

UNIVERZITA KARLOVA V PRAZE

Přírodovědecká fakulta

Katedra fyzické geografie a geoekologie



**VLIV LESNÍCH DISTURBANCÍ NA DYNAMIKU
ODTOKU V OBLASTI CENTRÁLNÍ ŠUMAVY**

**IMPACT OF FOREST DISTURBANCES ON THE RUNOFF
IN THE CENTRAL ŠUMAVA MTS.**

(DIPLOMOVÁ PRÁCE)

Bc. Kristýna Bartůňková

Praha 2011

Vedoucí diplomové práce: doc. RNDr. Jakub Langhammer Ph.D.

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracovala samostatně a že jsem všechny použité prameny řádně citovala.

Svoluji k zapůjčení této práce pro studijní účely a souhlasím s tím, aby byla řádně vedena ve fondu knihovny.

V Praze dne 22.srpna 2011

.....

Ráda bych poděkovala doc. RNDr. Jakubu Langhammerovi Ph.D., RNDr. Petru Zacharovovi Ph.D., RNDr. Vojtěchu Bližňákovi, Ústavu fyziky atmosféry, Českému hydrometeorologickému ústavu a mojí rodině za poskytnuté informace, rady a materiální i duševní podporu.

Vliv lesních disturbancí na dynamiku odtoku v oblasti centrální Šumavy

ABSTRAKT

Diplomová práce se zabývá vlivem lesních disturbancí, jako jsou větrné nebo kůrovcové kalamity, na odtokové charakteristiky v oblasti centrální Šumavy. Analýza pěti vybraných srážkových událostí a jejich odtokové odezvy byla prováděna na sedmi malých experimentálních povodích, které se vyznačují rozdílným stupněm poškození. Jedná se o povodí Tmavého, Roklanského, Březnického, Javořího, Cikánského, Černoorského potoka a potoka profilu Antýgl. Vybrané srážkové události spadají do let 2009 a 2010 a odehrávaly se pouze v teplém půlroce, kdy do odtoku nezasahoval vliv sněhové pokrývky. Pro vyhodnocení podobnosti jednotlivých povodí bylo použito shlukové analýzy. Pro porovnání reakce jednotlivých povodí na srážkovou událost bylo využito hlavně prostého srovnání údajů a srážkových a odtokových vln.

Klíčová slova: lesní disturbance, centrální Šumava, srážko-odtokové poměry, shluková analýza

Impact of forest disturbance on the runoff in the central Šumava Mts.

ABSTRACT

The diploma thesis deals with the influence of forest disturbance, as for example wind and bark beetle calamities, to the runoff characteristics in the central Šumava Mountains. The analysis of five precipitation events and their runoff responses was applied to seven small experimental catchments with different stage of disturbance. Studied catchments were catchments of Tmavý, Roklanský, Březnický, Javoří, Cikánský, Černoorský potok and Antýgl. Chosen precipitation events belong to the years 2009 and 2010 and to warm half year, when no snow cover can influence the runoff. Similarity of catchments was established by cluster analysis. For comparison of the reaction of single catchments to the same precipitation event was used simple comparison of precipitation and runoff data and waves.

Key words: forest disturbance, central Šumava Mountains, rainfall-flow conditions, cluster analysis

Obsah

1. Úvod	8
2. Les a odtok v krajině	10
2.1. Funkce lesa	11
2.1.1 Produkční funkce lesa	11
2.1.2 Mimoprodukční funkce lesa	12
2.2. Lesní disturbance	18
2.2.1 Klimatické a meteorologické faktory	18
2.2.2 Znečištění ovzduší	19
2.2.3 Poškození lesa lýkožroutem a dalšími biotickými faktory	22
2.2.4 Další negativní vlivy na zdraví lesa	26
2.3. Vliv stavu lesa na odtok v krajině	27
3. Zájmové území – Šumava	30
3.1 Obecná fyzickogeografická charakteristika Šumavy	30
3.1.1 Geologie a geomorfologie	30
3.1.2 Hydrologické a klimatické poměry	31
3.1.3 Pedologie	33
3.1.4 Lesní ekosystémy na Šumavě	33
3.1.4.1 Zdravotní stav lesních porostů	35
3.2 Modelová povodí	39
3.2.1 Antýgl	39
3.2.2 Roklanský potok	41
3.2.3 Javoří potok	43
3.2.4 Tmavý potok	46
3.2.5 Černoorský potok	48
3.2.6 Cikánský potok	50
3.2.7 Březnický potok	53

4. Metody zpracování	55
4.1. Použitá Data	55
4.1.1 Vodní stavy	55
4.1.2 Srážky	55
4.1.3 Fyzicko-geografické charakteristiky povodí	56
4.2. Zpracování a analýza dat	59
4.2.1. Výběr srážkových událostí a zpracování charakteristik odtokových vln	59
4.2.2 Shluková analýza	62
4.2.3 Analýza odtokových vln	63
5. Výsledky	66
5.1. Podobnosti povodí	66
5.2. Analýza vybraných srážkových událostí a jejich odtokové odezvy	71
5.2.1. Srážková událost ve dnech 17. a 18.7.2010	71
5.2.2. Srážková událost ve dnech 2. a 3.6.2010	76
5.2.3. Srážková událost ve dnech 26.5.2009	81
5.2.4. Srážková událost ve dnech 22. a 23.6.2009	85
5.2.5. Srážková událost ve dnech 24.7.2009	88
5.3. Analýza proměnných pomocí shlukové analýzy	92
5.3.1. Ukazatele charakterizující příčinné srážky a odtok	93
5.3.2. Ukazatele charakterizující geologické a půdní poměry a odtok	95
5.3.3. Ukazatele charakterizující zdravotní stav lesa a odtok	97
5.4. Shrnutí výsledků	99
6. Diskuse	101
7. Závěr	106
8. Seznam tabulek a obrázků	108
8.1. Seznam tabulek	108
8.2. Seznam obrázků	109
9. Zdroje dat	113

1. Úvod

Les je významným prvkem krajiny, který zastupuje mnoho funkcí jak z pohledu environmentálního, tak kulturního. Z historického hlediska prošly ekosystémy na území České republiky výraznými pozitivními i negativními proměnami, které byly z velké části způsobeny lidskou činností (těžba lesa, znečištění ovzduší, výsadba smrkových monokultur). Kromě činnosti člověka však zároveň existuje také velké množství přírodních narušení, které celkový stav lesa ovlivňují. Mezi ně patří především meteorologické (námraza, sníh, vítr, sucho) a biotické (lýkožrout, houby, bořeň) faktory. Přestože v současné době dochází k postupnému nárůstu rozlohy lesní vegetace, díky antropogennímu tlaku na krajinu pozorujeme významná narušení lesních ekosystémů, které mají vliv jak na vlastní fyziologický stav lesních porostů, ekologický stav krajiny i další aspekty, včetně ovlivnění funkce lesní vegetace v hydrologickém cyklu.

Jedním z území, kde se problémy s narušením lesních ekosystémů projevují velmi výrazně, je oblast Šumavy. Otázky narušení lesní vegetace větrnými polomy a kůrovcovými kalamitami a hledání cest k jejich řešení jsou navíc aktuální nejen v oblasti výzkumu, ale jsou rovněž předmětem zájmu široké veřejnosti a médií. Na způsoby řešení těchto disturbancí existují ve společnosti odlišné názory. Hlavním problémem je především otázka, do jaké míry by měl člověk zasahovat do lesních ekosystémů, zda by měl poškozený les ponechat k samovolné obnově či mrtvé stromy odstranit, aby tak zabránil dalšímu rozšíření lýkožrouta.

V současné době existuje na území Šumavy různorodá mozaika ploch, které se od sebe svým charakterem výrazně odlišují. Jsou to plochy do různé míry narušené především větrnými a kůrovcovými kalamitami. Existuje tu jak zcela zdravý les, tak také les více či méně poškozený. Vyskytují se zde rozsáhlé plochy, kde najdeme pouze stojící či ležící mrtvé stromy či holiny, tedy plochy lesního porostu zcela zbavené. Různorodost krajinného pokryvu dává možnosti ke sledování vlivu zdravotního stavu lesa na různé fyzicko-geografické charakteristiky.

Cílem práce je vyhodnotit vazby mezi projevy lesních disturbancí a vybranými charakteristikami dynamiky odtokové odezvy povodí v pramenné oblasti Šumavy. Výsledky, dosažené pomocí kombinace objektivních metod prostorové a statistické analýzy, by měly přispět k současným poznatkům o vlivu lesních disturbancí na odtokové charakteristiky, které jsou nezbytným předpokladem pro citlivý a udržitelný management chráněných oblastí a efektivní využití potenciálu krajiny v ochraně před povodněmi.

Zájmové území je položeno do centrální části Šumavy. Jako experimentální povodí jsou použita povodí Tmavého, Roklanského, Březnického, Javořího, Cikánského, Černoorského potoka a potoka profilu Antýgl. Závěrové profily těchto povodí, které měří vodní stavy, byly založeny Přírodovědeckou fakultou Univerzity Karlovy. Jedná se o povodí, která se od sebe výrazně liší především ve zdravotním stavu lesa, který se na nich nachází. Zatímco povodí Cikánského a Tmavého potoka a Antýglu pokrývá z větší části zdravý les, povodí Javořího potoka už je z více než 50% výrazně poškozené a povodí Roklanského a Březnického potoka jsou kůrovcem prakticky úplně zničena.

Pro zjišťování možných vlivů zdravotního stavu lesa na odtok na těchto povodích byly vybrány srážkové události, které jsou pokud možno na jednotlivých povodích srovnatelné. Údaje o množství a distribuci srážek na jednotlivých povodích vycházejí z kombinace analýzy radarových odrazů a srážkových dat.

Analýza dat byla provedena pomocí programovacího nástroje Matlab. Tento nástroj byl použit pro automatizovanou analýzu odtokových vln a pro následnou statistickou analýzu dat. Jako základní statistická metoda byla použita metoda shlukové analýzy, konkrétně hierarchického shlukování, které je založeno na tvorbě shluků objektů (povodí) a proměnných (fyzicko-geografických charakteristik, srážko-odtokových charakteristik). Metoda byla použita pro vyhodnocení podobností hodnocených povodí, srovnávání jednotlivých srážkových událostí mezi povodími a pro identifikaci vazeb mezi charakteristikami odtoku a potenciálně ovlivňujícím faktory.

2. Les a odtok v krajině

Lesní ekosystém představuje prostředí, které má v krajině na Zemi své nezastupitelné místo. Plní mnoho důležitých funkcí, které budou popsány níže. Lesy na celém území naší planety se v průběhu historie lidské existence výrazně měnily, a to jak z pohledu jejich prostorového rozložení a druhového složení, tak i z pohledu jejich využití člověkem.

Také v České republice se rozloha a druhové složení lesa v současné době podstatně odlišují od minulosti. V období před neolitem (mladší dobou kamennou) zde zaujímaly lesní porosty asi 90% území. S příchodem neolitické revoluce, která představovala počátek zemědělské produkce člověka, se však postupně začal les měnit. I při malém počtu sídel a obyvatel v nich bylo potřeba stále více půdy pro účely pěstování plodin a pastevectví. Vzhledem k primitivním postupům mělo tedy zemědělství extenzivní charakter, a ač pomalu, přeci již začalo docházet k postupnému odstraňování lesa. Využívalo se klučení (kácení stromů a dobývání pařezů) a žďáření (vypalování). Ryze přírodní krajina se tak počala proměňovat na tzv. krajinu kulturní. V eneolitu mělo na skladbu lesa velký vliv rozšíření pastevectví [Němec a Hrib, 2009].

S postupem doby docházelo s vývojem společnosti ke zvyšování poptávky po dřevě. V době bronzové a železné se spotřebovalo mnoho dřeva na výrobu dřevěného uhlí pro účely tavení kovů, v období Keltů pak mimo jiné pro stavbu dřevěných budov. V období, kdy naše území bylo osídleno germánskými kmeny, docházelo spíše k návratu nevyužitých, ladem ležících polí, na lesní porosty. Ovšem v době římské, v době stěhování národů a v době osídlení slovanského, se opět intenzivně přeměňovalo naše území na kulturní step [Němec a Hrib, 2009].

Vývoj lesa v našich zemích došel postupem času různých změn, většinou v jeho neprospěch. V současné době u nás lesy zaujímají asi jednu třetinu území a představují je z velké části smrkové monokultury. K cílené výsadbě jehličnanových (převážně smrkových, dále borových) monokultur došlo na přelomu 19. a 20. století. Tyto monokultury se zdály být vhodné z pohledu hospodářského výnosu (který se opravdu zvýšil), ovšem kvůli své špatné odolnosti vůči lesním narušením se ukázaly být naprosto nevhodné. Do první poloviny 20. století poškozovaly české lesy především biotické faktory, později začaly převažovat škody abiotické [Němec a Hrib, 2009].

V současnosti představují 75% stromů v našich lesích stromy jehličnaté. V případě monokultur se jedná o druhou nebo třetí generaci od počátku jejich pěstování.

2.1. Funkce lesa

Je zřejmé, že les má v krajině nezastupitelnou roli a to v mnoha ohledech. Možností, jak rozdělit funkce lesa, je mnoho a liší se podle jednotlivých autorů, kteří se touto otázkou zabývali. Jednou z možných variant je rozdělení funkcí na produkční - hospodářskou (především funkce dřevoprodukční, produkce lesních plodů, myslivost apod.) a mimoprodukční, kam lze zařadit funkci environmentální (ekologickou - stanoviště lesních organismů, hydrické funkce, ovlivnění klimatu, půdoochranné a půdotvorné funkce atd.), a společenskou/sociální (např. rekreační funkce, ozdravná, vzdělávací, výzkumná). Na funkce lesa má významný vliv jeho struktura, a to jak prostorová, tak druhová a věková. V následujících kapitolách budou jednotlivé funkce lesa podrobněji charakterizovány.

2.1.1 Produkční funkce lesa

Primární složkou produkční – hospodářské funkce lesů je bezpochyby jeho funkce dřevozpracující (obr. č. 1), tedy produkce dřeva za účelem získání této suroviny pro stavební práce, výrobu nábytku, hudebních nástrojů atd., či na zátop. S těžbou dřeva je spojeno mnoho problémů, které mohou do značné míry narušit lesní ekosystémy a tak i s nimi spojené další funkce lesa, například hydrické, o které v této práci jde především.

Do produkční funkce lesů patří dále například sběr lesních plodů a hub (tyto funkce však představují v současné době především produkci pro vlastní účely v rámci jednotlivých domácností a mohou být také zařazeny do funkcí lesa spojených se sociálními ukazateli, kdy sběr plodů lesa působí na člověka mimo jiné ozdravným a rekreačním způsobem). Mezi produkty lesa patří také jmelí, sklizené před vánočními svátky a vánoční stromky.

Les je stanovištěm mnoha živočichů, kteří se mohou stát objekty myslivosti. Kromě lovu zvěře pro stravovací účely či pro zachování ekologické stability například při přemnožení určitého druhu může tato funkce také částečně zapadat mezi funkce rekreační (hon na lišku atd.).

Funkce v této kapitole uvedené zároveň poskytují pracovní příležitosti pro určité množství lidí.



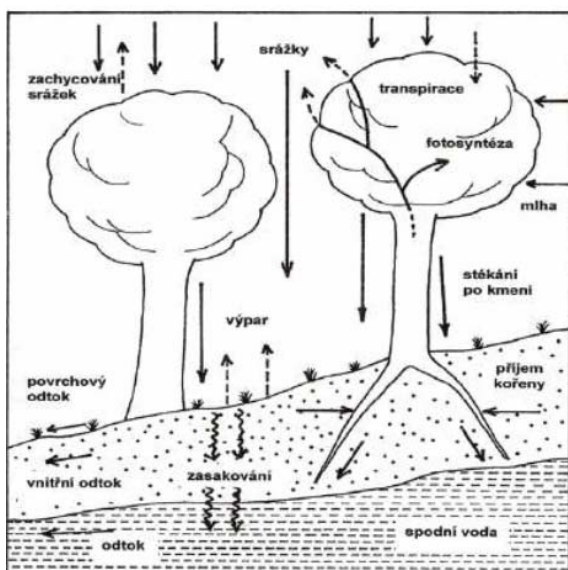
Obr. č. 1 – Těžba dřeva, ilustrační fotografie

2.1.2 Mimoprodukční funkce lesa

Mezi mimoprodukční funkce lesa patří funkce environmentální a společenské/sociální.

Z pohledu **environmentálního** hraje les nezastupitelnou roli jako přirozené prostředí mnoha druhů rostlin a živočichů.

Významné je **hydrologické působení lesa**, které představuje ovlivnění odtokových poměrů v krajině. S tím je spojeno také ovlivnění místního klimatu (mikroklimatu) v lese a jeho okolí. Velké lesní plochy v důsledku vyšší evapotranspirace oproti plochám nelesním zvyšují vlhkost vzduchu a tím také úhrn atmosférických srážek o přibližně 5 – 6% [Švihla, 2001]. Schéma zobrazující koloběh vody v lesním ekosystému je zobrazeno na obr. č. 2.



Obr. č. 2 – Schéma zobrazující koloběh vody v lesních ekosystémech [Menšík, 2011]

Srážková voda je v lese zachycována vegetací a velký podíl se jí proto nedostane až k zemskému povrchu. Tento proces se nazývá intercepce a jeho intenzita je ovlivněna mnoha ukazateli. Velmi významný vliv na velikost intercepce má charakter srážek – jejich druh, intenzita a doba trvání. Pevné sněhové srážky jsou ve vegetaci zachytávány ve větší míře oproti srážkám dešťovým [Varhola et al, 2010] a zároveň tam delší dobu zůstávají. Ve vztahu ke sněhové pokrývce má les zároveň tu funkci, že zpomaluje odtávání, což je způsobeno zastíněním, díky němuž se teplo ze slunečního záření (i srážky, které odtávání také urychlují), dostávají ke sněhové pokrývce v lese pomaleji [Varhola et al, 2010].

Pokud vypadává slabý déšť, je intercepce účinnější než v případě silných přívalových dešťů, kdy je kinetická energie kapek vyšší a voda spíše propadáva skrz listy (jehlice) k zemskému povrchu. Stejně tak na začátku srážkové epizody, kdy je „intercepční nádrž“ ještě prázdná, jsou listy a kmeny schopné zadržet poměrně velké množství vody, s pokračující dobou trvání se pak tato schopnost snižuje.

Kromě charakteru srážek závisí intercepce také na ročním období. V době, kdy jsou listnaté stromy obsypané listy a květy či plody a kdy mají rostliny svá vegetační období, zachycují přirozeně podstatně větší množství vody než v zimě, kdy listnaté stromy opadávají. Holé kmeny a větve jsou schopné zadržet mnohem méně vody. Tento sezónní vliv je dalším faktorem, který zvyšuje intercepční schopnost jehličnatých stromů v poměru oproti listnatým. Ve vztahu k odtokovým poměrům lze v tomto ohledu připočítat i skutečnost, že intenzita tání sněhu v jarním období v bezlistých bukových porostech je, především za silné insolace, vyšší než ve smrkových porostech.

Druh porostu, jeho věk a zdravotní stav jsou tedy také velmi důležité faktory. Oproti listnatým stromům, jako je dub nebo buk, mají obecně větší intercepční schopnosti jehličnany (smrk). Skutečnost, že smrk zachycuje více srážek ve srovnání s bukem je dokázána v několika studiích. Například Kešl (1999) ve své práci (s odkazem na Molčanova) uvádí, že 60-letý smrkový porost v průměru zadrží 5,1 mm srážek, stejně starý porost borovice pak 3,0 mm srážek a bukový porost 3,5 mm srážek. Pro srovnání udává ještě intercepční schopnost ostružníku (2,1 mm) nebo borůvky (1,2 mm). Kantor a Šach (2002) ve své studii zveřejnili výsledky, prováděné v Deštné v Orlických horách. Podle této studie zadrží smrk okolo 16% a buk pouhých 7% ročních srážek.

Oblasti s větší hustotou vegetační pokrývky, která například může obsahovat i několik stromových, keřových a bylinných pater, vykazují vyšší schopnost zadržení srážkové vody intercepční. Pokud je vegetační kryt souvislý, je schopný zachytit přibližně 10 – 25 mm ročních srážek.

Voda zachycená intercepční ve vegetaci je pak zpětně vypařována do ovzduší. Voda se vypařuje kromě povrchu listů a kmenů stromů, keřů a lesních bylin také z půdy. Intenzita výparu je dána především teplotou vzduchu, jeho vlhkostí a charakterem vegetace (jehličnaté lesy mají obecně vyšší hodnotu výparu než listnaté a to asi o 10% [Švihla, 2001]). Nejnižší hodnota výparu v České republice je v Modravském polesí v pramenné oblasti řeky Vydry na Šumavě. Dosahuje 216 mm za rok. Naopak k nejvyššímu výparu dochází ve vrcholových partiích Hrubého Jeseníku a jeho hodnota dosahuje 608 mm za rok [Švihla, 2001].

Srážky, které propadnou korunami stromů a další vegetací, dopadají na zemský povrch. Zde se s vodou mohou stát následující procesy – buď se vsákne, odteče po zemském povrchu, vypaří se anebo se usadí v depresích na povrchu.

Však je rozhodujícím činitelem, který ovlivňuje celkový charakter odtoku v lese. Dochází k němu do té doby, než se půda zcela nasytí a není schopná pojmout další množství vody. Poté se sice úplně nezastaví, ale výrazně se zpomalí (v závislosti na tom, jak rychle odtéká voda hypodermickým odtokem). Schopnost lesní půdy infiltrovat srážkovou vodu je vyšší než je tomu u jiných druhů krajinného pokryvu (jako je například zemědělská půda). Rozhodující roli zde hrají vlastnosti půdy, především mocnost humusového horizontu, vrstva opadanky, prokořenění, druhová skladba a sklonitost reliéfu. Právě prokořenění s druhovou skladbou lesa souvisí. Válek (1977) rozdělil některé druhy stromů do tří kategorií podle hloubky prokořenění. V první kategorii jsou stromy, jejichž kořeny dosahují do hloubek maximálně 30 cm. Patří sem, hlavně v lesích České republiky hojně zastoupený, smrk, dále pak například osika. Ve druhé skupině, kde se hloubka kořenů pohybuje v rozmezí 30 a

100 cm, najdeme výhradně listnaté stromy. Patří sem například bříza, olše, vrba, topol, habr nebo jeřáb. Třetí skupina v sobě zahrnuje druhy s hlubokým prokořeněním. Patří sem buk, dub, jasan, lípa, borovice, jedle či modřín.

Kromě živých kořenů stromů je v lesní půdě přítomno velké množství kanálků, které vznikly vyhnitím odumřelých kořenů a kypřícím působením půdní fauny – jedná se například o tunely po žížalách. Voda ze srážek se kromě živé vegetace a půdy zadržuje také v různých překážkách v lese, jako je klest, odumřelé dřevo a podobně (obr. č. 3).

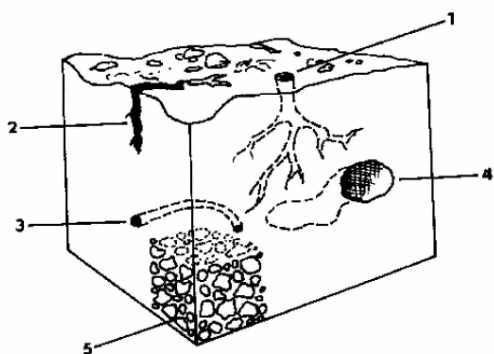
Při porovnání infiltrace půdy v rámci lesa, platí, že u půd lehčích (písčitých) je rozdíl v infiltraci lesních půd oproti půdám nelesním vyšší, než je tomu u půd těžších (hlinitých, jílovitých) [Krešl, 1999].

Shrneme-li vliv lesa na odtokové poměry v krajině, můžeme konstatovat, že les v době nadměrných srážek odtok zpomaluje (retardační funkce) a naopak, v době sucha zásobuje vodní toky z vodních zásob zadržených v půdě a terénních depresích. Zdravý les má tedy neopomenutelný vliv na regulaci odtoku a snižování extrémů, ať už se jedná o snižování kulminačních průtoků, tak zvyšování průtoků minimálních [Kemel, 2000]. Obecně kvantifikovat vliv lesa na odtokové poměry v krajině je však velmi obtížné a mnohé studie, zabývající se touto problematikou, se ve výsledcích rozcházejí. Je to dáno především různorodostí regionů, ve kterých byla zkoumání prováděna a nedostatečnou měřitelností některých veličin (jako je například kvantifikace horizontálních srážek, bilance zalesněné a nezalesněné části povodí v zimním období a podobně) [Kemel, 2000]. Neopomenutelný je vliv na kvalitu vody.



Obr. č. 3 – Příklad překážky v lese, která může v případě srážky zadržet srážkovou vodu

Z předchozího vyplývá, že existence lesa výrazně ovlivňuje pedologické poměry území (viz také schéma na obr. č. 4). **Funkce** lesa je jak **půdoochranná**, tak **půdotvorná**. Mezi půdoochranné funkce patří funkce protierozní, protideflační, protisesuvová, protilavinová a břehoochranná [Němec, Hrib et al, 2009]. Jako případ protierozní funkce lesů můžeme uvést výsledky studie z Japonska [Aiura, 2002], která se zabývá sněhovou erozí a dokládá, že eroze se na zkoumaném horském území objevuje převážně v místech, kde les není (vysoké horské polohy) a nebo kde je narušen lidskou činností.



Obr. č. 4 – Lesní pedon z hydrologického pohledu: 1 – kanálky po rozpadlých kořenech, 2 – mrazové suchostní či jiné trhliny, 3 – chodbičky půdních červů, 4 – chodby malých živočichů, 5 – prostory mezi půdními agregáty [Sidle, 1980]

S předchozími ekologickými funkcemi lesa souvisí také **funkce klimatická**. Les ovlivňuje klima v měřítku mikro-, mezo- i makroklimatu. Působí především na teplotu vzduchu (v létě vyšší teplota nad lesem – vyšší absorpce slunečního záření např. díky rozčleněnému povrchu stromů), vlhkost vzduchu, atmosférické srážky (viz výše) a rychlosti větru (snížení rychlosti větru – tření o koruny stromů nebo ze strany jako bariéra proudění).

Z globálního hlediska je potřeba vyjmenovat především schopnost lesa produkovat pro život na Zemi nezbytný kyslík. Les je schopný vyprodukovat 1,07 g kyslíku na 1 g vyprodukované sušiny biomasy [Němec, Hrib et al, 2009]. V současné době se dostává do popředí zájmu také velmi důležitá vlastnost lesa, a sice jeho schopnost vázat atmosférický uhlík. V lesní vegetaci včetně odumřelých stromů a dalších rostlin a včetně organické složky půdy jsou v naší republice vázány v řádu stovky tun C na hektar. Například na Šumavě je to více než 200 t uhlíku na hektar [Němec, Hrib et al, 2009].

Z pohledu **sociálního/společenského** v sobě les zahrnuje rovněž velkou škálu funkcí. Především sem patří funkce zdravotně-hygienické, které lze rozdělit na funkci rekreační, hygienickou a léčebnou [Němec, Hrib et al, 2009]. Les zároveň slouží jako objekt poznání pro výchovu a vzdělání, objekt zkoumání pro vědu a výzkum a má zároveň i funkci krajinyotvornou. Les má v tomto směru také vliv na umění, kdy se stává inspirací pro tvorbu různých uměleckých děl.

2.2. Lesní disturbance

O tom, jak les splňuje svoje funkce, které byly popsány v předchozí kapitole 2.1., rozhoduje především jeho zdravotní stav. Faktorů, které jej ovlivňují je velké množství. Patří mezi ně faktory přírodní (biotické a abiotické) a antropogenní, tedy narušení lesních společenstev působením člověka. V této kapitole budou jednotlivé faktory a činitelé, působící na zdravotní stav lesa, rozebrány.

2.2.1. Klimatické a meteorologické faktory

Podnebí a počasí má bezpochyby vliv na všechny složky krajinné sféry. Působí i na lesní ekosystémy. Příkladem negativního vlivu jsou dopady mohutné námrazy a velkého množství sněhu. Tyto jevy dokáží poškodit zdravotní stav především starších stromů vyskytujících se ve vyšší nadmořské výšce.

Významným způsobem působí na lesní porosty vítr, který při vysoké rychlosti (při vichřicích či orkánech) může les nemálo poškodit či úplně zničit (obr.č. 5). Příkladem orkánu, který způsobil rozsáhlé škody na lesních porostech, je orkán Kyrill, který postihl území západní a střední Evropy ve dnech 18. – 19.1.2007. V lesích tato událost způsobila obrovské škody, které dosahovaly milionů m³ dřevní hmoty, což představuje přibližně roční těžbu dřeva v ČR [CHMI, 2007]. Ještě intenzivněji působí vítr na již poškozené lesy. Náchylnější jsou lesy, jejichž okrajové části tvoří prakticky kolmou stěnu, která je vůči silným větrům velmi zranitelná.

Při srovnání působení silných větrů na lesy s přirozenou strukturou porostu na jedné straně a na hospodářské lesy, jejichž především horizontální struktura je přizpůsobena nárokům na kvalitu a kvantitu dřevní produkce, společně s jednoduchostí obhospodařování daného lesního společenstva na straně druhé, vychází větší náchylnost vůči větrným kalamitám právě v hospodářském lese. V lesích s přirozenější strukturou sice dochází také k vyvracení stromů, jedná se však především o slabší jedince a pro les je takového třídění spíše prospěšné [Schneider et al, 2006].

Neblahý vliv má také déletrvající nedostatek srážek, kdy lesní půda prosychá a je tak negativně ovlivněn přesun živin.



Obr. č. 5 – Les zničený větrem, Slovensko

2.2.2 Znečištění ovzduší

Znečištění ovzduší je problémem řešeným v mnoha studiích v České republice i mimo ni. Největší problém v tomto směru má u nás především Moravskoslezský kraj a dalším velmi znečištěným regionem je kraj Ústecký. Škodlivé látky z ovzduší mimo jiné vstupují do ekosystémů a narušují tak jejich zdravotní stav. Nejvíce řešené byly u nás vždy vertikální srážky, tedy sníh, déšť a mrholení, které znečištěné dopadaly na zemský povrch jako tzv. kyselá dešť. Nejdůležitějším ukazatelem při analýzách odebraných vzorků srážkové vody je jeho pH. Za přirozenou hodnotu je považováno pH 5,6, které je dané rovnováhou vody a atmosférického uhlíku. V naší republice se pH pohybuje přibližně mezi 4,4 a 4,6 [Hůnová a Janoušková, 2004].

V největší míře dochází ke znečištění a okyselení srážkové vody sulfáty a nitráty, které vznikají oxidací z emisí oxidu siřičitého (SO_2) a oxidů dusíku. Z těchto dvou složek znečištění v minulosti dominoval oxid siřičitý. Po odsíření tepelných elektráren (které bylo dokončeno v roce 1999 – Hruška a Cienciala, 2001) se emise SO_2 do ovzduší u nás i ve většině Evropy značně omezily, ovšem nezmizely zcela (odsíření dosáhlo hodnoty asi 10% oproti začátku 90.let - Hruška a Cienciala, 2001). Oxid siřičitý při dlouhodobějších vyšších koncentracích způsobuje ničení chlorofylu a to především na plochách listů. V malých koncentracích však může být i stromům prospěšný, když je jeho část asimilována do orgánů a fyziologicky využívána [Hůnová a Janoušková, 2004].

Emise SO₂ jsou významně doplňovány emisemi již jmenovaných oxidů dusíku (NO_x), jejichž množství po odsíření také pokleslo, a to o cca 30% oproti začátku 90.let. Zároveň se změnila struktura jejich zdrojů, kdy se hlavním zdrojem staly emise z dopravy [Hruška a Cienciala, 2001]. V České republice je atmosférická depozice dusíku v rozmezí 10 – 20 kg na hektar za rok. Kritická zátěž (tzn. nejvyšší dávka znečišťující látky, která ještě nezpůsobí chemické změny vedoucí k dlouhotrvajícím škodlivým účinkům na strukturu a funkci ekosystému) dusíku je překročena na velké části území naší republiky [Oulehle, 2008]. Z atmosféry se do půdy dusík dostává ve formě dusičnanu a je pak dále zpracováván mikroorganismy, houbami a rostlinami.

Oproti samotným imisím a kyselým dešťům je větším problémem v současné době okyselení půd, ke kterému došlo před odsířením elektráren a které v půdách přetrvává i nadále a do budoucna je pravděpodobné, že ještě dlouhou dobu přetrvávat bude. V současnosti má asi 5% rozlohy lesů na území České republiky silně kyselou a o živiny ochuzenou půdu [Oulehle, 2008]. K okyselení půd došlo tzv. pomalou neboli chronickou acidifikací, spojenou s ochuzováním půdy o bazické živiny vápník a hořčík a s mobilizací pro rostliny toxického hliníku. Jiný druh pomalého mechanismu poškozování souvisí s atmosférickou depozicí dusíku.

V důsledku nadbytku dusíku dochází k nadměrně rychlému růstu stromů a v souvislosti s nedostatkem hořčíku mohou jehlice či listy žloutnout a opadávat. Stromy se stávají nestabilní a náchylné k dalším lesním disturbancím [Hruška a Cienciala, 2001]. Snadněji se lámou při silných větrech, větším množství námrazy či sněhu. Přebytkový dusík, který nejsou lesní ekosystémy schopny vázat či spotřebovávat vůbec, je odplavován do vodních toků [Oulehle, 2008].

Kromě chronického mechanismu odumírání stromů existuje také tzv. akutní poškození, které vzniká přímým kontaktem polutantu s asimilačními orgány rostliny [Hruška a Cienciala, 2001]. Přitom smrkové porosty díky velkému povrchu jehlic efektivně vyčesávají polutanty jako je dusík a síra (a další) z atmosféry. Pod jehličnatými stromy dochází k většímu okyselení půd než pod stromy listnatými [Oulehle, 2008]. Míra důležitosti těchto mechanismů se po odsíření tepelných elektráren snížila [Hruška a Cienciala, 2001].

Látkou, která se ve vztahu k poškození lesů velmi těžko posuzuje, ale která zde má své místo, je troposférický ozon, nazvaný také jako fotochemický, oxidační, letní či los angeleského typu. Troposférický ozon je označován jako tzv. sekundární polutant, tedy látka, která nemá přímý emisní zdroj, ale která vzniká fotochemickými reakcemi (působení slunečního záření) z tzv. prekursorů, přímo v atmosféře. Těmito prekursory jsou NO_x a

těkavé organické látky (VOC). Jejich zdrojem je především doprava, přirozeným zdrojem však mohou být i rozsáhlé porosty jehličnatých lesů [Hůnová a Janoušková, 2004].

Největší koncentrace připadají na teplou část roku, kdy nastávají dvě maxima – jarní a letní. Minima pak připadají na zimní období. V denním chodu jsou minima brzy ráno a postupem dne se koncentrace zvyšují [Novotný, Buriánek a Šrámek, 2009]. Nejvíce zasaženými oblastmi jsou závětrří velkých městských a průmyslových aglomerací a v důsledku zvýšení insolace s výškou také vysokohorské polohy [Hůnová a Janoušková, 2004].

Přímá souvislost mezi vysokými koncentracemi O₃ v troposféře a poškozením rostlin neexistuje. Jsou však známy určité symptomy, které toto poškození dokládají. Je to především zbarvení asimilačních orgánů rostlin. Na listech stromů se tak objevují červené, hnědočervené, hnědé až černé tečky či skvrny, případně se listy zbarvují do bronzova. Listnaté stromy jsou přitom na poškození troposférickým ozonem náchylnější než stromy jehličnaté [Novotný, Buriánek a Šrámek, 2009].

Kromě zbarvení listů ovlivňuje ozon negativně také celkovou energetickou bilanci stromů. Symptomy, které mohou svědčit o poškození ozonem, jsou většinou těžko rozeznatelné od dalších negativních faktorů. Můžou se odlišit podle některých charakteristik, jako je fakt, že k poškození dochází především na osluněných částech rostlin, že starší a středně staré listy bývají poškozeny více než ty mladé, listy se zbarvují především na své svrchní části, nebo že v důsledku předčasného stárnutí listů může dojít také k předčasnému opadu [Novotný, Buriánek a Šrámek, 2009].

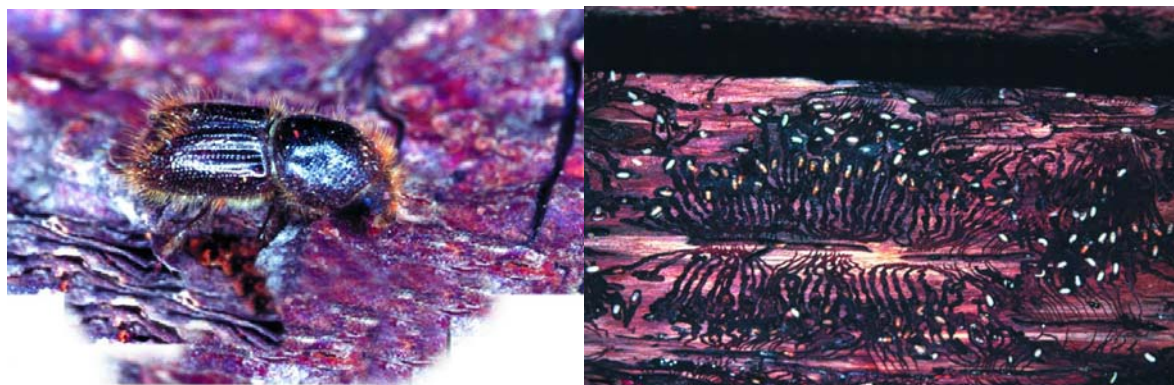
Vedle výše uvedených látek mají negativní vliv na zdraví ekosystémů fluoridy, a to především fluorovodík (HF) nebo pevné fluoridy [Hůnová a Janoušková, 2004]. Dalším znečišťujícím prvkem v atmosféře jsou pak těžké kovy.

Vedle vertikálních srážek existují také srážky usazené (někdy označované jako horizontální či okultní), mezi něž počítáme námrazu, ovlhnutí, jíní, jinovatku atd. K tomuto typu srážek je započítávána i mlha. Mnohé studie o chemismu usazených srážek již existují, ovšem i nadále je třeba stávající informace doplňovat. V České republice se znečištěním mlhy a usazených srážek zabývá např. Fišák et al. (2001, 2002), ve světě se vlivu znečištění mlhy na ekosystémy věnuje např. Schemenauer (1986). Pro vegetaci mohou znečištěné usazené srážky představovat poměrně výraznou hrozbu. Bylo prokázáno, že ve své vodě obsahují větší množství polutantů než je tomu u vody ze srážek padajících. Další významnou skutečností je, že například mlha (nebo i další usazené srážky) ovlivňují vegetaci ze všech stran (i ze spodních, méně přirozeně chráněných částí listů) a po delší dobu než déšť či sníh.

2.2.3 Poškození lesa lýkožroutem a dalšími biotickými faktory

Velkým a známým problémem našich lesů je lýkožrout neboli kůrovec. Je to brouk, jehož vývoj je datován na konec křídý ve druhohorách [Hulcr, 2003]. V největší míře se u nás i v celé Evropě vyskytuje z čeledi kůrovcovitých (*Scolytinae*, čítající 6000 druhů [Hulcr, 2003], na území bývalé ČSR je známo 106 druhů [NP Šumava, 2011]) lýkožrout smrkový (*Ips typographus*) a lýkožrout menší (*Ips amitinus*). V menší míře můžeme najít v lesích lýkožrouta lesklého (*Pityogenes chalcographus*) a lýkožrouta severského (*Ips duplicatus*), kteří mohou ale někdy lokálně představovat větší nebezpečí, než lýkožrout smrkový.

Lýkožrouti přezimují pod kůrou stromů nebo v hrabance pod napadenými stromy. Jakmile se zvýší teplota vzduchu nad 15°C, začínají být aktivní a při teplotě nad 25°C se rojí. Samečci vyhlubují v kůrách napadených stromů tzv. snubní komůrku. Poté vypouští do ovzduší feromony, kterými lákají samičky k páření. Samiček bývá větší množství. Když se oplodní, vyhlodávají do kůry matečnou chodbu, do které nakladou vajíčka. Z vajíček se po určité době (6 – 18 dní) vylíhnou larvičky. Ty se pak začnou živit lýkem a vyhlubují si tak tzv. larvální chodbičky, které se zvětšují s tím, jak larvičky rostou. Po době žíru, která trvá 6 – 30 dní si larvička vyhlodá kukelní kolébku, ve které se zakuklí a po 6 – 17 dnech se z ní vylíhne brouk lýkožrouta. Po dobu 20 dnů se pak tento brouk vyvíjí v dospělého jedince. Na jednom stromě se může vylíhnout 150 – 200 tisíc jedinců [NP Šumava, 2011]. Lýkožrout smrkový a požerkek jsou na obr. č. 6 a 7.



Obr. č. 6 a 7 – Lýkožrout smrkový a požerkek (VÚLHM, 2011)

Přítomnost kůrovce v lesích je přirozená a dokonce žádoucí. Tento brouk totiž funguje jako čistící mechanismus lesa, když odstraňuje poškozené a nemocné stromy. Jako každý člen každého ekosystému, má i lýkožrout v lese své přirozené nepřátele a slouží tak jako potrava

různým druhům ptáků, hmyzu a dalších zvířat. Pokud se lýkožrout v lese vyskytuje v přiměřeném množství a nedojde k jeho přemnožení, napadá pouze nemocné stromy, zdravé stromy nikoli. Zdravé stromy se totiž dokáží samy proti napadením bránit a to tak, že brouka zalíjí pryskyřicí, proudící pod tlakem v husté síti kanálků. Tato pryskyřice je pro kůrovce jedovatá. Dalším způsobem obrany jsou strukturální a biochemické změny jako reakce stromu na napadení (např. nepropustné buněčné vrstvy či pryskyřičné valy okolo napadeného místa). Pokud byl strom již v minulosti lýkožroutem napaden, dokáže si vytvořit pro zvýšení imunity větší množství pryskyřičných kanálků [Hulcr, 2003]. Stromy také vypouští určité chemické látky, které kůrovci napoví informace o jejich zdravotním stavu.

Když však dojde k přemnožení lýkožrouta, nastane po zpracování mrtvého a nemocného dřeva nedostatek potravy a kůrovci musí napadnout i zdravý les. V Evropě je kůrovcem napadeno několik milionů m³ dřeva za rok, přičemž se jedná pouze o stromy jehličnaté. Na listnatých stromech se kůrovec ve větším množství nevyskytuje. [Němec, Hrib et al, 2009]. Příklad kůrovcem napadeného lesa je vyobrazen na obr. č. 8. Jedná se o les na Šumavě v oblasti Březníku.



Obr. č. 8 – Les napadený lýkožroutem smrkovým

Kůrovcové kalamity bývají často následkem jiných lesních disturbancí, nejvíce pak větrných kalamit a dalších meteorologických faktorů. Při suchu v kombinaci s vysokými teplotami je snížena vitalita stromů a zároveň jsou vhodné podmínky pro množení kůrovce. Může to znamenat 2 (ve vyšších polohách) až 3 (v nižších polohách) generace zmnožení za rok [Němec, Hrib et al, 2009].

Kůrovcové kalamity jsou dávány často do souvislosti s činností člověka a to nejen ve vztahu s historickou proměnou postižených lesů České republiky na méně odolné smrkové monokultury, ale přímo z pohledu postoje k odstraňování příčin lesních disturbancí. Příkladem je nakládání s padlými stromy po větrných kalamitách. Zde se dostává společnost do rozporu, zda poškozené stromy odstranit a zpracovat či ponechat les svému osudu. V publikaci Lesy v České republice [Němec, Hrib et al, 2009] je uplatňován názor, že dřevo, které by mohlo působit jako vhodná potrava pro kůrovce (např. dřevo z větrných polomů), by se mělo co nejdříve odstranit.

Je možné a vhodné pro regulaci výskytu lýkožrouta v lesích využívat různá opatření, jako jsou feromonové lapače. Kůrovci využívají feromonální komunikaci ve velmi intenzivní míře ve svém běžném životě – při hledání partnera, pro komunikaci při náletech na stromy nebo pro dorozumívání mezi různými druhy. Feromonální prostředky se proto používají v lesnictví už několik desítek let. Pro složitosti v systému feromonální komunikace však nefungují zcela dokonale. Do lapačů se chytí maximálně jedna třetina populace lýkožrouta [Hulcr, 2003].

Dalším prostředkem je tzv. lapák, který je vyroben ze smrkových vývratů či zlomů a který svou skladbou, jenž vlastně představuje jeho potravu, láká k sobě brouky lýkožrouta a zachytává je.

Využívá se také tzv. trojnožka (obr. č. 9), což je uměle vyrobené lapací zařízení, složené ze tří kusů neodkorněného smrkového dřeva spojeného do tvaru jehlanu. Součástí je feromonový odparník, který kůrovce láká. Dřevo trojnožky je napuštěno insekticidy. Jakmile se do něj kůrovec zakousne, umírá [Šumava on-line, 2011].



Obr. č. 9 – Trojnožka, feromonové zařízení na odchyťávání lýkožrouta

Lýkožrout není jediným biotickým škůdcem, který ohrožuje zdraví lesních ekosystémů. Mezi další patří houby. Samozřejmě se nejedná o všechny druhy hub, některé žijí se stromy v symbióze a jsou jim naopak prospěšné. Nezapomenutelné v pozitivním slova smyslu jsou také ve své činnosti rozkladné (dekompozice organických látek) [Soukup a Pešková, 2005].

Existují však houby, které stromům škodí. Rozdělují se do kategorií podle části stromu, kterou napadají na houby způsobující rozklad dřeva, onemocnění kořenů (tzv. půdní houby) nebo listů. Houby způsobují rez nebo vadnutí či vytváří na stromech rakovinové útvary [Němec, Hrib et al, 2009]. Některé parazitické houby napadají strom v místě poranění (například v místech ohryzaných zvěří). Podle Leontovyče a Kunci (2007) dochází v posledních letech vlivem působení škodlivých hub k odumírání 200 – 400 tis. m³ dřevní hmoty za rok.

Mezi houby, které v České republice způsobují výraznější hospodářské škody, patří především václavka smrková (*Armillaria ostoyae*), která napadá většinou oddenky a kořeny stromů. Houba napadá stromy buď chronicky nebo akutně. Obvyklejší je chronický průběh napadení, kdy houba parazituje na stromu i několik desítek let a tím postupně narušuje jeho stabilitu. Při chronickém působení tak nezpůsobuje přímo smrt dřeviny, pouze snižuje její

obranyschopnost vůči dalším negativním vlivům. Na rozdíl od toho při akutním napadení může dojít až k odumření stromu. V ohrožení jsou především smrky vysázené v monokulturách na nepůvodních stanovištích. Případem rozsáhlého napadení václavkou je kalamita po suchém období v roce 1947 nebo po roce 2003 [Soukup, 2007].

Dalším houbovým škůdcem v našich lesích je kořenovník vrstevnatý (*Heterobasidion annosum*). Jedná se o chorošovitou houbu, která napadá především jehličnaté stromy. V Česku patří mezi nejčtenější chorošovité houby. Opět napadá více stromy na nepůvodních stanovištích, především smrkové monokultury. Kalamitně se vyskytuje zejména na 1. generaci lesa vytvořené na bývalé zemědělské půdě [Soukup, 2007].

Pevník krvavějící (*Stereum sauguinolentum*) je nebezpečná saproparazitická houba, vyskytující se na jehličnatých stromech. Její význam sahá i do horských oblastí. Nejvíce se jí daří na jaře a na podzim, roste ale po celé vegetační období a v případě příhodných podmínek bez mrazů i v zimě [Soukup, 2007].

Na les negativně působí také tzv. bořeň, což je označení pro rostliny, které na určitém místě a v daném čase nejsou žádoucí. Patří mezi ně například invazní druhy rostlin (netýkavka, křídlatka atd.). Nežádoucí jsou především proto, že se rychle množí a odebírají stromům živiny, které by jim jinak byly k dispozici.

Škodlivě může na stromy v lesích působit také zvěř, která je ohryzává. Jedná se především o zvěř spárkatou (např. jelen).

2.2.4 Další negativní vlivy na zdraví lesa

Jasně negativní vliv na lesy má antropogenní změna druhové skladby a struktury lesa. Přesto, že smrkové porosty jsou schopné zadržet velké množství vody ve svých korunách, není pro ekologickou stabilitu a zdravotní stav lesa vhodné vysazovat jejich monokultury. Tyto jsou totiž velmi náchylné k různým lesním disturbancím. Zvláště pak monokultury poměrně labilního a vůči lesním disturbancím náchylného smrku, které jsou v České republice velmi časté.

Špatný vliv má také nerozumná těžba dřeva. To se týká jak množství a lokalizace těžby, tak také způsobu, kterým je těžba prováděna. Především těžká technika může významným způsobem narušit lesní půdu a ovlivnit tak negativně vodní režim dané části lesa.

Stejně tak může ohrožovat zdravotní stav lesa nerozumná výstavba dopravní sítě, ať už se jedná o síť silniční nebo pouze o síť turistických či cyklistických stezek. Pokud se tyto cesty vystavují podél vodních toků v údolích, nemělo by to vést k významnějším problémům.

Výstavba cest ve svahu (především kolmo k vrstevnicím) a při stoupání do horských sedel ale může způsobovat značné poškození prostředí. Dochází ke změnám v odtokovém režimu daného území, kdy takovéto cesty urychlují odtok, snižují retenci a zvyšují erozi (DUHA a Přátelé Jeseníků – SOJKA, 2002). V místě, kde se zařezává cesta do svahu, může dojít k narušení hypodermického odtoku a jeho nežádoucí transformaci na odtok povrchový.

2.3. Vliv stavu lesa na odtok v krajině

V předchozích kapitolách bylo mimo jiné uvedeno, jaké faktory ovlivňují odtok z krajiny, jakým způsobem na odtok působí vegetace a jak je vegetace, konkrétně lesní porosty, negativně ovlivňována různými vlivy, které byly stručně popsány. V této kapitole bude diskutován vliv narušeného lesa na odtok, který pak bude porovnán s již dříve popsaným působením zdravého lesa.

Když dojde k významné disturbanci lesního porostu, může se vzniklá situace řešit několika způsoby. Na příkladu kůrovcových nebo větrných kalamit je možné pozorovat rozporné názory mezi zúčastněnými osobami. Především lesní hospodáři vesměs zásadně obhajují asanování poškozeného lesa, při kterém jsou mrtvé stromy z území odvezeny a zpracovány. Místo poškozeného lesa tedy vznikne holá seč.

Opačný přístup k řešení mají ekologové a další, kteří prosazují zanechání poškozeného lesa svému osudu bez jakýchkoli zásahů. Například Čížková (2010) ve výsledcích své studie uvádí, že obnova dřevin v lesním ekosystému, který byl po lesní disturbanci ponechán samovolnému vývoji, je dostatečná. Mrtvé dřevo při této obnově pak hraje velmi významnou roli. Naopak vysoké stavy spárkaté zvěře mohou odrůstání dřevin komplikovat.

Při pohledu na věc ze strany hydrologického cyklu a odtokových poměrů, můžeme rozdělit vlivy odlesněného území (tzn. holin, vzniklých odvezením poškozených stromů po kalamitách či po rozsáhlé těžbě dřeva apod.) na odtok z krajiny na přímé a nepřímé. Jasným přímým vlivem, jak vyplývá z textu výše, o vlivu lesa na hydrologii území, je snížení retenční kapacity území. Dochází k absenci intercepce, k přeměně půdních vlastností, snížení akumulace v lesních depresích atd.

Nepřímým vlivem odlesnění je změna mikroklimatu, v případě rozsáhlejších území i mezoklimatu. Povrch holin se v daleko větší míře, zvláště při intenzivním slunečním záření, ohřívá, oproti zdravému nebo poškozenému lesu, kde je více záření od povrchu odraženo a kde se nachází mnoho lokálních zastíněných ploch. (Hais, 2008).

Souvislostmi mezi stavem lesa a srážkami, které pak ovlivňují odtok, se zabýval např. Antonín Malý ve své diplomové práci. Došel k těmto výsledkům:

Vliv délky trvání srážky na vlastnosti hydrogramů

- srážky s dobou trvání menší než 5 hodin → méně zalesněné území má větší hodnoty kulminačních průtoků (v lese je menší kulminace)
- srážky s dobou trvání 5 až 10 hodin → v zalesněných povodích: delší doba trvání poklesové větve hydrografu, delší doba koncentrace a nižší objem přímého odtoku (les „zpomaluje“ vodu)
- vliv dlouhotrvajících srážek ve vztahu k vegetaci nebyl prokazatelný

Vliv charakteru příčinné srážky na vlastnosti hydrogramů

- dlouhotrvající srážky o slabé až středí intenzitě → vegetace měla kladný vliv na zpoždění kulminace průtoků za kulminací srážky, delší doba koncentrace a také doba nárůstu i poklesu odtokové vlny
- intenzivní srážky ($2 \text{ mm} \cdot \text{hod}^{-1}$) → lesní povodí vykazují vyšší hodnoty objemu přímého odtoku
- srážky s intenzitou do $2 \text{ mm} \cdot \text{hod}^{-1}$ a dobou trvání do 10 hodin → v zalesněných povodích byla delší doba koncentrace a delší doba trvání srážko-odtokové epizody

Vliv velikosti příčinné srážky na vlastnosti hydrografů

- srážky o velikosti do 10 mm → lesní povodí je schopno zpožďovat kulminační průtok; specifický průtok i objem přímého odtoku je nižší
- srážky o velikosti větší než 15 mm → větší transformační schopnost lesnatého povodí, nižší kulminační průtok
- při srážkách o velikosti 10 až 15 mm záleží ještě na dalších vlivech, jako je např. vliv předchozího nasycení

Vliv intenzity srážky na vlastnosti hydrografů

- malá intenzita srážek (do $1 \text{ mm} \cdot \text{hod}^{-1}$) → menší kulminační průtok, delší doba nástupu
- srážky o intenzitě 1 až $2 \text{ mm} \cdot \text{hod}^{-1}$ → delší doba trvání vzestupné i poklesové větve hydrografu

- srážky o intenzitě vyšší než $2 \text{ mm} \cdot \text{hod}^{-1}$ → záleží ještě na dalších vlivech, jako je např. vliv předchozího nasycení

Vliv velikosti počátečního specifického odtoku

- malé hodnoty počátečního specifického odtoku ($Q < 5 \text{ l} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^{-2}$) → na méně zalesněném povodí delší průběh vzestupné větve hydrografu a pozdější výskyt kulminací
- střední hodnoty počátečního specifického odtoku ($Q = 5 - 7 \text{ l} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^{-2}$) → v lesnatém povodí je doba koncentrace delší, kulminace se dostavuje později
- vysoké hodnoty počátečního specifického odtoku ($Q > 7 \text{ l} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^{-2}$) → les má vliv na prodlužování vzestupné i sestupné větve hydrografu, prodlužuje se doba koncentrace a dochází k opoždění kulminace

Vlivem odtěžení lesa a následného vysázení nových stromů na odtokové poměry se zabývali například Tijiu a Xiaojing (2007). Porovnávali zalesněné území s původním smíšeným lesem s územím, kde byl původní les z většiny (85%) pokácen a následně vysázen nový, modřínový. I přes podobné srážkové úhrny v období od června do srpna se odtok z obou sledovaných lesních ekosystémů významně lišil. V prvních deseti letech po vysázení nového lesa byl odtok z této vytěžené oblasti vyšší než ze smíšeného původního lesa (důvodem bylo především snížení množství vody zadržené intercepce). S postupem času, jak se zvětšovaly koruny rostoucích stromů, se ale odtoky v těchto dvou oblastech vyrovnaly a po delší době od vysázení byl vyzorován dokonce nižší odtok u odtěženého a znovu vysázeného lesa. Hodnoty tohoto rozdílu ale byly zanedbatelné.

V této studii bylo dále zjištěno, že těžba lesa zvyšuje povodňové průtoky a průtoky z tajícího sněhu.

3. Zájmové území – Šumava

3.1. Obecná fyzickogeografická charakteristika Šumavy

Šumava je nejrozsáhlejší středoevropské pohoří hercynského systému, ležící na jihozápadní hranici České republiky. Zasahuje na území států Česká republika, Rakousko a Spolková republika Německo.

Na české straně Šumavy byla 27.12.1963 vyhlášena Chráněná krajinná oblast s rozlohou 99 624 km². Následně na části území CHKO byl vyhlášen Národní park. K tomu došlo 20.3.1991. S rozlohou 680 km² se jedná o největší Národní park České republiky. Je zalesněn z 80% své rozlohy. Nejvyšším bodem je vrch Plechý s nadmořskou výškou 1378 m a nejnižším místem je údolí Otavy u Rejštejna (570 m n.m.). Na obr. č. 10 je uvedena mapa centrální části Šumavy.



Obr. č. 10 – Centrální část Šumavy (Mapy.cz, 2011)

3.1.1 Geologie a geomorfologie

Z geologického hlediska je Šumava tvořena dvěma odlišnými geologickými celky moldanubikem a moldanubickým plutonem. Moldanubikum představují metamorfity, prostoupené hlubinnými plutony. Většinou se udává, že jsou stáří středně až spodně proterozoického. Moldanubický pluton vznikl přibližně na konci variského vrásnění ve svrchním paleozoiku. Představuje ho několik větších granitových intruzí (prašilský masiv,

masiv Vydry, masiv Plechého) a četné drobnější granitové útvary [NP Šumava 2011, Vacek a Podrazský 2003].

Z kvartétních sedimentů jsou nejčetnější deluviální uloženiny a nachází se zde hodně rašelinišť. V menší míře na území Šumavy nalezneme fluviální a fluviodeluviální uloženiny a jen ojediněle glaciální sedimenty [NP Šumava, 2011].

Geologický vývoj byl výrazně ovlivněn zlomovou tektonikou. Význam měla například alpsko-karpatská orogeneze, která způsobila rozlámání tehdejší paroviny na jednotlivé kry. Mírný tektonický neklid je zde pozorován dodnes [NP Šumava, 2011].

Šumava má rozlohu skoro 170 km², přičemž délka pohoří dosahuje 120 km a jeho šířka 25 km. Průměrná nadmořská výška je 921,5 m a sklon svahů 7,6°.

Pohoří je tvořené rozlámanými megasyklinálami a megaantiklinálami s rozsáhlými náhorními plošinami. Převýšení nejvyšších vrcholů nad horské hřbety je i o více než 300 m. Šumava se zvedá z nadmořské výšky okolo 700 m až do přibližně 1400 m na německé straně (Velký Javor 1456 m n.m.).

Významným geomorfologickým celkem jsou Šumavské pláně. Jedná se o náhorní plošinu o nadmořské výšce okolo 1000 m. K severozápadu z ní vybíhá Železnorudská hornatina, k jihovýchodu Trojmezenská hornatina a dále Boubínská a Želnavská hornatina, oddělené od sebe Vltavskou brázdou.

Největší podíl na vývoji zdejšího reliéfu mělo alpínské vrásnění ve třetihorách a dále střídání dob ledových a meziledových ve čtvrtohorách. Protože zde nebyla doložena přítomnost moře v postorogenních obdobích, ovlivňovaly šumavský reliéf pouze procesy terigenního charakteru [NP Šumava, 2011].

3.1.2 Hydrologické a klimatické poměry

Šumavou prochází hlavní Evropské rozvodí, které od sebe odděluje úmoří Severního a Černého moře. Do Severního moře odtékají vody řek Úhlavy, Otavy, Volyňky, Blanice a Vltavy, do Černého moře pak teče voda řek Regen, Ilz a Grosse Mühl. Největší část Šumavy je odvodňována Vltavou a Otavou [Anděra, Zavřel a kol. 2003]. Tyto dvě největší řeky pramení na Šumavských pláních, kde se nalézají velké množství vrchovišť.

Vltava pramení 1,5 km na jihovýchod od Černé hory v nadmořské výšce 1172 m. Část území, která je Vltavou odvodňovaná patří do tzv. Šumavské soustavy v rámci povodí dolní Vltavy.

Otava odvodňuje západní část Národního parku. Vzniká soutokem řek Vydry a Křemelné. Ve svých dolních částech vytvářejí hlavně přítoky těchto řek strmá, kaňonovitá údolí. Vydra vzniká soutokem tří zdrojnic – Modravského, Roklanského a Filipohuťského potoka.

Na Šumavě se nachází síť malých i velkých vodních toků, prameniště, rašeliniště, ledovcová jezera a antropogenní vodní díla jako jsou přehrady, plavební kanály a náhony. Celé území patří od roku 1978 mezi Chráněné oblasti přirozené akumulace vod (CHOPAV).

Průměrný odtok z Národního parku Šumava je $14,1 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Do řeky Otavy z toho odtéká 61%. Pro svůj vysoký specifický odtok se území NP Šumava podílí na celkovém průtoku Labe z 4,6%. Plocha povodí NP Šumava přitom tvoří pouhých 1,4% plochy povodí Labe na území České republiky.

V rámci klimatického členění České republiky patří Šumava z větší části do chladné klimatické oblasti středoevropského typu. Pouze z menší části (údolí Vltavy od Lenory a jižní svahy Želnavské hornatiny a některé části Šumavského podhůří) patří do oblasti mírně teplé [Vacek a Podrázský, 2003]. Z hlediska oceanity podnebí patří toto území k přechodnému typu mezi klimatem kontinentálním a oceánickým. Vyznačuje se relativně nízkými ročními teplotními amplitudami. Teplotní gradient se mění s nadmořskou výškou. Díky častým inverzním situacím ale bývají teploty v údolních polohách nižší než na hřebenech, ležících nad inverzní vrstvou. Nejchladnějším měsícem je leden (teplotní minima nastávají ve dnech 17. a 18.1.), nejteplejším červenec a srpen (maxima teplot v průměru nastávají 6. a 7.8.). Zima se zápornými teplotami trvá okolo pěti měsíců, přičemž teploty klesají pod nulu na konci října či na začátku listopadu a stoupají nad nulu zase na konci března či v dubnu. Mezi šumavské oblasti s nejnižšími teplotami patří Šumavské pláně [Anděra, Zavřel a kol. 2003].

Z hlediska srážkových poměrů lze Šumavu rozdělit na tři části – návětrné svahy exponované vůči převládajícímu jihozápadnímu proudění, vrcholová část Šumavy (vrcholy Churáňova, Boubína atd.) a závětrří se severními a severovýchodními svahy. Nejvyšší množství srážek spadne v první uvedené oblasti, tedy na návětrných svazích pohoří, kde je také relativně vyrovnané rozložení srážek v průběhu roku. Nejmenší roční úhrny jsou naopak naměřené v závětrří hor. Množství srážek roste na Šumavě obecně s nadmořskou výškou o 100 – 150 mm na 100 m. Srážkové maximum bylo naměřeno na Březníku, a to 2132 mm v roce 1922. Březník je také místem, kde spadne nejvyšší množství srážek v dlouhodobém průměru (1552 mm). Po něm následuje Modrava (1337 mm) a Světlé Hory (1274 mm). Nejnižší množství srážek pak spadne v oblastech ležících ve srážkovém stínu, jako je

například Stašská dolina či okolí Nových Hutí nebo Borových Lad. [Anděra, Zavřel a kol. 2003].

Asi 40% ročních srážek v centrální části Šumavy tvoří srážky zimní, tedy sníh. Trvalá sněhová pokrývka se vyskytuje více než polovinu dní v roce. [Anděra, Zavřel a kol. 2003].

Na Šumavě převládá severozápadní, dále západní a jižní proudění vzduchu. Největřněji je v létě a dále pak v říjnu. Silný vítr v některých případech způsobil rozsáhlé škody na lesních porostech [Anděra, Zavřel a kol. 2003].

V oblasti centrální Šumavy se průměrně 147 dní v roce vyskytuje mlha. [Anděra, Zavřel a kol. 2003].

3.1.3 Pedologie

V rámci pohoří České republiky má Šumava poměrně specifické podmínky pro vývoj půd. Je to způsobeno několika faktory. Za prvé, nadmořské výšky na většině území Šumavy přesahují 600 m, za druhé, v centrální části území se vyskytuje velké množství zarovnaných povrchů, které podporují vývoj hydromorfních a semihydromorfních půd. Za třetí je zde, oproti jiným pohořím ČR, mírnější klima [NP Šumava, 2011].

Mezi půdy, které se na území Šumavy vyskytují nejvíce patří především litozem (surová půda), ranker (ranker), kambizem modální (hnědá půda), kambizem dystrická (hnědá půda kyselá a hnědá půda velmi kyselá), kryptopodzol (rezivá půda), podzol (podzol), pseudoglej (pseudoglej), stagnoglej (stagnoglej), fluvizem (nivní půda), glej (glej), organozem (rašelinná půda) [NP Šumava, 2011].

3.1.4 Lesní ekosystémy na Šumavě

Druhová skladba šumavských lesů prošla v době po odeznění posledního glaciálu značným vývojem, úzce spojeným s klimatickými změnami. Druhové složení se relativně ustálilo přibližně před třemi tisíci lety [Anděra, Zavřel a kol. 2003]. Rostly zde pralesy, ve kterých se vedle sebe vyskytovali hlavně buk, smrk, jedle a klen. Smrkové porosty dominovaly pouze v nejvyšších horských partiích [Kučera, 2010] a na místech s drsnějším klimatem v oblastech nad 1200 m n.m. [Anděra, Zavřel a kol. 2003].

První stopy člověka na Šumavě jsou známy z doby kamenné, ovšem tehdy nedošlo k žádnému trvalému osídlení a tedy ani k poškození lesních ekosystémů. Osídlování v pravěku a ranném středověku, které bylo obecně spojené s odlesňováním, se Šumavě vyhnulo. Prvním zásahem do šumavských lesů bylo vystavění sítě stezek vedoucích z Čech

do Bavorska. Trvalá sídla se pak začala postupně od 11. století rozšiřovat z šumavského podhůří podél vodních toků a zemských stezek a v 16. století se osídlení dostalo až do nejvyšších částí. V té době se značná část dřeva těžila a využívala pro potřeby hutí a skláren [Anděra, Zavřel a kol. 2003].

Přibližně od 13. století se v důsledku lidských zásahů začalo druhové složení šumavských lesů podstatně měnit ve prospěch smrkových monokultur. Důvodem byl předpoklad jejich vyšší hospodářské výnosnosti. Výsadba smrčín na velkých plochách přetrvala až do období vzniku Národního parku Šumava. V současné době najdeme smrk v druhovém zastoupení z 80% oproti původním 50% [Kučera, 2010]. Podle Bečky (2010) jsou šumavské lesy v následujícím druhovém složení:

smrk ztepilý	81%
buk lesní	7%
borovice lesní	3%
borovice blatka a kleč	2,47%
jedle bělokorá	1,59%
bříza	1,48%
jeřáb ptačí	1,42%

další druhy dřevin do 0,5% zastoupení: olše, topol osika, jasan ztepilý, modřín opadavý, vrba, javor mléč, jilm drsný, třešeň ptačí, lípa srdčitá, dub zimní, douglaska tisolistá [NP Šumava, 2011].

Ač je smrk poměrně nenáročný na některé klimatické ukazatele, jako je teplota, patří obecně k nejlabilnějším dřevinám. Je velmi choulostivý vůči suchu a imisím škodlivých látek. Díky talířovitému tvaru svých kořenů, které nedosahují do hlubších půdních horizontů, není příliš stabilní. Je tedy náchylný vůči silným poryvům větru, jejichž působením dochází k vývratům [Mezi stromy, 2010]. NP a CHKO Šumava má za cíl postupnou přeměnu smrkových monokultur na lesní porosty druhovou skladbou více podobné přirozenému stavu, kde by se vedle smrku vyskytoval také buk a jedle.

V současnosti na Šumavě 41,4% lesů patří mezi lesy hospodářské, 3,3% patří do skupiny lesů ochranných (na mimořádně nepříznivých stanovištích, vysokohorské lesy pod hranicí stromové vegetace) a 55,3% jsou lesy zvláštního určení. Mezi ty se počítají lesy v pásmech hygienické ochrany I.stupně, v území NP a NPR, v PR a I.zónách CHKO, příměstské a rekreační lesy, lesy sloužící lesnickému výzkumu, se zvýšenou funkcí

půdoochrannou, vodoochrannou, klimatickou a krajínotvornou, lesy potřebné pro zachování biologické rozmanitosti, lesy, v nichž jiný důležitý zájem vyžaduje odlišný způsob hospodaření a lesy v uznaných oborách [Vacek, Krejčí a kol., 2009].

3.1.4.1 Zdravotní stav lesních porostů

Vliv na zdravotní stav šumavských lesních porostů má zejména jejich původ, tedy jde-li o porosty přírodní nebo kulturní (významně antropicky ovlivněné). Původ lesa pak ovlivňuje způsob, jakým se tyto ekosystémy vyrovnávají s různými druhy disturbancí [Vacek, Krejčí a kol., 2009].

Mezi hlavní faktory, které se podílely a podílejí na poškozování lesů na Šumavě, patří výrazné imisní zatížení oblasti (zejména v období 80. a 90. let minulého století), projevy klimatických extrémů (větrné kalamity) a biotických škůdců (kůrovcové kalamity). Tyto disturbance ovlivňují negativně jak přímo zdravotní stav stromů, tak zároveň způsobují i podstatné změny v bylinném a mechovém patře lesa a v jeho půdním prostředí [Vacek, Krejčí a kol., 2009].

Větrné kalamity a s nimi často spojené kalamity kůrovce (lýkožrout smrkový a další druhy - na Šumavě jich bylo nalezeno 26 - Zelený a Doležal, 2004) jsou nejvýraznějším problémem, působícím na devastaci šumavských lesů již přibližně 20 let [Vacek, Krejčí a kol., 2009]. Tento problém není aktuální pouze v současnosti, ale jsou doloženy také případy přemnožení kůrovce na Šumavě z let dřívějších (např. první informace o kůrovcové kalamitě jsou z let 1834-1839, opět po kalamitě větrné – Jelínek, 1988).

V roce 1870 byla zaznamenána vichřice, která vyvrátila řadu stromů mimo jiné (kalamita byla velmi rozsáhlá) i v Boubínském pralesu. V té době, z obavy před nástupem kůrovce, byly lesní plochy asanovány a to včetně ploch Boubínského pralesa. Zbylo tak asi 47 ha pralesa, které jsou dodnes chráněny [Vrška a Hortl, 2010].

V roce 1968-1970 bylo vyvráceno 2000 ha lesa. Při vichřici v Bavorském lese v letech 1983 a 1984 bylo postiženo 173 ha lesa, z toho 85 ha v I. zóně Národního parku. Vyvrácený les byl ponechán vlastnímu vývoji. Výsledkem však byla kůrovcová kalamita, kdy se kůrovec samovolně tři roky množil. Nejvíce postižené přitom byly oblasti sousedící s LS Modrava, Srní a Kvilda [Hynek a Juha, 2004].

Jako bezzásahové území pak byla vyhlášena oblast mezi Luzným a Roklanem podél hranic s NP Bavorský les a dále I. zóny ochrany přírody. Ve II. zónách se začalo proti kůrovci aktivně zasahovat. Byly zde asanovány všechny kůrovcem napadené stromy (stromy byly

pokáceny a odkorněny a dále ponechány na místě k zetlení, další ochranu představovaly feromonové lapače) [Hynek a Juha, 2004].

V roce 1995 došlo k explozivní gradaci kůrovce [Vinš et al, 1999] a v roce 1996 byla zavedena první opatření proti kůrovci, která vedla ke vzniku rozsáhlých holin.

Od roku 1998 byla vyhlášena povinnost nechat alespoň 20% asanovaného dříví v lese k zetlení. V roce 2003 byla dále zvolena metoda odkorňování napadených stromů bez jejich kácení [Hynek a Juha, 2004]. Další gradace kůrovce začala v roce 1994 [Jehl, 2008]. V roce 1999 byla zahájena asanace některých ploch I. zóny NP [Vacek a Krejčí, 2009].

Od poloviny 90. let 20. století odumřelo na území NP Šumava a NP Bavorský les cca 3000 ha smrkových porostů, přičemž asi 1000 ha z toho bylo na české straně. Došlo k tomu převážně podél bezzásahových území, kde při provádění asanačních opatření došlo ke vzniku rozsáhlých holin a kde se proti kůrovci nepoužívala žádná další opatření [Vacek a Krejčí, 2009].

18. a 19.1.2007 postihl prakticky celou západní a střední Evropu orkán Kyrill. Nezasažená nezůstala ani Šumava. Na Churáňově byla naměřena rychlost větru 176 km/h . Podle odhadů bylo množství polomů a vývrátů cca 700 000 m³, z toho asi 60 000 m³ v I. zónách Národního parku [Turčáni, Vojtěch a Jakuš, 2009]. Téměř všechno polomové dřevo pak bylo zpracováno. Výjimku tvořily vybrané přírodně nejzachovalejší vrcholové partie Šumavy, kde se nechaly popadané stromy ležet. Bylo to skoro 140 000 m³ dřeva. Vyvrácené stromy byly přitom téměř zcela zbaveny kůry, aby se zabránilo rozmnožení kůrovce [Kašpar, 2008].

V Národním parku Šumava jsou v kritických oblastech rozmístěny lapáky a feromonové lapače (asi 14200 takovýchto zařízení). Jejich cílem je odchytit až 80% jedinců populace lýkožrouta smrkového. Dále se v některých částech Národního parku aplikuje postřik houbou *Beauveria bassiana*, která je přirozeným nepřítelem kůrovce [Kašpar, 2008].

Způsob řešení kůrovcových kalamit je velmi diskutovanou otázkou a také zdrojem sporů mezi jednotlivými skupinami, kterými jsou například lesníci nebo ekologičtí aktivisté. Výzkumy, týkající se kůrovcové kalamity a vlivu odlesnění X ponechání lesa vlastnímu vývoji, jsou stále intenzivně řešeny. Příkladem je studium dynamiky lesních disturbancí na Šumavě mezi lety 1985 a 2007 pomocí dálkového průzkumu země [Hais et al, 2008]

Jak vypadá současný les v centrální části Šumavy je vidět na obr. č. 16 – 19.



Obr. č. 16 – zdravý les v okolí řeky Vydry na Šumavě



Obr. č. 17 – poškozený les na centrální Šumavě



Obr. č. 18 –šumavský les poškozený kůrovcovou kalamitou



Obr. č. 19 – téměř mrtvý les na Šumavě

3.2. Modelová povodí

Diplomová práce je zpracovávána pro sedm dílčích povodí v pramenné oblasti řeky Vydry, nalézajících se v centrální části Šumavy. Jedná se o povodí Antýglu, Roklanského potoka, Javořího potoka, Tmavého potoka, Černoorského potoka, Cikánského potoka a Březnického potoka. V závěrových profilech těchto toků byla postupně zaváděna automatická měření vodních stavů a dalších hydrologických charakteristik. Povodí se odlišují především ve zdravotním stavu lesa, což je pro tuto práci stěžejní.

Povodí jsou geologicky tvořena výhradně ze žuly, hornin moldanubika nebo kvartéru a v půdním pokryvu se střídá podzol s glejí a kambizemí. Nejnižší nadmořská výška nedosahuje 1000 m n.m. (Antýgl), nejvyšší se blíží k 1400 m (Roklanský potok). Území se od sebe liší hlavně zdravotním stavem lesa.

3.2.1 Antýgl

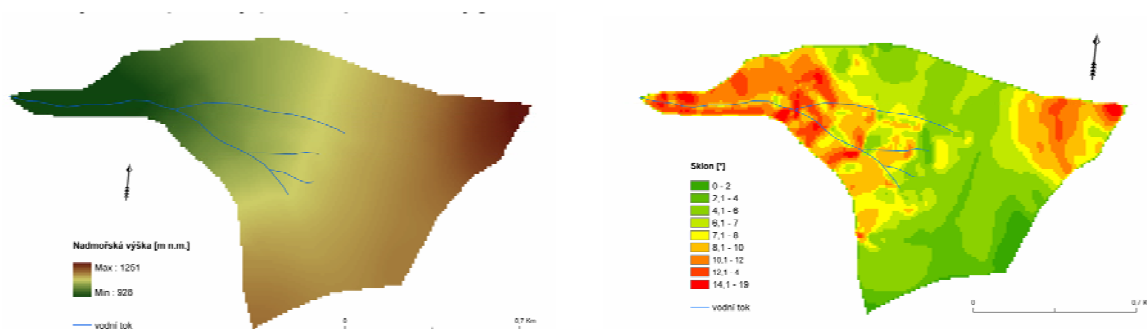
Jako Antýgl byl nazván profil na bezejmenném potoce 5. řádu (absolutní řádovost), který je pravostranným přítokem Vydry. Umístění profilu je u silničního propustku. Povodí pod názvem Antýgl (obr. č. 20) je nejmenším (1,1 km²) ze všech sledovaných. Zároveň je také nejmladším co do doby měření vodních stavů, které zde probíhá od 28.6.2010. Průměrná nadmořská výška území je 1126 m, minimální 928 m a maximální 1251 m (obr. č. 21). Průměrná sklonitost svahů je 4,17° a maximální 30,38° (obr. č. 22). Svahy mají západní expozici. Délka říční sítě je 4,65 km a její hustota 4,27 km/km².



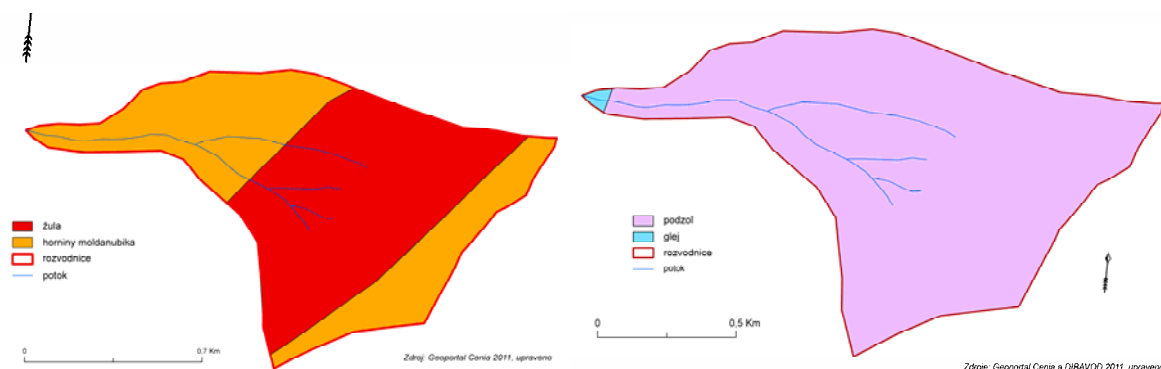
Obr. č. 20 – Povodí Antýgl

Z geologického hlediska je povodí tvořeno žulou a horninami moldanubika (obr. č. 23). Půdy zde patří především do půdního typu podzol a dále pak glej a kambizem (obr. č. 24).

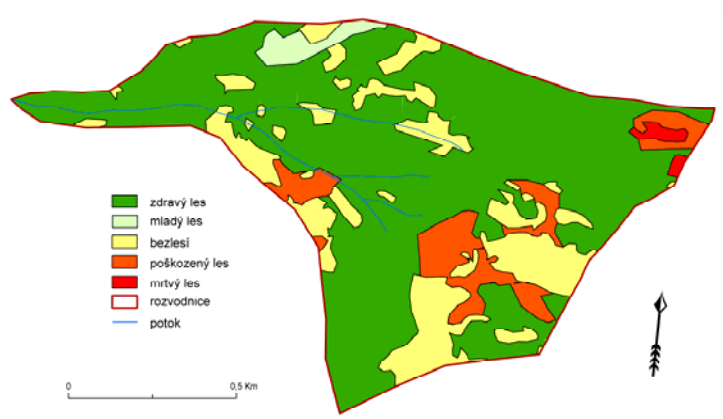
Území tohoto povodí bylo poškozeno při orkánu Kyrill. V současné době zde probíhá těžba dřeva pod patronací Lesů Kašperské Hory. 70% území je pokryto dosud zdravým lesem, 2% mladým lesem, 18% je bezlesí, 9% tvoří les poškozený a zbylé 1% les mrtvý (obr. č. 25). 6% plochy území pokrývají mokřady.



Obr. č. 21 a 22 – Výškové poměry a sklon svahů v povodí profilu Antýgl



Obr. č. 23 a 24 – Geologické a půdní poměry povodí profilu Antýgl



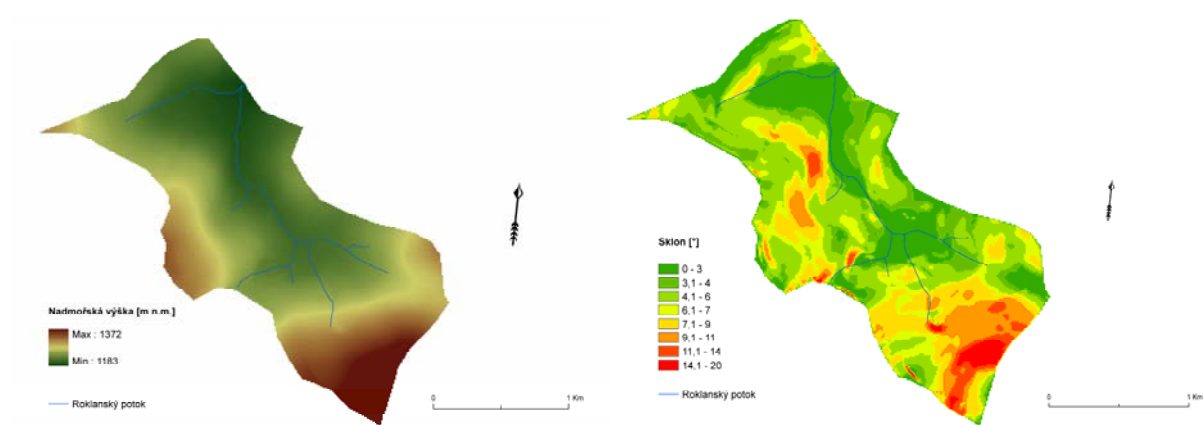
Obr. č. 25 – Zdravotní stav lesa v povodí profilu Antýgl

3.2.2. Roklanský potok

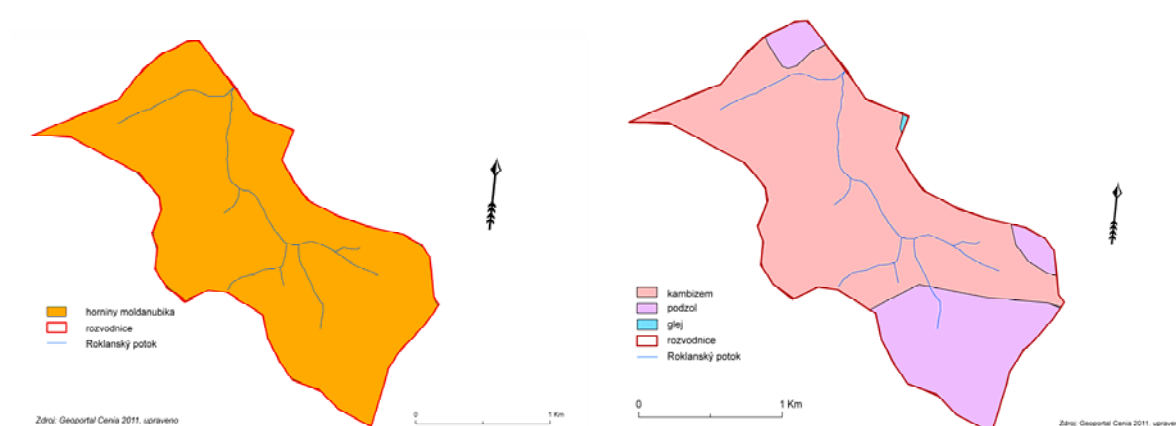
Roklanský potok je spolu s Modravským potokem zdrojnicí řeky Vydry. Měřicí profil je umístěn v horní části toku v nadmořské výšce 1183 m. na mostě. Průměrná nadmořská výška v povodí nad měrným profilem je 1235 m, minimální 1183 m a maximální 1373 m (obr. č. 26). Průměrný sklon svahů je 5°, maximální dosahuje 43,5° (obr. č. 27). Svahy jsou exponované na jih až jihovýchod. Sledované území má rozlohu 3,3 km² a délka toku od pramene k měrnému profilu je 7,54 km. Hustota říční sítě je 4,6 km/km². 27,3% území pokrývají mokřady.

Geologicky tvoří celé území horniny moldanubika (obr. č. 28) Mezi půdami zde převažují podzoly (skoro 50% území), dále pak glej a kambizem (obr. č. 29).

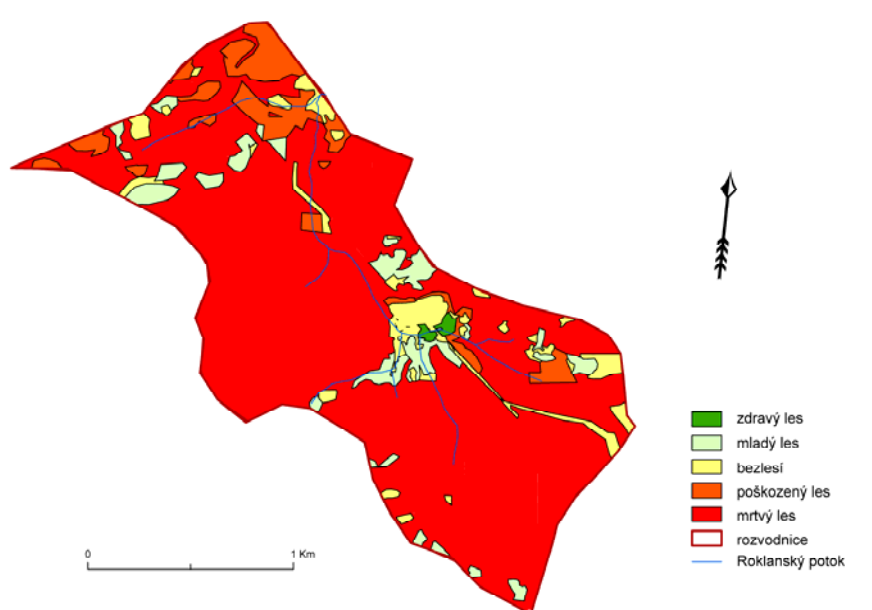
Území je velmi silně poškozeno kůrovcem. Prakticky se zde nevyskytuje žádný zdravý les a naopak 80% plochy pokrývá mrtvý les. 7% je pak les poškozený, 6% tvoří bezlesí a na dalších 6% začíná vyrůstat mladý les (obr.č. 30).



Obr. č. 26 a 27 – Výškové poměry a sklon svahů v povodí Roklanského potoka



Obr. č. 28 a 29 – Geologické a půdní poměry povodí Roklanského potoka



Obr. č. 30 – Zdravotní stav lesa v povodí Roklanského potoka

3.2.3 Javoří potok

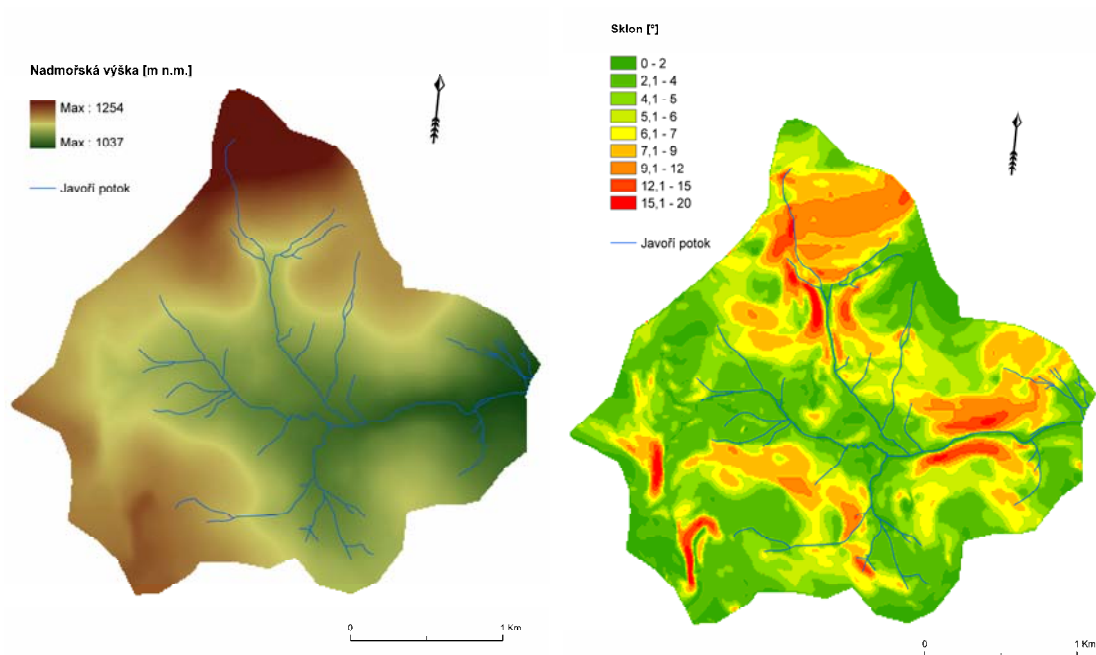
Javoří potok (obr. č. 31) je levostranným přítokem Roklanského potoka. Vlévá se do něj v jeho střední až spodní části. Je tokem 6. řádu absolutní řádovosti. Měrný profil je umístěn na mostě a je spojen kabelem s měrným profilem Tmavého potoka. Průměrná nadmořská výška území je 1117 m, minimální 1037 m a maximální 1254 m (obr. č. 32). Průměrný sklon je $5,2^\circ$ a maximální sklon území je $43,37^\circ$ (obr. č. 33). Svahy jsou orientovány na východ. Potok má celkovou délku 17,76 km a hustota říční sítě je $2,69 \text{ km/km}^2$. Plocha mokřadů je 12,4% z celkové plochy území.



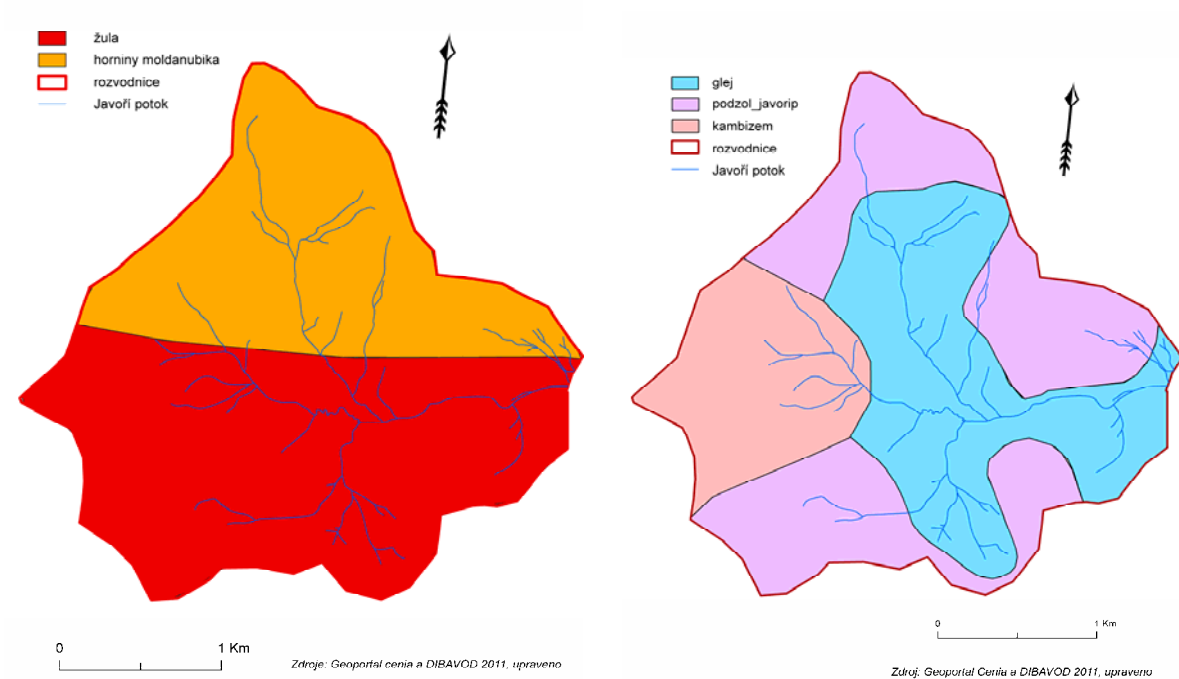
Obr. č. 31 – Javoří potok

Geologicky je území tvořeno žulou a horninami moldanubika (obr. č. 34). Z půdních typů převažují podzoly, dále pak gleje a kambizemě (obr. č. 35).

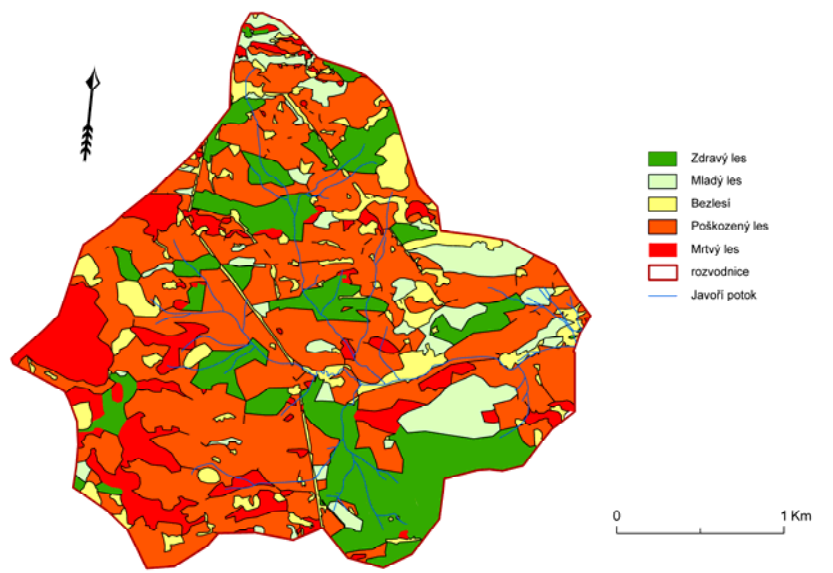
Polovinu území tohoto povodí tvoří poškozený les a 12 procent tvoří les mrtvý. Zdravý les se nachází na 20%, mladý les na 9% území a zbylých 10% plochy povodí je bez lesa (obr. č. 36).



Obr. č. 32 a 33 - Výškové poměry a sklon svahů v povodí Javořího potoka



Obr. č. 34 a 35 – Geologické a půdní poměry povodí Javořího potoka



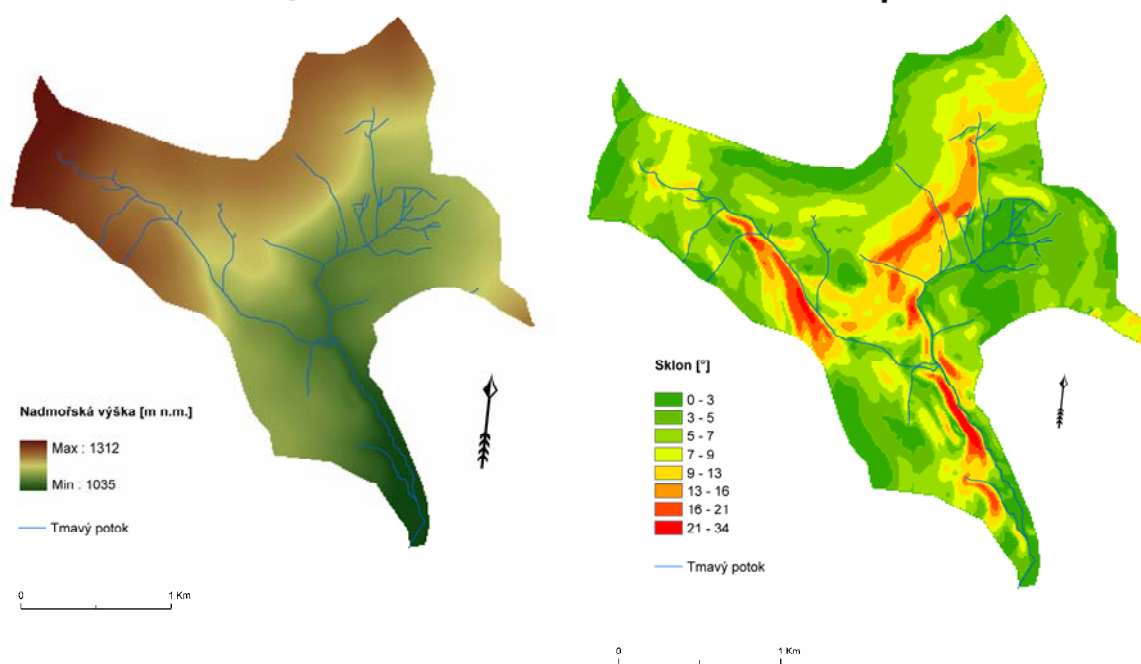
Obr. č. 36 - – Zdravotní stav lesa v povodí Javořího potoka

3.2.4. Tmavý potok

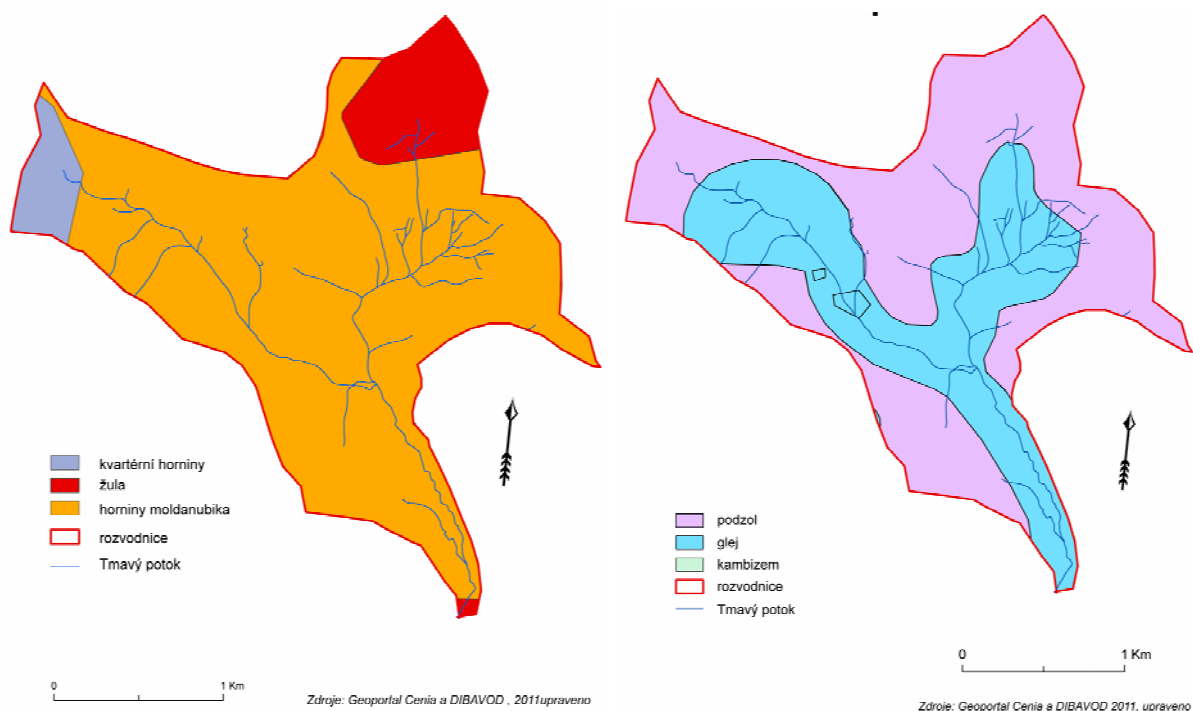
Tmavý potok je levostranným přítokem Javořího potoka, do kterého se vlévá v jeho střední až spodní části. Je tokem 7. řádu (absolutní řádovost). Měrný profil je kabelem spojen s měrným profilem na Javořím potoce. Plocha povodí do měrného profilu je 4,7 km², délka říční sítě je 15,16 km a její hustota 3,14 km/km². V průměru se povodí nachází ve výšce 1173 m n.m. Minimální nadmořská výška je 1035 m a maximální 1312 m (obr. č. 37). Průměrná sklonitost v povodí je 6,37° a maximální 49,41° (obr. č. 38). Svahy jsou orientovány na jih. 4,3% území tvoří mokřady.

Z horninového složení zde převládají horniny moldanubika, část území je tvořena také žulou a kvartérními horninami (obr. č. 39). Z půd převažují nadpolovičním podílem podzoly, následované kambizemí. Jen necelá 2% území pokrývá glej (obr. č. 40).

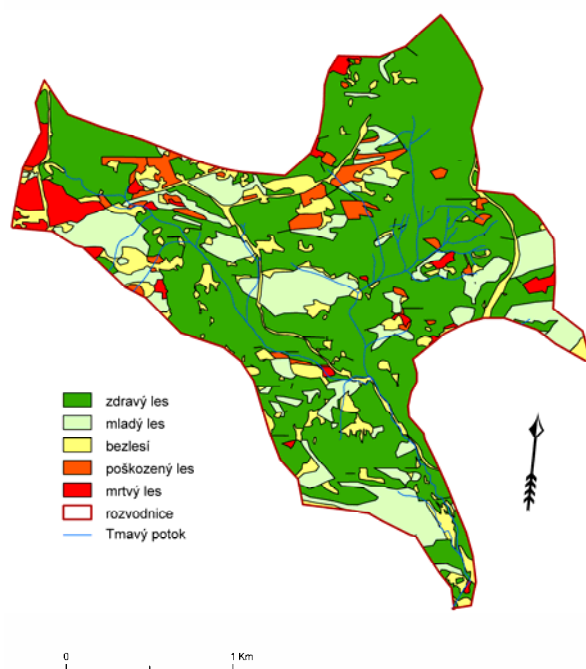
Přes 60% území tvoří zdravý les, 18% je les mladý a 10% je bezlesí. Zbytek je poškozený nebo mrtvý les (obr. č. 41).



Obr. č. 37 a 38 - Výškové poměry a sklon svahů v povodí Tmavého potoka



Obr. č. 39 a 40 - Geologické a půdní poměry v povodí Tmavého potoka



Obr. č. 41 - Zdravotní stav lesa v povodí Tmavého potoka

3.2.5 Černohorský potok

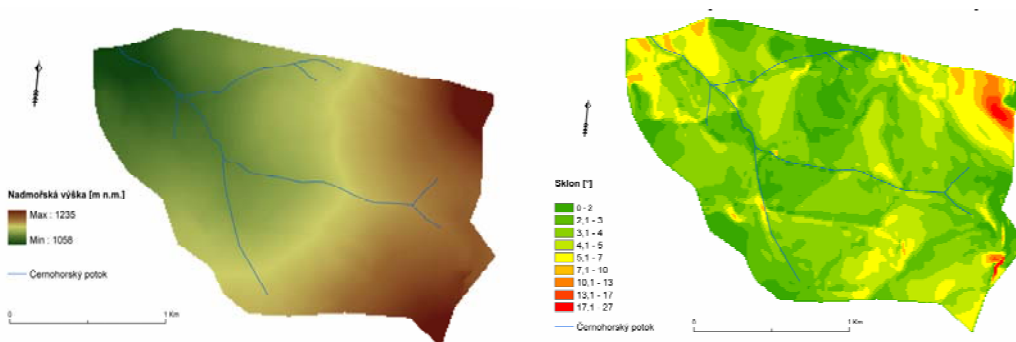
Černohorský potok (obr. č. 42) je pravostranným přítokem Modravského potoka. Je 6. řádu absolutní řádovosti. Plocha povodí k měrnému profilu je 3,6 km². Celková délka toků je 16,16 km a hustota říční sítě je 4,51 km/km². Mokřady zaujímají skoro 30% území. Průměrná nadmořská výška na povodí je 1141 m, minimální 1058 a maximální 1235 m (obr. č. 43). Průměrná sklonitost svahů je 3,59°, maximální pak 59,95° (obr. č. 44). Svahy jsou exponovány na západ.

Geologicky je celé území tvořeno horninami moldanubika (obr. č. 45). Z půd převažuje podzol, dále glej a kambiem (obr. č. 46).

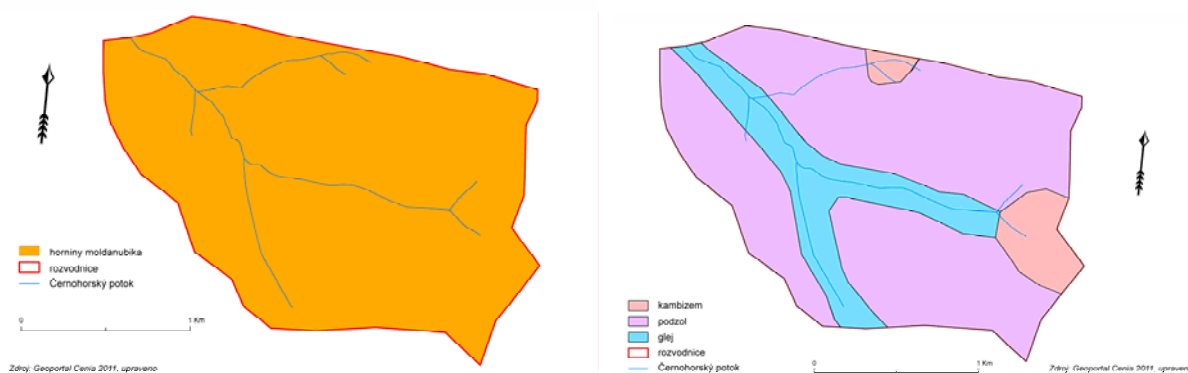
Skoro 67% území tvoří zdravý les, 17% les mladý a 9% bezlesí. Zbylou plochu zaujímají málo rozsáhlé oblasti poškozeného nebo mrtvého lesa (obr. č. 47).



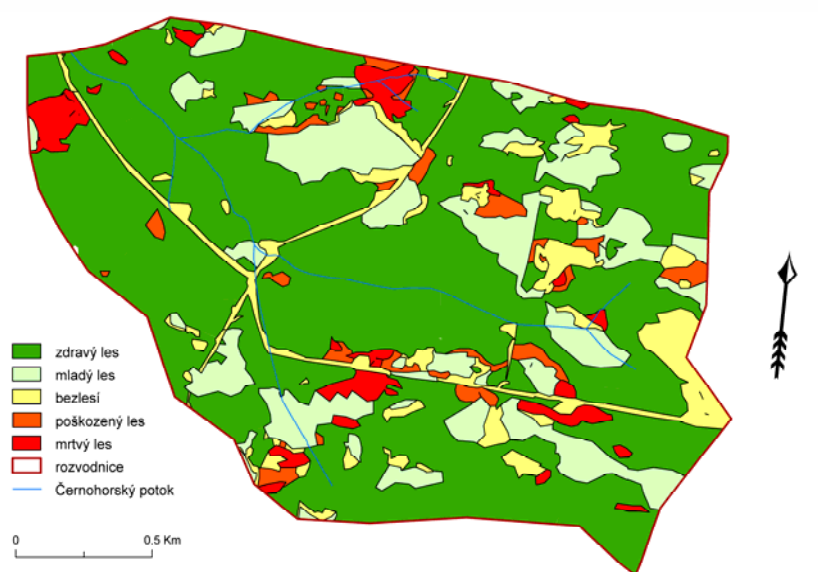
Obr. č. 42 – Černohorský potok



Obr. č. 43 a 44 – Výškové poměry a sklon svahů v povodí Černohorského potoka



Obr.č. 45 a 46 – Geologické a půdní poměry v povodí Černohorského potoka



Obr. č. 47 - Zdravotní stav lesa v povodí Černohorského potoka

3.2.6 Cikánský potok

Cikánský potok je levostranným přítokem Modravského potoka. Je 6. řádu absolutní řádovosti. K měrnému profilu, umístěnému před soutokem (obr. č. 48), zaujímá jeho povodí rozlohu 2,3 km². Délka toku je 1,61 km a hustota říční sítě je pouhých 0,71 km/km². Mokřady pokrývají 42,5% území.

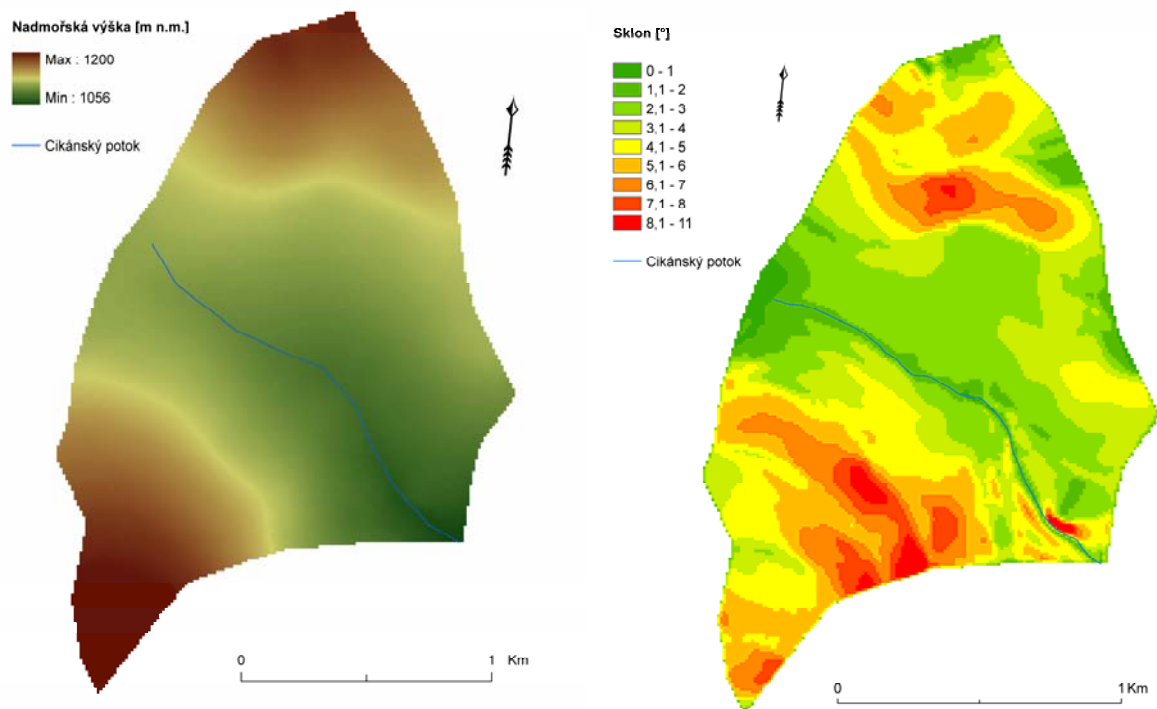


Obr.č. 48 – Měrný profil Cikánského potoka

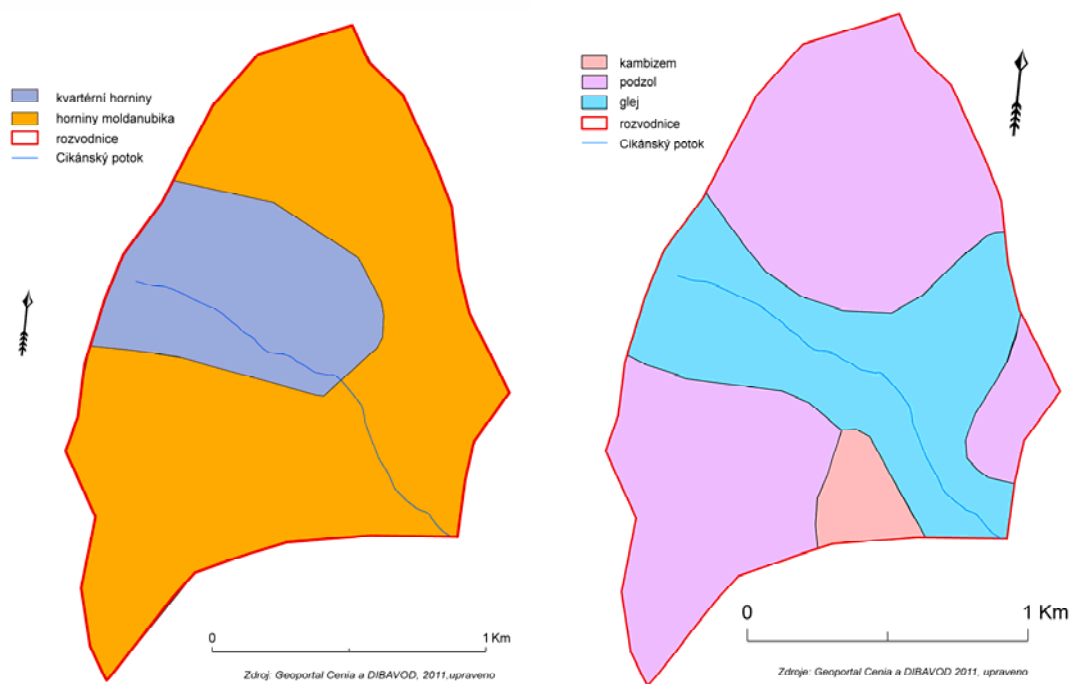
Průměrná nadmořská výška je 1106 m, minimální 1052 m a nejvyšší bod dosahuje 1200 m (obr. č. 49). Průměrný sklon svahů je 4,54° a maximální 19° (obr. č. 50). Svahy jsou exponovány na jihovýchod.

Většinu území tvoří horniny moldanubika (cca 76%), zbytek jsou horniny kvartérní (obr. č. 51). Z půd zde najdeme kambizem, glej a podzol (obr. č. 52).

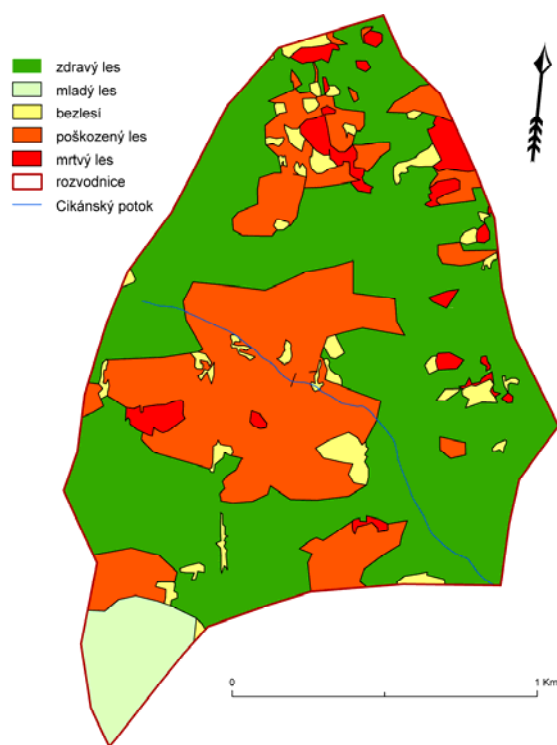
60% území tvoří nepoškozený les a skoro 30% je les poškozený. Malé části území zaujímá mladý les, bezlesí a zcela mrtvý les (obr. č. 53).



Obr. č. 49 a 50 – Výškové poměry a sklon svahů v povodí Cikánského potoka



Obr. č. 51 a 52 – Geologické a půdní poměry v povodí Cikánského potoka



Obr. č. 53 – Zdravotní stav lesa v povodí Cikánského potoka

3.2.7 Březnický potok

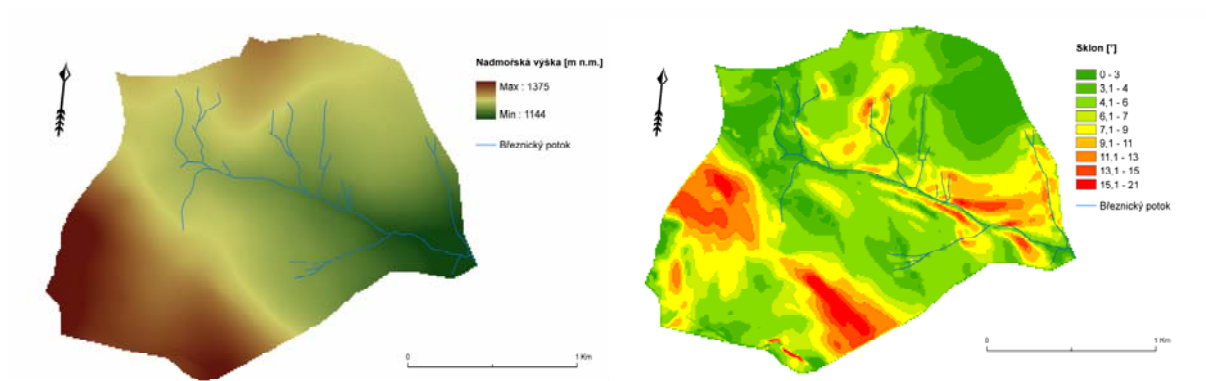
Březnický potok (obr. č. 54) je levostranným přítokem řeky Vydry na jejím horním toku. Průměrná nadmořská výška povodí je 1258 m, minimální 1144 m a maximální 1375 m (obr. č. 55). Svahy mají průměrný sklon $8,7^\circ$, nejvyšší sklon je $49,14^\circ$ (obr. č. 56). Celková délka vodních toků je 8 km a hustota říční sítě $2,34 \text{ km/km}^2$. Mokřady zaujímají asi 15% území.



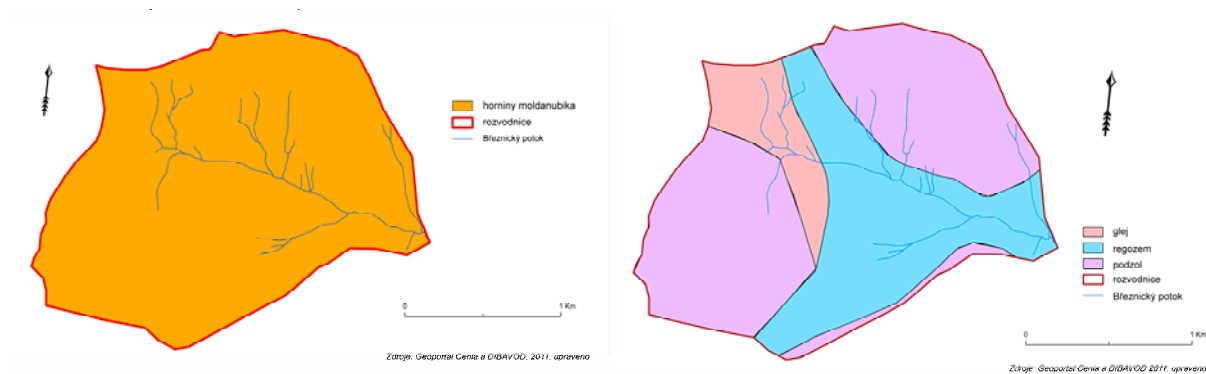
Obr. č. 54 – Březnický potok

Celé území tvoří horniny moldanubika (obr. č. 57). Z půd převažuje kambizem a dále glej, podzol se vyskytuje pouze na zlomku území (obr. č. 58).

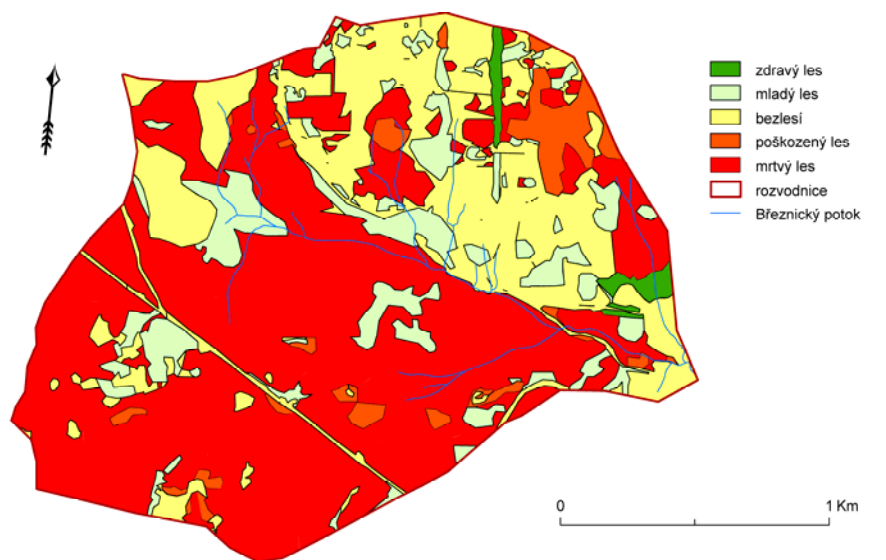
Z hlediska zdravotního stavu lesa se jedná o území velice zdevastované kůrovcovou kalamitou. Většinu území tvoří v současné době buďto mrtvý les a nebo bezlesí (obr. č. 59).



Obr. č. 55 a 56 – Výškové poměry a sklon svahů v povodí Březnického potoka



Obr. č. 57 a 58 – Geologické a půdní poměry v povodí Březnického potoka



Obr. č. 59 – Zdravotní stav lesa v povodí Březnického potoka

4. Metody zpracování

4.1. Použitá data

Pro řešení cílů diplomové práce byly použity následující datové podklady.

Pro analýzu srážko-odtokového procesu byly zajištěny a použity hodnoty vodních stavů ze závěrových profilů sledovaných povodí, srážková data z meteorologických srážkoměrných stanic a dále pak srážkové úhrny z radaru.

Pro geoinformatické analýzy byly využity GIS vrstvy (Geoportal CENIA – půdy, geologie, ortofotomapa, CORINE Landcover; databáze DIBAVOD; DEM)

4.1.1 Vodní stavy

Desetiminutové hodnoty vodních stavů byly pro všech sedm profilů Přírodovědecké fakulty QH1 – QH7 staženy z webového portálu <http://www.fiedler-magr.cz/>. Nejdelší datová řada je u profilu QH2 – Roklanský potok, kde se měření vodních stavů provádí od 18.9.2006. U dalších profilů jsou však datové řady podstatně kratší. Nejméně naměřených dat je k dispozici pro profil QH6 – Antýgl, kde se měří až od 27.6.2010. Pro tuto diplomovou práci byla zpracována data do 31.12.2010. Vodní stavy jsou uváděny v milimetrech.

Pro potřeby předkládané práce byly přepočítány tyto desetiminutové hodnoty na hodinové. Zde se vyskytlo několik komplikací v podobě chybějících dat, kdy pro vypočítání průměrných hodinových vodních stavů bylo potřeba šest desetiminutových údajů, které však v řadě případů nebyly k dispozici. Pokud chybělo tři a více hodnot, byla daná hodina z datového souboru vyloučena. V ostatních případech se vypočítal aritmetický průměr.

K dispozici byly získány konzumpční křivky pro sledované profily. Ty však byly nestejně přesné a v některých případech dokonce velmi nepřesné (například profil Antýgl, kde bylo měření průtoků prováděno pouze dvakrát za celé sledované období), a proto se podle nich hodnoty vodních stavů nepřepočítávaly na vhodnější hodnoty průtoků. V další analýze se tedy používaly pouze hodnoty vodních stavů.

4.1.2 Srážky

Desetiminutová data srážkových úhrnů byla získána ze srážkoměrných stanic Přírodovědecké fakulty Březnický potok, Rokytká a Zhůrecký potok. Hodinové úhrny byly poskytnuty Českým hydrometeorologickým ústavem (CHMÚ) z pěti stanic, které leží ve

sledované oblasti. Jedná se o Churáňov, Filipovu Huť, Prášily, Strašín a Železnou Rudu. Desetiminutové srážkové úhrny byly přepočítány na hodinové sumy srážkových úhrnů. Zde nastal totožný problém jako při přepočítávání vodních stavů, tedy absence některých dat v datové řadě. Stejně jako v případě vodních stavů se i u srážkových úhrnů vyřadily ze statistiky hodiny, ve kterých došlo k méně než čtyřem měřením z šesti. V ostatních případech byl vypočítán průměr z hodnot, které byly k dispozici a ten byl poté vynásoben šesti, aby bylo dosaženo sumy srážek za danou hodinu.

Konečný soubor hodinových srážkových úhrnů tedy obsahoval data pro osm stanic, kde v pěti stanicích poskytnutých CHMÚ jsou k dispozici data od 1.4.2008 a to pouze pro teplý půlrok (úhrny mezi 22.9.2008 – 31.3.2009, 19.10.2009 – 31.3.2010 a 30.9.2010 – 31.12.2010 k dispozici nejsou). Ve třech stanicích Přírodovědecké fakulty začíná měření v odlišnou dobu. Přitom nejdříve byl nainstalován srážkoměr na Zhůveckém potoce (měření od 29.3.2007), dále na Březnickém potoce (od 14.5.2008) a nejpozději na Rokytce (od 4.9.2008).

Adjustovaná radarová data (tj. data upravená podle hodnot z pozemního měření) byla získána od CHMÚ pro zájmovou oblast ve čtverci 35 x 35 km pro roky 2006 – 2010. Pro každý čtvereční kilometr existovala hodinová hodnota srážkového úhrnu. Byla vytvořena maska, ve které se každému poli o velikosti 1 km² přiřadilo kódové číslo 0 – 7, kde hodnota 0 neodpovídala žádnému ze sledovaných povodí a čísla 1 – 7 byla označena jednotlivá povodí. Podle této masky byla vytvořena tabulka hodinových srážkových úhrnů na čtvereční kilometr pro jednotlivá povodí, dále normovaná na plochu povodí. To znamená, že po úpravě dat byla k dispozici data hodinových srážkových úhrnů na povodí.

4.1.3 Fyzicko-geografické charakteristiky povodí

Pro vykreslení fyzicko-geografické podoby sledovaných povodí a zdravotního stavu jejich lesů a pro jejich následné porovnání a analýzy bylo potřeba sestavit tabulky (matice), které by všechny potřebné údaje poskytovaly. Byly vybrány tyto charakteristiky:

charakteristiky zdravotního stavu lesa:

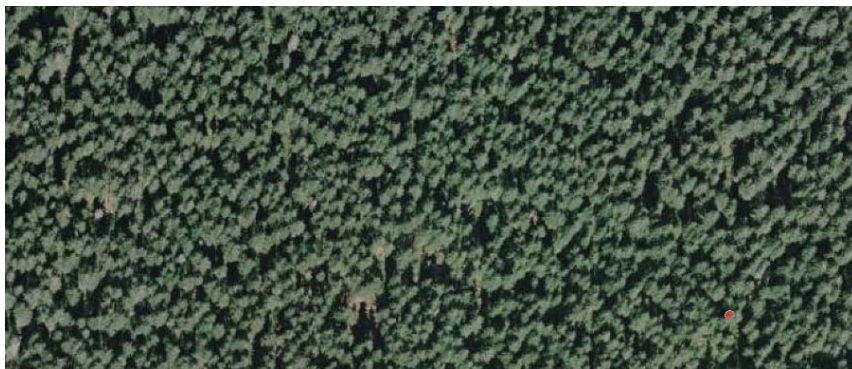
- zdravý les
- mladý les
- bezlesí

- poškozený les
- mrtvý les

fyzickogeografické charakteristiky povodí:

- geologické poměry
- půdní poměry
- mokřady
- land use
- min.,max. a průměrná nadmořská výška
- max. a průměrná sklonitost
- hustota říční sítě

Analýza zdravotního stavu lesa byla provedena na základě ortofotomapy z období 2007 – 2009. V prostředí ArcGIS byly vizuálně identifikovány, následně digitalizovány a kvantifikovány plochy zdravého lesa, mladého lesa, bezlesí, poškozeného lesa a mrtvého lesa. Jako zdravý les (obr. č. 60) byl označen takový, který na ortofotomapě nejevil žádné nebo jen nepatrné známky poškození. Jako mladý les (Obr. č. 61) byl vymezen prostor s nízkým porostem. Často se jednalo o mladý les, který začíná růst na plochách odlesněných disturbancí. Bezlesím (Obr. č. 62) jsou myšleny plochy zcela bez stromového porostu. Jako poškozený les (Obr. č. 63) byl označen takový porost, který jevil známky napadení kůrovcem, nebyl však ještě zcela zničen. Do poslední kategorie mrtvého lesa (Obr. č.64) patří plochy, kde se zdravé stromy již vůbec nevyskytují a jsou zde pouze na zemi ležící, případně ještě stojící mrtvé stromy.



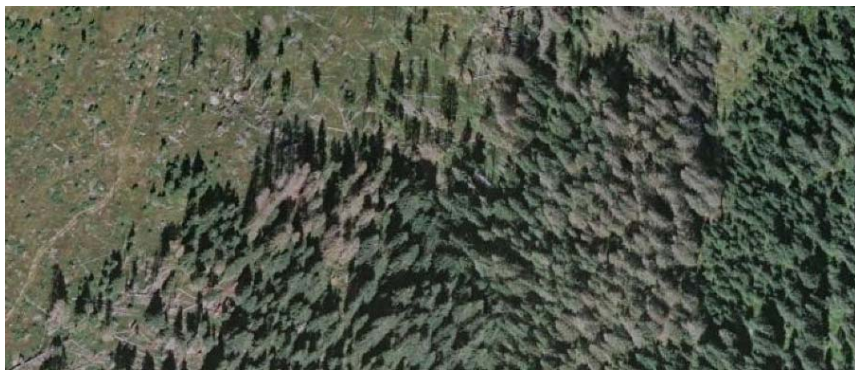
Obr. č. 60 – Snímek zobrazující zdravý les (ortofotomapa ČR z Geoportalu Cenia, 2011)



Obr. č. 61 – Snímek zobrazující mladý les (ortofotomapa ČR z Geoportalu Cenia, 2011)



Obr. č. 62 – Snímek zobrazující bezlesí (ortofotomapa ČR z Geoportalu Cenia, 2011)



Obr. č. 63 – Snímek zobrazující poškozený les (ortofotomapa ČR z Geoportalu Cenia, 2011)



Obr. č. 64 – Snímek zobrazující mrtvý les (ortofotomapa ČR z Geoportalu Cenia, 2011)

Geologické a půdní poměry povodí byly získány z map na Geoportalu CENIA [CENIA, 2011] jejich překreslením v prostředí ArcGIS. Délka říční sítě a její hustota byla vypočítána na základě vrstev stažených z databáze DIBAVOD (digitální báze vodohospodářských dat) [VÚV T.G.Masaryka, 2011] podle vzorce:

$$R = \sum L/F$$

kde R je hustota říční sítě v km/km², $\sum L$ je suma délky všech vodních toků v povodí v km a F je plocha povodí k km².

Hodnoty maximální, minimální a průměrné nadmořské výšky a sklonitosti byly získány z digitálního modelu terénu (DMT).

Land use byl určen z databáze CORINE Land Cover 2006.

4.2 Zpracování a analýza dat

4.2.1 Výběr srážkových událostí a zpracování charakteristik odtokových vln

Na základě vykreslení příčinných srážek a vln vodních stavů byly vybrány srážkové události, které byly následně analyzovány. Pro každou srážkovou událost byla sestavena tabulka s následujícími charakteristikami:

srážkové charakteristiky:

- výška srážky
- doba trvání
- průměrná intenzita
- API30 - ukazatel předchozích srážek za 30 dní

odtokové charakteristiky:

- lag time (doba zdržení odtoku za srážkou)

charakteristiky odtokové vlny:

- výška vlny
- skewness (symetrie)
- kurtosis (špičatost)
- délka trvání odtokové vlny

- délka trvání vzestupné větve
- délka trvání sestupné větve

Výška srážky vyjadřuje výšku vodního sloupce spadlého na povodí a udává se v milimetrech. Doba trvání srážky byla určena jako doba trvání nepřetržité srážky, to znamená, že v jejím průběhu nepřestalo ani na jednu hodinu pršet. Průměrná intenzita vyjadřuje průměrné množství srážek, které spadlo na dané území za časovou jednotku.

API 30 (Antecedent Precipitation Index) je ukazatel předchozích srážek a udává se v milimetrech. Vyjadřuje nasycení povodí předchozími srážkami za 30 dní před příčinnou srážkou. Vypočítává se podle vzorce:

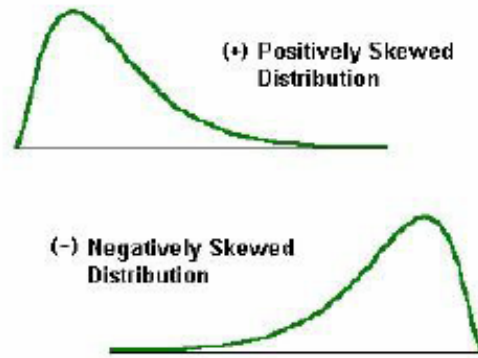
$$API30 = \sum R_i * 0,93^i$$

Lag time je charakteristika, která udává dobu zdržení odtoku, tedy dobu mezi maximem srážky a maximem odtoku. Doba zdržení odtoku je ovlivněna několika parametry. Patří mezi ně hlavně velikost a tvar povodí, sklon svahů, topografie povrchu, vegetace, land use a samozřejmě charakter srážek [Simas a Hawkins, 1998].

Jako další proměnné byly použity charakteristiky odtokové vlny – její výška, symetrie, špičatost, délka trvání vzestupné větve, délka trvání sestupné větve a celková délka trvání odtokové vlny.

Výška vlny byla počítána jako rozdíl mezi maximem vlny a linií procházející průměrnou hodnotou vodních stavů, rovnoběžnou s časovou osou.

Symetrie vlny má anglický název skewness a určuje stupeň odchylky od symetrie vlny. Může být pozitivní nebo negativní (obr. č. 6) . Pokud je skewness pozitivní, hodnoty jsou rozprostřeny více na pravé straně, pokud je negativní, jsou rozprostřeny na levé straně. V případě, že je hodnota skewness rovna nule, je vlna zcela symetrická (normální rozložení nebo dokonale symetrické rozložení) [Matlab 7.7.0 Help, 2008].



Obr. č. 65 – Pozitivní a negativní špičatost průtokové vlny

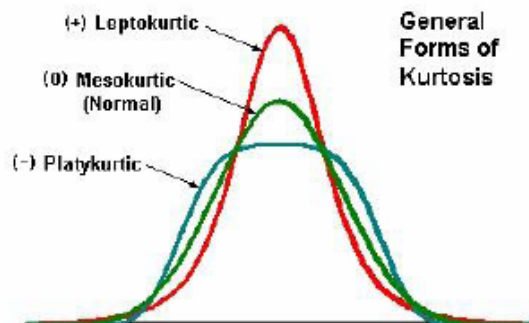
Vzorec pro určování skewness je definován takto:

$$y = \frac{E(x - \mu)^3}{\sigma^3}$$

přičemž μ udává průměrnou hodnotu x , σ je směrodatná odchylka x a $E(t)$ je očekávaná hodnota množství t .

[Matlab 7.7.0.471 - Help]

Kurtosis udává míru špičatosti vlny. Normální rozdělení se nazývá v angličtině jako *mesokurtic distribution*. Pokud přesahuje špička vlny normální rozdělení, nese kurtosis anglický název leptokurtic distribution. Naopak, platykurtic distribution má svůj vrchol pod vrcholem při normálním rozdělení (obr. č. 7)



Obr. č. 66 – Rozdělení míry špičatosti odtokové vlny

Podle programu Matlab [Matlab 7.7.0 Help, 2008] má normální rozdělení hodnotu 3, pokud je špičatost větší (vrchol nad normálním rozdělením), je hodnota kurtosis menší než 3, v opačném případě je tato hodnota větší než 3.

Vzorec pro určování kurtosis je definován takto:

$$k = \frac{E(x - \mu)^4}{\sigma^4}$$

přičemž μ udává průměrnou hodnotu x , σ je směrodatná odchylka x a $E(t)$ je očekávaná hodnota množství t .

[Matlab 7.7.0.471 - Help]

4.2.2 Shluková analýza

Pro vypracování diplomové práce byla použita metoda shlukové analýzy (neboli analýza shluků či klastrová analýza z anglického *cluster analysis*, *CLU*). Tato metoda je založena na vytváření shluků (tříd, klasifikací) vícerozměrných objektů podle jejich podobnosti na základě většího množství proměnných. Používá se především v případech, kdy objekty jeví tendenci se seskupovat. Shlukování se dělí na hierarchické a nehierarchické [Meloun a Militký, 2002]. V této práci byla použita metoda hierarchického shlukování.

Pomocí metody hierarchického shlukování je možné sledovat jak podobnost objektů (jejímž výsledkem je dendrogram objektů), tak proměnných (dendrogram proměnných). Strom shluků, neboli dendrogram podobnosti objektů, standardně vytváří shluky navzájem nejpodobnějších objektů. Dendrogram podobnosti proměnných odhaluje skupiny proměnných, které spolu vysoce korelují a jsou tedy navzájem nahraditelné [Meloun a Militký, 2002]. Dendrogram nepředstavuje pouhý seznam shluků, ale zobrazuje několika úrovní hierarchii, kde shluky na jedné úrovni jsou propojeny se shluky na jiné úrovni.

Shluková analýza v této práci byla prováděna pomocí programu Matlab. Tento program nejprve zjistil podobnost mezi všemi dvojicemi objektů v matici výpočtem jejich vzdálenosti. Poté tyto objekty seskupil na základě jejich vzdálenosti do binárního hierarchického shlukového stromu (dendrogram, cluster tree).

Jako metoda shlukové analýzy byla zvolena metoda průměrová. Při této metodě je vzdálenost dvou shluků počítaná jako průměr z možných mezi-shlukových vzdáleností dvou

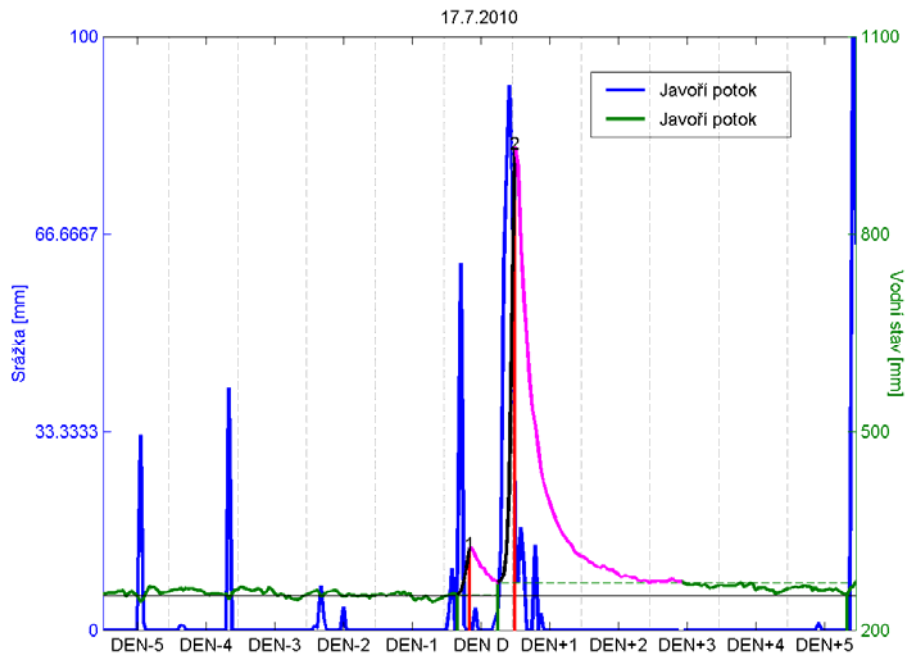
objektů. Nejbližší jsou shluky, které mají nejmenší průměrnou vzdálenost mezi všemi objekty jednoho a druhého shluku (definice průměrové metody převzata z [Meloun a Militký, 2002]). Vzdálenost mezi objekty byla vypočítána podle Spearmanova korelačního koeficientu.

V první fázi shlukové analýzy byly hledány skupiny povodí, které jsou si navzájem nejpodobnější X nejméně podobné. Byly tak sledovány podobnosti objektů za vzniku dendrogramů objektů. V další fázi byla snaha pomocí shlukové analýzy porovnat vybrané srážkové události a vyhodnotit vliv zdravotního stavu lesa na odtok. Pro tuto analýzu však bylo k dispozici malé množství dat ve vstupní matici.

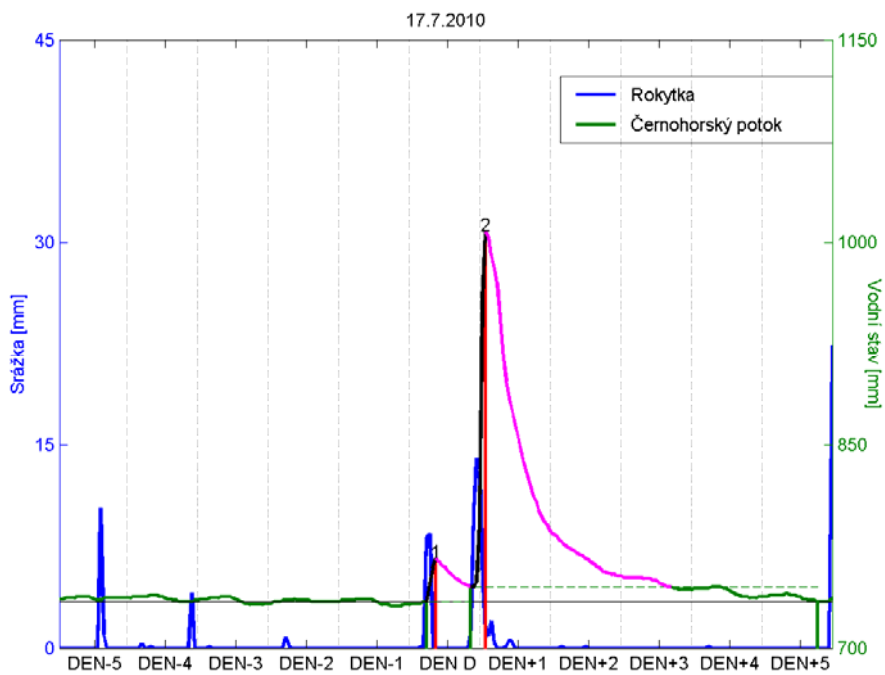
Jako poslední případ, kdy se využilo shlukové analýzy, byla analýza proměnných za vzniku dendrogramů proměnných. Byla hledána podobnost ukazatelů fyzicko-geografických, zdravotního stavu lesa, ukazatelů příčinných srážek a odtokové odezvy.

4.2.4 Analýza odtokových vln

Srážkové události byly vybírány pomocí programu Matlab, kdy se nejdříve vybraly všechny události, ve kterých hodinový srážkový úhrn přesáhl hodnotu 10 mm. Pro každou takovou událost byla zkonstruována odtoková vlna a na základě „obrázků“ těchto vln (viz např. obr. č. 67 a 68) se pak manuálně vybíraly vhodné srážkové události. Cílem bylo nalézt co nejvíce událostí, ve kterých bylo srážkou postiženo pokud možno celé sledované území, případně alespoň dvě území, která se od sebe podstatně liší v charakteristikách zdravotního stavu lesa.



Obr. č. 67 - Rozbor odtokové vlny z radarových dat pro 17.7.2010 na povodí Javořího potoka



Obr. č. 68 - Rozbor odtokové vlny ze srážek na srážkoměrné stanici Rokytká 17.7.2010 na profilu Černohorského potoka

Po vybrání událostí byla pro každou srážkovou epizodu vypočítaná série ukazatelů srážek a odtoku. Na jejich základě byla sestavena tabulka (matice), podle které se pak porovnávaly reakce na srážku v jednotlivých povodích. Výpočet se prováděl opět v programu Matlab, ovšem v některých případech nebylo možné výpočet zautomatizovat pro všechny události. To platí především v případech, kdy odtoková vlna měla více vrcholů, které vznikly v důsledku další srážky, která ale už nebyla zahrnuta do sledované srážkové události. V takovém případě bylo nutné tyto charakteristiky dopočítat individuálně.

5. Výsledky

5.1 Podobnosti povodí

Pomocí shlukové analýzy byla zjišťována vzájemná podobnost sledovaných povodí na základě fyzicko-geografických charakteristik. Povodí byla konkrétně porovnávána na základě základních topografických charakteristik (tabulka č. 1), půdních charakteristik (tabulka č. 2), geologických charakteristik (tabulka č. 3), land use (tabulka č. 4) a zdravotního stavu lesa (tabulka č. 5). Vstupní data byla získána analýzou geoinformatických dat a podkladů uvedených v kapitole 4.

Tabulka č. 1 - Základní topografické charakteristiky povodí

	min. nadm. výška [m n.m.]	max. nadm. výška [m n.m.]	prům. nadmořská výška [m n.m.]	max. sklonitost [°]	prům. sklonitost [°]	ΣL (km)	hustota ř. sítě [km/km ²]	plocha mokřadů ¹⁾
Tmavý p.	1035.457	1311.78	1172.93	49.41	6.37	15.16	3.14	4.3
Roklanský p.	1183.4	1372.65	1234.8	43.53	5.06	7.539	4.60	27.3
Březnický p.	1144.02	1375	1257.81	49.14	8.71	8.046	2.34	14.7
Javoří p.	1037.09	1253.6	1116.73	43.37	5.2	17.756	2.69	12.4
Cikánský p.	1055.91	1199.96	1106.27	18.99	4.54	1.61	0.71	42.5
Černoohorský p.	1058.37	1235.13	1141.25	59.95	3.59	16.16	4.51	29.6
Antýgl	927.52	1250.97	1126.34	30.38	4.17	4.65	4.27	4.6

¹⁾ pozn. V % z plochy povodí

Tabulka č. 2 – Půdní charakteristiky povodí

	podzol	glej	kambizem
Tmavý p.	65.05	1.91	33.04
Roklanský p.	47.20	26.71	26.09
Březnický p.	27.02	0.12	72.86
Javoří p.	54.65	34.59	10.76
Cikánský p.	20.33	38.09	41.58
Černoohorský p.	60.53	35.09	4.39
Antýgl	74.58	18.16	7.26

pozn. v % z plochy povodí

Tabulka č. 3 – Geologické charakteristiky povodí

	žula	moldanubikum	kvartér
Tmavý p.	10.6	84.9	4.5
Roklanský p.	0.0	100.0	0.0
Březnický p.	0.0	100.0	0.0
Javoří p.	58.8	41.1	0.0
Cikánský p.	0.0	75.9	24.1
Černohorský p.	0.0	100.0	0.0
Antýgl	54.0	46.0	0.0

pozn. v % z plochy povodí

Tabulka č. 4 – Využití půdy v rámci jednotlivých povodí

	plocha povodí [km2]	jehličnaté lesy	smíšené lesy	nízký porost v lese
Tmavý p.	4.8	62.3	0.0	37.5
Roklanský p.	3.3	2.6	0.0	96.1
Březnický p.	3.4	0.0	0.0	100.0
Javoří p.	6.6	70.6	1.6	27.8
Cikánský p.	2.3	96.0	0.0	4.0
Černohorský p.	3.6	72.1	0.0	27.9
Antýgl	1.1	100.0	0.0	0.0

pozn. v % z plochy povodí

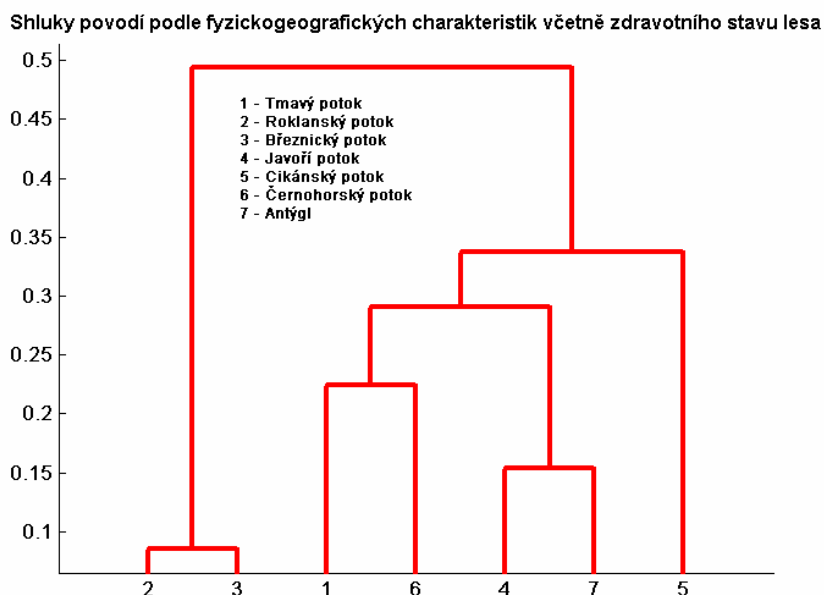
Tabulka č. 5 – Zdravotní stav lesa v povodí

	zdravý les	mladý les	bezlesí	poškozený les	mrtvý les
Tmavý p.	64	18	10	4	4
Roklanský p.	0	6	6	7	80
Březnický p.	1	13	25	5	56
Javoří p.	20	9	10	50	12
Cikánský p.	60	5	4	28	4
Černohorský p.	67	17	9	3	4
Antýgl	70	2	18	9	1

pozn. v % z plochy povodí

Nejprve byla povodí porovnávána na základě charakteristik ze všech tabulek. Z tohoto pohledu si nejpodobnější byla povodí Roklanského a Březnického potoka, dále povodí Javořího potoka a Antýglu a nakonec Tmavého a Černohorského potoka. Odděleně od všech povodí se objevilo povodí Cikánského potoka, které se od ostatních liší například maximálními sklony svahů, které jsou podstatně nižší, výrazně nižší délkou toků a hustotou říční sítě a větším podílem mokřadů na území. Naopak z velké podobnosti povodí Březnického a Roklanského potoka je vidět velká váha pokrytí povodí lesem. Tato povodí jsou obě téměř zcela zničená kůrovcovou kalamitou a zdravý les se na nich prakticky

nevyskytuje. Dendrogram srovnání povodí na základě všech uvedených charakteristik je vyobrazen na obr. č. 69.



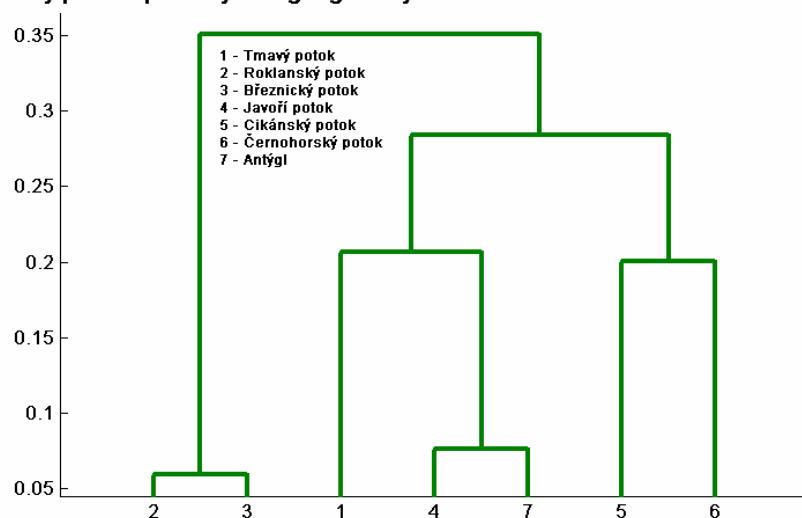
Obr. č. 69 - Dendrogram shluků povodí na základě všech fyzicko-geografických charakteristik

Další dva dendrogramy (obr. č. 70 a 71) znázorňují výsledky shlukové analýzy, porovnávající povodí podle fyzicko-geografických charakteristik, v prvním případě „ochuzených“ o zdravotní stav lesa a ve druhém případě o všechny charakteristiky zalesnění (land use a zdravotní stav lesa).

V prvním případě se ani po vynechání zdravotního stavu lesa o mnoho nezměnila podobnost povodí Březnického potoka s Roklanským (dokonce se trochu zvětšila) a do stejného shluku byla zařazena i povodí Javořího potoka a Antýglu. Také jejich podobnost se o něco zvětšila. Naopak podobnost Tmavého potoka s Černoohorským se podstatně zmenšila.

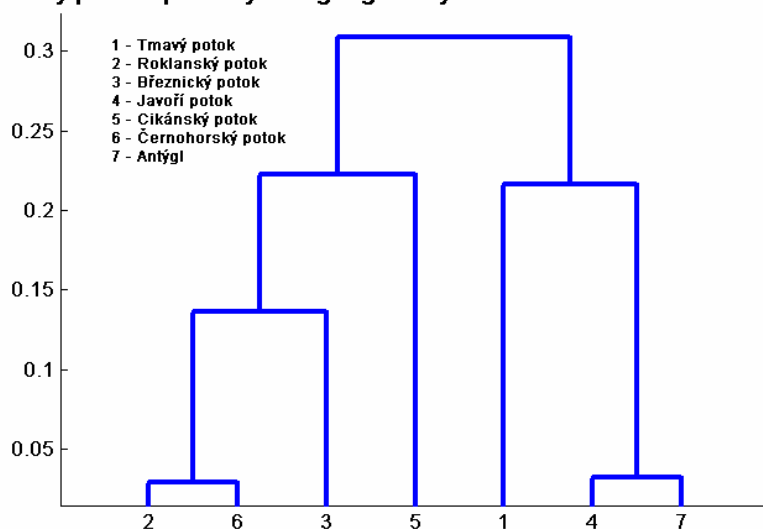
Po vyřazení všech charakteristik týkajících se pokryvu povodí lesem se dendrogram výrazně změnil. Povodí Javořího potoka s Antýglem sice zůstala v jednom shluku, jejich podobnost se však opět o něco zvětšila. Krajinným pokryvem si podobná povodí Březnického a Roklanského potoka byla po vynechání lesních charakteristik rozdělena do jiných shluků a jejich podobnost byla prokázána až na druhé hierarchické úrovni. Přesto tato povodí podle fyzicko-geografických podmínek bez uvažování lesa nejsou příliš odlišná. Roklanský potok vykázal největší podobnost k potoku Černoohorskému.

Shluky povodí podle fyzickogeografických charakteristik bez zdravotního stavu lesa



Obr. č. 70 - Dendrogram shluků povodí na základě všech fyzicko-geografických charakteristik kromě zdravotního stavu lesa

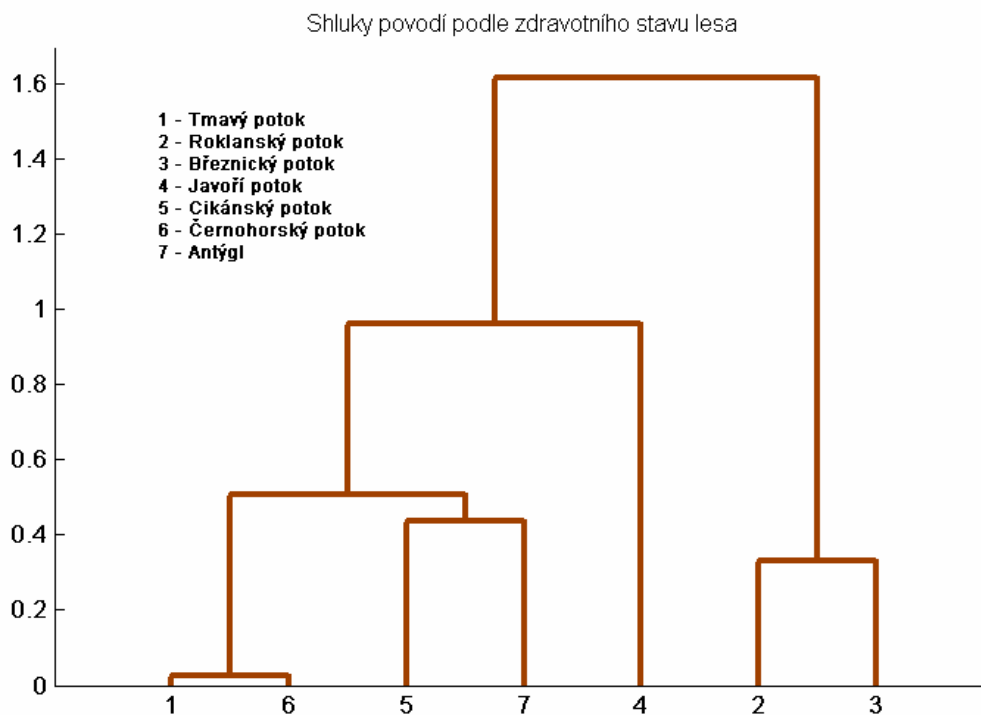
Shluky povodí podle fyzickogeografických charakteristik kromě zalesnění



Obr. č. 71 - Dendrogram shluků povodí na základě všech fyzicko-geografických charakteristik kromě land use a zdravotního stavu lesa

Poslední porovnání pomocí shlukové analýzy bylo prováděno pouze pro charakteristiky zdravotního stavu lesa. Výsledek ukazuje obr. č. 72 na dendrogramu. Nejvíce si jsou podle těchto výsledků povodí Tmavého a Černoohorského potoka, které zaujímá především zdravý nebo mladý les, dále zdevastovaná povodí Březnického a Roklanského potoka a dále povodí Cikánského potoka a Antýglu. Ode všech ostatních se poněkud odlišuje

povodí Javořího potoka, který se vyznačuje nadpolovičním zastoupením lesa poškozeného nebo zcela mrtvého.



Obr. č. 72 - Dendrogram shluků povodí na základě zdravotního stavu lesa

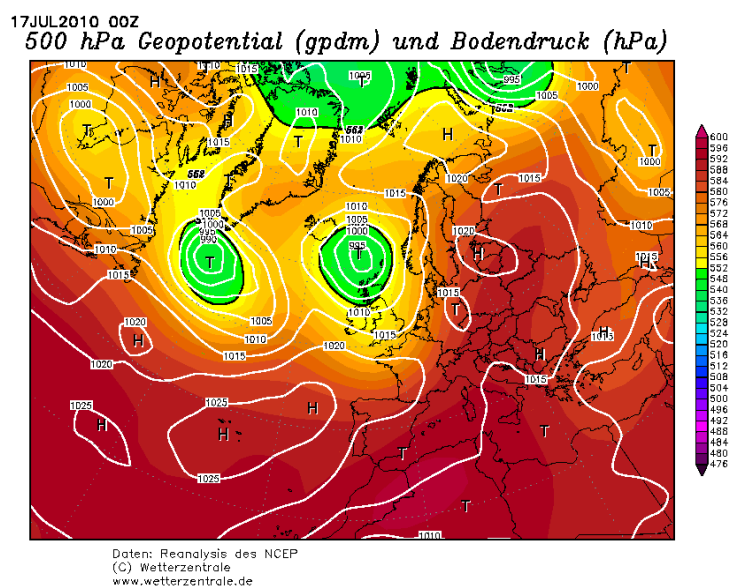
5.2 Analýza vybraných srážkových událostí a jejich odtokové odezvy

Výběr vhodných srážkových epizod pro analýzu za sledované období byl poněkud problematický, protože ve většině případů srážky nepadaly na všech povodích, ale jenom na některých z nich.

V konečné fázi bylo vybráno pět srážkových událostí, při kterých nepřestalo pršet ani na jednu hodinu. Jednalo se o termíny 26.5.2009, 22. a 23.6.2009, 23. a 24.7.2009, 2. a 3.6.2010 a 17. a 18.7.2010. Nejvhodnější pro analýzu byl přitom poslední z termínů, protože se jednalo o jedinou nalezenou srážkovou událost, při které přšlo na celém sledovaném území.

5.2.1 Srážková událost ve dnech 17.a 18.7.2010

Ve dnech 17. a 18.7.2010 se vyskytovala na území České republiky synoptická situace typu Bp (brázda postupující přes střední Evropu). Při této situaci se v oblasti Islandu rozkládá tlaková níže a v oblasti západně od Pyrenejského ostrova a Biskajského zálivu tlaková výše. Druhá anticyklóna se pak rozkládá nad evropskou částí bývalého SSSR. Mezi těmito výšemi prochází přes střední Evropu od západu k východu brázda nízkého tlaku vzduchu a v ose této brázdy postupují od jihu k severu frontální vlny [Brádka, 1961]. NCEP reanalýza této konkrétní situace je na obr. č. 73



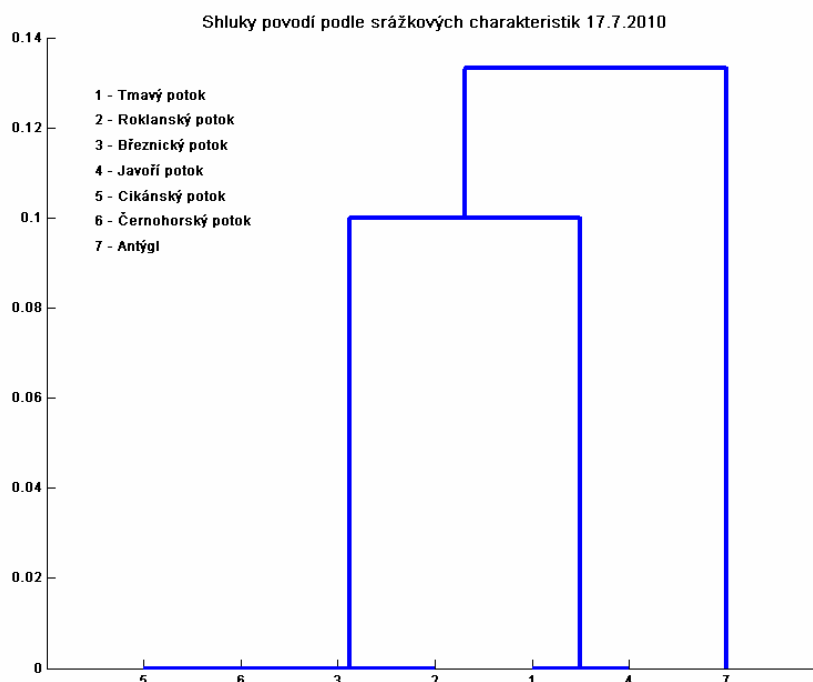
Obr. č. 73 – Analýza tlakového pole na hladině 500 hPa a při zemi pro 17.7.2010

Velmi silné bouře a přívalové srážky byly zaznamenány 17. a 18.7.2010 hlavně v Moravskoslezském kraji [European Severe Weather Database, 2011], srážky však padaly i na Šumavě na sledovaných povodích. Jako srážková událost bylo bráno období **17.7.2010 19:00 – 18.7.2010 12:00**. Charakteristiky této srážky v jednotlivých povodích jsou zaznamenány v tabulce č. 6.

Tabulka č. 6 – Charakteristiky srážek 17. a 18.7.2010 pro jednotlivá povodí

	Srážka				
	API 30	Výška [mm]	Suma [mm]	Délka [hod]	Průměrná intenzita [mm/hod]
Tmavý potok	155.99	129.2	534.7	11	48.6
Roklanský potok	214.53	15	117.6	9	13.1
Březnický potok	206.38	15.1	111.5	10	11.2
Javoří potok	178.19	91.7	376.7	11	34.2
Cikánský potok	217.05	19.1	131.2	11	11.9
Černohorský potok	216.01	23.3	151.1	10	15.1
Antýgl	238.83	13.1	107.6	11	9.8

Na základě této tabulky byl sestaven dendrogram shluků, který měl odhalit podobnost srážkových charakteristik pro daná území (obr. č 74). Z analýzy vyplynulo, že srážky byly téměř totožné na povodí Cikánského potoka, Černohorského potoka, Březnického potoka a Roklanského potoka. Velmi podobné, ale trochu odlišné od předchozí skupiny byly srážky na povodí Tmavého a Javořího potoka. Povodí profilu Antýgl se nezařadilo do žádného shluku, jelikož srážky na něj dopadaly v menším množství. Prakticky by se ale daly srovnat se srážkami v první skupině. Všechny shluky byly porovnány jednotlivě s tabulkou a lze konstatovat, že v tomto případě shluková analýza poskytla relativně uspokojivé výsledky.



Obr. č. 74 – Dendrogram shluků podle srážkových charakteristik události ze dne 17.-18.7.2010

V dalším kroku byly charakterizovány odtokové vlny (tabulka. č. 7), které představovaly reakce odtoku na srážkovou událost. Na jejich základě byla také provedena shluková analýza pro porovnání odtokové odezvy. Bohužel v tomto případě po porovnání výsledků shlukové analýzy s daty v tabulce bylo odhaleno, že shluková analýza nedala uspokojivé výsledky a proto nebyla použita pro vyhodnocení.

Tabulka č. 7 - Charakteristiky odtoku 17. a 18.7.2010 pro jednotlivá povodí

	Charakteristiky odtokové vlny						
	Výška vlny [mm]	Délka vlny [hod]	Délka vzestup.v. [hod]	Délka sestup. v. [hod]	Symetrie	Špičatost	Lag time [hod]
Tmavý p.	435	39	6	33	14.53	3.36	2
Roklanský p.	843	47	6	41	3.33	1.24	2
Březnický p.	782	49	6	43	5.71	1.9	1
Javoří p.	498	65	7	58	7.52	2.27	2
Cikánský p.	328	69	6	63	5.22	1.74	2
Černoohorský p.	274	69	6	63	4.5	1.62	1
Antýgl	281	89	6	83	19.24	3.85	2

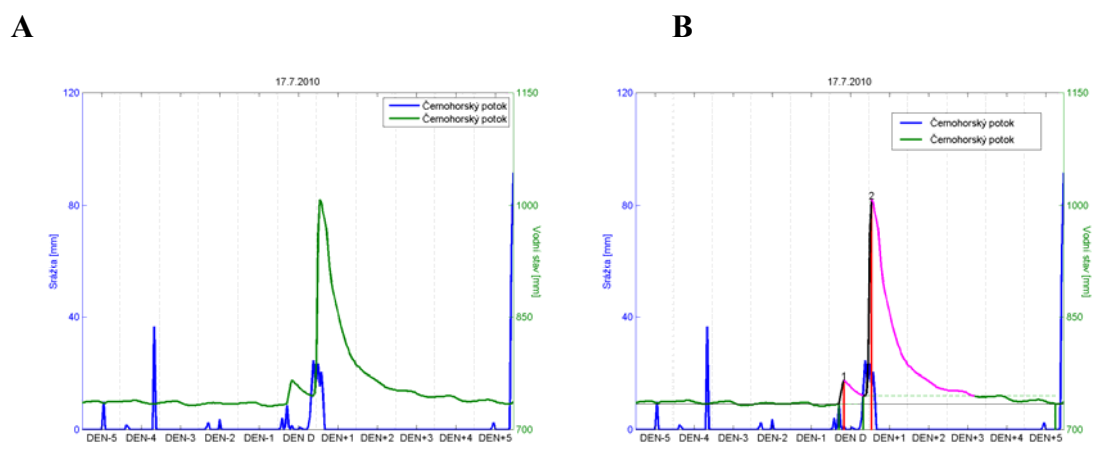
Pro srážkovou událost ze dne 17.-18.7.2010 je nejzajímavější porovnání povodí Černoohorského a Roklanského potoka. Tato dvě povodí si jsou velmi podobná co do fyzicko-

geografických charakteristik bez uvažování lesního porostu, ale zároveň velmi odlišná v lesním pokryvu a zdravotním stavu lesa. Ukázalo se, že srážka, která měla na obou povodích velice podobný průběh, vyvolala poměrně odlišnou odtokovou odezvu. V závěrovém profilu kůrovcem velice poničeného povodí Roklanského potoka byla zjištěna podstatně větší výška odtokové vlny (rozdíl mezi maximem vodního stavu a průměrným vodním stavem na daném profilu), a to o 569 mm, hladina se zde tedy zvedla 3x více než v závěrovém profilu Černohorského potoka. Doba zdržení na tomto povodí byla na Roklanském potoce o hodinu delší, symetrie vlny o málo menší a špičatost vlny srovnatelná. Délka vlny byla podstatně větší na Černohorském potoce.

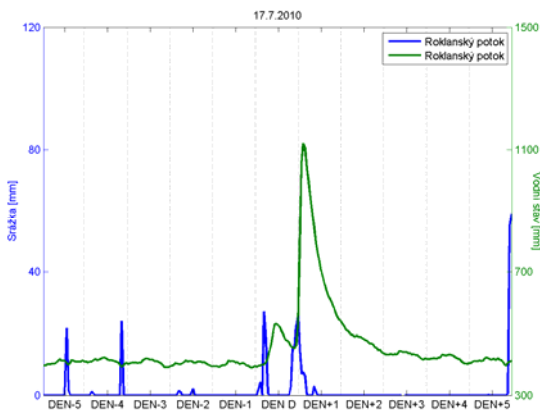
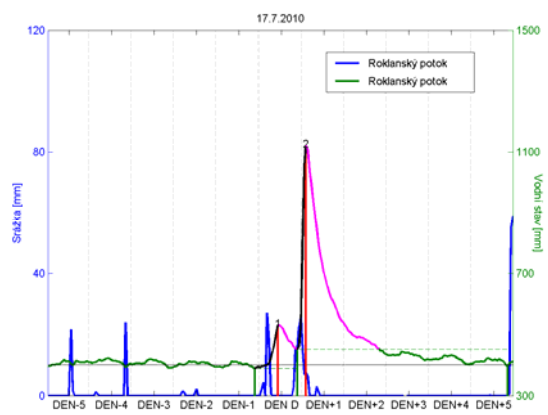
Další dvě povodí, která jsou zajímavá pro srovnání jsou povodí Roklanského a Březnického potoka. Jsou to povodí, která jsou obě velice poničená kůrovcovou kalamitou a zároveň jsou si relativně podobná v ostatních fyzicko-geografických charakteristikách. I na tato dvě povodí dopadla srážka s obdobnými hodnotami sledovaných ukazatelů. Jejich reakce na tuto srážku však byla mnohem podobnější než v předchozím případě. Hodnoty všech odtokových ukazatelů byly srovnatelné.

Poslední srovnávanou dvojicí povodí pro tuto srážkovou událost byla svým charakterem téměř totožná povodí Tmavého a Černohorského potoka. Srážka na Tmavém potoce byla podstatně silnější. Odtoková odezva pak měla také odpovídající charakter, kdy odtoková vlna v profilu Tmavého potoka byla také o dost vyšší.

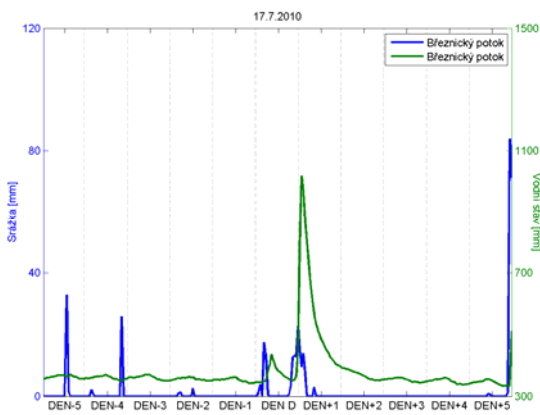
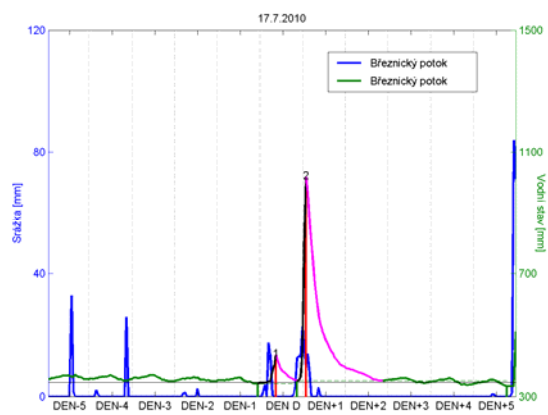
Grafy srážek a jejich odtokové odezvy na srovnávaných povodích jsou zobrazeny na obr. č. 75, 76, 77 a 78. První obrázek (A) obsahuje pouhé linie, ve druhém (B) je zobrazení analýzy, kterou se určovaly v programu Matlab srážkové a odtokové charakteristiky (vyznačení vzestupné a sestupné větve odtokové vlny, vyznačení maxim apod.)



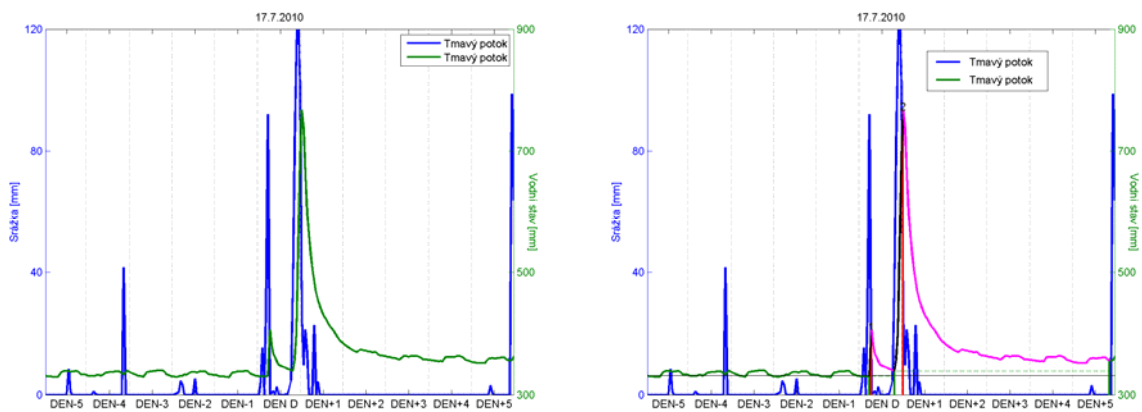
Obr č. 75 – Graf srážkové události a její odtokové odezvy (A) a analýza tohoto grafu (B) pro povodí Černohorského potoka.

A**B**

Obr. 76 – Graf srážkové události a její odtokové odezvy (A) a analýza tohoto grafu (B) pro povodí Roklanského potoka

A**B**

Obr. 77 – Graf srážkové události a její odtokové odezvy (A) a analýza tohoto grafu (B) pro povodí Březnického potoka



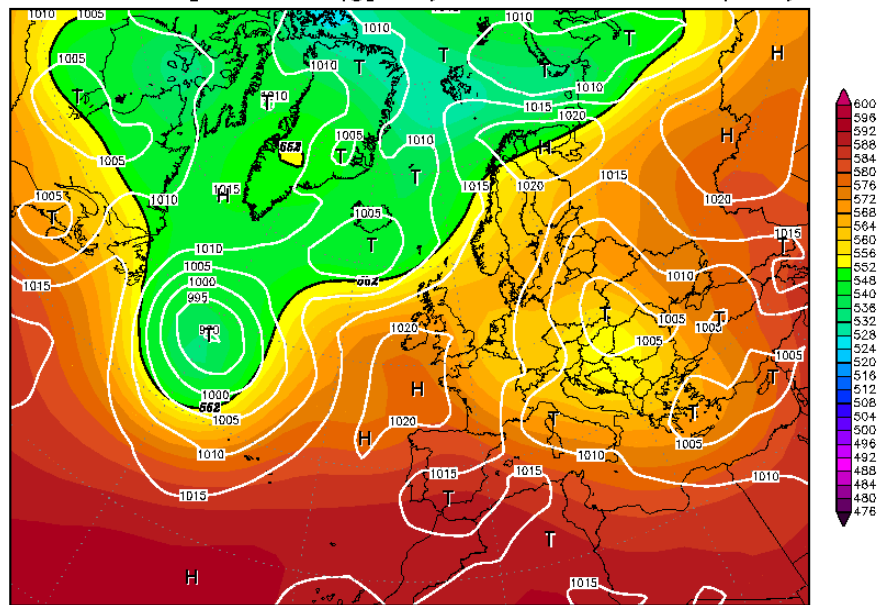
Obr. č. 78 – Graf srážkové události a její odtokové odezvy (A) a analýza tohoto grafu (B) pro povodí Tmavého potoka

5.2.2 Srážková událost ve dnech 2. a 3.6.2010

Druhou srážkovou událostí, kterou bylo možno použít pro analýzu byla událost ze 2. a 3.6.2010. V těchto dnech nad Českou republikou přetrvávala synoptická situace typu NEc (severovýchodní cyklonální situace). Jednalo se o její druhý, méně běžný typ, při kterém se vysoká anticyklona vyskytuje v oblasti Britských ostrovů a Norského moře (viz obr. č.79 - zdroj Wetterzentrale, 2011). V některých případech při této situaci pronikají frontální vlny z Azor nad Středozemní moře, kde zesilují a pokračují dále přes Balkánský poloostrov k severovýchodu, přičemž někdy ovlivňují počasí ve střední Evropě [Brádka, 1961]. V České republice se projevila velmi silnou srážkovou činností, a to především v Ústeckém a Jihomoravském kraji. Postižena však byla většina území včetně Šumavy [European Severe Weather Databáze, 2011]. Jako srážková událost byl v tomto případě určen termín **2.6.2010 11:00 – 3.6.2010 2:00**.

02JUN2010 00Z

500 hPa Geopotential (gpm) und Bodendruck (hPa)



Daten: Reanalysis des NCEP
(C) Wetterzentrale
www.wetterzentrale.de

Obr. č.79 – Analýza tlakového pole na hladině 500 hPa a při zemi pro 2.6.2010

Sledovaná povodí na centrální Šumavě nebyla touto srážkou pokryta všechna. Srážka se vyhnula povodí Cikánského potoka (nebo byla tak slabá, že byla vyřazena z analýzy) a pro povodí profilu Antýgl nejsou v tomto období ještě data k dispozici. Shluková analýza by proto mohla být provedena pouze pro pět povodí což, jak se ukázalo při pokusu o sestavení dendrogramu, pro tento typ analýzy není dostačující množství. V tabulce č. 8 jsou uvedeny informace o srážkových charakteristikách daného data, v tabulce č. 9 pak charakteristiky odtokové vlny, která byla reakcí na danou příčinnou srážku.

Pro vyhodnocení této srážkové události bylo použito prostého porovnání srážkových a odtokových vln. Bylo to možné pro malé množství dat poskládaných do přehledných tabulek a grafů.

Tabulka č. 8 - Charakteristiky srážek 2. a 3.6.2010 pro jednotlivá povodí

	Srážky				
	API 30	Výška [mm]	Suma [mm]	Délka [hod]	Prům.intenzita [mm/hod]
Tmavý potok	497.9	62.4	475.2	15	31.7
Roklanský potok	268.3	27.2	217.9	13	16.8
Březnický potok	281.1	29.6	258.1	15	17.2
Javoří potok	524.3	53.0	442.4	15	29.5
Cikánský potok	-	-	-	-	-
Černohorský potok	366.1	40.8	399.3	16	25.0
Antýgl	-	-	-	-	-

Tabulka č. 9 - Charakteristiky odtoku 2. a 3.6.2010 pro jednotlivá povodí

	Charakteristiky odtokové vlny						
	Výška vlny [mm]	Délka vlny [hod]	Délka vzestup.větve [hod]	Délka sestup.větve [hod]	Symetrie	Špičatost	Lag time [hod]
Tmavý p.	493	74	11	63	2.25	0.35	3
Roklanský p.	843	99	15	84	2.14	0.13	5
Březnický p.	782	67	14	53	1.57	0.03	4
Javoří p.	498	64	14	50	1.92	0.24	4
Cikánský p.	-	-	-	-	-	-	-
Černohorský p.	304	85.5	12	73.5	1.97	-0.04	4
Antýgl	-	-	-	-	-	-	-

V daném termínu byla srážkou srovnatelně postižena povodí Tmavého a Javořího potoka a dále pak Roklanského a Březnického potoka. Povodí Černohorského potoka se pohybovalo téměř ve všech charakteristikách srážky někde mezi výše uvedenými dvojicemi povodí.

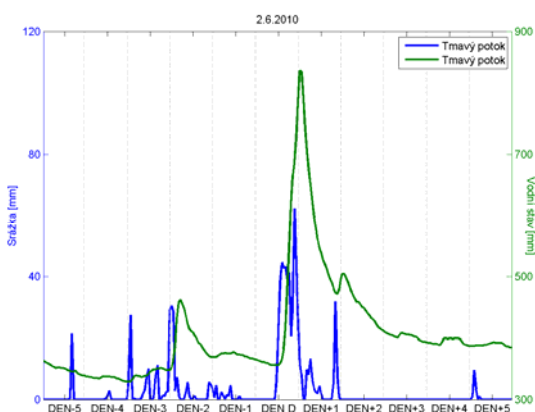
Povodí Tmavého a Javořího potoka jsou si fyzicko-geograficky relativně podobná (na druhé hierarchické úrovni shlukové analýzy). Poměrně se však liší zdravotním stavem lesa. Zatímco Tmavý potok pokrývá z velké většiny zdravý les, více než polovinu plochy povodí Javořího potoka tvoří les poškozený a mrtvý. Přes tyto rozdíly lze konstatovat, že odezva na srážkovou událost byla velmi podobná, pouze na Tmavém potoce trvala vlna o 10 hodin déle.

Jak již bylo uvedeno výše, povodí Roklanského a Březnického potoka jsou si velmi podobná jak z pohledu fyzicko-geografických charakteristik, tak zdravotního stavu lesa. V tomto případě se však odtoková odezva na srážku, která na ně dopadla, v některých charakteristikách trochu lišila. Výška vlny byla sice srovnatelná, délka trvání byla ale u Roklanského potoka o dost větší a odtoková vlna byla symetričtější a špičatější než u potoka Březnického.

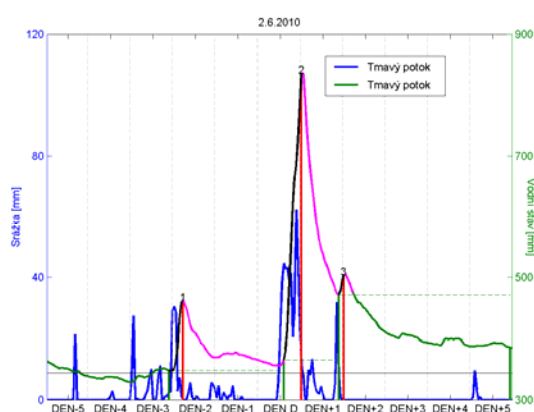
Ačkolí na povodí Černohorského potoka dopadla srážka, která byla velikostně někde mezi oběma dvojicemi výše porovnávaných povodí, výška její odtokové vlny byla nejmenší. To souhlasí s odtokovou odezvou na Javořím a Tmavém potoce, kam dopadla srážka vyšší. Na povodí Roklanského a Březnického potoka byla srážka podstatně menší, odtoková vlna však byla o dost vyšší. Jelikož se obě povodí dají fyzicko-geograficky s povodím Černohorského potoka srovnat a výrazněji se liší pouze ve zdravotním stavu lesa, dá se konstatovat, že v tomto případě měl zdravý les na odtok vliv a vrchol odtokové vlny na Černohorském potoce snížil.

Grafy srážek a jejich odtokové odezvy na srovnávaných povodích jsou zobrazeny na obr. č. 80, 81, 82 a 83 a 84. První obrázek (A) obsahuje pouhé linie, ve druhém (B) je zobrazení analýzy, kterou se určovaly v programu Matlab srážkové a odtokové charakteristiky (vyznačení vzestupné a sestupné větve odtokové vlny, vyznačení maxim apod.). Na těchto grafech jsou vidět problémy se zautomatizováním výpočtu některých charakteristik pomocí programu. Jedná se hlavně o délku vlny a její sestupné větve v případě, že vlnu tvořily dva a více vrcholů. V takovémto případě byly hodnoty do tabulek manuálně doplněny.

A

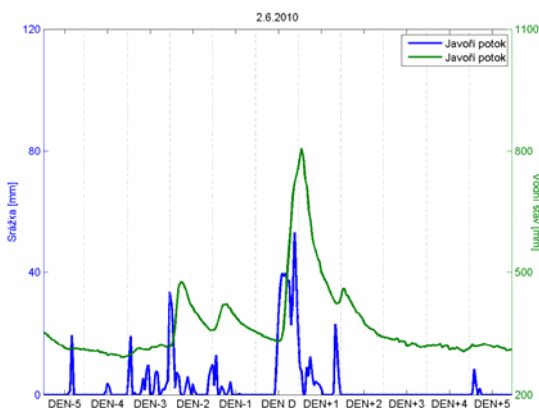


B

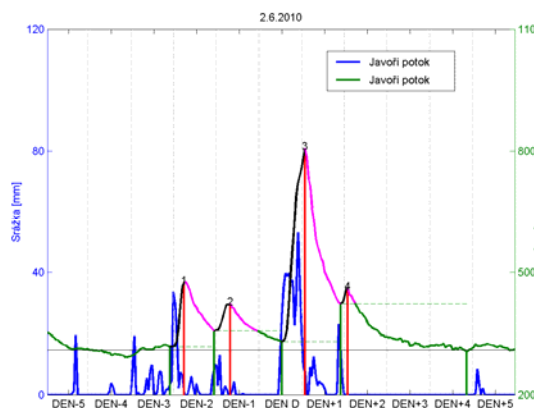


Obr č. 80 – Graf srážkové události a její odtokové odezvy (A) a analýza tohoto grafu (B) pro povodí Tmavého potoka.

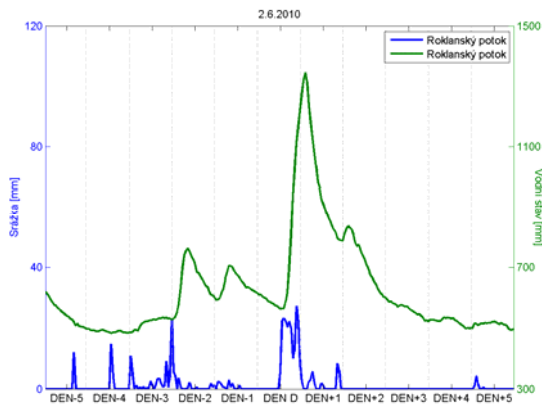
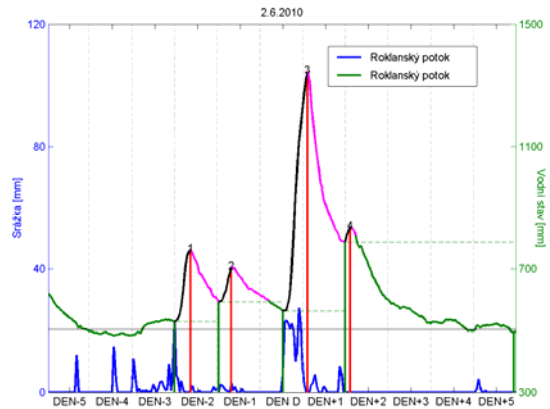
A



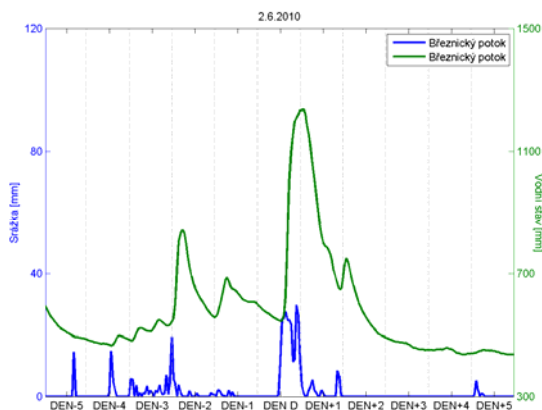
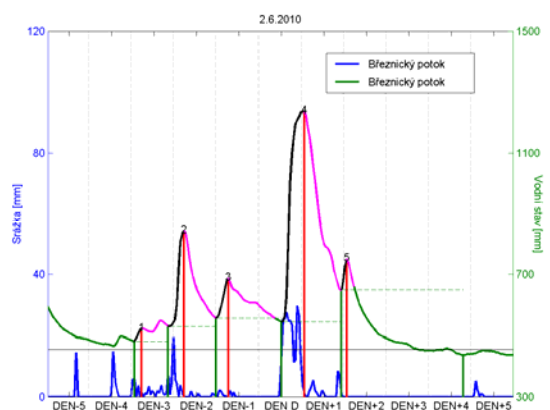
B



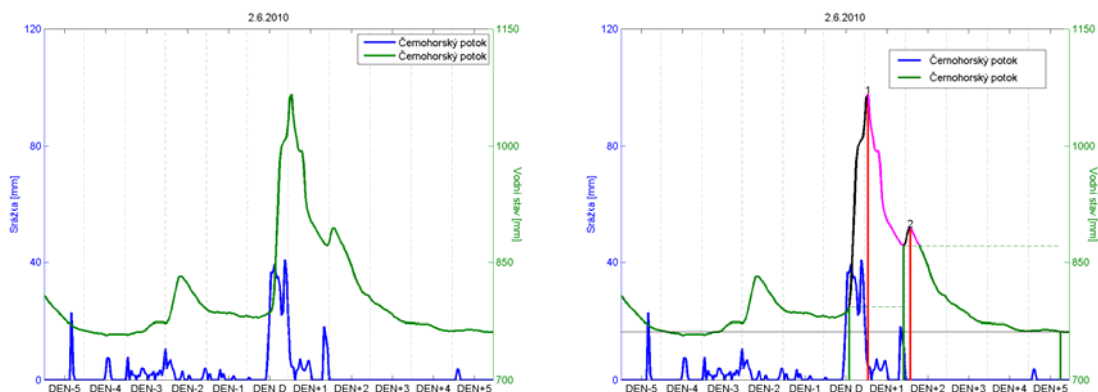
Obr č. 81 – Graf srážkové události a její odtokové odezvy (A) a analýza tohoto grafu (B) pro povodí Javořího potoka.

A**B**

Obr. č. 82 – Graf srážkové události a její odtokové odezvy (A) a analýza tohoto grafu (B) pro povodí Roklanského potoka.

A**B**

Obr. č. 83 – Graf srážkové události a její odtokové odezvy (A) a analýza tohoto grafu (B) pro povodí Březnického potoka



Obr. č. 84 – Graf srážkové události a její odtokové odezvy (A) a analýza tohoto grafu (B) pro povodí Černohorského potoka

5.2.3 Srážková událost ve dnech 26.5.2009

26.5.2009 se v České republice vyskytovala, stejně jako 17. a 18.7.2010, synoptická situace Bp (brázda postupující přes střední Evropu) – charakteristika viz výše.

26.5.2009 nebyly srážky v Čechách nijak výrazné, nicméně na Šumavě se poměrně projevíly a protože zasáhly čtyři ze sedmi sledovaných povodí, bylo možné tuto událost použít pro analýzu. Jako srážková událost bylo vymezeno období **26.5. 2009 16:00 – 27.6. 2009 1:00**. Charakter srážky v jednotlivých povodích je uveden v tabulce č. 10 a charakteristiky odtokových vln jsou uvedeny v tabulce č. 11.

Tabulka č. 10 - Charakteristiky srážek 26.5.2009 pro jednotlivá povodí

	Srážky				
	API 30	Výška [mm]	Suma [mm]	Délka [hod]	Prům.intenzita [mm/hod]
Tmavý potok	-	-	-	-	-
Roklanský potok	141.54	81	103.2	5	20.6
Březnický potok	159.98	67.9	90.3	7	12.9
Javoří potok	-	-	-	-	-
Cikánský potok	211.76	78	98.7	7	14.1
Černohorský potok	231.77	48.9	65.9	9	7.3
Antýgl	-	-	-	-	-

Tabulka č. 11 - Charakteristiky odtoku 26.5.2009 pro jednotlivá povodí

	Charakteristiky odtokové vlny						
	Výška vlny [mm]	Délka vlny [hod]	Délka vzestup.větve [hod]	Délka sestup.větve [hod]	Symetrie	Špičatost	Lag time [hod]
Tmavý p.	-	-	-	-	-	-	-
Roklanský p.	456	46	8	38	2.21	0.69	6
Březnický p.	943	47	7	40	1.72	0.44	3
Javoří p.	-	-	-	-	-	-	-
Cikánský p.	532	32	4	28	2.04	0.4	3
Černohorský p.	282	47	5	42	2.97	1	4
Antýgl	-	-	-	-	-	-	-

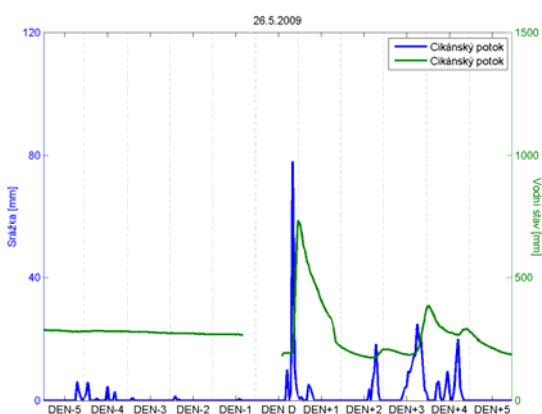
V tomto případě si byly nejpodobnější srážkové charakteristiky na povodí Březnického a Cikánského potoka pouze s tím rozdílem, že povodí Cikánského potoka bylo o něco více nasyceno předchozími srážkami. Srovnatelné se srážkou na těchto povodích jsou také srážkové charakteristiky povodí Roklanského potoka, kde ovšem srážka byla kratší, ale měla větší intenzitu a větší hodnotu jak maximální výšky srážek, tak sumy srážek. Charakter srážky na povodí Černohorského potoka se od ostatních lišil ve více charakteristikách, celkově zde byla srážka slabší.

Březnický potok se od Cikánského odlišuje především sklonitostními poměry, hustotou říční sítě (obojí je podstatně větší u Březnického potoka) a zdravotním stavem lesa, kdy Březnický potok je zcela zničený kůrovcem a Cikánský potok pokrývají z 60% zdravé lesy a ze 30% lesy poškozené. Odtoková odezva na srážku byla srovnatelná v ukazateli špičatost a lag time (doba zdržení odtoku za srážkou). V profilu Březnický potok však byla mnohem větší výška odtokové vlny a tato vlna trvala delší dobu. Odtoková vlna na Cikánském potoce byla symetričtější. Na hodnoty těchto ukazatelů měl zřejmě vliv rozdílný sklon svahů a uspořádání říční sítě, kdy Cikánský potok tvoří jen jeden tok bez přítoků, kdežto Březnický potok má mnoho přítoků a uspořádání jeho říční sítě je listovité. Z toho vyplývá obecně vyšší vrchol odtokové vlny a její kratší časový průběh v povodí Březnického potoka. Určitý podíl vlivu na to mohly mít i charakteristiky zalesnění, které by také měly přispívat k silnějšímu a rychlejšímu odtoku vody z povodí Březnického potoka.

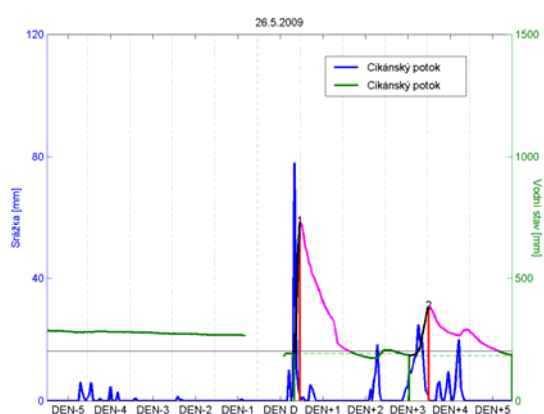
Při srovnání odtokové odezvy u dvou kůrovcem zničených povodí Březnického a Roklanského potoka se ukazuje poměrně velká odlišnost. Ačkoli na povodí Roklanského potoka dopadla srážka s větší intenzitou a celkově většími srážkovými úhrny, je výška vlny v jeho profilu výrazně menší než je tomu u Březnického potoka. Vlna je přitom o něco symetričtější a špičatější a lag time o tři hodiny delší.

Grafy srážek a jejich odtokové odezvy na srovnávaných povodích jsou zobrazeny na obr. č. 85, 86 a 87. První obrázek (A) obsahuje pouze linie, ve druhém (B) je zobrazení analýzy, kterou se určovaly v programu Matlab srážkové a odtokové charakteristiky (vyznačení vzestupné a sestupné větve odtokové vlny, vyznačení maxim apod.). Problémy s určením některých charakteristik byly řešeny stejným způsobem jako v předchozím případě.

A

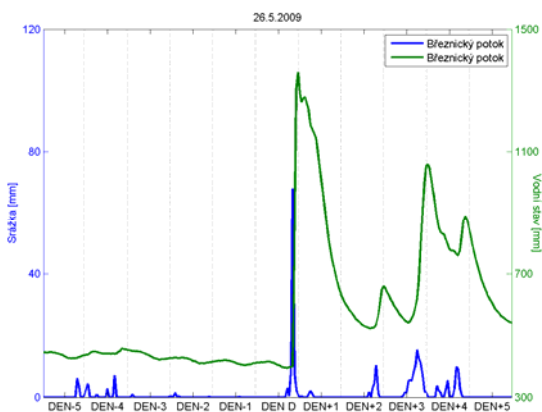


B

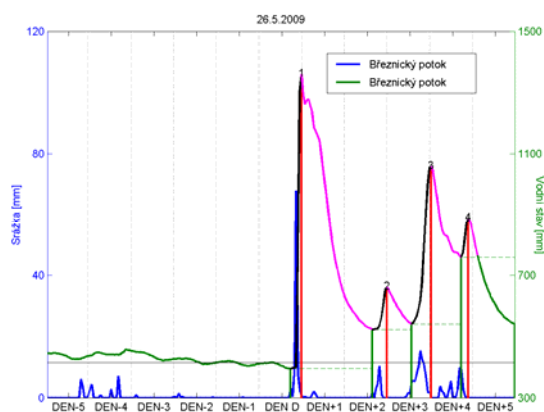


Obr. č. 85 – Graf srážkové události a její odtokové odezvy (A) a analýza tohoto grafu (B) pro povodí Cikánského potoka. Přerušení čáry určující vodní stav je způsobeno chybějícími daty.

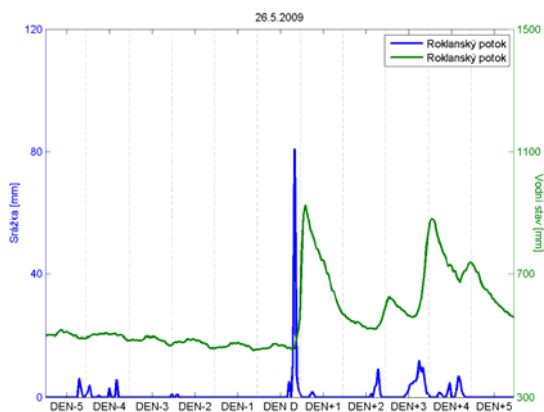
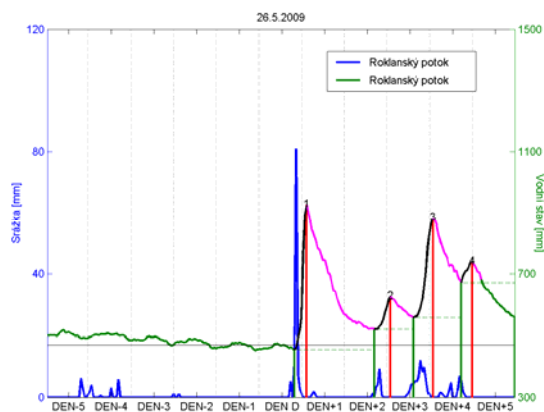
A



B



Obr. č. 86 – Graf srážkové události a její odtokové odezvy (A) a analýza tohoto grafu (B) pro povodí Březnického potoka.

A**B**

Obr. č. 87 – Graf srážkové události a její odtokové odezvy (A) a analýza tohoto grafu (B) pro povodí Roklanského potoka.

5.2.4 Srážková událost ve dnech 22. a 23.6.2009

22.6. a 23.6.2009 se na území České republiky vyskytovala synoptická situace Ec (východní cyklonální situace). Během této situace někdy postupují přes naše území na západ mělké frontální poruchy. Při četnější formě této situace leží řídicí tlaková níže na západ od Islandu, přičemž podél ní postupují frontální poruchy z oblasti středního Atlantiku k Norskému moři. Anticyklona se nejčastěji vyskytuje nad Fennoskandií. V oblasti Biskajského zálivu, Francie a Španělska je nevýrazné tlakové pole [Brádka, 1961].

Stejně jako v předchozím případě nešlo v rámci České republiky o výraznou srážkovou činnost, nicméně na sledovaném území Šumavy se srážky objevily na čtyřech povodích. Srážková událost byla definována pro období **22.6.2009 13:00 – 23.6.2009 17:00**- Srážkové charakteristiky pro toto datum jsou uvedeny v tabulce č. 12 a charakteristiky odtokových vln jsou uvedeny v tabulce č. 13.

Tabulka č. 12 - Charakteristiky srážek 22. a 23.6.2009 pro jednotlivá povodí

	Srážky				
	API 30	Výška [mm]	Suma [mm]	Délka [hod]	Prům.intenzita [mm/hod]
Tmavý potok	-	-	-	-	-
Roklanský potok	208.63	21.6	140.3	16	8.8
Březnický potok	247.6	25.2	165.7	16	10.4
Javoří potok	-	-	-	-	-
Cikánský potok	379.07	40.4	281.5	17	16.6
Černoohorský potok	436.37	47.8	457.2	28	16.3
Antýgl	-	-	-	-	-

Tabulka č. 13 - Tabulka č. 13 – Charakteristiky odtoku 22. a 23.6.2009 pro jednotlivá povodí

	Charakteristiky odtokové vlny						
	Výška vlny [mm]	Délka vlny [hod]	Délka vzestup.větvě [hod]	Délka sestup.větvě [hod]	Symetrie	Špičatost	Lag time [hod]
Tmavý p.	-	-	-	-	-	-	-
Roklanský p.	612	58	11	47	2.44	-1.02	5
Březnický p.	753	72	11	61	2.95	-1.11	3
Javoří p.	-	-	-	-	-	-	-
Cikánský p.	411	71	10	61	2.96	-1	4
Černoohorský p.	300	71	10	61	1.73	-0.45	3
Antýgl	-	-	-	-	-	-	-

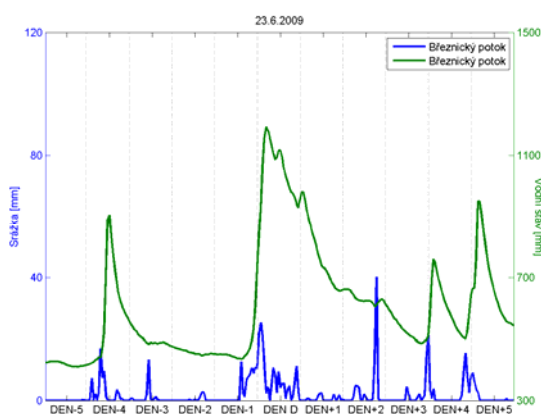
Také v tomto případě měly nejpodobnější charakter srážky spadlé na povodí Roklanského a Březnického potoka. Výška odtokové vlny byla větší v profilu Březnického potoka, což bylo pravděpodobně způsobeno o něco větší hodnotou indexu API30, tedy

předchozího nasycení v tomto povodí, nebo také o něco intenzivnější srážkou. Stejně tak byla větší i délka trvání vlny. Lag time byl naopak o dvě hodiny delší u Roklanského potoka, což je zřejmě způsobeno také vyšším předchozím nasycením povodí Březnického potoka. Ostatní charakteristiky jsou srovnatelné. Celkově lze tedy konstatovat, že na srážku reagovala obě povodí obdobně.

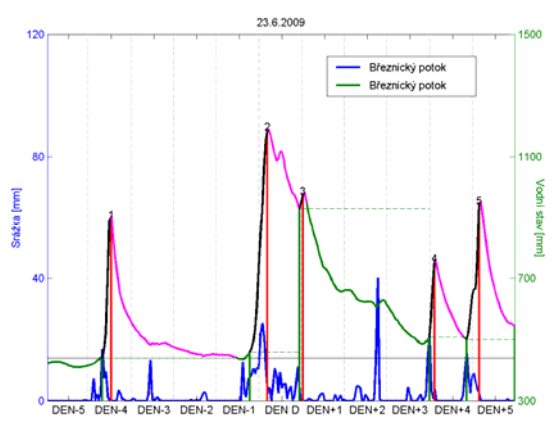
Na území Cikánského potoka přelo s větší intenzitou a celkovým úhrnem srážek než na povodích Březnického a Roklanského potoka. Přesto při srovnání Cikánského potoka s Březnickým (ke kterému se charakterem srážky blíží více), byla výška vlny v závěrovém profilu Cikánského potoka podstatně nižší. Ostatní charakteristiky byly srovnatelné. Povodí Cikánského potoka je od obou dalších povodí celkově dost odlišné. Především se vyznačuje mnohem menší sklonitostí svahů, podstatně menší hustotou říční sítě (jedná se o jediný potok bez přítoků), má na své ploše větší množství mokřadů a geologické podloží se skládá z více než 20% z kvartérních hornin. Tyto charakteristiky by mohly vysvětlit nižší vrchol odtokové vlny.

Grafy srážek a jejich odtokové odezvy na srovnávaných povodích jsou zobrazeny na obr. č. 88, 89 a 90. První obrázek (A) obsahuje pouhé linie, ve druhém (B) je zobrazení analýzy, kterou se určovaly v programu Matlab srážkové a odtokové charakteristiky (vyznačení vzestupné a sestupné větve odtokové vlny, vyznačení maxim apod.). Problémy s určením některých charakteristik byly řešeny stejným způsobem jako v předchozích případech.

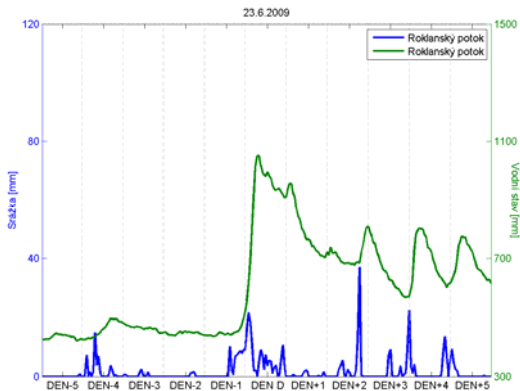
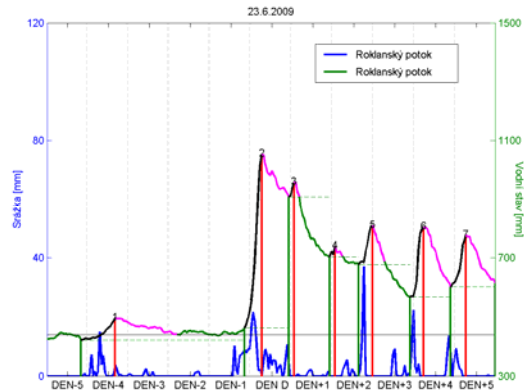
A



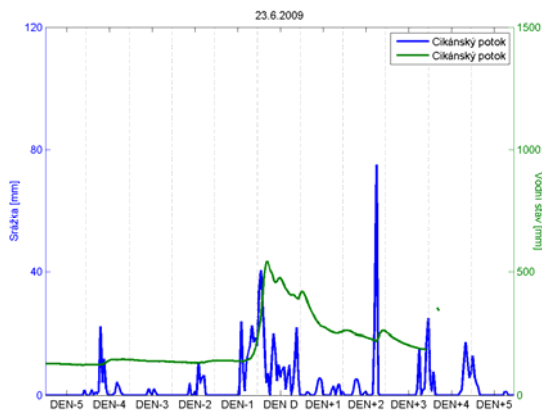
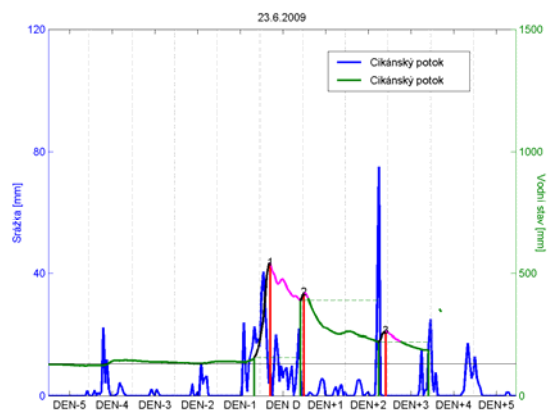
B



Obr č. 88 – Graf srážkové události a její odtokové odezvy (A) a analýza tohoto grafu (B) pro povodí Březnického potoka.

A**B**

Obr. č. 89 – Graf srážkové události a její odtokové odezvy (A) a analýza tohoto grafu (B) pro povodí Roklanského potoka.

A**B**

Obr. č. 90 – Graf srážkové události a její odtokové odezvy (A) a analýza tohoto grafu (B) pro povodí Cikánského potoka.

5.2.5 Srážková událost ve dnech 24.7.2009

Poslední srážková událost, která bude analyzována v této práci, se udála 24.7.2009. V tomto datu byla na území České republiky synoptická situace typu SWc₂ (jihozápadní cyklonální situace). Při této situaci se vytváří frontální zóna ve směru JZ – SV (Britské ostrovy – Baltské moře). Teplá tlaková výše přitom většinou leží nad Středozemním mořem, výšková cyklona leží jižně od Islandu a podél ní z oblasti Grónska proudí k jihovýchodu (do středního Atlantiku) studený vzduch. Za těchto podmínek většinou vznikají frontální zóny nad Atlantikem, ve kterých se setkávají vzduchové hmoty s poměrně velkými teplotními rozdíly. Frontální rozhraní, která se vytváří, pak často zasahují do střední Evropy [Brádka, 1961].

Tato srážková událost zasáhla pouze tři ze sledovaných povodí – povodí Roklanského potoka, Březnického potoka a Černoorského potoka. Přesto byla zahrnuta do analýzy. Analyzovaná srážka proběhla v období **24.7.2009 18:00 – 25.7.2009 00:00**. Srážkové charakteristiky pro jednotlivá povodí jsou uvedeny v tabulce č. 14 a charakteristiky odtokových vln jsou uvedeny v tabulce č. 15.

Tabulka č. 14 - Charakteristiky srážek 24.7.2009 pro jednotlivá povodí

	Srážky				
	API 30	Výška [mm]	Suma [mm]	Délka [hod]	Prům.intenzita [mm/hod]
Tmavý potok	-	-	-	-	-
Roklanský potok	252.48	43.6	56.1	7	8
Březnický potok	303.87	45.9	63.3	7	9
Javoří potok	-	-	-	-	-
Cikánský potok	-	-	-	-	-
Černoorský potok	487.25	46	65.1	5	13
Antýgl	-	-	-	-	-

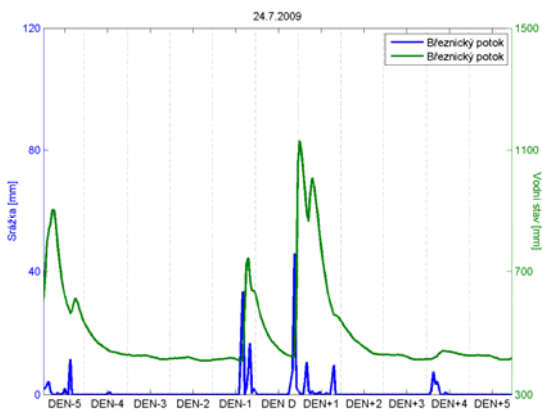
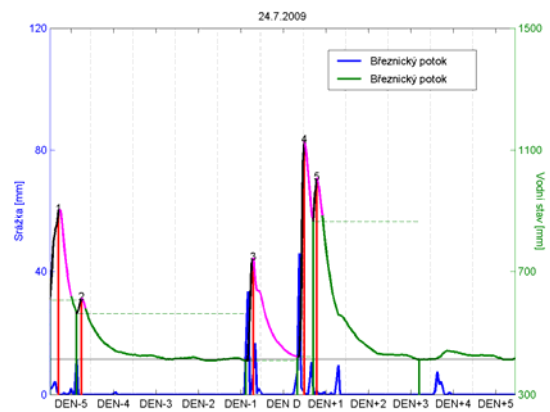
Tabulka č. 15 – Charakteristiky odtoku 24.7.2009 pro jednotlivá povodí

	Charakteristiky odtokové vlny						
	Výška vlny	Délka vlny [hod]	Délka vzestup.větve [hod]	Délka sestup.větve [hod]	Symetrie	Špičatost	Lag time
Tmavý p.	-	-	-	-	-	-	-
Roklanský p.	168	89	9	80	1.22	0	7
Březnický p.	716	45	5	40	1.82	-0.65	3
Javoří p.	-	-	-	-	-	-	-
Cikánský p.	-	-	-	-	-	-	-
Černoorský p.	81	72	13	59	3.32	-0.91	12
Antýgl	-	-	-	-	-	-	-

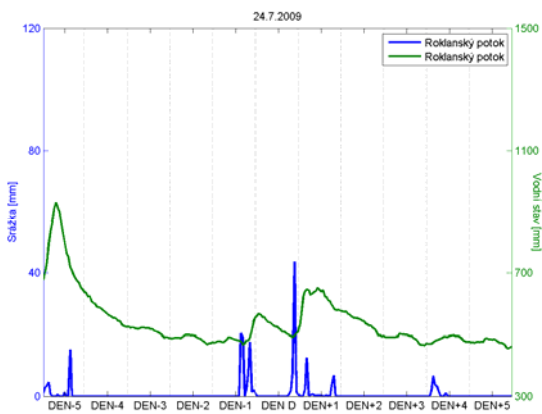
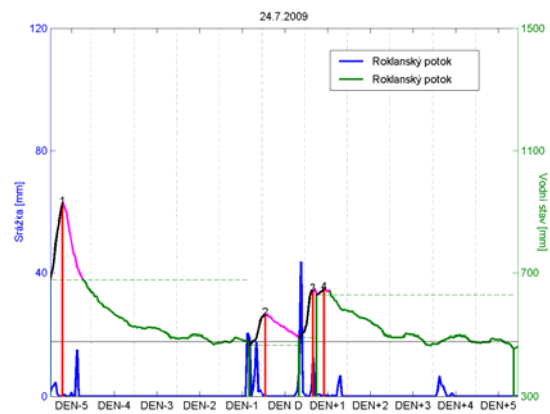
Také v tomto případě si byly nejpodobnější srážky na dvou nejvíce kůrovcovou kalamitou postizených povodích – Březnickém a Roklanském potoce. Srážka byla na obou povodích srovnatelná, avšak odtoková odezva na Březnickém potoce byla o mnoho vyšší. Trvala přitom poloviční dobu oproti Roklanskému potoku. Lag time trval více než dvakrát tak dlouho na Roklanském než na Březnickém potoce. Určitý vliv může mít na výraznější odtokovou odezvu na Březnickém potoce o něco vyšší předchozí nasycení povodí a o trochu větší intenzita i suma srážek.

Na Černoorském potoce byla srážka také srovnatelná, pouze nasycenost povodí předchozími srážkami byla podstatně větší. Odtoková odezva se však lišila výrazně. Přestože nasycení povodí předchozími srážkami bylo mnohem větší, výška vlny byla minimální oproti dalším dvěma povodím (především oproti povodí Březnického potoka). Symetrie vlny byla vyšší a lag time podstatně delší (4x vyšší než u Březnického potoka). Tvarem vlny se podobá odtoková odezva Černoorského potoka spíše odezvě Roklanského potoka než Březnického. Povodí Černoorského potoka se liší od Roklanského a Březnického potoka především podstatně větší hustotou říční sítě a menším průměrným, ale větším maximálním sklonem. Tyto charakteristiky by spíše zvyšovaly výšku odtokové vlny. Proto se dá předpokládat, že na nižší odtokovou vlnu při vyšších srážkách má vliv odlišný zdravotní stav lesa (většinu povodí tvoří zdravý a mladý les), kdy zdravý les srážku dokázal zachytit.

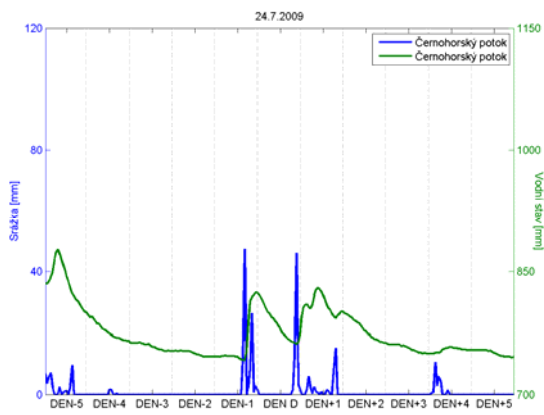
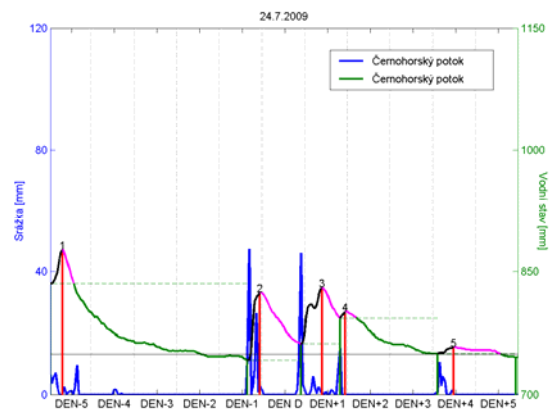
Grafy srážek a jejich odtokové odezvy na srovnávaných povodích jsou zobrazeny na obr. č. 91, 92 a 93. První obrázek (A) obsahuje pouhé linie, ve druhém (B) je zobrazení analýzy, kterou se určovaly v programu Matlab srážkové a odtokové charakteristiky (vyznačení vzestupné a sestupné větve odtokové vlny, vyznačení maxim apod.).

A**B**

Obr. č. 91 – Graf srážkové události a její odtokové odezvy (A) a analýza tohoto grafu (B) pro povodí Březnického potoka.

A**B**

Obr. č. 92 – Graf srážkové události a její odtokové odezvy (A) a analýza tohoto grafu (B) pro povodí Roklanského potoka.

A**B**

Obr. č. 93 – Graf srážkové události a její odtokové odezvy (A) a analýza tohoto grafu (B) pro povodí Černohorského potoka.

5.3. Analýza proměnných pomocí shlukové analýzy

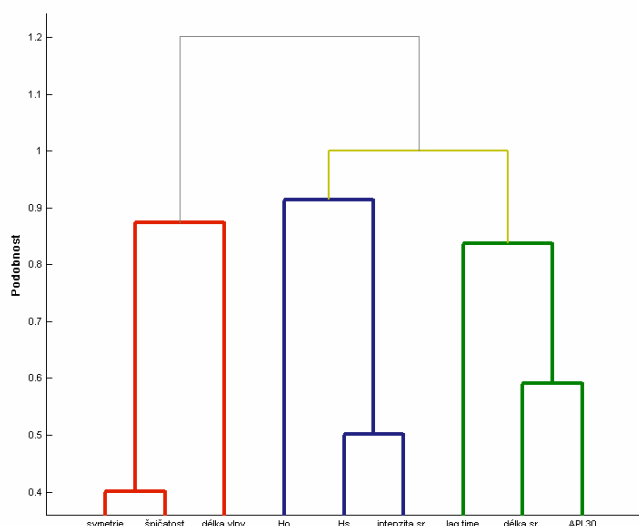
Kromě porovnávání jednotlivých povodí mezi sebou (shluky objektů) umožňuje shluková analýza seskupovat také ukazatele, které tyto objekty charakterizují. Z takovéto analýzy se dá rozpoznat, které ukazatele spolu nejvíce souvisí a naopak, které spolu nesouvisí vůbec. V této části práce byly porovnávány tři skupiny ukazatelů:

1. Ukazatele charakterizující zdravotní stav lesa a odtok doplněné o podíl plochy mokřadů na ploše povodí. Tento ukazatel byl doplněn kvůli jeho předpokládanému vlivu na charakter odtoku.
2. Ukazatele charakterizující příčinné srážky a odtok
3. Ukazatele charakterizující geologické a půdní poměry a odtok

5.3.1 Ukazatele charakterizující příčinné srážky a odtok

Další ukazatele, které byly porovnávány pomocí hierarchického shlukování, charakterizují příčinné srážky (viz kapitola 5.2.) a jim odpovídající odtokové odezvy. Údaje jsou uvedeny v tabulce č. 16. Výsledkem bylo nalezení tří shluků (obr. č. 94). V prvním případě se opět spojily charakteristiky tvaru odtokové vlny – symetrie a špičatost a připojila se k nim délka vlny. Tyto ukazatele odtoku spolu bezpochyby souvisí.

V druhém shluku spolu úzce propojeny ukazatele výška a intenzita srážky a na další hierarchické úrovni také výška odtoku. Ve třetím shluku je vykreslena souvislost ukazatelů délka srážky a API 30 s ukazatelem lag time. Z toho vyplývá, že délka trvání srážky a předchozí nasycení povodí ovlivňuje dobu zdržení odtoku za srážkou.



Ukazatel	Shluk
Výška odtoku - Ho	2
Délka vlny	1
Symetrie	1
Špičatost	1
Lag time	3
Výška srážky - Hs	2
Délka srážky	3
Prům.intenzita	2
API 30	3

Obr. č. 94 – Dendrogram shluků seskupující charakteristiky příčinné srážky a odtokové odezvy a tabulka těchto shluků

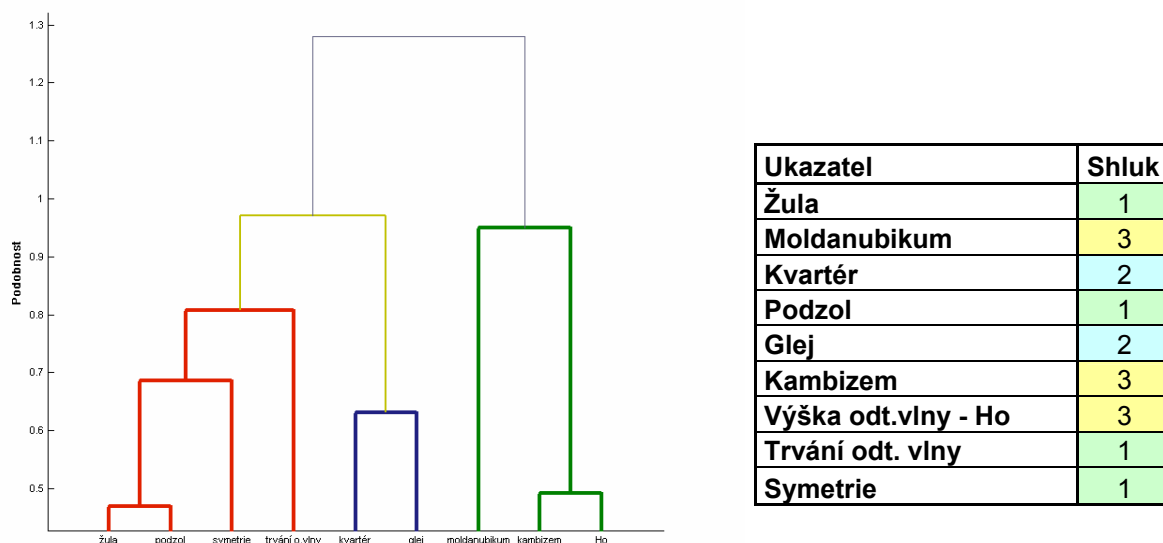
Tabulka č. 16 - Charakteristiky příčných srážek a odpovídajících odtokových odezev na jednotlivých povodích

	Charakteristiky odtoku					Charakteristiky srážky			
	Výška odt.vlny [mm]	Délka vlny [hod]	Symetrie	Špičatost	Lag time [hod]	Výška [mm]	Délka srážky [hod]	Prům.intenzita [mm/hod]	API 30
Tmavý potok 17.7.	435	39	14.53	3.36	2	129.2	11	48.6	155.99
Roklanský potok 17.7.	843	47	3.33	1.24	2	15	9	13.1	214.53
Březnický potok 17.7.	782	49	5.71	1.9	1	15.1	10	11.2	206.38
Javoří potok 17.7.	498	65	7.52	2.27	2	91.7	11	34.2	178.19
Cikánský potok 17.7.	328	69	5.22	1.74	2	19.1	11	11.9	217.05
Černoohorský potok 17.7.	274	69	4.5	1.62	1	23.3	10	15.1	216.01
Antýgl 17.7.	281	89	19.24	3.85	2	13.1	11	9.8	238.83
Tmavý potok 2.6.	493	74	2.25	0.35	3	62.4	15	31.7	497.9
Roklanský potok 2.6.	843	2.27	2.14	0.13	5	27.2	13	16.8	268.33
Březnický potok 2.6.	782	1.6	1.57	0.03	4	29.6	15	17.2	281.07
Javoří potok 2.6.	498	2.16	1.92	0.24	4	53	15	29.5	524.27
Černoohorský potok 2.6	304	1.93	1.97	-0.04	4	40.8	16	25	366.06
Roklanský potok 24.7.	252.48	89	1.22	0	7	43.6	7	8	252.48
Březnický potok 24.7.	303.87	45	1.82	-0.65	3	45.9	7	9	303.87
Černoohorský potok 24.7.	487.25	72	3.32	-0.91	12	46	5	13	487.25
Roklanský potok 23.6.	612	58	2.44	-1.02	5	21.6	16	8.8	208.63
Březnický potok 23.6.	753	72	2.95	-1.11	3	25.2	16	10.4	247.6
Cikánský potok 23.6.	411	71	2.96	-1	4	40.4	17	16.6	379.07
Černoohorský potok 23.6.	300	71	1.73	-0.45	3	47.8	28	16.3	436.37
Roklanský potok 26.5.	456	46	2.21	0.69	6	81	5	20.6	141.54
Březnický potok 26.5.	943	47	1.72	0.44	3	67.9	7	12.9	159.98
Cikánský potok 26.5.	532	32	2.04	0.4	3	78	7	14.1	211.76
Černoohorský potok 26.5.	282	47	2.97	1	4	48.9	9	7.3	231.77

5.3.2 Ukazatele charakterizující geologické a půdní poměry a odtok

V poslední části byly porovnávány ukazatele geologických poměrů, půdních poměrů a odtokových odezev na jednotlivé sledované srážky na povodích. Každé ze skupin obsahují tři ukazatele – pro geologické charakteristiky je to žula, moldanubikum a kvartérní horniny, pro půdní ukazatele je to podzol, glej a kambizem. Ukazatele odtoku byly zredukovány na výšku odtokové vlny, dobu trvání odtokové vlny a symetrii, která zastupuje tvar odtokové vlny. Špičatost vlny byla vyřazena z důvodu blízkého vztahu s ukazatelem symetrie, který vyplývá z předchozích kapitol. Údaje pro analýzu jsou uvedené v tabulce č. 17.

Z výsledků je patrný blízký vztah mezi žulou a podzolem, přičemž tyto ukazatele ovlivňují symetrii a na vyšší hierarchické úrovni také délku trvání odtokové vlny. Druhý shluk dává do souvislosti kvartérní horniny a glej bez vazby na odtok. Ze třetího shluku je patrný vliv kambizemí na výšku odtoku. Tyto ukazatele jsou vzdáleněji spojeny také s horninami moldanubika. Dendrogram a tabulka shluků jsou na obr. č. 95.



Obr. č. 95 – Dendrogram shluků seskupující geologické, půdní a odtokové charakteristiky tabulka těchto shluků

Tabulka č. 17 - Geologické, půdní a odtokové charakteristiky na jednotlivých povodích

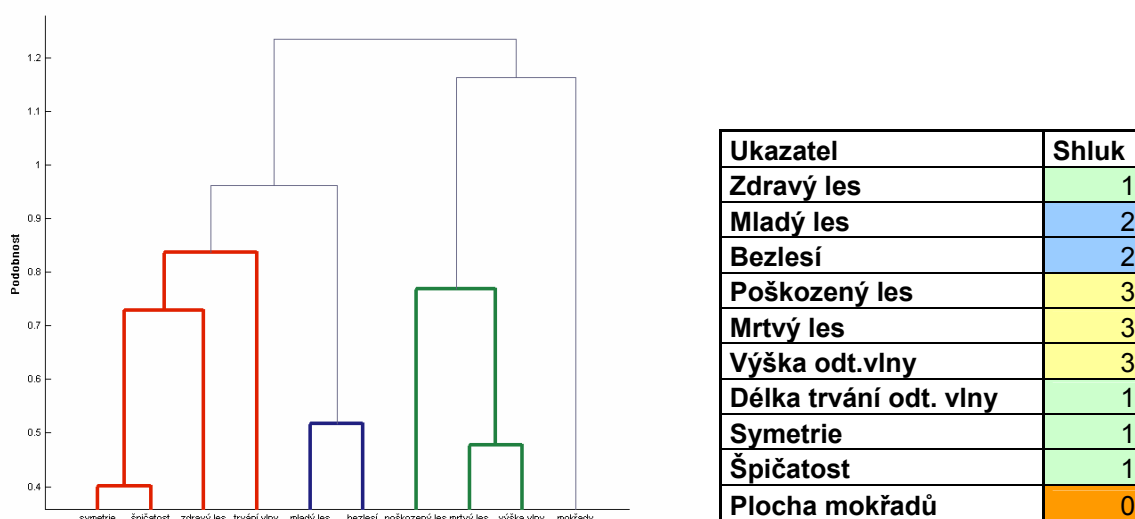
	Geologické poměry			Půdní poměry			Charakteristiky odtoku		
	Žula	Moldanubikum	Kvartér	Podzol	Glej	Kambizem	Výška odt.vlny	Trvání odt. vlny	Symetrie
Tmavý potok 17.7.	10.6	84.9	4.5	65.05	1.91	33.04	435	39	14.53
Roklanský potok 17.7.	0.0	100.0	0.0	47.20	26.71	26.09	843	47	3.33
Březnický potok 17.7.	0.0	100.0	0.0	27.02	0.12	72.86	782	49	5.71
Javoří potok 17.7.	58.8	41.1	0.0	54.65	34.59	10.76	498	65	7.52
Cikánský potok 17.7.	0.0	75.9	24.1	20.33	38.09	41.58	328	69	5.22
Černoohorský potok 17.7.	0.0	100.0	0.0	60.53	35.09	4.39	274	69	4.5
Antýgl 17.7.	54.0	46.0	0.0	74.58	18.16	7.26	281	89	19.24
Tmavý potok 2.6.	10.6	84.9	4.5	65.05	1.91	33.04	493	74	2.25
Roklanský potok 2.6.	0.0	100.0	0.0	47.20	26.71	26.09	843	2.14	2.14
Březnický potok 2.6.	0.0	100.0	0.0	27.02	0.12	72.86	782	1.57	1.57
Javoří potok 2.6.	58.8	41.1	0.0	54.65	34.59	10.76	498	1.92	1.92
Černoohorský potok 2.6	0.0	100.0	0.0	60.53	35.09	4.39	304	1.97	1.97
Roklanský potok 24.7.	0.0	100.0	0.0	47.20	26.71	26.09	252.48	89	1.22
Březnický potok 24.7.	0.0	100.0	0.0	27.02	0.12	72.86	303.87	45	1.82
Černoohorský potok 24.7.	0.0	100.0	0.0	60.53	35.09	4.39	487.25	72	3.32
Roklanský potok 23.6.	0.0	100.0	0.0	47.20	26.71	26.09	612	58	2.44
Březnický potok 23.6.	0.0	100.0	0.0	27.02	0.12	72.86	753	72	2.95
Cikánský potok 23.6.	0.0	75.9	24.1	20.33	38.09	41.58	411	71	2.96
Černoohorský potok 23.6.	0.0	100.0	0.0	60.53	35.09	4.39	300	71	1.73
Roklanský potok 26.5.	0.0	100.0	0.0	47.20	26.71	26.09	456	46	2.21
Březnický potok 26.5.	0.0	100.0	0.0	27.02	0.12	72.86	943	47	1.72
Cikánský potok 26.5.	0.0	75.9	24.1	20.33	38.09	41.58	532	32	2.04
Černoohorský potok 26.5.	0.0	100.0	0.0	60.53	35.09	4.39	282	47	2.97

5.3.3 Ukazatele charakterizující zdravotní stav lesa a odtok

Jako první byly porovnávány charakteristiky, které reprezentují zdravotní stav lesa (podíl zdravého, mladého, poškozeného a mrtvého lesa a bezlesí na plochu povodí) a charakteristiky odtokové odezvy na příčinné srážky (viz kapitola 5.2) pro všechna povodí (tabulka č.18).

Z výsledků je patrná těsná souvislost ukazatelů, které charakterizují tvar vlny – tedy její špičatost a symetrii. Tyto dvě charakteristiky pak byly na dalších hierarchických úrovních zařazeny do spojení se zdravým lesem a dále pak s délkou trvání odtokové vlny. To může znamenat, že se tyto ukazatele navzájem ovlivňují, respektive, že zdravý les má vliv na tvar a délku trvání odtokové vlny. Ve druhém shluku se projevila blízkost ukazatelů mladého lesa a bezlesí, které ovšem nemají obecně žádnou funkční spojitost. Podle třetího shluku lze říci, že poškozený les a především mrtvý les ovlivňuje výšku odtokové vlny. Poškozený les, který v praxi funguje jiným způsobem než les mrtvý, leží v rámci třetího shluku trochu stranou. Překvapivě, plocha mokřadů nebyla přiřazena do žádného shluku.

Obecně se ale z daných výsledků nedá učinit jednoznačný závěr. Dendrogram shluků spolu s tabulkou je vyobrazen na Obr. č.96.



Obr. č. 96 – Dendrogram shluků seskupující charakteristiky zdravotního stavu lesa a odtoku a tabulka těchto shluků

Tabulka č. 18 - Charakteristiky zdravotního stavu lesa a odtoku pro jednotlivé situace a povodí

	Zdravotní stav lesa [%]					Charakteristiky odtoku				
	Zdravý	Mladý	Bezlesí	Poškozený	Mrtvý	Výška odt.vlny [mm]	Délka trvání odt. vlny [hod]	Symetrie	Špičatost	Plocha mokřadů [%]
Tmavý potok 17.7.	64	18	10	4	4	435	39	14.53	3.36	4.3
Roklanský potok 17.7.	0	6	6	7	80	843	47	3.33	1.24	27.3
Březnický potok 17.7.	1	13	25	5	56	782	49	5.71	1.9	14.7
Javoří potok 17.7.	20	9	10	50	12	498	65	7.52	2.27	12.4
Cikánský potok 17.7.	60	5	4	28	4	328	69	5.22	1.74	42.5
Černoohorský potok 17.7.	67	17	9	3	4	274	69	4.5	1.62	29.6
Antýgl 17.7.	70	2	18	9	1	281	89	19.24	3.85	4.6
Tmavý potok 2.6.	64	18	10	4	4	493	74	2.25	0.35	4.3
Roklanský potok 2.6.	0	6	6	7	80	843	2.27	2.14	0.13	27.3
Březnický potok 2.6.	1	13	25	5	56	782	1.6	1.57	0.03	14.7
Javoří potok 2.6.	20	9	10	50	12	498	2.16	1.92	0.24	12.4
Černoohorský potok 2.6	67	17	9	3	4	304	1.93	1.97	-0.04	29.6
Roklanský potok 24.7.	0	6	6	7	80	252.48	89	1.22	0	27.3
Březnický potok 24.7.	1	13	25	5	56	303.87	45	1.82	-0.65	14.7
Černoohorský potok 24.7.	67	17	9	3	4	487.25	72	3.32	-0.91	29.6
Roklanský potok 23.6.	0	6	6	7	80	612	58	2.44	-1.02	27.3
Březnický potok 23.6.	1	13	25	5	56	753	72	2.95	-1.11	14.7
Cikánský potok 23.6.	60	5	4	28	4	411	71	2.96	-1	42.5
Černoohorský potok 23.6.	67	17	9	3	4	300	71	1.73	-0.45	29.6
Roklanský potok 26.5.	0	6	6	7	80	456	46	2.21	0.69	27.3
Březnický potok 26.5.	1	13	25	5	56	943	47	1.72	0.44	14.7
Cikánský potok 26.5.	60	5	4	28	4	532	32	2.04	0.4	42.5
Černoohorský potok 26.5.	67	17	9	3	4	282	47	2.97	1	29.6

5.4. Shrnutí výsledků

Pro zjištění podobnosti sledovaných povodí byla použita shluková analýza. Z té vyplynulo, že celkově si jsou nejvíce podobná povodí Roklanského a Březnického potoka, která zároveň mají téměř totožný charakter zalesnění a zdravotního stavu lesa. Jsou to povodí, která jsou prakticky celá zničená nálety lýkožrouta smrkového. Pokud se neuvažují charakteristiky zalesnění, obě povodí vykazují o něco menší podobnost, celkově jsou však srovnatelná.

Další povodí, která jsou si velmi podobná jsou povodí Javořího potoka a Antýglu, která se však liší zdravotním stavem lesa. Povodí Javořího potoka je z více než poloviny poničené kůrovcovou kalamitou. Na povodí Antýglu roste zdravý les a nachází se zde také několik plošin bezlesí, které byly vytvořeny v důsledku současné těžby dřeva.

Poměrně podobná jsou si také povodí Tmavého a Černohorského potoka. Jejich celková podobnost je dána hlavně srovnatelným, poměrně dobrým, zdravotním stavem lesa. Z pohledu fyzicko-geografických charakteristik jsou si podobná i povodí Černohorského a Roklanského potoka, která se naopak výrazně liší zalesněním.

Shluková analýza se pro tento úkol ukázala jako poměrně vhodná metoda, která poskytla požadované výsledky.

Z analýzy pěti srážkových událostí vyplynulo:

- nejvýznamnější událost ze 17. a 18.7.2010 ukazuje na pravděpodobný vliv zdravotního stavu lesa na odtok. Povodí, která jsou pokrytá téměř celá mrtvým lesem, reagují na srážku obdobně a to větší výškou odtokové vlny než je tomu u povodí porostlých zdravým nebo téměř zdravým lesem. Povodí, která se vyznačují jiným zdravotním stavem lesa reagují odlišně.
- srovnání dvou velmi poškozených povodí bylo možné pro každou situaci. 2. a 3.6.2010 způsobila srážka podobnou odtokovou reakci s rozdílem v délce odtokové vlny. Při událostech z 26.5.2009, 22.6.2009 a 24.7.2009 se charakter odtoku lišil. Ve druhých dvou případech to může být z velké části způsobeno větší hodnotou API 30, tedy větším předchozím nasycením půdy.
- rozdílné charakteristiky odtoku na povodích Březnického a Cikánského potoka jsou pravděpodobně velkou měrou způsobeny odlišným charakterem říční sítě a sklonitostí

svahů. Dá se předpokládat, že určitou roli zde hraje také odlišný stav lesa, není však podle údajů, které jsou k dispozici, možné určit míru tohoto ovlivnění.

- při porovnání odtokových charakteristik Černoohorského potoka, na kterém roste relativně zdravý les, s poničeným povodím Březnického nebo Roklanského potoka je vidět, že na Černoohorském potoce je odtoková vlna vždy menší a většinou trvá delší dobu.

První část shlukové analýzy proměnných v kapitole 5.3., porovnávací charakteristiky srážky a odtoku, potvrdila spojitost tvaru odtokové vlny s její délkou, dále pak intenzity a výšky srážek s výškou odtoku a nakonec ukázala vliv nasycení povodí předchozími srážkami a délky srážky na lag time.

Ve druhé části byly porovnávány geologické a půdní charakteristiky s charakteristikami odtoku. Zde se ukázalo spojení žulového podloží a podzolu s dobou trvání odtokové vlny a jejím tvarem. Dále se pak vytvořil shluk, zahrnující v sobě horniny moldanubika, kambizem a výšku odtokové vlny.

Poslední část shlukové analýzy ukázala souvislost mezi zdravým lesem a tvarem odtokové vlny a dále pak mrtvým lesem a výškou odtokové vlny. Tyto výsledky však nejsou podpořeny dostatečně detailní analýzou, založenou na větším množství dat.

6. Diskuze

Problematika vlivu lesní vegetace a jejího stavu na dynamiku a extremitu odtoku představuje jedno ze zásadních témat hydrologického výzkumu u nás i v zahraničí. Přesto, že se daným tématem již v minulosti zabývalo a stále zabývá velké množství vědců a výzkumných týmů, z dostupných studií [např. Švihla, 2001], vyplývají zpravidla pouze dílčí poznatky, které neumožňují všeobecné zobecnění vlivu zalesnění a poškození lesa na odtok. Poznatky o vlivu poškození vegetace na odtokový proces jsou přitom významné pro vhodný management oblastí, kde došlo k narušení lesní vegetace přírodními, nebo antropogenními procesy.

Příkladem je např. studie, která se zabývala srážko-odtokovými poměry ve Vysokých Tatrách před a po větrné kalamitě [např. Hlavatá et al, 2008, Tijiu a Xiaojing 2007], která zjistila sice některé možné dopady odlesnění v důsledku této disturbance na odtok, nebyly však nijak významné. Přitom největší změny nebyly prokázány na povodí, které bylo událostí nejvíce poškozeno.

Také další studie ze Slovenska [Kyselová et al, 2008], ve které byl zkoumán vliv odlesnění v důsledku větrné kalamity na Horehroní konstatuje, že se odtokové charakteristiky v důsledky této kalamity výrazně nezměnily, což autoři dávají do souvislosti s evapotranspirační schopností vegetace, která na vzniklých plochách vyrostla.

Pekárová et al sice v závěrech své práce z roku 2009 na základě výsledků uvádí, že zalesnění povodí může snížit roční odtok až o hodnotu okolo 30% a naopak deforestrace může znamenat enormní nárůst odtoku, zároveň ale upozorňuje, že během 42 let pozorování nebyla naměřena na studovaných experimentálních povodích žádná extrémní srážka, která by umožnila zjistit přesněji vliv zalesnění na odtokovou odezvu takovéto silnější srážky.

Pro analýzu vlivu stavu lesních ekosystémů na odtokové poměry představuje zásadní předpoklad kvalitní datová základna. Jde zejména o výběr reprezentativních experimentálních území, výběr vhodných srážko-odtokových událostí pro analýzu, dostupnost vhodných dat pro korektní popis rozložení srážek na experimentálním povodí a především o data, popisující dostatečně kvalitně dynamiku odtoku v daném území.

Existence a dostupnost vstupních dat tak představuje základní limitující podmínku pro výzkum a vypovídací hodnotu výsledků.

V této práci představuje limitující faktor především skutečnost neexistence přiměřeně dlouhé řady měření odtokových charakteristik, která by umožnila podrobnou analýzu velkého počtu odtokových událostí. Toto omezení vyplývá z vlastní povahy experimentálního monitoringu v horských oblastech i vývoje technologií pro vysoce kvalitní monitoring a záznam vodních stavů, které jsou pro experimentální výzkum dostupné teprve v posledních letech..Analýza dat tak může být založena na menším vzorku událostí, které však jsou pokryty daty s vysokou frekvencí snímání.

Další okruh problémů, vyplývajících z charakteru dat, spočívá v rozdílně kvalitních datech pro sestavení měrných křivek pro převod vodních stavů na průtoky. Vzhledem k tomu, že na řadě profilů vycházejí měrné křivky z pouze omezeného počtu hydrometrických měření a nejsou tak reprezentativní, byly pro hodnocení dynamiky odtokového procesu použity hodnoty vodních stavů. Tato analýza je z hlediska hodnocení dynamiky odtokového procesu relevantní, zároveň však přináší omezení, dané nemožností využít hodnot průtoků, které by se daly využít pro bilanční analýzu.

Analýza dat z automatických srážkoměrných stanic a hladinměřů představuje nutnost vyrovnat se mimořádným objemem vstupních dat, které je před vlastním zpracováním vhodnými postupy potřeba upravit do použitelné podoby. Technická úprava a předzpracování dat přitom řešila řadu různých problémů. Problém představují např. mezery v datových záznamech, dané výpadky měření z rozdílných příčin. Zdrojová data srážek a odtoku, která byla pořízená v desetiminutovém kroku, byla přepočítávána na hodnoty hodinové. U řad srážkových hodnot bylo zapotřebí zkorigovat rozdílný čas začátku měření, který se mezi oběma zdroji (PřF a CHMÚ) těchto dat lišil.

Vzhledem ke krátkému období monitoringu je obtížné hledání vhodných srážkových událostí, které by vyvolaly zřetelné odtokové odezvy na jednotlivých hodnocených povodích. Byla nalezena pouze jedna výraznější srážka, která pokryla všech sedm experimentálních povodí. Ostatní srážky zasáhly vždy jen některá povodí a to často ne úplně velikostně srovnatelnou srážkou. Bylo by tedy třeba pracovat s časově delší řadou srážek a především odtokových charakteristik. Limitní zde jsou pouze data vodních stavů, která zatím v delší časové řadě pro zájmová povodí neexistují.

Pro analýzu velkého množství vstupních dat, ze kterých byly odvozovány ukazatele pro navazující statistické analýzy, byly vyvinuty algoritmy pro automatizaci analýzy odtokové

vlny a výpočet vybraných ukazatelů odtoku. V programu Matlab tak byly následně následky odvozovány hodnoty ukazatelů x, y, z, \dots .

Výsledky ukázaly na omezené možnosti úplné automatizace analýzy hydrogramu, zejména v případě délky odtokové vlny, a to především její sestupné větve. Snaha o zautomatizování tohoto výpočtu se ukázala jako prakticky neřešitelná, díky nemožnosti jednoznačně algoritmizovat určení konečného bodu sestupné větve hydrogramu. Tento problém byl konzultován s odborníky z Českého hydrometeorologického ústavu, avšak bez uspokojivého řešení. Proto byly dopočítávány tyto hodnoty manuálně ze souboru hodnot vodních stavů.

Stěžejní statistickou metodou, využitou jako nástroj pro analýzu výsledných dat je shluková analýza – hierarchické shlukování, která byla použita pro interpretaci rozdílných aspektů hodnocení.

Shluková analýza byla využita nejprve při hledání podobnosti zájmových povodí z hlediska fyzicko-geografických faktorů, topografie, stavu lesní vegetace aj.. V tomto případě se ukázala jako vhodná metoda, podávající dobré výsledky a výsledné shluky odpovídají skutečným charakteristikám sledovaných povodí.

Při analýzách charakteristik srážkových událostí tato metoda dávala uspokojivé výsledky pouze pro srovnání charakteristik srážkové události ze 17. a 18.7. 2010, kdy byla významná srážka pozorovaná na všech sledovaných povodích. Při aplikaci metody na odtokovou odezvu této srážky nicméně výsledky díky malému množství vstupních dat byly nereprezentativní. Třetím typem úlohy, kde byla hierarchická shluková analýza použita, byla identifikace vazeb mezi ukazateli, popisujícími odtokové charakteristiky, vypočtené z vybraných událostí a charakteristikami, které reprezentují zdravotní stav lesa, geologické a půdní poměry na jednotlivých povodích. Shluková analýza potvrdila některé předpoklady, týkající se vztahu srážek a odtoku a také geologického a půdního prostředí s odtokovými charakteristikami. K jednoznačnému prokázání vlivu zdravotního stavu lesního porostu na odtok však nepřispěla. Důvodem není špatná volba metody, ale omezený vzorek vstupních dat ve vstupní matici, který je při malém počtu odtokových událostí zatížen vysokou variabilitou souboru.

Obecně je třeba vidět omezený vzorek vstupních událostí jako faktor, který neumožňuje z dosažených výsledků vyvozovat obecně platné a konečné závěry. Dosažené výsledky však ukázaly, že zvolená metodika řešení je vhodná pro řešení tohoto typu problémů a umožňuje objektivní vyhodnocení vazeb mezi charakteristikami odtoku a potenciálně ovlivňujícími faktory. V hydrologii se takto shluková analýza použila (v kombinaci s CCA

analýzou) například ve studii zabývající se hodnocením vazeb mezi kategoriemi typologie a dlouhodobými průměrnými hodnotami ukazatelů jakosti vody [Langhammer et al, 2011], která byla založena na měřeních na několika stovkách profilů. Další studie srovnávala pomocí shlukové analýzy významné dešťové povodně na území České republiky z hlediska synopticko-dynamických a hydrometeorologických příčin [Kašpar a Müller, 2010]. V další práci Čekal a Hladný [2007] hledali pomocí shlukové analýzy povodí se srovnatelnou sezonalitou výskytu povodní.

Detailní analýza srážko odtokových událostí přinesla některá zajímavá zjištění z hlediska odlišností charakteru a dynamiky odtokové odezvy v povodích s odlišným stavem lesní vegetace a fyzicko-geografickými podmínkami.

Při srážkové události ze 17. a 18.7.2010 se tak např. ukázaly výsledky velké rozdíly v odtokových odezvách mezi dvěma dvojicemi povodí. V prvním případě se jednalo o povodí Roklanského a Černohorského potoka. Povodí Roklanského potoka je zcela zničené kůrovcem a vyznačuje se výrazně převažujícím podílem mrtvého lesa. Naopak povodí Černohorského potoka je téměř zcela pokryté zdravým lesem. Srážková událost měla obdobný charakter na obou povodích, přičemž srážek dopadlo jen o trochu větší množství na povodí Černohorského potoka. Odtoková vlna byla vyšší a trvala kratší dobu v závěrovém profilu Roklanského potoka než v závěrovém profilu Černohorského potoka. Tyto výsledky by mohly ukazovat na vysoký vliv zdravotního stavu lesa na odtok, kdy popadané mrtvé stromy bez kůry a jehličí nedokáží srážkovou vodu zadržet do té míry jako zdravý les. Tím se odtok vody z povodí zrychluje.

Naopak, při srovnání zničeného povodí Roklanského potoka s povodím Březnického potoka, které je také silně napadeno kůrovcem a les na něm je v podobném stavu jako u Roklanského potoka, byla odtoková vlna v podstatě totožná.

Druhá vybraná srážková událost měla datum 2. a 3.6.2010. Byly porovnávané odtokové odezvy na tuto srážku na povodích Tmavého potoka s Javořím potokem, Roklanského potoka s Březnickým a Černohorského potoka s těmito dvěma dvojicemi povodí. Povodí Tmavého potoka je z větší části pokryto zdravým lesem, přičemž povodí Javořícího potoka má velký podíl poškozeného lesa. Odtoková reakce na těchto dvou povodích byla téměř stejná. Jediný ukazatel, ve kterém se odtok lišil byla délka odtokové vlny, která byla delší v profilu Tmavého potoka. Tento rozdíl však nebyl nijak výrazný. To, že horší stav lesa nezpůsobil rychlejší reakci odtoku na srážku může, být způsobeno skutečností, že les je pouze částečně poškozený a nikoli zcela mrtvý a proto se jeho hydrologická funkce od

zdravého lesa příliš neliší. Když se vezme v úvahu poznatek, že vliv krajinného pokryvu na odtok klesá se vzrůstající extremitou srážky [např. Jeníček, 2007], může mít vliv na charakter odtoku na Tmavém a Javořím potoce také vyšší intenzita dané srážky.

Na povodí Černoohorského potoka spadla srážka, která byla odlišná a velikostně se pohybovala někde mezi srážkami spadlými na předchozí dvě dvojice povodí. Ze srovnání odtokových charakteristik byl vidět možný vliv zdravého lesa na snížení maxima odtokové vlny.

Na poničená povodí Roklanského a Březnického potoka působila srážka podobně, odtoková odezva se však lišila tvarem a délkou trvání vlny.

Další srážkové události, které byly analyzovány, nikdy nepokryly více než čtyři ze sedmi zkoumaných povodí. Většinou pokrývala srovnatelná srážka převážně povodí Roklanského a Březnického potoka, což nebylo pro tuto práci moc výhodné. Mnohem vhodnější by bylo nalezení více případů srážek, které měly stejný charakter na povodích lišících se především ve zdravotním stavu lesa.

Přesto srovnání Roklanského a Březnického potoka může k práci výrazným dílem přispět. Pokud by byl stav lesa stěžejní pro odtokové odezvy na srážky na povodí, měly by být tyto odezvy v jednotlivých případech při srovnatelném charakteru srážky prakticky stejné. To se však vždy nepotvrdilo. Například po srážkové události 26.5.2009 byla odtoková odezva v profilu Březnického potoka větší a to i přesto, že srážka, která ji způsobila, byla oproti povodí Roklanského potoka slabší. Stejně tomu bylo i při srážkové události ze 22.6.2009 a 24.7.2009, kdy srážky na obou povodích byly srovnatelné, ale odtoková odezva byla výraznější na povodí Březnického potoka. V tomto případě může být příčinou vyšší předchozí nasycení povodí srážkovou vodou.

Při srážkových událostech 26.5.2009 a 22.-23.6.2009 na povodích Cikánského a Březnického potoka byla odtoková reakce na kůrovcem zničeném povodí silnější a rychlejší, nelze však určit, do jaké míry to bylo způsobeno zdravotním stavem lesa a do jaké míry větším sklonem svahů a větší hustotou říční sítě. Na povodí Cikánského potoka se také nachází velké množství mokřadů. Jejich vliv na odtokové poměry je však stále nejistý. Dosažené výsledky potvrzují současné poznatky o vlivu rašelinišť na odtokový proces. Ukázalo se že rašeliniště nemají na odtok vyrovnávací účinek, jak bylo předpokládáno dříve. Naopak, toky, které rašeliniště odvodňují, mají často významně rozkolísaný odtok – při silných deštích srážkovou vodu nezadržují a při déletrvajícím suchu vodní toky nenapájí [Janský a Kocum, 2007].

7. Závěr

Vliv lesních ekosystémů a jejich zdravotního stavu na odtokové poměry je velice aktuální a často řešenou otázkou, která však nemá jednoduché a jednoznačné řešení. V literatuře odborné literatuře i na vědeckých konferencích se mnohdy setkáváme s protichůdnými výsledky a odlišnými názory autorů, kteří se danou tematikou zabývají. Tato práce tak přináší další díl do mozaiky poznání odtokového procesu a zároveň ukazuje nové metodické přístupy, které jsou pro objektivní hodnocení vlivu stavu lesní vegetace na odtok využitelné.

Práce porovnává odtokovou odezvu pěti srážkových událostí v teplých půlrocích let 2009 a 2010 na sedmi povodích v centrální části Šumavy. Některá z těchto povodí jsou srovnatelná jak z pohledu fyzicko-geografických charakteristik (nadmořská výška, sklon, geologie, pedologie, hustota říční sítě apod.), tak z pohledu zdravotního stavu lesa (zdravý les, mladý les, bezlesí, poškozený les, mrtvý les). Jiná povodí se v těchto charakteristikách výrazně liší. Pro porovnání podobnosti povodí byla úspěšně použita metoda shlukové analýzy. Tato analýza byla dále použita pro určení podobnosti ukazatelů některých fyzicko-geografických a srážko-odtokových charakteristik.

Část výsledků ukazuje poměrně dobře výrazný vliv stavu lesních porostů na odtokové poměry. Jedná se především o srážku ze 17. a 18.7.2010, která postihla všechna sledovaná povodí a je proto nejvýznamnější srážkovou událostí, použitou pro tuto studii. V některých případech však vliv lesa na odtok prokázán nebyl. Lze tak předpokládat, že na tuto skutečnost má vliv velikost srážky, kdy, podle výsledků jiných výzkumů, zabývajících se touto tematikou, vliv lesa na odtok klesá právě s její extremitou.

Použití podstatně delší časové řady s větším množstvím výrazných srážkových událostí, které by byly srovnatelné pro všechna povodí, by vedlo ke zpřesnění výsledků této práce. Větší množství údajů by také umožnilo použití shlukové analýzy při porovnávání reakce odtoku na příčinnou srážku na jednotlivých povodích.

Z metodických výsledků jsou významné poznatky o možnostech i limitech automatizace analýzy odtokových dat, která se s nástupem nových technologií pro pořizování dat s vysokou frekvencí snímání, stává nezbytností. Na testovaných událostech byly ověřeny možnosti automatizovaného odvození většiny základních charakteristik odtokové vlny, zároveň se však ukázalo, že postupy pro stanovení některých charakteristik, jmenovitě stanovení hranic sestupné větve hydrogramu, nelze jednoznačně algoritmovat.

Celkově předkládaná práce přináší dobré výsledky, které doplňují a rozšiřují současné poznatky o vlivu zdravotního stavu lesního porostu na odtokové poměry v horském prostředí. Na základě analýzy srážkových událostí byl potvrzen pravděpodobný vliv stavu lesa na odtok. Přesto nelze z dosažených výsledků vyvozovat obecně platné závěry. Pro potvrzení vlivu zdravotního stavu lesa na odtokové charakteristiky v horském prostředí a určení míry tohoto vlivu by bylo vhodné aplikovat metodu shlukové analýzy na delší časové řadě vstupních dat.

8. Seznam tabulek a obrázků

8.1 Seznam tabulek

Tabulka č. 1 - Základní topografické charakteristiky povodí

Tabulka č. 2 – Půdní charakteristiky povodí

Tabulka č. 3 – Geologické charakteristiky povodí

Tabulka č. 4 – Využití půdy v rámci jednotlivých povodí

Tabulka č. 5 – Zdravotní stav lesa v povodí

Tabulka č. 6 – Charakteristiky srážek 17. a 18.7.2010 pro jednotlivá povodí

Tabulka č. 7 - Charakteristiky odtoku 17. a 18.7.2010 pro jednotlivá povodí

Tabulka č. 8 - Charakteristiky srážek 2. a 3.6.2010 pro jednotlivá povodí

Tabulka č. 9 - Charakteristiky odtoku 2. a 3.6.2010 pro jednotlivá povodí

Tabulka č. 10 - Charakteristiky srážek 26.5.2009 pro jednotlivá povodí

Tabulka č. 11 - Charakteristiky odtoku 26.5.2009 pro jednotlivá povodí

Tabulka č. 12 - Charakteristiky srážek 22. a 23.6.2009 pro jednotlivá povodí

Tabulka č. 13 - Tabulka č. 13 – Charakteristiky odtoku 22. a 23.6.2009 pro jednotlivá povodí

Tabulka č. 14 - Charakteristiky srážek 24.7.2009 pro jednotlivá povodí

Tabulka č. 15 – Charakteristiky odtoku 24.7.2009 pro jednotlivá povodí

Tabulka č. 16 - Charakteristiky příčných srážek a odpovídajících odtokových odezev na jednotlivých povodích

Tabulka č. 17 - Geologické, půdní a odtokové charakteristiky na jednotlivých povodích

Tabulka č. 18 – Charakteristiky zdravotního stavu lesa a odtoku pro jednotlivé situace a povodí

8. 2. Seznam obrázků

- Obr. č. 1 – Těžba dřeva, ilustrační fotografie
- Obr. č. 2 – Schéma zobrazující koloběh vody v lesních ekosystémech
- Obr. č. 3 – Příklad překážky v lese, která může v případě srážky zadržet srážkovou vodu
- Obr. č. 4 – Lesní pedon z hydrologického pohledu
- Obr. č. 5 – Les zničený větrem, Slovensko
- Obr. č. 6 – Lýkožrout smrkový
- Obr. č. 7 – Požerek lýkožrouta smrkového
- Obr. č. 8 – Les napadený lýkožroutem smrkovým
-
- Obr. č. 9 – Trojnožka, feromonové zařízení na odchyťávání lýkožrouta
- Obr. č. 10 – Centrální část Šumavy (Mapy.cz, 2011)
- Obr. č. 16 – zdravý les v okolí řeky Vydry na Šumavě
- Obr. č. 17 – poškozený les na centrální Šumavě
- Obr. č. 18 – šumavský les poškozený kůrovcovou kalamitou
- Obr. č. 19 – téměř mrtvý les na Šumavě
- Obr. č. 20 – Povodí Antýgl - fotografie
- Obr. č. 21 – Výškové poměry v povodí profilu Antýgl
- Obr. č. 22 – Sklon svahů v povodí profilu Antýgl
- Obr. č. 23 – Geologické poměry povodí profilu Antýgl
- Obr. č. 24 – Půdní poměry v povodí profilu Antýgl
- Obr. č. 25 – Zdravotní stav lesa v povodí profilu Antýgl
- Obr. č. 26 – Výškové poměry v povodí Roklanského potoka
- Obr. č. 27 – Sklon svahů v povodí Roklanského potoka
- Obr. č. 28 – Geologické a půdní poměry povodí Roklanského potoka
- Obr. č. 29 – Půdní poměry povodí Roklanského potoka
- Obr. č. 30 – Zdravotní stav lesa v povodí Roklanského potoka
- Obr. č. 31 – Javoří potok – fotografie
- Obr. č. 32 - Výškové poměry v povodí Javořího potoka
- Obr. č. 33 – Sklon svahů v povodí Javořího potoka
- Obr. č. 34 – Geologické poměry povodí Javořího potoka
- Obr. č. 35 – Půdní poměry v povodí Javořího potoka
- Obr. č. 36 - – Zdravotní stav lesa v povodí Javořího potoka

- Obr. č. 37 - Výškové poměry v povodí Tmavého potoka
- Obr. č. 38 – Sklon svahů v povodí Tmavého potoka
- Obr. č. 39 - Geologické v povodí Tmavého potoka
- Obr. č. 40 – Půdní poměry v povodí Tmavého potoka
- Obr. č. 41 - Zdravotní stav lesa v povodí Tmavého potoka
- Obr. č. 42 – Černohorský potok – fotografie
- Obr. č. 43 - Výškové poměry v povodí Černohorského potoka
- Obr. č. 44 – Sklon svahů v povodí Černohorského potoka
- Obr.č. 45– Geologické poměry v povodí Černohorského potoka
- Obr. č. 46 – Půdní poměry v povodí Černohorského potoka
- Obr. č. 47 - Zdravotní stav lesa v povodí Černohorského potoka
- Obr.č. 48 – Měrný profil Cikánského potoka
- Obr. č. 49– Výškové poměry v povodí Cikánského potoka
- Obr. č. 50 – Sklon svahů v povodí Cikánského potoka
- Obr. č. 51 – Geologické poměry v povodí Cikánského potoka
- Obr. č. 52 – Půdní poměry v povodí Cikánského potoka
- Obr. č. 53 – Zdravotní stav lesa v povodí Cikánského potoka
- Obr. č. 54 – Březnický potok – fotografie
- Obr. č. 55 – Výškové poměry v povodí Březnického potoka
- Obr. č. 56 – Sklon svahů v povodí Březnického potoka
- Obr. č. 57 – Geologické poměry v povodí Březnického potoka
- Obr. č. 58 – Půdní poměry v povodí Březnického potoka
- Obr. č. 59 – Zdravotní stav lesa v povodí Březnického potoka
- Obr. č. 60 – Snímek zobrazující zdravý les
- Obr. č. 61 – Snímek zobrazující mladý les
- Obr. č. 62 – Snímek zobrazující bezlesí
- Obr. č. 63 – Snímek zobrazující poškozený les
- Obr. č. 64 – Snímek zobrazující mrtvý les
- Obr. č. 65 – Pozitivní a negativní špičatost průtokové vlny
- Obr. č. 66 – Rozdělení míry špičatosti odtokové vlny
- Obr. č. 67 - Rozbor odtokové vlny z radarových dat pro 17.7.2010 na povodí Javořino potoka
- Obr. č. 68 - Rozbor odtokové vlny ze srážek na srážkoměrné stanici Rokytka 17.7.2010 na profilu Černohorského potoka

Obr. č. 69 - Dendrogram shluků povodí na základě všech fyzicko-geografických charakteristik

Obr. č. 70 - Dendrogram shluků povodí na základě všech fyzicko-geografických charakteristik kromě zdravotního stavu lesa

Obr. č. 71 - Dendrogram shluků povodí na základě všech fyzickogeografických charakteristik kromě land use a zdravotního stavu lesa

Obr. č. 72 - Dendrogram shluků povodí na základě zdravotního stavu lesa

Obr. č. 73 – Analýza tlakového pole na hladině 500 hPa a při zemi pro 17.7.2010

Obr. č. 74 – Dendrogram shluků podle srážkových charakteristik události ze dne 17.-18.7.2010

Obr č. 75 – Graf srážkové události a její odtokové odezvy (A) a analýza tohoto grafu (B) pro povodí Černoohorského potoka.

Obr č. 76 – Graf srážkové události a její odtokové odezvy (A) a analýza tohoto grafu (B) pro povodí Roklanského potoka

Obr č. 77 – Graf srážkové události a její odtokové odezvy (A) a analýza tohoto grafu (B) pro povodí Březnického potoka

Obr č. 78 – Graf srážkové události a její odtokové odezvy (A) a analýza tohoto grafu (B) pro povodí Tmavého potoka

Obr. č.79 – Analýza tlakového pole na hladině 500 hPa a při zemi pro 2.6.2010

Obr č. 80 – Graf srážkové události a její odtokové odezvy (A) a analýza tohoto grafu (B) pro povodí Tmavého potoka.

Obr č. 81 – Graf srážkové události a její odtokové odezvy (A) a analýza tohoto grafu (B) pro povodí Javořího potoka.

Obr č. 82 – Graf srážkové události a její odtokové odezvy (A) a analýza tohoto grafu (B) pro povodí Roklanského potoka.

Obr č. 83 – Graf srážkové události a její odtokové odezvy (A) a analýza tohoto grafu (B) pro povodí Březnického potoka

Obr č. 84 – Graf srážkové události a její odtokové odezvy (A) a analýza tohoto grafu (B) pro povodí Černoohorského potoka

Obr č. 85 – Graf srážkové události a její odtokové odezvy (A) a analýza tohoto grafu (B) pro povodí Cikánského potoka. Přerušeni čáry určující vodní stav je způsobeno chybějícími daty.

Obr č. 86 – Graf srážkové události a její odtokové odezvy (A) a analýza tohoto grafu (B) pro povodí Březnického potoka.

Obr. č. 87 – Graf srážkové události a její odtokové odezvy (A) a analýza tohoto grafu (B) pro povodí Roklanského potoka.

Obr. č. 88 – Graf srážkové události a její odtokové odezvy (A) a analýza tohoto grafu (B) pro povodí Březnického potoka.

Obr. č. 89 – Graf srážkové události a její odtokové odezvy (A) a analýza tohoto grafu (B) pro povodí Roklanského potoka.

Obr. č. 90 – Graf srážkové události a její odtokové odezvy (A) a analýza tohoto grafu (B) pro povodí Cikánského potoka.

Obr. č. 91 – Graf srážkové události a její odtokové odezvy (A) a analýza tohoto grafu (B) pro povodí Březnického potoka.

Obr. č. 92 – Graf srážkové události a její odtokové odezvy (A) a analýza tohoto grafu (B) pro povodí Roklanského potoka.

Obr. č. 93 – Graf srážkové události a její odtokové odezvy (A) a analýza tohoto grafu (B) pro povodí Černoohorského potoka.

Obr. č. 94 – Dendrogram shluků seskupující charakteristiky příčinné srážky a odtokové odezvy a tabulka těchto shluků

Obr. č. 95 – Dendrogram shluků seskupující geologické, půdní a odtokové charakteristiky tabulka těchto shluků

Obr. č. 96 – Dendrogram shluků seskupující charakteristiky zdravotního stavu lesa a odtoku a tabulka těchto shluků

9. Zdroje dat

AIURA, Hideharu. Erosive Phenomenon in Heavy Snow Mountainous Regions in Japan. *Forest research*. 2002, 7, s. 57 - 66.

BEČKA, Pavel. Biomonitoring rezervací v CHKO Šumava. In HUBENÝ, Pavel; KJUČUGOVÁ, Dagmar. *Lesník 21. století : Monitoring lesa na Šumavě - historie a současnost*. Kašperské hory: 2010. s. 24 – 27.

BRÁDKA, J. *Počasi na území Čech a Moravy v typických povětrnostních situacích*. Praha : HMÚ, 1961. 32 s.

ČEKAL, Radek; HLADNÝ, Josef. Metody k objektivizaci regionalizace sezónního výskytu povodní na území ČR, In LANGHAMMER, Jakub. *Změny v krajině a povodňové riziko. Sborník semináře Povodně a změny v krajině* . Praha. In: s. 85 - 94. PřF UK, 2007.

ČHMÚ. *Český hydrometeorologický ústav* [online]. 2008 [cit. 2011-08-18]. Orkán nad západní a střední Evropou 18.-19.1.2007. Dostupné z WWW: <http://old.chmi.cz/OS/metspol/zajimavosti/Orkan_18_a_19_ledna_2007.pdf>.

ČÍŽKOVÁ, Pavla. Biomonitoring NP Šumava 2009 - monitoring lesa v území NP Šumava převážně ponechaném samovolnému vývoji. In HUBENÝ, Pavel; KJUČUGOVÁ, Dagmar. *Lesník 21. století : Monitoring lesa na Šumavě - historie a současnost*. Kašperské hory: 2010. s. 15 – 23.

European Severe Weather Database [online]. 2011 [cit. 2011-07-27]. Dostupné z WWW: <www.eswd.eu>.

FISAK J., REZACOVA D., ELIAS V., TESAR M. (2001). Comparison of pollutant concentrations in fog (low cloud) water in the north and south Bohemia. Proc. of the 2nd Int. Conf. on Fog and Fog Collection, St. John's, Newfoundland, Canada, 57.

FISAK, J., REZACOVA, D., ELIAS, V., TESAR, M., WEIGNEROVÁ, V. AND FOTTOVA, D. (2002) Pollutant Concentrations in Fog/Low Cloud Water at Selected Sites of the Czech Republic. *Atmospheric Research*, 64, 75-87. ISSN 0169-8095

HAIŠ, Martin ; LANGHAMMER, Jakub ; JIRSOVÁ, Pavla ; DVOŘÁK, Lubomír . Dynamics of Forest Disturbance in Central Part of the Šumava Mountains between 1985 and 2007 Based on Landsat TM/ETM+ Satellite Data. *Acta Universitatis Carolinae : Geographica* . 2008, 1-2, s. 53-62.

HLAVATÁ, Helena; HOLKO, Ladislav ; KOSTKA, Zdeněk, NOVÁK Ján . Analýza zrážkovo-odtokových vztahov v malých povodiach Vysokých Tatier. In ŠÍR, Miloslav ; TESAR, Miroslav ; LICHNER, Lubomír . *Hydrologie malého povodí 2008*. Praha : Ústav pro hydrodynamiku AV ČR, v.v.i., 2008. s. 354.

HULCR, Jiří . Kůrovci milácci evoluce : Spojenecká armáda lýkožroutů a hub proti stromu. *Vesmír*. 2003, 82, s. 692 - 696.

HŮNOVÁ, Iva; JANOUŠKOVÁ, Svatava. *Úvod do problematiky znečištění venkovního ovzduší*. Praha : Nakladatelství Karolinum, 2004. 144 s.

HYNEK, Vladimír; JUHA, Miloš . Národní park Šumava a kůrovci. *Lesnická práce : Časopis pro lesnickou vědu a praxi*. 2004, 83, 8.

JEHL, Hans . Větrné polomy a kůrovec. Je to katastrofa?. In KUČERA, Aleš . *Horské smrčiny v NP Šumava : Workshop 4.12.2008 Kvilda*. Kvilda : [s.n.], 2008. s. 1 - 25.

JENÍČEK, Michal. Modelování vlivu krajinného pokryvu na srážko-odtokové procesy metodou CN křivek. , In LANGHAMMER, Jakub. *Změny v krajině a povodňové riziko. Sborník semináře Povodně a změny v krajině* . Praha. In: s. 85 - 94. PŕF UK, 2007.

KAŠPAR, Jakub. Vítř a kůrovec pomáhají obnově horských smrčín. *Informační list MŽP*. 2008, 2.

KAŠPAR, Marek; MÜLLER, Miroslav. *Variants of synoptic-scale patterns including heavy rains in the Czech Republic*. Physics and Chemistry of the Earth. 2010, 35, 9-12, s. 477-483.

KEMEL, Miroslav. *Klimatologie, meteorologie, hydrologie*. [s.l.] : ČVUT, 2000. 289 s.

KRAUS, Miloš; ZEMAN, Miroslav . Druhová skladba lesních porostů v České republice. *Lesnické práce : Časopis pro lesnickou vědu a praxi* [online]. 2008, 87, 1, [cit. 2010-11-29]. Dostupný z WWW: <<http://lesprace.silvarium.cz/content/view/2062/169/>>.

KREŠL, Jiří. Vliv lesa na utvářění odtoku při přivalových a dlouhotrvajících deštích. *Lesnické práce*. 1999, 78, 11. Dostupný také z WWW: <<http://lesprace.silvarium.cz/content/view/1717/162/>>.

KYSELOVÁ, Daniela; HRUŠKOVÁ, Kateřina ; ŠIPIKALOVÁ, Helena. Veterná kalamita na Horehroní a jej vplyv na odtokový režim vybraných malých horských povodí. In ŠÍR, Miloslav; TESAŘ, Miroslav; LICHNER, Lubomír . *Hydrologie malého povodí 2008*. Praha : Ústav pro hydrodynamiku AV ČR, v.v.i., 2008. s. 354.

LANGHAMMER, Jakub; HARTVICH, Filip; MATTAS, Daniel, RÖDLOVÁ Sylva, ZBOŘIL, Aleš . The variability of surface water quality indicators in relation to watercourse typology, Czech Republic . *Environ Monit Assess*. 2011, 0, s. 1-17.

LEONTOVYČ, Roman; KUNCA, Andrej . Výskyt najvýznamnejších hubových ochorení v lesoch Slovenska za obdobie posledných dvoch decenií . *Zpravodaj ochrany lesa*. 2007, 14, s. 4 - 7.

MALÝ, A. *Vliv rozdílného využití krajiny na srážko-odtokový proces v experimentálních povodích Zbytiny* . Praha, 2009. 151 s. Diplomová práce. Karlova Univerzita, Přírodovědecká fakulta.

Matlab 7.7.0.471 - Help : The Language of Technical Computing, The MathWorks, Inc., 2008

- MELOUN, Milan; MILITKÝ, Jiří. *Kompendium statistického zpracování dat : Metody a řešené úlohy včetně CD*. Praha : Academia, 2002. 764 s.
- Mezi stromy. *Lesnicko-dřevařský vzdělávací portál* [online]. 2011 [cit. 2011-08-18]. Dostupné z WWW: <<http://www.mezistromy.cz/>>.
- NĚMEC, Jan, Hrib, Michal (ed), et al. *Lesy v České republice*. Praha : Consult Praha, 2009. 398 s. ISBN 80-903482-5-4.
- NOVOTNÝ, Radek; BURIÁNEK, Václav ; ŠRÁMEK, Vít . *Metodika viditelného poškození vegetace vyvolaného účinky přízemního ozonu*. Recenzovaná metodika, 2009. 49 s.
- NP Šumava. *Národní park Šumava* [online]. 2011 [cit. 2011-08-18]. Správa Národního parku a chráněné krajinné oblasti Šumava. Dostupné z WWW: <<http://www.npsumava.cz/cz/>>.
- OULEHLE, Filip. Dusík v lesních ekosystémech : Zrcadlo proměn. *Vesmír*. 2008, 87, s. 866 - 869.
- SCHEMENAUER ROBERT S. (1986), Acid deposition to forests: The 1985 chemistry of high elevation fog (CHEF) project, *Atmosphere-ocean* 24 (4), 303 – 328.
- SCHNEIDER, Jiří, et al. Vliv větrných kalamit na lesní ekosystémy přírodní rezervace Holý Kopec. Článek ve sborníku: *Bioclimatology and Water In The Land*. 2006, s. 69. ISBN 80-89186-12-2
- SIDLE, R.C. *Impact of forest particles on surface erosion*. Oregon : Oregon State Univerzity, 1980. 15 s.
- SIMAS, M.J.; HAWKINS, R.H. Lag Time Characteristics for Small Watersheds in the U. S.. In *Water Resources Engineering '98*. Memphis, Tennessee, U.S.A. : B, 1998. s. 1290-1296. Dostupné z WWW: <http://www.wsi.nrcs.usda.gov/products/W2Q/H%26H/docs/H%26H_papers/lag.pdf>.
- SOUKUP, František . K současné aktivizaci některých dřevokazných hub v lesních porostech Česka. *Zpravodaj ochrany lesa*. 2007, 14, s. 21 - 23.
- SOUKUP, František ; PEŠKOVÁ, Vítězslava. Houby v ochraně lesa. *Zpravodaj ochrany lesa*. 2005, 11, s. 28 - 30.
- ŠVIHLA, Vladimír. Vliv lesa na odtokové poměry na malé povodí. *Lesnické práce*. 2001, 80, 2, Dostupný také z WWW: <Vliv lesa na odtokové poměry na malé povodí. Lesnické práce. 2001, 80, 2, s. 1-1. Dostupný také z WWW: .>
- TIJIU, Cai; XIAOJING, Tan. Impact of forest harvesting on river runoff in the Xiaoxing'an Mountains of China. *Chinese Journal of Applied Ecology*. 2005, 16, s. 2259–2262.

TURČÁNI, Marek; VOJTĚCH, Oldřich; JAKUŠ, Rastislav. *Lesní ekosystémy v Národním parku Šumava*. Kostelec nad Černými lesy : Lesnická práce, s. r. o., 2009. Vliv kůrovce na lesní ekosystémy, s. 368 - 406.

VACEK, Stanislav; KREJČÍ, František. *Lesní ekosystémy v Národním parku Šumava*. Kostelec nad Černými lesy : Lesnická práce, s. r. o. , 2009. Charakteristika přírodní lesní oblasti 13 - Šumava, s. 17 - 41.

VACEK, S.; PODRÁZSKÝ, V.V. Forest ecosystems in Šumava Mts. and their management. *Journal of forest science*. 2003, 49, s. 291 - 301.

VARHOLA, Andrés, et al. Forest canopy effects on snow accumulation and ablation: An integrative review of empirical results. *Journal of Hydrology*. 2010, 392, s. 219 - 233.

VRŠKA, Tomáš ; HORT, Libor . Historie výzkumu šumavských pralesů na příkladu Boubínského pralesa. In HUBENÝ, Pavel ; KJUČUGOVÁ, Dagmar . *Monitoring lesa na Šumavě - historie a současnost*. Kašperské hory : [s.n.], 2010. s. 5 - 9.

Wetterzentrale [online]. 2011 [cit. 2011-07-27]. Archiv der NCEP Reanalysis . Dostupné z WWW: <www.wetterzentrale.de>.

ZELENÝ, Jiří ; DOLEŽAL, Petr . Kůrovcovití brouci (Scolitidae, Coleoptera) na smrku na Šumavě. In *Aktuality šumavského výzkumu II*. Srní : [s.n.], 2004. s. 221 - 223.