



 **Modrava**



Úloha lesa v koloběhu vody na Zemi

26. 5. 2018

Nebylo na zemi ještě žádné polní křovisko ani nevzcházela žádná polní bylina, neboť Hospodin Bůh nezavlažoval zemi deštěm.

Genesis 2, 5

Úvodní slova starosty obce Modrava

Koloběh vody na Zemi je bez jakékoliv nadsázky koloběhem života, ve kterém hraje les důležitou a nezastupitelnou roli. To je přírodní zákon, se kterým souhlasí každý rozumný člověk. Přišla však nová doba, se kterou padají i mnohá, dříve nepřekročitelná tabu. Ještě nedávno bylo zcela nemožné, aby kdokoliv vyřkl kacířskou myšlenku, že je úloha lesa v koloběhu vody na Zemi příliš přeceňována. Nemyslitelné se stalo silnou argumentační realitou. A aby byla absurdnost doby dokonána do úplného konce, tak jsou živé zelené stromy obviňovány, že ke svému životu spotřebovávají vodu, která pak schází lidem. Jak je tomu ve skutečnosti?

Les a voda, to je bez nadsázky jedno tělo a jedna duše. Voda je krví přírody a les je její ochránitel, a to jak pro přírodu a všechny její složky, tak pro člověka. Když jsem před více jak čtyřiceti lety na Šumavu přišel, byla plná nekonečných hlubokých lesů a vody ve všech skupenstvích. Les byl doslova nacucaný vodou, plný vyvěrajících studánek a potůčků, které vesele poskakovaly po kamenitých stráních. Do lesa se nedalo vejít bez holínek ani v nejpanějším létě. Po okolních kopcích se ponejvíce válely těžké mraky nacucané vodou a seno z luk se doslova kradlo, protože tři letní slunečné dny za sebou, to byla výjimka. Zimy byly plné sněhových vánic a člověk se modlil, aby už konečně přestal padat. Modravským slatím se člověk raději s respektem obloukem vyhnul. Byly to doby, kdy poklidná hladina Modravského potoka na sobě nedala znát, že na Břežníku řádila průtrž mračen. Jaká je situace dnes? Na Břežníku zaprší a hladina Modravského potoka okamžitě stoupne. Mrtvoly hlubokých lesů výstražně trčí k bezmračnému nebi, studánky a lesní potůčky vyprahly, tráva samým pamem ani pořádně nevyroste, takže se sušením sena nejsou příliš velké starosti a v zimě je člověk rád za půl metru sněhu. Jednou z největších katastrof je však vyprahlost Modravských slatí, které se dají přejít suchou nohou. Kdo za to může?

Přestože úvod k tomuto sborníku píšu v předstihu, aniž bych znal jedinou prezentaci, která bude na semináři přednášena. Věřím ale, že příspěvky ze semináře Úloha lesa v koloběhu vody na Zemi dají čtenářům tohoto

sborníku odpověď, co je příčinou tak prudké změny ve vodním režimu šumavské přírody. A čtyřicet let je pro tak rozsáhlou změnu v přírodě hodně krátká doba.

Antonín Schubert, Filipova Huť, 23. 5. 2018

Úvodní slova ředitele NP Šumava

Bydlím v lese. U potoka. A koukám se na vodu:

Voda proudí v nás. Stejně jako v lese. V jeho organizmech. Houby, lišejníky, mechy, rostliny a stromy, stejně jako hmyz či obratlovci, to jsou bubliny plné vody. Vodu přijímají. Ohřívají, vylučují...

Les je městem organismů. Prales je jejich megalopolí. Organismy se tu rodí, žijí, stěhují se a rozmnožují. A umírají a hromadí.

A tím vším protéká voda.

Tahle megalopole je samostatným světem. Rozpouští skály, mění půdu, ovlivňuje vzduch.

Mám rád les. Miluji prales.

Obdivuji schopnost divočiny. Množit bubliny plné vody!

Pavel Hubený, Idina Pila, 23. 5. 2018

O b s a h

Název příspěvku, autor	strana
1) Les a voda v hydrologickém cyklu krajiny prof. Ing. Jan Čermák CSc. a kol.	3
2) Vliv přirozeného rozpadu horských smrkových porostů v povodí Plešného jezera na mikroklima, hydrologii a půdy prof. Ing. Jiří Kopáček Ph.D. a kol.	7
3) Příspěvek k problematice odtoku z lesa Doc. Ing. Vladimír Švihla CSc. a kol.	11
4) Úloha mokřadů a mokřadních lesů a zadržení vody v šumavské krajině RNDr. Iva Bufková a kol.	15
5) Funkce vzrostlého lesa v oběhu vody a místním klimatu aneb následky velkoplošného uschnutí lesa na regionální klima Doc. RNDr. Jan Pokorný CSc. a kol.	19
6) Odtokové poměry a obnova lesa na Šumavě Ing. Martin Starý a kol.	23
<i>Souhrnný přehled literatury od všech autorů</i>	28

Les a voda v hydrologickém cyklu krajiny

Lesnická a dřevařská fakulta, Mendelova univerzita v Brně, Zemědělská 1665/1, 613 00 Brno

Čermák J. *, Naděždina N., Štykar J., Ulrich R., Simon J., kontakt: cermak@mendelu.cz

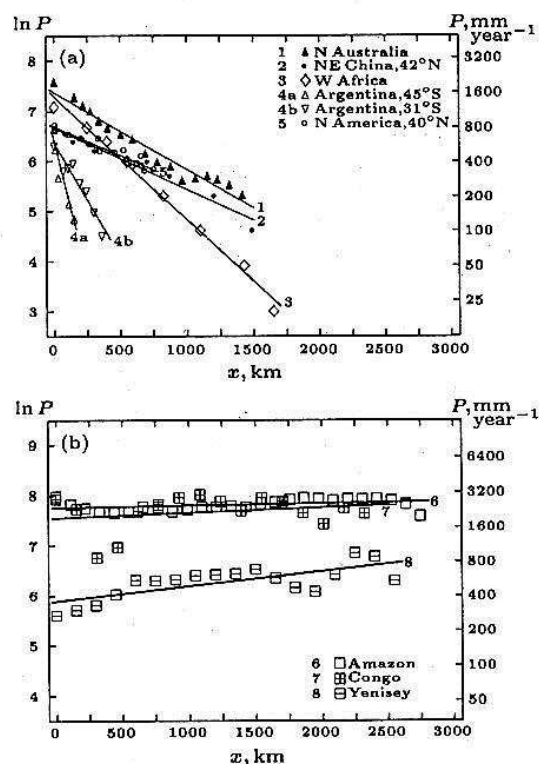
Hromadné sdělovací prostředky nám periodicky přinášejí velké množství informací o mimořádných meteorologických jevech, jakým jsou např. cyklony, rozsáhlé povodně apod. Povodně, cyklony a porosty rostlinstva (nejvíce pak lesní ekosystémy) společně charakterizuje velké množství vody, které jimi skrytě i zjevně proudí. Třeba les v povodí Amazonky může spotřebovat ročně dva metry vodního sloupce (tj. 2000 mm) a jediný cyklon může generovat dva kubické kilometry vody (!) za den. V obou případech je zdrojem deště voda v atmosféře.

O těchto skutečnostech se dosud velmi málo mluví, a proto musíme být rádi za každou příležitost k výměně názorů, která může přinést povzbuzení k další tvůrčí práci na ochraně těchto životodárných ekosystémů. Momentálně hýbe světovou environmentální diskusí především hledisko celosvětové kontroly CO₂, ale nezaslechl jsem např. nikde zmínku o možném vlivu uvolňování obrovského množství metanu (tedy plynu účinnějšího ve vytváření skleníkového efektu než oxid uhličitý) z mořem zatopených nedohledných bažin na severním pobřeží Asie či Ruska a Kanady. Rovněž jsem nezaslechl, že by se někdo zmínil o úloze vody a mimořádném významu jejích skupenských změn a funkci lesa v kontinentálním měřítku.

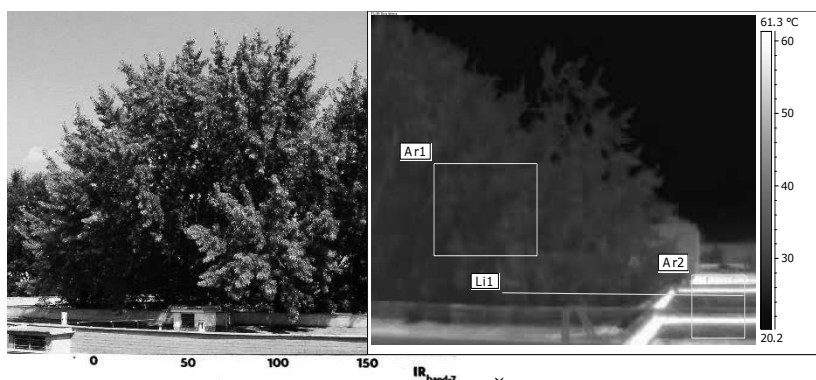
Na souvislost lesa srážek upozornil již v roce 1492 mořeplavec Kryštof Kolumbus. Do deníku si poznamenal, že když připluli k málo obydleným, ale lesnatým pobřežím nebo ostrovům, přšelo tam téměř každou hodinu. Když se tam rozvinula „civilizace“ a lesy byly vykáceny, nestalo se téměř nic, „jen“ přestalo pršet, nebo se množství srážek i výskyt mlh podstatně snížil. Historie nás učí, že všechny velké antické civilizace (ať již v Africe, Asii či Americe), které si zničily lesy až na úroveň pouští si vysušily krajinu, zanikly.

Právě na tyto skutečnosti se před několika lety zaměřila skupina fyziků z klimatologického oddělení Ústavu nukleární fyziky v Petrohradě, ke kterým se záhy přidali fyzici z USA, Španělska, Německa a dalších zemí. Při zpracování globálního modelu rozložení dešťových srážek (s použitím dnes již cca stovek příslušných rovnic) tito vědci zjistili, že nad kontinenty pokrytými pouštěmi, poli nebo nízkým rostlinstvem srážky klesají exponenciálně od pobřeží na vzdálenost několika set kilometrů. Pokud je ale kontinent pokryt vzrostlým lesem, srážky neklesají, naopak mírně stoupají na vzdálenosti hodně přes 3000 km.

Obr.1-2. Příklad změn ročních množství srážek se vzdáleností od pobřeží (x) na kontinentech pokrytých pouštěmi, poli nebo nízkým rostlinstvem (horní panel) a na kontinentech pokrytých lesem (dolní panel). (Makarieva a Gorshkov2007).



Zjednodušeně řečeno (bez zmíněných rovnic), voda v oceánu i rostlinstvo na kontinentech je zahříváno sluneční radiací a (pokud ho nekryje sníh či led) odpařuje velká množství vody (jednotky litrů, výjimečně přes 10 litrů ze čtverečního metru porostu či vodní hladiny denně). Radiace proniká průhlednou vodou do velkých hloubek, její povrchová vrstvička zůstává ohřátá méně a tudíž se z ní méně odpařuje. Povrch listů v lesním porostu ilustrují následující hodnoty: LAI u listnáčů je cca 3-8, u jehličnanů asi 3-12, počet listů na 1 ha ve stejném pořadí je cca $10\text{--}40 \cdot 10^6$ a asi $2\text{--}5 \cdot 10^9$. Jde o povrchy větší než činí povrch (i zvlněné) vodní hladiny, listy jsou tenké a tmavé, pohlcují větší podíl energie a více se zahřívají. Sama odparná plocha listoví (tedy plocha, na které dochází ke změně skupenství vody) je největší na povrchu buněk mezofylu uvnitř listů (je větší než jejich vnější povrch u jehličnanů asi 5 x, u listnáčů cca 20 x). Průtočný profil průduchů je asi 1 % povrchu listů, ale díky strmému gradientu koncentrace par v jejich okolí odpar z průduchů (spolu s tím menším skrze kutikulu) je téměř stejný jako odpar z vodní hladiny.



Obr. 3-5. Souvislost míry zčernání filmu ve vlnovém rozsahu IR_{band 7} a transpirace dubu a smrku v lesním porostu na Kokořinsku (levý panel - snímáno pod kontrolou denních křivek, kdy se transpirační proud rovnal transpiraci: Balek et al., 1986,

Čermák a Kučera 1990). Koruna javoru v atriu lázní Aurora v Třeboni, transpirující cca 500 litrů za den na strom: $d_{1.3}=102,2\text{cm}$, resp. $1,75\text{ mm}$ na m^{-2} půdorysu koruny za den: barevný snímek (uprostřed) a snímek v IR spektru (vpravo – oba snímky J.Pokorný v Čermák et al. 2009).

Především les (jako rostlinné společenstvo s velkou a výškově rozrůznělou listovou plochou (LAI) podmiňující vznik teplotních gradientů mezi desorpčním povrchem listů a absorpčním povrchem půdy) je v této situaci nejdůležitější. Významná je i jeho další krajinná úloha a to brzdění rozvoje hurikánů. Aby les mohl bez cílených vnějších intervencí ve všech směrech existovat, musí být dostatečně velký. Fyzikům vyšla pro boreální oblasti minimální hodnota kolem $1000 \times 1000\text{ km}$. V geograficky i hospodářsky členitém území jako je např. Střední Evropa, je minimální velikost samostatně udržitelných lesů podstatně menší, ale nikoli řádově rozdílná. Menší lesní celky se k větším celkům přidružují, ale bez kontaktů s většími nemohou trvale existovat samostatně. Je však možná koexistence jistého plošného poměru lesů a bezlesí, když dobře fungují lesní okraje s vyšším LAI a rozložitým kořenovým systémem, zajišťujícím dostatečně vysokou ochranu proti větru.

Rozhodující je, že při skupenské změně dochází k mimořádně velkým změnám objemu vody. Když se litr kapalné vody odpaří, objem plynného skupenství vody (tedy vodní páry) se ztisícinásobí (zaujme 1250 litrů). Tento objem je teplejší než okolní atmosféra, stoupá vzhůru, ale po dosažení vzdušných vrstev na chladné kondenzační hladině kondensuje (do drobných kapiček v mracích) a zkapalněný objem vody klesá na původní litrovou hodnotu (či maličko odlišnou v případě že zmrzne). Podstatné je, že v atmosféře následkem kondensace výrazně klesne tlak (tlak také klesá vlivem ochlazení vzdušných mas, ale tento pokles je menší). Vítr se pak pohybuje ve směru tlakového gradientu (z území o vyšším tlaku na území o tlaku nižším) a je-li nižší tlak nad kontinentem (což je obvyklá situace v létě), přináší mu vodní páru z oceánu,

po kondensaci vypadne jako srážky. Tento jev je označován jako „BIOPUMPA“. Jestliže je mechanismus biopumpy narušen, např. v důsledku masového vykácení, nebo odumření lesa, proud vlhkého vzduchu z oceánu s vodou pro srážky přestává fungovat a kontinent začíná vysychat.

Abychom se dostali od úrovně kontinentů na úroveň rozměrů naší krajiny a našich lesních celků a mohli je podobně kvantitativně hodnotit, je třeba všechny potřebné terénní fyzikální parametry kvantifikovat a hodnoty příslušných veličin následně matematickým aparátem zpracovat v odpovídajících modelech. Řadu těchto parametrů máme již k dispozici např. od různých geografických či kartografických a vodohospodářských ústavů, Ústavu hospodářské úpravy lesa, nebo podobných vojenských institucí. Některé parametry však nejsou k dispozici v dostatečně přesných hodnotách, na všech sledovaných územích nebo pro určité časové periody a nechceme-li být závislí na někdy příliš hrubých či neúplných odhadech některých zpracovatelů, musíme je objektivně změřit. Nejde při tom jen o tvary terénu (např. mapy prostorově zobrazující každý hektar ČR), ale i o soubory dat zachycujících vodohospodářské detaily (např. srážky, intercepci, povrchové stoky a podobné i podzemní odtoky) a jmenovitě lesnické instituce by měly mít k dispozici podrobná data o lesních porostech.

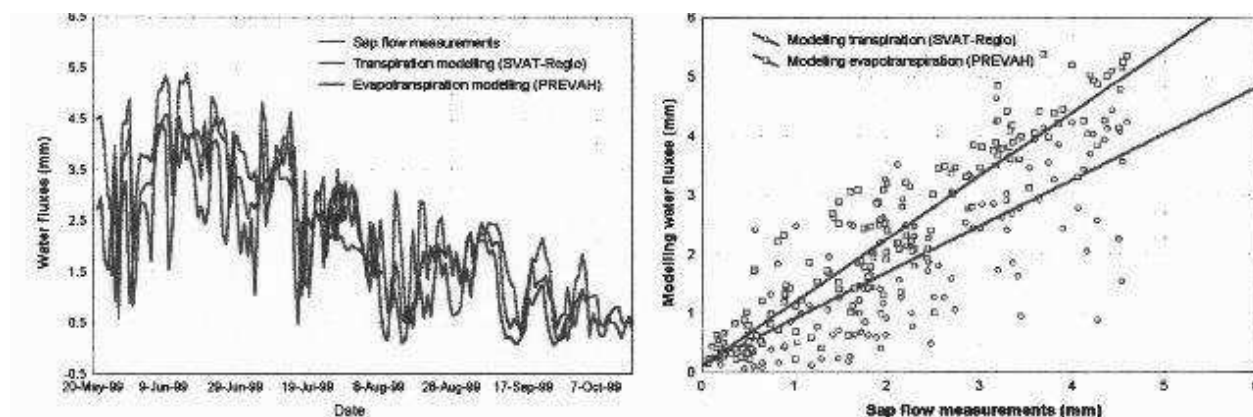
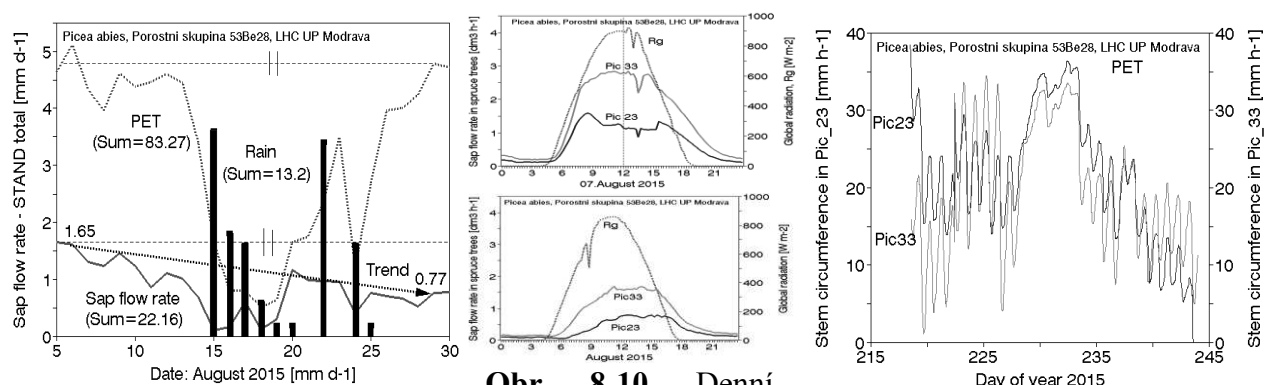


Fig. 6-7. Sezónní průběh transpirace odvozené z modelů (SVAT-Regio a PREVAH) ve srovnání s daty měření transpiračního proudu (levý panel) a vztah dat z obou modelů k transpiračnímu proudu (pravý panel – proud se projevil mezi oběma modely: souř. 0 a 6) – (Oltchev et al. 2002)

Tedy nejen o produkci objemu hroubí či jeho sušiny, ale také o dalších parametrech korun a listoví (např. celková prostorová distribuce ploch, přímo a difúzně osvětlené plochy listoví, plocha nárysu a půdorysu korun (viditelná i shora), efektivní tvar korun, jejich fotosynteticky účinné objemy, a příslušné operační plochy korun včetně skeletu větví i kmene s příslušnými indexy – např. Listových ploch, LAI, ploch skeletu, SAI, ale i kambia, CAI a dalších meristémů (např. LAI jsme proměřili u více než 15ti druhů dřevin) a samozřejmě i analogické parametry kořenů. Tedy opět půdorys kořenových systémů, prostorová distribuce ploch absorpčních kořenů, objem skeletových kořenů, hloubka zakořenění, atd. s příslušnými indexy kořenových parametrů (RAI) jako v případě nadzemních částí stromů. K tomu se váže i měření toků vody a energie (včetně příslušných bilancí) a dalších životně důležitých látek (uhlíku, dusíku, makro- i mikro-stopových látek atd.). Dostatečné zachycení zmíněných struktur a procesů na úrovni celých stromů a porostů není jednoduchá záležitost. Na Ústavu lesnické botaniky jsme dosavadní výsledky získané u 50ti druhů dřevin asi na 60ti pokusných plochách převážně v Evropě a USA shrnuli do více než 300 publikací – jde o běh na dlouhou trať. Ale uvážíme-li množství dat, která jsou již naměřena a rapidně se rozvíjející moderní

techniku (včetně rozvoje relativně levných prostředků dálkového průzkumu, propojitelných s pozemním měřením), u které jsme již v minulých desetiletích na domácí i mezinárodní úrovni ověřili, že umožňuje relativně rychlé měření dat dosud chybějících, je řešení tohoto problému reálné.



Obr. 8-10. Denní

úhrny potenciální evapotranspirace (PET), transpiračního proudu u smrkového porostu na Šumavě s vyznačeným trendem a srážek (sloupcečky). Je zřetelný pokles transpirace, oproti začátku koncem srpna asi na polovinu (levý panel). Stejnou situaci charakterizují i denní průběhy transpiračního proudu a globální radiace u dvou vybraných stromů v krajních dnech daného období. Došlo k poklesu amplitudy a zploštění křivek patrné již prvního dne se prohloubilo. Projevila se výrazná denní dynamika obvodů kmene vzorníků v sušších dnech, která poklesla v deštivých dnech. Změny působila hydratace pletiv, růst byl patrnější jen uprostřed měsíce (dva obrázky uprostřed). Všechny parametry ukazují na vliv silného stressu suchem a možné ohrožení v nedaleké budoucnosti (Čermák et al. 2015).

Znalost shora zmíněných parametrů na naší krajinné úrovni umožňuje poskytnout nejširší veřejnosti údaje, které jsou podkladem pro lepší porozumění fungování stromů a porostů a to i na větších krajinných a správních celcích (např. v Toskánsku a Rusku byla naše měření použita k hodnocení na plochách stovek tisíc hektarů). Propojení krajinných dat s informacemi celosvětově zpracovávanými na kontinentální a globální úrovni znamená, že budeme mít možnost lépe a levněji předcházet nepříznivým následkům klimatických změn a zachovat naše lesy dlouhodobě funkční. Např. slovenským hydrologům se podařilo pouhý rok trvající výstavbou sta tisíc levných hrázek z místního materiálu zabránit povodním u 400 horských vesnic a podpořit růst stromů. Čeští hydrologové zpevňují původní konstrukce stavěné na 100letou vodu nyní na vodu 1000 až 10 000 -letou. Přírodní podmínky ČR dlouhodobě zásadně utvářel chod srážek a způsoby jejich akumulace, proto také disponujeme unikátní zásobou tzv. fosilní vody. Pokud v budoucnosti nechceme kompenzovat suchu nějakou nákladnou a komplikovanou dodávkou vody ze vzdálených nebo hlubokých míst, je třeba začít chápat ekosystém lesa také jako přirozený nástroj k ochraně srážkotvorné činnosti a nejen jako zdroj dřeva nebo biodiverzity, byť se jedná rovněž tak o jeho klíčové vlastnosti.

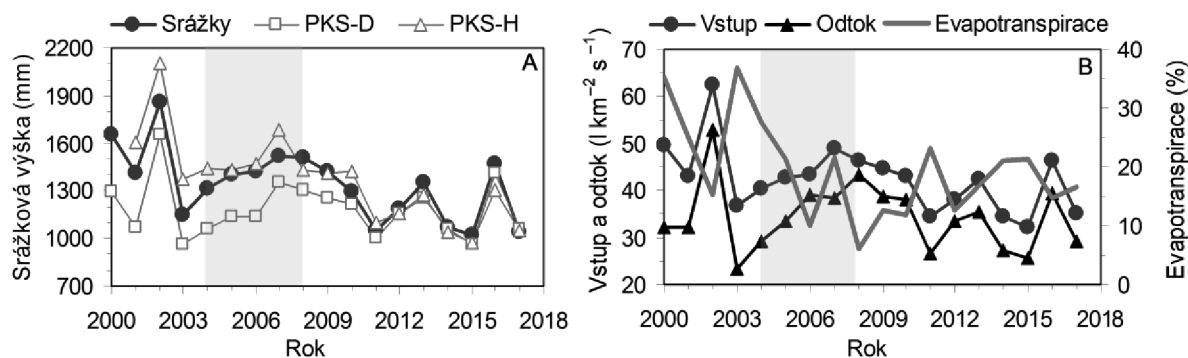
Vliv přirozeného rozpadu horských smrkových porostů v povodí Plešného jezera na mikroklima, hydrologii a půdy.

Biologické centrum AVČR v.v.i., Hydrobiologický ústav, Na Sádkách 7, 37005 Č. Budějovice.

Jiří Kopáček*, Jiří Kaňa a Jan Turek, kontakt: jkopacek@hbu.cas.cz

Tento příspěvek shrnuje poznatky dlouhodobého výzkumu šumavských jezer a jejich povodí, který probíhá od roku 1984 a intenzivně od roku 1997 (postupně včetně srážek, hydrologie, klimatických dat, půd, vegetace a opadu). Interval sledování se pohybuje od 15 minut (průtok) přes 3–6 týdnů (chemie vod a půd) až do 12 měsíců (oživení vod). Detaily metodik a dílčí výsledky tohoto komplexního výzkumu horských lesních ekosystémů a jejich vzájemné souvislosti zde nejsou blíže uváděny, protože již byly zveřejněny jinde (např. Bače a kol. 2015; Kaňa a kol. 2013, 2015; Kopáček a kol. 2009, 2015, 2016, 2017, 2018; Šantrůčková a kol. 2007, 2009; Turek a kol. 2014; Vrba a kol. 2015, 2016; Zeppfenfeld a kol. 2015). Cílem tohoto příspěvku je zhodnocení významu lesních ekosystémů pro klimatické a hydrologické poměry a jejich stabilitu před a po přirozeném rozpadu stromového patra.

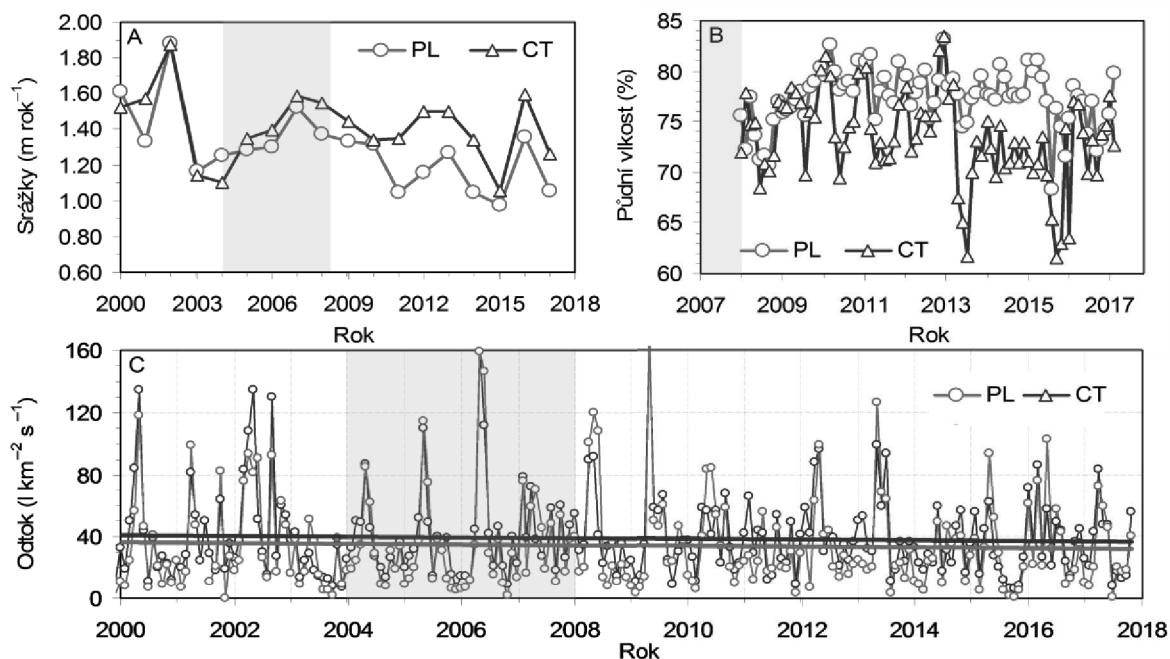
Dospělé smrky (*Picea abies*) postupně odumřely na cca 90 % plochy povodí Plešného (PL) jezera v důsledku kůrovcového (*Ips typographus*) žíru v období 2004–2008. Přírodní regenerace lesa začala během následujících 1–3 let, kdy se zvýšila prostupnost korun pro sluneční záření. Během období 2005–2015 vzrostl průměrný počet semenáčků s korunou >0,5 m² ze 47 na 670 kusů ha⁻¹. Dospělý smrkový porost v referenčním povodí Čertova (CT) jezera zůstal prakticky nedotčen až do orkánu Kyrill a Emma v letech 2007 a 2008, v jejichž důsledku vzrostla plocha porostů s >50 % podílem mrtvých stromů z cca 4 na 18 %. Na trvalých výzkumných plochách v PL povodí, kde se měří podkorunové srážky (9 srážkoměrů na každé) a teploty vzduchu (2 m nad terénem) a půdy (5 cm hloubka), odumřelo 100 % stromů, zatímco na obdobných plochách v přibližně stejné nadmořské výšce v CT povodí bylo poškození stromů až do října 2017 zanedbatelné. Odtok vody z povodí byl kontinuálně monitorován na měrných přelivech pod jezery, teploty byly registrovány každou hodinu.



Obr. 1. A: Vývoj srážek na volné ploše a podkorunových srážek na dolní (PKS-D, 1122 m.n.m) a horní (PKS-H, 1334 m.n.m) výzkumné ploše v povodí Plešného jezera. B: Celková vodní bilance (vstup, odtok a evapotranspirace) povodí. Šedivé plochy označují období kůrovcového žíru v povodí.

Množství srážek dopadajících na lesní půdu pod stromy po jejich odumření mírně vzrostlo ve spodní části PL povodí (díky snížení odparu z povrchu korun) a naopak mírně pokleslo v horní části povodí vlivem snížené schopnosti řidnoucích korun zadržovat horizontální srážky (obr. 1A), jejichž množství strmě roste s nadmořskou výškou. Rozdíl mezi množstvím vody odtékající z povodí a vstupující do něho srážkami se projevil celkovým poklesem evapotranspirace z 20–35 % na 10–20 % (obr. 1B), protože návrat vody do atmosféry transpirací stromovým patrem poklesl více, než vzrostl odpar z povrchu půd a podrostu.

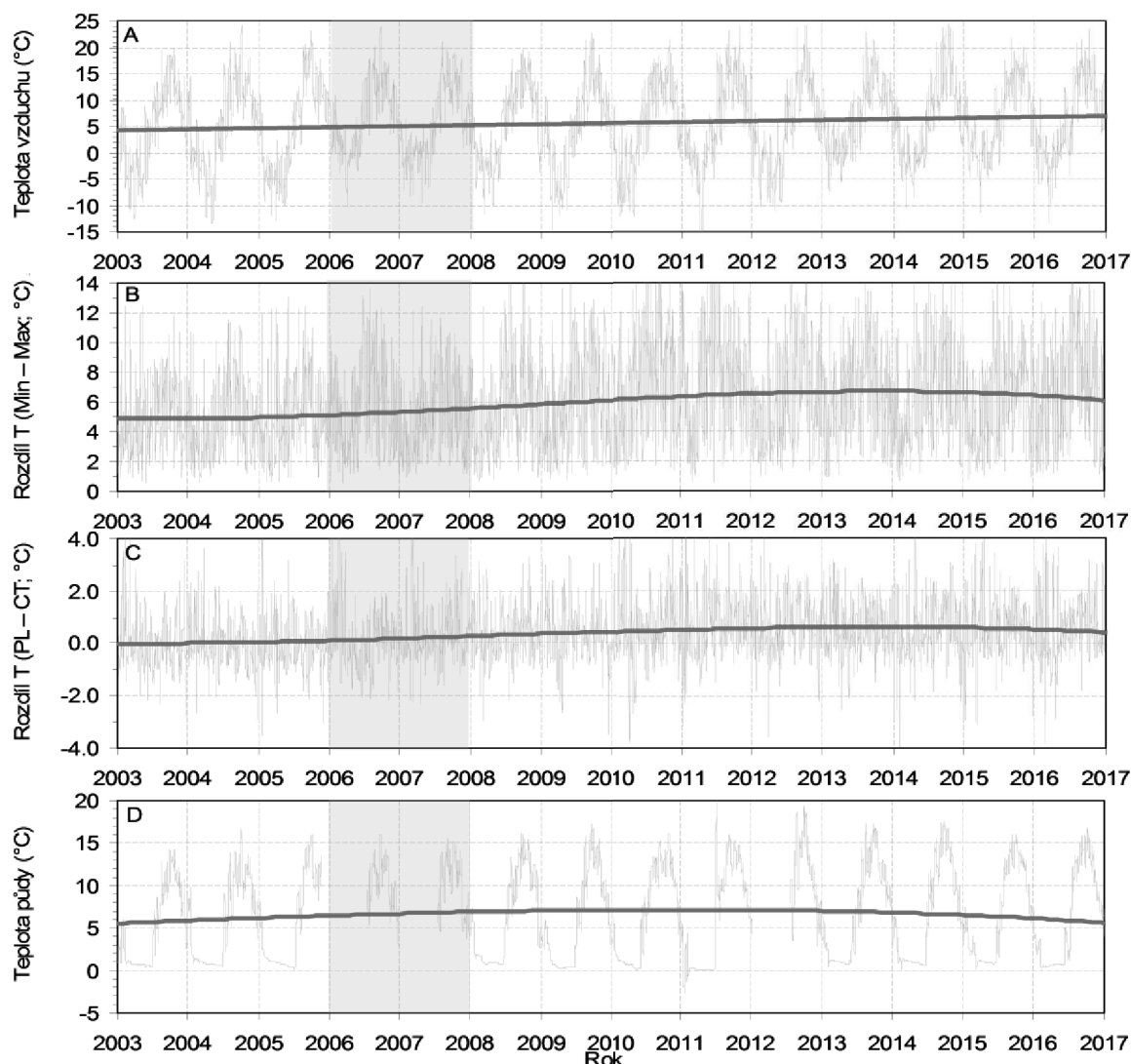
V porovnání s CT povodím se v PL povodí roční množství srážek dopadajících na povrch lesních půd snížilo v průměru o 12 % za období 2008–2017 (*obr. 2A*), ale přesto vzrostla půdní vlhkost ve svrchních (O a A) půdních horizontech (*obr. 2B*) a zůstala zde vysoká i během velmi suchých letních měsíců v letech 2013 a 2015, kdy ve zdravém dospělém CT lese prudce poklesla vinou nižších srážek a relativně vysokých teplot, které panovaly v celé ČR. Tato stabilně vysoká vlhkost umožnila v PL povodí přežití smrkového zmlazení i za těchto klimaticky nepříznivých podmínek. Mírný pokles srážek na straně jedné a zároveň pokles evaporace na straně druhé způsobily, že se specifický odtok vody z PL povodí měřitelně nezměnil a jeho dlouhodobý trend zůstal i po rozsáhlém odumření stromového patra totožný s téměř nepoškozeným CT povodím (*obr. 2C*).



Obr. 2. A: Roční úhrny srážek na lesní půdu v povodí Plešného (PL) a Čertova (CT) jezera. B: Vlhkost půd v O a A horizontech v PL a CT povodí. C: Průměrný měsíční specifický odtok vody z povodí (silné čáry = lineární regrese). Šedivé plochy označují kůrovcový žír.

Odumření stromového patra v PL povodí po kůrovcovém žíru mělo překvapivě malý vliv i na změnu teplot vzduchu a půdy. Vlivem stojících a později i ležících stromů, které částečně stíní a snižují intenzitu vzdušného proudění, se mikroklimatické charakteristiky změnily jen nepatrně v čase i při porovnání s nepoškozenými plochami v CT povodí (*obr. 3*). Průměrná denní teplota vzduchu ve 2 m nad terénem sice v průběhu sledování v PL povodí vzrostla ze 4,5 na 6,5 °C (*obr. 3A*), ale teploty se částečně zvýšily i v CT povodí a jinde v ČR. Rozdíl mezi průměrnými denními hodnotami vzduchu mezi PL plochou s odumřelými a CT plochou se zdravými dospělými smrkem (ve srovnatelných nadmořských výškách) dosáhl maximálního rozdílu 0,6 °C v období 6–7 let po kůrovcovém žíru, který na PL ploše vrcholil v roce 2007, a poté začal klesat (*obr. 3C*). Příčinou byla transpirace z rychle se regenerujícího stromového patra, která vzduch částečně opět ochlazuje. Podobný vývoj ukazuje i rozdíl mezi maximální a minimální teplotou vzduchu (*obr. 3B*). Jejich rozpětí se po odumření stromů sice zvýšilo až o 1,5 °C, ale v roce 2017 již o 0,5 °C pokleslo. Po odumření stromového patra dopadá na povrch půd více přímého slunečního záření než v zapojeném lese a zvyšuje jeho teplotu. Již v hloubce 5 cm (v povodí šumavských jezer většinou mezi O a A horizontem) se však tato změna projevila pouze zanedbatelným nárůstem průměrných denních teplot o 1 °C (*obr. 3D*). Vliv přechodné ztráty stromů na teplotní poměry byl menší než vliv globální změny klimatu.

Významnou změnou bylo rychlé zlepšení kvality půd. Ponechání mrtvé biomasy v povodí zdvojnásobilo bazickou saturaci z 35 na 70 % ve svrchních půdních horizontech. I když se jedná pouze o přechodné zlepšení a rostoucí les si vezme tyto živiny zpět, odvoz dřevní hmoty by růst nového lesa omezil. Tato zásoba živin i možnost růst pod ochranou mrtvého dřeva významně zvyšuje přežívání semenáčků. Přirozené zmlazení je navíc bohaté na jeřabiny a břízu, které



Obr. 3. Klimatické údaje z dolní výzkumné plochy v Plešném (PL) povodí. A: Průměrné denní teploty vzduchu 2 m nad zemí. B: Rozdíl mezi maximální a minimální denní teplotou vzduchu. C: Rozdíl mezi teplotou vzduchu na dolních výzkumných plochách v PL a Čertovo (CT) povodí. D: Průměrné denní teploty půdy 5 cm pod terénem. Silné čáry = regresní vztah. Šedivé plochy označují kůrovcový žír.

koření hlouběji než stejně staré smrky a obohacují půdu fosforem a bazickými kationty, neboť jejich koncentrace v listech jsou zhruba dvojnásobné než v jehlicích smrku.

Závěr: Role lesa pro vodní bilanci a zadržení vody v krajině je nezastupitelná a přetrvává i bezprostředně po odumření stromového patra. Rozhodující veličinou jsou množství a vlastnosti půd. Zásadní ovlivnění hydrologie krajiny obvykle způsobí až trvalá změna užívání půd (z lesních na zemědělské) nebo umělé odvodnění. Rychlé přirozené zmlazování na bezzásahových plochách zpevňuje půdy novými kořenovými systémy dříve, než staré zetlí. Pionýrské dřeviny a podrost kvalitu půdy krátkodobě dokonce zvyšují. Přechodná ztráta stromového patra ovlivňuje lokální mikroklima zanedbatelně, zejména při porovnání s probíhající globální změnou klimatu. Pro významné ovlivnění klimatu by bylo třeba trvale odlesnit rozsáhlé oblasti jako kdysi ve Středomoří a Mezopotámii nebo nyní v Amazonii.

Příspěvek k problematice odtoku z lesa.

*Česká akademie zemědělských věd, Komise pro mimoprodukční funkce lesa, Slezská 100/7,
120 00 Praha 2, VÚLHM v.v.i., VS Opočno, Na Olivě 550, 517 73, Opočno*

Vladimír Švihla*, František Šach, Vladimír Černohous, kontakt: svihla.vladimir@centrum.cz

Území ČR je tvořeno z 36% lesními porosty a představují tak lesy důležitou složku transformace vzdušných srážek v odtok v našich tocích. Jednoznačné výsledky dlouholetých prací našich i zahraničních vědeckých pracovníků vedou k závěrům:

- Kulminace velkých vod v lesích jsou nižší než ve srovnatelném bezlesí nebo lesích smýcených či kalamitou devastovaných
- Z lesa odtéká o 5-12 % menší objem odtoku než z půdy zemědělské nebo z holin
- Výjimkou je doba sucha, kdy z lesa odtéká průměrně o 1/3 větší objem vody než z bezlesí nebo lesů zdevastovaných.

Odtoky velkých vod v povodí

Na mezinárodní konferenci Ústavu pro hydrodynamiku AV ČR v roce 2017 byl přednesen a ve sborníku z konference publikován příspěvek Příspěvek ke stanovení parametrů Dubovy empirické rovnice pro výpočet kulminace velkých vod v lesích (Švihla, Černohous, Šach, 2017). Experimentální materiál z publikace HMÚ Hydrologické poměry ČR (Horský 1965) byl zpracován nově vytvořeným modelem s těmito výsledky:

Tab.č.1: Výpočet parametrů A,n,x dle rovnice $VQ(c,s,i) = AF(c)^{1-n} [1 - x \frac{F(L)}{F(c)}]$

Tok/parametr	VQ (c,s,i)	F (C,i)	F (L, i)	F/o,i	A(i)	N(i)	X(i)
	m ³ /s	km ²	km ²	km ²			
Blanice	148	212,66	106,33	106,33	11,2	0,49	0,12
Volyňka	158	241,66	96,66	145,00	10,7	0,50	0,12

VQ (c,s,i) - velká voda v lesnatém povodí i

F (c,i) – plocha povodí i

F (L, i) – plocha lesa v povodí i

F(O, i) – plocha bezlesí v povodí i

A (i), n (i), x (i) – parametry základní empirické rovnice Dub-Němec

Povodí Blanice je z 50 %, povodí Volyňky z 40 % zalesněno. Pro vrchoviny a podhůří udávají Dub-Němec (1969):

N = 0,49; A = 5 -10; X = 0,1 – 0,5

Ve zvolených povodích les snižuje kulminace velkých vod o 12% ve srovnání s bezlesím. Účinné jsou však pouze lesní komplexy v horách, podhůřích a vrchovinách. V nížinách a pahorkatinách nebyly potřebné parametry A,n,x výzkumem stanoveny. Výsledky výpočtů mají regionální charakter a lze je považovat za vhodné, pokud se do nich dosazují hodnoty parametrů odpovídající poměrům v povodí. Jistá hodnota snížení velkých vod lesními komplexy v horách a vrchovinách je 10-12%.

Odtoky vod v povodí Vydry k vodočetnému profilu v Modravě

Objem odtoku z lesa byl podroben rozboru ve VÚLHM VS Opočno. Byl publikován ve Zprávách VÚLHM Jíloviště, obhájěn na 2 mezinárodních konferencích a informace je v Lesnické práci 3/2018. Výsledek byl převzat AV ČR při řešení výzkumu na Šumavě.

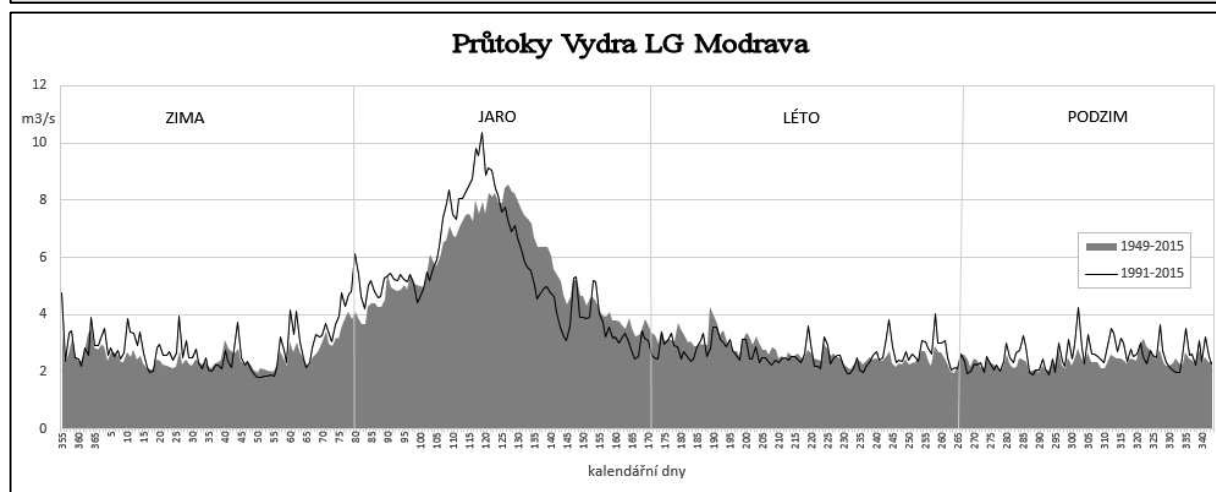
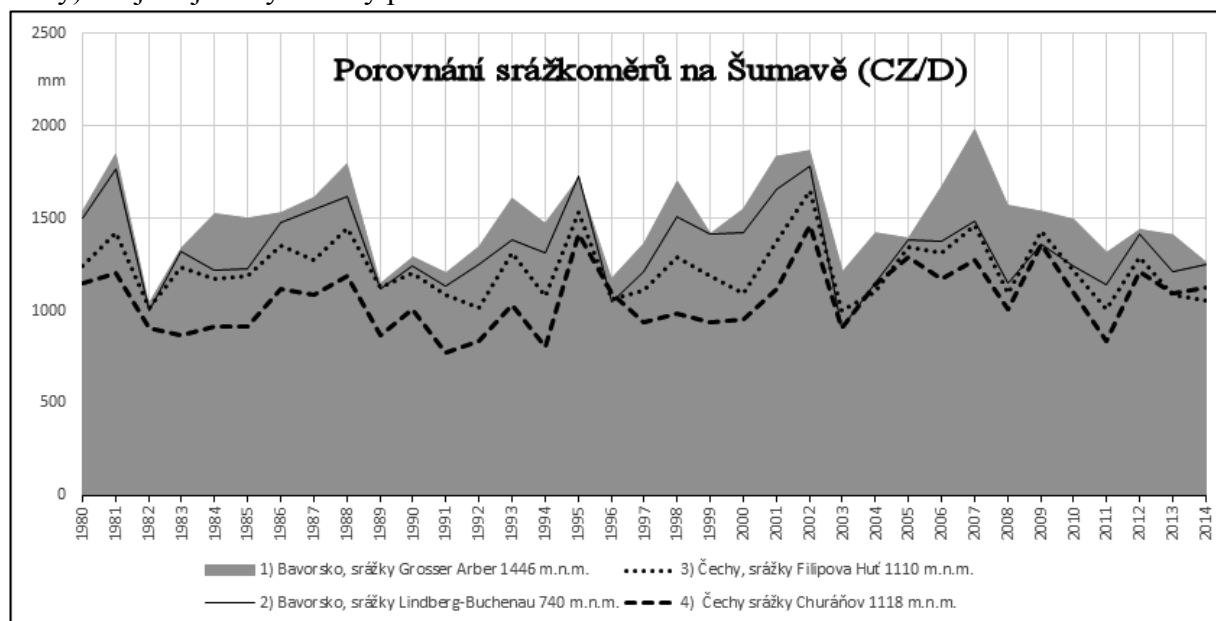
Bylo bezpečně prokázáno, že ve vegetační době vzrostl průměrný průtok ve Vydře o 88 l/s a objem odtoku o 1,78 mil. m³, tj. o 5,9 %. Po kůrovcové kalamitě zůstalo v povodí Vydry pro Modravu 29% vzrostlých lesních porostů, 23 % obnovených porostů mlazinami a 48 % zabuřeněných ploch se zbytky stojících stromů. Dopad zdevastování 48 % lesů je stejný jako odvodnění povodí Vydry po Modravu systematickou trubkovou drenáží na 17,2 % plochy povodí. Z čistých holin po kůrovci stoupl odtok o 9 %. Aplikací výsledků rozboru odtoků velkých vod v povodí Blanice a Volyňky i použitím teorie jednotkových hydrogramů lze odvodit, že v Modravě stoupne kulminace velkých vod 100 letých přibližně o 10 m³/s, povodně každoročně pak o 2,3 m³/s. Zvýšení odtoků i průtoků na Vydře v Modravě po kalamitě v lesích je vyvoláno snížením výparu z ploch zničeného lesa a tím zvýšením objemu odtékajících vod.

Komentář k výsledkům

Otázka vlivu lesa na snížení kulminací velkých vod z holin nebo zemědělských kultur je v popředí celosvětového výzkumu. Klasická je práce Dilse (1957) z Coweety USA, z novějších pak Národního výzkumného komitétu USA (2008) a našich sousedů Schwarze a Benderta (2009). Z našich autorů jsou to práce Dubovy (1957) a Válkovy (1962). Všechny tyto uvedené práce dokládají vliv lesních porostů na snížení velkých vod ve srovnání s plochami zemědělských kultur nebo holin po smýcení či devastaci lesa. V současné době publikuje podobné výsledky VÚLHM VS Opočno (2016).

Dub a Němec (1969) uvádějí, že při zalesnění povodí vyšším než 50 % lze kulminace velkých vod snížit o 10-20 % ve srovnání s bezlesím. Zatím co v lesních komplexech v horách je vliv zalesnění na odtok velkých vod dominantní, v pahorkatinách a nížinách se uplatňují i vlivy ostatní, hlavně fyzicko-geografické a nižší % zalesnění. Vyhodnocením klasických Válkových měření dostáváme snížení kulminace odtoků velkých vod lesem o 30% ve srovnání s plochami travních porostů v Beskydech. Práce VÚLHM uvádějí praktickou výši snížení 10-12%. Transformace vysokých srážek velké intenzity lesem je způsobena vlivem intercepce a vlastnostmi lesní půdy, která působí na povodňový odtok jako mohutná retenční nádrž. Zvýšení celkového odtoku po smýcení, zdevastování, nebo odstranění lesních porostů je způsobeno snížením výparu na plochách bez lesních stromů. Bezpečně to prokazuje řada zahraničních publikací, za všechny lze uvést publikaci Bendert, Puhlmann, Schwarze a kol. (2007). Z našich klasických prací to dokazuje publikace Válkova (1962). Zvýšení objemu odtoků z trvalých travních porostů oproti lesním porostům, jak dokládá 28 letý výzkum v Beskydech, bylo o 12%. S tímto výsledkem je v souladu práce VÚLHM VS Opočno věnovaná objemu odtoků na Vydře po vodočetný profil v Modravě (Šach, Švihla, Černohous, 2018). Po kalamitě způsobené kůrovcem se zvýšil objem odtoku ve vegetační době z celého povodí Vydry po Modravu ze 48 % zabuřeněných ploch o 5,9 %, tj. po úplném odstranění lesa by to bylo o 12%, což je v plném souladu např. s Válkovými výsledky. Je třeba poznamenat, že zvýšený výpar z lesů oproti bezlesí obohacuje vlhkost vzduchu nad lesními komplexy a tím zvyšuje pravděpodobnost ovzdušných srážek nad lesy. Naopak zvýšená odtok z ploch zbavených lesních porostů jasně vysušuje území v povodní horní Vydry. Odhad zvýšení kulminace Vydry v Modravě vychází ze zásady jednotkového hydrogramu, kdy zvýšený objem odtoku se promítá

stejným dílem do zvýšení jeho průtoků. Tento problém samozřejmě vyžaduje experimentální ověření na konkrétních hydrogramech odtoku, což snad se budoucnu podaří. Upozorňuji ovšem na problémy s určováním výše srážek přiřazovaných k hydrogramům v povodí Vydry vzhledem k rozdílům mezi návětrnou a závětrnou stranou pohoří a celkově nedostatečnému objemu dat o srážkách, ze kterých horizontální srážky (charakteristické mlhy) zaujímají vždy značný podíl a na Šumavě se de facto vůbec neměří.



Závěr

Lesní porosty kladně ovlivňují vodní komponentu krajiny. Snižují a retardují kulminace velkých vod a udržují objem vody v krajině. Z historie je dokázáno, že po odlesnění se vždy dostavila dílčí devastace krajiny a lidských sídel.

Úloha mokřadů a mokřadních lesů a zadržení vody v šumavské krajině

Správa Národního parku Šumava, Oddělení krajinné ekologie, I.máje 260, 385 01, Vimperk,

Ivana Bufková a kol., *kontakt: ivana.bufkova@npsumava.cz*

Voda je v poslední době živým tématem. Extrémní srážky a rozsáhlé povodně se před pár lety citelně dotkly celé společnosti a aktuálním problémem jsou časté přívalové deště a lokální povodně. Ničivé sucho v roce 2015 i letošní vodní deficit ukázaly i druhou tvář problému a vyvolaly silnou reakci ve společnosti. Celkem otevřeně se mluví o možném nedostatku vody a připravují se strategie pro případ, že se stane skutečnou hrozbou. Ani prognózy do budoucna nejsou příliš optimistické a předpovídají zvyšování průměrné roční teploty, nárůst počtu horkých a suchých dnů v letním období a vyšší frekvenci extrémních přívalových srážek.

Obrovský podíl na tom nesou změny v krajině a prostředí, které si vytváříme a ve kterém žijeme. Je smutnou skutečností, že ty části krajiny, které přímo utváří a ovlivňují vodní režim a cyklus vody jsou dnes zásadním způsobem poškozeny. Přirozené hydrologické struktury jako jsou vodní toky, záplavová území, prameniště a mokřady jsou dnes na území České republiky z nadpoloviční většiny poškozeny nebo dokonce zcela zničeny. Také okolní plochy jsou člověkem pozměněny a silně omezují byť i jen pouhé zasakování vody do půdy. K dramatickým změnám a úbytku došlo v případě mokřadů. Z původních 1,3 mil. ha mokřadů, které byly vykazovány v 50. letech, dnes zbývá pouhých 350 tisíc ha (Just et al. 2003). Celé 2/3 mokřadů tedy z našeho území zmizely. Krajina ztrácí svou přirozenou schopnost vodu zachytit a přirozeně zadržovat. A voda, která dříve člověku v krajině překážela a bránila v rozvoji, najednou chybí.

Tyto trendy se rozhodně netýkají jen hustě osídlených a intenzivně využívaných oblastí, ale probíhaly i v málo produkčních regionech, mimo jiné i na Šumavě. V oblasti Šumavy byly nejčastějšími důvody pro vysoušení mokřadů zvýšení produkce dřeva v lesních porostech, kultivace zemědělské půdy, těžba rašeliny anebo zpřístupnění krajiny. Inventarizačním průzkumem bylo zjištěno, že téměř dvě třetiny šumavských rašelinišť a více než polovina nerašelinných mokřadů byly v minulosti ovlivněny odvodněním (Obr. 1a). V naprosté většině se jednalo o povrchové odvodnění z 18-19. století a z období intenzifikace v 70. letech minulého století. Mnoho stovek hektarů mokřadů hlavně v nižších polohách v CHKO Šumava bylo zničeno zatrubněnou drenáží a regulací desítek km drobných horských toků. Intenzita odvodnění není ale všude stejná a na řadě míst její nedokonalé provedení v kombinaci s podmínkami stanoviště umožňuje zpětné zvodnění a spontánní regeneraci mokřadů. Na nedokonalost odvodnění na české straně Šumavy upozorňuje již Schreiber (1924). Přesto je zřejmé, že přibližně 2tis. ha rašelinišť a minimálně 5tis. ha dalších mokřadů bylo poškozeno takovým způsobem, že spontánní obnova je velmi problémová nebo již není možná.

Uvedená fakta by mohla navodit představu, že k popisovaným ztrátám docházelo hlavně v minulosti. Opak je ale pravdou. Ačkoli média jsou plná diskusních pořadů na téma nedostatku vody, schvalují se strategie a otevírají se dotační programy zaměřené na podporu zadržení vody v krajině, v lokálním měřítku jsou i nadále realizovány zásahy podporující vysoušení krajiny a snižující její retenční schopnosti. V rámci republiky se běžně obnovují staré odvodňovací systémy v lesích i na zemědělské půdě, načerno se dokonce budují nové drenáže a masivně se rozšiřují zastavěné plochy. A nedochází k tomu jen v intenzivně využívaných oblastech, ale i v marginálních regionech, dokonce i v rámci vyhlášených chráněných území včetně Šumavy. Současná obnova odvodňovacích systémů je dokonce v řadě případů motivována dostupnými dotačními tituly na údržbu půdy a ochranu přírodních hodnot, zejména na bezlesí. Běžným postupem je pročištění a prohloubení odvodňovacích kanálů v lučním mokřadu za účelem získání dotace na vzniklé hektary suché pastviny (Obr. 1b). Alarmujícím nikoli však ojedinělým příkladem je nedávná obnova starého systému odvodnění lesních mokřadů v těsném sousedství

mimořádně cenných rašelinišť na území NP Šumava. Nenápadným, ale závažným problémem je také hustá síť cest s často předimenzovanými liniovými příkopy, která výrazně ovlivňuje vodní režim a ztráty vody na obrovském množství lesních ploch v ČR včetně Šumavy. Přitom opravy a modernizace lesních cest dnes probíhají velmi intenzivně a obvykle bez ohledu na vodní režim a mokřadní stanoviště, která protínají.

Význam mokřadů pro vodní režim a zdravé fungování krajiny byl po dlouhou dobu přehlížen a nedoceňován. Teprve nyní vyvstává jejich skutečná hodnota i role v případném zmírnění dopadů klimatických změn. Mokřady jsou prostředím, které dlouhodobě zadržuje a akumuluje vodu, a příznivě se tak uplatňují především v období sucha. Díky silnému výparu ovlivňují místní klimatické podmínky, kdy snižují teplotu vzduchu a zvyšují jeho relativní vlhkost. Mokřady fungují jako výkonné chladicí systémy krajiny - v horkých letních dnech mohou být rozdíl teplot oproti zastavěnému území nebo suchým otevřeným plochám i v řádu několika desítek stupňů celsia. Mokřady tím podporují krátký cyklus vody a srážky z výparu podobně jako lesní porosty (Pokorný 2017). Kromě toho poskytují potřebnou vodu pro vegetaci i faunu ve svém okolí, což je důležité opět v obdobích sucha. Intenzivní výpar vody tlumí negativní fyziologické dopady sucha. Úloha mokřadů (mimo aluvia) při zadržení extrémních srážek není příliš výrazná, neboť se jejich půdy rychle nasatí vodou a ta odtéká po povrchu. Povrchový odtok je však zpomalován drsností prostředí, zejména vegetací a členitostí povrchu (mikroreliefem). Daleko účinněji zadržují mokřady vodu ze středně intenzivních srážek. Klíčovou roli pro zachycení vysokých srážkových úhrnů mají mokřady v údolích a říčních nivách, které zachycují velké objemy záplavových vod.

Ale zpátky na Šumavu, jejíž doménou jsou nepochybně lesy. Trochu se ale zapomíná na fakt, že celou třetinu Šumavy tvoří mokřady, které jen na území národního parku zaujímají rozlohu přes 20 tisíc hektarů. Z toho rašelinné mokřady tvoří asi 10% (ca 6,5tis. ha) a zbylých 21% (ca 15tis. ha) připadá na ostatní nerašelinné typy. Nejrozšířenějším typem mokřadu nejsou vrchoviště s jezírky, ale především mokřadní a rašelinné lesy, jež místy tvoří rozlehlé komplexy. Díky své velké rozloze i fungování jsou důležitým a přesto často opomíjeným faktorem ve vodním režimu šumavské krajiny. Jejich přítomnost se navíc rozhodujícím způsobem promítá do způsobu péče o lesní celky i do specifické ochrany území.

Šumavské mokřady, ať již lesní či nelesní, zadržují obrovské množství vody. Jen v oblasti Modravských slatí, kde se nachází kolem 2600ha mokřadů lze odhadovat množství půdní vody akumulované výhradně v mokřadech na dvě desítky milionu kubických metrů. Mokřady významně ovlivňují lokální klima prostřednictvím výparu vody (evapotranspirace) a spolu s lesními porosty jsou účinným chladicím systémem krajiny. Řada studií přímo ze Šumavy porovnává teplotní i vlhkostní podmínky v různých mokřadních a suchých biotopech (např. Brom, Pokorný 2009). Mokřady jsou významně zastoupeny i v rozpadových stádiích lesních porostů po žíru kůrovce a ovlivňují tamější mikroklima.

Postupná obnova poškozených mokřadů na Šumavě je opatřením na podporu akumulace vody v krajině a zmírnění dopadu častějších suchých period spojených s klimatickou změnou. Obnova přírodních vodních toků včetně záplavových zón je zase důležitým protipovodňovým opatřením, které posílí schopnost zadržet velké objemy vody z extrémních srážek a podpořit jejich zpětné zasakování do půdy. Revitalizace mokřadů a vodních toků se na Šumavě provádí již od roku 1999. Hlavním cílem je obnova poškozených mokřadů a vodních toků, podpora zadržování (retence a akumulace) vody a celková náprava narušeného vodního režimu v krajině. To vystihuje i hlavní motto programu: „Krajina bez mokřadů je krajinou bez vody“.

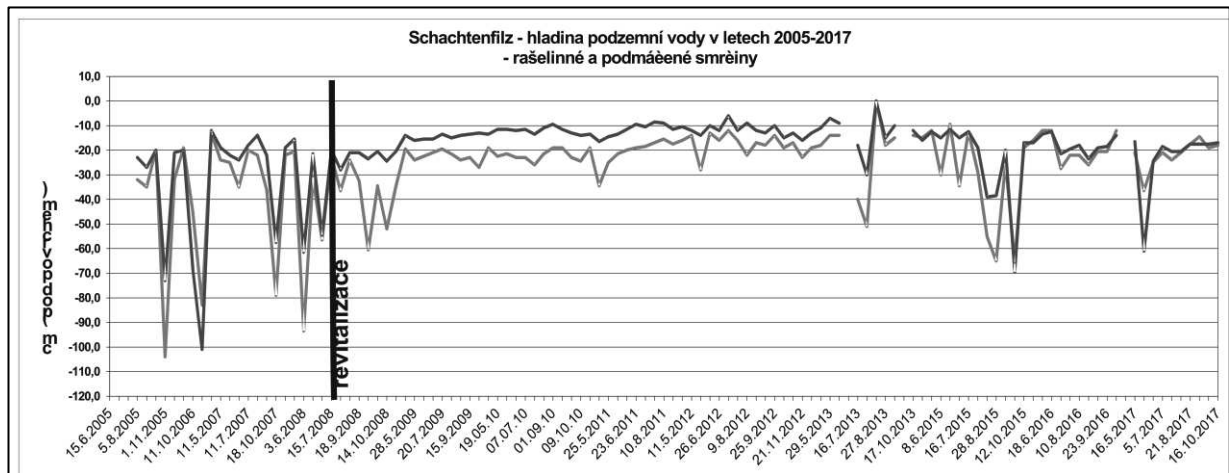
Jak se revitalizace provádí? Na odvodněných lokalitách je především nutné zvednout hladinu podzemní vody, zabránit jejímu kolísání a rychlému odtoku odvodňovacími kanály. Klíčovým opatřením je zablokování odvodňovacích kanálů (Obr. 2). Důležité je, že celá revitalizace je založena na konceptu cílové hladiny vody (Bufková 2013). Tento koncept znamená, že hladina podzemní vody je vrácena na úroveň, která odpovídá přírodnímu stavu

rašelinišť před odvodněním. Je jasné, že cílová hladina vody je pro různé typy rašelinišť a mokřadů odlišná. Například na vrchovištích se zvedá až do úrovně ca 5 cm pod povrchem, zatímco např. v rašelinných lesích bývá o 20-30cm níže. Součástí revitalizace je také obnova přírodního pohybu vody v mokřadu. Soustředěný odtok vody sítí kanálů se ruší a převádí do prostoru mokřadu, důležité je také správné směrování pohybu vody pod povrchem a obnovují se přírodní drobné kapilární stružky.

Kromě mokřadů se již několik let provádí i obnova drobných horských toků, které byly v minulosti regulovány, tedy napříměny a silně zahloubeny. Vodní toky vracejí do svého původního řečiště a obnovuje se jejich přírodní podoba a hlavně dynamika. To znamená, že se vracejí jako potoky mělké (s hloubkou do 30-40cm), s nezpevněnými břehy a přírodní geomorfologií dna. Revitalizací se neobnovuje jen potok sám o sobě, ale i jeho dynamika a propojenost se záplavovým územím. Revitalizované potoky mají možnost se rozlévat a dynamicky utvářet své koryto i břehy neustálým transportem a přesouváním sedimentů. Do současné doby bylo na území NP Šumava revitalizováno 610 ha mokřadů a rašelinišť, což představuje 68 km zablokovaných odvodňovacích kanálů. Tato délka odpovídá přibližně trase z Prahy do Příbrami. Dále bylo obnoveno 5km horských toků se záplavovým územím přes 50ha. Při revitalizacích se postupuje od pramenných oblastí k níže položeným částem povodí. V současné době je intenzivně připravována další etapa realizace, kdy je plánováno zavodnění ca 2000 ha odvodněných mokřadů a rašelinišť a revitalizace dalších ca 10ti km napříměných horských toků.

Revitalizační program je na území Šumavy úzce provázán s monitoringem obnovených lokalit, jehož hlavním cílem je vyhodnocení úspěšnosti prováděných opatření. V území jsou od roku 2005 detailně sledovány různé typy nenarušených a odvodněných rašelinišť, na odvodněných lokalitách vždy v období před a po provedení revitalizace. Pravidelně je zaznamenávána hladina podzemní vody, chemismus podzemní a povrchové vody, odtokové poměry z povodí, srážky, mikroklima (teplota a vlhkost vzduchu i půdy) a složení vegetace. Získané výsledky ukazují, že hydrologická odpověď je poměrně rychlá a hladina podzemní vody se po zablokování kanálů většinou záhy vrací na úroveň blízkou přírodnímu stavu (Obr. 3). Celková technická úspěšnost provedených opatření byla odhadnuta na ca 78%. Výsledky sledování dále ukazují, že různé typy rašelinišť a mokřadů reagují na revitalizaci odlišným způsobem. Nejvýraznější odpověď hladiny podzemní vody i jejího chemismu byla zaznamenána u rašelinišť sycených podzemní vodou (rašelinné lesy, přechodová rašeliniště). Na řadě lokalit došlo ke zlepšení stavu rašeliništní a mokřadní vegetace. Na jednom z revitalizovaných horských vrchovišť se obnovily typické prvky členitého mikroreliefu (zvodnělé šlenky), které dříve zmizely díky odvodnění.





Funkce vzrostlého lesa v oběhu vody a místním klimatu aneb následky velkoplošného uschnutí lesa na regionální klima

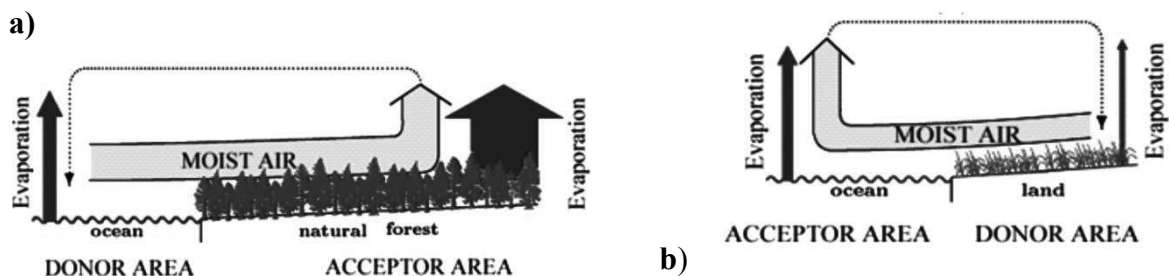
Výzkumná organizace pro otázky životního prostředí, ENKI o.p.s., Dukelská 145, 379 01 Třeboň

Jan Pokorný, P. Hesslerová, J. Procházka, H. Huryna, *kontakt: pokorny@enki.cz*

Historická zkušenost dokazuje, že staré civilizace vyschly, archeologové je nacházejí pod nánosy písku. Nejstarší velká civilizace byla v Mezopotámii na území dnešní Sýrie mezi řekami Eufrat a Tigris. Záběry ze Sýrie můžeme vidět každý den - je to vyschlá země bez stromů, bez vegetace, bez vody. Lidé kolonizují lesnatou krajinu s močály, vypalují lesy a zakládají pole a pastviny. Krajina postupně vysychá, přehřívá se sluncem, přestávají mlhy, netvoří se rosa, ubývá drobných odpoledních srážek. Voda, které bylo kdysi nadbytek, se nedostává, zemědělství upadá, hlas zemědělců není ve městě vyslyšen, nastává nedostatek a rozklad impéria (Ponting, 1991). Zkušenost historických civilizací prokázala opakovaně pozitivní úlohu lesa v klimatu, proto je tato funkce zakotvena v Lesním zákonu od počátku i dnes (§1, Zákon o lesích 289/95 Sb.).

Hydrické funkce lesa zdůrazňovali například: Alexander von Humboldt (1849), mostem k moderní vědě o klimatu lesa jsou postupná vydání monografie R. Geigera (1957), obdiv patří aktuálnosti útlé knížky V. Úlehly (Napojme prameny – O utrpení našich lesů, 1947). G. P. Marsh uvádí v roce 1864 ve své knize „Man and Nature“ „Zmizí-li les, voda uchovávaná v humusu se vypaří a vrátí se v podobě přívalových dešťů, které smyjí vysušenou zem, v níž se původní humus proměnil. Vlhké kopce zalesněné pěknými porosty se tak promění v hřebeny suchých pustých hor.“ Po odlesnění Atlasu, Balkánu se původní les neobnovil. Keňská vláda nechala oplotit 400 km obvod horského lesa Aberdare, aby zabránila kácení a zachoval se tak jeden z významných zdrojů vody (water tower). Obyvatelé vysoko položených oblastí Mau Forest v Keni si chrání les ve svém okolí, tam kde byly horské lesy vykáceny, ubylo vody a ranní mráz ničí úrodu. Odlesnění vede k postupné ztrátě vody a vysoušení krajiny, to je historická zkušenost. Úkolem vědy je zkušenosti generací (empirií) vysvětlovat, nikoli je zamlčovat a popírat.

*„Na suché pole neprší“, „voda přitahuje vodu“, „lesy přitahují vodu“, odpovídají skutečnosti tato lidová rčení? Vezmeme-li v úvahu tzv. **přetahování o vodu** je faktem, že na zalesněných kontinentech jako je Amazonie, západní Afrika/Kongo, části Sibíře neubývá srážek od oceánu směrem do kontinentu i na vzdálenosti několika tisíc km. Na odlesněných částech pevniny srážky ubývají ve vzdálenosti několika set km od pobřeží. V posledních 10 letech se k tomuto jevu obrátila pozornost v souvislosti s **teorií „biotické pumpy“** formulovanou ruskými fyziky atmosféry V. Gorškovem a A. Makarievou (2007): Les má vysokou pokrývnost listoví a má proto i vysokou evapotranspiraci, která může být vyšší nežli evaporace z povrchu oceánu. Nad lesem je vysoký obsah vodní páry, která v noci kondenzuje, jak vlhký vzduch stoupá vzhůru, tím klesá tlak vzduchu a nasává se horizontálně vzduch z okolí. Vzduch zbavený určitého množství vodní páry se vrací zpět nad oceán ve vyšší vrstvě atmosféry, nežli je proud vlhkého vzduchu z oceánu. Odlesňováním se ovšem tento transport narušuje a toky se obrací, vlhký vzduch je odsáván z přehřáté pevniny nad chladnější oceán o nižším atmosférickém tlaku vzduchu (Obr. 1).*

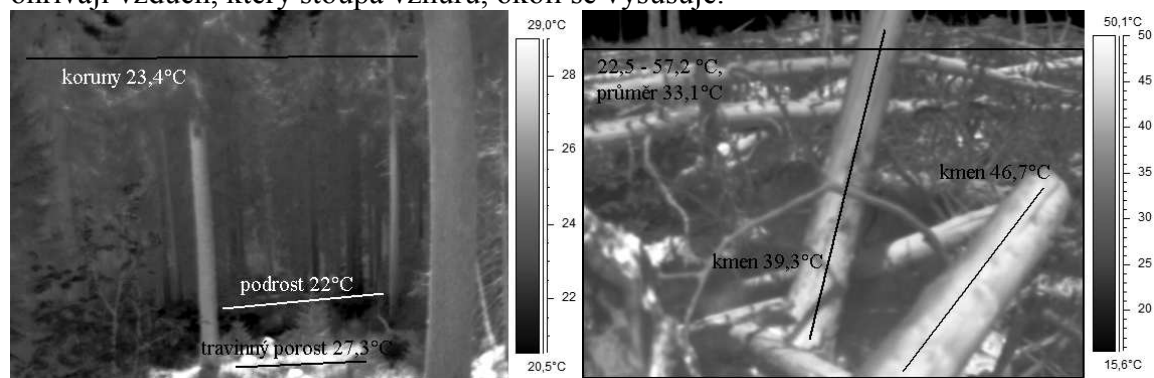


Obr. 1. Oběh vody mezi oceánem a pevninou s a) funkčním lesem (akceptor vlhkosti) b) odlesněnou pevninou (donor vlhkosti). Makarieva, Gorškov 2007

Efekt odlesnění se projevuje změněným odtokem vody, nižším výparem a zvýšenou teplotou. Po odlesnění menších ploch odtéká vyšší podíl srážek do přehradních nádrží. To už mnohokrát v historii svádělo k odlesnění, a to už mnohokrát v historii vedlo k poklesu srážek a postupnému vysychání rozsáhlých odlesněných ploch. Andréassian (2004) např. uvádí na 130 případových studií, kdy po odlesnění odtéká větší podíl srážek a odtok více kolísá. Během opětné regenerace lesa odtok klesá i po dobu delší než 10 let. Bosch and Hewlett (1982) uvádějí výsledky 94 povodí, v nichž i částečné odlesnění vedlo k poklesu transpirace, snížení intercepce a zvýšenému odtoku vody vůči srážkám. Puhlmann et al. 2007 zdokumentovali v Bavorském národním parku po kůrovcové kalamitě pokles evapotranspirace na 39% a vzestup povrchového odtoku na 162%, mnoho let trvá zrychlený podzemní odtok jako následek odumření kořenové zóny. Zcela v rozporu s historickou zkušeností generací a zmíněnými vědeckými pracemi jsou tvrzení Hrušky a kol. (2016), že bezzásahový režim nemá zásadní vliv na hydrologii šumavských povodí a přízemní vegetace nahradí svoji transpirací funkci dospělého lesa. Tato tvrzení šíří Hnutí Duha a mate tak veřejnost (např. Piňos 2015)

Hydrické následky odlesnění jsou: **Ztráta intercepce**, tj. zadržení srážek v korunách stromů a v půdě s živým kořenovým systémem v rozsahu několika desítek mm při jedné dešťové srážce. **Ztráta horizontálních srážek**, tj. vyčesávání vody na povrchu jehlic a listů ze vzduchu v rozsahu stovek mm za rok i 10mm za den. **Ztráta chladící schopnosti a postupné vysychání krajiny** proudem vzduchu ohřívaného zjevným teplem v rozsahu stovek wattů/m² a odnosu miliónů m³ vody za den ze 150 km². Tyto procesy jsou kvantitativně popsány od poloviny 20. století.

Teplota snímaná za slunného dne termální kamerou v živém lese v oblasti Třístoličníku nepřesahuje 30 °C, zatímco v nedalekém a stejně exponovaném uschlém lese se ve stejném termínu pohybuje v rozsahu 22,5 – 57 °C (Obr. 2). Uschlé, pomalu se rozkládající kmeny ohřívají vzduch, který stoupá vzhůru, okolí se vysušuje.

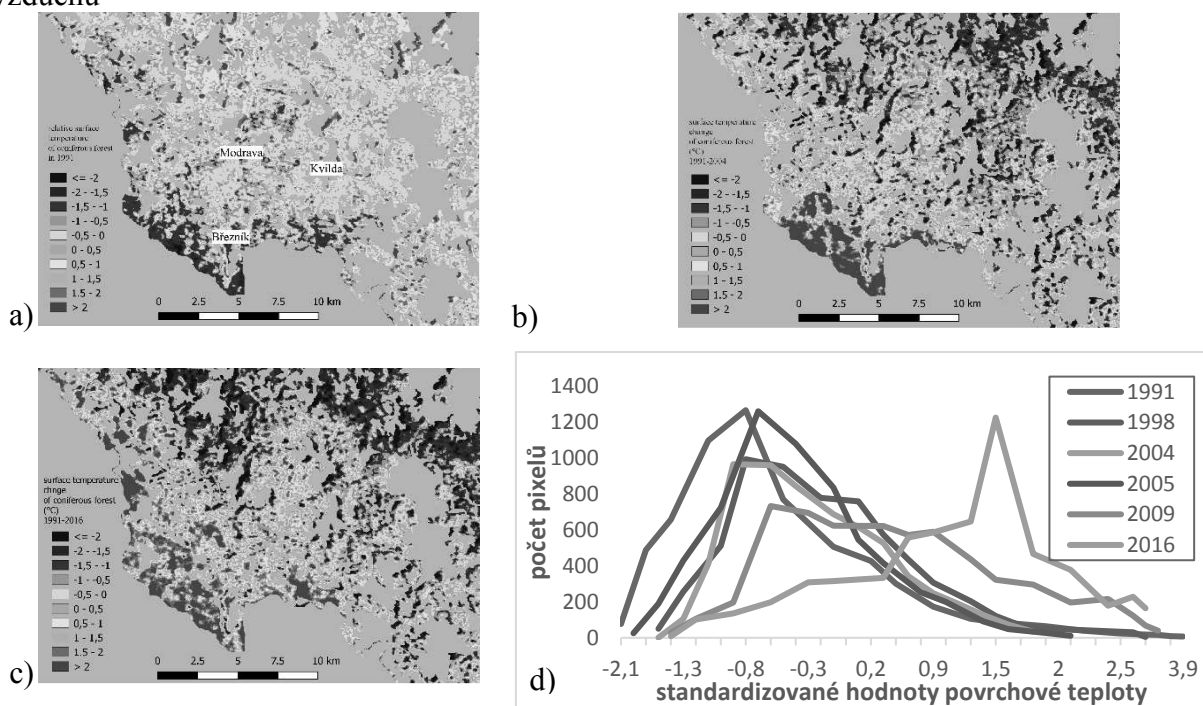


Obr. 2. Porovnání teploty lesa (živý x uschlý) měřené termální kamerou v oblasti Třístoličníku

Vyhodnocené satelitní snímky z družice Landsat (Obr. 3a, b, c) ukazují standardizované hodnoty povrchové teploty v modelovém území Prášíly – Knížecí Pláně – Zdíkov v roce 1991 a nárůst teploty v odlesněných lokalitách o 1 – 5 °C v letech 2004 a 2016. Tuto skutečnost potvrzuje i detailní hodnocení povrchové teploty okolí Poledníku, kde k výraznému růstu teploty došlo po destrukci lesních porostů orkámem Kyrill v roce 2007 a následné gradaci kůrovce (Obr. 3d).

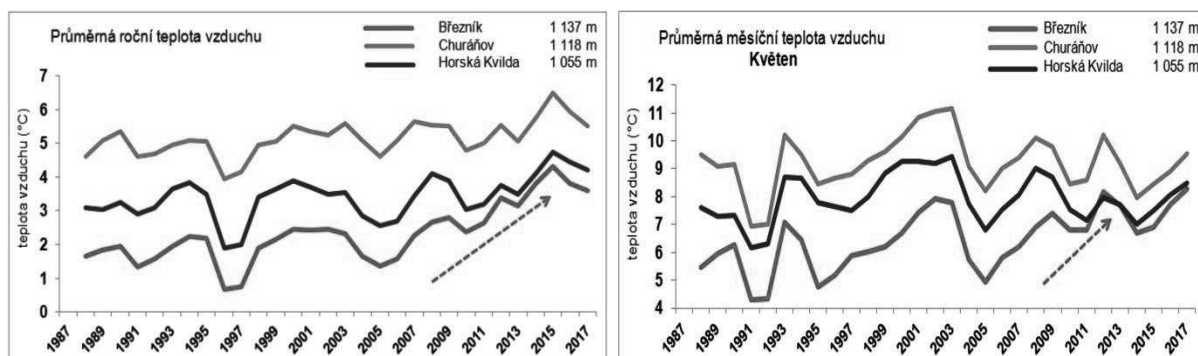
Odlesněním dochází ke změnám v hodnotách evapotranspirace, jehož důsledkem je změna disipace sluneční energie. Toky tepla jsou místo do latentního tepla výparu směřovány do zjevného tepla, což má za následek růst povrchové teploty a další ztráty vody. Rozdíl v distribuci latentního a zjevného tepla lesních porostech a na odvodněném území, se v horkých dnech, řádově liší o stovky $W \cdot m^{-2}$. Pokles evapotranspirace z 1 km^2 v důsledku odvodnění či odlesnění pro ekvivalent 100 $mg \cdot s^{-1} \cdot m^{-2}$ vodní páry představuje 250 MW sluneční energie uvolněné z této plochy do atmosféry ve formě teplého vzduchu (zjevného tepla). V letech 1991 – 2012 došlo v modelovém území k úbytku cca 7 500 ha jehličnatého lesa (vyhodnocení z dat CORINE Land Cover). Znamená to tedy, že z této plochy odumřelého lesa se během horkého letního dne uvolní 18 750 MW ve formě zjevného tepla.

Rozdíly v teplotních projevech lesních ploch na Šumavě hodnotil pomocí pozemního měření na příkladu tří lesních povodí Tesař (2006), kdy největší přehřívání dokumentoval v lese s odumřelým stromovým patrem. Vyrůstající teplotu vzduchu centrální Šumavy prezentoval již dříve Bäsler 2008, v poslední době také např. Bernsteinová et al. 2015 a Langhammer et al. 2015, kteří zdůrazňují nejvyšší vzrůst teploty vzduchu vlivem klimatických změn a rozpadu lesa v jarním období. To má dle autorů, mimo jiné, za následek rychlejší odtávání sněhové pokrývky a změny v sezónnosti a variabilitě odtoku z povodí postižených kůrovcovou kalamitou. Na lokalitě Březník (1137 m n. m.), která se nachází v centru nejrozsáhlejší oblasti postižené disturbancí stromového patra na české straně Šumavy, jsou více než 30 let měřeny standardním způsobem teploty vzduchu. Z porovnání průměrných teplot vzduchu



Obr. 3. Standardizované hodnoty povrchové teploty jehličnatého lesa a) v roce 1991; rozdíly povrchové teploty (°C) mezi lety b) 1991 a 2004, c) 1991 a 2016 (Hesslerová et al. 2017).

s obdobně vysoko položenými stanicemi Churáňov a Horská Kvilda, kde je v okolí vzrostlý živý les, je zřejmý o poznání rychlejší nárůst teploty právě na Březníku, přibližně od roku 2008 (Obr. 4).



Obr. 4. Trendy průměrné roční a měsíční (květen) teploty vzduchu za období 1988 - 2017 ze stanic Březník, Churáňov a Horská Kvilda (zdroj dat: ČHMÚ a A. Vojvodík)

Celá řada studií a výzkumů prokázala pozitivní vliv vzrostlého lesa na zpomalení tání sněhu a odtoku vody z povodí (Kantor et Šach 2002, Pomeroy et al. 2012, atd.). V podmínkách Šumavy se vlivem smrkových porostů a disturbance lesa po kůrovcové kalamitě na parametry sněhové pokrývky, rychlost odtávání a formování odtoku dlouhodobě zabývají např. Jeníček et al. (2017) a Langhammer et al. (2015). Na modelových povodích v oblasti Modravy dokumentují rychlejší odtávání sněhové pokrývky a zvýšení jarního odtoku vody z modelových povodí a ploch postižených odumřením stromového patra. Ve spolupráci s ČHMÚ je v posledních letech realizováno pravidelné sledování výšky sněhové pokrývky, případně vodní hodnoty sněhu, na mnoha místech Šumavy (Procházka et al. 2017). Z porovnání lokalit s podobným úhrnem srážek a maximy výšky sněhové pokrývky za zimní období vyplývá, že např. na vrcholu s uschlým lesem (Poledník) mizí velkoplošně souvislá sněhová pokrývka za poslední roky v průměru o 10-12 dní rychleji než z vrcholu se vzrostlým lesem (Smrčina).

Z výše uvedeného je zřejmé, že funkce vzrostlého lesa je pro oběh vody a klima i v podmínkách centrální Šumavy významná a nezastupitelná, její zlehčování zejména v období klimatické změny může mít dalekosáhlé následky pro rozsáhlá území, nejen v oblasti Šumavy.

Odtokové poměry a obnova lesa na Šumavě

¹*Odbor ochrany přírody, Správa Národního parku Šumava, 1. máje 260, 385 01 Vimperk,*

²*Odbor ochrany přírody a výzkumu, Správa Národního parku Bavorský les, Freyungerstraße 2, D-94481 Grafenau, SRN*

Martin Starý^{1*}, Burkhard Beudert², kontakt: martin.stary@npsumava.cz

Abstrakt

Gradace lýkožrouta smrkového, které postihly a postihují Šumavu, přirozeně vyvolávají otázky a obavy o další vývoj přírodních společenstev. Území Národního parku Šumava zasáhlo několik gradací lýkožrouta spojených s velkoplošným odumíráním lesních porostů s dominantním zastoupením smrku ztepilého. Ve spojení s probíhající klimatickou změnou a několika obdobími sucha se přirozeně nabízí otázka, zda a případně jakým způsobem se přírodní ekosystémy s novými podmínkami vyrovnají. Předkládaný příspěvek si klade za cíl srovnat publikované výsledky dlouhodobých studií zaměřených na cyklus vody a růstovou dynamiku lesa na území Národního parku Šumava a Národního parku Bavorský les.

Syntéza zjištění publikovaných prací ukazuje na snížení evapotranspirace těch ploch, kde došlo k zásadnímu rozpadu hlavního stromového patra vlivem žíru lýkožroutů. Změny trendů ročních úhrnů srážek nebyly prokázány. Snížení ročních úhrnů odtoků bylo statisticky průkazné na časové řadě devíti šumavských povodí, která zahrnovala i území mimo národní parky. Důvodem trendu snižujících se odtoků bylo globální oteplování spojené s vyšším výparem. Povodí, která ležela zcela uvnitř národních parků (povodí Horní Vydry a Große Ohe) roční trendy snížených odtoků nevykazovala. Nejnovější souhrnná studie o vlivu přírodních disturbance na odtokové poměry poukazuje na skutečnost, že přírodní disturbance zapříčiněné velkoplošným žírem lýkožrouta smrkového, dočasně vyrovnávají trend snižování ročních odtoků, a sice snížením evapotranspirace porostů s odumřelým stromovým patrem. V povodích s významným výskytem porostů s rozpadlým hlavním stromovým patrem byly zaznamenány změny v rozložení odtokových poměrů v rámci roku – zvýšené odtoky v časném jarním období (přelom března a dubna), menší odtoky na přelomu dubna a května a snížené odtoky v letním období. Reakce zmlazení lesa na velkoplošnou gradaci lýkožrouta je na obou stranách hranice razantní. Patnáct let po odumření horního stromového patra dosahují hustoty zmlazení lesa pětinasobku hustot mladých stromků v době odumírání. Dominuje nadále smrk ztepilý, nástup jeřábu ptačího byl velmi krátkodobý a omezený jen na první tři roky po disturbance.

Rychlý nástup zmlazení dřevin na plochách po odumření horního stromového patra ukazuje na dočasnost efektů způsobených lýkožroutem smrkovým. Ochrana přírodních procesů tak nepředstavuje ohrožující faktor, ale naopak vhodnou strategii umožňující adaptaci ekosystémů na změnu klimatu.

Úvod

Na české i bavorské straně Šumavy proběhly v posledních 20 letech dvě výrazné gradace lýkožrouta smrkového spojené s plošným odumíráním porostů. Mezi disturbance (narušení) jsou kromě napadení hmyzem počítány též události jako větrné nebo sněhové polomy, námraza nebo jiné přírodní úkazy, které modelují vývoj přirozených lesů. Intenzivní těžební zásahy spojené zejména s odvozem většiny dřevní hmoty, narušením půdního povrchu pojezdem těžké techniky jsou považovány též za silná narušení.

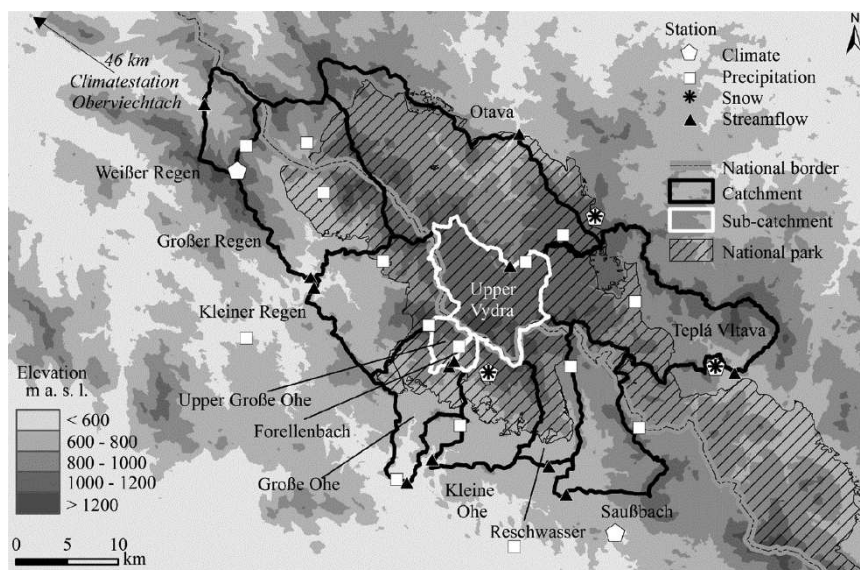
Změny v odtokových poměrech zapříčiněné klimatickou změnou jsou hlášeny z mnoha oblastí světa. Zda se jedná o snížení nebo o zvýšení odtoků závisí především na velikosti a načasování regionálně specifických klimatických faktorů (Beudert 2018 in press).

Odumření horního stromového patra vlivem žíru lýkožrouta se projevuje především zásadním snížením evapotranspirace (Bernsteinová et al. 2015). K fyziologickému výparu (transpiraci) v porostech souší nedochází a snížený je i fyzikální výpar (evaporace), protože souše mají menší povrch než živé zelené stromy. Zároveň však dochází k nárůstu prosakování vody do půdy a tedy k obnově zásob půdní a podpovrchové vody.

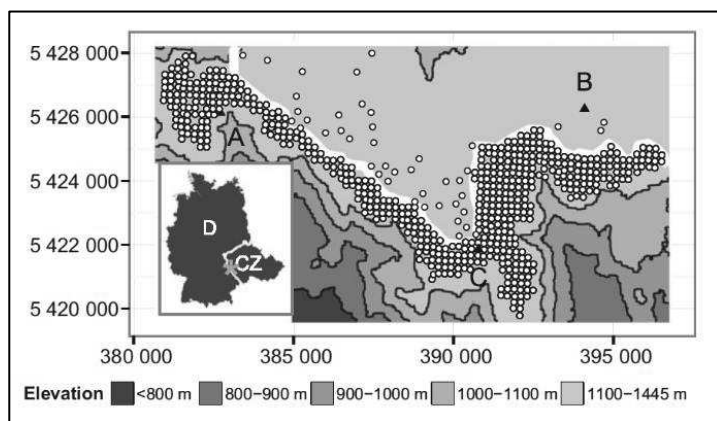
Metodika a data

Pro syntézu získaných dat byla použita zjištění vzniklá v rámci spolupráce Správ Národního parku Šumava a Bavorský les. Jednalo se o práce zaměřené na odtokové poměry, přičemž hlavním zdrojem informací byly práce Bernsteinová et al. (2016) a Beudert et al. (2018 in press). Výsledky těchto studií pak byly konfrontovány s výsledky sledování vývoje obnovy lesa na plochách ponechaných samovolnému vývoji. Zde bylo čerpáno zejména z publikované práce Zeppenfeld et al. (2015) a zároveň z posledních výsledků projektu Biomonitoring území ponechaných samovolnému vývoji.

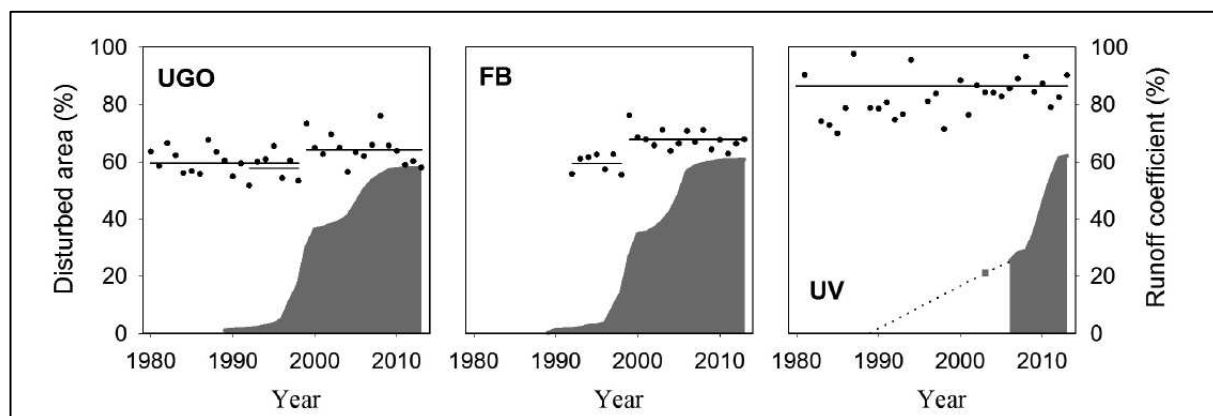
Bernsteinová et al. (2016) zahrnuje do studie povodí Große Ohe v NP Bavorský les a povodí Horní Vydry. Beudert et al. (2018 in press) pak zahrnul již celkem 9 povodí, která s plochou 1 156 km² zahrnují celé území Národního parku Bavorský les a většinu území Národního parku Šumava. Zdrojem klimatických dat byl na české straně Český hydrometeorologický ústav, meteorologické stanice na Churáňově a Lenoře a další klimatické stanice např. na Filipově Huti – viz obr. 1. Na bavorské straně meteorologická data poskytla Bavorská meteorologická služba, Národní park Bavorský les, Bavorský lesnický výzkumný ústav a Bavorské hydrometeorologické služby. Pro sledování vývoje zmlazení lesa byla použita data z celkem 615 pozemních inventarizačních ploch z let 1996 až 2011. Jako zmlazení byly hodnoceny všechny dřeviny s výškou nad 10 cm a výčetním průměrem (průměr kmene ve výšce 1,3 m) (do 7 cm s kůrou).



Obr. 1: Zájmové území sledovaných povodí české a bavorské strany Šumavy v rámci studie Beudert et al. (2018 in press). Bíle jsou označena 3 dílčí povodí použitá ke sledování dopadu gradace lýkožrouta smrkového.



Obr. 2: Inventarizační plochy na obou stranách státní hranice, které byly zahrnuty do sledování vývoje zmlazení lesa v rámci práce Zeppenfeld et al. (2015).



Obr 3: Roční odtoky (% srážek v povodí) v závislosti na podílu narušených ploch (%) u Horní Grosse Ohe (UGO), Forellenbach (FB) a Horní Vydry (UV). Poté, co velikost narušených ploch přesáhla 30 % plochy území, vypařování se signifikantně snížilo ($p < 0,05$). Zároveň se zvýšily odtoky (Beudert et al. 2018 in press).

Výsledky

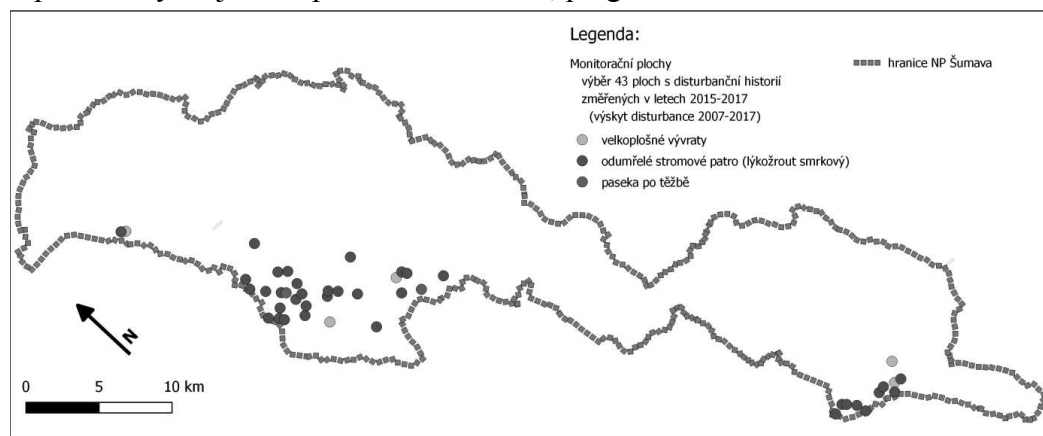
Hydrologické studie ukazují vliv snížení evapotranspirace odumřelých porostů (Beudert et al. 2018 in press). Zároveň ukazují na zvýšené odpařování, které je zapříčiněné silným, statisticky významným oteplením v měsících květnu až srpnu. Studie také porovnávají množství vody, které jsou schopné zadržet koruny smrků v porovnání s vrstvou nadložního humusu. Neporušený nadložní humus zadržuje řádově vyšší objem vody než koruny živých smrků. Množství vody zadržené korunami živých smrků je v porovnání s množstvím vody zadrženým zdravým nadložním humusem zanedbatelné.

Cílem plošného hydrologického sledování dvou velkých povodí Horní Vydry (NP Šumava) a Große Ohe (NP Bavorský les) bylo zjistit, zda se podaří zaznamenat statisticky významné trendy ve změnách hydrologického cyklu na úrovni povodí a zda byly tyto změny zapříčiněny velkoplošným odumírání horního stromového patra vlivem gradace lýkožrouta (Bernsteinová et al. 2015). V rámci tohoto sledování nebyly zaznamenány statisticky signifikantní změny trendů ročních odtoků. Byly však zaznamenány statisticky významné změny v měsíčních odtocích. Odtoky se statisticky průkazně zvýšily v březnu, zatímco došlo ke snížení letních odtoků od srpna do září. Zvýšené jarní průtoky byly nezávislé na velikosti plochy odumřelých porostů. Bylo zároveň sledováno, zda mají změny vegetace zapříčiněné žírem lýkožroutů vliv na dynamiku srážek a termální podmínky. Tato souvislost nebyla prokázána. Zajímavé hydrologické souvislosti ukazuje srovnání doby trvání souvislé a nesouvislé sněhové pokrývky v zeleném lese, na pasekách a na plochách uschlého lesa v letošní zimě v okolí Lenory, ze kterého vyplývá, že intercepce sněhových srážek zelenými korunami smrků je značná.

V rámci studie Beudert et al. (2018 in press) bylo analyzováno 9 šumavských povodí z české i bavorské strany Šumavy, pro která byla dostupná dlouhodobá data o odtokovém režimu (1978 až 2013). Jednalo se o povodí Weißer Regen, Großer Regen, Kleiner Regen, Große Ohe, Kleine Ohe, Reschwasser, Saußbach, Otava a Teplá Vltava. Plocha šetřeného povodí byla 645 km² v Bavorsku a 511 km² v Čechách. V rámci této studie byly na zmíněných devíti tocích zjištěny následující změny odtoků a srážek. Letní odtok se snížil o 70 mm (-21 % od dlouhodobého mediánu), letní srážky se zvýšily o 51 mm (+8 %), zimní odtok se nezměnil, zimní srážky se snížily (-54 mm, -9 %). Bylo zjištěno signifikantní zvýšení teploty v létě. Roční úhrny srážek byly konstantní, odtok se však snížil o 59 mm (-7%). Větší povodí s velkým ovlivněním gradace lýkožrouta (Grosse Ohe, Forellenbach a Horní Vydra) vykazovaly stejné sezónní trendy, avšak nevykazovaly trend zvýšení ročního odtoku.

Dlouhodobé sledování vývoje dynamiky růstu lesa horských smrčín bezzásahových zón obou sousedních národních parků popsany v práci Zeppenfeld et al. (2015) ukazuje na velmi rychlý nástup obnovy, kdy 15 let po odumření horního stromového patra je hustota obnovy bez mála 5x vyšší (medián spočtených jedinců obnovy s výškou 10 – 500 cm) než v okamžiku disturbance. V druhové skladbě byl zaznamenán časově omezený nástup jeřábu, a sice v období 0 až 3 roky po odumření horního stromového patra. Poté znovu následoval rychlý pokles zastoupení jeřábu ve prospěch smrku. Patnáct let po disturbanci byla také zaznamenána změna výškové struktury zmlazení, kdy vyšší zastoupení měli jedinci o výšce 100 až 150 cm. Zmlazení dřevin v bezzásahovém území je prostorově i výškově velmi variabilní, což vede k tvorbě mozaikovitě strukturovaného porostu, v němž se střídají hustě nahloučení jedinci s různě velkými mezerami. Toto prostorové uspořádání zmlazení ve spojení s velkým množstvím ležícího dříví vytváří vhodné podmínky pro prostorově diferencované zachycování srážek a to jak sněhových, tak dešťových.

Z monitoringu lesa ponechaného samovolnému vývoji vyplývá, že zmlazení dřevin se na disturbovaných plochách vyskytuje již v okamžiku disturbance. Z vyhodnocení ploch zasažených orkánem Kyrill a okolních porostů odumřelých vlivem lýkožroutů změřených v letech 2015-2017 (aktuální údaje z posledních 3 roků měření) vyplývá, že na ploše polomů ponechaných samovolnému vývoji překračuje hustota obnovy 10 000 ks/ha a přežilo zde více jak 500 stromů na hektar s tloušťkou kmene nad 7 cm. V porostech s odumřelým stromovým patrem po gradaci lýkožroutů překračuje hustota obnovy 7 000 ks / ha a přeživší stromy hustotu 200 ks / ha. Zajímavé je přežití jednotlivých velkých stromů s kmenem o tloušťce nad 30 cm; v polomu bylo zjištěno průměrně 20 ks/ha, po gradaci kůrovce 5 ks/ha.



Obr. 4: Stav a struktura lesa, který prodělal disturbanci polomem v roce 2007 a gradaci lýkožrouta smrkového v letech 2008 - 2012 výsledky projektu Biomonitoringu území převážně ponechaného samovolnému vývoji 2015 – 2017

Tab. 1: Průměrné množství obnovy a živých stromů v různých vývojových fázích lesa a na pasece po těžbě.

	počet ploch (ks)	zmlazení dřevin (ks/ha)	živé stromy s průměrem nad 7 cm(ks/ha)	živé stromy s průměrem nad 30 cm(ks/ha)
velkoplošné vývraty a polomy	5	10564	527	20
porosty s odumřelým stromovým patrem	36	7407	200	5
paseka po těžbě	2	5830	97	0

Shrnutí a závěry

Ze srovnání předložených výsledků vyplývá, že gradace lýkožrouta je velmi důležitým faktorem vývoje horských smrčín. Z hlediska zmlazení lesa způsobuje nárůst heterogenity a v určité fázi vývoje i hustoty zmlazení dřevin. Gradace lýkožrouta nezpůsobuje významné roční změny odtokových poměrů, ale byla prokázána souvislost se zvýšením odtoku v letním suchém období. Tento vliv je způsoben omezením evapotranspirace, která je však, pokud vezmeme v potaz vývoj zmlazení dřevin, pouze časově omezeným efektem. V širším územním měřítku povodí obou národních parků byl prokázán trend snižujících se odtoků. Srážky byly v tomto širším období mezi léty 1978 až 2013 konstantní a nevykazovaly změnu trendu. Stejná analýza na 3 vybraných gradací kůrovce silně ovlivněných povodích trend ve snižujících se odtocích nepotvrdila. Přírodní disturbance lýkožrouta smrkového tak dočasně vyvážila vliv oteplování, spojený se změnou klimatu.

Přehled literatury

Použité zdroje (Čermák a kol.)

Balek J., Čermák J., Kučera J., Prax A., Palouš M. 1986. Regional transpiration assessment by remote sensing. In: Proc of the Cocoa beech workshop: „Hidrologic Applications of Space Technology“, Florida, August 1985. IAHS Publ.No. 160: 141-148.

Čermák J. a Kučera J. 1990. Scaling-up transpiration data between trees, stands and watersheds. *Silva Carelica* 15: 101-120, 1990.

Čermák J., Prax A., Pokorný J., Brom J. 2009. Javor stříbrný v atriu AT2 v Lázních Aurora, Třeboň (12 p.).

Čermák J., Černý M., Šrámek M., Pokorný J., Vichrová G., Klewar M. 2015. Makrostruktura, růst a vodní provoz smrku ztepilého. Výzkumná zpráva Mendel Univ.Bрно pro NP Šumava. 37p.

Makarieva A.M. and Gorshkov V.G. 2007. Biotic pump of atmospheric moisture as driver of the hydrological cycle on land. *Hydrology and Earth System Science*, 11: 1013-1033.

Oltchev A., Čermák J., Nadezhdina N., Tatarinov F., Tischenko A., Ibrom A., Gravenhorst G. 2002. Transpiration of a mixed forest stand: field measurements and simulation using SVAT models. *Boreal Environmental Research* 7 (4): 389-397.

Použité zdroje (Kopáček a kol.)

Bače R., Svoboda M., Janda P., Morrissey R.C., Wild J., Clear J.L., Čada V., Donato D.C. 2015. Legacy of pre-disturbance spatial pattern determines early structural diversity following severe disturbance in montane spruce forests. *PLoS ONE*, 10(9): e0139214. doi:10.1371/journal.pone.0139214.

Kaňa J., Tahovská K., Kopáček J. 2013. Response of soil chemistry to forest dieback after bark beetle infestation. *Biogeochemistry*, 113: 369–383. doi: 10.1007/s10533-012-9765-5

Kaňa J., Tahovská K., Kopáček J., Šantrůčková H. 2015. Excess of organic carbon in mountain spruce forest soils after bark beetle outbreak altered microbial N transformations and mitigated N-saturation. *PLoS ONE* 10(7): e0134165. doi: 10.1371/journal.pone.0134165

Kopáček J., Turek J., Hejzlar J., Šantrůčková H. 2009. Canopy leaching of nutrients and metals in a mountain spruce forest. *Atmospheric Environment*, 43: 5443–5453. doi: 10.1016/j.atmosenv.2009.07.031

Kopáček J., Cudlín P., Fluksová H., Kaňa J., Pícek T., Šantrůčková H., Svoboda M., Vaněk D. 2015. Dynamics and composition of litterfall in an unmanaged Norway spruce (*Picea abies*) forest after bark-beetle outbreak. *Boreal Environment Research*, 20: 305–323.

Kopáček J., Hejzlar J., Kaňa J., Porcal P., Turek J. 2016. The sensitivity of water chemistry to climate in a forested, nitrogen-saturated catchment recovering from acidification. *Ecological Indicators*, 63: 196–208. doi: 10.1016/j.ecolind.2015.12.014

Kopáček J., Fluksová H., Hejzlar J., Kaňa J., Porcal P., Turek J. 2017. Changes in surface water chemistry caused by natural forest dieback in an unmanaged mountain catchment. *Science of the Total Environment*, 584–585: 971–981. doi: 10.1016/j.scitotenv.2017.01.148.

Kopáček J., Evans C.D., Hejzlar J., Kaňa J., Porcal P., Šantrůčková H. 2018. Factors affecting the leaching of dissolved organic carbon after tree dieback in an unmanaged European mountain forest. *Environmental Science & Technology*. doi: 10.1021/acs.est.8b00478

Šantrůčková H., Šantrůček J., Šetlík J., Svoboda M., Kopáček J. 2007. Carbon isotopes in tree rings of Norway spruce exposed to atmospheric pollution. *Environmental Science & Technology* 41: 5778–5782.

Šantrůčková H., Tahovská K., Kopáček J. 2009. Nitrogen transformations and pools in N-saturated mountain spruce forest soils. *Biology and Fertility of Soils*, 45: 395–404.

Turek J., Fluksová H., Hejzlar J., Kopáček J., Porcal P. 2014. Modelling air temperature in catchments of Čertovo and Plešné lakes in the Bohemian Forest back to 1781. *Silva Gabreta* 20: 1–24.

Vrba J., Kopáček J., Tahovská K., Šantrůčková H. 2015. Long-term ecological research of glacial lakes in the Bohemian Forest and their catchments. *Silva Gabreta*, 21: 53–71.

Vrba J., Bojková J., Chvojka P., Fott J., Kopáček J., Macek M., Nedbalová L., Papáček M., Rádková V., Sacherová V., Soldán T., Šorf M. 2016. Constraints on the biological recovery of the Bohemian Forest lakes from acid stress. *Freshwater Biology* 61: 376–395. doi: 10.1111/fwb.12714

Zeppenfeld T., Svoboda M., DeRose J., Heurich M., Müller J., Čížková P., Starý M., Bače R., Donato D. 2015. Response of *Picea* forests to stand-replacing bark beetle outbreaks: Neighborhood effects lead to direct regeneration. *Journal of Applied Ecology* 52: 1402–1411. doi: 10.1111/1365-2664.12504

Použité zdroje (Pokorný a kol.)

Andréassian, V. 2004. Waters and forests: from historical controversy to scientific debate. *J Hydrol.* 291, 1–27.

Bässler, C. 2008. Klimawandel—Trend der Lufttemperatur im Inneren Bayerischen Wald(Böhmerwald). *Silva Gabreta* 14, 1–18.

Bernsteinová, J., Bässler, C., Zimmermann, L., Langhammer, J., Beudert B. 2015. Changes in runoff in two neighbouring catchments in the Bohemian Forest related to climate and land cover changes. *J Hydrol. Hydromech.* 63(4), 342 – 352.

Bosch, J. M. & Hewlett, J. D., 1982. A review of catchment experiments to determine the effect of vegetation changes on water yield and evapotranspiration. *J. Hydrol.* 55, 3–23.

- Geiger, R. 1957. The climate near the ground, second edition. Harvard University Press, Cambridge, MA.
- Hesslerová, P., Huryna, H., Pokorný, J., 2017. Deforestation as a threat for hydrology regime and wetlands, In: Vymazal J. (ed.): 10th International Workshop on Nutrient Cycling and Retention in Natural and Constructed Wetlands, Třeboň, Czech Republic, September 21–24, 2017. p. 29–31. ISBN 978-80-905483-3-6
- Hruška J., Lamačová, A., Chuman, T., 2016, Bezzásahový režim nemá zásadní vliv na hydrologii šumavských povodí. Ochrana přírody, 35 - 38
- Makarieva, A.M., Gorshkov, V.G. 2007. Biotic pump of atmospheric moisture as driver of the hydrological cycle on land. Hydrol Earth Syst Sci 11(2): 1013-1033.
- Marsh, G.P. 1864. Man and Nature or, Physical geography as modified by human action. Charles Scribner, Oxford University, New York.
- Piňos, J. 2015. Nová studie: Kůrovec nemění vodní poměry Šumavy. In: *hnutiduha.cz* [online]. 25.9.2015 [cit. 20.5.2018]. Dostupné z: <http://www.hnutiduha.cz/aktualne/nova-studie-kurovec-nemeni-vodni-pomery-sumavy>.
- Pomeroy, J., Fang, X., Ellis, C. 2012. Sensitivity of snowmelt hydrology in Marmot Creek, Alberta, to forest cover disturbance. Hydrol Process. 26, 1891–1904.
- Ponting C., 1991, A Green History of the World. The Environment and the Collapse of Great Civilizations, Penguin Books, 412 s.
- Puhlmann, H., Schwarze, R., Fedorov, S.F., Marunich, S.V., (eds.) 2007, Forest hydrology –results of research in Germany and Russia, IHP, HWRP, BfG, Koblenz, Germany, 300 pp.
- Tesař, M., Šír, M., Lichner, L., Zelenková, E. 2006. Influence of vegetation cover on thermal regime of mountainous catchments. Biologia (Bratisl). 61, 311–314
- Úlehla, V. 1947. Napojme prameny o utrpení našich lesů: sedm rozhlasových přednášek. Život a práce, Praha. in Czech.
- Von Humboldt, A., 1849. Ansichten der Natur. I, 3. Aufl. 1849. S. 252.
- Použité zdroje (Švihla a kol.)*
- Bosch J.M., Hewlett J.D. 1982. A review of catchment experiments to determine the effect of vegetation changes on water yield and evapotranspiration. Journal of Hydrology, 55 (1/4): 3–23.
- Dils R.E. 1957. A guide to the Coweeta Hydrology Laboratory. Asheville (North Carolina), Southeast Forest Experiment Station: 40 s.
- Eisenbies M.H., Aust W.M., Burger J.A., Adams M.B. 2007. Forest operations, extreme flooding events, and considerations for hydrologic modeling in the Appalachians – a review. Forest Ecology and Management, 242: 77–98.
- Flawell D.J. 1982. The rational method applied to small rural catchment in the southwest of Western Australia. In: Hydrology and water resources symposium, Melbourne, 11–13 May 1982. Preprints of papers. Barton, The Institution of Engineers: 49–53. National conference publication, no. 82/3.
- Hewlett J.D. 1970. Review of the catchment experiment to determine water yield. In: Proceedings of the Joint FAO/U.S.S.R. International Symposium on Forest Influences and Watershed Management. Moscow, 17 August–6 September, 1970. [Rome], FAO: 145–155.
- Jařabáč M. 1984. Vliv holosečného způsobu obnovy na odtok vody v Beskydech. Výzkumná zpráva úkolu C16-331-206. Jíloviště- Strnady, VÚLHM: 19 s.
- Kantor P. 1996. Vodní režim smrkových a bukových porostů jako podklad pro návrh druhové skladby vodohospodářsky významných středohorských lesů. Habilitační práce. Brno, Mendelova univerzita v Brně, Lesnická a dřevařská fakulta: 327 s.
- Krečmer V., Kantor P., Šach F., Švihla V., Černohous V. 2003. Lesy a povodně. Souhrnná studie. Praha, Ministerstvo životního prostředí: 48 s.
- Myslivec V. 1957. Statistické metody zemědělského a lesnického výzkumnictví. Praha, ČAZV: 555 s.
- Peterjohn W.T., Foster C.J., Christ M.J., Adams M.B. 1999. Patterns of nitrogen availability within a forested watershed exhibiting symptoms of nitrogen saturation. Forest Ecology and Management, 119: 247–257. DOI: 10.1016/S0378-1127(98)00526-X
- Pivokonský M., Pivokonská L., Bubáková P., Janda V. 2010. Úprava vody s obsahem huminových látek. Chemické listy, 104: 1015–1022.
- Pokorný J. 2014. Hospodaření s vodou v krajině – funkce ekosystémů. Ústí nad Labem, Univerzita J. E. Purkyně: 103 s.
- Puhlmann H., Schwarze R., Federov S.F., Marunich S.V. 2007. Forest hydrology – results of research in Germany and Russia. Koblenz, IHP/HWRP-Sekretariat, Bundesanstalt für Gewässerkunde: 299 s. Berichte, 6.
- Schwarze R., Beudert B. 2009. Analyse der Hochwassergenese und des Wasserhaushalts eines bewaldeten Einzugsgebietes unter dem Einfluss eines massiven Borkenkäferbefalls. Hydrologie und Wasserbewirtschaftung, 53 (4): 236–249.
- Šach F., Černohous V. 2016. Lesní odtokové plochy a malá povodí s experimenty těžby dřeva ve vazbě na jejich vodnost. Zprávy lesnického výzkumu, 61: 54–65.
- Škrášek J., Tichý Z. 1990. Základy aplikované matematiky III. Praha, SNTL: 853 s.
- Švihla V., Černohous V., Šach F., Kantor P. 2014. Metodické postupy optimalizace vodního režimu uspořádáním kultur v krajině. Certifikovaná metodika. Strnady, VÚLHM: 31 s.
- Waerden B.L. van der 1957. Mathematische statistik. Berlin, Springer: 434 s

Použitá zdroje (Starý a kol.)

Bernsteinová J., Bässler C., Zimmermann L., Langhammer J., Beudert B., 2015: Changes in runoff in two neighbouring catchments in the Bohemian Forest related to climate and land cover changes. *Journal of Hydrology and Hydromechanics* 63, 4, pp. 342-352

Beudert B., Bernsteinová J., Premier J., Bässler C., 2018: Natural disturbance by bark beetle offsets climate change effects on streamflow in headwater catchments of Bohemian Forest. *Silva Gabreta* 24 in press

Zappenfeld T., Svoboda M., DeRose R. J., Heurich M., Müller J., Čížková P., Starý M., Bače R., Donato D.C. 2015: Response of mountain *Picea abies* forests to stand-replacing bark beetle outbreaks: neighbourhood effects lead to self-replacement. *Journal of Applied Ecology* 52: 1402-1411

Editor: Ing. Martin Klewar, ekolog@hnutizivot.cz, www.hnutizivot.cz
Tiskárna: Ing. Pavel Chrást'anský, PSi, psi@elsatnet.cz
Fotografie na obálce: © Zaklepin, © Klewar
Doporučená cena: 100,- CZK

Hnutí život děkuje spoluorganizátorům a přednášejícím za účinnou spolupráci. Čtenářům přejeme užitek ze čtení a vytrvalost v osobování si erudice v daném tématu.



www.hnutizivot.cz