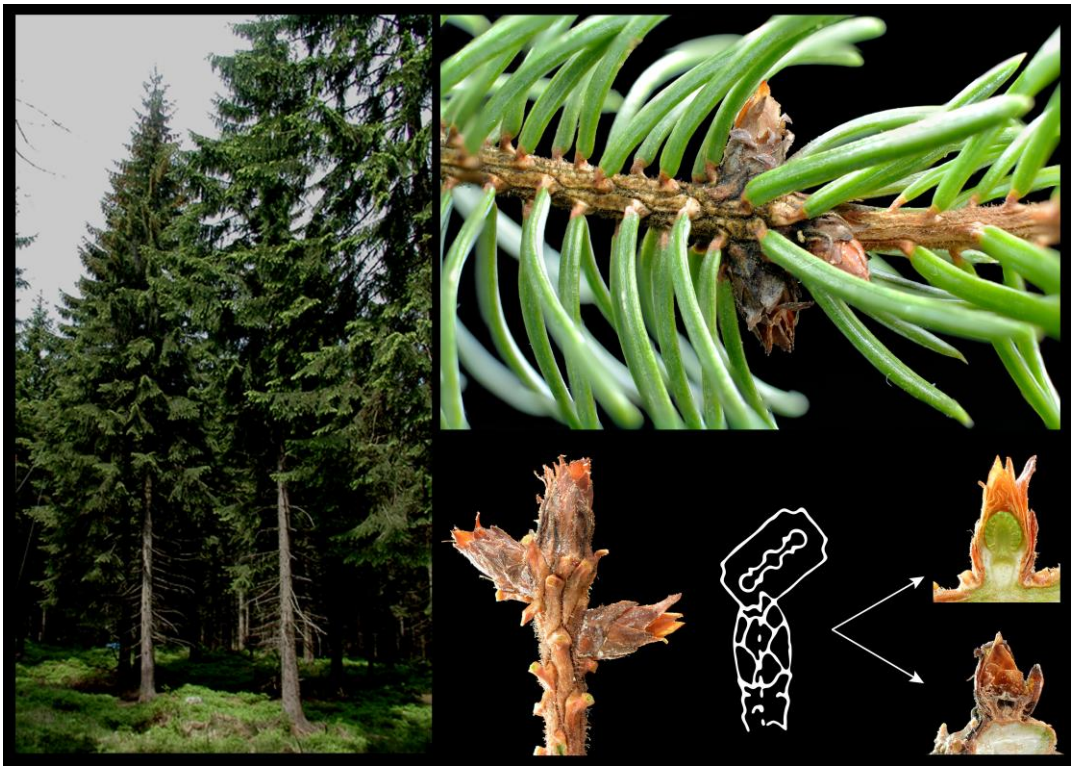
Univerzita Karlova

Přírodovědecká fakulta

Katedra experimentální biologie rostlin

Metodika určování vitality smrku ztepilého podle kritéria zastoupení vývojových směrů pupenů



Autoři:

Prof. RNDr. Jana Albrechtová, Ph.D., Mgr. Zuzana Lhotáková, Ph.D.

Certifikovaná metodika vypracovaná jako výstup projektu MŠMT Centrum experimentální biologie rostlin UK, NPUI LO1417

Oponenti:
Doc. Ing. Radek Pokorný, Ph.D., Mendelova univerzita v Brně, Fakulta lesnická a dřevařská, Ústav zakládání a pěstění lesů, Brno, radek.pokorny@mendelu.cz
Ing. Martin Pospíšil, Ústav pro hospodářskou úpravu lesů (ÚHUL) Brandýs nad Labem, pobočka Kroměříž, pospisil.martin@uhul.cz

ISBN: 978-80-7444-074-8

Říjen 2019

Adresa autorů:
Prof. RNDr. Jana Albrechtová, Ph.D.,
Mgr. Zuzana Lhotáková, Ph.D.
Přírodovědecká fakulta Univerzity Karlovy
Katedra experimentální biologie rostlin
Viničná 5
128 44 Praha 2

e-maily: albrecht@natur.cuni.cz, zuzana.lhotakova@natur.cuni.cz

Obsah

1. Cíl metodiky 5
2. Úvod 6
   2.1. Smrk ztepilý a jeho význam, současné problémy smrkových lesních porostů v České republice 6
   2.2. Zdravotní stav porostu, fyziologický stav stromu a jeho vitalita 7
   2.3. Definice vitality stromu 8
   2.4. Makroskopické indikátory poškození a jejich výpovědní hodnota pro vitalitu smrku ztepilého 8
   2.5. Zastoupení vývojových směrů vegetativních pupenů v koruně stromu 8
   2.6. Indikátor zastoupení vývojových směrů pupenů a jeho výpovědní hodnota pro vitalitu smrku ztepilého 9
   2.7. Určení vývojových směrů pupenů smrku ztepilého 10
   2.8. Kategorie vitality smrku ztepilého 11
3. Vlastní popis metodiky 13
   3.1. Stručný popis metodiky 13
   3.2. Detailní popis metodiky 13
      3.2.1. Výběr porostu 13
      3.2.2. Výběr stromu 13
      3.2.3. Odběr vzorků větví 14
      3.2.4. Odečet stáří letorostu 15
      3.2.4. Postup zjišťování zastoupení vývojových směrů pupenů 17
         3.2.3.1. Zjištění počtu rostoucích pupenů 17
         3.2.3.2. Hodnocení nerostoucích pupenů 17
         3.2.3.3. Používané pomůcky pro hodnocení vývojových směrů pupenů 17
      3.2.5. Určení kategorií vitality stromu podle kritéria zastoupení vývojových směrů pupenů 18
         3.2.5.1. Stabilizovaný stav: největší vitalita stromu 18
         3.2.5.2. Zlepšený stav: velmi dobrá vitalita 18
         3.2.5.3. Stav snížené růstové aktivity: dobrá vitalita 19
         3.2.5.4. Zhoršený stav: špatná vitalita 19
         3.2.5.5. Stav zvýšené růstové aktivity: nejnižší vitalita 19
      3.2.6 Potenciál obnovy koruny stromu v příštím roce 19
      3.2.7. Retrospektivní sledování trendu vývoje vitality stromů potažmo porostu na stanovišti 20
         3.2.7.1. Ukázka vyhodnocení trendu vitality porostu: případová studie v Krušných horách 20
4. Srovnání novosti postupů 22
5. Popis uplatnění Certifikované metodiky 22

6. Ekonomické aspekty 23
6.1. Náklady na zavedení postupů 23
6.2. Časová náročnost metodiky 23
6.3. Odhad ekonomického přínosu pro uživatele 24
7. Seznam použité související literatury. 25
8. Seznam publikací, které předcházely metodice 28
9. Jména oponentů a adresy jejich pracoviště 29
10. Dedikace 29

1. Cíl metodiky

Cílem metodiky je představit nové kritérium pro makroskopické hodnocení vitality smrku ztepilého podle zastoupení vývojových směrů vegetativních pupenů na koncové části reprezentativní větve odebrané z produkční části koruny stromu. Metodika umožňuje u dospělých jedinců smrku ztepilého, tj. u jedinců růstové fáze tyčoviny, nebo starší, získat informace o vitalitě stromu, tedy potenciálu pro obnovu koruny z pupenových meristémů přítomných v produkční části koruny stromu, tedy potenciálu pro obnovu fotosyntetického aparátu a asimilační schopnosti stromu. Metodika umožňuje získat tyto informace v daný rok i rekonstruovat retrospektivní trend vývoj vitality stromu v posledních *n* letech v závislosti na počtu ročníků jehlic (*n* = (počet ročníků jehlic) – 1, tj. asi 6-10 let). Kritérium zastoupení vývojových směrů pupenů na odebrané koncové části větve smrku a z něho odvozené kritérium vývojového potenciálu větve, potažmo stromu, umožňuje i předpovědět schopnost regenerace koruny stromu v příštím roce či blízké budoucnosti. Při uplatnění této metodiky je možné usměrnit pěstební zásahy, ať již ve smyslu výchovy či obnovy porostů, na základě sledování vývoje vitality porostů a jeho jednotlivých složek, stejně jako rozhodnout o tom, do které porostní složky má být pěstební zásah přednostně směřován a která složka porostu je jádrem pěstební péče. Uvedenou metodou lze totiž detekovat stále ještě rostoucí stromy, které sice mohou vypadat makroskopicky poškozené, ale mají dobrý růstový potenciál obnovy koruny v následujících letech. Stejně tak je možné určit stromy, které sice mohou vypadat makroskopicky, dle odlistěnosti a barevných změn jehlic zdravé a prosperující, ale už nemají růstový potenciál pro obnovu koruny v případě působení stresových faktorů a jsou tedy z pohledu zdárného vývoje porostu neperspektivní.

2. Úvod

2.1. Smrk ztepilý a jeho význam, současné problémy smrkových lesních porostů v České republice

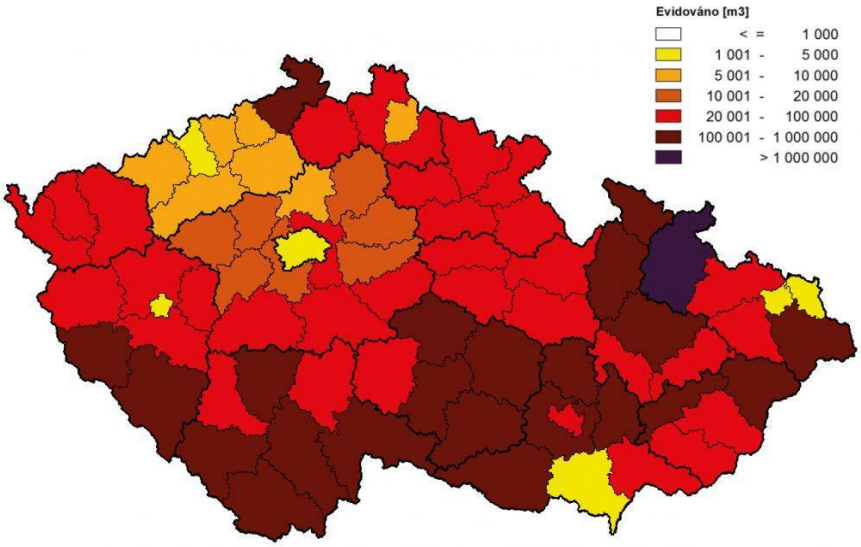
Smrk ztepilý *(Picea abies* L. Karst*)* je dosud nejhojněji zastoupená dřevina v lesích České republiky (cca přes 50 % druhové skladby hospodářských lesů namísto původních cca 12 %) především díky ekonomickému významu, a to relativně rychlému růstu kvalitního dřeva s vlastnostmi vhodnými pro široké využití, a představuje hlavní hospodářskou dřevinu v ČR. Nicméně se ukázalo, že smrk je bohužel velmi citlivý vůči měnícím se faktorům prostředí. Je citlivý nejen vůči abiotickým faktorům klimatické změny, jako je především sucho a vysoká teplota ve vegetační sezóně, ale i ostatním abiotickým faktorům, především těch, působících na jeho nižší mechanickou stabilitu, jako vítr a těžký sníh; dále pak vůči požárům a vůči exhalacím - atmosférickému znečištění (Albrechtová a kol. 2001; Campbell a kol. 2004; Novotný, Šrámek 2016; Šrámek, Novotný 2019). V současnosti je nejrizikovějším vzdušným polutantem především ozón, v nedávné minulosti oxidy síry a dusíku, kdy bylo v ČR pozorováno několik imisních kalamit vedoucích ke kalamitním těžbám v druhé polovině 20. století. Při prohloubení oslabení smrku abiotickými faktory se vytváří vhodná situace pro působení biotických faktorů, jako je intenzivní napadení různými škůdci; v průběhu 20. století a počátku 21. století šlo především o napadení kambiofágního hmyzu - lýkožrouty nebo i listožravého hmyzu, např. bekyní mniškou.

Následkem stále častěji se vyskytujících sušších a teplejších období, často ve formě vln veder, ve vegetační sezóně nejsou rostliny schopné asimilovat a pokrývat svou energetickou spotřebu. Pro přežití rostliny / stromu je podstatné, aby nedošlo k energetickému vyčerpání rostliny a oslabení obranných mechanizmů, kdy strom není schopen vytvářet obranné látky obvykle sekundárního metabolismu, jako jsou různé fenolické látky, silice, atd. Snížená tvorba obranných látek může vést k přemnožení hlavně kambiofágního hmyzu (čeleď kůrovcovitých), listožravého hmyzu (ploskohřbetka, pilatka, mniška, smrková forma obaleče modřínového, píďalky, obaleči atd.) či původců houbových chorob (jako je václavka, kořenovník vrstevnatý, dřevomor kořenový, sypavka, padlí apod.; Jankovský, Cudlín 2002). Mezi houbovou nákazou a odolností k vodnímu stresu může být zpětná vazba, jak bylo pozorováno pro kořenovník smrkový (*Heterobasidion parviporum*), kdy napadené stromy, zejména v nižších nadmořských výškách, reagovaly citlivěji na sucho snížením přírůstu biomasy, v mezním případě až zastavením kambiální aktivity (Gori a kol. 2013).

V současné době jsou smrkové porosty v Česku velmi oslabené, ohrožené a velkoplošně chřadnou a odumírají v především důsledku kombinace sucha a napadení lýkožroutem. V Česku napadá smrkové porosty především lýkožrout smrkový (*Ips typographus*), obvykle doprovázený lýkožroutem lesklým (*Pityogenes chalcographus*), ale v posledních cca třech dekádách se šíří i invazní druh lýkožrout severský (*Ips duplicatus*) ze severní Evropy, původem ze Sibiře (Lubojacký, Liška, Knížek 2018; Lubojacký a kol. 2019). Lýkožrout severský obvykle napadá jednotlivé stromy uvnitř porostu a je soustředěn převážně do korunové části stromů, což ztěžuje včasné vyhledávání napadených stromů a brouci často dokončují vývoj dříve, než jsou na stromech viditelné první příznaky napadení. I z těchto důvodů je ochrana smrkových porostů před lýkožroutem severským značně komplikovaná (Lubojacký, Liška, Knížek 2018). Stromy napadené lýkožroutem (kůrovcem) vykazují symptomy předčasného usychání. V posledních letech je nejvíce diskutováno extrémní napadení různými druhy lýkožroutů v kombinaci s extrémním suchem, které naši zemi sužuje již řadu let (Lesnická výzva 2019).

Současná kůrovcová kalamita započala lokálně již v roce 2003 (např. Opavsko) a od roku 2014 postupně vygradovala do mimořádné intenzity. Jde o nejdelší kůrovcovou kalamitu v historii českých a moravských zemí. Kůrovcová kalamita nabývá v Česku ohromných rozměrů (Obr. 1), podle autorů Lesnické výzvy v r. 2018 kůrovec a sucho zapříčinily zničení minimálně 50 tisíc hektarů lesů, v letošním roce (2019) to může být až 500 tisíc hektarů lesa (Lesnická výzva 2019). Podle autorů Lesnické výzvy (2019) v případě, že by kůrovcová kalamita postihla veškeré lesy, kde je zastoupen smrk, dosáhly by při dnešních cenách dříví jen přímé ekonomické škody částky přesahující 500 miliard korun (tedy třetinu státního rozpočtu ČR). Autoři Lubojacký a kol. (2019) uvádějí, že za nedobrého zdravotního stavu smrku

pozorovaného v r. 2018 na území severní a střední Moravy a Slezska, častých povětrnostních extrémů, tlaku václavky a podkorního hmyzu, bude velice obtížné dopěstovat tamní smrkové porosty v polohách do cca 700 m n. m. do mýtního věku. Proto informace o vitalitě smrku nejlépe na zcela lokální úrovni, tj. v konkrétních porostech, je důležitým předpokladem z pohledu zamýšlené výchovy, ale i obnovy takových porostů (např. formou tzv. předčasné obnovy).



Obr. 1: Mapa České republiky s vyznačením evidovaného objemu kůrovcového dříví za rok 2018. Zdroj VÚLHM (2019).

2.2. Zdravotní stav porostu, fyziologický stav stromu a jeho vitalita

Zdravotní, či fyziologický stav stromů je posuzován podle přítomnosti symptomů poškození. Symptom poškození je definován jako „jakýkoliv příznak na stromě, který je výsledkem negativního působení vnějšího faktoru, a o jehož působení také vypovídá (např. odlistění – defoliace, barevné změny listoví, nekrózy)“ (ICP Forests 2010 - International Cooperative Programme on Assessment and Monitoring of Air Pollution Effects on Forests; Eichhorn a kol. 2010).

Hodnocení zdravotního stavu porostu nebo poškození smrkových lesních porostů je založeno hlavně na makroskopických indikátorech poškození (ICP Forests 2010, VÚLHM - Monitoring stavu lesa – program ICP Forests 2019; Albrechtová, Lhotáková 2017b). Hlavním indikátorem (symptomem) poškození stromu, což pro smrk jako neopadavý jehličnan platí obzvláště, je míra odlistění (defoliace) jeho koruny, doplněná o barevné změny jehlic a sociální postavení stromů. Míra odlistění koruny stromu je definovaná jako relativní ztráta asimilačního aparátu v koruně stromu (tj. odlistěním) v porovnání se zdravým stromem, rostoucím ve stejných porostních a stanovištních podmínkách, který neprodělal nepřirozenou nadměrnou ztrátu listoví.

Odlistění koruny je nespecifický, makroskopický symptom poškození způsobený zpravidla více škodlivými faktory, které mohou působit samostatně nebo společně ve vzájemné interakci. Spouštěcím faktorem odlistění může být extrémní působení klimatických faktorů, jako je sucho, znečištění (např. ozón, oxidy síry), napadení škůdci. Rostlina oslabená chronickým stresovým působením není schopna udržovat rovnováhu mezi degradačními (opad listoví) a obnovnými procesy v koruně (tvorba nových výhonů a jehlic z pupenů) a následkem bývá redukce asimilačních orgánů (Cudlín, Novotný, Chmelíková 1999). Defoliace stromu tedy vypovídá o převaze degradačních procesů v koruně stromů, nikoli o vitalitě stromu.

Průběh stresové odezvy rostliny závisí na intenzitě a délce působení stresových faktorů a na adaptační schopnosti stromu, založené na jeho genotypu a předchozímu vystavení stresu (Taiz a kol. 2015): Z počátku působení stresoru dochází k akutnímu poškození, nastartuje se syntéza celé řady obranných látek a tím se spustí, tzv. poplachová fáze. Poté následuje restituční fáze stresové odezvy

stromu – přizpůsobení se různými změnami genové exprese, změnami metabolickými, pak mikroskopickými, a pokud stresory působí nadále, akutní poškození se mění na poškození chronické a makroskopicky viditelné. Strom může v této fázi přežívat i řadu let v závislosti na genotypu, délce a intenzitě působení stresorů. Úroveň makroskopického poškození je viditelná a bývá již projekcí dlouhodobějšího vývoje rostliny. Pokud stresor neustále působí, nastanou nevratné změny, objevují se nekrózy listoví, poškozené listoví opadává, případně je znovu nahrazeno a postupně nastává fáze energetického vyčerpání rostliny, případně až odumření rostliny (Albrechtová, Lhotáková 2017a).

2.3. Definice vitality stromu

Vitalita neboli životaschopnost je vlastnost nebo soubor vlastností, díky kterým se posuzuje určitá vývojová tendence jedince. Pod pojmem vitalita stromu rozumíme schopnost stromu asimilovat, přežít působení stresových faktorů, reagovat na změnu podmínek prostředí a reprodukovat se (Dobbertin, Brang 2001). Dobrý fyziologický stav vegetativních pupenů smrku ztepilého podmiňuje tvorbu nových výhonů s asimilační funkcí, a tudíž zabezpečuje realizaci regeneračních procesů v koruně, které vedou k obnově koruny v případě poškození asimilačního aparátu stromu. Pupeny jsou u smrku ztepilého zakládány obvykle vrcholovými meristémy (pletivy dělivými) výhonů v sezóně předcházející vlastní tvorbě výhonu. Z takto předpřipravených pupenů, tzv. pravidelných pupenů, vyraší výhon na jaře následné sezóny (Albrechtová 1997). Pravidelný pupen pak zůstává spící s připravenými základy listovými přes zimu a je aktivován k růstu v následné sezóně na jaře, ale může i zůstat spící (dormantní) po řadu následujících sezón a tvoří tak zásobu meristémů pro náhradu koruny v případě stresového zatížení stromu a následné ztráty části listoví. Každé narušení tvorby pupenů snižuje množství a/nebo kvalitu listoví produkovaného následující rok (Straw a kol. 2000).

2.4. Makroskopické indikátory poškození a jejich výpovědní hodnota pro vitalitu smrku ztepilého

Pro velkoplošný monitoring zdravotního stavu porostů smrku ztepilého (*Picea abies* L. Karst.), jsou nejčastěji používány tradiční indikátory makroskopického poškození korun, jako je procentuální odlistění (defoliace) koruny, barevné změny jehlic, atd., mnoho z nich je součástí manuálu programu (ICP Forests 2010, VÚLHM - Monitoring stavu lesa – program ICP Forests 2019). Velkou výhodou těchto makroskopických indikátorů stavu koruny je relativní rychlost a nenáročnost hodnocení oproti laboratorním analýzám jehlic, které mohou podat informaci o metabolických změnách či živinových obsazích v asimilačním aparátu, které dosud nejsou rozeznatelné na makroskopické úrovni. Informace, kterou získáme s použitím makroskopických indikátorů stavu koruny, nás především informuje o současném stavu viditelných, tj. makroskopických změn.

Odlistění koruny není zcela vhodným ukazatelem vitality jehličnatých stromů (Dobbertin, Brang 2001), neboť silně odlistěné stromy mohou přežívat v extrémních podmínkách mnoho let s malým množstvím asimilačního aparátu nebo mohou kompenzovat ztrátu listoví formováním sekundárních výhonů (Cudlín a kol. 2001; Polák a kol. 2007). Je zřejmé, že odlistění koruny je projekcí mnoha let vývoje stromu (přinejmenším tolika, kolik je na něm ročníků jehlic) a nepostihuje současný vývoj tvorby výhonů, jehlic a regenerační procesy v koruně, tedy vitalitu stromu.

2.5. Zastoupení vývojových směrů vegetativních pupenů v koruně stromu

Podíl rostoucích, pravidelných pupenů k pupenům spícím, dormantním se mění v závislosti na stáří stromu a uložení v koruně (Kozlowski 1963; 1964; Powell 1995). Pupeny z vrchních částí koruny se častěji ubírají normálním ročním cyklem pravidelného pupenu, kdy prorůstají ve výhon hned následující sezónu po vytvoření pupenu, ve srovnání s pupeny z dolních částí koruny, které častěji

přetrvávají v dormantním stavu i po několik sezón a pokud jsou aktivovány a dají vznik novým výhonům, pak jde o tzv. následný růst.

Jedinci juvenilní mají převážně pupeny pravidelné, neboť vytvářejí korunu stromu a relativně malé procento pupenů spících, zatímco pupeny dospělých jedinců ve stabilizovaném stavu růstu mají relativně malé množství pupenů pravidelných, rostoucích, dobrou zásobu pupenů spících a málo pupenů odumřelých. Lomský, Lochman, Šrámek (1997) popisují regenerační schopnost porostů pomocí procenta živých pupenů v různých částech koruny dospělých jedinců. Nejvyšší procento živých pupenů zaznamenali ve vrchní třetině koruny, přičemž mladší stromy mají vyšší procento živých pupenů oproti starším.

Starší stromy častěji využívají následný růst pro regenerační procesy architektury koruny, kdy spící pupeny přetrvávají i několik let v dormantním stavu a mohou být stromem aktivovány a dát vznik novému výhonu v případě potřeby obnovy koruny. Následný růst se realizuje z pupenů s růstovým potenciálem, které obsahují pupenové vrcholové meristémy, což mohou být kromě pupenů, jejichž růst se nerealizoval v následné sezóně (pupeny pravidelné) i pupeny náhradní (adventivní) nebo regenerované. Pupeny adventivní vznikají nově na starších výhonech a pupeny regenerované vznikají v místě dříve odumřelého meristému jinak živého pupene, dojde-li k obnově apikálního meristému (Albrechtová 1997; Polák 2005). Pro účely této metodiky jsou pupeny s růstovým potenciálem sloučeny do jedné kategorie pupenů spících.

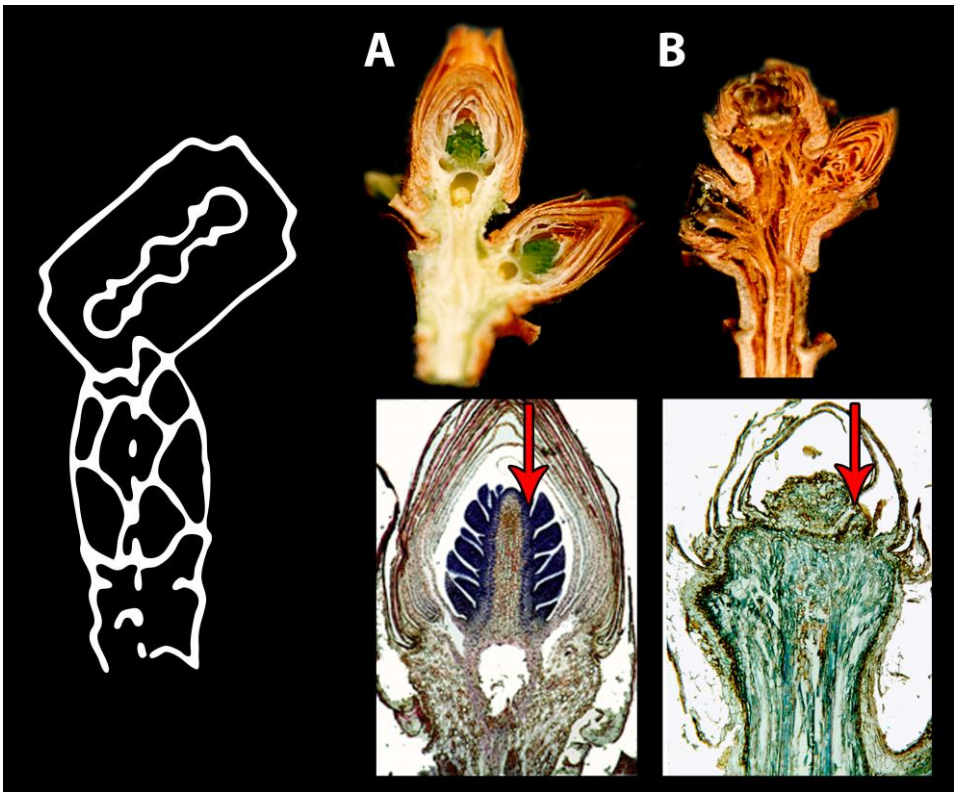
Proto je třeba vybírat pro analýzu vitality stromu na základě zastoupení vývojových směrů pupenů reprezentativní větev pro korunu stromu, potom bude možné výsledky vztáhnout pro celou korunu stromu, potažmo strom a jeho vitalitu.

2.6. Indikátor zastoupení vývojových směrů pupenů a jeho výpovědní hodnota pro vitalitu smrku ztepilého

Určení vývojových směrů pupenů smrku ztepilého buď makroskopicky, nebo s použitím lupy, umožnila detailní anatomická studie pupenů smrku ztepilého (Albrechtová 1997; Soukupová 2002; Soukupová a kol. 2002). Toto kritérium je uplatňované jen na vegetativních pupenech smrku ztepilého, které dávají vznik novým výhonům v koruně, tedy zajišťují obnovu koruny, fotosyntetického aparátu. Generativní pupeny, z nichž vznikají samičí a samčí šištice, se proto tímto kritériem nevyhodnocují, neboť se nezapojují do obnovy koruny.

Kritérium zastoupení vývojových směrů vegetativních pupenů odvozené na základě určení vývojových směrů vegetativních pupenů (Polák 2005; Polák a kol. 2006; Obr. 2) umožňuje: hodnotit stav pupenových meristémů pupenů a jejich vývojový potenciál na větvi během jednoho roku, např. na současných nejmladších letorostech, ale i hodnotit tento stav na všech letorostech s přítomnými ročníky jehlic.

Jedná se tedy o kritérium vitality smrku ztepilého, které tedy umožňuje určit nejen: (a) současnou vitalitu stromu a určit i (b) potenciál obnovy koruny stromu v příštím roce a nejbližší budoucnosti, pokud jej uplatníme na nejmladších letorostech, ale i případně (c) retrospektivní trend vývoje vitality stromu v posledních (n) letech podle počtu ročníků jehlic (n = počet ročníků jehlic – 1), pokud jej uplatníme na všech letorostech s přítomnými ročníky jehlic. 7



Obr. 2: Detailní anatomická studie pupenů smrku ztepilého (dole) ověřila makroskopické kritérium, že pokud je v pupenu po rozříznutí na poloviny zelený meristém (A), pak je pupen schopný prorůstat ve výhon, neboť obsahuje vrcholový meristém a listové základy pro nový výhon (červená šipka, tmavě fialová barva). (B) Hnědá barva na řezu znamená odumřelá pletiva a ztrátu pupenového meristému (červená šipka).

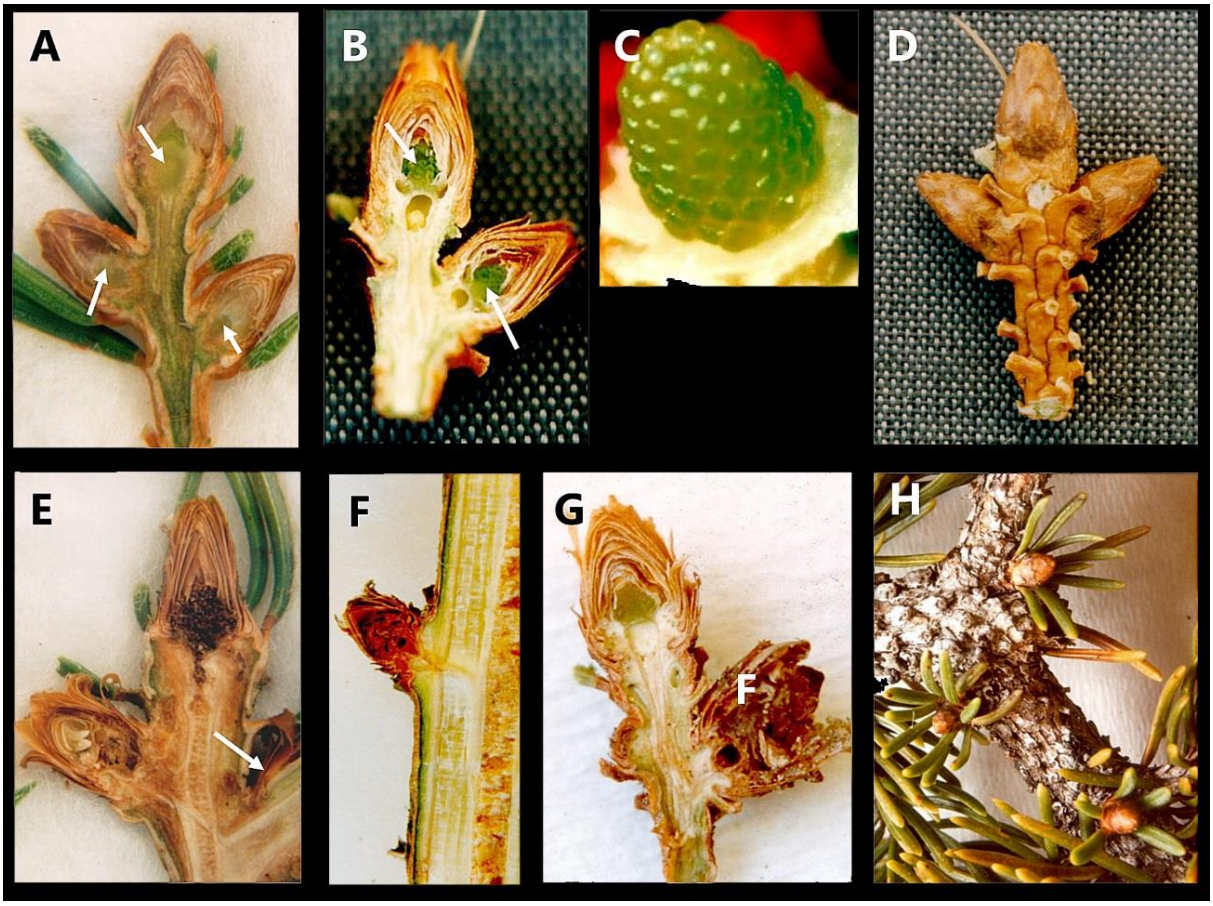
2.7. Určení vývojových směrů pupenů smrku ztepilého

Vývoj vegetativních pupenů smrku ztepilého se každým rokem může ubírat dvěma základními směry:

(1) **pupeny rostoucí (R)**, které vyrůstají ze spících pupenů a dávají vznik novým výhonům,

(2) **pupeny nerostoucí**, které zůstávají na vytvořeném letorostu a které je pak možné dělit podle toho, zda si zachovaly meristém a tím růstový potenciál a jsou tedy **pupeny spící**, anebo si nezachovaly meristém a tím nemají růstový potenciál a jsou **odumřelé (O)**.

Rozlišení nerostoucích pupenů na pupeny spící s živým meristémem a pupeny odumřelé bez meristému, obvykle není možné provést spolehlivě pouhým odhadem z vnějšku (obr. 3D), ale je třeba pupen rozříznout ať již žiletkou, skalpelem či nožíkem podélně na dvě poloviny. Podle zabarvení pletiv na řezu pupenem je možné posoudit, zda se jedná o pupen spící nebo odumřelý, a využívá se zde vlastnosti meristému smrku ztepilého, že meristém spícího pupenu s vitálními listovými základy již obsahuje chlorofyl, a tudíž je zelený uvnitř spícího pupenu (obr. 2A, 3A-C). Má-li rozříznutý pupen ve středu zelenou, světle zelenou či nazelenalou barvu pak obsahuje vitální pupenové meristémy (obr. 3A, B) a může dát vznik novému výhonu, má tedy růstový potenciál. Prorůstání v nový výhon může nastat v následné sezóně nebo pupen může přetrvat spící po řadu sezón. Je-li pupen na řezu hnědý, pak se jedná o pupen odumřelý, který ztratil apikální meristém (obr. 2B, 3E, F, G, H vpravo dole). Hnědnutí odumřelých pletiv je důsledkem odbourání chlorofylu a nahromadění polyfenolických látek a ligninu (Soukupová a kol. 2002). Zastoupení vývojových směrů pupenů je navrhováno jako možný, efektivní indikátor vitality smrku ztepilého pro lesní management pro sledování zdravotního stavu porostů a jejich vitality pro obnovu koruny.



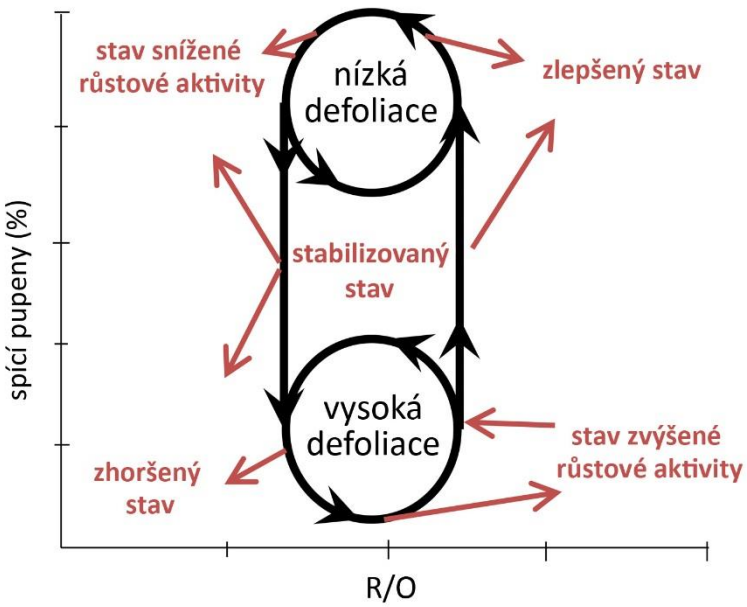
Obr. 3: Pupeny smrku ztepilého: makroskopický pohled (C, D, H) a pohled po rozříznutí na dvě poloviny (A, B, E–G). A, B – spící pupen, ve střední části je pupen zelený či nazelenalý díky vitálním meristémům (šipky); C – vypreparovaný zelený meristém dormantního pupenu s listovými základy ve spirále po odstranění pupenových šupin; D – makroskopický pohled na nerostoucí pupeny; E, F – odumřelé pupeny po rozříznutí na dvě poloviny, ve střední části je odumřelý meristém hnědě zbarvený (šipky); G – pupen spící nahoře a pupen odumřelý vpravo dole; H – makroskopický pohled na náhradní, adventivní pupeny vytvořené nově na starém letorostu. Převzato z (Albrechtová, Lhotáková 2017c).

Zastoupení vývojových směrů pupenů je navrhováno jako možný, efektivní indikátor vitality smrku ztepilého pro lesní management pro sledování zdravotního stavu porostů a jejich vitality pro obnovu koruny.

2.8. Kategorie vitality smrku ztepilého

Na základě podrobného statistického hodnocení výsledků shlukovou analýzou bylo při ověřování kritéria hodnocení vývojových směrů pupenů na téměř 500 stromech odlišeno pět shluků odpovídajících pěti kategoriím vitality stromu smrku ztepilého (Polák 2005; Polák a kol. 2006). Shluky se navzájem mezi sebou lišily poměrem rostoucích a odumřelých pupenů R/O, odrážejícím intenzitu tvorby nových výhonů a odumírání pupenů, a zastoupením pupenů spících, které tvoří rezervy pro náhradu potenciální ztráty asimilačních orgánů (obr. 4). Tyto kategorie vitality smrku ztepilého odpovídají určitému vývojovému potenciálu stromu pro obnovu koruny v následující sezóně či sezónách a jsou nazvány jako stabilizovaný stav vitality stromu, stav snížené růstové aktivity, zhoršený stav, stav snížené růstové aktivity a zlepšený stav vitality stromu (obr. 4).

Při dlouhodobém působení stresoru pak dochází v koruně stromu k cyklickým procesům, které zahrnují odlistění koruny, nastartování regeneračních mechanismů k obnově koruny – obnovení růstové a vývojové aktivity pupenů s růstovým potenciálem, zakládání pupenů adventivních (obr. 4). Pokud působení stresových faktorů nadále přetrvává a vyvolává defoliaci koruny, postupně se strom energeticky vyčerpává a ztrácí zastoupení spících pupenů s růstovým potenciálem a chřadne. V konečném důsledku pak může dojít i k odumření stromu. V předchozí studii (Polák a kol. 2007) jsme pro smrk ztepilý ukázali, že v rámci vývoje stromu dochází k prioritizaci sinků, kterými jsou různé růstové a vývojové procesy, kam jsou přednostně investovány asimiláty. Poškozené stromy alokují uhlík do obnovy a produkce asimilačních orgánů (sink s vysokou prioritou), tedy do tvorby adventivních pupenů a stimulace pupenů s růstovým potenciálem, zatímco stromy v dobrém zdravotním stavu investují uhlík do sinků nižších priorit: kmenové přírůsty, syntéza obranných látek, reproduktivní orgány.



Obr. 4: Vitalita a schopnost obnovy koruny jedinců smrku ztepilého určená na základě analýzy zastoupení vývojových směrů pupenů. Horizontální osa x: poměr rostoucích a odumřelých pupenů R/O (čím vyšší hodnota, tím intenzivnější je produkce nových výhonů oproti odumírání pupenů); vertikální osa y: pupeny spící s růstovým potenciálem (čím vyšší hodnota, tím vyšší jsou rezervy pro nahrazení asimilačních orgánů).
Kombinace hodnot obou proměnných určuje současnou vitalitu stromu. Kategorie vitality jedinců smrku ztepilého (stabilizovaný stav, stav snížené růstové aktivity, zhoršený stav, stav snížené růstové aktivity a zlepšený stav vitality stromu) ukazují propojenost defoliace koruny s její obnovou skrze zastoupení vývojových směrů pupenů. Zdroj: upraveno podle (Polák 2005). Upraveno podle (Albrechtová, Lhotáková 2017c).

3. Vlastní popis metodiky

3.1. Stručný popis metodiky

Metodika určování vitality smrku na základě vývojových směrů pupenů je uplatňovaná na vegetativních pupenech smrku, které dávají vznik novým výhonům v koruně odebraných z koncové části reprezentativní větve, která obsahuje 60-100 vegetativních pupenů, obvykle okolo délky 0,3-0,6 m – závisí na délce letorostů. Metodika umožňuje rozeznat dva základní směry, kterými se může vývoj vegetativních pupenů smrku ztepilého ubírat: (1) pupeny rostoucí, které dávají vznik novým výhonům, (2) pupeny nerostoucí, které se pravidelného růstu neúčastní. Nerostoucí pupeny je pak možné dělit (po rozříznutí pupenu) podle toho, zda si zachovaly růstový potenciál (pupeny spící) nebo nezachovaly růstový potenciál (pupeny odumřelé). Tento indikátor zastoupení vývojových směrů pupenů a jeho interpretace umožňuje: a) určit současnou vitalitu stromu, b) odhadnout další pravděpodobný vývoj vitality stromu v nejbližším roce či letech a vyhodnocení, zda strom má nebo nemá potenciál pro obnovu koruny skrze regenerační procesy, a c) určit retrospektivní trend vývoje vitality stromu v posledních n letech (n = počet ročníků jehlic – 1). Kritérium pro hodnocení zastoupení vývojových směrů pupenů je použitelné po celý rok.

Metodika určení současné vitality smrku ztepilého založená na kritériu zastoupení vývojových směrů pupenů, umožňuje predikce potenciálu pro obnovu koruny a retrospektivní vývoj vitality stromu. Metodika má význam pro praxi obzvláště pro určení vhodných stromů pro další zachování v porostu či pro mýcení.

3.2. Detailní popis metodiky

3.2.1. Výběr porostu

Metodiku nelze uplatnit v porostech mladých (tj. do růstové fáze tyčkoviny, včetně); naopak je možné ji použít v porostech středního věku, nebo starších, tedy od růstové fáze tyčovin (tj. nad 13 cm střední výčetní tloušťky porostu a přibližně věku nad 40 let), což koreluje i růstovými a vývojovými charakteristikami této růstové fáze lesa (mj. pozvolným poklesem výškového přírůstu a zpravidla kulminací objemového přírůstu). Současně platí, že je metoda vhodná především do stejnověkých, strukturně nediferencovaných lesních porostů, které však v českých lesích doposud převažují v rámci uplatňování pasečného lesa věkových tříd; nicméně stejně tak může být využita i v bohatších porostních strukturách (zvláště pak v lesních porostech v procesu porostních přestaveb, které ještě relativně dlouho nesou různé strukturní atributy lesa pasečného).

3.2.2. Výběr stromu

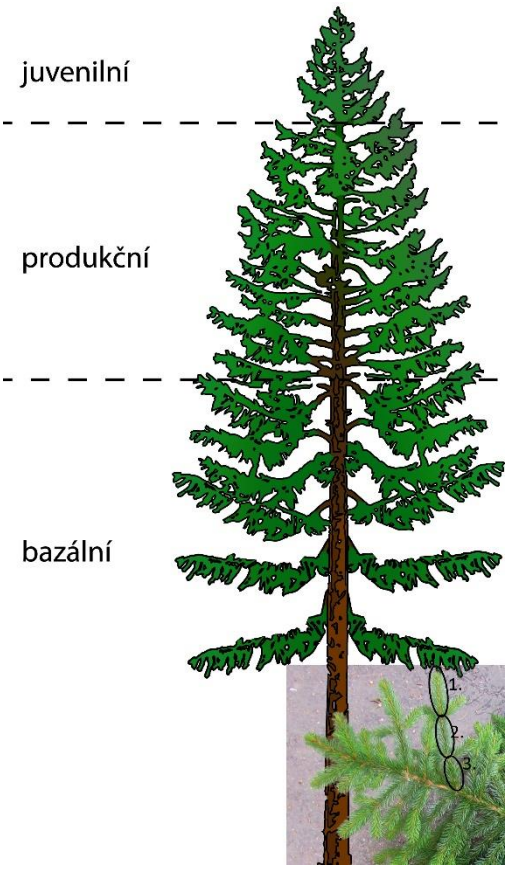
Pro vyjádření vitality porostu je zpravidla vhodné provést odběr z jedinců stromových tříd 2, 3, 4a (tj. třídy úrovňové, zčásti úrovňové, podúrovňové vrůstavé) dle Kraftovy stromové klasifikace (Tab. 1A); nebo 2a, 2b, 3 (tj. úrovňové hlavní; úrovňové vedlejší; vrůstavé nebo ustupující) dle Konšelovy klasifikace (Tab. 1B); tedy mělo by jít o výběr stromů hlavní korunové vrstvy, který vyloučí výběr jedinců nadúrovňových, nebo potlačených. Nicméně, je-li předmětem zájmu usměrnění pěstebního zásahu z pohledu vitality jednotlivých stromových tříd, pak může být účelné i rozvržení odběrů tak, aby vystihoval vitalitu hlavních stromových tříd (s výjimkou nejnižších stromových tříd, jako např. zastíněné – životaschopné a hynoucí dle Konšela, resp. a potlačené dle Krafta, kde dochází ke zkreslení – viz níže) a umožnil jejich vzájemné porovnání.

Tabulka 1: Klasifikace stromů smrku ztepilého ve smrkových porostech. A) podle Krafta: podle výšky v porostu. B) upravená klasifikace podle Konšela: podle výšky (vzrůstu). Převzato z Lesnického naučného slovníku (Kulhánková 1995).

A) Kraftova stupnice			**B) Konšelova stupnice**	
1	Předrůstavé		1	Předrůstavé
2	Úrovňové		2	Úrovňové a) Hlavní (s korunou dokonalou) b) Vedlejší (s korunou stísněnou)
3	Z části úrovňové			
4	Podúrovňové	a) Vrůstavé c) Částečně zastíněné	3	Vrůstavé nebo ustupující
5	Potlačené	a) Životaschopné b) Odumírající a odumřelé	4	Zastíněné, životaschopné
			5	Hynoucí nebo uhynulé

3.2.3. Odběr vzorků větví

Pro použití indikátoru je třeba odebírat reprezentativní větev, vždy ze střední produkční, nezastíněné části koruny, spíše ve výše (obr. 5). Pokud by byla odebrána větev ze zastíněné části koruny, obvykle v dolní třetině koruny, kde je v rámci silného gradientu ozářenosti nejnižší růst i asimilace, došlo by ke zkreslení výsledku a nemožnosti jej vztáhnout na celý strom. Při odběru zastíněných větví totiž hrozí riziko zkreslení výsledků – zastíněné větve mohou být limitované nízkou ozářeností a mít větší zastoupení pupenů spících a především odumřelých. Pokud není větev reprezentativní, není možné vztáhnout získané výsledky o zastoupení vývojových směrů pupenů z větve na celý strom. Vhodné jsou koncové části větve (Obr. 5 vpravo) o délce 30–60 cm či více dle délky ročních přírůstů letorostů, pokud chceme hodnotit vitalitu smrku v současnosti. Při retrospektivním určování vitality stromu je třeba koncovou část větve se všemi ročníky jehlic, což může být delší část větve. Je třeba, aby na výhonu z předchozí vegetační sezóny celkem bylo hodnoceno celkem 60–100 pupenů.



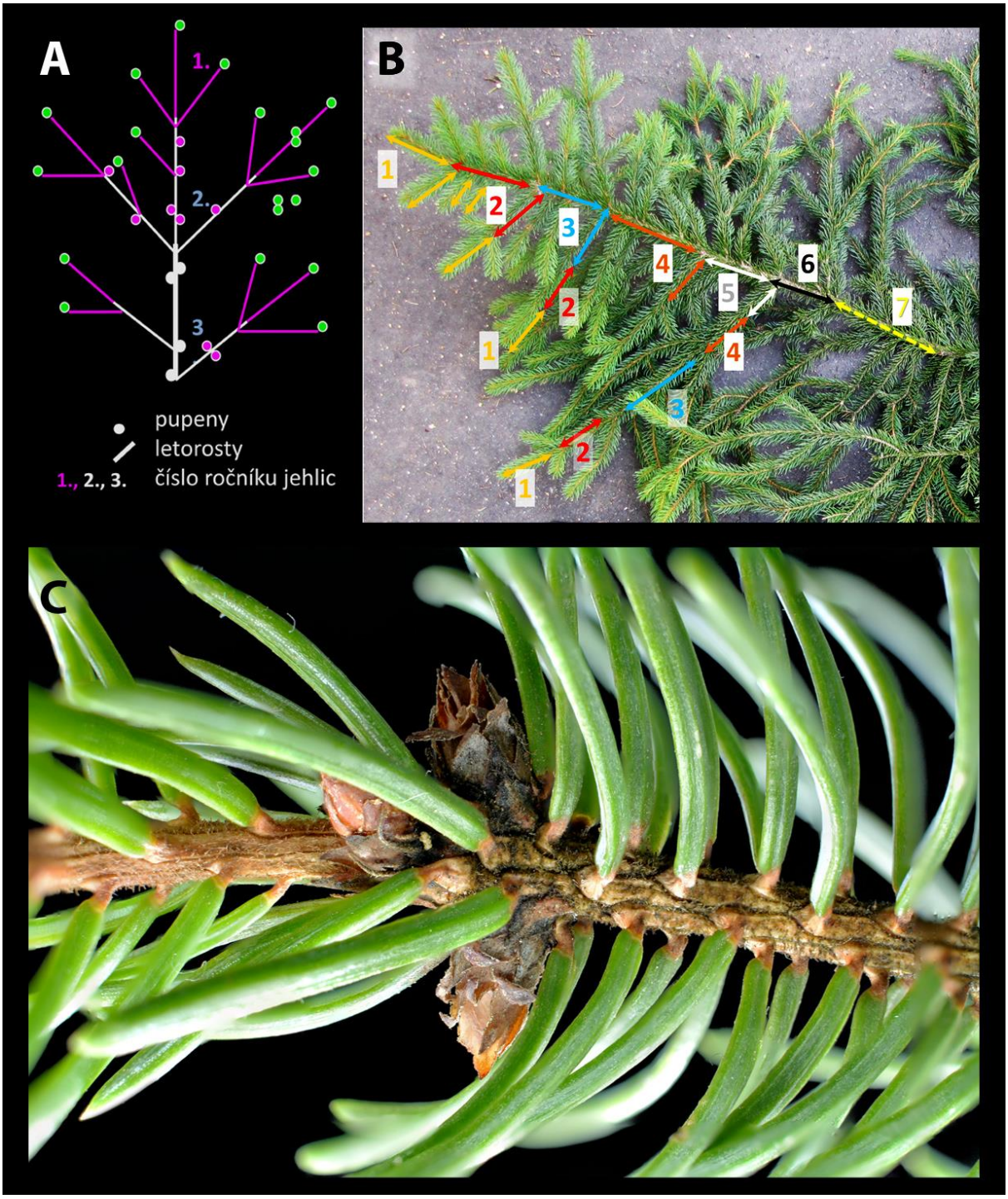
Obr. 5: Juvenilní, produkční a bazální (tj. zastíněná) část koruny smrku ztepilého (vlevo). V detailu (vpravo) koncová část větve vhodná pro vyhodnocení vývojových směrů pupenů. V elipsách jsou vyznačené nejmladší tři letorosty (1. – první ročník jehlic, 2. – druhý ročník jehlic, 3. třetí ročník jehlic).

Podle výšky stromu lze využít odběr teleskopickými kleštěmi (dosah přibližně 6-8 m), u vyšších stromů je nutné provést odběr větve z produkční části koruny s pomocí lezců, ideálně bezeškodnou technikou (obr. 6). Pro odběr větví v korunách lezci je možné použít kromě klasických lezeckých stupaček (nejlépe bezhrotých stupaček typu Baumwello) také tzv. Švédský žebřík; kombinovanou sedačku NIKA; hydraulickou zdvižnou plošinu (nesenou např. na UKT) nebo jiné obdobné metody výstupu do korun vzrostlých stromů, které jsou uplatňovány při sběru osiva, popř. v arboristické praxi. V neposlední řadě je možné provést pokácení vzorníkových stromů, které může být v mnoha případech provozně nejlépe zvládnutelným postupem.

Obr. 6: Odběr větve pro analýzu. Vlevo: pomocí odběrových teleskopických kleští, vpravo: horolezec lezoucí po kmeni stromu do vrchní části koruny stromu bezeškodnou technikou.

3.2.4. Odečet stáří letorostu

U smrku ztepilého je možný zpětný odečet ročníků letorostů, umožňující vcelku přesně určit sezónu vzniku pupenu, a tak hodnotit počet rostoucích pupenů, vytvořených v jedné vegetační sezóně (obr. 7). Tento zpětný odečet je možný díky zřetelnému předělu v nodu mezi dvěma sousedními letorosty na místě bývalého spícího pupenu, někdy jsou ještě patrné odumřelé šupiny původního pupenu (obr. 7C). Také je patrný rozdíl (barevný a někdy též velikostní) mezi jehlicemi vyrostlými v různých sezónách. Mladší jehlice bývají světleji zelené, starší bývají tmavěji zelené a mají více nekróz oproti mladým jehlicím. Též je patrný rozdíl v zabarvení a stavu borky výhonu mezi dvěma o rok jinak starými letorosty. Obvykle čím je mladší výhon, tím je borka tohoto výhonu okrově až světleji hnědá oproti starším výhonům, které mají borku tmavěji hnědou až hnědozelenou (Obr 7C). Tmavnutí borky výhonu v průběhu let je způsobeno jednak ukládáním nečistot a jednak porostem řas či nějakých mikroorganismů. Díky zpětnému odečtu vzniku výhonu je možno hodnotit poměr vývojových směrů pupenů několik sezón zpětně, celkem o jednu méně, než je počet ročníků jehlic zachovaný na odebrané části větve.



Obr. 7: – Zpětný odečet ročníku jehlic a stáří výhonů. A) – schéma odečtu roku vzniku pupenů a výhonů – od vrcholu větve: zelené kroužky – letošní pupeny, růžová čára – letošní letorosty (1. ročník), růžové kroužky loňské nerostoucí pupeny, černá tenčí čára – loňské letorosty (2. ročník), černé kroužky – předloňské nerostoucí pupeny, černá tlustá čára předloňský letorost (3. ročník); B) – makroskopický pohled na výhon s prvními sedmi ročníky jehlic, které jsou očíslovány a vyznačeny různou barvou. C) předěl mezi dvěma letorosty s rozdílnou barvou borky. A - převzato z Albrechtová, Lhotáková (2017c).

3.2.4. Postup zjišťování zastoupení vývojových směrů pupenů

Z odebrané větve hodnotíme jen určitou apikální část, kde musíme určit zastoupení všech tří vývojových směrů pupenů – pupeny rostoucí, spící a odumřelé. Tato část by měla obsahovat celkem 60-100 pupenů. Při hodnocení vývojových směrů pupenů vytvořených v předchozí sezóně hodnotíme pupeny na předchozím ročníku výhonu. Určení stáří výhonu je znázorněno na obr. 7 A, B.

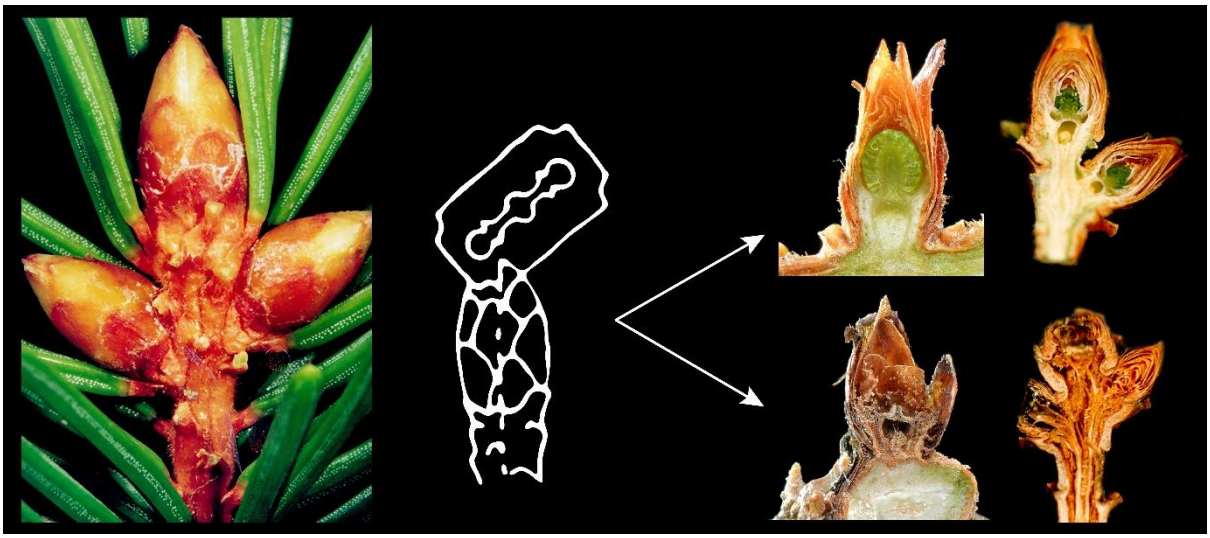
3.2.3.1. Zjištění počtu rostoucích pupenů

Nejprve na stejně starých výhonech spočteme počet rostoucích pupenů (R), které daly vznik novým výhonům. To je pro aktuální růstovou sezonu spočítáme výhony 1. ročníku, vyrostlé z výhonu 2. ročníku (obr. 7A, B).

Při retrospektivním zjišťování vitality stromu postupujeme analogicky na starších letorostech. Např. pro vyhodnocení situace v předchozí sezoně určíme počet toho času rostoucích pupenů, tj. výhonů 2. ročníku na výhonech 3. ročníku. Celkem můžeme na odebrané větvi hodnotit n roků zpětně, kde n = (počet ročníků na analyzované části větve) – 1.

3.2.3.2. Hodnocení nerostoucích pupenů

Poté na stejné části větve provedeme analýzu nerostoucích pupenů rozříznutím na dvě poloviny, např. žiletkou (obr. 8) a posouzením barvy pupenu v jeho středu a určením, zda pupen je spící či odumřelý. Podle zabarvení pletiv na řezu pupenem odlišíme (a) pupen na řezu zelený či nazelenalý: pupen s růstovým potenciálem nebo (b) pupen na řezu terminálně hnědý: pupen odumřelý. Je důležité, aby obě charakteristiky, tj. počet rostoucích a nerostoucích pupenů byly zjištěny na stejné části větve.



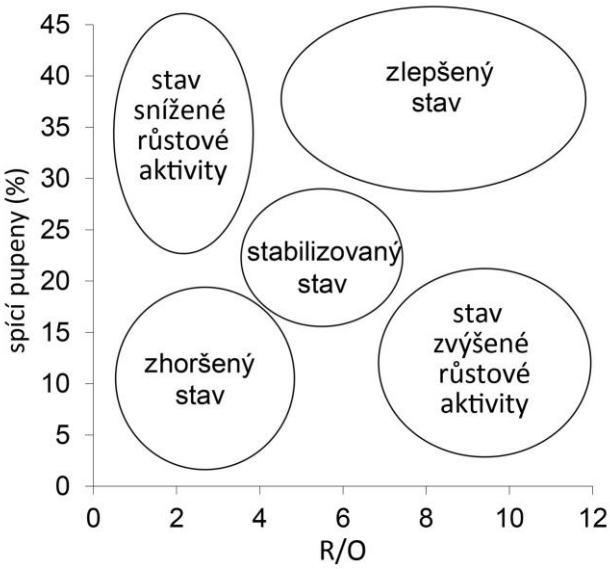
Obr. 8: Hodnocení nerostoucích pupenů na výhonu z předchozí sezóny: podélné rozříznutí nerostoucích pupenů z předchozí sezóny a posouzení barevnosti pletiv. Rovina podélného řezu je naznačena na schématu pupenu. Vpravo nahoře: pupeny spící se zeleným meristémem, vpravo dole pupeny odumřelé neobsahují zelené meristémy, jsou na řezu hnědé. Upraveno podle Albrechtová, Lhotáková (2017c).

3.2.3.3. Používané pomůcky pro hodnocení vývojových směrů pupenů

Pro samotné uplatnění kritéria zastoupení vývojových směrů pupenů je třeba nástroj k rozříznutí nerostoucích pupenů. Nejvhodnější je použít žiletku z důvodu tenké čepele, lze použít i skalpel nebo ostrý nožík. Vizuální posouzení barvy meristému pupene je možné makroskopicky i bez zvětšovacího prostředku (v závislosti na kvalitě zraku hodnotitele a jeho zkušenosti). Případně se doporučuje pracovat s lupou či jiným mírně zvětšovacím prostředkem. Náklady na tyto pomůcky budou analyzovány v části 6. Ekonomické aspekty.

3.2.5. Určení kategorií vitality stromu podle kritéria zastoupení vývojových směrů pupenů

Získané hodnoty počtu rostoucích a nerostoucích pupenů přepočteme na poměrné (procentuální) zastoupení hodnocených pupenů: rostoucích (R), spících (S) s růstovým potenciálem a odumřelých (O). Dále je třeba zavést poměr pupenů rostoucích k pupenům odumřelým, tj. R/O, bezrozměrnou charakteristiku. Pro určení vitality stromu pak použijeme tyto hodnoty poměrného zastoupení pupenů spících a poměru R/O. Za účelem grafického vyjádření a finálního odhadu vitality stromu vyneseme hodnoty do dvourozměrného grafu, kde na osu x vynášíme poměr R/O a na osu y procentuální zastoupení pupenů spících a hodnocenou větev, či strom či průměr z porostu na stanovišti pak zařadíme do jedné z pěti kategorií vitality stromu podle hraničních hodnot S a R/O, popsaných níže a v grafu (obr. 9): 1) Stabilizovaný stav stromů odpovídá největší vitalitě, 2) zlepšený stav stromů odpovídá velmi dobré vitalitě, 3) stav snížené růstové aktivity stromů reflektuje dobrou vitalitu, 4) zhoršený stav stromů odpovídá špatné vitalitě stromu a 5) stav zvýšené růstové aktivity stromů znamená nejnižší vitalitu stromu.



Obr. 9: Vitalita a schopnost obnovy koruny jedinců smrku ztepilého určená na základě analýzy zastoupení vývojových směrů pupenů. Horizontální osa *x* je reprezentována poměrem rostoucích a odumřelých pupenů R/O (čím vyšší hodnota, tím intenzivnější je produkce nových výhonů oproti odumírání pupenů) a vertikální osa y zastoupením pupenů s růstovým potenciálem, tj. spících S (čím vyšší hodnota, tím vyšší jsou rezervy pro nahrazení asimilačních orgánů). Kombinace hodnot obou proměnných určuje současnou vitalitu stromu. Kategorie vitality jedinců smrku ztepilého jsou označeny přibližnými elipsami. Upraveno podle Polák (2005). Převzato z Albrechtová, Lhotáková (2017c).

Pět kategorií vitality smrku ztepilého bylo ověřeno na několika případových studiích v Krušných horách, Krkonoších a na Šumavě. Výsledky těchto případových studií byly publikovány v pracích z týmu J. Albrechtové (Polák, Albrechtová, Rock 2003; Polák a kol. 2006; 2007) a jsou popsané ve studii (Albrechtová, Lhotáková 2017c).

Kategorie vitality smrku ztepilého jsou definovány takto:

3.2.5.1. Stabilizovaný stav: největší vitalita stromu

Stabilizovaný stav stromů je charakterizovaný středními hodnotami poměru rostoucích a odumřelých pupenů. Poměr R/O se pohybuje mezi hodnotami 3-7. Zastoupením spících pupenů je též střední 20-30 % a odpovídá rovnovážnému stavu regeneračních a degradačních procesů. Pro tyto stromy je také charakteristický vysoký potenciál pro následný sekundární růst a obnovu koruny, tj. tvorba náhradních, adventivních pupenů na starším dřevě (obr. 1h), které se mohou aktivovat pro obnovu koruny, je-li třeba. Stromy se stabilizovaným stavem mají největší vitalitu i dle dalších ukazatelů.

3.2.5.2. Zlepšený stav: velmi dobrá vitalita

Zlepšený stav stromů se vyznačuje intenzivní produkcí nových výhonů, tj. vysokým poměrem R/O s hodnotami vyššími než 5 a současně zůstává vysoké zastoupení spících pupenů s růstovým potenciálem nad 30 %. Tento stav je často typický pro zdravé jedince rostoucí na okraji porostu nebo pro jedince bez stresové zátěže.

3.2.5.3. Stav snížené růstové aktivity: dobrá vitalita

Stav snížené růstové aktivity stromů je charakterizovaný nízkou intenzitou tvorby nových výhonů – poměr pupenů rostoucích k odumřelým R/O je méně než 7 %. Ale zároveň je stav snížené růstové aktivity charakterizován vysokým zastoupením pupenů spících – více než 20 %. Tento stav je typický pro porosty s minimálními degradačními procesy v koruně stromů, proto i málo intenzivní růst dokáže vyprodukovat dostatečné množství asimilačních orgánů, které postačuje pro zásobování všech sinků (tj. místo spotřeby asimilátů) asimiláty a udržení životaschopnosti a rovnovážného fyziologického stavu jedince. Jedná se o stromy s dobrou vitalitou rostoucími na stanovištích s nízkou stresovou zátěží.

3.2.5.4. Zhoršený stav: špatná vitalita

Zhoršený stav stromů je charakteristický nízkým počtem pupenů rostoucích, vysokým počtem odumřelých pupenů - poměr R/O má hodnotu do 4. Zároveň je minimální zastoupení pupenů spících (do 20 %). Tento stav je typický pro stromy, kde zvýšená míra stresových faktorů zvyšuje pravděpodobnost odumření pupenů a dále vede k opadu jehlic, pro jejichž obnovu byly pupeny spící již aktivovány a jejich růstový potenciál byl již využit. Zvýšená intenzita degradačních procesů v koruně převažuje nad regeneračními procesy ve smyslu tvorby nových výhonů. Toto je charakteristické pro stromy vystavené po delší dobu různě velkému stresu. Zhoršený stav může být pouze dočasný a může vést ke zvýšené růstové aktivitě v případě rezilientního jedince („pružného“ z hlediska odolávání stresu) nebo tento zhoršený stav může vést k energetickému vyčerpání stromu u jedince náchylného k působení stresových faktorů a může vést k odumření stromu. Je známo, že pupeny rezilientních stromů jsou lépe chráněny před odumřením pomocí pupenových šupin, které jsou pevně sevřené a lépe chrání pupenové meristémy, např. před požerem larvami či mrazem, nežli je tomu u pupenů jedinců náchylných ke stresovým faktorům (Chen, Kolb, Clancy 2001).

3.2.5.5. Stav zvýšené růstové aktivity: nejnižší vitalita

Stav zvýšené růstové aktivity stromu je charakterizovaný intenzivním růstem a minimálním zastoupením spících pupenů. Poměr pupenů rostoucích k odumřelým R/O je vyšší než 7 % a pupenů spících je méně než 20 %. Zvýšená růstová aktivita zpravidla navazuje na zhoršený zdravotní stav rezilientních stromů tím, že míra stresových faktorů překročí vnitřní toleranční limit jedince a dojde ke „spuštění“ celé řady molekulárních, metabolických a fyziologických procesů vedoucích k obnovení původního rovnovážného stavu jedince. Stromy ve snaze přežít investují zvýšené množství asimilátů, a tedy energie, do procesů spojených s tvorbou nových asimilačních orgánů a obnovou koruny. U těchto jedinců je tudíž vysoké zastoupení rostoucích pupenů a podíl pupenů spících je minimální – stromy se snaží využít všechny své možnosti k tvorbě nových výhonů. Vysoký příděl asimilátů do tvorby nových výhonů může vést k úplné regeneraci koruny, z dlouhodobého hlediska ovšem může být nebezpečný v tom, že se nedostává potřebného množství asimilátů a energie jiným procesům a strom se oslabí a energeticky vyčerpá. Tento negativní vliv nedostatku asimilátů pro sinky s nízkou prioritou se projeví snížením přírůstu kmene, reprodukčních vlastností a tvorby ochranných chemických látek odpuzujících např. hmyzí parazity (Kaitaniemi, Neuvonen, Nyyssönen 1999). Tyto stromy mají nejnižší vitalitu.

3.2.6 Potenciál obnovy koruny stromu v příštím roce

Potenciál obnovy koruny, tedy dobrá až nejvyšší vitalita stromu potažmo porostu v příštím roce a nejbližší budoucnosti určuje především zásoba pupenů spících, tedy vyšší poměrné zastoupení spících pupenů, alespoň 20 %. Jedná se o kategorie vitality: 1) Stabilizovaný stav stromů se zastoupením spících pupenů 20-30 % 2) zlepšený stav stromů se zastoupením spících pupenů nad 30 %, a 3) stav snížené růstové aktivity stromů se zastoupením více jak 20 % spících pupenů.

3.2.7. Retrospektivní sledování trendu vývoje vitality stromů potažmo porostu na stanovišti

Pokud využijeme pro určování zastoupení vývojových směrů pupenů a vitality stromu v daném roce více letorostů na odebrané části větve, pak můžeme i získat retrospektivní vhled do vývoje vitality porostu na stanovišti. Potom je třeba zprůměrovat hodnoty na stanoviště a do grafu se vynášejí body o souřadnicích [R/O; S]. Zjištěný trend vitality stromů potažmo pak interpretujeme v souvislosti s dalšími charakteristikami stanoviště, jako jsou půdní charakteristiky, makroskopické indikátory poškození stromů, prvkové analýzy půd a listoví, atd.

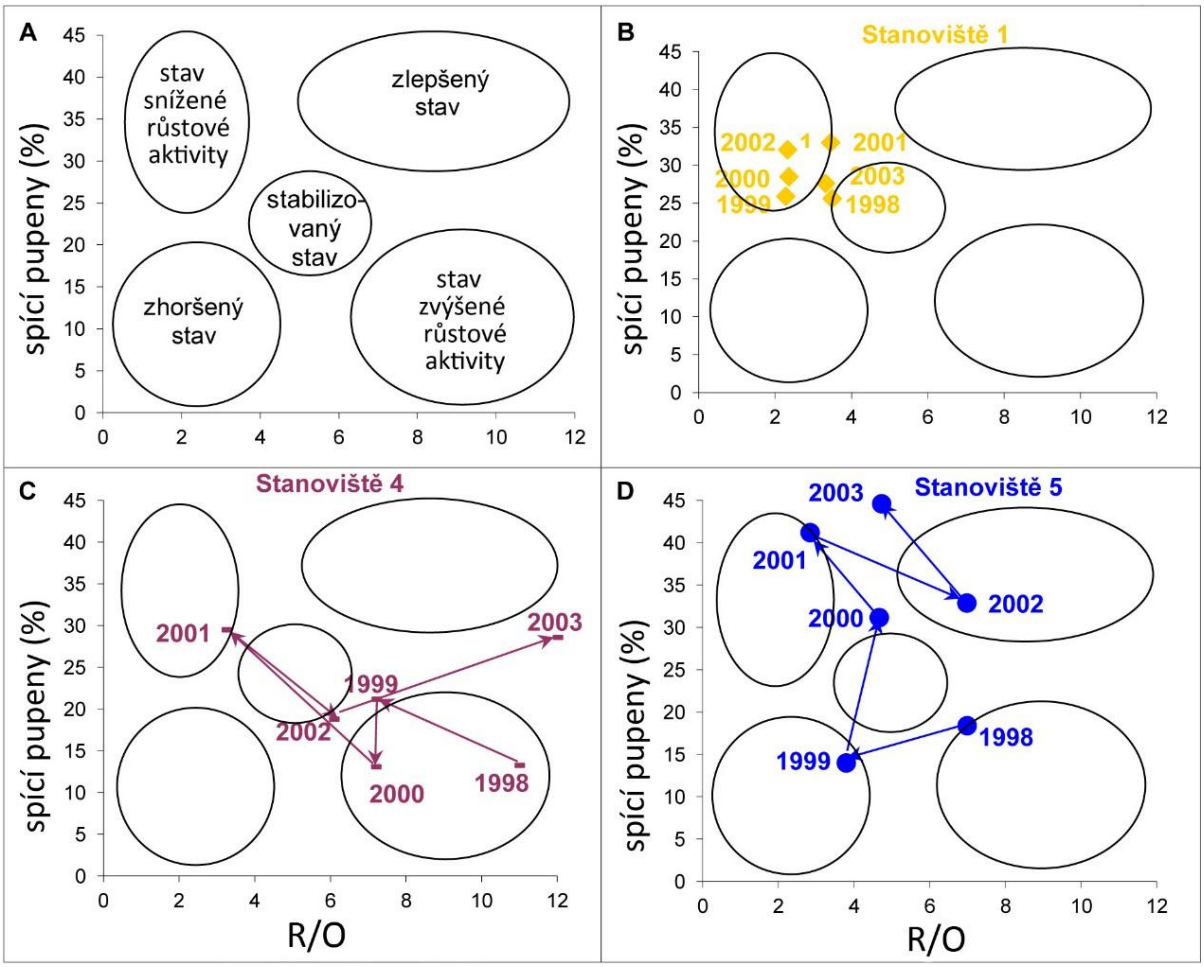
3.2.7.1. Ukázka vyhodnocení trendu vitality porostu: případová studie v Krušných horách

V obr. 10 je ukázka vývoje vitality stromů v porostu na třech stanovištích z případové studii v Krušných horách (Albrechtová, Lhotáková 2017d, Lhotáková, Albrechtová 2017; stanoviště 1 = stanoviště 1 z citovaných studií, stanoviště 2 = 4 a stanoviště 3 = stanoviště 5 z citovaných studií). Stanoviště 1 se nacházelo v západních Krušných horách u Přebuze (obr. 11-2), kde byla imisní zátěž relativně malá a vitalita porostu se v průběhu let 1998-2003 téměř neměnila (obr. 10B). Stanoviště 2 u Černého Potoka a stanoviště 3 u Kovářské byla lokalizována ve středním Krušnohoří (obr. 11-1) a obě byla vystavena velké imisní zátěži, porosty zde byly velmi poškozené a stav vitality porostu se výrazně měnil v průběhu jednotlivých roků (obr. 10C,D; Albrechtová, Lhotáková 2017a).

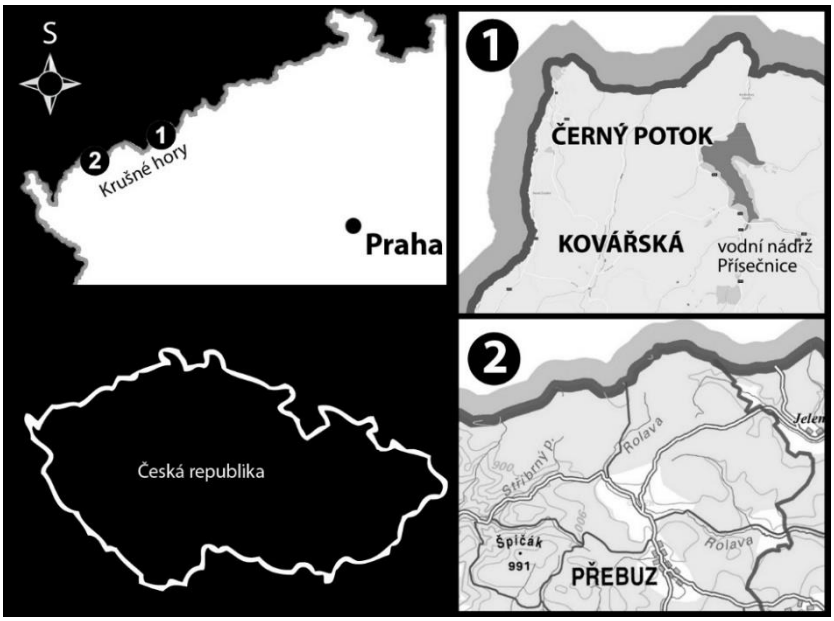
V roce 1998, nejzdravější stanoviště 1 se nacházelo v západním Krušnohoří (zdravý porost s poškozením 0 na základě defoliace a barevných změn v koruně) a poškozená stanoviště v centrálním Krušnohoří: stanoviště 3 jevilo stupeň poškození 2 a stanoviště 2 vykazovalo stupeň poškození 3 (4 stupňová stupnice podle defoliace a barevných změn jehlic – definováno v Campbell a kol. (2004); Albrechtová a kol. (2017a). Poškození stanovišť 2 a 3 dokumentoval vysoký stupeň poškození stromů v roce 1998 a 1999 určený na základě defoliace koruny a nízký počet ročníků jehlic (6). V následujících letech se zdravotní stav těchto porostů významně zlepšil. Naproti tomu, stav porostu ze západního Krušnohoří (stanoviště 1 u Přebuzi) byl v roce 1998 velice dobrý a příliš se ve sledovaném období nezměnil.

Stanoviště 1: Podle zastoupení vývojových směrů pupenů bylo v r. 1998 stanoviště ve stabilizovaném stavu, nebylo postiženo masivním žloutnutím, a v následujících letech stanoviště bylo ve stavu snížené růstové aktivity, kdy bylo poměrné zastoupení rostoucích pupenů nízké, ale přetrvávala vysoká zásoba spících pupenů pro případ obnovy koruny (Obr. 10 B). Degradační procesy v koruně byly minimální, proto i málo intenzivní produkce výhonů vedla k vytvoření takového množství asimilátů, které postačuje pro zásobování všech sinků (=místo spotřeby asimilátů) a udržení životaschopnosti a rovnovážného stavu jedince. Nicméně toto stanoviště i dle dalších makroskopických a fyziologických parametrů se jevilo v dobrém zdravotním stavu. Toto stanoviště vykazovalo nejvyšší vitalitu po celou dobu sledování.

Stanoviště 2 a 3: Vitalita stromů z centrálního Krušnohoří byla v roce 1998 ve stavu zvýšené růstové aktivity (obrázek 10 C, D). Zvýšená růstová aktivita v kombinaci se snížením stresové zátěže (zejména poklesem atmosférických polutantů) vedla k postupnému převládnutí regeneračních procesů v koruně nad degradačními procesy a k výraznému zlepšení zdravotního stavu. Obě stanoviště leží v západním Krušnohoří, kde byly z důvodu vysoké acidifikace lesních půd a vymývání bazických kationtů aplikovány zásahy velkoplošné aplikace vápnění (Šrámek a kol. 2014). Zde mohla mít pozitivní vliv na vývoj porostů aplikace dolomitického vápence v roce 2001 (stanoviště 2) a 2002 (stanoviště 3) (Ústav pro hospodářskou úpravu lesů Brandýs nad Labem 2016; Stejskalová 2003).



Obr. 10: Trend vývoje vitality porostů smrku ztepilého určená na základě zastoupení vývojových směrů pupenů: případová studie na 3 stanovištích v Krušných horách. Na ose x je vynesen poměr rostoucích a odumřelých pupenů R/O (čím vyšší hodnota, tím intenzivnější je produkce nových výhonů) a na ose y je vynesen procentuální podíl pupenů spících (čím vyšší hodnota, tím vyšší jsou rezervy pro nahrazení asimilačních orgánů). A – Kombinace hodnot obou proměnných určuje současnou vitalitu stromu do pěti kategorií vitality stromu. B, C, D – Aplikace kritéria na třech výzkumných stanovištích v Krušných horách ukazuje vývoj vitality porostu retrospektivně v letech 1998–2003. B) stanoviště 1, C) stanoviště 2, D) stanoviště 3. Analýzy byly provedeny v r. 2004.



Obr. 11: Lokalizace stanovišť v Krušných horách. Vpravo 1 – stanoviště u Černého Potoka a u Kovářské, obě zatížená silnou imisní zátěží dle dat z ČHMÚ; vpravo 2 - stanoviště v západním Krušnohoří u Přebuze, s historicky relativně nižší imisní zátěží; (Lhotáková a kol. 2017, Albrechtová a kol. 2017a).

4. Srovnání novosti postupů

Stanovení a následná znalost vitality lesních porostů je klíčovou otázkou nejen pro vlastníky a správce lesů, ale opírají se o ní i nejrůznější strategické dokumenty státní lesnické politiky a je dlouhodobým předmětem zájmu státní správy všech organizačních úrovní.

Pro velkoplošný monitoring zdravotního stavu porostů smrku ztepilého, jsou nejčastěji používány tradiční indikátory makroskopického poškození korun, a to především procentuální odlistění (defoliace) koruny a barevné změny jehlic. Řada makroskopických indikátorů je součástí hodnocení programu ICP Forests (ICP 2010; VÚLHM Monitoring stavu lesa – program ICP Forests (2019). Hodnocení poškození stromu nebo porostu na základě defoliace se provádějí pozorováním stromu a jeho koruny dalekohledem ze vzdálenosti několika metrů od stromu s výhledem na jeho korunu. V případě snahy o vyšší míru objektivity měření jsou v otázce míry defoliace dostupné přístroje na měření inverzního indexu listové plochy (např. LAI-2200 PCA, nebo LaiPen LP 100), popřípadě míry otevřenosti porostního zápoje z analýzy hemisférické fotografie (veličiny „openness“ a „gap-fraction“), které se shodně řadí mezi nepřímé optické metody měření. Nicméně hlavní úskalí tohoto přístupu hodnocení (tedy skutečnost, že se opírají pouze o defoliaci) tím neodstraňují.

Právě míra defoliace, vyjádřená klasifikací stupně poškození jednoho stromu a z toho plynoucím podílem různě defoliovaných stromů v rámci porostu jako stupeň poškození porostu, je také jedním ze dvou metodických přístupů hodnocení vitality porostů, jak jej zná naše současná legislativa (konkrétně vyhláška MZe č. 78/1996 Sb.). Tím dosud druhým metodickým přístupem je v rámci stanovení pásem ohrožení lesních porostů imisemi (pásma A – D) hledisko časové, a to konkrétně hledisko průměrné životnosti dospělých smrkových porostů (uváděných v letech). Zde představená metodika určování vitality smrku ztepilého podle kritéria zastoupení vývojových směrů pupenů nabízí nové možnosti v této oblasti a díky své snadné uplatnitelnosti má potenciál pro doplnění stávajících metod a tím významné zpřesnění odhadu vitality smrkových porostů i v rámci obecně uplatňovaných (např. legislativně stanovených) přístupů hodnocení.

Informace, které získáme s použitím makroskopických indikátorů stavu koruny, nás především informují o současném stavu viditelných změn, který je u jehličnanů průmětem mnohaletých procesů. Odlistění koruny není zcela vhodným ukazatelem vitality jehličnatých stromů (Dobbertin, Brang 2001)(Dobbertin, Brang 2001), neboť silně odlistěné stromy mohou přežívat v extrémních podmínkách mnoho let s malým množstvím asimilačního aparátu nebo mohou kompenzovat ztrátu listoví formováním sekundárních výhonů (Cudlín a kol. 2001; Polák a kol. 2007). Je totiž zřejmé, že odlistění koruny je projekcí mnoha let vývoje stromu přinejmenším tolika, kolik je na něm ročníků jehlic, a nepostihuje současný vývoj tvorby výhonů a regenerační procesy v koruně.

Zastoupení vývojových směrů pupenů na větvi z produkční části koruny je navrhováno jako možný, efektivní indikátor vitality smrku ztepilého pro sledování zdravotního stavu porostů, který je potenciálně využitelný pro lesní management. Metodika přináší poměrně jednoduchou analýzu vývojových směrů pupenů, která je založena na detailních anatomických studiích a ze zastoupení vývojových směrů pupenů je pak možné určit vitalitu stromu současnou, predikci pro následující rok či nejbližší budoucnost a také je možné určit retrospektivní trend vývoje vitality stromu či porostu. Kritérium zastoupení vývojových směrů pupenů byla ověřována v řadě studií na stanovištích v Krušných horách (Polák, Albrechtová, Rock 2003; Polák a kol. 2004; Polák, Albrechtová, Rock 2006; Polák a kol. 2006), v Krkonoších (Polák a kol. 2004; 2007), na Šumavě (Polák, Albrechtová, Rock 2006; Polák a kol. 2006).

5. Popis uplatnění Certifikované metodiky

Makroskopický indikátor vitality smrku ztepilého založený na kritériu zastoupení vývojových směrů pupenů a hodnocení vývojového potenciálu stromu má význam pro praxi obzvláště pro hodnocení fyziologického stavu stromů, retrospektivního vývoje vitality porostu a predikci vitality porostu,

založené na schopnosti obnovy koruny v následující sezóně či sezónách, kdy se může zvýšit působení stresových faktorů. Kritérium pro hodnocení zastoupení vývojových směrů pupenů je použitelné po celý rok.

Jelikož je otázka vitality středně starých a dospělých smrkových lesních porostů klíčovou otázkou současného českého lesnictví a možnost predikce jeho vývoje je zvláště pod dopady globální klimatické změny významnou hospodářskou i celospolečenskou otázkou, má představená metodika široký potenciál využití. Především lze ale předpokládat využití samotnými lesními hospodáři, nebo vlastníky lesů, a to třeba i v rámci preventivního screeningu vitality dosud makroskopicky prosperujících porostů s cílem upřesnit předpokládané scénáře jejich budoucí prosperity a přijímat na základě toho nutná opatření. V neposlední řadě je zde vysoký potenciál pro státní lesnickou politiku a státní správu lesů všech organizačních úrovní. Konkrétně by metoda v budoucnu mohla obohatit dosavadní, legislativně ukotvené metody hodnocení zdravotního stavu, založené na stupni poškození lesních porostů a vylišení pásem ohrožení lesních porostů imisemi, a mohla by být prakticky využita pro doplňková šetření při různých studiích zdravotního stavu lesů či při revizích a tvorbě oblastních plánů rozvoje lesů (OPRL) aj. Potenciál uplatnění lze zároveň nacházet i při Národní inventarizaci lesů (NIL), za předpokladu, že by odběry vzorníkových větví byly do stávající metodiky vhodně zakomponovány definováním technických a metodických náležitostí a byly prováděny mimo stávající kruhové inventarizační plochy (o poloměru 12,62 m, resp. velikosti 500 m^2), tedy v navazujícím vymezeném mezikruží o větším poloměru).

6. Ekonomické aspekty

6.1. Náklady na zavedení postupů

- <u>Odběr větve z produkční části koruny smrku – závislé na výšce hodnocených stromů.</u>
    - Do výšky odebírané větve 6-7 m lze použít teleskopické nůžky či pilu na teleskopickém nástavci
    - Nůžky zahradní housenice 6,5 m Fiskars 115560, cena cca 2 500 Kč
    - Nůžky na větve do výšek ArboRapid (Berger) cena cca 1 700 Kč, teleskopická tyč 1,75 m až 4,65 m cena cca 3 000 Kč.
    - Při odběru větví s pomocí lezců se cena za odběr 1 stromu pohybuje dle konkrétního dodavatele kolem 600 Kč (včetně DPH). Pro odběr větví v korunách lezci je možné použít kromě klasických lezeckých stupaček (nejlépe bezhrotých typu Baumwello) také tzv. Švédský žebřík; kombinovanou sedačku NIKA; hydraulickou zdvižnou plošinu (nesenou např. na UKT) nebo jiné obdobné metody výstupu do korun vzrostlých stromů, které jsou uplatňovány při sběru osiva, popř. v arboristické praxi.
    - Pokácení vzorníkových stromů – v nákladech na těžbu cca 180 – 300 Kč/m^3.

- <u>Vyhodnocení zastoupení vývojových směrů pupenů:</u>
    - Žiletky na rozříznutí nerostoucích pupenů, cena 25 Kč za 5 ks.
    - Lupa pro pozorování rozříznutých nerostoucích pupenů se zvětšením 5x od 100 Kč (čtecí lupa), od 200 Kč kapesní lupa v kovovém těle.

6.2. Časová náročnost metodiky

- Terénní odběr pupenů, který je poměrně nenáročný (přibližně 15-30 minut) na 1 strom bez započítání času a nákladů transportu, který může souviset s jinou činností, a odběr může probíhat přitom příležitostně.
- Rychlost a kvalita vyhodnocení vývojových směrů pupenů na odebrané větvi souvisí se zkušeností hodnotitele v této činnosti. Časová náročnost vyhodnocení 1 větve je u

zaučeného pracovníka přibližně 5 minut na 1 ročník letorostů (záleží na tom, kolik pupenů je nerostoucích a musí se rozřezávat). Retrospektivní analýza pak na 1 větev zahrnuje násobně více času, pro 5 ročníků cca do 30 min. Vlastní matematické vyhodnocení a zpracování pak vyžaduje přibližně několik hodin práce na počítači – záleží na počtu hodnocených porostů.

6.3. Odhad ekonomického přínosu pro uživatele

S ohledem na dosud zcela mimořádný význam smrku ztepilého v našich lesích a rizika plynoucích z jeho velkoplošného rozvratu (jehož jsme právě v těchto letech svědky), je znalost aktuální vitality porostů, jež zatím nevykazují makroskopické symptomy chřadnutí a především predikce vývoje takových porostů nesmírně významná – ekologicky i hospodářky. A to nejen z pohledu uplatnění potřebných pěstebních opatření, které si budou klást za cíl zlepšení vitality v porostech, kde není příznivá prognóza (primární orientace pěstebního zásahu je do nejvíce ohrožené porostní složky s cílem posílit nejvitálnější porostní složku), ale i případné obnovní rozpracování takových porostů s cílem eliminovat, co možná nejvíce, vznik rozsáhlých pokalamitních holin. Ty jsou nepříznivé nejen z pohledu obnovy lesů, ale i z pohledu plnění celé řady mimoprodukčních, ekosystémových funkcí a služeb (např. z pohledu protierozní a hydrologické) a právě možnost využít existenci stávajících lesních porostů (byť s nedobrou prognózou jejich vitality v budoucnu), co možná nejvíce pro úspěšnou obnovu, může být klíčové z pohledu formování, odrůstání a úspěšného vývoje nové generace lesa, ať již z přirozené, umělé nebo kombinované obnovy.

Uplatnění výstupů plynoucích z použití uvedené metodiky formou následných pěstebních opatření v konkrétních lesních porostech může vést k významnému zlepšení stavu lesních porostů ve smyslu zlepšení jejich vitality, nebo zpomalení rychlosti jejich rozvratu, či urychlení jejich obnovy před nástupem jejich rozvratu – to vše ve svém důsledku představuje významný hospodářský benefit v řádů desítek (stovek) tisíc Kč na jednom hektaru lesního porostu daného porostního typu. V přímé úměře tomu, na jak velké ploše lesů může být v rámci ČR metodika uplatněna, lze celkový finanční přínos metodiky a na ní navazujících pěstebních opatření zvažovat ve značně vysokých finančních objemech. Jen připomeňme, že podle autorů Lesnické výzvy (2019) pouze škody na výnosech a z předčasného smýcení porostů dosáhly v roce 2018 více než 18,1 miliardy korun a pro rok 2019 jsou škody odhadovány na více než 30 miliard korun a očákává se obdobné poškození i v následujících letech.

7. Seznam použité související literatury.

ALBRECHTOVÁ J (1997). Vývoj a růst vegetativních pupenů smrku ztepilého Picea abies (L.)Karst.: vliv kyselého deště. Disertační práce, Katedra fyziologie rostlin, Přírodovědecká fakulta, Univerzita Karlova, Praha, ss 189.

ALBRECHTOVÁ, J., KUPKOVÁ, L., CAMPBELL, P. K. E. (2017): Metody hodnocení fyziologického stavu smrkových porostů. Česká geografická společnost, Praha.

ALBRECHTOVÁ, J., LHOTÁKOVÁ, Z. (2017a): 6. Posuzování fyziologického stavu dřevin: symptomy a indikátory poškození smrku ztepilého. In: ALBRECHTOVÁ, J., KUPKOVÁ, L., CAMPBELL, P. K. E., eds. Metody hodnocení fyziologického stavu smrkových porostů. Česká geografická společnost, Praha, 88–99.

ALBRECHTOVÁ, J., LHOTÁKOVÁ, Z. (2017b): 7. Monitorování fyziologického stavu dřevin a lesa: začlenění použití optických vlastností listoví. In: ALBRECHTOVÁ, J., KUPKOVÁ, L., CAMPBELL, P. K. E., eds. Metody hodnocení fyziologického stavu smrkových porostů. Česká geografická společnost, Praha, 100–107.

ALBRECHTOVÁ, J., LHOTÁKOVÁ, Z. (2017c): 11. Makroskopický indikátor vitality smrku ztepilého: zastoupení vývojových směrů pupenů. In: ALBRECHTOVÁ, J., KUPKOVÁ, L., CAMPBELL, P. K. E., eds. Metody hodnocení fyziologického stavu smrkových porostů. Česká geografická společnost, Praha, 150–160.

ALBRECHTOVÁ, J., LHOTÁKOVÁ, Z. (2017d): 21. Vývoj fyziologického stavu porostů pěti modelových stanovišť 1998–2003: makroskopické kritérium vývojových směrů pupenů. In: ALBRECHTOVÁ, J., KUPKOVÁ, L., CAMPBELL, P. K. E., eds. Metody hodnocení fyziologického stavu smrkových porostů. Česká geografická společnost, Praha, 272–277.

ALBRECHTOVÁ, J., LHOTÁKOVÁ, Z., CAMPBELL, P. K. E., MIŠUREC, J., KOPAČKOVÁ, V., ČERVENÁ, L., CUDLÍN, P. (2017a): 8. Výběr, lokalizace a popis studovaných stanovišť v oblasti západního a středního Krušnohoří. In: ALBRECHTOVÁ, J., KUPKOVÁ, L., CAMPBELL, P. K. E., eds. Metody hodnocení fyziologického stavu smrkových porostů. Česká geografická společnost, Praha, 111–123.

ALBRECHTOVÁ, J., LHOTÁKOVÁ, Z., MIŠUREC, J., KOPAČKOVÁ, V., CAMPBELL, P. K. E., EDWARDS-JONÁŠOVÁ, M., KUPKOVÁ, L., CUDLÍN, P. (2017b): 19. Srovnání fyziologického stavu smrkových porostů v letech 1998 a 2013, makroskopické a biochemické indikátory. In: ALBRECHTOVÁ, J., KUPKOVÁ, L., CAMPBELL, P. K. E., eds. Metody hodnocení fyziologického stavu smrkových porostů. Česká geografická společnost, Praha, 245–258.

ALBRECHTOVÁ, J., ROCK, B. N., SOUKUPOVÁ, J., ENTCHEVA, P., ŠOLCOVÁ, B., POLÁK, T. (2001): Biochemical, histochemical, structural and reflectance markers of damage in Norway spruce form the Krušné hory Mts. used for interpretation of remote sensing data. Journal of Forest Science, 47, 26–33.

CAMPBELL, P. K. E., ROCK, B. N., MARTIN, M. E., NEEFUS, C. D., IRONS, J. R., MIDDLETON, E. M., ALBRECHTOVA, J. (2004): Detection of initial damage in Norway spruce canopies using hyperspectral airborne data. International Journal of Remote Sensing, 24, 25, 5557–5584.

CUDLÍN, P., NOVOTNÝ, R., CHMELÍKOVÁ, E. (1999): Recognition of stages of montane Norway spruce response to multiple stress impact using crown and branch structure transformation analysis. Phyton-Horn, 3, 39, 149–154.

CUDLÍN, P., NOVOTNÝ, R., MORAVEC, I., CHMELÍKOVÁ, E. (2001): Retrospective evaluation of the response of montane forest ecosystems to multiple stress. Ekologia-Bratislava, 1, 20, 108–124.

ČERVENÁ, L., LHOTÁKOVÁ, Z., POTŮČKOVÁ, M., KUPKOVÁ, L., ALBRECHTOVÁ J. (2017): 23. Vegetační indexy ve vertikálním profilu koruny. In: ALBRECHTOVÁ, J., KUPKOVÁ, L., CAMPBELL, P. K. E., eds. Metody hodnocení fyziologického stavu smrkových porostů. Česká geografická společnost, Praha, 286–292.

DOBBERTIN, M., BRANG, P. (2001): Crown defoliation improves tree mortality models. Forest Ecology and Management, 3, 141, 271–284.

EICHHORN, J., ROSKAMS, P., FERRETTI, M., MUES, V., SZEPESI, A., DURRANT, D. eds. (2010): Manual Part IV: Visual Assessment of Crown Condition and Damaging Agents. In: Manual on methods and criteria for harmonized sampling, assessment, monitoring and analysis of the effects of air pollution on forests. Johann Heinrich von Thünen Inst., Inst. for World Forestry, Hamburg, 49.

GORI, Y., CHERUBINI, P., CAMIN, F., PORTA, N. L. (2013): Fungal root pathogen (Heterobasidion parviporum) increases drought stress in Norway spruce stand at low elevation in the Alps. European Journal of Forest Research, 4, 132, 607–619.

CHEN, Z., KOLB, T. E., CLANCY, K. M. (2001): Mechanisms of Douglas-fir resistance to western spruce budworm defoliation: bud burst phenology, photosynthetic compensation and growth rate. Tree Physiology, 16, 21, 1159–1169.

ICP (2010): ICP Forests Manual. International co-operative programme on assessment and onitoring of air pollution effects on forests, http://icp-forests.net/page/icp-forestsmanual (21. 4. 2016).

JANKOVSKÝ, L., CUDLÍN, P. (2002): Dopad klimatické změny na zdravotní stav smrkových porostů středohor. Lesnická práce, 81, 3, 106–107.

KAITANIEMI, P., NEUVONEN, S., NYYSSÖNEN, T. (1999): Effects of Cumulative Defoliations on Growth, Reproduction, and Insect Resistance in Mountain Birch. Ecology, 2, 80, 524–532.

KOPAČKOVÁ, V., MIŠUREC, J., LHOTÁKOVÁ, Z., OULEHLE, F., ALBRECHTOVÁ, J (2014): Using multi-date high spectral resolution data to assess the physiological status of macroscopically undamaged foliage on a regional scale. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 27, Part B, 169–186.

KOZLOWSKI, T. T. (1963): Growth Characteristics of Forest Trees. Journal of Forestry, 9, 61, 655–662.

KOZLOWSKI, T. T. (1964): Shoot growth in woody plants. The Botanical Review, 3, 30, 335–392.

KULHÁNKOVÁ, E. (1995). Lesnický naučný slovník I. a II. díl. Ministerstvo zemědělství, Praha, ss 743.

LHOTÁKOVÁ, Z., ALBRECHTOVÁ, J. (2017): 20. Vývoj zdravotního stavu pěti vybraných modelových stanovišť smrku ztepilého 1998–2007. In: ALBRECHTOVÁ, J., KUPKOVÁ, L., CAMPBELL, P. K. E., eds. Metody hodnocení fyziologického stavu smrkových porostů. Česká geografická společnost, Praha, 259–271.

LHOTÁKOVÁ, Z., ŠRÁMEK, V., NEUWIRTHOVÁ, E., MIŠUREC, J., ALBRECHTOVÁ, J. (2017): 3. Historie antropogenní zátěže lesů v Krušných horách ve druhé polovině 20. století a její vliv na stav tamních lesů. In: ALBRECHTOVÁ, J., KUPKOVÁ, L., CAMPBELL, P. K. E., eds. Metody hodnocení fyziologického stavu smrkových porostů. Česká geografická společnost, Praha, 57–67.

LESNICKÁ VÝZVA 2019: Lesnická výzva k zodpovědnému přístupu k národnímu bohatství – lesům. Internetový zdroj: http://www.lesnickavyzva.cz/ (26.10.2019).

LOMSKÝ, B., LOCHMAN, V., ŠRÁMEK, V. (1997): Změna imisního zatížení porostů v Krušných horách. In: 50 let krušnohorské imisní kalamity. Most, 11.

LUBOJACKÝ, J., LIŠKA, J., KNÍŽEK, M. (2018): ATRAKTIVITA STROMOVÝCH LAPÁKŮ PRO LÝKOŽROUTA SEVERSKÉHO, IPS DUPLICATUS SAHLBERG (COLEOPTERA: CURCULIONIDAE). Zprávy lesnického výzkumu, 1, 63, 5.

LUBOJACKÝ, J., LORENC, F., LIŠKA, J., KNÍŽEK, M. (2019): Hlavní problémy v ochraně lesa v Česku v roce 2018 a prognóza na rok 2019. Zpravodaj ochrany lesa, 22, 14–19.

NOVOTNÝ, R., ŠRÁMEK, V. (2016): Povětrností podmínky a abiotická poškození v roce 2015. Zpravodaj ochrany lesa, 19, 8–12.

POLÁK, T. (2005): Analýza makroskopických markerů poškození smrku ztepilého jako indikátorů působení stresových faktorů v horských ekosystémech. Ph.D. disertační práce. Katedra fyziologie rostlin, Přírodovědecká fakulta Univerzity Karlovy v Praze, Praha.

POLÁK, T., ALBRECHTOVÁ, J., CUDLÍN, P., MORAVEC, V. (2004): Proportion of bud development types-new indicator of current tree health status? EKOLOGIA-BRATISLAVA, 23, 113–123.

POLÁK, T., ALBRECHTOVÁ, J., ROCK, B. N. (2003): Development of macroscopic markers of Norway spruce damage in the Krušné hory between 1998 and 2000. Ekologia-Bratislava, 22, 284–287.

POLÁK, T., ALBRECHTOVÁ, J., ROCK, B. N. (2006): Bud development types as a new macroscopic marker of Norway spruce decline and recovery processes along a mountainous pollution gradient. Forestry: An International Journal of Forest Research, 4, 79, 425–437.

POLÁK, T., CUDLÍN, P., MORAVEC, I., ALBRECHTOVÁ, J. (2007): Macroscopic indicators for the retrospective assessment of Norway spruce crown response to stress in the Krkonoše Mountains. Trees, 1, 21, 23–35.

POLÁK, T., ROCK, B. N., CAMPBELL, P. E., SOUKUPOVÁ, J., SOLCOVÁ, B., ZVÁRA, K., ALBRECHTOVÁ, J. (2006): Shoot growth processes, assessed by bud development types, reflect Norway spruce vitality and sink prioritization. Forest Ecology and Management, 1–3, 225, 337–348.

POWELL, G. R. (1995): The role of acrotony in reproductive development in Picea. Tree Physiology, 7_8, 15, 491–498.

SOUKUPOVÁ (2002): Markers of norway spruce Damage and Their Use as Assessment Tools. Ph.D. disertační práce. Katedra fyziologie rostlin, Přírodovědecká fakulta Univerzity Karlovy v Praze.

SOUKUPOVÁ, J., ALBRECHTOVÁ, J., SVOBODOVÁ, H., OPATRNÁ, J. (2002): Anatomical and Histochemical Changes of Norway Spruce Buds Induced by Simulated Acid Rain. Biologia Plantarum, 1, 45, 77–84.

STEJSKALOVÁ, A. (2003): Využití biochemických a histochemických metod ke studiu zdravotního stavu smrkových porostů v Krušných horách. Univerzita Karlova v Praze, Přírodovědecká fakulta, Praha.

STRAW, N. A., FIELDING, N. J., GREEN, G., PRICE, J. (2000): The impact of green spruce aphid, Elatobium abietinum (Walker), and root aphids on the growth of young Sitka spruce in Hafren Forest, Wales: effects on height, diameter and volume. Forest Ecology and Management, 1–3, 134, 97–109.

ŠRÁMEK, V., NOVOTNÝ, R. (2019): Povětrnostní podmínky a abiotická poškození v roce 2018. Zpravodaj ochrany lesa, 22, 9–13.

ŠRÁMEK, V., NOVOTNÝ, R., NEUDERTOVÁ-HELLEBRANDOVÁ, K., ČIHÁK, T. a FADRHONSOVÁ, V. (2014): Vápnění lesů v České republice. Ministerstvo zemědělství ČR, Praha, 91 s.

TAIZ, L., ZEIGER, E., MØLLER, I. M., MURPHY A. S. (1998). Plant Physiology and development. Sinauer Associates. 6th edition. Inc, USA, pp. 690.

ÚHUL - ÚSTAV PRO HOSPODÁŘSKOU ÚPRAVU LESŮ BRANDÝS NAD LABEM (2016): Terénní šetření - Ústav pro hospodářskou úpravu lesů, http://nil.uhul.cz/metodika-nil/terenni-setreni (20. 4. 2016).

VÚLHM Monitoring stavu lesa – program ICP Forests (2019): Výzkumný ústav lesního hospodářství a myslivosti, v. v. i., Monitoring stavu lesa – program ICP Forests http://www.vulhm.cz/icp_forests (26.10.2019).

VÚLHM (2019): Mapa České republiky s vyznačením evidovaného objemu kůrovcového dříví za rok 2018. https://www.vulhm.cz/files/uploads/2019/06/TZ_K%C5%AFrovcov%C3%A1-kalamita-2019_mapka-2018-1000x653.jpg

8. Seznam publikací, které předcházely metodice

1) Albrechtová J., Lhotáková Z. 2017: Makroskopický indikátor vitality smrku ztepilého: zastoupení vývojových směrů pupenů – Kapitola 11 v knize: J. Albrechtová, L. Kupková a Campbell a kol. Metody hodnocení fyziologického stavu smrkových porostů: Edice Geographica, sv. 10, Česká geografická společnost, Praha, ss. 150-160.
   Tvorba kapitoly vznikla s podporou MŠMT NPUI LO1417. Kniha vznikla s podporou grantu MŠMT INMON LH12097.
2) Albrechtová J., Lhotáková Z. 2017. Vývoj fyziologického stavu porostů pěti modelových stanovišť 1998–2003: makroskopické kritérium vývojových směrů pupenů – Kapitola 21 v knize: J. Albrechtová, L. Kupková a Campbell a kol. Metody hodnocení fyziologického stavu smrkových porostů: Edice Geographica, sv. 10, Česká geografická společnost, Praha, ss. 272-278.
   Tvorba kapitoly vznikla s podporou MŠMT NPUI LO1417. Kniha vznikla s podporou grantu MŠMT INMON LH12097.
3) Albrechtová J., Kupková L., Campbell P. a kol. (2017): Metody hodnocení fyziologického stavu smrkových porostů: případové studie sledování vývoje stavu smrkových porostů v Krušných horách v letech 1998–2013. Monografie. Edice Geographica, sv. 10, Česká geografická společnost, Praha, ss. 401.
   Kniha vznikla s podporou grantu MŠMT INMON LH12097. Jednotlivé kapitoly mhou mít i jinou podporu.
4) POLÁK, T. (2005): Analýza makroskopických markerů poškození smrku ztepilého jako indikátorů působení stresových faktorů v horských ekosystémech. Disertační práce. Univerzita Karlova v Praze, Přírodovědecká fakulta, katedra fyziologie rostlin, Praha.
   GAAV (KJB6111307), NASA grant (NAG5-5192); NSF (108385), MŠMT Kontakt (ME 658).
5) POLÁK, T., ALBRECHTOVÁ, J., CUDLÍN, P., MORAVEC, V. (2004): Proportion of bud development types-new indicator of current tree health status? Ekologia, 23, 113–123.
   GAČR (206/03/H137), GAAV (KJB6111307), výzkumný záměr Ústavu systémové biologie a ekologie AVČR (AVOZ60870520)
6) POLÁK, T., ALBRECHTOVÁ, J., ROCK, B. N. (2006a): Bud development types as a new macroscopic marker of Norway spruce decline and recovery processes along a mountainous pollution gradient. Forestry, 79, 4, 425–437.
   GAAV (KJB6111307), NASA grant (NAG5-5192); NSF (108385), MŠMT Kontakt (ME 658).
7) POLÁK, T., ALBRECHTOVÁ, J., ROCK, B. N. (2003): Development of macroscopic markers of Norway spruce damage in the Krušné hory between 1998 and 2000. Ekologia, 22, 284–287.
   NASA grant (NAG5-5192)
8) POLÁK, T., CUDLÍN, P., MORAVEC, I., ALBRECHTOVÁ, J. (2007): Macroscopic indicators for the retrospective assessment of Norway spruce crown response to stress in the Krkonoše Mountains. Trees, 21, 1, 23–35.
   GAČR (206/03/H137), GAAV (KJB6111307), výzkumný záměr Ústavu systémové biologie a ekologie AVČR (AVOZ60870520)
9) POLÁK, T., ROCK, B. N., CAMPBELL, P. E., SOUKUPOVÁ, J., SOLCOVÁ, B., ZVÁRA, K., ALBRECHTOVÁ, J. (2006b): Shoot growth processes, assessed by bud development types, reflect Norway spruce vitality and sink prioritization. Forest Ecology and Management, 225, 1–3, 337–348.
   NASA grant (NAG5-5192); NSF-DEB 108385); MŠMT Kontakt (ME 658).

9. Jména oponentů a adresy jejich pracoviště

Odborný oponent:
Doc. Ing. Radek Pokorný, Ph.D.
Mendelova univerzita v Brně, Fakulta lesnická a dřevařská, Ústav zakládání a pěstění lesů, Zemědělská 3, 6013 00 Brno
e-mail: radek.pokorny@mendelu.cz

Oponent z orgánu státní správy:
Ing. Martin Pospíšil (zpracoval posudek)
Ústav pro hospodářskou úpravu lesů (ÚHUL) Brandýs nad Labem, pobočka Kroměříž, náměstí Míru 498, 76701 Kroměříž
e-mail: pospisil.martin@uhul.cz
Ing. Jaromír Vašíček, CSc. (vedoucí pracovník - ředitel ÚHUL), Nábřežní 1326, 25001 Brandýs n. Labem

10. Dedikace

Certifikovaná metodika byla zpracována v Univerzitě Karlově, Přírodovědecké fakultě, na Katedře experimentální biologie rostlin v týmu prof. Jany Albrechtové v rámci řešní projektu MŠMT - Centrum experimentální biologie rostlin UK, NPU LO1417.

Komentář k dedikaci a poděkování:
Uplatnění metodiky bylo konzultováno s Ing et Ing. Pavlem Bednářem, Ph.D., z Výzkumného ústavu lesního hospodářství a myslivosti, v.v.i.

Vlastní výzkum byl prováděn v rámci vypracování diplomové a disertační práce Dr. Tomáše Poláka, kterou J. Albrechtová školila a v rámci řešení řady již ukončených projektů, které byly prof. Albrechtovou vedeny s výjimkou grantu, který byl udělěn T. Polákovi jako mladému vědeckému pracovníkovi z GAAV:

- **NASA grant** „Forest recovery in the Czech Republic“ NAG5-5192 (CFDA #43.002), (1997-2000), UNH, Complex Research Systems Centre, USA, PI: Barrett N. Rock, UNH
- ***C*entral European University grant,** Environmental Research Support Scheme, " The effect of acidic pollution on bud development of Norway spruce" grant No. 91-1, Budapest, Hu, (1993-1995) GAAV (KJB6111307; 2003-2005), PI- T. Polák,
- **GAAV KJB6111307 (2003-2005)**"Principles of Regenerative Processes in Norway spruce crown - bud formation and bud growth", PI: Tomas Polak.
- **NSF DEB 108385, 2003-2006** "Linking stream chemistry to soils and foliar chemistry along a pollution gradient in the Czech Republic" (international component, PI: William H. McDowell, UNH, USA, Co-PI in the Czech Republic: Jana Albrechtova,
- **KONTAKT ME 658, 2003-2006** "Linking stream chemistry to soils and foliar chemistry along a pollution gradient in the Czech Republic" (international component of NSF project No. DEB 108385), PI: Jana Albrechtova, collaborating institutions in CZ - Czech Geological Survey (CGS), Institute of Systems Biology and Ecology CAS.

Zvláštní poděkování patří právě kolegovi Tomáši Polákovi, bohužel *in memoriam*. Za diplomovou práci „Statistické hodnocení makroskopických indikátorů poškození smrku ztepilého (Picea abies L. Karst.) a jejich využití v ekologické výuce“ získal v roce 2000 cenu Josefa Vavrouška za nejlepší diplomovou práci na Univezitě Karlově v Praze. Cenu uděluje univerzita na památku někdejšího ministra životního prostředí, který v roce 1995 zahynul pod lavinou ve Vysokých Tatrách. Tomáš Polák zahynul v lavině 2. 5. 2009 v Alpách. Bylo mu pouhých 32 let. Tomáš byl nezapomenutelným kolegou a zůstává nadále členem našeho týmu v našich vzpomínkách.