokové pomery z povodia. Výskum vplyvu antropogénnych faktorov na vodné systémy. VÚVH Bratislava, (elektronická forma), 17 str.

Chlebek, A., Jařabáč, M. (1996): Význam lesů pro ochranu před povodněmi. Lesnická práce, 3/96, s.80-81.

Dub, O. (1963): Hydrológia, hydrografia, hydrometria. SVTL Bratislava, 526 s.

Hlavčová, K.-Holko, L,- Szolgay, J. (2001): Tvorba a modelovanie odtoku na svahoch a z malých povodí. Život. Prostr., Vol. 35, No. 3, str. 126 - 132

Intribus, R. (1977): Bilancia zrážok v lesnom bióme Carpineto-Quercetum. Lesnícke štúdie VÚLH vo Zvolene, 28, 63 s.

Kantor,P. (1981): Intercepce horských smrkových a bukových porostů. Lesnictví, 27, č.2, 1981: 171-192.

Kantor, P. (1983): Výpar z půdy a přízemní vegetace ve smrkovém a bukovém porostu. *Práce VÚLHM* 63:165—199.

Kantor, P. (1984): Vodní bilance smrku a buku ve vegetačním období. *Práce VÚLHM* 64:219—262

Kantor. P. (1984): Vodohospodářská funkce horských smrkových a bukových porostú. Lesníctví, 30, 6. s. 471 – 490.

Kantor, P. (1987a): Kalamitní holiny a odtok vody z povodí. Zprávy lesn. Výzk., 32, 4, s.15 – 18

Kantor, P. (1987b): Evaporace z povrchu půdy a z přízemní vegetace ve smrkových a bukových lesích. Vodohosp. Čas., 25,

Kantor, P. (1989): Transpirace smrkových a bukových porostů. *Vodohosp. Čas.* 37:222—237.

Kantor, P. (1990): Základní vazby celkového výparu a odtoku vody ze smrkových a bukových lesů. Vodohosp. Čas. 38:327—348

Kantor, P. (1992): Změny vodní bilance smrkového porostu po jeho obnově holou sečí. Lesníctví – Forestry, 38, 9-10, s. 823-838

Kantor, P. (1995): Vodní režim bukového porostu před jeho obnovou holou sečí a po ní. *Lesnictví - Forestry* 41:1—10.

Kantor,P.-Klíma,S. (1997): Mikroklima a vodní bilance jedlo-bukového porostu v pahorkatině. Lesnictví-Forestry, 43, 1997 (8): 333-346.

Krečmer, V. (1973): Meteorologické podmínky výskytu kapalných srážek z mlhy a jejich význam pro intercepční proces ve středohorském lese. Meteorologické zprávy, 27, č.1, s. 18-25

Krečmer,V.-Fojt,V.-Hynčica,V. (1981): Intercepční proces ve smrkových porostech. Vodohospodářský časopis, 29, č.6, 1981: 593-614.

Krešl, J. (2001): Vliv lesa na utváření odtoku při přívalových a dlouhotrvajících deštích. Les. Práce, 2,.

Midriak, R. (1992): Výskum povrchového odtoku a eróznych pôdnych strát v lesných ekosystémoch. In: Ekologický a ekofyziologický výskum v lesných ekosystémoch. Zvolen, Poľana, s. 32-36.

Minďáš, J. (1999): Kvantitatívna a kvalitatívna charakteristika zrážkového režimu jedľo-bukového ekosystému. Dizertačná práca, LF TU Zvolen, Zvolen 1999, 153 s.

Minďáš, J., Čaboun, V. (2002):Výskum vplyvu antropogénnych faktorov na vodné systémy, E 02.03: Vplyv rastlinných spoločenstiev na odtokové pomery z povodia. ZS za etapu. LVÚ Zvolen, 30 str.

Minďáš,J.-Moravčík,M.-Stanovský,M. (1998): Význam lesov a ich obhospodarovania z hľadiska protipovodňovej ochrany krajiny. *In:* O povodniach v roku 1998. Zborník referátov. Práce a štúdie SHMÚ, Bratislava, s. 66-71.

Minďáš, J. - Škvarenina, J. – Střelcová, K. (2001): Význam lesa v hydrologickom režime krajiny. Životné prostredie, 35, s. 3.

Mráček, Z.-Krečmer, V. (1975): Význam lesa pro lidskou společnost. Státní zemědělské nakladatelství, Praha, 225 str.

Novák, V. (2001): Evapotranspirácia a jej rozdelenie na území Slovenska. Životné prostredie, 35, 3.

Petrík, M. (1986): Príspevok k zrážkovému režimu jedľobukového ekosystému. In: Poznatky z bioklimatológie, lesníckej ekológie a meliorácií. Zborník referátov z konferencie, Zvolen, Bratislava, s. 54-59.

Petrík, M. (1991): Regime of rain precipitation in a fir-beech stand. In: Šály, R., Križová, E., Petrík,M, Mihálik, A.: Ecosystem study of the fir-beech stand in the Mláčok State Nature Reserve. Vedecké a pedagogické aktuality, VŠLD Zvolen, 1, s. 85-124

Reinhart, K.G.- Eschner, A.R.- Trimble, G.R. (1963): Effect on streamflow of four forest practices in the mountain of West Virginia. U.S. Forest Service Res. Paper NE-1,

Střelcová, K., Minďáš, J. (2000): Transpirácia buka lesného vo vzťahu k meniacim sa podmienkam prostredia. Vedecké štúdie 2000, Technická Univerzita vo Zvolene, 64 str.

Šach, F. (1978): Vliv způsobu hospodaření na vsakování a povrchový odtok srážkových vod v lese. [Influence of management practices on infiltration and surface runoff of precipitations in forest]. Zprávy lesnického výzkumu, 24, , č. 3, s. 17 - 22.

Šach, F. (1990): Vliv lesní dopravní sítě na odtokové poměry imisních holosečí. [Impacts of the forest road network on runoff from immission clearcuts]. Lesnictví, 36, č. 2, s. 139 - 158. - Res. angl.

Šály, R. (1988): Pedológia a mikrobiológia. VŠLD Zvolen, 376 s.

Švihla, V. (2001): Vliv lesa na odtokové poměry na malem povodí. Lesnická práce, 2, s.66-68

Tužinský, L. (1987): Water Balance in Forest Ecosystems of the Small Carpathians. *Ekológia* 6:23—39

Valtýni, J. (1981): Príspevok na určenie hydrického potenciálu lesa. Lesnícky časopis, 27, č. 3, s. 227-241.

Valtýni, J. (1986): Vodohospodársky a vodoochranný význam lesa. Lesnícke štúdie VÚLH Zvolen, 38, 68 s.

Valtýni, J. (2001): Les a povodne. Vedecké práce, TU vo Zvolene, 5/2001/A, 46 str.

Valtýni, J.- Kazda, R. (2002): Lesy a povodne. Domino Fórum 31, s. 15

Wisler, C.O.- Brater, E.F. (1959): Hydrology. J. Willy and Sons, Inc., New York,

Weihe, J. (1970): Proč zkoumat ztrátu skropné vody v lese? Zprávy lesníckeho výzkumu, 16, 2, s. 9 – 14.

Wilm, H.G.- Dunford, E.G. (1948): Effect of timber cutting on water available for stream flow from a lodepole pine forest, U.S. Dep. Agr. Techn. Bull. 968

Vladovič, J. a kol. (1994): Lesné oblasti Slovenska. Lesoprojekt,.

Zachar, D. (2001): Vodohospodárska funkcia lesov – kľúčový problém dneška a zajtrajška. Enviromagazín, 5, s. 16 – 17.

Zlatník, A. (1976): Lesnická fytocenologie. Praha, SZN

Doc. Ing. Vladimír Čaboun, CSc.

Lesnícky výskumný ústav

T.G.Masaryka 22, 960 92 Zvolen

tel.: 045 5314205, fax: 045 5314192, e mail: caboun@fris.sk