

Metody hodnocení fyziologického stavu smrkových porostů

Případové studie sledování vývoje stavu
smrkových porostů v Krušných horách
v letech 1998–2013

Jana Albrechtová,
Lucie Kupková,
Petya K. E. Campbell
a kol.

Česká geografická společnost

Praha 2017

Kapitoly 1, 6, 7, 11–13, 20–22 a Souhrn vznikly s výhradní podporou projektu MŠMT NPUI LO1417. Na přelomu tisíciletí náš výzkum podpořily Lesy ČR, s. p., menším projektem.

Autoři kapitoly 2 děkují redakci časopisu Ochrana přírody za možnost použití původního článku Krušné hory – smutné pohoří, který napsali pro Ochranu přírody v roce 2009 a který byl nyní rozšířen a doplněn o nové poznatky.

Výzkum prezentovaný v kapitole 5 byl financován z poskytnuté institucionální podpory na dlouhodobý koncepční rozvoj výzkumné organizace MZE ČR – Rozhodnutí č. RO0116 (č. j. 10462/2016-MZE-17011).

V kapitole 7 patří poděkování dr. Gariku Gutmanovi z NASA Headquarters za konzultaci a poskytnutí informací k podkapitole 7.3.2.

V kapitole 9 je poděkování věnováno všem, kteří se zúčastnili pozemního sběru dat v roce 2013 (pořizování hemisférických fotografií), jmenovitě Mgr. Veronice Kopačkové, Ph.D., Mgr. Janu Jelénkovi, Mgr. Kateřině Zelenkové, Mgr. Zuzaně Lhotákové, Ph.D. a Mgr. Monice Kovářové.

V kapitolách 11, 20 a 21 poděkování patří především kolegovi Mgr. Tomášovi Polákovi, in memoriam, který vypracoval svou diplomovou a disertační práci pod vedením J. Albrechtové.

V kapitole 25 byly výzkumné práce podpořeny grantem GAČR č. 205/09/1989 „Vyhodnocení environmentálních vlivů povrchové těžby postavené na analýze dat hyperspektrálního senzoru“. Vlastní tvorba kapitoly byla podpořena granty MŠMT INMON LH12097 a NPUI LO1417.

Obsah

Předmluva	5
Poděkování	11

I. LESNÍ EKOSYSTÉMY A JEJICH STUDIUM

1. Význam lesních ekosystémů pro Zemi, její klima a pro člověka	
<i>(Jana Albrechtová)</i>	25
1.1. Rostliny podmiňují existenci a formy života na Zemi	25
1.2. Ekosystémové služby lesa	26
1.3. Probíhající klimatická změna	27
1.3.1. Příčiny	27
1.3.2. Projevy	28
1.4. Globální antropogenní „řešení“ antropogenních příčin klimatické změny	29
1.5. Proč antropogenní změny nabyly od minulého století na významu?	30
1.6. Změny ve využívání lesní půdy a odlesňování	31
1.7. Úloha lesů v tvorbě klimatu	34
1.7.1. Úloha lesů v koloběhu vody	34
1.7.2. Úloha albeda lesů v regionální teplotě	35
1.7.3. Úloha lesů v koloběhu uhlíku	36
1.8. Lesy v klimatické změně a pod vlivem znečištění	38
1.9. Monitorování stavu lesů pomocí metod DPZ	41
1.10. Závěry	41
2. Krušné hory: obecné přírodovědné a historické charakteristiky	
<i>(Vladimír Melichar, Petr Krása)</i>	43
2.1. Geologie a geomorfologie	43
2.2. Historie osídlení a lidské činnosti formující současnou podobu pohoří	46
2.3. Flora a vegetace	48
2.4. Fauna	53
2.5. Závěry	56

3. Historie antropogenní zátěže lesů v Krušných horách ve druhé polovině 20. století a její vliv na stav tamních lesů (<i>Žuzana Lhotáková, Vít Šrámek, Eva Neuwirthová, Jan Mišurec, Jana Albrechtová</i>)	57
3.1. Příčiny antropogenní zátěže v Krušných horách: historické, socioekonomické a klimatické souvislosti	57
3.2. Historie antropogenní zátěže v Krušných horách od druhé poloviny 20. století do současnosti	60
3.3. Vývoj stavu lesních porostů v Krušných horách od druhé poloviny 20. století do současnosti	64
3.4. Závěry	67
4. Dlouhodobý vývoj využití půdy a jeho hybné síly v modelových územích Přebuz a Kovářská (<i>Lucie Kupková, Markéta Potůčková, Lucie Červená, Jana Albrechtová</i>)	68
4.1. Dosavadní vývoj	68
4.2. Hodnocení změn využití půdy v kontextu socioekonomických změn	69
4.3. Změny v rozloze lesní půdy	73
4.4. Závěry	74
5. Současný stav lesních porostů v Krušných horách: lesnická opatření pro revitalizaci oblasti (<i>Vít Šrámek, Jan Liška, František Havránek, Jiří Novák, Marian Slodičák</i>)	75
5.1. Současná imisní situace a stav půd	75
5.2. Zdravotní stav lesních porostů v Krušných horách	77
5.3. Škody zvěří a myslivecké hospodaření	81
5.4. Doporučené postupy obnovy, výchovy a přeměn lesních porostů Krušných hor	83
5.5. Závěry	86
6. Posuzování fyziologického stavu dřevin: symptomy a indikátory poškození smrku ztepilého (<i>Jana Albrechtová, Žuzana Lhotáková</i>)	88
6.1. Velkoplošné chřadnutí a odumírání lesa	88
6.2. Posuzování fyziologického stavu stromů	89
6.2.1. Symptomy poškození a indikátory fyziologického stavu stromů	89
6.2.2. Senescence a stárnutí u jehlic	90
6.2.3. Jak definovat zdravý strom?	90
6.3. Fyziologická odpověď dřevin na stresovou zátěž	91
6.4. Primární a sekundární poškození lesních dřevin	94
6.4.1. Primární poškození jehlic smrku ztepilého	94
6.4.2. Sekundární poškození smrku ztepilého skrze kořenový systém	95
6.4.3. Akutní a chronické poškození lesních dřevin a jeho abiotické a biotické příčiny	96
6.5. Závěry	99

7. Monitorování fyziologického stavu dřevin a lesa: začlenění použití optických vlastností listoví (<i>Jana Albrechtová, Žuzana Lhotáková</i>)	100
7.1. Metody monitorování fyziologického stavu dřevin	100
7.2. Použití optických vlastností listoví v přechodu z různých hierarchických úrovní pozorování od procesů od úrovně listu po biogeochemické cykly	103
7.3. Programy a aktivity pro monitorování lesa	104
7.3.1. Evropské programy monitorování lesa	104
7.3.2. Mezinárodní a celosvětové programy a iniciativy pro monitorování lesních ekosystémů s využitím dat dálkového průzkumu	106
7.4. Závěry	107

II. METODY HODNOCENÍ FYZIOLOGICKÉHO STAVU SMRKU ZTEPILÉHO POUŽITÉ V PREZENTOVANÉM VÝZKUMU V KRUŠNÝCH HORÁCH

8. Výběr, lokalizace a popis studovaných stanovišť v oblasti západního a středního Krušnohoří (<i>Jana Albrechtová, Žuzana Lhotáková, Petya K. E. Campbell, Jan Mišurec, Veronika Kopačková, Lucie Červená, Pavel Cudlín</i>)	111
8.1. Gradient imisní zátěže podmiňoval výběr stanovišť v roce 1998	111
8.2. Geologické podmínky oblastí v západním a centrálním Krušnohoří	112
8.3. Výběr a popis stanovišť	115
8.3.1. Výběr a popis stanovišť v projektu NASA v roce 1998	116
8.3.2. Hodnocení poškození porostů v roce 1998	118
8.3.3. Analýza parametrů porostu v závislosti na stupni poškození stanoviště v roce 1998	118
8.3.4. Analýza dendrochronologických dat šířky letokruhů v roce 1998	119
8.4. Výběr stanovišť v projektu MŠMT INMON v letech 2012 a 2013	121
8.5. Mapy lokalizace stanovišť	122
8.6. Závěry	122
9. Hodnocení vybraných biofyzikálních a strukturálních parametrů lesních porostů pomocí digitálních hemisférických fotografií (<i>Jan Mišurec</i>)	125
9.1. Vybrané biofyzikální a strukturální parametry lesních porostů	125
9.2. Index listové plochy	126
9.3. Korunový zápoj a zápoj porostu	126
9.4. Metody odhadu biofyzikálních a strukturálních parametrů porostů	127
9.4.1. Přímé metody	127
9.4.2. Nepřímé metody	128
9.4.3. Výhody a úskalí digitálních hemisférických snímků	128
9.5. Zásady pro pořizování hemisférických fotografií	130

9.5.1. Prostorové schéma pořizování fotografií	130	12.4.1. Odběr, příprava a skladování jehlic	167
9.5.2. Orientace hemisférických fotografií	130	12.4.2. Extrakce etanolem a DMF, spektrofotometrické stanovení	168
9.5.3. Expozice hemisférických fotografií	132	12.5. Rozpustné fenolické látky a lignin	169
9.6. Případová studie: určování biofyzikálních a strukturálních parametrů smrkových porostů v Krušných horách	133	12.6. Rozpustné fenolické látky	170
9.6.1. Pořízení digitálních hemisférických fotografií	133	12.7. Biochemické stanovení obsahu rozpustných fenolických látek: metodika	171
9.6.2. Zpracování digitálních hemisférických fotografií v software CanEye	133	12.8. Lignin: příčiny změny obsahu, stresové faktory	172
9.6.3. Tvorba mapy indexu listové plochy	134	12.9. Biochemické stanovení obsahu ligninu: metodika	173
9.6.4. Analýza výsledků	135	12.10. Závěry	175
9.7. Závěry	136		
10. Makroskopický popis stavu korun smrku zteplého a jejich změn (Pavel Cudlín, Ewa Chmelíková, Ivo Moravec)	138	13. Anatomické a histochemické analýzy jehlic (Jana Albrechtová, Žuzana Lhotáková, Žuzana Kubínová)	176
10.1. Makroskopické indikátory reakce stavu korun smrku zteplého na komplexní působení stresových faktorů	138	13.1. Anatomická stavba jehlic	176
10.2. Principy metody hodnocení poškození a obnovy korun smrku zteplého	139	13.2. Mikroskopické metody	178
10.3. Hodnocení stavu korun	141	13.2.1. Světelná mikroskopie	178
10.4. Hodnocení stavu porostů a jejich vitality na základě hodnocení stavu koruny v oblasti Přebuzi a Kovářské v roce 2013	146	13.2.2. Ruční řezy: dočasné preparáty	179
10.5. Závěry	148	13.2.3. Postup při přípravě ručních řezů	179
		13.3. Histochemické detekce	179
		13.3.1. Lignin	181
		13.3.2. Fenolické látky	181
		13.3.3. Kondenzované taniny	181
		13.3.4. Lipidické látky	182
		13.4. Polarizované světlo	182
		13.5. Parafínové řezy: trvalé preparáty	182
		13.6. Příprava trvalých preparátů	183
		13.7. Semikvantitativní analýzy	183
		13.8. Kvantitativní analýzy	183
		13.9. Konfokální mikroskopie	185
		13.9.1. Kvantitativní analýza struktury mezofylu: použití stereologických metod na sérii optických řezů	186
		13.9.2. Vnitřní povrch listu: metoda fakír	187
		13.9.3. Počet částic ve 3D: metoda disektor	187
		13.9.4. Transmisní elektronová mikroskopie: aplikace stereologických metod	191
		13.10. Závěry	192
11. Makroskopický indikátor vitality smrku zteplého: zastoupení vývojových směrů pupenů (Jana Albrechtová, Žuzana Lhotáková)	150	14. Laboratorní a obrazová spektroskopie a jejich využití pro pozorování vegetace (Lucie Kupková, Markéta Potůčková, Lucie Červená, Jan Mišurec, Žuzana Lhotáková, Jana Albrechtová)	193
11.1. Makroskopické indikátory poškození koruny smrku zteplého a jejich výpovědní hodnota	150	14.1. Spektrální chování objektů	193
11.2. Princip kritéria hodnocení zastoupení vývojových směrů pupenů	151	14.1.1. Spektrální chování vegetace: úroveň jednotlivých listů	195
11.3. Popis hodnocení zastoupení vývojových směrů pupenů a kritéria hodnocení vývojového potenciálu stromu	155	14.1.2. Spektrální chování vegetace: úroveň korun a celého porostu	196
11.3.1. Hodnocení zastoupení vývojových směrů pupenů	155	14.2. Multispektrální a hyperspektrální data	196
11.3.2. Kritérium hodnocení vývojového potenciálu větve či stromu: vitalita stromu	156		
11.4. Využití makroskopického indikátoru vitality smrku zteplého založeného na hodnocení zastoupení vývojových směrů pupenů	159		
11.5. Závěry	160		
12. Nespecifické indikátory fyziologického stavu listoví: laboratorní biochemické analýzy (Žuzana Lhotáková, Jana Albrechtová)	161		
12.1. Vybrané biochemické parametry listoví jako nespecifické indikátory stresu	161		
12.2. Fotosyntetické pigmenty	162		
12.3. Pigmenty: příčiny změn obsahu, stresové faktory	164		
12.4. Biochemické stanovení obsahu fotosyntetických pigmentů: metodika	166		

14.3. Spektroskopie	197
14.3.1. Laboratorní spektroskopie	197
14.3.2. Obrazová spektroskopie	197
14.3.3. Hyperspektrální obrazové senzory využité v projektu	198
14.4. Metody spektroskopie pro hodnocení vegetace	199
14.4.1. Klasifikace obrazových dat	199
14.4.2. Metody pro odhad parametrů vegetace	201
14.5. Závěry	202
15. Laboratorní spektrometrická měření: metodika (<i>Lucie Červená, Markéta Potůčková, Lucie Kupková, Zuzana Lhotáková, Jana Albrechtová</i>)	203
15.1. Pozemní spektrometrie: teorie měření	203
15.2. Měření výhonů smrku ztepilého kontaktní sondou ASD	208
15.3. Měření jehlic smrku ztepilého integrační sférou ASD	209
15.4. Závěry	212
16. Statistické metody pro vyhodnocení spektrálních dat a jejich vztahu ke stavovým parametrům vegetace (<i>Lucie Červená, Markéta Potůčková, Lucie Kupková, Zuzana Lhotáková, Jana Albrechtová</i>)	213
16.1. Porovnávání spekter	213
16.2. Transformace spekter	214
16.2.1. Derivace	214
16.2.2. Odstranění kontinua	216
16.2.3. Vegetační indexy	216
16.3. Statistické metody pro empirické modelování	217
16.3.1. Jednoduchá regrese	218
16.3.2. Mnohonásobná kroková regrese	218
16.3.3. Metoda PLSR	220
16.4. Závěry	221
17. Modely přenosu záření (<i>Lucie Červená, Jan Mišurec, Lucie Kupková, Markéta Potůčková</i>)	222
17.1. Přímé modelování a inverze RTM	222
17.2. Přehled modelů	224
17.2.1. Modely na úrovni listu	225
17.2.2. Modely na úrovni korun a porostů	226
17.3. Závěry	229

III. PŘÍPADOVÉ STUDIE SLEDOVÁNÍ VÝVOJE STAVU SMRKOVÝCH POROSTŮ V ZÁPADNÍCH A STŘEDNÍCH KRUŠNÝCH HORÁCH A JEJICH OKOLÍ V LETECH 1998–2013

18. Půdní geochemická analýza: Přebuz a Kovářská (<i>Veronika Kopačková, Jan Mišurec, Kateřina Fárová</i>)	233
18.1. Odběr půdních vzorků	233
18.2. Statistické metody	234
18.3. Výsledky	235
18.4. Závěr	244
19. Srovnání fyziologického stavu smrkových porostů v letech 1998 a 2013, makroskopické a biochemické indikátory (<i>Jana Albrechtová, Zuzana Lhotáková, Jan Mišurec, Veronika Kopačková, Petya K. E. Campbell, Magda Edwards-Jonášová, Lucie Kupková, Pavel Cudlín</i>)	245
19.1. Zájmové lokality	245
19.2. Makroskopické a biochemické indikátory fyziologického stavu stromů	246
19.3. Imisní zátěž lokalit a makroskopický stav korun v letech 1998 a 2013	246
19.4. Prvková analýza jehlic: roky 2003 a 2013	249
19.5. Nеспецифické biochemické indikátory stresu 1998 a 2013	252
19.6. Poškození korun, nспецифické indikátory stresu a půdní parametry: vícerozměrná analýza v programu CANOCO	252
19.7. Závěry	258
20. Vývoj fyziologického stavu porostů pěti modelových stanovišť v období 1998–2007 (<i>Zuzana Lhotáková, Jana Albrechtová</i>)	259
20.1. Kritéria pro výběr dlouhodobě sledovaných stanovišť a jejich lokalizace	259
20.2. Vápňení sledovaných stanovišť ve sledovaném období	260
20.3. Metodika: použité makroskopické, biochemické a spektroskopické indikátory fyziologického stavu stromů	261
20.4. Vývoj fyziologického stavu podle makroskopických indikátorů	262
20.5. Vývoj fyziologického stavu podle biochemických indikátorů	265
20.6. Vývoj fyziologického stavu podle spektrálního indexu REIP	268
20.7. Závěry	269
21. Vývoj fyziologického stavu porostů pěti modelových stanovišť v období 1998–2003: makroskopické kritérium vývojových směrů pupenů (<i>Jana Albrechtová, Zuzana Lhotáková</i>)	272
21.1. Popis stanovišť a jejich vývoje v letech 1998–2003 s použitím běžných makroskopických indikátorů	273
21.2. Zhodnocení stavu porostů a jejich vitality na základě zastoupení vývojových směrů pupenů	273

21.3. Posouzení schopnosti obnovy koruny stromů na stanovištích na základě kritéria zastoupení vývojových směrů pupenů	275
21.4. Závěry	277
22. Hodnocení poškození jehlic smrku ztepilého na základě mikroskopických indikátorů (<i>Jana Albrechtová, Žuzana Lhotáková</i>)	279
22.1. Stanoviště, odběr vzorků jehlic a metoda přípravy anatomických preparátů	279
22.2. Popis semikvantitativního hodnocení příčných řezů jehlic	281
22.3. Analýza mikroskopických markerů na sledovaných stanovištích v roce 2000, 2002 a 2003	283
22.4. Závěry	285
23. Vegetační indexy ve vertikálním profilu koruny (<i>Lucie Červená, Žuzana Lhotáková, Markéta Potůčková, Lucie Kupková, Jana Albrechtová</i>)	286
23.1. Odběr, biochemické parametry a optické vlastnosti jehlic	287
23.2. Faktory ovlivňující biochemické a optické vlastnosti jehlic ve vertikálním gradientu koruny	288
23.3. Vegetační indexy ve vertikálním profilu koruny a regresní modely pro odhad biochemických a biofyzikálních parametrů	290
23.4. Závěry	292
24. Hodnocení vývoje porostů smrku ztepilého v oblastech Přebuzi a Kovářské s využitím leteckých a družicových dat DPZ v období 1985–2015 (<i>Jan Mišurec, Veronika Kopačková, Žuzana Lhotáková, Petya K. E. Campbell, Jana Albrechtová</i>)	293
24.1. Zpracování časové řady družicových dat Landsat	294
24.2. Letecká hyperspektrální data ASAS a APEX	295
24.3. Pozemní kampaň	295
24.4. Definice referenčních smrkových stanovišť v obrazových datech	295
24.5. Hodnocení prostorových a časových trendů stavu porostů pomocí vegetačních indexů	296
24.6. Obecné trendy vývoje stavu lesních porostů v oblastech Přebuz a Kovářská z družicových dat Landsat	299
24.7. Vyhodnocení změny stavu zkoumaných smrkových porostů na podkladě hyperspektrálních dat ASAS a APEX	302
24.8. Závěry	304
25. Využití hyperspektrálních vegetačních indexů pro hodnocení fyziologického stavu smrkových porostů: analýza regionálního rozsahu (<i>Veronika Kopačková, Jan Mišurec, Kateřina Fárová, Žuzana Lhotáková, Jana Albrechtová</i>)	306
25.1. Charakteristika studovaného území	306
25.2. Letecká hyperspektrální data	307
25.2.1. Podpůrná pozemní měření	308

25.2.2. Předzpracování obrazových dat	308
25.2.3. Zpracování hyperspektrálních dat: klasifikace zdravé vegetace a detekce změn	309
25.2.4. Klasifikace zdravotního stavu lesních porostů	310
25.3. Zdravotní stav vegetace: rozdíly mezi klasifikací dat HyMap z let 2009 a 2010	314
25.4. Výsledky: analýza listovní	315
25.5. Výsledky: analýza půdy	318
25.6. Diskuse získaných výsledků	319
25.7. Závěry	321

ZÁVĚRY: KRUŠNÉ HORY JAKO MODELOVÉ ÚZEMÍ PRO VÝZKUM VLIVU VZDUŠNÉHO ZNEČIŠTĚNÍ NA SMRKOVÉ POROSTY

(*Jana Albrechtová, Žuzana Lhotáková*)

Souhrn záměru, struktury a obsahu monografie	325
Krušné hory: modelové území pro výzkum dopadů vzdušného znečištění na porosty smrku ztepilého	327
Metody hodnocení fyziologického stavu lesních porostů smrku ztepilého	329
Výsledky případové studie sledování vývoje stavu smrkových porostů v západních a středních Krušných horách a jejich okolí v letech 1998–2013	331
Současná potřeba a perspektivy použití hyperspektrálních dat dálkového průzkumu pro velkoplošné monitorování fyziologického stavu lesních porostů	333
Literatura	335
Seznam tabulek a obrázků	365
Seznam použitých zkratk	373
Summary (<i>Jana Albrechtová, Petya Campbell, Žuzana Lhotáková, Lucie Kupková, Barrett N. Rock</i>)	379
About Editors	389
List of Tables and Figures	391
Rejstřík	397