

Česká zemědělská univerzita v Praze
Fakulta životního prostředí



Diplomová práce

**Posouzení vlivu změn vegetačního pokryvu na odtok
z povodí Vydry**

Diplomant: Bc. Tomáš Salinger

Vedoucí práce: Ing. Jiří Pavlásek, Ph.D.

© 2021 ČZU v Praze

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Bc. Tomáš Salinger

Krajinné inženýrství
Regionální environmentální správa

Název práce

Posouzení vlivu změn vegetačního pokryvu na odtok z povodí Vydry

Název anglicky

Assessment of the influence of changes in the vegetation cover on the runoff from the Vydra basin

Cíle práce

Hlavním cílem práce je posouzení vlivu změn vegetačního pokryvu na režim odtoku na horním povodí Vydry.

Dílní cíle práce:

- 1) získání informací o změnách lesních porostů na povodí Vydry,
- 2) zpracování dat průtoků z vodoměrného profilu Modrava,
- 3) agregace dat do měsíčních, sezónních, ročních a dekadních úseků,
- 4) analýza trendů a změn v časových řadách,
- 5) porovnání změn ve vegetačním krytu se změnami průtoků.

Metodika

Na základě dat průměrných denních průtoků ze stanice Modrava a meteorologických dat bude analyzován srážko-odtokový vztah na horním povodí Vydry.

Doporučený rozsah práce

40 – 50 stran

Klíčová slova

odlesnění, průtok, Modrava

Doporučené zdroje informací

- SAHIN, V., HALL, M.J., 1996. The effects of afforestation and deforestation on water yields. *Journal of Hydrology* 178 (1/4), 293–309.
- STEDNICK, J.D., 1996. Monitoring the effects of timber harvest on annual water yield. *Journal of Hydrology* 176 (1/4), 79–95.
- TESAŘ M., ŠÍR M., SYROVÁTKA O., PRAŽÁK J., LICHNER L. & KUBÍK F., 2001. Soil water regime in head water regions – observation, assessment and modelling. *Journal of Hydrology and Hydromechanics*, 49, č.6

Předběžný termín obhajoby

2020/21 LS – FŽP

Vedoucí práce

Ing. Jiří Pavlásek, Ph.D.

Garantující pracoviště

Katedra vodního hospodářství a environmentálního modelování

Elektronicky schváleno dne 26. 3. 2021

prof. Ing. Martin Hanel, Ph.D.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 26. 3. 2021

prof. RNDr. Vladimír Bejček, CSc.

Děkan

V Praze dne 27. 03. 2021

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou diplomovou práci na téma "Posouzení vlivu změn vegetačního pokryvu na odtok z povodí Vydry" jsem vypracoval samostatně a citoval jsem všechny informační zdroje, které jsem v práci použil a které jsem rovněž uvedl na konci práce v seznamu použitých informačních zdrojů.

Jsem si vědom, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů, ve znění pozdějších předpisů, především ustanovení § 35 odst. 3 tohoto zákona, tj. o užití tohoto díla.

Jsem si vědom, že odevzdáním diplomové práce souhlasím s jejím zveřejněním podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů, ve znění pozdějších předpisů, a to i bez ohledu na výsledek její obhajoby.

Svým podpisem rovněž prohlašuji, že elektronická verze práce je totožná s verzí tištěnou a že s údaji uvedenými v práci bylo nakládáno v souvislosti s GDPR.

V Praze dne 30. 3. 2021

Poděkování

Rád bych touto cestou poděkoval Ing. Jiřímu Pavláskovi, Ph.D. za odborné vedení a podporu při tvorbě diplomové práce a za mnoho podnětných informací týkajících se zvolené problematiky.

Posouzení vlivu změn vegetačního pokryvu na odtok z povodí Vydry

Abstrakt

Srážko-odtokový proces významným způsobem ovlivňuje šíření vody v krajině. Významnou součástí tohoto procesu je vegetační pokryv, který ovlivňuje svými vlastnostmi chování a dobu setrvání vody nejen ve zkoumané oblasti, ale i hydrologického cyklu jako takového. V této práci byla zachycena historie a vývoj vegetačního pokryvu na pozorovaném povodí řeky Vydry, v oblasti Modravy. Ten doznal díky antropogennímu vlivu dramatických změn v posledních staletích, ale i posledních dekádách. V práci tak byla hledána souvislost s velkými změnami ve struktuře porostu povodí a následné změny ve velikosti odtoku z povodí. Pozorovanými disturbancemi byly vichřice s následnými kůrovcovými gradacemi, případně dlouhodobé působení kůrovce na stojící porosty s následným uschnutím. V této práci dále zaznívá výsledek vyhodnocení datových řad srážek, odtoků a jejich vztažení na projevy srážko - odtokového procesu v závislosti na stavu vegetačního pokryvu či čase. Výstupem je zjištění, horní povodí řeky Vydry je schopné zadržet srážkovou vodu i při velké změně vegetačního pokryvu. Stejně tak je v práci popsán výsledek analýzy dat, které ukazují na posun maximálních měsíčních odtoků směrem do zimy jako následek rychlejšího odtávání sněhu díky méně hustému vegetačnímu pokryvu povodí. To jasně hovoří o zranitelnosti sněhového režimu a povodí jako takového.

Klíčová slova: Změny odtoku, vegetační pokryv, kůrovcová kalamita, povodí, hydrologický cyklus, odlesnění, odtok, povodí, průtok, srážky, Modrava

Assessment of the influence of changes in the vegetation cover on the runoff from the Vydra basin

Summary

The precipitation-runoff process significantly affects the water regime in the landscape. An important part of this process is the vegetation cover, which by its properties influences the behavior and the time of water residence not only in the studied area, but also the hydrological cycle in general. This thesis describes the history and development of the vegetation cover in the observed watershed area of the Vydra river, in the Modrava area. Due to the anthropogenic influence, it has undergone dramatic changes not only in recent centuries but also in recent decades. The thesis focuses on finding the impact of major changes in the structure of the river basin on subsequent changes in the amount of runoff from the watershed. The disturbances observed were storms followed by the subsequent bark beetle gradations, or a long-term influence of the bark beetle damages to trees with their subsequent drying. In this thesis, the result of the evaluation of data series of precipitation, runoff and their relation to the manifestations of the precipitation-runoff process depending on the state of vegetation cover or time is given. The thesis results in a finding that the upper catchment area of the Vydra river is able to retain the rainwater even in case of a large change in vegetation cover. In addition, the thesis describes the result of the data analysis that shows a shift in the maximum monthly runoff towards the winter time as a result of faster snow melting due to a less dense vegetation cover of the watershed. This shows the vulnerability of the snow regime and the watershed itself.

Keywords: Runoff changes, vegetation cover, bark beetle calamity, forest treatment, watershed, hydrological cycle, deforestation, runoff, deforestation, equilibrium, rainfall, Modrava

Obsah

| | |
|---|----|
| 1. Úvod | 9 |
| 1.1. Cíle práce | 10 |
| 1.2. Struktura práce | 10 |
| 2. Přehled o současném stavu řešené problematiky | 11 |
| 2.1. Srážkoodtokový proces | 11 |
| 2.1.1. Složky srážko-odtokového procesu | 12 |
| 2.1.1.1. Srážky | 12 |
| 2.1.1.2. Výpar | 13 |
| 2.1.1.3. Retence | 14 |
| 2.1.1.4. Infiltrace | 14 |
| 2.1.1.5. Celkový odtok a jeho složky | 14 |
| 2.1.1.6. Hydrologická bilance | 15 |
| 2.1.2. Modelování | 16 |
| 2.2. Vliv lesa na odtokové poměry povodí | 18 |
| 2.2.1. Hydrologická funkce lesa | 18 |
| 2.3. Přehled změn vegetace a osídlení na Šumavě | 18 |
| 2.3.1. Původní skladba vegetačního pokryvu | 18 |
| 2.3.2. První známky osídlení až do 18. století. | 20 |
| 2.3.3. Lesní hospodaření v 18. st | 21 |
| 2.3.4. Lesní hospodářství v 19. st. | 21 |
| 2.3.5. Lesní hospodářství v první polovině 20. století | 26 |
| 2.3.6. Lesní hospodaření od 50. do 80. let | 27 |
| 2.3.7. Lesní hospodaření 90. léta až současnost | 28 |
| 2.4. Vodní hospodářství v zájmové oblasti | 29 |
| 2.5. Disturbanční změny vegetačního pokryvu | 30 |
| 2.5.1. Větrné a kůrovcové kalamity | 30 |
| 2.6. Vliv změny vegetačního pokryvu na hydrologický režim | 32 |
| 2.7. Experimentální povodí na Šumavě | 36 |
| 2.8. Studie ze Šumavy | 36 |
| 3. Fyzikogeografická charakteristika zájmového území | 40 |
| 3.1. Klimatická charakteristika | 40 |
| 3.1.1. Teplotní charakteristika | 40 |
| 3.1.2. Srážková charakteristika | 43 |
| 3.1.3. Sněhové poměry | 46 |
| 3.2. Geomorfologické charakteristiky povodí | 47 |

| | | |
|--------|--|----|
| 3.2.1. | Geografické vymezení území | 47 |
| 3.2.2. | Geomorfologické členění a výškové poměry | 49 |
| 3.2.3. | Výškové a sklonitostní poměry | 50 |
| 3.3. | Geologické poměry | 51 |
| 3.4. | Půdní poměry | 53 |
| 3.4.1. | Pedologie území | 53 |
| 3.4.2. | Rašeliniště | 54 |
| 3.4.3. | Land use, land cover | 56 |
| 3.4.4. | Vegetační pokryv | 56 |
| 4. | Metodika | 58 |
| 5. | Výsledky | 59 |
| 6. | Diskuze | 62 |
| 7. | Závěr | 67 |
| 8. | Zdroje | 68 |
| 9. | Seznam použitých obrázků a tabulek | 78 |

1. Úvod

Šumavské pohoří je výjimečné místo naší země, které od nepaměti přitahuje lidi svou krásou a čistotou. Hluboké lesy na hranicích jsou drsným horským krajem, místem ležící mimo hlavní centra osídlení, a přesto jsou zdrojem velkého bohatství a místem k životu.

Lesy na Šumavě jsou dnes širokou veřejností vnímány téměř jako panenská příroda, ale i přes jejich nesporný půvab, mají s původními lesy této oblasti již jen málo společného. Příčinou je v první řadě člověk, který na zdejší prostředí působí již od samého začátku své historie. Dramatickou proměnou však prošla krajina Šumavy především v posledních dvou stech letech a také v posledních dekádách. Tyto procesy s sebou ale přinesly, a přináší spoustu změn, které jsou velmi úzce vzájemně provázané. Pokud totiž člověk svou činností promění výrazně například vegetační pokryv krajiny, jako první začne reagovat na tyto akce voda – a ta jako nositelka života rychle ovlivní další život v oblasti, ať již rostliny, stromy či živé tvory. Voda je na naší planetě všudypřítomná díky hydrologickému cyklu a tato práce se zaměří na významnou část z něj – na srážko-odtokový proces. Konkrétně bude posuzován v situacích, kdy došlo ke změnám vegetačního pokryvu v horním povodí řeky Vydry, ať již byly způsobeny působením člověka, abiotických, či biotických činitelů.

Srážko-odtokový proces je velmi komplexní proces a možností nahlížení na něj je jistě mnoho, nicméně hlavní zaměření této práce je shrnutí dostupných faktů, výsledků měření či pozorování změn ve srážko-odtokovém procesu právě v závislosti na změnách ve vegetaci. Pozornost si tak zaslouží nejen tyto změny vegetačního poryvu na režim odtoku řeky Vydry v oblasti Modravy a schopnost tohoto povodí zadržet vodu i při rozsáhlejších odlesnění, ale i případná změna v odtokových poměrech horského povodí po změnách vegetačního pokryvu způsobeného především kůrovcovou kalamitou.

Tato diplomová práce by tak mohla v budoucnu posloužit jako užitečný nástroj a jednoduché vodítko pro ty, kteří se chtějí tématu věnovat a poskytnout jim čtivý a přehledný úvod do problematiky.

1.1. Cíle práce

Hlavním cílem práce je posouzení vlivu změn vegetačního pokryvu na režim odtoku na horním povodí Vydry.

Dílčí cíle práce jsou:

1. získání informací o změnách lesních porostů na povodí Vydry,
2. zpracování dat průtoků z vodoměrného profilu Modrava,
3. agregace dat do měsíčních, ročních a dekádních úseků, analýza trendů a změn v časových řadách,
4. porovnání změn ve vegetačním krytu se změnami průtoků.

Práce by dále měla odpovědět na následující otázky:

1. Je možné najít výraznou změnu v odtokových poměrech horského povodí po změnách vegetačního pokryvu způsobeného především kůrovcovou kalamitou?
2. Je horní povodí Vydry schopné zadržet vodu i při rozsáhlejších odlesnění?

1.2. Struktura práce

První část tvoří obecné shrnutí problematiky a rešerše české a zahraniční odborné literatury, která se zabývá problematikou změn krajinného pokryvu a jeho vlivem na srážko-odtokový proces v povodí. V podkapitolách je dále uvedena fyzicko-geografická charakteristika území.

V druhé – praktické části – je popsána metodika, provedena agregace dat, jsou zhotoveny grafické výstupy, a provedena analýza změn v odtokovém režimu ve vztahu ke změně vegetačního pokryvu. Závěr praktické části je věnován diskuzi nad získanými výsledky, možnosti dalšího výzkumu a vyvození závěrů

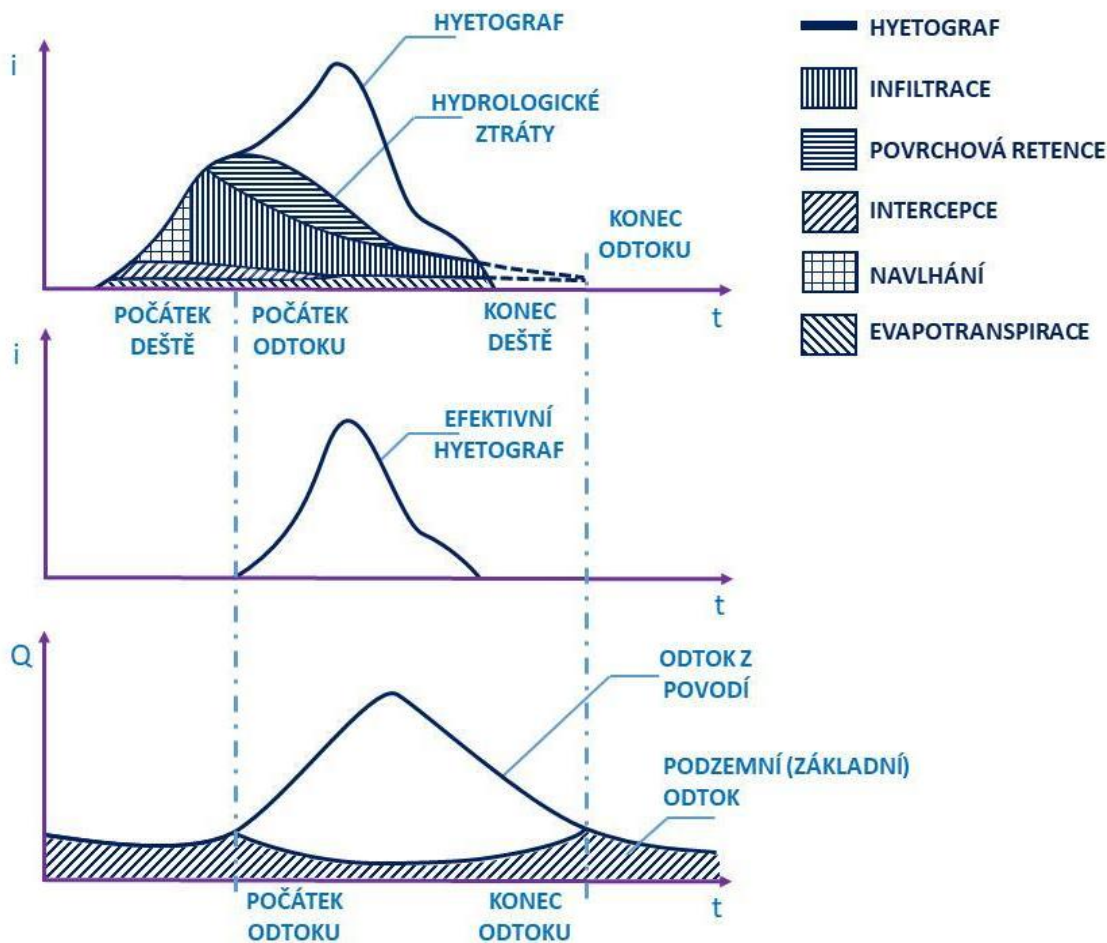
2. Přehled o současném stavu řešené problematiky

2.1. Srážkoodtokový proces

Srážko-odtokový proces významným způsobem ovlivňuje šíření vody v krajině. Vznik tohoto procesu je velmi složitý mechanismus, který je ovlivněn mnoha faktory (Rožnovský 2013). V širší souvislosti je tento proces součástí hydrologického cyklu, což je neustálý koloběh vody na Zemi, zapříčiněný sluneční energií. V tomto cyklu dochází k výparu vody ze světových oceánů do atmosféry, odkud jsou vodní páry unášeny prouděním vzduchu – advekcí – nad pevninu. Zde dochází ke srážkám a následnému odtoku zpět do moří a oceánů nebo k zadržení srážek na pevnině, následnému výparu opět do atmosféry a další distribuci vodní páry dále nad pevninu a oceány (Autor, 2017). Protože je tato práce zaměřena na relativně malé území, ve které je pouze část tohoto cyklu, dále se tak zaměříme jen na srážko-odtokový proces a jeho složky, který se odehrává v povodí řeky Vydry. Povodím se rozumí základní pracovní jednotka v hydrologii. Je to území, ze kterého všechna voda stéká k určitému místu na toku (uzávěrový profil). Jedná se tedy o sběrnou oblast toku (Jandora, 2002).

Srážko-odtokovým procesem se tedy vyjadřuje postupná transformace srážek dopadajících na povodí, k dosažení místa odtoku vody přes uzavěrový profil. Tento děj je ovlivňován celou řadou činitelů - ať už se jedná o klimatické činitele jako srážky, vlhkost, výpar, teplota a vlhkost ovzduší, nebo atmosférický tlak. Druhou takovou skupinou jsou plocha, velikost a nadmořská výška povodí, dále jeho morfologické, sklonitostní, pedologické a hydrogeologické poměry, dále vegetační pokryv a říční síť (Jandora a kol., 2002).

Jandora a kol., (2002) dále dělí srážko-odtokový proces na hydrologickou a hydraulickou transformaci (viz obr. 1). V první fázi, tj. během hydrologické transformace se odečítá ztráta výparem - evapotranspirací, navlhání, intercepce, infiltrace, povrchová retence. Určitá část srážek spadlá v povodí také odtéká ve formě plošného povrchového odtoku. Poté následuje tzv. hydraulická transformace, kdy se plošný povrchový odtok postupně koncentruje v erozních a ronových dírách a následně říční sítí až na odtok závěrovým profilem.



Obr. 1: Schéma srážko-odtokového procesu, (Jandora a kol., 2002, upraveno)

2.1.1. Složky srážko-odtokového procesu

2.1.1.1. Srážky

Srážky i z pohledu této práce jsou nejdůležitější a hlavní vstup do srážko-odtokového procesu. Vznikají desublimací nebo kondenzací vodní páry v ovzduší, odkud dopadají na zemský povrch - kde se teprve stávají srážkami. Tuto skupinu označují Hrádek a Kuřík (2004) jako srážky atmosférické. Druhou skupinou jsou pak srážky horizontální (usazené). Ty vznikají kondenzací nebo depozicí vodních par na předmětech a rostlinách. Další rozdělení srážek je na kapalné – tj. déšť se sněhem a kroupami, či a pevné - tj. sníh, sněhové krupky, kroupy či zmrzlý sníh.

Srážky se vyskytují na Zemi značně nerovnoměrně a jsou velmi dynamickým procesem s měnící se intenzitou a formou. Tento výskyt i forma se liší jak v rámci místa, nadmořské výšky, tak ročního období. Další vliv na intenzitu, časové a plošné rozdělení srážek a odtoku mají fyzicko-geografické vlastnosti povodí a koryt toků. Tyto vlastnosti mají jak přírodní původ tak mohou být vytvářeny činností člověka (Kemel, 1996).

V případě, že se měří srážky v jednom bodě, časová struktura je nejvýraznějším parametrem popisu srážek. Takový výstup z pozemních srážkoměrných stanic se pak

může znázorňovat jako akumulovaný úhrn nebo jako množství (vydatnost) srážek v časovém horizontu (Brázdil a Štekl, 1986). Nejvšeobecnější obraz o vlhkosti daného území podává průměrný dlouhodobý roční úhrn srážek (Dub a Němec, 1969). Ti dále uvádí, že v rámci měsíčních úhrnů hodnoty kolísají ve výrazně širších mezích, než jak je tomu u ročního úhrnu. Naproti tomu rozdělení srážek na jednotlivé dny je již náhodné a výšky srážek se řídí klimatickými poměry oblasti.

Co se týká prostorové distribuce srážek, dá se říci, že trvalé srážky jsou nejčastěji spojovány s velkoprostorovými pohyby, zatímco přehánky a mrholení se váže na pohyb v malém prostoru. Stejně tak rozložení trvalých srážek je více homogenní než prostorová distribuce přeháněk a mrholení. To znamená, že s rostoucí velikostí srážek dochází ke zmenšování jejich plošného rozsahu. Jsou popsány ale i případy, kdy i extrémní srážky mohou zabírat relativně velkou plochu (Brázdil a Štekl, 1986). Na plošné rozložení srážek má výrazný vliv nadmořská výška (Krešl, 2001).

2.1.1.2. Výpar

Výpar (evaporaci) popisují Hrádek a Kuřík (2004) jako fyzikální proces, ve které voda mění skupenství z kapalného nebo pevného na plynné. Výparem se rozumí objem vody vypařené za určitý interval z určité plochy, výsledek výpočtu se vyjadřuje v milimetrech.

Rozlišujeme výpar z holé půdy, výpar z půdy porostlé vegetací, ze zarostlé vodní hladiny, výpar ze sněhu a ledu a především největší zdroj atmosférické vláhly na světě - výpar z oceánů (Pavelková a Frajer, 2013). Další důležitou částí výparu je evapotranspirace - výpar z půdy porostlé vegetací. Ten vzniká jako součást procesu fotosyntézy a dýchání rostlin. Intenzita evapotranspirace závisí na druhu vegetačního pokryvu, stáří rostlin, vlhkosti půdy či klimatických poměrech dané oblasti. Součástí evaporace je také intercepce - výpar povrchově zadržené vody.

V rámci výparu uvažujeme také intercepce - proces, kdy jsou srážky zadrženy na povrchu živých částí rostlin, ale i zachytávání vody na větvích, či spadaném listí a lesní hrabance, které kryjí povrch půdy. Voda takto zachycená tedy nezteče na povrch půdy, ale odpaří se zpět do atmosféry. Ve vztahu vodní bilance lesních porostů se jedná o velmi důležitou složku (Krečmer 1968). Jak uvádí Penka (1985), jedná se o významný výpar především v podmínkách lesních ekosystémů. Významná část se vyskytuje v kapalném skupenství v podobě srážek nebo v pevném skupenství v podobě sněhu a jinovatky.

Velikost intercepce je závislá na délce, intenzitě a druhu srážek, ročním období, zeměpisné šířce a nadmořské výšce. V zimě například listnaté stromy zachycují mnohem méně srážek (typicky sněhových) než v jiných ročních obdobích (Unucka, 2008). Intercepce je důležitá zejména v počátku deště (Dub a Němec, 1969).

Důležitý pro míru intercepce je také typ vegetace. Například díky větší ploše jehlic proti listům listnatých stromů tak mají větší intercepční schopnost jehličnany. V porovnání třeba právě s listnatými lesy, mají některé jehličnaté lesy schopnost

zadržet v korunovém systému více než polovinu z celkového množství srážek (Pavelková a Frajer, 2013). Pro ilustraci viz níže tabulka 1. - Intercepce různých srážek dle Ulricha (1980).

| Úhrn srážek mm. rok ⁻¹ | Intercepce v % | | | |
|--------------------------------------|----------------|-----|------|-------|
| | borovice | buk | smrk | jedle |
| 500 | 35 | 40 | 60 | 80 |
| 700 | 25 | 39 | 43 | 57 |
| 1000 | 17 | 20 | 30 | 40 |
| 1500 | 12 | 13 | 20 | 27 |

Tab. 1. Intercepce různých srážek (Ulrich, 1980, upraveno)

2.1.1.3. Retence

Retence znamená přirozené nebo umělé zadržení vody na povrchu terénu, v korytě toku, v půdě, vodní nádrži apod. Retenci můžeme dále posuzovat jako krátkodobou, která odpovídá objemu povrchového a rychlého hypodermického odtoku a retenci dlouhodobou, která odpovídá objemu pomalého hypodermického odtoku, podzemního odtoku a územního výparu (Pavlík, 2014). Retenční schopnost krajiny je opět závislá na typu vegetačního pokryvu, vlastnostech a typech půdy, míře vlhkosti půdy a jejího nasycení, teplotě půdy a široké škále dalších parametrů.

2.1.1.4. Infiltrace

Infiltrace – neboli vsak je proces převádění povrchové vody do půdního prostředí skrz povrch půdy. Ovlivňuje významně podíl srážek v podpovrchovém, povrchovém a odtoku podzemních vod. Míra a rychlost infiltrace je ovlivněna jak vegetačním krytem, tak vlastnostmi půdy, právě mírou a trváním srážek, množstvím vody v půdním profilu, stejně tak chemickým složením půdy. Za určitých podmínek při vsaku voda proniká až do podzemních vod a doplní tak zásoby podzemních vod.

2.1.1.5. Celkový odtok a jeho složky

V hydrologii se odtokem uvažuje celkový objem vody, který z daného povodí odečte za jednotku času. Odtok se skládá z několika složek, jejichž součet se následně označuje jako celkový odtok.

Povrchový odtok stéká po povrchu. V rámci sítě vodních toků je to tzv. soustředěný odtok, nebo se vyskytuje jako nesoustředěný – plošný splach a ron. V případě, že dojde k nasycení půdy a k překročení její infiltrační kapacity, dochází ke stékání vody přímo po povrchu v terénu - v takovém případě hovoříme o Hortonovském odtoku.

V našich podmínkách se s ním setkáváme při intenzivních lijácích, silném zhutnění půdy typicky člověkem, v urbanizovaných oblastech nebo v suchém klimatu (Blažková a Kolářová, 1994).

Podpovrchový odtok (Hypodermický odtok) je relativně rychlá složka odtoku, která je tvořena vodou, která se infiltruje do podloží. Během odtoku z povodí nedosáhne hladiny podzemní vody. V některých oblastech s výrazným nasycením a velkou svažitostí terénu může být podpovrchový odtok dominantní složkou povodňových průtoků.

Podzemní odtok, označovaný také jako základní odtok, udává množství infiltrované vody z dlouhodobých zásob podzemní vody, která odtéká z povodí podzemím. Tato složka odtoku, který se uvolňuje z tzv. zón nasycení, tvoří hlavní složku zásobování vodních toků v období sucha.

Přímý odtok odkazuje na rychlé složky odtoku. Je součtem povrchového a podpovrchového odtoku, který probíhá při nebo krátce po srážkách. Spolu se základním odtokem tvoří celkový odtok vody z krajiny a má velký vliv na přechodném zvýšení vodnosti řek.

2.1.1.6. Hydrologická bilance

Srážko-odtokový proces je úzce spjatý s hydrologickou bilancí daného povodí. Hydrologická bilance zahrnuje při vyjádření rovnicí (1) porovnání atmosférických srážek, přítoků a odtoků vody a změn zásob povrchových a podpovrchových vod v určitém území, nejčastěji v povodí některého vodního toku za daný časový interval (Pavlík, 2012).

$$H_o = H_s - ET \pm H_r \quad (1)$$

kde: H_o – výška odtoku (mm),

H_s – výška srážek (mm),

ET – evapotranspirace (mm),

H_r – retenční člen (množství vody, které zvýšilo nebo snížilo zásoby povrchové a podzemní vody (mm)).

Hydrologická bilance tak řeší vztah, vyjádřený kvantitativním rozdělením srážkové vody na jednotlivé složky hydrologické bilance. Tento vztah pak Kříž (1983) vyjadřuje rovnicí (2):

$$H_s + O_{z+} + O_p + H_r = O'_p + H_e + O'_z + H'_r \quad (2)$$

kde: H_s – voda ze srážek na ploše řešeného území (mm),

H_e – voda vypařená z plochy řešeného území (mm),
 H_r – zásoby povrchové a podpovrchové vody v území na začátku řešeného období (mm),
 H'_r – zásoby povrchové a podpovrchové vody v území na konci řešeného období (mm),
 O_p – přítok povrchové vody na území (mm),
 O'_p – povrchový odtok z území (mm),
 O_z – přítok podzemní vody do území (mm),
 O'_z – podzemní (základní) odtok vody z území (mm).

Další možnou klasifikací vyjádření odtoku, je specifický odtok, který vyjadřuje, jaké množství vody odtéká za jednotku času z jednotky plochy povodí, udává se v $l \cdot s^{-1} km^2$ (litr za sekundu na kilometr čtvereční), (Shaw, 2011).

2.1.2. Modelování

Hydrologický model povodí je mnohovýznamovým pojmem a začal se používat v souvislosti se simulacemi srážko-odtokového procesu (Buchtele, 2002). Jak uvádí Clarke (1973), matematické modely jsou základním prostředkem pro simulaci srážko-odtokových procesů na povodí. Představují zjednodušený kvantitativní vztah mezi vstupními a výstupními veličinami určitého hydrologického systému (Daňhelka a kol., 2003).

Díky své složitosti a komplexnosti vztahů ale matematické modelování srážko-odtokového procesu obecně čelí paradoxu, kdy při přílišné podrobnosti dochází velmi složitým modelům. Modelování srážko-odtokového procesu je totiž složitým problémem, jelikož ne vždy lze jít při řešení tohoto problému do detailů. Přílišná podrobnost při řešení vede k velmi složitým modelům, které mají problém především se vstupními daty, kdy nelze poskytnout veškeré potřebné informace, a proto je potřeba tato data mnohdy odhadovat, čímž se snižuje kvalita výstupu. Na druhou stranu zjednodušené modely poskytují velmi hrubé odhady. Proto je potřeba vždy hledat přijatelnou formu zjednodušení (Jandora a kol., 2002). Dalším úskalím modelování je pak nedostatečné, nebo nesprávné pozorování, které může způsobit chybné nebo zavádějící výstupy se všemi důsledky (Cheng a kol., 2007). Modelování sice není podstatou této práce, ale pro svůj význam a roli v hydrologii si zmínku zaslouží.

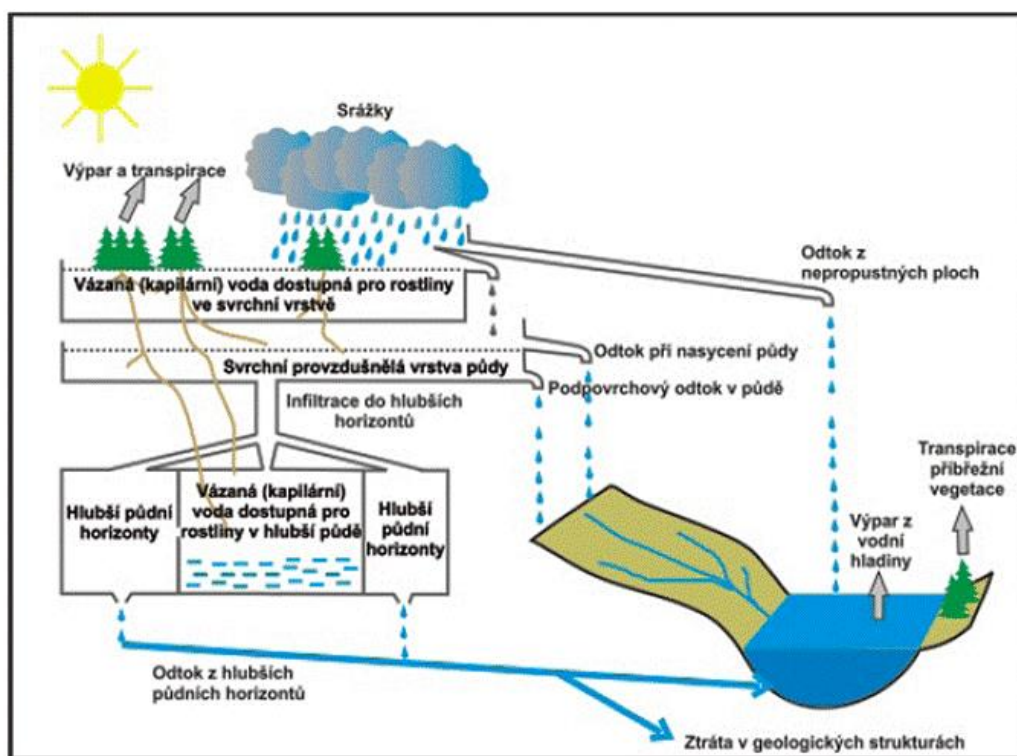
Jedna z významných možností využití srážko-odtokového modelování je také například při využití v ochraně před povodněmi. Využívá se tak buď možností předpovědi s časovým předstihem od několika hodin po několik dnů, anebo v oblasti návrhů a vyhodnocení protipovodňových opatření (Havlík a kol., 2001).

Proces hydrologického modelování má podle Daňhelky (2007) tři části:

1. příprava a zpracování vstupních dat potřebných pro samotné modelování
2. hydrologická předpověď požadovaných ukazatelů
3. zpracování a interpretace dosažených výsledků

Příkladem takového koncepčně srážko-odtokového modelu může být SACRAMENTO (viz obr. 2). Architektura je to sice poměrně složitá a byla vyvinuta

v USA již v 70. letech, ale je dobře známá a je zahrnuta v knihovně modelovacích technik NWSRFS (National Weather Service River Forecast System). Simuluje jak krátkodobé srážkové epizody, tak kontinuální hydrologickou bilanci (Jeniček, 2011).



Obr. 2: Srážkoodtoková proces v modelu SACRAMENTO – vizualizace (Jeniček, 2011)

V modelu SACRAMENTO je půdní profil je rozdělen na horní a spodní zónu. Obě tyto zóny jsou základní komponentou modelu a obě obsahují vázanou i volnou vodu. Jak uvádí Daňhelka a kol. (2003) bylo by možné definovat nekonečné množství zón, ale je nezbytné určit pouze takový počet zón, které efektivně popíše fyzikální systém. Tyto zóny vytváří společně propojený systém nádrží, kdy jako první se začne plnit horní nádrž vázané vody. Poté voda přechází do nádrže volné vody ve stejné zóně a zároveň perkoluje do spodní zóny. Po zaplnění horní zóny (obou nádrží) nastává povrchový odtok. Při zaplnění nádrží vázané a volné vody v dolní zóně vzniká základní odtok. Hodnotu celkového odtoku získáme sečtením odtoků všech zón (Přeslička, 2012).

V neposlední řadě nabírá v současné době na významu GIS. Ten je v propojení s modely v současné době nejpokročilejší nástroj pro analýzu dat a modelování spojení hydrologických modelů (Unucka a kol., 2008).

Obecnou i podrobnější charakteristikou hydrologických modelů, jejich klasifikací, možnostmi a využitím se zabývají právě publikace Buchteleho (2002), Daňhelky (2003) a ze zahraničních Bevena (2012).

2.2. Vliv lesa na odtokové poměry povodí

2.2.1. Hydrologická funkce lesa

Jedním z hlavních měřítek vlivu působení lesa je jeho dopad na trvalost a vydatnost vodních zdrojů. Při obecném srovnání souhrnných odtoků z rozsáhlejších lesních celků a bezlesí, je zpravidla popisován nižší odtok ze zalesněných oblastí. Hlavní příčinou se jeví být vyšší schopnost intercepce lesních porostů. Na korunách stromů se zachytí část - v našich podmínkách maximálně 45 % - srážek a tato zadržaná srážková voda se následně odpaří do ovzduší (Švihla, 2001). Také výsledky měření a výzkum Křováka a kol., (2004), kteří se věnovali výzkumu vlivu ekosystémů na hydrický režim krajiny v pramenné oblasti řeky Vydry, popisují vodohospodářskou funkci lesa jako nenahraditelnou. Krešl (1959) při výzkumu Ráječského potoka porovnal oblasti s různou lesnatostí během suchého období a zjistil, že ze 100% zalesněného území klesá odtok výrazně rychleji, než z území téměř nezalesněného.

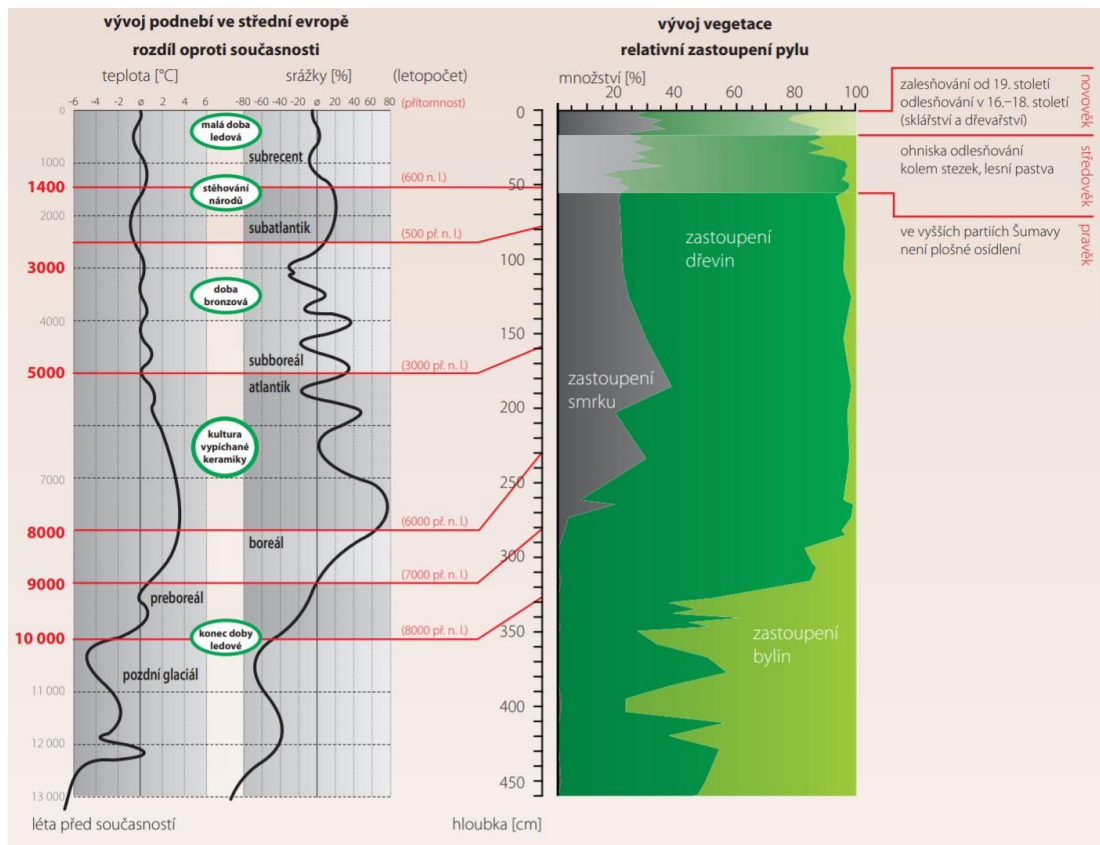
Les déle svou existencí usměrňuje oběh vody kromě jiného tak, že v porovnání s holým povrchem zvyšuje absolutní množství srážek tvorbou horizontálních srážek. Tím zvyšuje celkovou hodnotu výparu intercepce a transpirací přesto, že snižuje výpar z půdy. Snižování velikosti povrchového odtoku umožňuje les díky zvýšení vsaku srážkové vody a následnou vyšší akumulaci vody v půdě. Výslednicí je zmenšení předpokladu pro tvorbu erozních škod a zároveň zpomalení odtoku, čímž les významně přispívá ke snížení kulminačních průtoků (Krešl, 1990).

Obecně se tak dá říci, že význam regulačních schopností lesa na srážko-odtokové poměry je vědci dlouhodobě uznáván a vodohospodářskou funkci lesa dokonce definuje v prováděcí vyhlášce i lesní zákon č. 289/1995 Sb.

2.3. Přehled změn vegetace a osídlení na Šumavě

2.3.1. Původní skladba vegetačního pokryvu

Pro ucelenou představu o formování rázu vegetačního pokryvu šumavské krajiny je vhodné nejprve nahlédnout do průřezu historického vývoje vegetačního pokryvu, ale především na stručnou historii lidského osídlení na Šumavě a následné interakce člověka s okolní přírodou.



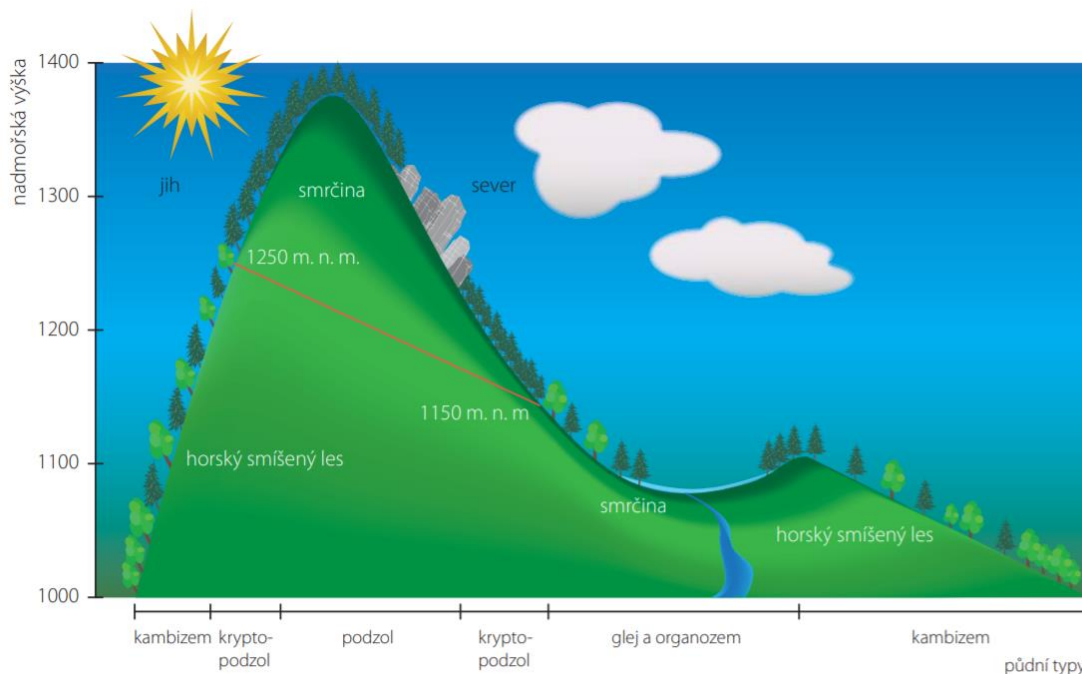
Obr. 3: Vývoj podnebí ve čtvrtohorách a odpovídající změny v zastoupení dřevin a bylin na Šumavě (Šantrůčková a Vrba, 2010)

Na konci posledního glaciálu před cca 10 000 lety byla oblast Šumavy otevřenou a bezlesou krajinou. S následující změnou klimatu a přírodních podmínek docházelo ke stálému rozšiřování zalesňování. Tento proces dosáhl své vrcholné fáze, když hory i s přilehlým podhůřím byly pokryty lesem s pestrou mozaikou dřevin a bylin, jejichž druhové složení a prostorové rozvrstvení bylo determinováno pouze přírodními podmínkami (Ševčíková, 2009).

Po odeznění pozdní doby ledové tak sice docházelo k oteplování, stále ale byly teploty v porovnání se současností o 5°C nižší než dnes. V nejvyšších polohách Šumavy se rozšiřovala tundra, ve středních polohách se vytvářely lesotundrové systémy s nejčastějším výskytem zakrslé břízy, jalovce a dalších keřů a ve středních polohách se vyskytovala borovice lesní a bříza pýřitá. S klesající nadmořskou výškou se proměňovaly porosty do charakteru tajgy a z Alp se sem začal šířit smrk ztepilý.

Následovaly další různé dlouhé epizody změn v klimatu, které s sebou přinášely další průběžné oteplování a s tím související změny vegetačního pokryvu (viz obr. 3). V období tzv. boreálu před 9000-8000 lety došlo k oteplení a následné introdukci smíšených doubrav a na vlhčí stanoviště dále pronikal smrk či líska. V období atlantiku před 8000-5000 lety byly teploty o 3°C vyšší a srážky o 60-70 % vyšší. Díky tomu docházelo k mohutnému rozvoji vegetace, která po rozložení významně podporovala půdotvorné procesy. V této době ustupuje bylinné patro a dochází k zalesňování oblasti, především bukem lesním následovaným jedlí bělokorou. Smrk se stával dominantní dřevinou jen v nejvyšších oblastech, v nižších polohách se

uchytil v místech s vyšším zamokřením, které nevyhovuje listnáčům. Na obrázku 4 je zobrazena současná vegetační stupňovitost, která se formovala již v tehdejší době, třebaže horní hranice lesa byla díky tehdejšímu teplejšímu klimatu poněkud ve vyšších polohách.



Obr. 4: Vegetační stupně na Šumavě (Šantrůčková a Vrba, 2010)

V období tzv. suboreálu, jehož období se datuje před 5000-2500 lety, nastává mírné ochlazení, postupně ubývá srážek a roční průměrné teploty klesají přibližně o 1-2°C. Přestože se stále ochlazovalo, celkově mělo počasí rozkolísanější charakter a přes snižování vlhkosti na našem území, některá podhorská a horská stanoviště byla poměrně hodně vlhká. Definitivní ochlazení, které nastalo před více než 2500 lety a které trvalo až do cca 19. století se uvádí jako tzv. subatlantik.

Profil ploché náhorní plošiny s četnými terénními depresemi dal vzniknout rozsáhlým výjimečnému přirozenému bezlesí - vrchovištím a rašeliništím s velmi drsným mikroklimatem - více v tématu **3.4.2. Rašeliniště**. Typický vegetační pokryv se tak sestával ze zakrslých bříz, borovice kleč, šichy černé stejně jako zástupci například hmyzu. Díky celkově ochlazenému klimatu se tak výskyt smrku, buku a jedle začalo posouvat o 200 - 300 výškových metrů níže a nahradily tak ve v těchto výškách dříve se vyskytující doubravy (Šantrůčková a Vrba, 2010).

2.3.2. První známky osídlení až do 18. století.

Protože v období posledního glaciálu člověk ještě neobýval šumavskou krajinu, docházelo k ovlivňování především jejich nižších a okrajových částí území. Postupně se ale vliv člověka stává stále výraznější a projevuje se především změnami v druhové skladbě a struktuře porostu. Les tak byl nahrazován stále více plochami pro zemědělské využití. I v těchto oblastech tak docházelo ke změnám v druhové skladbě i struktuře, ale stále ještě nepřímo a nezáměrně. Prakticky nedotčenými tak zůstaly především šumavské pralesy na nejvyšších vrcholech Šumavy. Odtokové

poměry v oblasti tak byly ovlivňovány pouze nepřímo (Ševčíková, 2009), (NP Šumava, 2021).

První velká vlna kolonizace - tzv. "agrární", která měla vliv především na předhůří Šumavy, probíhala od 12. století. V oblasti začínali stále více působit osadníci především německé národnosti – tzv. králováci. Ti hospodařili na víceméně osamělých dvorcích, při kterých se věnovali těžbě dřeva a pastevectví.

V období 14. století dochází k významnému rozvoji sklářství a těžby drahých kovů, především zlata. Díky těžbě zlata z potočních náplavů postupovalo osídlení a vliv člověka stále do vyšších oblastí šumavského pohoří a s tím související těžba lesů pro snazší přístup. Tato kolonizační vlna se také označuje jako "průmyslová".

Významný rozvoj ale v oblasti přináší až novověk a s tím spojený byl rozvoj sklářství v 15. až 18. století. Protože je zpracování skla velmi energeticky náročné, docházelo k těžbě především vysoce výhřevného buku pro výhřev pecí, ale například i popel z bukového dřeva se využíval na výrobu potaše, jako součást sklářské výroby nebo se bukové dřevo používalo i na výrobu dřevěného uhlí. Pozůstatky milřů z té doby byly objeveny i v relativně odlehlých oblastech.

K velkému rozmachu těžby docházelo po skončení třicetileté války, a třebaže se typicky jednalo o malé podniky, docházelo k rychlé tvorbě rozsáhlých bezlesých ploch v okolí skláren, které následně sloužily jako pastviny a pole (Andreska, 2003). Horské smrčiny v nejvyšších polohách byly ovlivněny tzv. toulavou těžbou a lesní pastvou dobytka.

2.3.3. Lesní hospodaření v 18. st

Od 18. století se dále měnil typ poškození vegetačního porostu v reakci na další vzrůstající hustotu osídlení. Z antropogenního hlediska hovoříme o třetí kolonizační vlně - tzv. "dřevařské", nicméně existují záznamy o méně zřetelných, ale existujících vlnách osídlení, které měly různé motivy, v čase se překrývaly a jejich vliv se kumuloval (Buryová a kol., 2001).

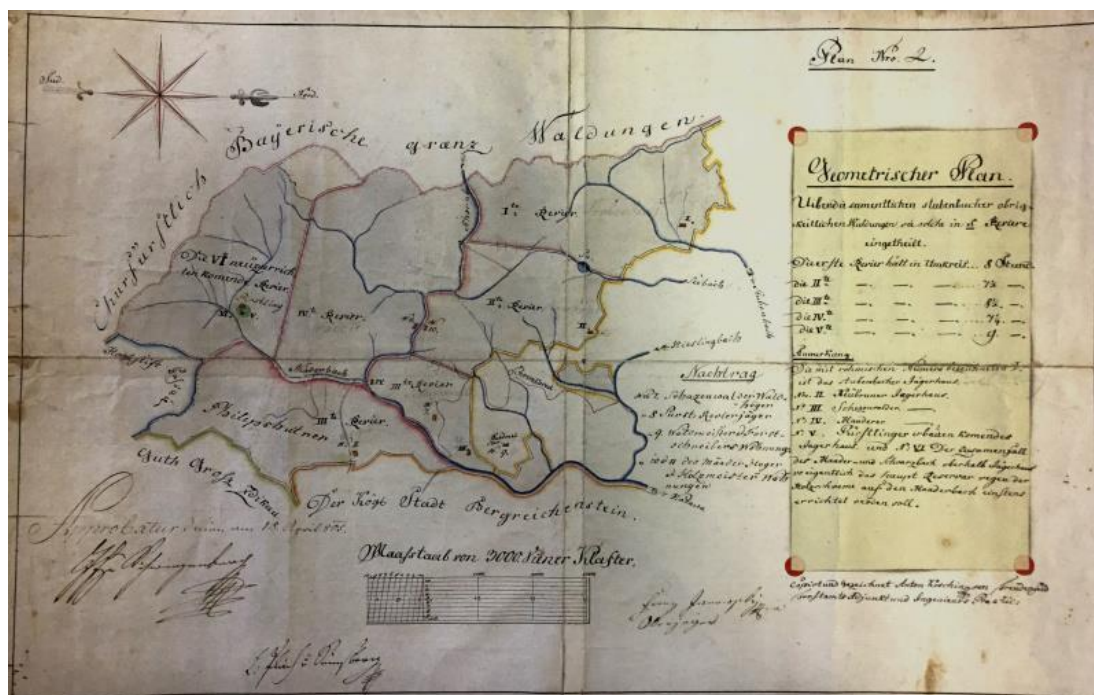
Přelomovým momentem pro stav zalesnění v této oblasti ale bylo vyhlášení císařského a královského patentu - Tereziánského lesního řádu v roce 1754. Do této doby byly odlesněné plochy ponechány samovolnému zalesnění nebo byly využity pro zemědělskou činnost a pastvu. Patent, jehož autorem byl nejvyšší lovcí hrabě Kinský, mimo jiné obsahoval omezení těžeb, nutnost žádat o povolení vývozu dřeva, povinnost zalesnění, přísný zákaz ničení lesů pro všechny vlastníky, ustanovení krajských komisí pro přezkušování mladých lesníků, či stanovení trestů za porušení vyhlášky. Třebaže měl zpočátku Tereziánský lesní řád i mnohé nedostatky jako nedostatečné upřesnění pěstování lesů a byl pak doplňován návody - doporučením na zalesňování smrkem, je chápán jako mezník ve vývoji lesních zákonů nejen v této oblasti, ale i v českých zemích (Hřib, 2014).

2.3.4. Lesní hospodářství v 19. st.

Období vlády císaře Josefa II. přineslo nejen do českých zemí celou řadu osvícenských reforem. Jednou z mnoha nařízení byl tzv. josefínský katastr, což bylo

zřízení katastru domů a půdy. Jeho součástí bylo v roce 1785 provedení první výměry lesů podle tzv. tratí a byly prováděny jednoduchými výpočty zásoby dřeva, které bylo možné vytěžit. Zároveň ale byly rozsáhlé lesní plochy pro svou nedostupnost z těžebního plánu vyňata. Převážná část vytěženého dřeva byla využita sklárnami. Historický plán oblasti Prášil z tohoto období je na obr. 5.

Začátkem 19. století dochází v oblasti ke klíčové reorganizaci lesní správy a hospodaření dalším velkým změnám v hospodaření díky příchodu Schwarzenbergů. Díky vysoké poptávce a ceně dřeva, především v Praze a středních Čechách se postupně tlumí využití dřevních zásob pro sklářské účely a dochází k masivnímu rozvoji těžby dřeva a pokračující změně přirozené struktury horských lesů na Šumavě.

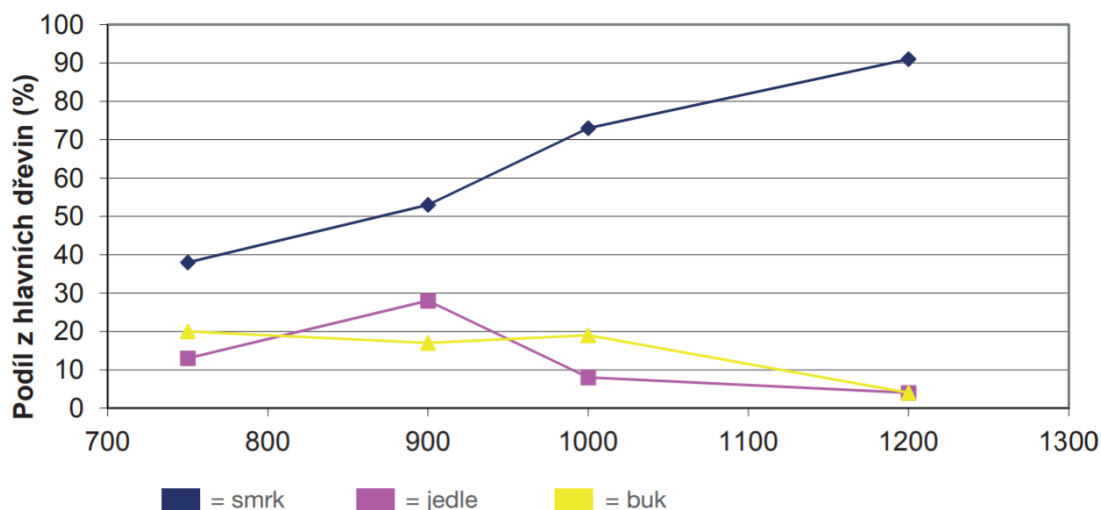


Obr. 5: Historická mapa prášílského panství (Blažková, 2019)

Toto období se také označuje jako "dřevařská kolonizace" a byla motivem pro splavnění Vydry a Otavy - o tomto tématu více v kapitole **2.4. Vodní hospodářství v zájmové oblasti**. Reforma zasahuje celý kraj okolo Modravy a jsou organizována polesí Modrava, Prášily, Březník Schatzův les a Nová Stidnice, v roce 1811 vzniká polesí Filipova Huť (Šmída, 2016).

Především v období dvacátých až padesátých let 19. století docházelo k velkým zásahům, v roce 1827 je proto na Modravě postavena továrna na zpracování rezonančního dřeva a následně dochází k výstavbě dvou dalších pil v Prášilech a v Javořím. Ještě v této době bylo přibližně 25 % lesů v současném Národním parku Šumava klasifikováno jako pralesy, ale to se mělo rychle měnit.

Potřeba dřeva dramaticky narůstala a exploatační těžba dřeva rychle nabírala na intenzitě. Jak uvádí Jelínek (1998), bylo obvyklé, že se přiřazovaly holé seče o rozloze 3-4 ha. Díky tomu vznikaly rozsáhlé paseky, na kterých docházelo k velmi intenzivní pastvě dobytka - ta mimo jiné probíhala na Modravsku ještě v 1. třetině 20. století.



Obr. 6: Druhová struktura šumavských lesů podle nadmořských výšek před rokem 1860. Průměrná nadmořská výška Šumavy je 930 m (Hubený a Čížková, 2016)

Těžba dřeva byla přirozeně ovlivněna i rozložením výskytu dřevin v závislosti na nadmořské výšce. Graf s vyjádřením zastoupení dřevin v konkrétních polohách z přibližně v polovině 19. století je na obr. 6.

Na holinách tak byla prakticky znemožněna přirozená obnova lesa a vegetační pokryv byl tvořen výhradně travními porosty. Z té doby také pochází i původní popis polesí Modrava, které ve své rozsáhlé historické práci uvádí Šmída (2016): *“Polesí Modrava má většinou kamenitou půdu pokrytou mechem a hodně zbahněných míst. Nad Modravou je velká plocha vykácena pro plavbu. Převažuje zde smrk, ale potřebuje doplnění. Svahy proti Modravskému potoku byly ve směru východ-západ zmýceny. Proti Tmavému a Roklanskému potoku jsou bažinatá místa řídkého hnijícího smrku, na sušších vyvýšeninách jsou 300-340 leté zdravé smrky. Trať Kaltstauden (Studená hora) má bažinatou půdu s řídkým a místy špatným porostem, který je plný shnilého a ležícího dřeva.”*

Mapa zájmového území



Obr. 7: Historická mapa zájmového území z 19. století (Autor, 2021)

Kromě pastvin na místě po těžbě mělo neblahý vliv i pasení dobytka v přístupných stinných porostech klimaxových dřevin. Jejich následkem docházelo ke spásání spodní etáže porostů a byl tak narušen přirozený vývojový cyklus lesa. To tak vedlo k nepřirozenému stárnutí pralesa, který tak měl nižší odolnost proti extrémům, jak se mělo již brzy ukázat při větrných kalamitách. Dalším faktorem, který snižoval celkovou stabilitu ekosystému, bylo snížení druhové diverzity likvidací buku, jedle a klenu. V podstatě se s těmito následky potýkáme dodnes (ÚHÚL, 2001).

Zároveň se ale v té době již vyskytovaly první snahy o opětovné zalesňování, které bylo především motivováno obavami o trvalou výnosnost lesů. Zpočátku jsou holiny zalesňování sítí, která se prováděla k pařezům, pro náročnost této techniky brzy přestávají stačit semena vlastní produkce a dovážely se tak jak z Čech, tak z Rakouska. Na plochách původních smíšených listnatých lesů v nižších polohách se také objevují první lesní školky a smrkové plantáže. Třebaže smrk lépe než jiné dřeviny snáší chladnější a vlhčí podmínky, v oblasti se budovaly sítě odvodňovacích kanálů a rýh, které umožňovaly rychlejší růst smrků i na do té doby příliš zamokřených

plochách. Není bez zajímavosti, že tyto rýhy jsou nyní revitalizovány dřevěnými přehrádkami a vrací se tak do krajiny schopnost zadržetí vody a vylepšuje se její retenční schopnost.

Důležitým historickým momentem, který podstatně ovlivnil následný vývoj oblasti je vznik tzv. Souchova elaborátu v roce 1863. Schwarzenberský taxátor Vilém Soucha vyhotovil hospodářské plány a mapy, které se staly základem pozdějších revizí, které se v podstatě opakovaly každé desetiletí. Na základě saské metody tak vložil do lesů rozdělovací síť s "malým ohledem na přirozené dělicí prvky" (ÚHÚL, 2001?), což mělo vliv na velké škody při větrných kalamitách v letech 1868 a 1870. Tento plán sice popisuje skladbu jednotlivých dřevin, ale neuvádí jejich poměry. Z dostupných pramenů se ale dá zjistit, že hlavní dřevinou je smrk, jehož přírůstek ale ubývá s vyšší nadmořskou výškou, buk se vyskytuje jednotlivě, případně ve skupinách, typicky ale v nižších polohách. Javor je vtroušen také jednotlivě, vyskytuje se i ve vyšších polohách, jedle je díky své náchylnosti na drsné klima opět vyskytuje jednotlivě. Během padesát let trvajících pokusů s modřínem se zjišťuje, že je vhodný pro vyplňování mezer ve smrkových kulturách. Konkrétně v lesích prášilska jsou k dispozici data ukazující na klesající podíl listnatých dřevin v lesích a to z 6% v roce 1785 na 1% v roce 1921 (ÚHÚL, 2001).

Zajímavou oblastí zájmového území je kamerální nebo také komorní les Roklan, který se nacházel v okolí vrcholu stejnojmenné hory. Název "komorní" je díky tomu, že jej spravovala Rada komory královské a byl ve vlastnictví království českého. Nicméně dle smlouvy z roku 1769 byl "na věčné časy" zatížen právem pastvy pro sousední bavorský statek. Prameny z roku 1840 uvádí, že se jedná o prales starý 150-400 let, který se sestává z přestálých, shnilých a suchých stromů a protože se zde nikdy netěžilo, je třeba celý území vytěžit a "co nejdříve vykáceti" (ÚHÚL, 2001), (Šmída, 2016). Historická mapa této oblasti se nachází na následující straně na obr. 8.



Obr. 8: Mapa Roklanu z roku 1764 (Černý a kol, 2010).

2.3.5. Lesní hospodářství v první polovině 20. století

V na konci 19. století a přelomu 20. století docházelo ve vyšší části Šumavy k citelnému úbytku obyvatelstva. Obyvatelstvo se stále živilo dřevařstvím, zemědělstvím, obchodem a dříve velmi rozvinuté sklářství bylo na ústupu. V nejdlehlších částech Šumavy s drsnými klimatickými podmínkami zanikaly mnohé osady a usedlosti a drobná políčka, louky a pastviny opět začaly zarůstat lesem.

V tomto období probíhá hospodaření sále podle elaborátů a plánů, které sestavují různí nadlesní. Velmi často se podrobné záznamy nedochovaly, výjimkou je hospodářský plán z let 1930-1932 sestavený Ing. Pohlem, i podle současných měřítek metodiky tvorby hospodářských plánů lesa. Do správy lesních porostů zasáhla také od roku 1930 pozemková reforma, která umožnila převod prášilských lesů pod stát, Státní lesy a statky. Období mezi oběma světovými válkami znamenalo pronikání vlivu člověka i do nejdlehlších částí šumavských lesů, mizely zbytky pralesů a docházelo k plošnému odvodnění rozsáhlých ploch.

V rámci vývoje lesního pokryvu v této oblasti je důležité zmínit i věrnou kalamitu v červenci 1929, která zasáhla Modravsko a kde následně nedošlo ke kůrovcové kalamitě díky chemickému postřiku.

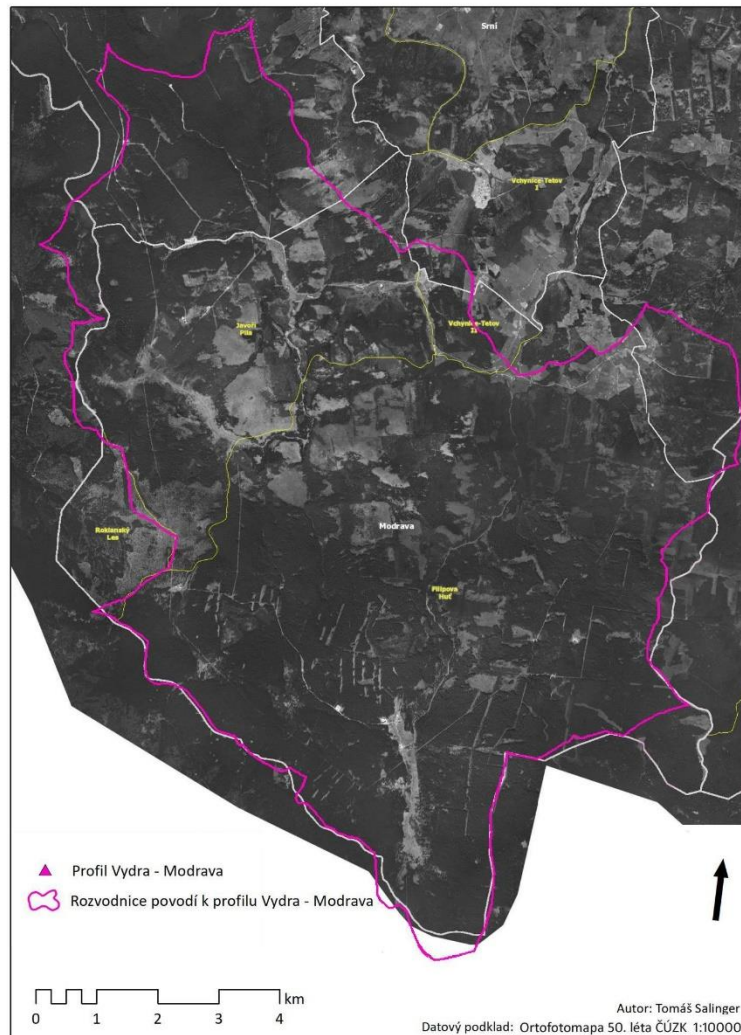
Období druhé světové války mělo vliv na tuto oblast především díky odsunu českého obyvatelstva před válkou a následnému odsunu německého obyvatelstva po válce. Díky politickému vývoji v poválečných letech tak dochází ke spuštění "železné opony", která tuto oblast ovlivní na více než čtyři následující dekády.

2.3.6. Lesní hospodaření od 50. do 80. let

Období po druhé světové válce znamenalo výrazný útlum hospodaření v lesích hraničního pásma. V padesátých letech v rámci "ochrany" státních hranic bylo vytvořeno neprodyšně uzavřené nárazníkové a hraniční pásmo vojenské újezdy. V těchto místech došlo k úplné likvidaci sídelní struktury a obyvatelstvo bylo vytlačeno do vzdálenosti 8 - 10 km od hranic (ÚHÚL, 2001). Přímým dopadem vylidnění této oblasti by zánik mnoha obcí, usedlostí, pastvin a polí. Na jejich místa se začal vracet les - ať přirozeně nebo s přičiněním člověka. Tato změna byla výrazná především na české straně železné opony, ale i v blízkém okolí hranic na bavorské straně došlo ke změnám a utlumení intenzivní hospodářské činnosti (Šantrůčková a Vrba, 2010). Stav lesních porostů v tomto období je vidět na obrázku 9.

Díky tomu, že v oblasti nebyl dostatečný počet pracovních sil, zaváděla se při hospodaření v lesích stále více těžká mechanizace. S tím se v oblastech spojených s těžbou dřeva pojila negativa jako je mechanické poškození stromů, rozrušení půdního pokryvu a urychlení erozních procesů, které mělo za následek odplavování organických částic důležité pro bylinné patro (Šantrůčková a Vrba, 2010).

Ortofotomapa 50. léta 20. století

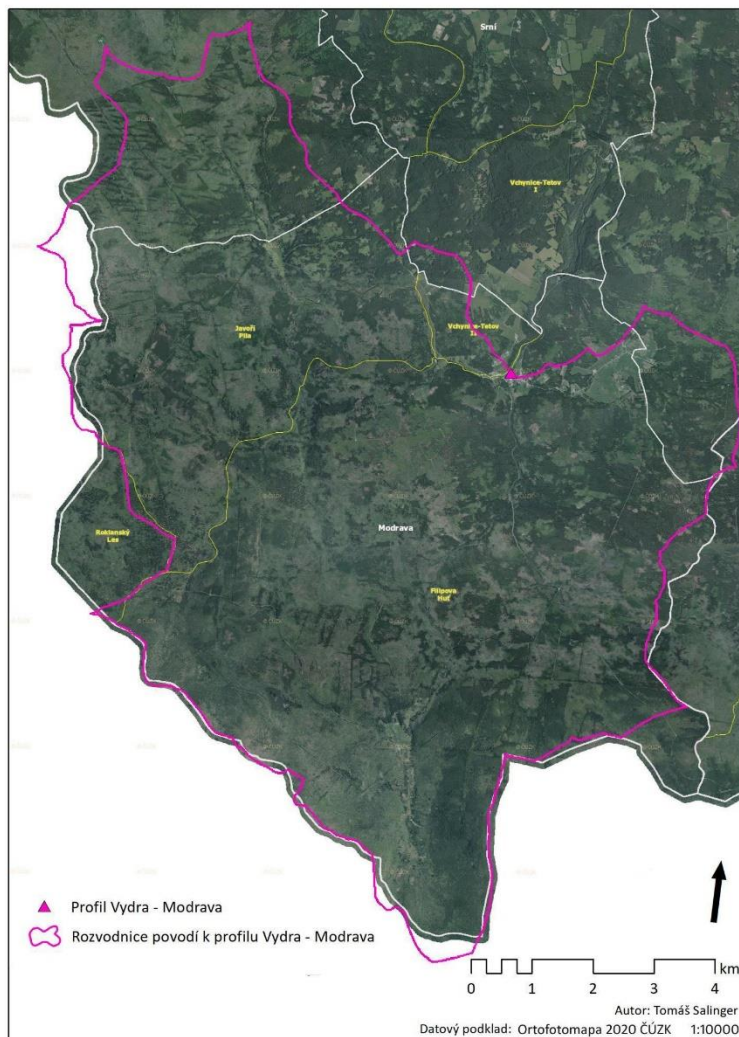


Obr. 9: Ortofotomapa 50. léta 20. století (Autor, 2021)

2.3.7. Lesní hospodaření 90. léta až současnost

Díky pádu železné opony došlo k odstranění drátěného opevnění a kontrolního pásu na hranicích v dubnu roku 1990. V následujícím roce vzniká Národní park Šumava a lesy zájmové oblasti spadají do Správu národního parku Šumava. Forma lesního hospodářství nadále kombinuje pěstební a těžební činnost s výjimkou v bezzásahových zónách (Šmída, 2016).

Ortofotomapa území z roku 2020



Obr. 10: Aktuální ortofotomapa zájmového území z roku 2020 (Autor, 2021)

2.4. Vodní hospodářství v zájmové oblasti

Vodní díla v zájmovém povodí jsou natolik významným prvkem, že si zaslouží vlastní kapitolu. S masivním rozvojem těžby dřeva na konci 18. století přichází na řadu potřeba jeho dopravy z místa těžby. Do té doby bylo využití dřevních zásob omezeno právě jen na místní oblasti, ale doprava dřeva umožnila dřevo zpeněžit i v jiných částech země. Proto v letech 1799-1801 dochází pod vedením Ing. Josefa Rosenauera k výstavbě umělého Vchynicko-tetovského kanálu, který sloužil k plavení dříví z dosud nevyužitých lesů a nepřístupných částí Šumavy. Využil původní plán Fraze Traxlera z roku 1796, který umožňoval obejít nesplavný úsek řeky Vydry, který se začínal u Antýglu a končil u Čeňkovy Pily (Památkový katalog, 2015).

Na horním toku Modravského a Roklanského potoka bylo zbudováno 8 plavebních nádrží, známých také jako klauzy nebo švele, ze kterých byla dle potřeby typicky

během jarního období vypouštěna voda. Takto nadlepšený průtok umožňoval doplavít sáhové dříví až do plavebního kanálu.

Pro hydrologický režim oblasti by bylo jistě vhodné využít tyto dnes již nevyužívané klauzy například jako suché či řízené poldery. Jak uvádí Kocum a Čurda (2011) mohly by tak díky případně přispět ke zmírnění kulminačních průtoků povodňových vln a sehrát tak během extrémních epizod významnou roli v protipovodňové ochraně. Současně by tak navýšení odtoků z těchto nádrží mohlo pomoci nadlepšování průtoků v suchých obdobích. Konkrétní míra antropogenních zásahů v podélném korytu řeky Vydry v současné době není vyšší, než 5% úhrnné délky toku. V celém povodí Vydry se tak uvádí více než 90% podíl říčních úseků v přírodním, nebo v přírodě blízkém stavu (Langhammer a Vajskebr 2004).

2.5. Disturbanční změny vegetačního pokryvu

2.5.1. Větrné a kůrovcové kalamity

Zásadním vlivem, který se podílel a podílí na formování celého ekosystému Šumavy jsou bezesporu disturbance. Disturbance jsou přirozenou a nedělitelnou součástí lesního cyklu, ať se jedná o narušení porostů biotického, či abiotického původu. Dá se také říci, že míru působení narušení v současné době významně ovlivňuje svým působením člověk. Svým historickým využíváním lesních porostů totiž změnil jejich složení, jak druhové, tak i prostorové a proměňuje tak i intenzitu a rozložení působení právě těchto disturbancí. O antropogenním vlivu na vegetační pokryv Šumavy se šířeji a v historických souvislostech věnujeme v kapitole 5.

Polomy byly a jsou často následovány výskytem kůrovce, který se na Šumavě vyskytuje již od samého úsvitu výskytu smrků v této oblasti. V praxi dochází k výskytu čistě větrných polomů ve smrčinách, kombinací následků vichřice a napadení kůrovcem a jinde jsou lesy napadeny pouze kůrovcem. Z pohledu vývoje vegetačního pokryvu je také vhodné vnímat právě rozdíl mezi disturbancí větrem či pouze kůrovcem. Při polomech ve smrkových porostech totiž dochází k mohutným vývrátům, zničení části vegetace, obnažení a rozrušení půdy. Následně se nabízí možnost introdukce druhu, které by se ve vzrostlém lese neuchytily - např. bříza. Dopad čistě kůrovcové kalamity je rozdílný. Proměna stromového patra je postupná - přes opad jehličí, ulamování nejtenčích větví po silnější, následuje odlamování vrcholků stromů a kůry. Podmínky pro plynulejší obnovu lesa jsou tak díky navýšené světlosti porostů a absence mechanického porušení nižší vegetace a půdy vyhovuje více semenáčkům smrku nebo jeřábu (Šantrůčková a Vrba, 2010). V průběhu uplynulých 500 let se prakticky v každém století vyskytují velké vichřice, které znamenaly rozsáhlé disturbance lesů.

V přírodních ekosystémech horských lesů, ve kterých je ve významném podílu zastoupen smrk ztepilý, je výskyt lýkožroutů smrkového *Ips typographus* (L.), menšího *Ips amitinus* Eichh. a lesklého *Pityogenes chalcographus* (L.) významným faktorem, který se podílí na cyklickém vývoji lesů. Principiálně působí tento "zlatý brouček" tím, že eliminuje stromy přestárlé nebo poškozené, čímž má pozitivní a ozdravnou funkci lesa. To ale platí pouze v přírodním, nebo přirozeném lese.

V monokultuře, která klade minimální překážky v jeho případném šíření a která se z nějakých vnějších příčin stane zranitelná, má pak jeho výskyt a šíření dramaticky destruktivní vliv na velkou plochu lesa.

První záznamy o velké vichřici, na kterou byl navázán výskyt kůrovce, se datují k roku 1726, další velkou větrnou smršťí byla událost z roku 1740 - zde se ale kůrovec nevyskytl a škody byly čistě "jen" způsobené polomy (Šantrůčková a Vrba, 2010).

S postupnou proměnou původních horských smíšených lesů s vysokým podílem dubu docházelo na Šumavě především na konci 18. a celé 19. století k nahrazování vytěžených ploch smrkovým porostem. To však způsobilo právě výrazné snížení jejich odolnosti k narušení právě vichřicemi a kůrovcem. Velkým zlomem byly vichřice v roce 1868, ale především ta v noci z 26. na 27. říjen 1870. Vichřice se silou orkánu několik hodin v oblasti jihozápadních Čech a přilehlé části Bavorského lesa a Rakouska vyvrátila nebo polámala jeden až dva miliony stromů (Vacek a Podrázský, 2008). Velké škody orkán způsobil nejen v lesích, ale také na domech a dalších majetcích. Jeho přesnou rychlost neznáme, ale podle popsanych škod se předpokládá, že v nárazech dosahovala vyšších nárazových rychlostí než orkán Kyrill z roku 2007, který dosahoval v nárazech až 168 km/h (Hubený, 2020).

Jelínek (1998) uvádí, že objem dřeva v polomu činil 650 000 m³, kdy přes 90 % byly jehličnany. Škody na polomech byly významně navýšeny následující kůrovcovou kalamitou, která se nejdříve šířila v Bavorském lese v rozsahu cca 2000 ha, dále se šířila přes Modravské slatě, Roklanské slatě, Luzenské údolí a nakonec Preisleitenské stráně. V té době se jednalo o největší kombinaci větrné kalamity s výskytem lýkožrouta v celé Evropě. Likvidace kalamity trvala téměř osm let, kterém se říkalo "období zlatého broučka" a zaměstnala tisíce dřevorubců z Čech, ale i z mnoha jiných zemí. Dobové prameny uvádí, že byl vytěženo zhruba stejné množství dřeva kvůli napadení kůrovcem, jako bylo poničeno přímou větrnou kalamitou. Došlo tedy k devastaci velkých ploch hospodářských lesů, ale také k valné části zbývajících pralesů. Plochy byly opět osázeny smrky a v nejvyšších oblastech se obnovovaly přirozeným způsobem (Hubený, 2020). Na této kalamitě je také zajímavé, že vstoupila do poměrně širokého povědomí veřejnosti, zřejmě i díky románu "Ze světa lesních samot" šumavského autora Karla Klostermanna.

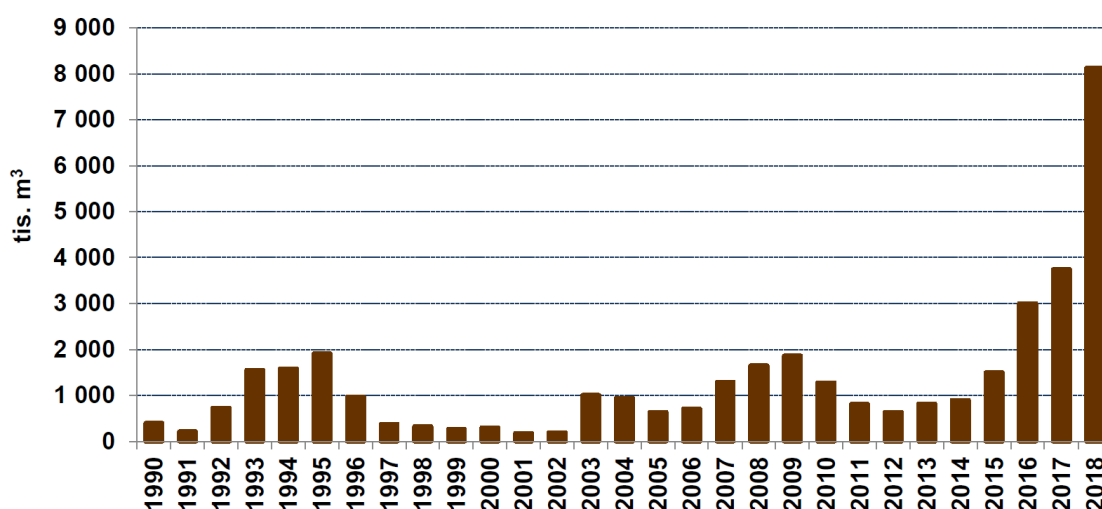
Po této mimořádné události se další vlna výskytu kůrovce odehrávala v období po druhé světové válce, kdy především suché a teplé období v roce 1947 vyústilo v další vlnu kácení rozsáhlých ploch. Díky následné prevenci se dařilo zamezit masivním gradacím až do roku 1984. V listopadu tohoto roku se nad územím Šumavy přehnal orkán, který měl za následek kalamitu, jejíž následky se podařilo zpracovat až v následujícím roce.

Objem polomové hmoty činil více než 350 000 m³ a Zatloukal (1998) uvádí, že dodnes následky z této události nebyly stabilizovány.

V následujících letech mezi významné polomy patřil ten v roce 2002, který v celé republice způsobil škody v celé České republice v objemu 4 mil. m³, z toho na Šumavě 200 000 m³. Do té doby rekordní devastaci pak přinesl v noci 18. ledna 2007 orkán Kyrill, který zasáhl území celé České republiky. Do konce roku bylo zpracováno od

700 000 m³ (Svoboda a Zenáhlíková, 2009) a Hubený (2020) uvádí, že v následujících pěti letech bylo vytěženo 1 100 000 m³ polomového dřeva.

V současnosti je problematika kůrovce téma, která intenzivně zasahuje území celé České republiky a jedná se o popularizované téma. Od roku 2016 tak došlo v celé zemi k výraznému nárůstu objemu kůrovcového dříví. V roce 2018 tak bylo například evidováno zcela bezprecedentních cca 8,1 mil. m³ kůrovcového dříví, což znamená další navýšení i proti rekordním hodnotám z let 2016 (cca 3 mil. m³) a 2017 (cca 3,7 mil. m³) viz obr. 11. Pro ilustraci je ale vhodné zmínit, že pozorovaný nárůst z let 1993–1996 byl dotován především Šumavou, na současných vysokých číslech se ale již Šumava tolik nepodílí. (Lubojacký a kol., 2019).



Obr. 11: Evidovaný objem smrkového kůrovcového dříví v letech 1990–2018 (Lubojacký a kol., 2019)

Zajímavý je také poměr mezi těžbami dřeva na základě původce. Do roku 2015 připadal podíl kůrovcových těžeb v celé České republice na $\frac{1}{5}$ až $\frac{1}{3}$ z objemu abiotických těžeb (vítr, námraza). Postupně se okolo roku 2015 tento poměr vyrovnává, v současné době se těží o 150 % více kůrovcového dřeva, než těžeb abiotických (Modlinger a Trgala, 2019).

2.6. Vliv změny vegetačního pokryvu na hydrologický režim

Pro posuzování vlivu lesa či případné změny vegetačního pokryvu na hydrologický režim krajiny je klíčové studovat vydatnost odtoku i průtok v závislosti na čase. Dalšími důležitými faktory jsou roční odtok, čáry překročení a doby odezvy. Výsledný vliv lesa či konkrétní srážku na hydrologický režim v dané oblasti, je ale ovlivňován celou řadou ukazatelů, jakými jsou například: druhová skladba porostu, zdravotní stav lesa, stav půdy v jejích rozdílných vrstvách či meteorologické podmínky. V lesnické a hydrologické literatuře panuje shoda, že les vliv na odtok z povodí má a například snižuje rozkolísanost průtoku či tlumí kulminační průtok (Hořínková, 2010).

Šířeji se tomuto tématu věnují v zahraničí Bosch a Hewlet (1982), jejichž práce se zaměřovala často na práci s tzv. párovými povodími, jejich základní výzkum zpracoval data z celkem z téměř stovky povodí v rozlohách 1 až 2500 ha. Jejich závěry se velmi podobají například závěrům Stednicka (1996), který se věnoval studiu dlouhodobého vlivu lesního hospodářství na změnu vegetačního pokryvu na povodích v USA a Sahina a Halla (1996), kteří se zase zaměřovali na ta povodí, která nebyla prvoplánově experimentální. Jedny z jejich závěrů tak je zjištění, že pokud dojde k redukci lesního porostu, následuje nárůst vydatnosti odtoku. V případě nárůstu lesního porostu se projeví snížení vydatnosti odtoku. Pokud ale dojde k odlesnění do 20 % vegetačního pokryvu, změny jsou prakticky nezjistitelné.

Důležitý autor je také A. E. Brownová (2005), která typicky na experimentálních povodích popisuje, že viditelnější bývají změny spojené s odlesněním, tj. např. smýcení či požáry, kde se změny ve vydatnosti odtoku dají pozorovat v řádu dnů či týdnů, zatímco při procesu zalesnění se změny projeví v řádu let.

Z českých výzkumů je v rámci práce na experimentálních plochách vhodné zmínit pozorování od Šacha a Černohouse (2016). Ti na povodích Malá Ráztoka a Červík v Beskydech a na povodích U Dvou louček a Deštenská stráž v Orlických horách při výzkumu dosáhli výstupu, kde konstatují, že navýšení odtoku po holosečné těžbě na experimentálních plochách existuje, nicméně komplexnost tohoto procesu podtrhuje závěr z povodí Červík, kde po holoseči navýšení odtoku pozorováno nebylo. Dlouhodobě se tomuto tématu věnují Chlebek s Jařabáčem (1988), spíše se ale zaměřují na extrémní odtoky během povodní.

K rozdílům v intenzitě odtoku nicméně dochází také v závislosti na druhu vegetace. Bíba a kol. (2001) se věnovali porovnání dvou zalesněných horských povodí z oblasti Beskyd, kdy v jednom povodí byl jako dominantní dřevina buk a v druhém převažoval smrk. V povodí, kde byl větší podíl buku, docházelo k jeho postupnému nahrazování smrkem, ale i tak byl zřejmý rozdíl, který ukazoval zkrácení vzestupné větve hydrogramu u bukového lesa. Tento příklad je vhodné zmínit i s ohledem na historický vývoj vegetačního pokryvu na Šumavě, kterému se věnujeme v kapitole **2.3 Přehled změn vegetace a osídlení na Šumavě**. I jiní, než výše zmínění autoři, dospěli ve svých studiích k podobným závěrům. Baudox a kol., (2006) potvrdil, že v oblastech švýcarského předalpí, v povodí Sperbelgraben se naplnil předpoklad navýšení odtoku jako následek poškození lesních porostů vichřicemi. Poněkud rozdílné téma zpracoval Eliáš a kol., (1999). Při hodnocení vlivu zatravnění polí na vodní režim půd v podhorské oblasti Šumavy, dospěli k závěru, že nárůst vegetačního pokryvu do úplného zakrytí zkoumané plochy zapříčiní stabilizaci vodního režimu krajiny tím, že zamezuje nadměrnému vysychání půdy a zvětšení odtoku.

Věková skladba lesů a životní cyklus jsou další faktory, které mají na odtokové poměry ze zalesněného území vliv. Hrádek a Kuřík (2004) spolu s dalšími autory citovanými níže popisují, že rostliny v prvních fázích svého vegetačního období na základě zvýšené intenzity fyziologických a fyzikálně-chemických procesu vypařují více, než na konci životního cyklu rostliny, nebo na konci vegetačního období, kdy je již transpirace nižší.

V pracích z poslední doby do tohoto tématu přináší zajímavý úhel pohledu Kantor a kol., (2005) kteří se v povodí Deštné v Orlických horách zabývali výzkumem evapotranspirace na listnatých a jehličnatých porostech různého stáří. Jejich závěr sice ukazuje, že evapotranspirace mladého a starého lesa je srovnatelná, ale důvodem může být nerozložená hrabanka jehličnatého lesa, přerušující kapilární vodivost půdy a zamezující tak transport vody z hlubších horizontů. Roli hrabanky na zadržování vody se různí, ale Kantor a kol., (2005) dále uvádí, že každý centimetr jehličnaté hrabanky dokáže zadržet 2 - 3 mm srážek, což v úhrnu vodní bilance může činit až 30 % ročních srážek.

Z hlediska útlumu povodňových vln na malých tocích tato míra závisí především na druhové, prostorové a věkové skladbě lesních porostů, na lesnatosti, dále na porostní struktuře a rozmístění lesa v povodí, stavu půdy v jejich různých vrstvách a meteorologických podmínkách. Jak ve své publikaci uvádí Kantor a kol. (2003) první takové doložení vlivu lesa na tlumení extrémních vodních stavů na tocích na našem území je zmiňováno již od 19. století. A naopak ve stejné době docházelo k intenzivnímu využívání lesů v povodí Otavy, a jak uvádí Šonka (2004), reakcí bylo významné zvýšení frekvence povodní.

Téma je to ale velmi komplexní a díky velkému množství vstupních proměnných se tak můžeme setkat s tvrzeními, že odlesnění nemá velký vliv na povodně, tak například Blažková a Kolářová (1994) přináší výsledky o dramatickém navýšení velkých vod, podobně jako Ven Te Chow (1964).

Vliv na chod kulminačního průtoku má i typ pokryvu. Hořínková (2010) uvádí, že v případě dobrého zdravotního stavu porostů je v horských povodích prokázán vyšší schopnost tlumení kulminačního průtoku u smrkové kmenovině oproti bukové. Důvodem je vyšší intercepční kapacita nižší hodnoty stoku srážky po kmeni. Vyšší schopnost intercepce u jehličnatých stromů také zmiňuje Robinson a kol. (2003), který srovnal dvacet osm evropských povodí a který tak vnímá jehličnany téměř jako řešení problémů s povodněmi. Z hlediska časového rozložení odtoku je bonus lesního systému v dobré kondici i ve schopnosti zadržet a převést do půdy veškeré srážky, a zadržením vody zamezit, aby se na odtoku podílela celá plocha povodí, což by dramaticky navýšilo chod velké vody (Krešl, 1999).

V případě, že je les průběžně vytěžován, je hodnota odtoku nižší, než pokud dojde k plošnému smýcení a nová vegetace navrací hodnoty k normálu. Toto prokázal například i Iroumé (2002) v Chile na čtyřech povodích, kdy v jednom došlo k úplnému smýcení. Úhrnné srážky v dané oblasti činily 2000 - 2500mm.

Jedny z nejdůležitějších procesů, které přispívají k odtoku vody z povodí a sytí jarní povodně jsou akumulace a tání sněhu. Na hodnoty vydatnosti celkového odtoku a případné jarní povodně má výrazný vliv především vodní hodnota sněhu, která značí množství vody obsažené ve sněhu (Kantor a Šach, 2007). Sníh má také ve srovnání s dešťovými srážkami rozdílné projevy při zachytávání na vegetaci. Dešťové srážky mají tendenci snadněji propadávat k povrchu, zejména při prudších a déle trvajících srážkách, zatímco při kratších a méně intenzivních srážkách vegetace vodu udrží snáze. Sněhové srážky se na vegetačním pokryvu zachytávají ve větším množství a na delší dobu a teprve později propadávají až na půdní pokryv (Klím, 1994).

Lesní půda je důležitým faktorem v rámci srážko-odtokového procesu. Důvodem je především její působení jako vynikající retenční nádoba podzemní vody. Díky vysoké schopnosti lesní půdy zadržet vodu, se tak povrchový odtok vyskytuje jen v hydrografické mikrosíti a k plošnému povrchovému odtoku v lesích prakticky nedochází (Švihla, 2001). Další zajímavostí je, že konkrétně horské a podhorské lesní oblasti jsou zásobárnou vody i při relativně vyšších hodnotách územního výparu. Důvodem je jejich typicky vyšší poloha a s tím související vyšší úhrn srážek, které lesní porost dokáže zadržet i během suššího období. Jak také dále uvádí Švihla (2001), z lesních porostů v porovnání se zemědělskou půdou odteče menší objem vody v období s vyššími průtoky, ale vyšší objem vody v období s nižšími průtoky.

Vliv odlesnění na nárůst teplot krajinného krytu, jak jej popsali např. Weber (1971) byl popsán v mnoha dalších studiích, a v rámci našeho povodí se mu věnoval Hais (2008). Ten ve své práci komplexně hodnotil teplotní rozdíly holých sečí (asanovaných ploch) a rozpadlé horské smrčiny. Dospěl k předpokládaným závěrům, tj. že se plochy holých sečí více zahřívaly, než tomu bylo u rozpadlých horských smrčín. Nižším zahříváním rozpadlých horských smrčín autor vysvětluje jednak větší členitostí plochy a s tím souvisejícím vyšším počtem zastíněných ploch, které se tolik nezahřívají a také díky vyššímu albedu kmenů odumřelých stromů. Ve svých závěrech tak hovoří o výrazném ovlivnění místního klimatu přehřívány plochami, které tak přinášejí i zvýšené riziko spojené s extrémními srážko-odtokovými událostmi. Stejněho popisu dosahuje i Trenberth (1999), který uvádí, že právě přehřátý vzduch z těchto ploch umožňuje pojmouti výrazně většího objemu vody v podobě páry a následné ochlazení je následováno přívalovými dešti. Podobných výstupů dále dosáhla Hojdová (2003) a Hojdová a kol., (2005).

Další studie horských oblastí na Moravsku prováděli i Pavlásek a kol., (2006), kteří prokázali snížení retenční schopnosti krajiny a výraznou změnu hydrologické bilance povodí v souvislosti s odumíráním velkých lesních ploch.

Třebaže vodní eroze je důležitým tématem v ekologii krajiny, v této práci se jí věnovat nebudeme. Sice v povodí Modravky platí stejně jako všude jinde jednoduchá a přímá úměra - s navýšením sklonu a prodloužením délky svahu se zvyšuje rychlost a destrukční potenciál stékající vody na půdu (Holý, 1994), ale díky pokrytí většiny plochy povodím lesním porostem není toto téma palčivým problémem.

V neposlední řadě se tématu vlivu odlesnění na hydrologický režim krajiny věnoval sám autor, který ve své bakalářské práci srovnával změny v intenzitě odtoku v závislosti na různých typech změn vegetačního pokryvu. Závěrem práce bylo kromě jiného i zjištění, že při významné změně vegetačního pokryvu dojde k nárůstu vydatnosti odtoku a k hledání nové rovnováhy. Dalším zjištěním bylo, že při výrazné změně vegetačního pokryvu v oblastech s nižším souhrnným úhrnem srážek, byl paradoxně odtok k poměru spadlých srážek vyšší, než ve vlhčích oblastech s vyšším úhrnem srážek, kde byl odtok z povodí poměru k těmto spadlým srážkám nižší. Výsledky kromě jiného tak jasně ukázaly vysokou důležitost vegetace nejen v sušších oblastech s nižším výskytem vláhy, kde je hydrologický cyklus zranitelnější, ale z pohledu životního prostředí i na důležitost vegetačního krytu jako takového (Salinger, 2017).

2.7. Experimentální povodí na Šumavě

Experimentální povodí umožňuje přesně pozorovat, jak probíhají ekosystémové procesy ve volné krajině. Na Šumavě jakožto významné oblasti s přirozenou akumulací vod a jako zdrojnicí celého povodí Vltavy bylo založeno v roce 1965 reprezentativní území na povodí Volyňky, které mělo za cíl pozorovat přírodní procesy i v interakci s antropogenní činností.

Dále následovalo v roce 1974 zřízení povodí Liz. Po roce 2000 dochází k zakládání dalších monitorovacích stanovišť a automatizovanými systémy, které využívají dálkový přenos dat a monitorují hydrometeorologické parametry a hydrologického režimu půd. Tyto se nacházejí především ve vyšších partiích Národního parku Šumava a jsou pokryty rozdílnými vegetačními pokrývky a jejich zaměření je také rozdílné. Jsou to Poledník - monitoruje usazené srážky z větrem hnané nízké oblačnosti a mlhy, Jezerní hora - doplňuje monitoring sněhové pokrývky a teploty vzduchu. Vysoký Stolec s pokryvem zdravého lesa, Malá Morkůvka - holina, Roklan - suchý les.

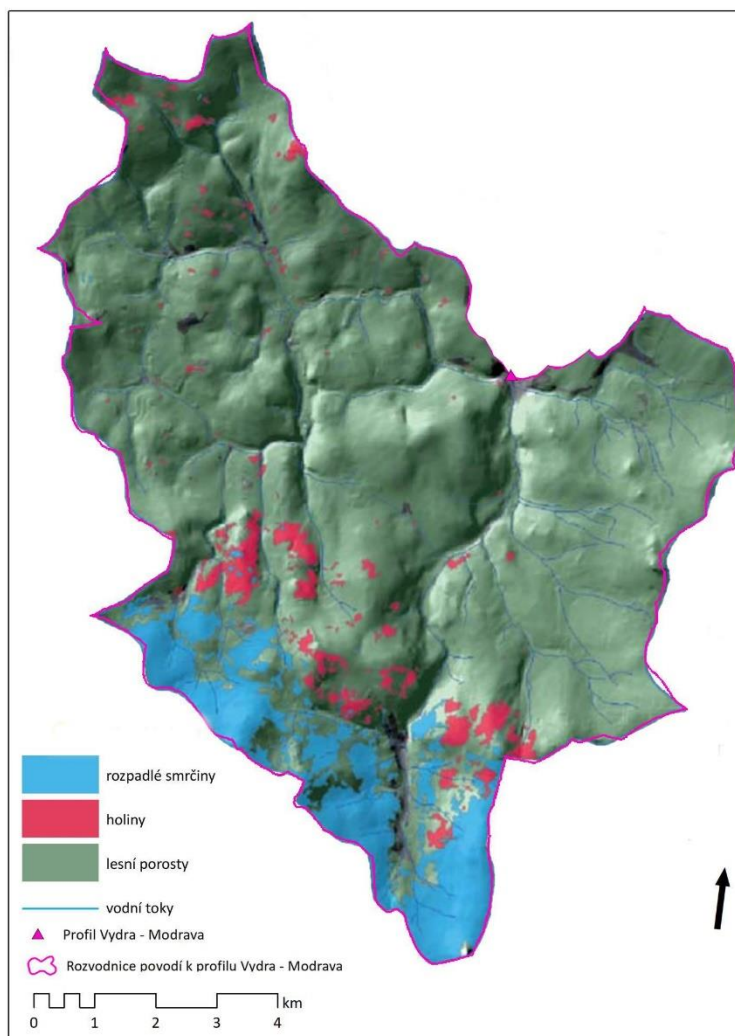
2.8. Studie ze Šumavy

1984

Výrazná kalamita v "novodobé historii" zasáhla Šumavu v letech 1983-1988. Díky výraznému suchu v roce 1982 a 1983 došlo k výraznějšímu výskytu kůrovce, nicméně zásadním faktorem byla vichřice z roku 1983, která měla za následek polomy o ploše 87 ha a objemu polomového dřeva 30 000 m³ a v roce 1984, kdy došlo k zasažení 86 ha a škodám dalších cca 30 000 m³ dříví. I díky izolovanosti oblasti hraničního pásma bylo v této době rozhodnuto o vytvoření bezzásahového území na ploše 5 500 ha. Ve výsledku více než polovina vzniklých polomů nebyla zpracována a došlo k masivnímu šíření kůrovce. Situaci nijak nepomáhalo další šíření lýkožrouta z NP Bavorský les, kde v té době také bylo několik bezzásahových oblastí (Zahradník, 2011).

1992

Další významný vzestup aktivity lýkožrouta se dá datovat do roku 1992, kdy byly díky leteckému snímkování odhaleny větší plochy výskytu. V letech 1995 a 1996 již byla napadeno prakticky celé zájmové území a kalamita se završila okolo roku 2000, kdy došlo k rozpadu smrkových porostů (viz obr. 12). Tato kalamita je opět spojována s nadměrným suchem a vysokými teplotami, které daly vyvinout v nižších polohách třem generacím a ve vyšších polohách dvěma generacím brouka. V souhrnu se uvádí plocha 2600 ha, která byla napadena a následně asanována (Skuhřavý, 2002).



Obr. 12: Následky žíru 1992-2000 na povodí Modravy (Šantrůčková a Vrba, 2010, upraveno)

2007

Na stanici Churáňov 18. ledna 2007 udeřil z jihozápadu orkán Kyrill, který si se škodami na vegetaci na nijak nezadal s vichřicemi na území Šumavy v 19. století. Maximální naměřený nárazový vítr byl 18. ledna 2007 ve 23:32h na stanici Churáňov naměřen 38 m/s (137 km/h), na stanici Velký Javor dokonce 47 m/s (169 km/hod). Třebaže Kyrill se poměrně výrazně zapsal do povědomí celé české veřejnosti díky velkým škodám na území celé republiky, orkány jako takové nejsou na území Šumavy nijak mimořádným jevem. Orkánem se uvažuje vítr o nejvyšším, dvanáctém stupni Beaufortovy stupnice síly větru, tj. o rychlosti vyšší, než 32,7 m/s (118 km/h). Kyrill stále bývá označován jako "stoletá vichřice", ale jen z údajů z období 1977-2007 viz Tab. 2 je zřejmé, že byl stejný, nebo větší vítr 3x, velké vichřice přicházení s periodou menší 100 let (NP Šumava, 2010). Srovnání popsaných kalamit a objemů polomového dřeva viz obr. 13.

| | | | | | | | | | | | |
|-------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| >32,5 | 12.11. 1977 | 26.11. 1983 | 23.11. 1984 | 24.11. 1984 | 20.01. 1986 | 20.10. 1986 | 19.12. 1988 | 13.12. 1989 | 22.12. 1989 | 25.01. 1990 | 04.02. 1990 |
| m/s | 33,0 | 33,1 | 38,0 | 41,1 | 37,1 | 33,0 | 33,7 | 36,0 | 32,9 | 32,6 | 33,0 |

| | | | | | | | | | | | |
|-------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| >32,5 | 26.02. 1990 | 01.03. 1990 | 09.03. 1990 | 23.12. 1991 | 24.01. 1993 | 09.12. 1993 | 22.01. 1995 | 23.01. 1995 | 27.01. 1995 | 26.10. 2002 | 18.01. 2007 |
| m/s | 36,9 | 44,4 | 33,3 | 32,5 | 34,4 | 34,0 | 33,6 | 37,4 | 34,4 | 32,5 | 38,0 |

Tab. 2: Orkány na území Šumava 1977-2007 (NP Šumava, 2010, upraveno)

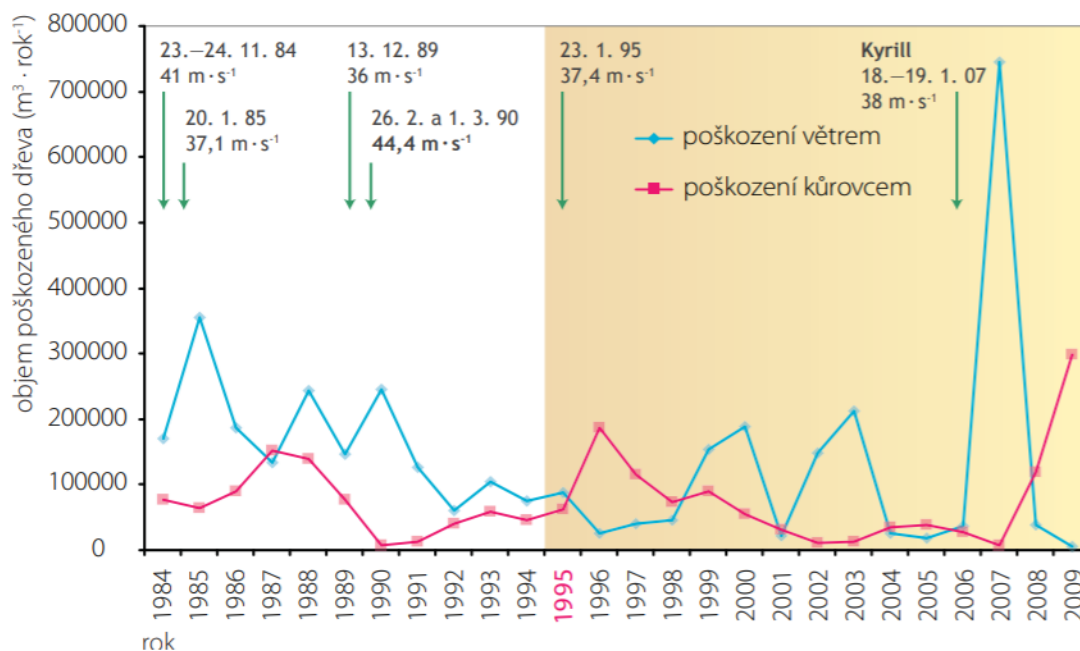
Objem polomové hmoty, následkem Orkánu Kyrill byly na Šumavě ale 853 036 m³, což je enormní množství a Hubený (2020) uvádí, že v následujících pěti letech bylo vytěženo 1 100 000 m³ polomového dřeva.

Dalším úhlem pohledu je i škoda na geneticky cenných porostech původních šumavských smrků, které byly často starší, než 140 let (Křenová, 2007). Otázkou tedy zůstává, jaká byla příčina těchto vysokých škod, pokud vichřice nejsou tak výjimečným jevem.

Hlavní příčinou se jeví, že pokud se intenzivní vítr setká se souvislou plochou lesa, hlavní nápor je plynule rozprostřen po celé ploše korun. Nyní se ale vítr napřel do širokých porostních ploch, které vznikly v minulých desetiletích působením větru a asanacemi kůrovce a porosty proředěných nahodilou těžbou.

Proto byly rozsáhlé velkoplošné vývraty a polomy zaznamenány především v oblastech Polomi, Ždánidel, Černé hory a okolí Třístoličníku. Naopak relativně slabý dopad měl Kyrill na bezzásahové území Morkůvky, Březník a Roklan a také v rašelinných smrčinách v okolí Modravské a Rokytské slatě (Křenová, 2007). K poškození jednotlivých stromů a výskytu menších skupin vývratů, docházelo dále především v nižších polohách celého národního parku.

Následující rok v březnu 2008 následoval orkán Emma, který nebyl tak intenzivní, jako Kyrill, tentokrát bylo postiženo 25 tisíc m³ dřeva. Poté následovala co do intenzity vichřic klidná několikaletá perioda s občasným narušením porostů. Janík a Romportl (2019) popisují hlavní trendy změn krajinného pokryvu v letech 2006 - 2012 jako pokles rozlohy jehličnatého lesa. Důležitým ukazatelem se jeví nárůst ploch stojícího suchého lesa v letech 2008-2011, stejně jako nárůst ploch holin a holin s hmotou ve stejném období.



Obr. 13: Běh větrných polomů a poškození kůrovcem v NP Šumava (Šantrůčková, Vrba 2010) barevné odlišení od r. 1995 označuje změnu zonace NP (pozn. aut.)

2015 - současnost

Nad rámec zaměření na pohoří Šumavy je vhodné uvést aktuální, období kalamit v "novodobé historii". Tato gradace lýkožrouta je na území celé České republiky velmi dramatická a dopady těchto rekordních kalamit budou jistě předmětem četných studií v blízké budoucnosti. Pro dokreslení představy můžeme uvést, že tato etapa započala velmi teplým a suchým rokem 2015.

Následující roky byly do sucha podobné, završené extrémním suchem v roce 2018. Díky společnému působení vlivů, jako je obrovský objem kůrovcového dříví, nedostatek pracovních a technických kapacit i dramatický pokles cen dřeva, se tak vyskytla situace, se kterou se naše lesní hospodářství dosud nesetkalo (Zahradník a Zahradníková, 2019).

Obnova těchto porostů tak bude představovat ještě velkou výzvu pro současnou i budoucí generaci lesníků, kteří budou mít ztíženou práci mimo jiné i díky průměrné teplotě, která v posledních sto letech stále stoupá a díky tomu se i výskyt dřevokazného hmyzu stále posouvá do vyšších nadmořských výšek (Bässler a kol., 2010).

3. Fyzickogeografická charakteristika zájmového území

3.1. Klimatická charakteristika

3.1.1. Teplotní charakteristika



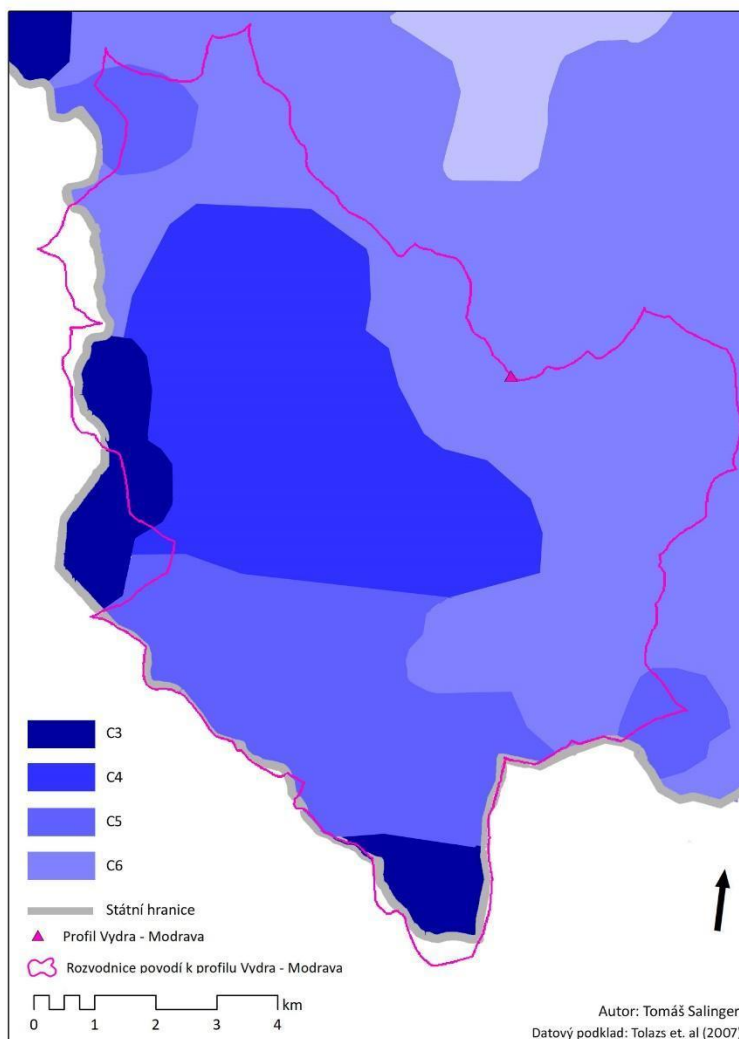
Obr. 14: - Zájmové území na pohledu z Malé Mokrůvky (Autor, 2021)

Důležitými faktory, které mají vliv na formování odtoku ze zájmového území, jsou klimatické poměry oblasti. Mezi ně patří především typ, intenzita a chod atmosférických srážek. Teplotní charakteristika má přímý vliv na výpar a tání sněhu, které je také významným prvkem formování odtoku. V neposlední řadě ovlivňuje srážkové poměry vítr.

Rozhodujícími prvky, které určují charakter klimatu je poloha území, nadmořská výška a členitost terénu.

Zájmové území náleží klimatické oblasti chladné (mírně chladný a chladný okrsek). Dle Atlasu Podnebí (2007) (Quittovo členění) spadá zájmové území do klimatických oblastí C3, C4, C5 a C6 (zanedbatelnou částí plochy i do oblasti C7) (Čurda, 2009).

Klimatické oblasti dle Quittovy klasifikace klimatu



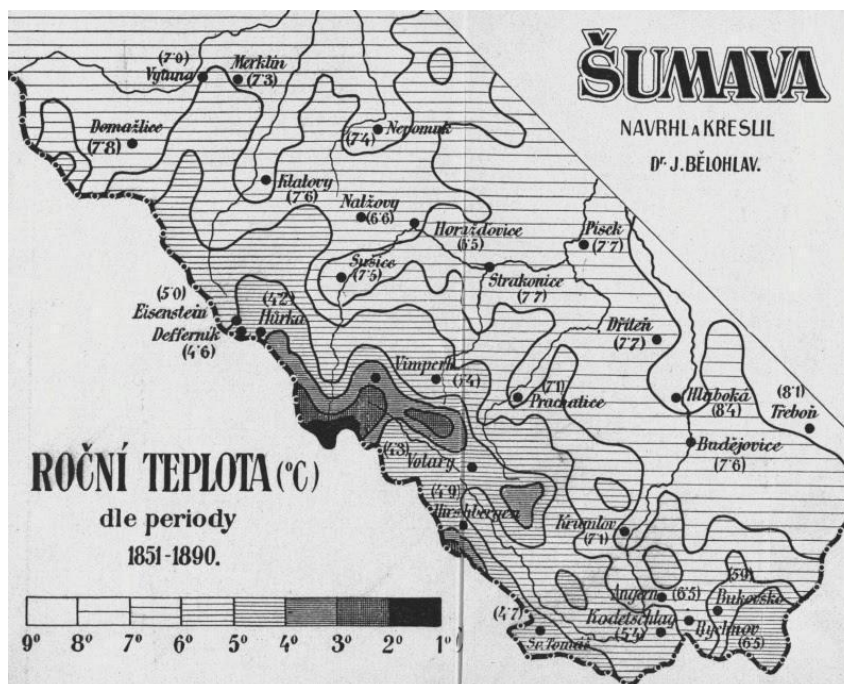
Obr. 15: Klimatické oblasti dle Quittovy klasifikace klimatu dle Tolasz et al. (2007), (Autor, 2021)

Zájmové území náleží klimatické oblasti chladné (mírně chladný a chladný okrsek). Dle Atlasu Podnebí (2007) (Quittovo členění) spadá zájmové území do klimatických oblastí C3, C4, C5 a C6 (zanedbatelnou částí plochy i do oblasti C7) (Čurda, 2009).

Podrobný přehled klimatických faktorů v oblasti je k dispozici v tabulce č. 3 na následující straně. Pro ucelenou představu o historii mapování podnebí zájmové oblasti je k dispozici historická mapa klimatickým poměrů z roku 1851-1890 na straně 43. na obr. 16.

| | C3 | C4 | C5 | C6 |
|---|--------------|--------------|--------------|--------------|
| <i>Počet letních dnů</i> | 0 až 20 | 0 až 20 | 10 až 30 | 10 až 30 |
| <i>Počet dnů s průměrnou teplotou 10°C a více</i> | 80 až 120 | 80 až 120 | 100 až 120 | 120 až 140 |
| <i>Počet mrazových dnů</i> | 160 až 180 | 160 až 180 | 140 až 160 | 140 až 160 |
| <i>Počet ledových dnů</i> | 60 až 70 | 60 až 70 | 60 až 70 | 60 až 70 |
| <i>Průměrná teplota v lednu (°C)</i> | (-7) až (-8) | (-6) až (-7) | (-5) až (-6) | (-4) až (-5) |
| <i>Průměrná teplota v červenci (°C)</i> | 12 až 14 | 12 až 14 | 14 až 15 | 14 až 15 |
| <i>Průměrná teplota v dubnu (°C)</i> | 0 až 2 | 2 až 4 | 2 až 4 | 2 až 4 |
| <i>Průměrná teplota v říjnu (°C)</i> | 2 až 4 | 4 až 5 | 5 až 6 | 5 až 6 |
| <i>Průměrný počet dnů se srážkami 1 mm a více</i> | 120 až 140 | 120 až 140 | 120 až 140 | 140 až 160 |
| <i>Srážkový úhrn ve vegetačním období (v mm)</i> | 600 až 700 | 600 až 700 | 500 až 600 | 600 až 700 |
| <i>Srážkový úhrn v zimním období (v mm)</i> | 400 až 500 | 400 až 500 | 350 až 400 | 400 až 500 |
| <i>Počet dnů se sněhovou pokrývkou</i> | 140 až 160 | 140 až 160 | 120 až 150 | 150 až 160 |
| <i>Počet dnů zamračených</i> | 140 až 150 | 130 až 150 | 140 až 150 | 150 až 160 |
| <i>Počet dnů jasných</i> | 30 až 40 | 30 až 40 | 30 až 40 | 40 až 50 |

Tab. 3: Klimatická charakteristika zájmového území (dle Čurda, 2009)



Obr. 16: Klimatické poměry Šumavy v období 1851-1890 (Bašta, 1908).

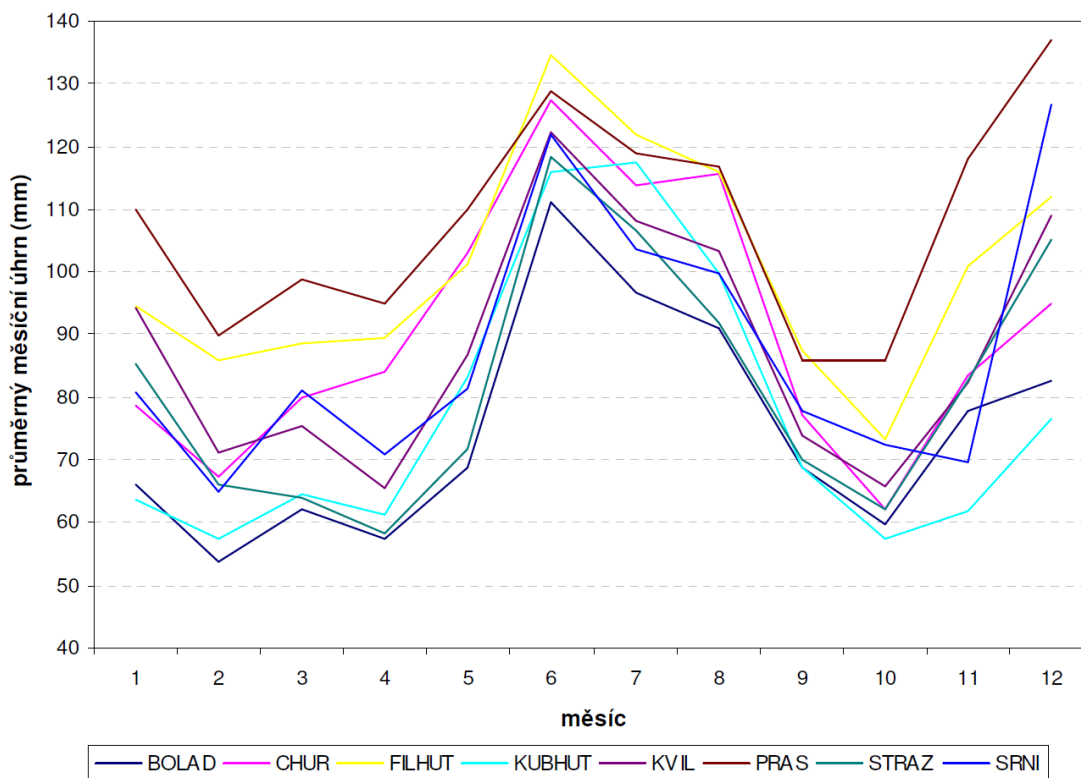
3.1.2. Srážková charakteristika

Srážkový režim je fundamentální prvek srážko-odtokového cyklu. Šumava jako celek je v tomto ohledu ve srovnání se zbytkem naší republiky netypická, roční srážkový úhrn je vysoký a lesní porosty jsou zde vystaveny náročným podmínkám. Jak uvádí Šobr (1999 in Marek, 2005) srážkový úhrn na území Šumavy se pohybuje v rozsahu 730mm v oblastech, které leží ve srážkovém stínu po 1550mm na Březníku a nevylučuje, že v některých oblastech může docházet i k vyšším srážkám. Strnad (2003) přímo Březník označuje za nejdeštivější místo na Šumavě se srážkami až 1552 mm.

Konkrétně zájmová oblast této práce dle Tolasze a kol., (2007) se nachází v části Šumavy s nejvyšším ročním úhrnu srážek, který je v rozsahu 1000-1200mm, kdy platí, že srážky narůstají přímo úměrně s nadmořskou výškou. Rozložení srážek v rámci roku je v návětrné části Šumavy celkem rovnoměrné období maximálního úhrnu srážek je červen a červenec, případně prosinec.

V období prosince je hlavní příčinou navýšení úhrnu srážek především prouděním relativně teplého jihozápadního proudění vzduchu od moře. Šumavské hřbety orientované od jihovýchodu k severozápadu jsou tak tomuto proudění přirozenou překážkou. Díky vlivu fénu z Alp, které jsou v tomto ohledu relativně nedaleko tak má Šumava obecně teplejší podnebí a nižší úhrnné srážky v porovnání s ostatními četnými pohořími (Chábera a kol., 1984). Červencové srážky jsou zapříčiněny především boufkami a jejich chod je nepravidelný (Kubíček, 2006). Naopak minima úhrnu srážek se vyskytují říjnu, a únoru, případně dubnu (Lejsková, 2000).

Komplexnější představu o chodu průměrných srážek získáme z obr. 17 viz níže.



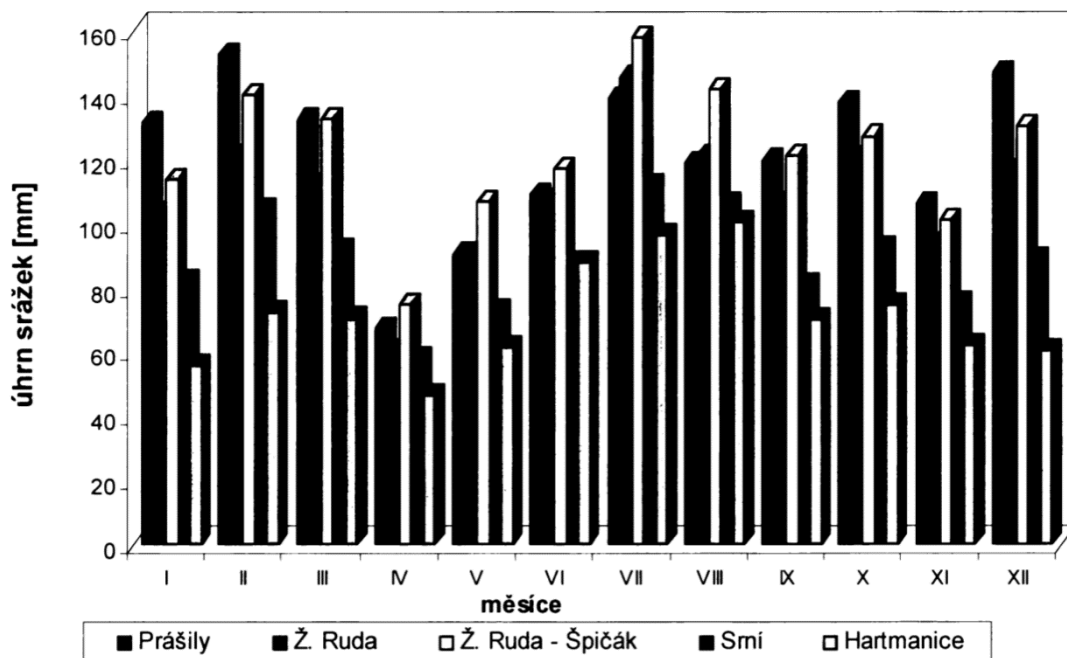
Obr. 17: Roční chod srážek na vybraných stanicích za období 1961-1990

Vysvětlivky: BOLAD – Borová Lada, CHUR – Churáňov, FILHUT – Filipova Huť, KUBHUT – Kubova Huť, KVIL – Kvilda, PRAS – Prášily, STRAZ – Strážný, SRNI - Srní (Kubíček, 2006)

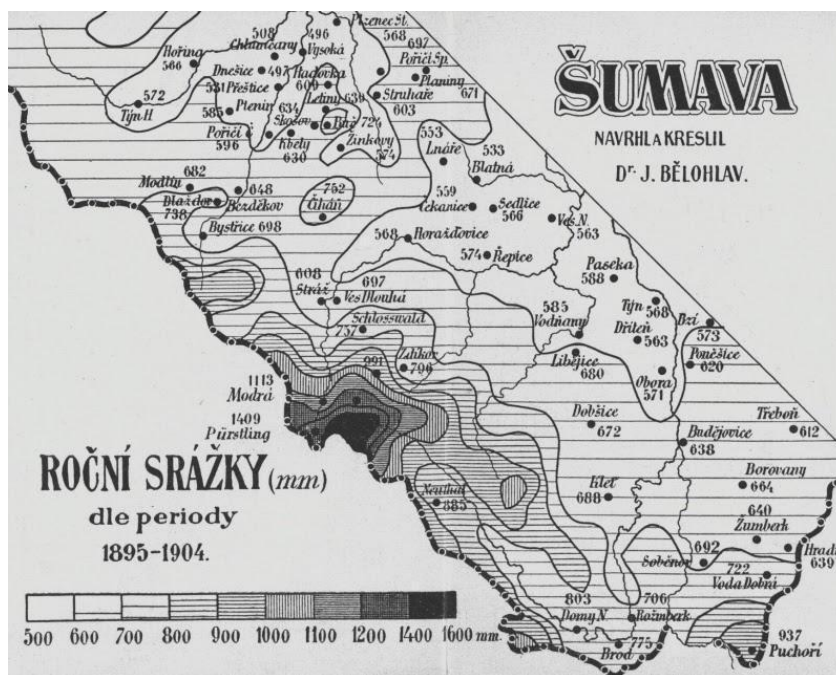
Zajímavým faktorem teplotní charakteristiky území jsou tzv. mrazové kotliny. Jedna taková se nachází v údolí Luzenského potoka a je zde častý výskyt mlh. V mlžné a oblačné vodě, ale dochází k až řádově vyšší koncentraci síranů a dusičnanů, což má velký ekologický význam (Hruška a kol., 2005).

Takové prostředí pak může svým působením dlouhodobě negativně ovlivňovat obranyschopnost smrkových porostů proti abiotickým i biotickým faktorům, především lýkožrouta smrkového. Na to rozvoj případné kalamity pak má rozhodný vliv i stejnověkost a složení porostů, v tomto případě fakt, že tyto porosty jsou monokultura. (Skuhravý 2002).

Srážková charakteristika této oblasti si zaslouží si velkou pozornost. Z historického hlediska zde bylo měření prováděno poměrně pečlivě, nicméně hustější síť měrných stanic by zvýšila přesnost měření nejen srážkových úhmů. Na obr. 18 je příklad výsledku měření vybraných stanic na Šumavě. Na obr. 19 je patrný vztah vyšších srážek s hřebenem pohoří.

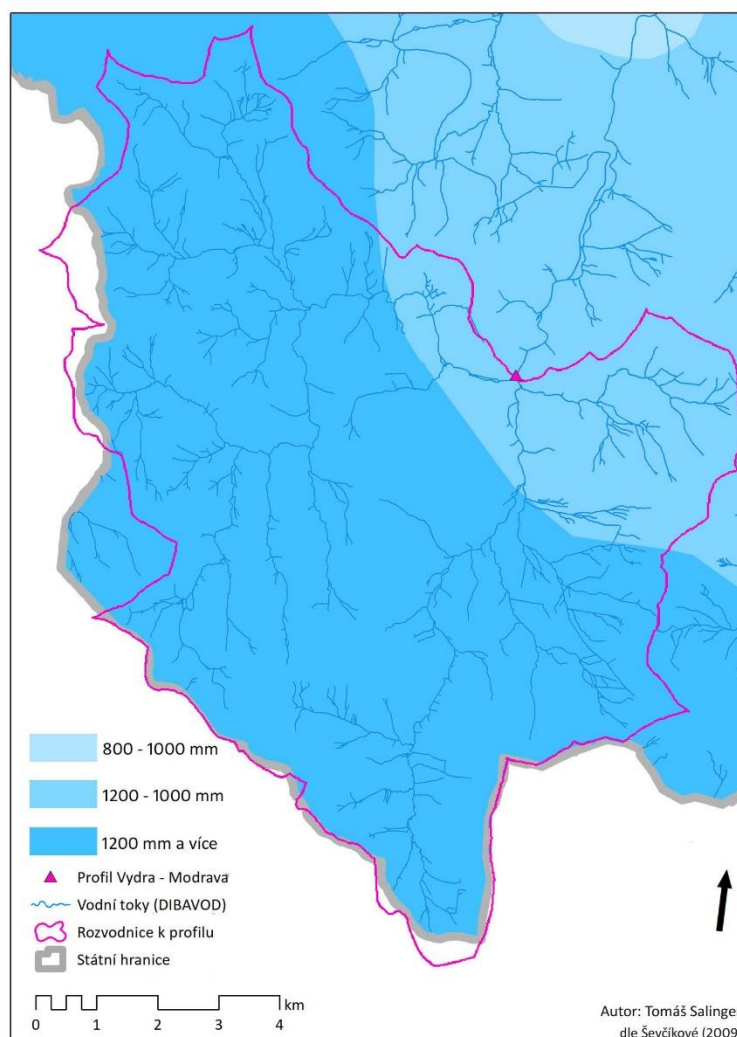


Obr. 18: Měsíční rozložení srážek ve vybraných stanicích v letech 1996-2005 (Marek, 2007)



Obr. 19: Klimatické poměry Šumavy v období 1895-1904 - srážky (Bašta, 1908)

Rozložení průměrného ročního úhrnu srážek



Obr. 20: Mapa rozložení průměrného ročního úhrnu srážek dle Ševčíkové (2009), (Autor, 2021)

Důležitým tématem pro vyhodnocování dat je ale jejich sběr. Zde se hodí říci, že v blízkém okolí zájmového území je jiná profesionální meteorologická stanice a tou je Churáňov. Díky tomuto omezení tak je pro lepší ilustraci uveden výše na Obr. 20.

3.1.3. Sněhové poměry

Sněhové srážky a sněhová pokrývka jsou důležitými složkami hydrologického cyklu. Ve vztahu ke srážko-odtokovému procesu pak hraje roli míra rozmanitosti sněhové pokrývky i načasování fáze akumulace a tání, případně další procesy.

Zájem o problematiku vlivu lesa na akumulaci a tání sněhu roste, ale jak uvádí Pomeroy a kol., (2012) ve specificky malých povodích horského typu zatím stále není k dispozici dostatečný počet prací, které by se věnovaly vztahu citlivosti odtoku z povodí na změny struktury lesa.

Velmi aktuální se ale v našem prostředí jeví práce Hotového a Jeníčka (2019). Ti se v povodí Ptačího potoka zaměřili na vliv disturbance lesa na energetickou bilanci sněhové pokrývky se zaměřením na krátkovlnnou radiaci (SWR) a dlouhovlnnou radiaci (LWR). Poukázali zde jednak na jasnou souvislost rychlého úbytku sněhové pokrývky na plochách zasažených disturbancí a nižší rychlost tání sněhové pokrývky ve zdravém lese. Autoři také poukazují na fakt, že díky rozdílnosti ve vegetačním pokryvu dochází k rozdílným rychlostem tání sněhové pokrývky, třebaže se tyto stanoviště nacházejí v navzájem podobné nadmořské výšce. Protože se tyto jevy týkají nízkých teplot, které jsou i několik měsíců v roce, velmi výrazným způsobem tak díky těmto faktorům dochází k ovlivnění ročního chodu celkového odtoku z povodí.

Kromě vlastního úhlu pohledu této práce - tj. změny vegetačního pokryvu, je vhodné zmínit problematiku tání sněhové pokrývky především v jarních měsících a s tím související přímé riziko ohrožení přírodního prostředí, infrastruktury či obyvatel. Z těchto důvodů v práci autoři roli vyzdvihují hydrologických modelů při předpovědi případných mimořádných událostí.

V zájmového území je průměrný počet dnů kdy padají sněhové srážky vyšší než sto dní v roce, což z ní dělá oblast s největším počtem dní sněžení v České republice. V nižších oblastech území leží sníh 120 - 140 dní v roce a v nejvyšších oblastech dokonce 160 dní v roce. Výše maximální výšky sněhové pokrývky se pohybuje v závislosti na nadmořské výšce mezi 50 - 150 cm (Ševčíková, 2019).

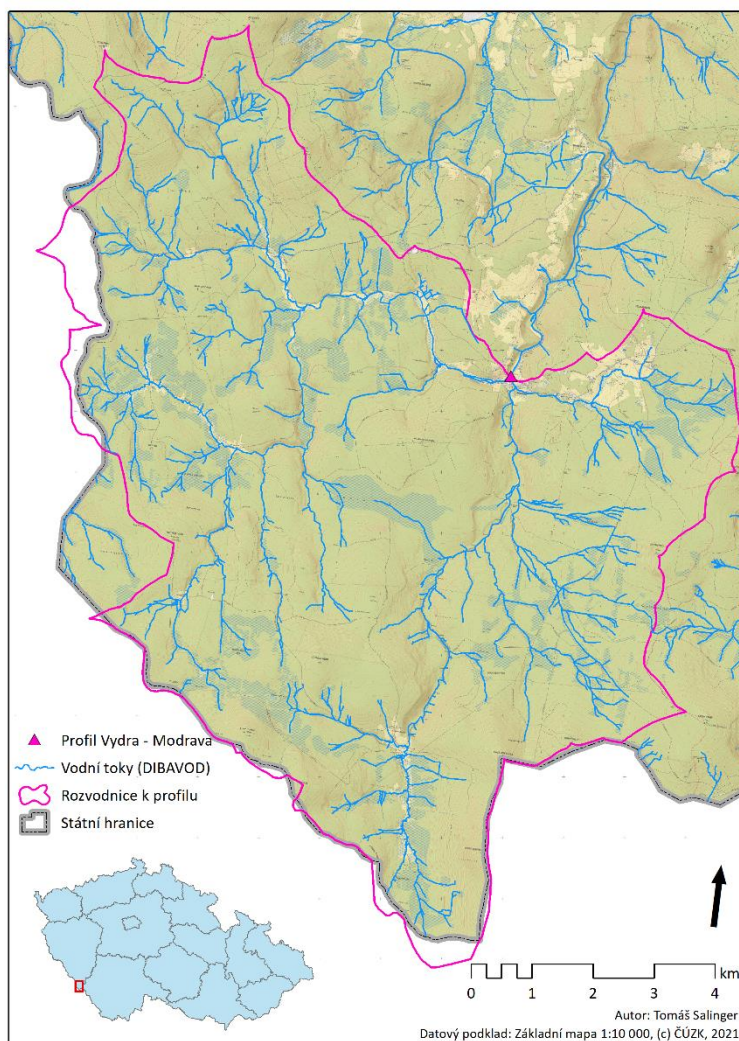
3.2. Geomorfologické charakteristiky povodí

3.2.1. Geografické vymezení území

Zájmové území této práce je část povodí řeky Vydry, která se nachází v plzeňském kraji, v centrální části pohorí Šumava v oblasti tzv. Modravských plání. Tyto pláně leží v nejvyšších partiích Šumavy, jsou obklopeny ze tří stran hranicemi s Bavorskem a mají charakter náhorní plošiny s relativně zarovnaným povrchem. Pláně se od zbytku Šumavy odlišují svými poměry, panují zde tvrdé klimatické podmínky. Zůstaly zde zachovány mnohé ohrožené druhy rostlin, živočichů a část území je veřejnosti nepřístupná. Povodí Vydry je z hydrologického hlediska v širším pohledu součástí pramenné oblasti řeky Otavy. Hranice povodí o rozloze 90,41 km² se nachází severně od obce Modrava.

Orientace řeky Vydry je severojižní a má ve svém horním toku charakter horské říčky s mnoha peřejemi. Horní tok je primárně tvořen dvěma zdrojnicemi - Roklanským a Modravským potokem - jejich soutok se nachází v obci Modrava. Zde se také nachází vodoměrná stanice ČHMÚ Vydra-Modrava a závěrný profil povodí s evidenčním číslem 1-08-01-013. Od tohoto místa nese řeka jméno Vydra - podle výskytu vyder říčních. Délka toku Vydry až k Čeňkově pile, kde se stéká s Křemelnou je 12 km, a dále již tvoří řeku Otavu. Část zájmové oblasti leží mimo hranice České republiky a díky nevelké rozloze není pro práci rozhodující, a proto se neuvažuje.

Mapa zájmového území



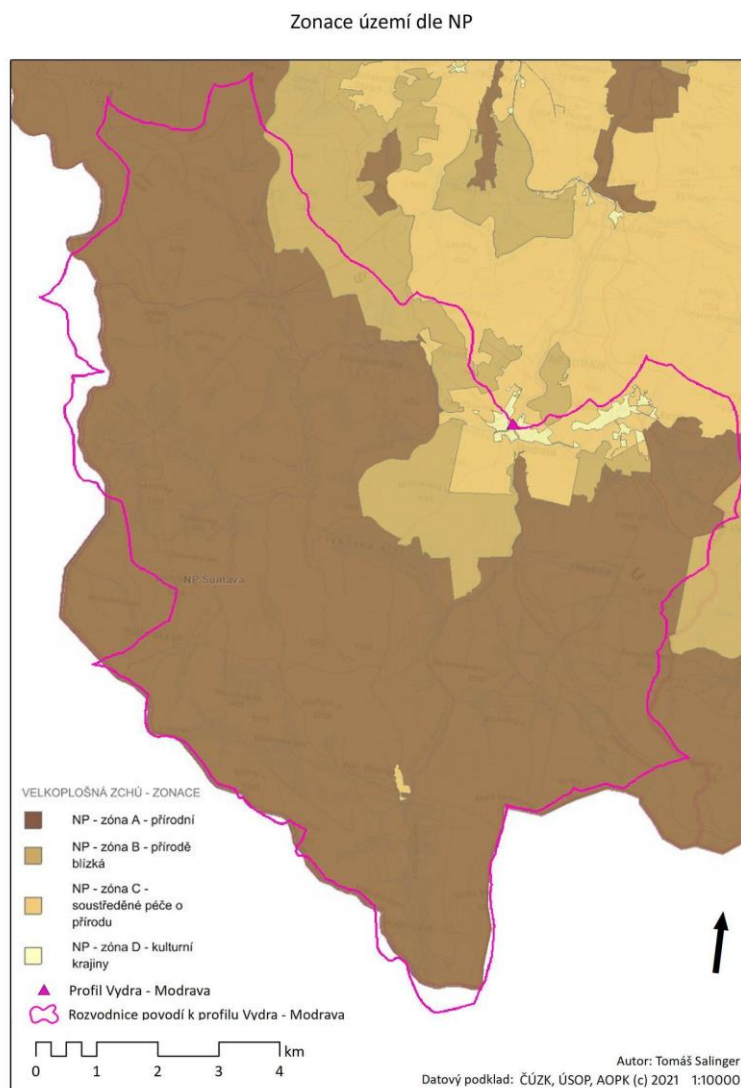
Obr. 21: Přehledná mapa zájmového území (Autor, 2021)

Zájmové území celé spadá do oblasti Národního parku Šumava. V souladu s relativně novou zonací národních parků je převážná většina území v zóně A - viz obr. 22: *Zonace území dle NP* - tj. v zóně přírodní, která je ucelenou plochou s převažujícím výskytem přirozených lesních ekosystémů smrčín, rašelinných lesů, lužních lesů a bučin, dále přirozených mokřadních pramenišť, slatinných rašelinišť a vrchovišť. Tyto jsou také nad rámec českých zákonů chráněné Ramsarskou konvencí a patří mezi mokřady mezinárodního významu. Cílem zóny je uchování či obnova samořídících funkcí ekosystémů a omezení lidských zásahů do přírodního prostředí k uchování tohoto stavu.

V severní části povodí se také nachází Přírodě blízká zóna, ve které se nachází člověkem částečně pozměněné lesních ekosystémy smrčín, rašelinných lesů, suťových lesů, lužních lesů a bučin - cílem této zóny je dosažení stavu odpovídajícího přirozeným ekosystémům. V okolí obce Modrava je již zóna C, což jsou plochy s převažujícím výskytem významně pozměněných lesních ekosystémů smrčín, lučin

a pastvin a dalších ekosystémů, jejich existence je podmíněná trvalou činností člověka.

Přímo v obci Modrava jsou pak plochy zóny D - tzv. kulturní krajiny, kterou tvoří zastavěné plochy a zastavitelná území obcí a na ně navazující antropogenní plochy se sporadickým výskytem vegetací mimo sídla, případně pozměněné ekosystémy lesních kultur, intenzivně obhospodařovaná pole a luka, která jsou trvale využívána člověkem. (Vyhláška č. 42/2020 Sb.)



Obr. 22: Zonace území dle NP - data ČÚZK, ÚSOP, AOPK ČR, (Autor, 2021)

3.2.2. Geomorfologické členění a výškové poměry

Šumavské pláně jsou pozůstatkem třetihorního tektonicky zdviženého zarovnaného pohoří. Reliéf tvoří ploché horské hřbety přecházející pozvolnými svahy v mělké deprese nebo široká údolí toků, často vyplněná rašeliništi. Nad plochý nebo jen mírně

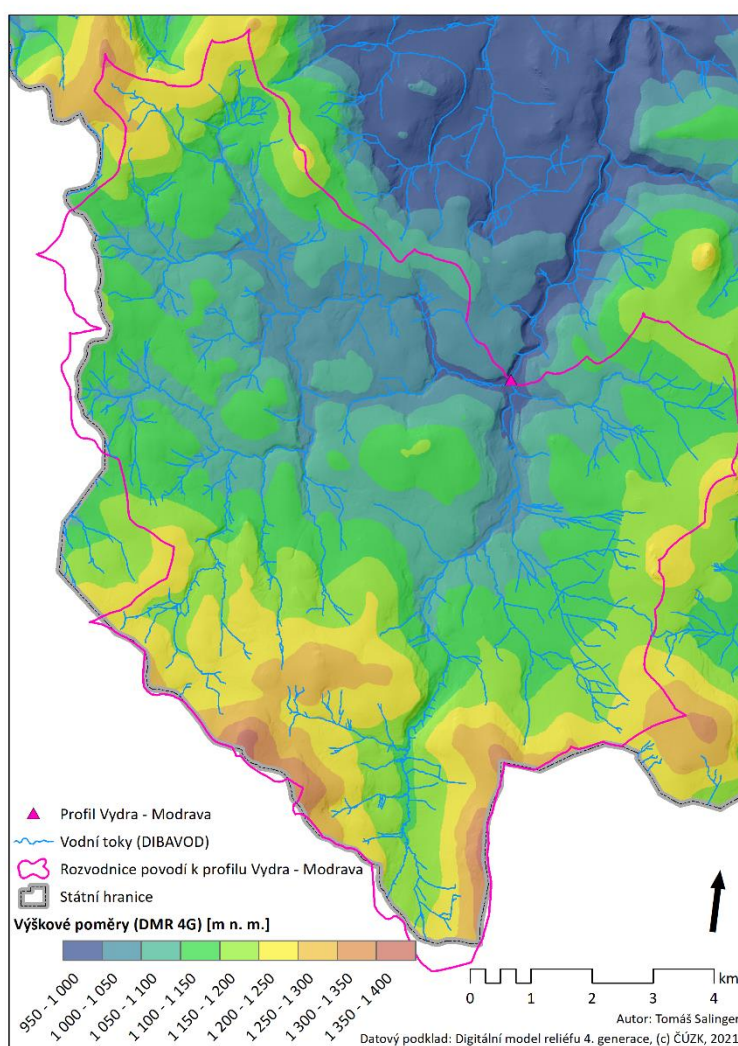
zvlněný povrch Šumavských plání vystupují klenuté kupy nejvyšších vrcholů s výškami přes 1200 m n. m. (Chábera a kol., 1984).

Z hlediska geomorfologického členění je Šumava vrásovo-zlomové pohoří s okraji vysokými kolem 1000 m, které se rozkládá po obou stranách státní hranice Česka s Německem a Rakouskem (Marek, 2007).

3.2.3. Výškové a sklonitostní poměry

Nadmořské výšky území se pohybují od 977 m n. m. (soutok Roklanského a Modravského potoka) do 1373 m n. m. (Luzný)

Výškové poměry území



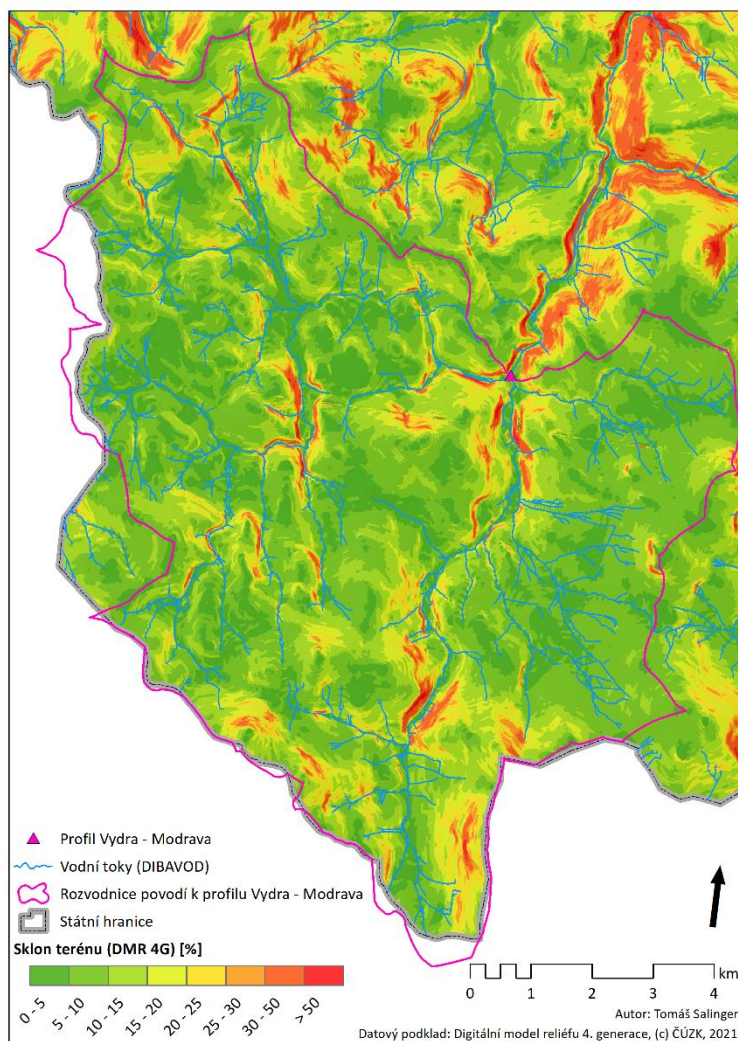
Obr. 23: Výškové poměry území (Autor, 2021)

Z grafického zobrazení na obr. 23 je dobře patrné, že ačkoliv je zájmové území horským povodím, jedná o relativně ploché území.

Střední sklon svahů se pohybuje okolo 5,5° na 90 % svahů nepřekračuje sklonitost do 10° - maxima se objevují na omezeném úseku dolního toku Vydry (obr. 24).

Z hlediska expozice ke světovým stranám mají největší procentuální zastoupení svahy exponované směrem na západ, severozápad a severovýchod. Říční síť v zájmovém území lze charakterizovat jako hustou (Kocum, 2011).

Sklonitostní poměry území



Obr. 24: Sklonitostní poměry území (Autor, 2021)

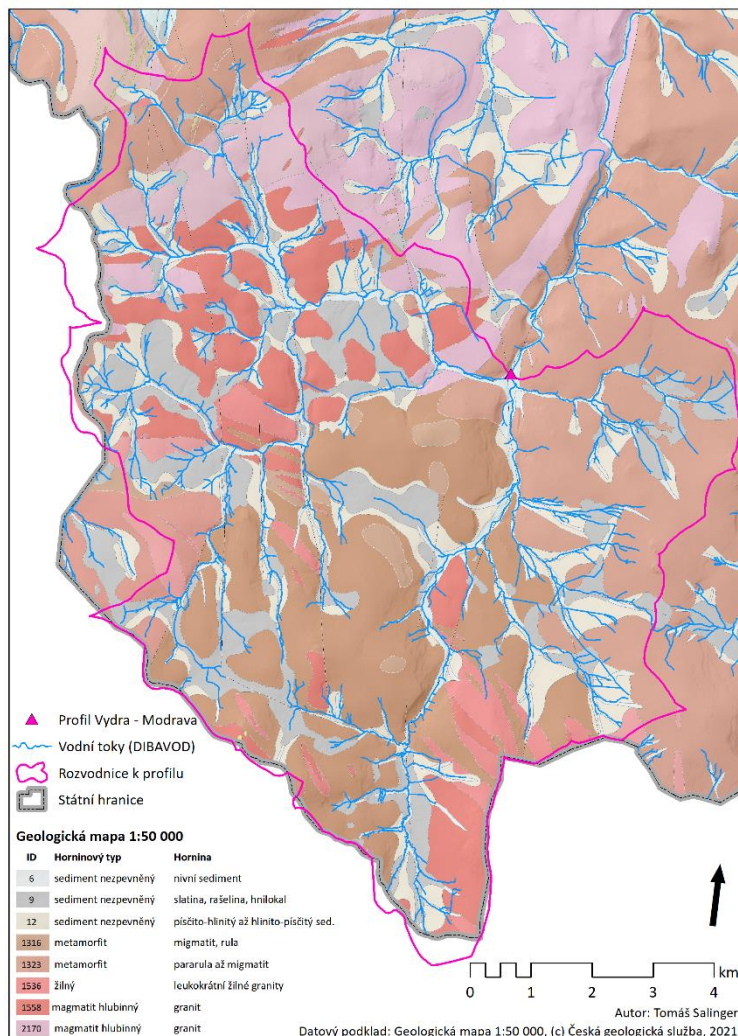
3.3. Geologické poměry

Šumava jako celek náleží k tzv. šumavské větvi moldanubika (vltavsko-dunajská elevace) krystalinika Českého masivu. Hlavní složkou této vrstvy jsou krystalické břidlice a migmatity spolu s tělesy hlubinných vyvřelin - granitoidy (Chábera, 1987). Šumavská pláň jsou zjednodušeně řečeno zbytkem zarovnaného povrchu z období konce druhohor. Do současné výšky byl zdvižen v třetihorách. Nad úroveň mírně zvlňeného reliéfu tak vystupují tzv. suky, tj. vrcholy z odolnějších hornin. Vývoj říční

sítě horního toku řeky Otavy jako celku vysvětluje Kunský (1933) jako vzniklý díky zpětné erozi toku, která ale ještě nedosáhla pramenné oblasti.

Podél vodních toků se objevují uloženiny – hlíny, spraše, písky a štěrky. Oblast patří na Šumavě k nejrozsáhlejším komplexům slatí a rašelinišť, ty jsou holocenního stáří. O rašeliništích více v kapitole **3.4.2. Rašeliniště**.

Geologická stavba území



Obr. 25: Geologická stavba území (Autor, 2021)

3.4. Půdní poměry

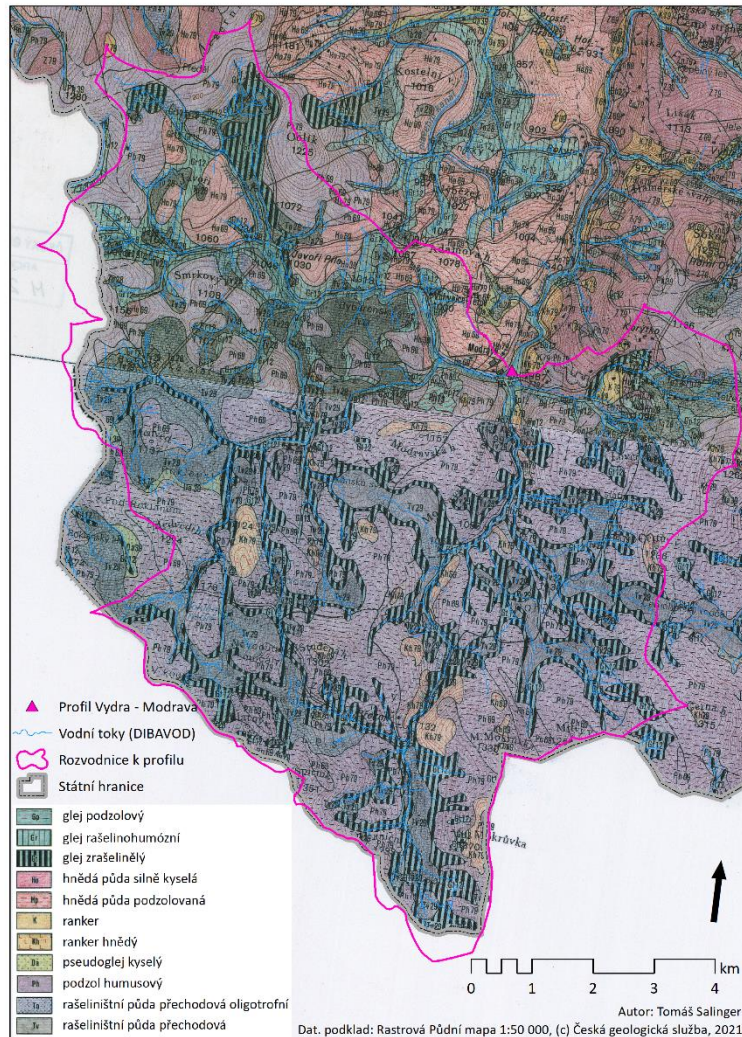
3.4.1. Pedologie území

Vlastnosti půdního pokryvu spolu s geologickými poměry území jsou důležité faktory, které ovlivňují odtok z povodí. V závislosti na propustnosti povrchových vrstev tak dochází k různé intenzitě rozdělení odtoku na povrchový a podpovrchový odtok a následně k ovlivnění intenzity vsaku do spodních vrstev například v případě vydatných srážek. Šercl (2007) k tomu uvádí obecné pravidlo, že v případě většího vsaku srážek do spodních horizontů přispívá k prodloužení doby retence vody v povodí a tím například ke zmenšení kulminačního průtoku povodně. Naopak méně propustné svrchní vrstvy spolu s větším sklonem svahů se obecně projevují zvýšením podílu povrchového odtoku na objemu povodně. U sklonitých území s dobře propustnými půdami, ale s malou retenční schopností mají relativně krátké doby retence. Pokud se srovná objem zadržované vody v půdě s objemem vody v nádržích a vodních tocích - objem vody v půdě je řádově vyšší (Kutílek, 1978).

Zájmová oblast má ráz horského povodí s převahou kyselých substrátů a rašelinišť. Horská povodí mají svá specifika například směrem k povodňovým událostem. Konkrétním výzkumem zadržení vody půdou v povodí horských pramenných oblastí Šumavy se zabývá Lichner a kol., (2004). Výsledky jeho studií ukazují, že retenční kapacita půdy, je v těchto oblastech asi 60–90 mm, stejně jako v Krkonoších a Jizerských horách. Důvodem, proč se tak děje i v jiných oblastech jsou dle Eliáše a kol. (2002) především podobné klimatické a výškové podmínky, které vedou ke vzniku podobných půd. To je tedy hlavní příčinou toho, že deště o úhrnu nad 60 mm v podmínkách krystalinika vyvolávají povodňové události.

Pedologickému výzkumu této oblasti se také šířeji věnovala Hudečková (2008). Ta uvádí, že kryptopodzoly, které se zde vyskytují typicky v nadmořských výškách nad 800 m n. m. Vznikaly převážně pod původními porosty kyselých horských bučin, případně smrčin v chladném a vlhkém klimatu. Jako půdotvorný substrát těchto rezivých půd se působí především zvětraliny kyselých hornin, ale i sedimentů. Struktura kryptopodzolů je také velmi často mělká a výrazně skeletovitá.

Geografické rozložení půdních typů



Obr. 26: Geografické rozložení půdních typů ve studovaném území (Autor, 2021)

Výskyt podzolů je dále dle Hudečkové (2008) zastoupen častěji ve vlhkém a chladném klimatu nejvyšších horských poloh. Tento typ půdy tak vznikal především v jehličnatých a především smrkových lesích a nikdy neprosýchá. Důvodem pro jsou i roční úhrnné srážky převyšující 800mm. Nejčastěji se v této vrstvě vyskytují zvětraliny minerálně slabších hornin, rul, žul, pískovců a svorů. Dochází k častému mísení s kryptopodzoly.

3.4.2. Rašeliníště

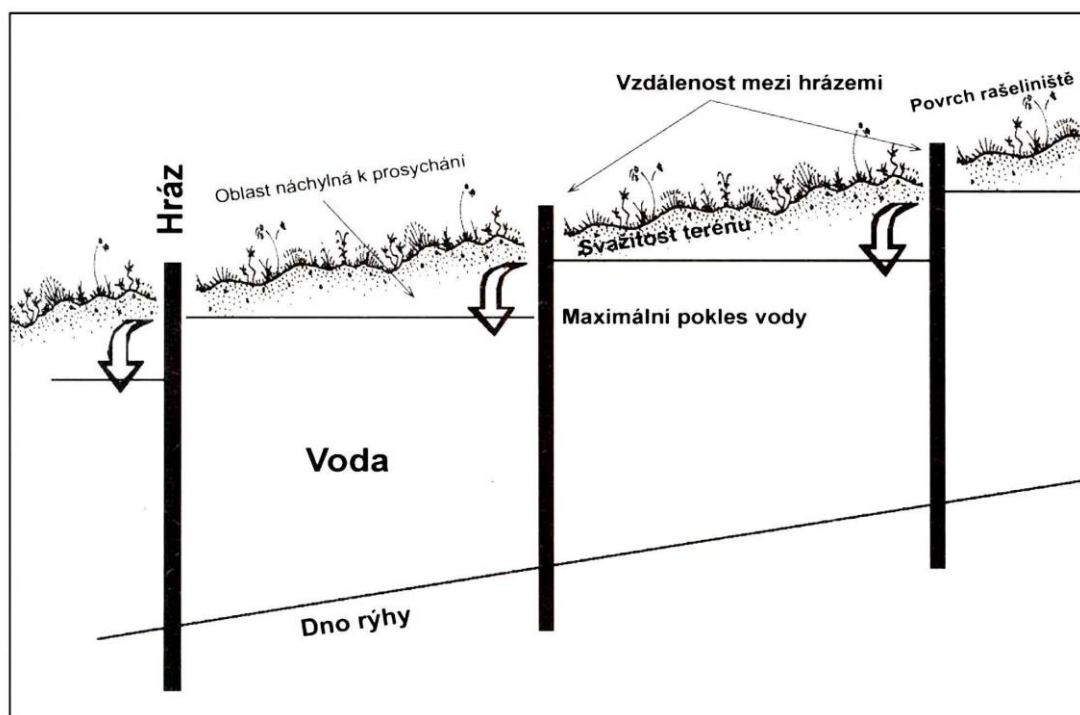
Pramenné oblasti vodních toků jsou obecně rozhodující pro výsledné formování odtoku. Tyto oblasti jsou z hlediska fyzickogeografických poměrů velmi různorodá a území české strany Šumavy není výjimkou. Významným, ale nikoliv jediným specifickým je existence ploch vrchovištních komplexů, které tak představují ekologický fenomén zdejší krajiny (Doležal, 2020).

V území pramenné oblasti Vydry je tak rozhodujícím faktorem studium vlivu tohoto jevu na hydrologický režim zdejší krajiny a tvorbu odtoku (Kocum, 2012). Až po soutok řek Vydry a Křemelné zaujímají rašeliniště a hydromorfní půdy přibližně 15 % rozlohy v součtu celkové plochy obou povodí, přičemž pouze v povodí Vydry se jedná téměř o jednu třetinu (Janský, 2004).

Výzkum hydrologického režimu rašelinných oblastí na Šumavě započal již na konci 60. let 20. století (Ferda, 1969), (Ferda a kol., 1971). V té době byla rašeliniště chápána jako ideální regulátor průtoků, který v době vysokých srážkových úhrnů vodu akumuluje a v době sucha jí dotuje vodní toky.

Tato teorie byla s přibývajícím poznatky později upravena a zahraniční literatura se přiklání k názoru, že rašelinné oblasti spíše umocňují odtok v období srážek, jelikož jsou po celý rok téměř zcela nasyceny a v době sucha toky nedotují (Burke, 1975), (Moklyak a kol., 1975).

Novodobý výzkum rašelinných oblastí na Šumavě byl iniciován hlavně kvůli častému výskytu povodní v 90. letech 20. století, kdy bylo nezbytné detailní studium oblastí s vysokým retenčním potenciálem (Janský 2004; Čurda et al., 2011). Dalším impulsem byla prováděná revitalizační opatření rašelinišť, kde jsou přehrazovány nevhodné drenáže systémem pevných dřevěných hrází. Cílem této v Evropě osvědčené metody je zvýšit hladinu podzemní vody viz obr. 27 (Bufková a kol., 2010), zmírnit její kolísání v průběhu sezóny, podpořit zadržení vody v průběhu sucha a zpomalit odtok vody z lokality, který je v důsledku odvodnění nepřírozeně zvýšen (Bufková, 2009).



Obr. 27: Schéma přehrazení drenáže systémem pevných dřevěných hrází (zdroj: Portál Správy NP a CHKO Šumava)

V současné době je pak výzkum směřován zejména na zkoumání retenční kapacity pramenných oblastí ve vztahu k prohlubujícímu se suchu, případně vegetačním změnám (Bufková a Stíbal 2012), (Kučerová a kol., 2009).

3.4.3. Land use, land cover

Pro komplexnost posuzování vegetačního pokryvu je vhodné uvést i pohled obecný, z pozice land use a land cover. Tyto dva termíny jsou občas zaměňovány, ale obecně platí, že land use se myslí "využití krajiny" a s tím související přeměnou přírodního prostředí na prostředí vytvořené člověkem. Jako příklad takového prostředí můžeme označit sídla, pole, pastviny. Výstupem takového land use může být půdní eroze, degradace půdy, navýšení salinity či v některých oblastech desertifikace a je to tak proměnná, která ovlivňuje velikost intercepce v území a jeho infiltrační vlastnosti (Kemel, 1996). Jak také uvádí Di Gregorio a Jansenová (2000), land use představují opatření, aktivity, soubory vstupů lidí, které jsou prováděny v určitém typu krajinného pokryvu za účelem jeho vytváření, změny či naopak udržení.

Naproti tomu "land cover" se uvažuje krajinný pokryv je opět Di Gregoriem a Jansenovou (2000) chápán jako viditelný biologický a fyzický pokryv zemského povrchu. Pro ozřejmění je tedy land cover chápán jako travní porost - například pastvina, nebo golfové hřiště. Rekreační plochou v rámci land use se myslí například pláž, zábavný park atd.

Zájmové území povodí Modravy je tak v této definici výrazně přírodní, s minimem osídlení nebo zemědělsky obdělávané plochy, převažují lesy. Kromě ploch, které byly zasaženy kůrovcovou kalamitou a tedy následně ovlivněny zásahem člověka, je oblast bez významných změn v hospodářském využívání krajiny (Kocum a Čurda, 2011).

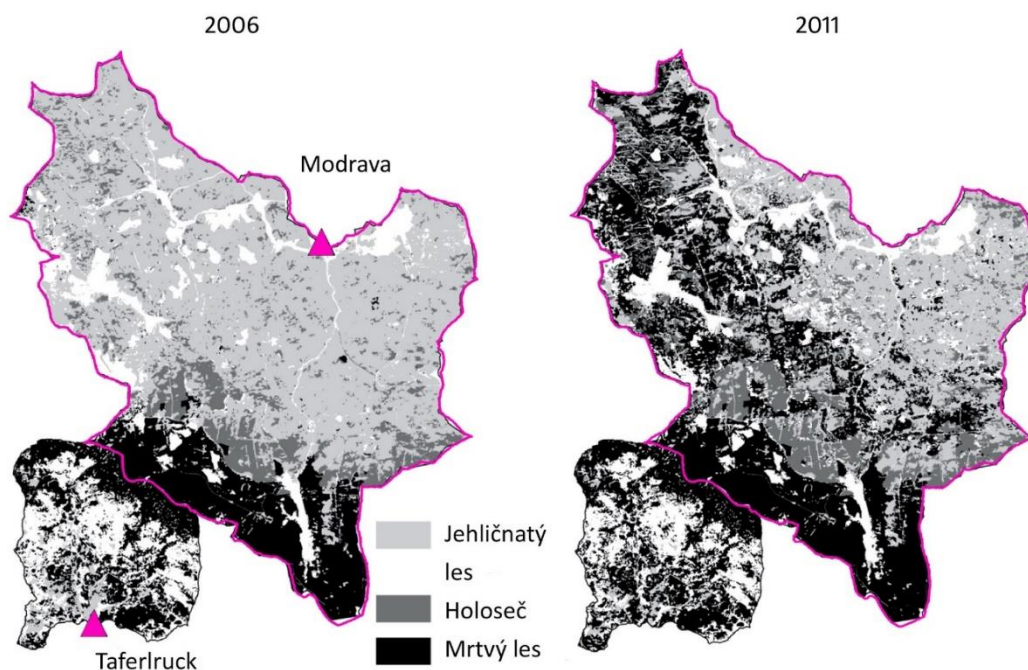
Otázku predikace vývoje hydrologického režimu v souvislosti se změnou typu "land use" je podrobně řešena v Karvonen a kol. (1999).

3.4.4. Vegetační pokryv

Vegetační pokryv zájmového povodí doznal v průběhu doby a díky vlivu člověka velkých změn. Tyto historické změny jsou popsány v kapitole **2.3 Přehled změn vegetace a osídlení na Šumavě**.

Nynější stav vegetace je výsledkem změn, které můžeme dobře pozorovat při porovnání leteckého snímku z 50. let 20. století (obr. 9), kde je patrný dominantní pokryv vzrostlým lesem, především na hřebeni. Na snímku z roku 2020 (obr. 10) jsou již rozsáhlé plochy mrtvého lesa a volných ploch.

Dynamika těchto změn byla v posledních dekádách ovlivněna působením lýkožrouta v několika fázích, velmi dobrou představu o takové projevu můžeme získat díky práci Bernsteinová a kol., (2015), která v letech 2006 – 2011 popsala usychání lesa v zájmovém území. Na obrázku na následující straně je tak dobře patrné, jak usychání lesa postupuje směrem do vnitrozemí (obr. 28).



Obr. 28: Srovnání změny vegetačního pokryvu povodí Modrava a povodí Taferlruck v letech 2006 a 2011. Na obrázku je prostorové rozdělení Smrku ztepilého (*Picea abies*), (Bernsteinová a kol, 2015, upraveno).

Dalším výzkumem, který se v povodí řeky Vydry věnoval vlivu holých sečí či rychlého velkoplošného rozpadu lesa na celkový odtok z povodí od Švihly, Šacha a Černoouse v roce 2015. V povodí které se shoduje s naším zájmovým územím, byl v tomto roce proveden rozbor stavu porostních poměrů v profilu. Následně byl srovnáván vývoj odtoků ve vztahu ke kalamitnímu rozpadu vyspělých porostů hřebene Modravských plání ve vegetačním pásmu smrčín v pramenní části řeky Vydry. V této oblasti se přes 30 let neprováděly úmyslné mýtní těžby. Po kůrovcových kalamitách tyto plochy byly následně:

- zalesňovány bez vyklizení vytěženého dřeva,
- zalesňovány po odvozu vytěženého dřeva,
- ponechány bez zalesnění spolu se stojícími suchými stromy,
- ponechány bez zalesnění spolu s pokácenými stromy odkorněnými na místě,
- ponechány po vývratech při bouři Kyrill bez asanace, a tudíž napospas kůrovcové kalamitě.

Výsledky z povodí Vydry ukázaly předpokládanou reakci, tj. navýšení odtoku z holin a obnovovaných ploch, oproti lesnímu porostu. Ve vegetačním období vzrůstá odtok z holin proti vzrostlému lesu o 8–12 %, což je statisticky významný rozdíl. Příčinou je pokles evapotranspirace, dotace podzemních vod a vzestup povodňových průtoků na holinách. Odtok z holin je vyšší v rozmezí 2-7 % oproti odtoku z holin a mlazin což ukazuje opět na navýšení odtoků z holin (Švihla a kol., 2016).

4. Metodika

Srážková data byla naměřena na meteorologické stanici ČHMÚ Churáňov. Stanice měří nepřetržitě od roku 1949, nalézá se v Jihočeském kraji, v okrese Prachatice. Přesná poloha je 49°04'5.599" s. š., 13°36'53.425" v. d. a nachází se v nadmořské výšce 1119 m n. m. V práci byly zpracovány denní úhrnné srážky v mm od roku 1949 do roku 2012 včetně.

Ze srážkových dat denních úhrnných srážek z Churáňova byly vypočítány měsíční úhrny v mm, se kterými se dále pracovalo v pořadí hydrologického roku. Z těchto údajů byly sestaveny roční úhrny v mm. Tyto roční úhrny byly podkladem nejdříve pro sestavení grafického vyjádření rozložení srážkových úhrnů v čase a zachycení spojnice trendu srážek lineární funkcí $y = ax + b$.

V rámci pozorování a hodnocení vlivu změn vegetačního pokryvu na režim odtoku na horním povodí Vydry byla využita data z vodoměrné stanice ČHMÚ Vydra – Modrava.

Závěrný profil se nachází na toku Vydra v Plzeňském kraji v okrese Klatovy. Přesná poloha je 49°1'27" s. š., 13°29'58" v. d. Závěrný profil má evidenční číslo 1-08-01-013 a nachází se v nadmořské výšce 973,8 m n. m. V práci byly zpracovány průměrné denní průtoky v $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ od roku 1949 do roku 2012 včetně. Závěrný profil je vzdušnou čarou vzdálená od meteorologické stanice cca 10 km jihozápadně.

Při práci s daty průtoků byly nejdříve z denních průměrných průtoků v $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ vypočítány průměrné průtoky měsíční (v $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$). S těmi se dále také pracovalo v pořadí hydrologického roku. Z těchto údajů byly sestaveny průměrné roční průtoky v $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ a tyto byly dále využívány pro další výpočty.

Podobný postup jako při sestavování úhrnných srážek, byl použit při sestavování grafu chodu ročních průtoků. Výsledkem je tak graf s průtoky ve sledovaném období s podobným zachycením spojnicí trendu spojnice trendu ročních průtoků lineární funkcí $y = ax + b$.

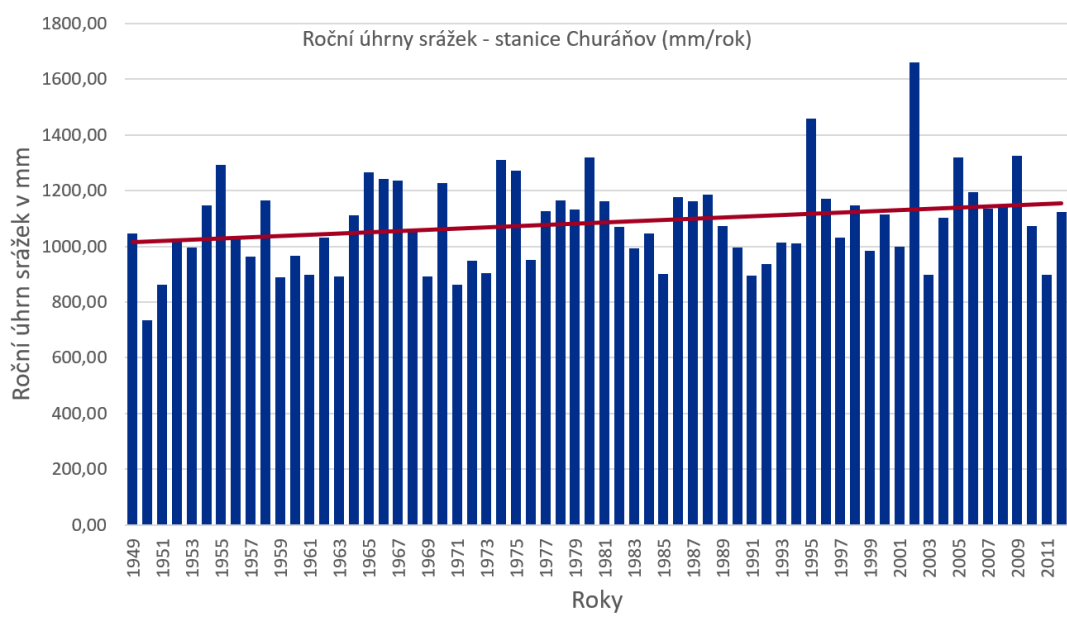
Sestavení grafického znázornění podvojně součtové čáry s ročními srážkovými úhrny a odtokovými výškami bylo využito kumulativního součtu odtoku v mm a kumulativního součtu srážek v mm.

Vyjádření průměrného ročního specifického odtoku Q_a se dosáhne naměřením hodnoty výšky ročního průměrného odtoku v m^3/s a jejím vztažením na jednotku plochy povodí, tj. 90,41 km^2 za určitý časový úsek. Výsledkem v rámci sledovaného období je křivka vyjádřená v lineárním grafu.

Podvojná čára součtová vyjadřuje poměr mezi srážkami a odtokem. Přepočet ročního kumulativního součtu srážek a kumulativního součtu odtoku na procenta je zvolen proti ovlivnění výsledku extremitou ve srážkách a odtoku. Výslednicí je tak křivka součtové čáry.

Průměrné odtoky ve sledovaném období jsou pro přehlednost sestaveny rozdělením do dekád. Desetiletí je určeno od nultého roku a končí devátým rokem dekády a hodnoty v něm jsou zprůměrovány. Toto zobrazení slouží pro znázornění režimu průtoků v rámci roku.

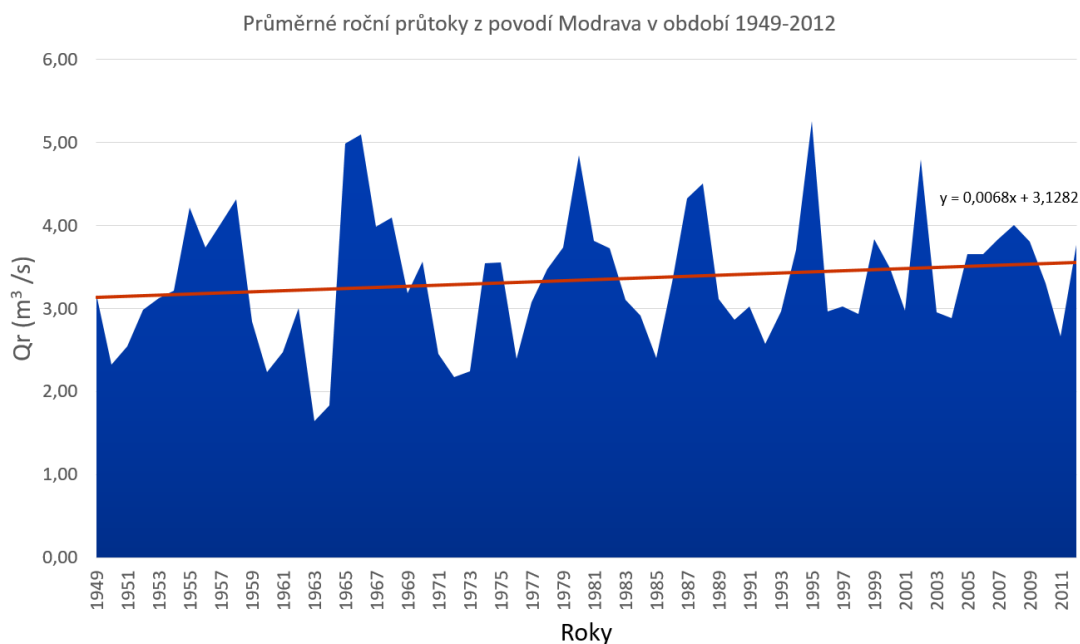
5. Výsledky



Obr. 29: Roční úhrny srážek ze stanice Churáňov (Autor, 2021)

Chod úhrnných ročních srážek ze stanice Churáňov v letech 1949 – 2012 je zobrazen na obr. 29. Průměrný roční úhrn srážek v tomto období je 1083,6 mm. Naměřené hodnoty nevykazují dramatické rozdíly, třebaže se jednotlivé roky liší.

Nejnižší hodnoty srážek ve sledovaném období byly naměřeny v roce 1950 a to 733,6 mm. Naproti tomu nejvyšší roční úhrnné srážky byly dosaženy v roce 2002 v hodnotě 1659,5 mm.



Obr. 30: Průměrné roční průtoky z povodí Modrava v letech 1949-2012, (Autor, 2021)

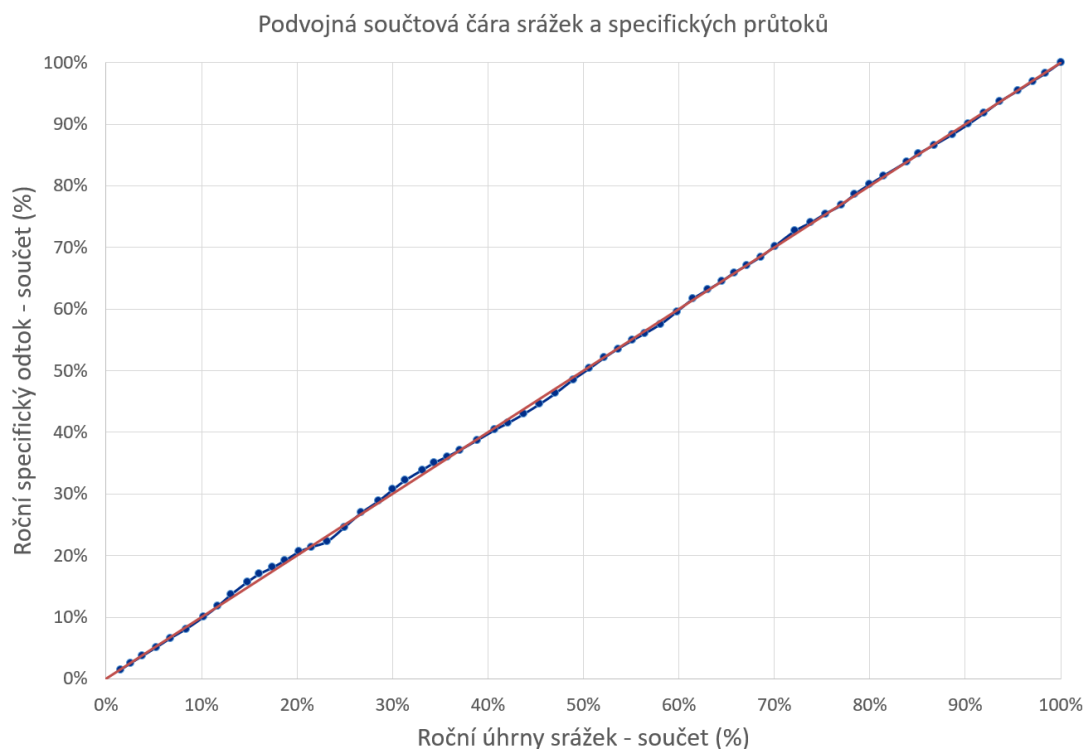
Chod ročních průtoků ze sledovaného povodí řeky Vydry v letech 1949 – 2012 je znázorněn obr. 30. Naměřené hodnoty nevykazují dramatické rozdíly, průtok je v čase relativně vyrovnaný. Nejnižší hodnoty odtoku byly naměřeny v roce 1963 to $Q_r = 1,65 \text{ m}^3/\text{s}$. Naproti tomu nejvyšší průměrný roční průtok byl dosažen v roce 1995 a to $Q_r = 5,26 \text{ m}^3/\text{s}$.

Od počátku hodnoceného úseku byly nejnižší hodnoty naměřeny v souhrnu let 1963 a 1964 ($Q_r = 1,84 \text{ m}^3/\text{s}$) a další období nízkých průtoků bylo v letech 1971 – 1973 ($Q_r = 2,45 - 2,25 \text{ m}^3/\text{s}$).

Naopak vysoké hodnoty průtoků byly naměřeny v období 1965 – 1968 ($Q_r = 4,99 - 4,10 \text{ m}^3/\text{s}$).

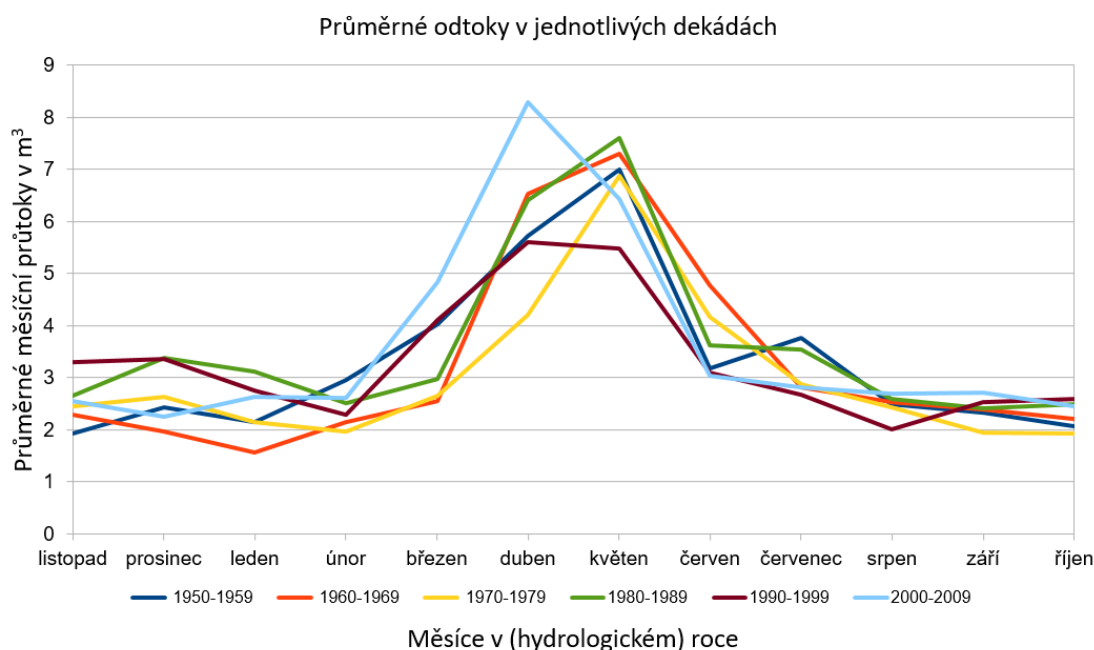
Chod průměrných ročních průtoků – s využitím procent je zachování poměru srážek a odtoku v poměru 1:1 tj. nedochází ke zkreslení křivky extrémním událostem v odtoku. Povodí tak reaguje v poměru ke srážkám.

Protože sledování trendu pouze za pomoci ročních odtoků (viz výše) přináší riziko pokřivení výsledku díky extrémům, je vhodnější využití následující součtové (kumulativní) hodnoty srážkových úhrnů a odtokových výšek s přepočtem viz obr. 31 na následující straně.



Obr. 31: Podvojná součtová čára srážek a specifických průtoků (Autor, 2021)

Rozhodující proměnnou zobrazenou na grafu podvojně součtové čáry je tak průběh přímky. Zachycená lineární regresivní závislost značí, že odtok není dramaticky ovlivněn. Pokud by se totiž dlouhodobě či výrazně dostaly určité body nad, či pod přímkou, znamenalo by to extrémní události v ročních odtocích. Pokud by snad přímka souvisle ubíhala například pod úroveň přímky, značilo by to dlouhodobé ovlivnění odtoku.



Obr. 32: Průměrné odtoky v jednotlivých dekádách (Autor, 2021)

Výsledkem datové agregace a rozdělení průměrných odtoků do desetiletí je přehledně znázorněn režim průtoků v rámci roku (obr. 32). Můžeme tak pozorovat vrcholové hodnoty odtoku v jarních měsících.

6. Diskuze

Srážky

Ve srážko – odtokovém procesu jsou základním stavebním kamenem srážky. Chod úhrnných ročních srážek zobrazený naměřený na meteorologické stanici Churáňov v letech 1949 – 2012 na obr. 28 ve výsledcích, neukazuje i přes rozdíly v jednotlivých letech dramatické výkyvy.

Nejnižší úhrn byl dosažen v roce 1950 - 733,6 mm a nejvyšší úhrn byl dosažen v roce 2002 - 1659,5 mm. Pokud se zaměříme na delší časové úseky, tak nízké hodnoty srážek můžeme pozorovat v několika obdobích. Např. roky 1950 a 1951 (v těchto letech průměr srážek byl 798 mm), 1959-1961 (v těchto letech průměr srážek byl 917 mm), v letech 1971-1973 (v těchto letech průměr srážek byl 903,9 mm).

Naopak vysoké srážek byly naměřeny v letech 1965 – 1967 (v těchto letech průměr srážek byl 1248,2 mm) 1974 – 1975 (v těchto letech průměr srážek byl 1291 mm) a také v pěti letech 2005-2009 (v těchto letech průměr srážek byl 1223,2 mm).

Při vyhodnocení lineární funkce spojnice trendu na grafu srážek, můžeme vidět mírně stoupající trend, nicméně je otázkou, zda pro je časový úsek dostatečný pro validní závěry a zda nemůže být trend ovlivněn mírně suššími periodami na začátku měření.

Srovnání naměřených srážek s jinými měrnými stanicemi z povodí, ukazuje na určité specifikum této oblasti. Průměrný roční úhrn srážek naměřený na stanici Churáňov ve sledovaném období je 1083,6 mm. Srážky, na Filipově huti jsou i přes podobnou nadmořskou výšku vyšší, a lépe by tak odpovídala charakteru celého povodí, stejně jako další místa na hřebenech. Například na nejvyšších stanicích, jako Roklan či Doupě, byly zachyceny v roce 2007 kumulativní srážkové úhrny 1617 mm resp. 1764 mm (Pavlásek, 2010). Předpoklad, že v povodí jsou tak reálně vyšší úhrnné srážky, než jaká jsou k dispozici z měření meteostanice Churáňov, by i vysvětloval logický rozpor ve výsledku podvojně součtové čáry ročních úhrnů a výšek v mm, kde vychází ve sledovaném období odtok vyšší než srážky, jak je vidět na obr. 34 na následující straně.

Na druhou stranu data z Churáňova jsou nejdéle trvajícím a jedinou dostupnou ucelenou řadou ročního chodu srážek a díky tomu tak poskytují velmi cenný obraz o srážkoodtokovém procesu v oblasti. Nyní je na povodí relativně detailní srážkoměrná síť, do které patří například i stanice Mokrůvka či Poledník. Od roku 1998 zde začala měřit i ČZU, bohužel se tak stalo až po velké kůrovcové kalamitě, takže užitečná data již z této události nebyla zachycena.

Odtok

Při hodnocení průměrných ročních průtoků z povodí Modrava na obr. 30 ve výsledcích práce, lze na výslednici trendu vidět mírně stoupající tendenci. S podobnou situací se ovšem již setkali Šantrůčková a Vrba (2010), kteří poukazují na neprůkaznost tohoto trendu především proto, že k němu dochází již před odumřením lesa a není proto možné z něj vyvozovat negativní vliv na odlesnění povodí.

Hlavní příčinou takto navyšujících se průtoků tak může být také to, že ve stejném období se navyšují také srážky. Orientace a průběh těchto dvou trendů je tak velmi podobný i přes popsání výkyvy jak v intenzitě srážek, tak ve změně vegetačního pokryvu povodí, například v souvislosti s větrnými polomy či následnými gradacemi působení lýkožrouta.

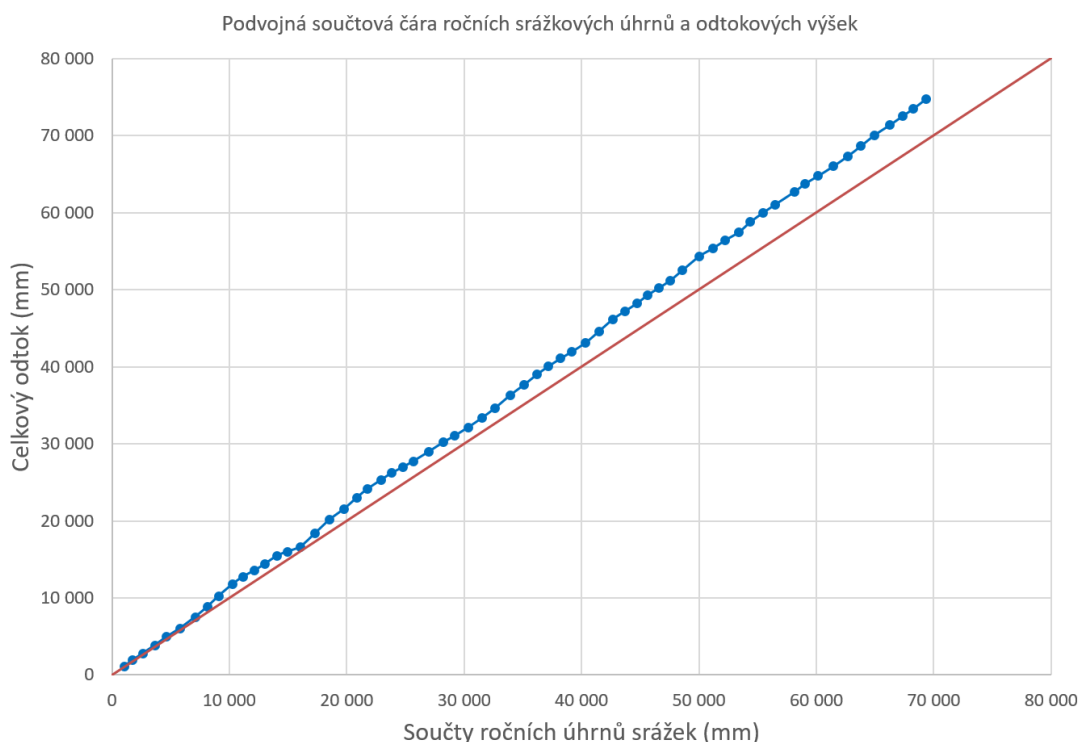
Pokud se totiž podíváme na tři hlavní kalamitní události v moderní historii povodí, které jsou popsány v práci v kapitole **2.8. Studie ze Šumavy**. Velmi dobrý obrázek o běhu větrných polomů a následné poškození kůrovcem je na obr. 13. Zde je vhodně graficky vyjádřený průběh kalamit a velikost objemu polomového dřeva, který doplňuje obraz o míře změny vegetačního pokryvu v oblasti.

Jako první tak uvažujeme kalamitu z let 1983-1988. Startovacím impulsem pro ní pravděpodobně byl nižší úhrn srážek v letech 1982 a 1983 a následné sucho, především ale lesní porosty v oblasti zasáhla v roce 1983 silná vichřice. K likvidaci celé kalamity došlo až v roce 1988. Celkový odtok z povodí je sice mírně vyšší v letech 1988 (1509 mm) a 1989 (1574 mm) nicméně i přes nižší celkové úhrnné srážky se nejedná o výraznou změnu poměru – jak je vidět na Obr. 30.

Další zmiňovanou kalamitou, která měla výrazný vliv na vegetaci v povodí, byla kůrovcová kalamita v letech 1992 až 2000. Došlo k zasažení velké plochy povodí, nicméně v době průběhu kalamity k dramatickému navýšení odtoku nedošlo, stejně jako v období následující. Přesněji v roce 1995 byl sice odtok nejvyšší za sledované období (1833,4 mm), nicméně stejně tak srážky byly v úhrnu 1458,6 mm také jedny z nejvyšších za sledovanou dobu. Ať se tedy v popsáném časovém rozsahu kalamity odtok projevoval spíše podprůměrně a v následujících letech mírně stoupal, vždy to bylo poměrně věrně v odezvě na klesající či stoupající srážky.

Třetí výrazná kalamita ve sledovaném období se započala v roce 2007 orkánem Kyrill a opět došlo k výraznému odlesnění v povodí. Při bližším pohledu na výsledky celkového odtoku opět nedošlo k nijak dramatickým výkyvům či nárůstům odtoků, opět k mírnému navýšení došlo akorát v letech 2007 (odtok 1337,2 mm a srážky 1337,6 mm) a 2008 (odtok 1400,2 mm a srážky 1141,2 mm). S přihlédnutím k výše uvedeným možným rozdílům v aktuálních a měřených srážkách se opět nejedná o signifikantní nárůst.

Protože je také důležité uvažovat výši odtoku v souvislosti s plochou, ze které srážky odtékají, využívá se pro ilustraci průměrného specifického odtoku.



Obr. 33: Podvojná součtová čára ročních úhrnů a odtokových výšek (Autor, 2021)

Podvojná součtová čára srážek a specifických průtoků

Součtová čára je jeden z klíčových ukazatelů srážko – odtokového procesu a hydrologii vůbec. Rozhodují proměnnou zobrazenou na grafu podvojně součtové čáry je průběh součtové čáry složené z jednotlivých naměřených hodnot. Zachycená lineární regresivní závislost značí, že odtok není dramaticky ovlivněn. Pokud by se totiž dlouhodobě či výrazně dostaly určité body nad, či pod přímkou, znamenalo by to extrémní události v ročních odtocích. Pokud by snad přímka souvisle ubíhala například pod úroveň přímky, značilo by to dlouhodobé ovlivnění odtoku.

Ani jeden z výše uvedených jevů ovšem není na grafu patrný, z čehož lze usuzovat, že během sledovaného období nedošlo k výraznému ovlivnění odtoku i přes změnu vegetačního pokryvu a i změněný vegetační pokryv tak dokáže dostatečně zadržet vodu v povodí i po velkých kůrovcových kalamitách.

V závislosti na hlavním cíli této práce tj. pozorování změny ve vydatnosti odtoku v reakci na změnu vegetačního pokryvu horského povodí je třeba říci, že se žádná taková změna pozorovat nedá.

Dekadické odtoky

V případě, že převedeme roční odtoky do perspektivy desetiletých trendů, můžeme získat nový úhel pohledu na probíhající procesy na povodí.

Na obr. 34 tak můžeme vidět šest průběhů v rámci sledovaného období. U všech křivek v desetiletích 1950 – 1959, 1960 – 1969, 1970 – 1979, 1980 – 1989 je zřejmé

velmi podobné rozložení vydatnosti odtoků v rámci roku. Nejvýraznější odtoky jsou tak v jarních měsících, z čehož je patrné, že povodí Modrava je povodí s režimem odtoku určeným táním sněhu.

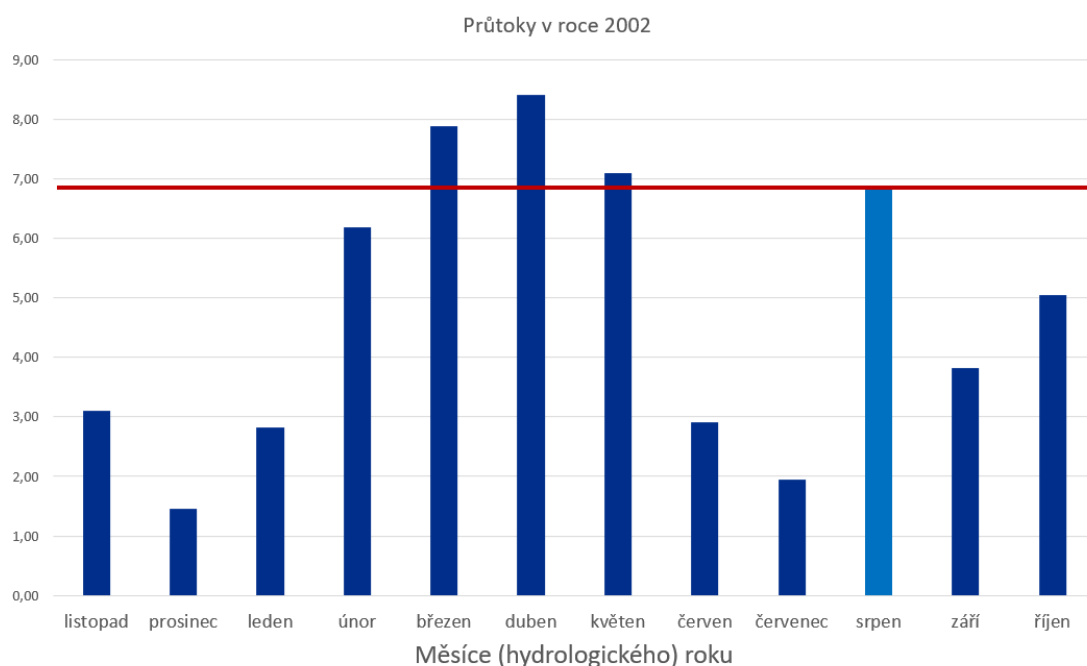
Při detailnějším pohledu na chod odtoku v rámci roku v dekadách 1950 – 1959, 1960 – 1969, 1970 – 1979, 1980 – 1989 je nejvyšší odtok z povodí zaznamenán v tj. v květnu. V dekadách 1990 – 1999 a 2000 – 2009 je ovšem tento vrchol již v dubnu. Je tedy patrný trend dřívějšího odtoku z povodí a posunu tohoto chodu odtoku směrem k zimnímu období. Od roku 200 – 2012 byly pouze v roce 2005 a 2006 pouze dva roky, kdy byly nejvyšší odtoky v květnu.

Je otázkou, co by mohlo být příčinou. Je přirozené, že s příchodem vyšších teplot, se srážky zadržené ve sněhu uvolňují a nadlepšují odtok z povodí právě v jarních měsících. Z grafu tak lze vyčíst, že sníh ve sledovaném povodí roztává dříve.

V odkazu na zjištění Haise (2008), který popisuje vyšší teploty u holin a rozpadlých smrčín v porovnání se vzrostlým lesem, kde nedochází k takovému zastínění, se dá usuzovat, že odlesnění v povodí Modrava umožňuje rychlejší odtávání sněhu a tím i dřívější nárůst vydatnosti odtoku, než plně vzrostlý les.

Nabízí se tak otázka, zda takto posunutý odtok do jarních měsíců nemůže v letních měsících znamenat větší pravděpodobnost delšího období sucha a případné vylepšení podmínek pro další šíření lýkožrouta.

Další takovou příčinou dřívějšího tání sněhu také může být případně vliv změny podnebí. Na zkoumání této souvislosti však v tuto chvíli nemáme dostatek validních dat, stejně tak zaměření a časový rámec potřebný pro takový výzkum také přesahuje rámec této práce.



Obr. 34: Srovnání odtoků z povodí v extrémním roce 2002 (Autor, 2021)

Důležitost periody tání v celkovém chodu odtoku také může ilustrovat pohled na průtoky v extrémním roce 2002 (obr. 34). V tomto roce došlo v rámci celé republiky k nadprůměrným srážkám a záplavám v měsíci srpnu. Nicméně při bližším srovnání odtoků v tomto měsíci zjistíme, že byl vodnější nejen měsíc duben, který je z roku pravidelně nejvydatnější, ale vyššího odtoku také dosáhly měsíce březen a květen.

7. Závěr

Srážko-odtokový cyklus je významnou částí hydrologického režimu krajiny. Díky své komplexnosti se tak veškeré procesy a proměnné vzájemně neustále ovlivňují. Díky významným zásahům člověka do celého ekosystému se tak projevují tyto změny nejen ve sledované oblasti.

Tato práce se zabývá povodím horním povodím řeky Vydry, kde se vyskytuje jedna z největších ploch odumřelého dospělého lesa na Šumavě. Při zodpovězení hlavní otázky z úvodu této práce – do jaké míry se projevují změny vegetačního porostu na režim odtoku z tohoto povodí – tak můžeme říci, že i přes poměrně markantní změny porostů a vegetačního pokryvu ve sledovaném povodí nenastaly dramatické a dlouhodobé změny ve vydatnosti odtoku v posuzovaném období. Srážky jako vstupní proměnná do srážko – odtokového cyklu zůstaly spíše neměnné. Pozorované krátkodobé reakce odtoku na okamžité změny ve vegetaci, nelze s jistotou považovat za známku nenávratné změny či trendu, naopak po krátkém vychýlení následoval návrat k hodnotám blízkým původním. Na základě analýzy dat z dvojité součtové čáry tak dojdeme k závěru, že horní povodí řeky Vydry je schopné zadržet srážkovou vodu i při velké změně vegetačního pokryvu podobně jako v období před kalamitou. To platí pro jak pro náhlé kalamity abiotického původu, jakými je větrný polom, tak pro kalamitu biotického původu, jakou je kůrovcová.

Nejvýraznějším zjištěním plynoucí ze zpracování dat tak je, že v souvislosti se změnou vegetačního pokryvu ze vzrostlého lesa na les suchý, došlo k posunu doby průběhu maximálních měsíčních odtoků směrem do zimy. Příčinou může být jednak rychlejší odtávání sněhu díky absenci vegetačního krytu, případně ale i klimatická změna. Při srovnání maximálních odtoků také můžeme vyvodit, že změna sněhového režimu má na srážko – odtokový cyklus větší vliv, než kůrovcová kalamita. To ukazuje v případě dlouhodobých změn na možnou zranitelnost sněhového režimu a povodí jako takového.

Zcela jistě v souvislosti s aktuálními velkými změnami v lesních porostech v letech 2017 – 2021 bude toto téma jistě hodné pozornosti v následujících letech.

8. Zdroje

ANDRESKA, J. (2003): Lesnictví na Šumavě. In: Šumava – příroda, historie, život. Nakladatelství Miloš Uhlíř – Baset, s. 567-572

BAŠTA, Antonín. *Průvodce Šumavou*. I. vydání. Praha: Národní jednota pošumavská, 1908.

BÄSSLER, Claus. Klimawandel – Trend der Lufttemperatur im Inneren Bayerischen Wald (Böhmerwald): Climate change – trend of air temperature in the Innerer Bayerischer Wald (Bohemian Forest). *Silva Gabreta*. Vimperk, 2008, 2008(vol. 14 (1), p. 1–18.

BÄSSLER, Claus, Jörg MÜLLER, Torsten HOTHORN, Thomas KNEIB, Franz BADECK a Frank DZIOCK. Estimation of the extinction risk for high-montane species as a consequence of global warming and assessment of their suitability as cross-taxon indicators. *Ecological Indicators* [online]. 2010, 10(2), 341-352 [cit. 2021-03-20]. ISSN 1470160X. Dostupné z: doi:10.1016/j.ecolind.2009.06.014

BERNSTEINOVÁ, Jana, Claus BÄSSLER, Lothar ZIMMERMANN, Jakub LANGHAMMER a Burkhard BEUDERT. Changes in runoff in two neighbouring catchments in the Bohemian Forest related to climate and land cover changes. *Journal of Hydrology and Hydromechanics* [online]. 2015, 63(4), 342-352 [cit. 2021-03-23]. ISSN 0042-790X. Dostupné z: doi:10.1515/johh-2015-0037

BEVEN, Keith. *Rainfall-Runoff Modelling: The Primer*. 2. vydání. Southern Gate, West Sussex: John Wiley, 2012, 488 s. ISBN 978-0-470-71459-1.

BLAŽKOVÁ, Š., KOLÁŘOVÁ, S. (1994): Vliv odlesnění na hydrologický režim v oblasti Jizerských hor. Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka,

CHOW, V. T. (1964): *Handbook of applied hydrology*. New York: McGraw-Hill

BLAŽKOVÁ, T. *Zapomenuté stopy dřevařů na Šumavě*. České Budějovice: Bohumír Němec - Veduta, nakladatelství a vydavatelství, ve spolupráci s Fakultou humanitních studií Univerzity Karlovy, 2019. ISBN 978-80-7571-040-6.

BOSCH, J. M. a J. D. HEWLETT. A review of catchment experiments to determine the effect of vegetation changes on water yield and evapotranspiration. *Journal of hydrology*. Amsterdam: Elsevier Scientific Publishing Company, 1982, 55(1-4), 3-23.

BRÁZDIL R., ŠTEKL J. (1986): Cirkulační procesy a atmosférické srážky v ČSSR. Brno, Univerzita J.E. Purkyně – přírodovědecká fakulta. 298 s.

BUCHTELE, J. (2002): Úvod k metodám a modelům hydrologických předpovědí. In: Patera A., Váška J., Zezulák J., Eliáš V. (eds.): *Povodně: prognózy, vodní toky a krajina*, ČVUT a ČVTS, str. 33-35.

BUFKOVÁ, I. (2006): Revitalizace šumavských rašelinišť. Zprávy České Botanické Společnosti, 41, 21, 181–191.

BUFKOVÁ, I., STÍBAL, F., MIKULÁŠKOVÁ, E. (2010): Restoration of drained mires (Šumava National Park, Czech republic). Proceedings 7th European Conference on Ecological Restoration Avignon, France, s. 23-27.

BUFKOVÁ, I., STÍBAL, F. (2012): Restoration of drained mires in the Šumava National Park. In: Jongepierová, I., Pešout, P., Jongepier, J., W., Prach, K. (Eds.): Ecological restoration in the Czech Republic, Nature Conservation Agency of the Czech Republic, Praha, 147 s.

BUFKOVÁ, I. (2013): Náprava narušeného vodního režimu rašelinišť v národním parku Šumava. Ochrana přírody, 2, 17-19.

BURKE, W. (1975): Aspects of the hydrology of blanket peat in Ireland. Hydrology of marshridden areas. Proceedings of the Minsk symposium, IAHS Studies and Reports in Hydrology, 19, Unesco Press, Paris, 171–182.

BURYOVÁ, B. et al. (2001): Mapa potenciální přirozené vegetace Národního parku Šumava. Silva Gabreta. Supplementum 1, Správa NP a CHKO Šumava, Vimperk 2001, 189 s.

ČURDA, J., JANSKÝ, B., KOCUM, J. (2011): Vliv fyzickogeografických faktorů na extremitu povodní v povodí vydry. Geografie – Sborník ČGS, 116, č. 3, s. 335 – 353.

ČERNÝ, D. - KUBÍKOVÁ, A- PALECZEK, R. - FENCL, P. *Historie lesů z okolí Srní a Prášíl*. Text: Daniel Černý - Anna Kubíková - Raimund Paleczek - Pavel Fencl. 176 s. (Sborníky z výzkumu na Šumavě. 3.)

ČURDA, J, 2009, Odtokový režim v pramenné oblasti Vydry se zaměřením na hodnocení povodňových epizod, Univerzita Karlova v Praze, Přírodovědecká fakulta, Katedra fyzické geografie a geoekologie, Magisterská práce

DAŇHELKA, J., KREJČÍ, J., ŠÁLEK, M., ŠERCL, P., ZEZULÁK, J. Posouzení vhodnosti aplikace srážko-odtokových modelů s ohledem na simulaci povodňových stavů pro lokality na území ČR. Praha: ČZU, 2003, 214 s.

DAŇHELKA, J. Operativní hydrologie: hydrologické modely a nejistota předpovědí. Praha: Český hydrometeorologický ústav, 2007, 104 s.

DAŇHELKA, J., KREJČÍ, J., ŠÁLEK, M., ŠERCL, P., ZEZULÁK, J. Posouzení vhodnosti aplikace srážko-odtokových modelů s ohledem na simulaci povodňových stavů pro lokality na území ČR. Praha: ČZU, 2003, 214 s.

DI GREGORIO, Antonio a Louisa J. M. JANSEN. *Land cover Classification System: Classification concepts and user manual*. Rome: Publishing and Multimedia Service, 2000. ISBN 92-5-104216-0.

DUB O., NĚMEC J. (1969): Hydrologie. Praha, SNTL - Nakladatelství technické literatury. 378 s.

(DUB, O, NĚMEC, J. Hydrologie: Technický průvodce 34. Praha: SNTL, 1969, 378 s.)

DOLEŽAL, T., 2020: Hydrologická funkce horských vrchovišť a vlastnosti rašelinných vod v pramenné oblasti Vydry, Univerzita Karlova, Přírodovědecká fakulta, katedra fyzické geografie a geoekologie. Disertační práce s. 8 (<https://dspace.cuni.cz/bitstream/handle/20.500.11956/123376/140087890.pdf?sequence=1&isAllowed=y>)

FERDA, J. (1969): Hydrologická a klimatická funkce československých rašeliníšť. Česká akademie zemědělská, Praha, 358 s.

FERDA, J., HLADNÝ, J., BUBENÍČKOVÁ, L., PEŠEK, L. (1971): Odtokový režim a chemismus vod v povodí Horní Otavy se zaměřením na výskyt rašeliníšť, Sborník prací HMÚ, 17, Praha, 22- 126.

HAIS, M. (2008): Vliv odlesnění a odumírání horských smrčín na teploty krajinného krytu a možné důsledky pro formování odtoku v oblasti centrální Šumavy. PřF UK, Praha

HAVLÍK, A. a kol. (2001): Matematické modely v ochraně před povodněmi. MŽP, CVUT, Praha, 11 str.

HOLÝ, Miloš. *Eroze a životní prostředí*. Praha: České vysoké učení technické, 1994. ISBN 80-01-01078-3.

HOŘÍNKOVÁ, M. 2010 Analýza vlivu lesa na odtokové poměry s pomocí semidisturbovaných a disturbovaných hydrologických modelů, VYSOKÁ ŠKOLA BĀŇSKĀ - TECHNICKĀ UNIVERZITA OSTRAVA, Hornicko-geologická fakulta Institut geoinformatiky, diplomová práce

HOJDOVĀ, M. (2003): Mikroklima horské smrčiny v různém stádiu rozpadu. Diplomová práce. Přírodovědecká fakulta, UK Praha,

HOJDOVĀ, M., HAIS, M., POKORNÝ, J. (2005): Microclimate of a peat bog and of the forest in different states of damage in the National Park Šumava. *Silva Gabreta*, 11(1),

HORNBECK, J.W., ADAMS, M.B., CORBETT, E.S., VERRY, E.S., LYNCH, J.A., 1993. Long-term impacts of forest treatments on water yield: a summary for northeastern USA. *Journal of Hydrology* 150 (2/4), 323–344.

HRÁDEK, František a Petr KURÍK. *Hydrologie*. Praha: Credit, 2004. ISBN 80-213-0950-4.

HRUŠKA, J., HOFMEISTER, J., OULEHLE, F., KOPÁČEK, J., VRBA, J., METELKA, V., TESAŘ, M., ŠÍR, M., MÁCA, P., BEUDERT, B. (2005): Biogeochemické cykly ekologicky významných prvků v měnících se přírodních podmínkách lesních ekosystémů NP Šumava. Zpráva z projektu VaV/1D/1/29/04.

HRUŠKA, Jakub, Anna LAMAČOVÁ a Tomáš CHUMAN. Bezzásahový režim nemá zásadní vliv na hydrologii šumavských povodí. *Ochrana přírody*. 2016, **2016**(1), 35-38.

HŘIB, Michal. Právní předpisy v lesnictví: Digitální učební materiály předmětů FLD LRL 48E a LRL 49E. *Právní předpisy v lesnictví* [online]. Praha: ČZU, 2014, 2014 [cit. 2021-03-11]. Dostupné z: <https://www.fld.czu.cz/dl/50882?lang=en>

HUBENÝ, Pavel. Zásadně změnila tvář Šumavy – vichřice udeřila před 150 lety. Je možné ji porovnávat s orkánem Kyrill? In: *Národní park Šumava* [online]. Vimperk: Správa NP Šumava, 2020, 26.10. 2020 [cit. 2021-03-18]. Dostupné z: <https://www.npsumava.cz/zasadne-zmenila-tvar-sumavy-vichrice-uderila-pred-150-lety-je-mozne-ji-porovnavat-s-orkanem-kyrill/>

HUBENÝ, Pavel a Pavla ČÍŽKOVÁ. *Šumavské lesy pod lupou: co jste nevěděli o šumavských lesích: v podrobném monitoringu za léta 2009-2014*. [Vimperk]: Správa Národního parku Šumava, 2016. ISBN 978-80-87257-31-9.

HUDEČKOVÁ, K., 2008 Vyhodnocení hydropedologického průzkumu experimentálního povodí Modrava 2, ČZU Praha, Fakulta životního prostředí, Katedra vodního hospodářství a environmentálního modelování, s. 35-36

CHÁBERA, S. a kol. (1984) in Ševčíková, L. (2009): Příroda na Šumavě. Jihočeské nakladatelství, České Budějovice, 1987, 182 s.

CHENG, S.-J., H.-H. HSIESH a Y.-M. WANG. Geostatistical interpolation of space–time rainfall on Tamshui River basin. *Hydrological processes*. John Wiley, 2007, **21**(23), 3136-3145.

CHMELOVÁ, R. Historická a environmentální analýza změn využití krajiny a jejich vliv na odtokové poměry v povodí. Ostrava, 2006. 126 s. Disertační práce. Ostravská univerzita, Přírodovědecká fakulta, Katedra fyzické geografie a geoekologie.

IROUMÉ, A., HUBER, A., SCHULZ, K. (2004): Summer flows in experimental catchments with different forest covers, Chile. *Journal of hydrology*, 300, l. 1 – 4, s. 300 – 313

JANDORA, J., STARA, V., STARÝ, M. *Hydraulika a hydrologie*. Brno: CERM, 2002, 186 s. ISBN 80-214-2204-1.

JANÍK, T., ROMPORTL D., Recentní změny krajinného pokryvu po orkánu Kyrill v Národním parku Šumava: Výroční konference České společnosti pro krajinnou ekologii (IALE-CZ) 31. 1. 2019. In: *Www.iale.cz/* [online]. Praha: natur.cuni.cz, 2019 [cit. 2021-03-25]. Dostupné z: www.iale.cz/wp-content/uploads/2019/02/IALE_Jan%C3%ADk.pdf

JANSKÝ, B. (2004): Retence vody v povodí. In: Langhammer, J. (Eds.): *Sborník příspěvků semináře grantu GAČR 205/03/Z046 Hodnocení vlivu změn přírodního prostředí na vznik a vývoj povodní*, 59 – 70.

JANSKÝ, B., Kocum, J. (2008): Peat bogs influence on runoff process: case study of the Vydra and Křemelná River basins in the Šumava Mountains, southwestern Czechia. *Geografie – Sborník ČGS* 113, 4, 383–399.

JELÍNEK, J. (1988): *Větrná a kůrovcová kalamita na Šumavě z let 1868 až 1878*. Lesoprojekt, Brandýs nad Labem, 40 s.

KANTOR, P. a kol. *Lesy a povodně. Souhrnná studie*. Ministerstvo životního prostředí. Praha 2003. 48 s., ISBN: 80-7212-255-X

KANTOR, P., F. ŠACH a Z. KARL. Analýza evapotranspirace mladého smrkového a bukového porostu v bezsrážkových obdobích. In: KANTOR, P., F. ŠACH, V. ČERNOHOUS a Z. KARL. *Srážkoodtokové poměry horských lesů a jejich možnosti při zmírňování extrémních situací - povodní a sucha: Projekt NAZV IG57016*. Brno, Opočno: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně, Lesnická a dřevařská fakulta; VÚLHM, 2005, 11-29.

KARVONEN, T., H. KOIVUSALO, M. JAUHAINEN, J. PALKO a K. WEPPLING. A hydrological model for predicting runoff from different land use areas. *Journal of Hydrology*. 1999, 217(3-4), 253-265.

KEMEL, Miroslav. *Klimatologie, meteorologie, hydrologie*. Praha: Vydavatelství ČVUT, 1996. ISBN isbn80-010-1456-8.

KLIMENT, Z., MATOUŠKOVÁ, M. (2005a): Trendy ve vývoji odtoku v povodí Otavy. *Geografie – Sborník ČGS*. 110. č.1. ČGS. Praha. s. 32-45.

KLIMENT, Z. a M. MATOUŠKOVÁ. Long-term trends of rainfall and runoff regime in upper Otava River basin. *Soil and Water Research* [online]. 2008, 3(3), 155-167 [cit. 2021-03-23]. ISSN 18015395. Dostupné z: doi:10.17221/2/2008-SWR

KLIMO, E. (1994): *Ekologie lesa. VŠZ v Brně*, Brno, 170 s.

KOCUM, J. ČURDA, J., JANSKÝ, B., (2011): Vliv fyzicko-geografických faktorů na extremitu povodní v povodí Vydry. *Geografie*, 116, 3, 335-353.

KOCUM, J. (2012): Tvorba odtoku a jeho dynamika v pramenné oblasti Šumavy. Univerzita Karlova v Praze, Přírodovědecká fakulta, katedra fyzické geografie a geoekologie. Disertační práce 206 s.

KREČMER, V. (1968): K intercepci srážek ve středohorské smrčtině, Výzkumný ústav lesního hospodářství a myslivosti, Zbraslav n. Vlt. – Strnady, 83 – 96 s.

KREŠL, J. Vliv lesa na utváření odtoku při přívalemých a dlouhotrvajících deštích. *Lesnická práce: časopis pro lesnickou vědu a praxi*. 1999, 78(11)

KREŠL, J.: *Lesnické meliorace*. Státní pedagogické nakladatelství. Praha, 1990. 226 s

KREŠL, Jiří. *Hydrologie*. Vyd. 1. V Brně: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita, 2001. 125 s. ISBN 80-7157-513-5.

KŘENOVÁ, Z. Co natropil Kyrill. *Šumava: čtvrtletník Správy NP a CHKO Šumava*, jaro 2007, s. 11 – 13. ISSN 0862-5166.

KŘÍŽ, H. *Hydrologie podzemních vod*. Praha: Československá akademie věd, 1983, 292 s.

KŘOVÁK, F., PÁNKOVÁ E., DOLEŽAL, F. (2004): Vliv lesních ekosystémů na hydričtý režim krajiny. In *AKTUALITY ŠUMAVSKÉHO VÝZKUMU II.*, Srní 4. – 7. října 2004, s. 44-48.

KUČEROVÁ, A., KUČERA, T., HÁJEK, T. (2009): Mikroklima a kolísání hladiny podzemní vody v centrální části Rokytecké slati. In: Černý, D., Dvořák, L. (Eds.): *Weitfallerské slatě*. Sborník z výzkumu na Šumavě, 2. Správa NP a CHKO Šumava, Vimperk, 103 s.

KUBÍČEK, J. (2006): Analýza srážkových dat centrální části Šumavy. Diplomová práce, Česká zemědělská univerzita v Praze, Praha 2006, 90 s.

KUNSKÝ, J (1933 a): *Údolí Otavy*. Geologicko-paleontologický ústav UK, Praha, 72.s.

LEJSKOVÁ, K. (2000): *Srážky v jihočeské části Šumavy v období 1961-95*. Diplomová práce. Univerzita Karlova v Praze, Fakulta přírodních věd, Praha, 99 s.

LICHNER, L., ŠÍR, M., TESAŘ, M. (2004): Testování retenční schopnosti půdy. In *AKTUALITY ŠUMAVSKÉHO VÝZKUMU II.*, Srní 4. – 7. října 2004

LUBOJACKÝ J., LORENC F., LIŠKA J., KNÍŽEK M. 2019: Hlavní problémy v ochraně lesa v Česku v roce 2018 a prognóza na rok 2019. In: Knížek M. (ed.): Škodliví činitelé v lesích Česka 2018/2019 – Historie a současnost kůrovcových kalamit ve střední Evropě. Sborník referátů z celostátního semináře s mezinárodní účastí. Průhonice, 16. 4. 2019. Zpravodaj ochrany lesa, p. 14-19.

MAREK, T.. 2007: Hydromorfologický monitoring vybraných toků v povodí Křemelné, Univerzita Karlova, přírodovědecká fakult, katedra fyzické geografie a geoekologie, diplomová práce, s. 35

MODLINGER, Roman a Kamil TRGALA. *Možné příčiny a důsledky kůrovcové kalamity v lesích Česka s ohledem na specifika při zpracování kalamitního dříví: odborná studie*. Praha: Česká zemědělská univerzita v Praze, 2019. ISBN 978-80-213-2942-3.

MOKLYAK, V. I., KUBYSHKIN, G. P., KARKUTSIEV, G. N. (1975): The effect of drainage works on streamflow. Hydrology of marsh-ridden areas, Proceedings of the Minsk symposium. IAHS Studies and Reports in Hydrology, 19, Unesco Press, Paris, 439-446.

NÁRODNÍ PAMÁTKOVÝ ÚSTAV Soubor 8 plavebních nádrží. *Památkový katalog* - [online]. Národní památkový ústav, 2015 [cit. 2021-03-09]. Dostupné z: <https://www.pamatkovykatalog.cz/soubor-8-plavebnich-nadrzi-6394439>

NOSEK, Miloš. *Metody v klimatologii*. Vyd. 1. Praha: Academia, 1972. 433 s.

NP ŠUMAVA *Následky orkánu Kyrill* [online]. Rejštejn: Správa národního parku a správa chráněné krajinné oblasti Šumava, 2010 [cit. 2021-03-24]. Dostupné z: https://www.csoprejstejn.cz/images/nasledky_kyrill.pdf

NÁRODNÍ PARK ŠUMAVA [online]. Vimperk: Správa Národního parku Šumava, 2021 [cit. 2021-03-28]. Dostupné z: <https://www.npsumava.cz/>

PAVELKOVÁ CHMELOVÁ, Renata a Jindřich FRAJER. *Základy fyzické geografie 1: Hydrologie*. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci, 2013. ISBN 978-80-244-3843-6.

PAVLÁSEK, Jiří, Petr MÁCA a Jana ŘEDINOVÁ. Analýza hydrologických dat z modravských povodí. *Journal of hydrology and hydromechanics*. 2006, **54**(2), 207-216.

PAVLÁSEK, J., J. ŘEDINOVÁ a P. SKALSKÁ. Evaluation of monitoring on Modrava catchments. *Soil and Water Research* [online]. 2010, **4**(Special 2), S66-S74 [cit. 2021-03-30]. ISSN 18015395. Dostupné z: doi:10.17221/475-SWR

PAVLÍK, František. *Kvantifikace přirozené vodní retenční schopnosti krajiny ve vybraných povodích: Quantification of natural water retention capacity in selected watersheds*. Brno, 2014, 140 s. Disertační práce. Vysoké učení technické v Brně.

PENKA, M. (1985): *Transpirace a spotřeba vody rostlinami*. Academia, Praha, 250 s.

POTOČKA J. (eds.), *Geoekologické problémy Krkonoš*. Sborn. Mez. Věd. Konf., Listopad 2003, Szklarska Poręba. Opera Corcontica, 41: 30–37.

PŘESLIČKA, Jiří. *Zpracování přehledu a popisu epizodních modelů srážko-odtokových událostí pro odnos látek*. České Budějovice, 2012, 56 s. Bakalářská práce. Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích. Vedoucí práce Ing. Jana Moravcová, Ph.D.

ROBINSON, M., a kol. (2003): *Studies of the impact of forests on peak flows and baseflows: a European perspective*. *Forest ecology and management*, č. 186, s. 85 – 97.

ROŽNOVSKÝ, Jaroslav, ed. *Voda, půda a rostliny: sborník abstraktů a CD s příspěvky z mezinárodní konference : Křtiny 29.6.-30.6.2013*. Praha: Nakladatelství Českého hydrometeorologického ústavu, 2013. ISBN 978-808-7577-172.

SAHIN, V., HALL, M.J., 1996. *The effects of afforestation and deforestation on water yields*. *Journal of Hydrology* 178 (1/4), 293–309.

SALINGER, Tomáš. *Vliv odlesnění na hydrologický režim krajiny*. Praha, 2017. Bakalářská práce. Česká zemědělská univerzita v Praze.

SHAW, Elizabeth M. *Hydrology in practice*. 4th ed. New York: Spon, 2011. ISBN 978-0-415-37041-7.

SKUHRAVÝ, Václav. *Lýkožrout smrkový Ips typographus (L.) a jeho kalamity*. Praha: Agrospoj, 2002, 196 s. ISBN 80-7084-238-5.

STEDNICK, J.D., 1996. *Monitoring the effects of timber harvest on annual water yield*. *Journal of Hydrology* 176 (1/4), 79–95.

ŠACH, František a Vladimír ČERNOHOUS. . *Zprávy lesnického výzkumu*. Opočno: Výzkumný ústav lesního hospodářství a myslivosti, 2016, 2016(61), 54-65.

ŠANTRŮČKOVÁ, Hana a Jaroslav VRBA. *Co vyprávějí šumavské smrčiny: průvodce lesními ekosystémy Šumavy*. Vimperk: Správa Národního parku a Chráněné krajinné oblasti Šumava, 2010. ISBN 9788087257043.

ŠERCL, P. (2007): *Vliv fyzickogeografických faktorů na charakteristiky teoretických návrhových povodňových vln*. Disertační práce, PřF UK, KFGG, Praha, 157 s

ŠMÍDA, Zdeněk. *Šumava - Modravské pláně*. Brno: Tribun EU, 2016. Knihovnicka.cz. ISBN 978-80-263-1066-2.

ŠVIHLA, V. (2001): Vliv lesa na odtokové poměry na malém povodí. Lesnická práce [online]. Roč. 80, č. 2

ŠIMKOVÁ T. BAŽANTOVÁ, Ovlivňují antropogenní zásahy odtokový režim povodí IN ROŽNOVSKÝ, Jaroslav, ed. Voda, půda a rostliny: sborník abstraktů a CD s příspěvky z mezinárodní konference : Křtiny 29.6.-30. 6. 2013. Praha: Nakladatelství Českého hydrometeorologického ústavu, 2013. ISBN 978-80-87577-17-2.

ŠONKA, J. (2004): Historické povodně Šumavy a poškození lesů. Historical floods in Bohemian Forest area and disturbance of forest. – In: Dvořák, L. & Šustr, P., (eds.): Sborník z konference Aktuality šumavského výzkumu 2, Smí, 4.–7. 10. 2004, 44–48.

ŠVIHLA, Vladimír, František ŠACH a Vladimír ČERNOHOUS. Vliv holých sečí či rychlého velkoplošného rozpadu lesa na celkový odtok za vegetační období. Zprávy lesnického výzkumu. Opočno: Výzkumný ústav lesního hospodářství a myslivosti, 2016, 61(2), 138-144. Dostupné z: <http://www.vulhm.cz/sites/File/ZLV/fulltext/445.pdf>

TESAŘ M., ŠÍR M., SYROVÁTKA O., PRAŽÁK J., LICHNER L. & KUBÍK F., (2001): Soil water regime in head water regions – observation, assessment and modelling. Journal of Hydrology and Hydromechanics, 49, č.6

TESAŘ M., ŠÍR M., DVOŘÁK I. J. 2004: Vliv vegetačního porostu a jeho změn na vodní režim půd v pramenných oblastech Krkonoš. In: ŠTURSA J., MAZURSKI K. R., PALUCKI A. &

TRENBERTH, K. E. (1999): Conceptual framework for changes of extremes of the hydrological cycle with climate change. Climatic Change 42; 327–339.

TESAŘ, M., ŠÍR, M., in Pavel a Jan PROCHÁZKA, ed. *Šumava 2019: meteorologická konference: sborník příspěvků z konference pořádané Českým hydrometeorologickým ústavem, Českou meteorologickou společností a neformálním spolkem SUMAVA.EU ve spolupráci s Národním parkem Šumava a obcí Kvilda konané ve dnech 14.-16. května 2019 v Obecním sále na Kvildě*. Praha: Český hydrometeorologický ústav, 2019. ISBN 978-80-87577-87-5.

ÚHÚL - Ústav pro hospodářskou úpravu lesů: *Textová část oblastního plánu rozvoje lesa Přírodní lesní oblast č.13 Šumava* [online]. In: .pobočka Plzeň, 2001, 2001 [cit. 2021-03-27].

UNUCKA, J. (2008): Modelování vlivu lesa na srážkoodtokové vztahy a vodní erozi s pomocí GIS. Vodní hospodářství, 08, č. 7, 225 – 231 s.

ULRICH, B. (1980): Production and consumption of hydrogen ions in the ecosystem. In T.e. Hutchinson and M. Havas (ed.) Effects of acid p, 255-282 s.

VACEK, S., PODRÁZSKÝ, V. (2008): Stav, vývoj a management lesních ekosystémů v průběhu existence NP Šumava. Lesnická práce, s.r.o., Kostelec nad Černými lesy, 110 s.

VYHLÁŠKA č. 42/2020 Sb. ze dne 7. února 2020 o vymezení zón ochrany přírody Národního parku Šumava

ZAHRADNÍK, Petr. Co se děje na Šumavě? *Lesnická práce*. 2011, 90 (2011).(12/11). Dostupné také z: <http://www.lesprace.cz/casopis-lesnicka-prace-archiv/rocnik-90-2011/lesnicka-prace-c-12-11/co-se-deje-na-sumave>

ZAHRADNÍK, Petr a Marie ZAHRADNÍKOVÁ. Kůrovcová kalamita z historického pohledu a možnosti řešení. Jíloviště: Výzkumný ústav lesního hospodářství a myslivosti, 2019, s 51-57. Dostupné také z: https://www.infodatasys.cz/lesnik21-2019/lesnik2019_Zahradnik.pdf

ZATLOUKAL, Vladimír. Historické a současné příčiny kůrovcové kalamity v Národním parku Šumava. *Silva Gabreta*. Vimperk, 1998, 1998(2), 327-357.

9. Seznam použitých obrázků a tabulek

- Obr. 1: Schéma srážko-odtokového procesu, (upraveno z Jandora a kol., 2002)
- Obr. 2: Srážkoodtoková proces v modelu SACRAMENTO – vizualizace (Jeníček, 2011)
- Obr. 3: Vývoj podnebí ve čtvrtohorách a odpovídající změny v zastoupení dřevin a bylin na Šumavě (Šantrůčková a Vrba, 2010)
- Obr. 4: Vegetační stupně na Šumavě (Šantrůčková a Vrba, 2010)
- Obr. 5: Historická mapa prášilského panství (Blažková, 2019)
- Obr. 6: Druhová struktura šumavských lesů podle nadmořských výšek před rokem 1860. (Hubený a Čížková, 2016)
- Obr. 7: Historická mapa zájmového území z 19. století (Autor, 2021)
- Obr. 8: Mapa Roklanu z roku 1764 (Černý a kol, 2010)
- Obr. 9: Ortofotomapa 50. léta 20. století (Autor, 2021)
- Obr. 10: Aktuální ortofotomapa zájmového území z roku 2020 (Autor, 2021)
- Obr. 11: Evidovaný objem smrkového kůrovcového dříví v letech 1990–2018 (Lubojacký a kol., 2019)
- Obr. 12: Následky žíru 1992-2000 na povodí Modravy (Šantrůčková a Vrba, 2010, upraveno)
- Obr. 13: Běh větrných polomů a poškození kůrovcem (Šantrůčková, Vrba 2010)
- Obr. 14: Zájmové území na pohledu z Malé Mokrůvky (Autor, 2021)
- Obr. 15: Klimatické oblasti dle Quittovy klasifikace klimatu dle Tolasz et al. (2007), (Autor, 2021).
- Obr. 16: Klimatické poměry Šumavy v období 1851-1890 (Bašta, 1908).
- Obr. 17: Roční chod srážek na vybraných stanicích za období 1961-1990 (Kubíček, 2006)
- Obr. 18: Měsíční rozložení srážek ve vybraných stanicích v letech 1996-2005 (Marek 2007)
- Obr. 19: Klimatické poměry Šumavy v období 1895-1904 - srážky (Bašta, 1908).

- Obr. 20: Mapa rozložení průměrného ročního úhrnu srážek dle Ševčíkové (2009), (Autor, 2021)
- Obr. 21: Přehledná mapa zájmového území (Autor, 2021)
- Obr. 22: Zonace území dle NP - data ČÚZK, ÚSOP, AOPK ČR, (Autor, 2021)
- Obr. 23: Výškové poměry území (Autor, 2021)
- Obr. 24: Sklonitostní poměry území (Autor, 2021)
- Obr. 25: Geologická stavba území (Autor, 2021)
- Obr. 26: Geografické rozložení půdních typů ve studovaném území (Autor, 2021)
- Obr. 27: Schéma přehrazení drenáže systémem pevných dřevěných hrází (zdroj: Portál Správy NP a CHKO Šumava)
- Obr. 28: Srovnání změny vegetačního pokryvu povodí Modrava a povodí Taferlruck v letech 2006 a 2011. (Bernsteinová a kol, 2015 upraveno)
- Obr. 29: Roční úhrny srážek ze stanice Churáňov (Autor, 2021)
- Obr. 30: Obr. Průměrné roční průtoky z povodí Modrava v letech 1949-2012 (Autor, 2021)
- Obr. 31: Podvojná součtová čára srážek a specifických průtoků (Autor, 2021)
- Obr. 32: Průměrné odtoky v jednotlivých dekádách (Autor, 2021)
- Obr. 33: Podvojná součtová čára ročních úhrnů a odtokových výšek v letech 1949 - 2012 (Autor, 2021)
- Obr. 34: Srovnání odtoků z povodí v extrémním roce 2002 (Autor, 2021)
-
- Tab. 1: Intercepce různých srážek (Ulrich, 1980 upraveno)
- Tab. 2: Orkány na území Šumava 1977-2007 (NP Šumava, 2010, upraveno)
- Tab. 3: Klimatická charakteristika zájmového území (dle Čurda, 2009)