

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

FAKULTA LESNICKÁ A DŘEVAŘSKÁ

Katedra Pěstování lesů



Vplyv rozdielneho manažmentu hospodárenia na

vývoj vybraných porastov jedľobučín

Východných Karpát

Dizertačná práca

Vedúci dizertačnej práce: doc. Ing. Igor Štefančík, CSc.

Autor práce: Ing. Tomáš Klouček

Praha 2016

Prehlásenie

Prehlasujem, že som dizertačnú prácu na tému „Vplyv rozdielneho manažmentu hospodárenia na vývoj vybraných porastov jedľobučín Východných Karpát“ vypracoval samostatne s použitím literárnych zdrojov, ktoré citujem a uvádzam v priloženej bibliografii.

Súhlasím, aby táto práca bola zverejnená v súlade s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách.

V Prahe dňa 16. marca 2016

Ing. Tomáš Klouček

Pod'akovanie

Týmto by som chcel poďakovať v prvom rade môjmu školiteľovi doc. Ing. Igorovi Štefančíkovi, CSc. za cenné rady a konzultácie. Taktiež by som sa chcel poďakovať doc. Ing. Rudolfovi Petrášovi, CSc. a Ing. Michalovi Bošelovi, PhD. za pomoc a rady pri spracovaní údajov z VO Komárnik. Ďakujem tiež všetkým, ktorí zabezpečovali zber údajov počas celej doby existencie VO Komárnik. Táto práca vznikla aj vďaka projektu APVV-0608-10 (Výskum vývoja lesných ekosystémov na vybraných dlhodobo sledovaných výskumných objektoch Národného lesníckeho centra). Týmto ďakujem aj hlavným riešiteľom tohto projektu, prof. Vladimírovi Čabounovi, CSc. a Ing. Tiborovi Priwitzerovi, PhD. za cenné rady.

Obsah

1. Úvod	5
2. Ciele práce	6
3. Rozbor problematiky	7
3.1. História obhospodarovania lesov na Slovensku a dopady na ich súčasný stav	7
3.2. Rast, štruktúra a produkcia lesa	8
3.2.1. Potenciálna produkcia drevín	8
3.2.2. Vplyv vnútrodruhovej a medzidruhovej kompetície na rast drevín	10
3.2.3. Vplyv prebierok na objemovú produkciu lesov	11
3.2.4. Objemová produkcia výberkových lesov	15
3.2.5. Objemová produkcia zmiešaných lesov	18
3.2.6. Vplyv klimatickej zmeny a znečistenia ovzdušia na rast a produkciu lesov	20
4. Materiál a metodika	24
4.1. História a zameranie Výskumno-účelového objektu (VO) Komárnik	24
4.2. Prírodné podmienky VO Komárnik	25
4.3. Základná charakteristika lesov na VO Komárnik	27
4.4. Trvalé výskumné plochy (TVP) vo VO Komárnik	28
4.5. Spracovanie údajov a štatistické analýzy	35
4.5.1. Výpočet objemov stromov a zásob drevín a porastov na TVP	35
4.5.2. Inventarizácia odumretého stojaceho a ležiaceho dreva na TVP	36
4.5.3. Radiálne prírastky a prírastky na kruhovej základni	38

4.5.4. Modely výškových kriviek.....	38
4.5.5. Inventarizácia prirodzenej obnovy na TVP	39
4.5.6. Modelová výberková štruktúra a zásoba jedľovo-bukových porastov	39
5. Výsledky	41
5.1. Vývoj zásob a zastúpenia drevín.....	41
5.2. Zásoba odumretej hmoty v rôznej štruktúre porastov	44
5.3. Radiálny prírastok stromov a prírastok na kruhovej základni ako indikátory zmien.....	47
5.4. Výškové krivky a ich zmeny vplyvom rozdielneho manažmentu	51
5.5. Stav prirodzenej obnovy vplyvom rôznej štruktúry porastov	55
5.6. Modely optimálnej štruktúry a zásoby jedľovo-bukových lesov.....	60
6. Diskusia	67
6.1. Produkčný potenciál jedľovo-bukových lesov Východných Karpát	67
6.2. Produkčný a ekologický potenciál buka a jedle v kontexte klimatických zmien.....	69
7. Záver a odporúčania pre využitie poznatkov v praxi.....	73
8. Literatúra.....	75

Abstrakt

Cieľom práce bolo získať poznatky o dynamike rastu a produkcii zmiešaných jedľovo-bukových lesov Východných Karpát s využitím dlhodobých opakovaných meraní vo Výskumno- účelovom objekte Komárnik (VO Komárnik).

VO Komárnik bol založený v roku 1954, pričom cieľom bolo budovanie výberkového lesa, resp. pretváranie pôvodných pralesovitých spoločenstiev na výberkové, so zachovaním zmiešania, hrúbkovej a výškovej diferenciácie, priaznivých prírodných a rastových podmienok. Pre tento účel sa v rokoch 1957 – 1964 založilo spolu 13 trvalých výskumných plôch (TVP) a opakovane sa merali do roku 1995. V rokoch 2011 – 2013 sa znovu obnovilo 6 TVP, ktoré boli jednoznačne identifikované v teréne. Opakované merania týchto plôch sa použili pre zostavenie predkladanej práce. Zisťovali sa zmeny v štruktúre, zásobách, drevinovom zložení a mortalite, ktoré sa udiali od vzniku VO Komárnik.

Výsledky analýz ukázali, že diferencovaná vertikálna štruktúra blížiac sa k výberkovej sa zachovala, napriek dynamickému vývoju obhospodarovania a vplyvu disturbancií. Zásoby sa v niektorých častiach nezmenili, ale inde, pod vplyvom prírodných kalamít, výrazne poklesli. Prírodná obnova je vo všetkých častiach VO Komárnik veľmi bohatá, na čo malo vplyv uvoľnenie zápoja hornej vrstvy a vytvorenie optimálnych podmienok pre vznik a prežívanie zmladenia. Následne sa pre tieto porasty stanovila modelová zásoba a štruktúra výberkového lesa s využitím princípu geometrického klesajúceho radu podľa Liocurta. Cieľová zásoba sa stanovila na približne $400 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$, s cieľovou hrúbkou 62 cm a kvocientom geometrického radu 1,4. Uvedená zásoba je nižšia ako súčasná zásoba niektorých porastov dosahujúca viac ako $600 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$. Spôsobil to najmä pomerne vysoký výskyt veľmi hrubých a prestarnutých stromov, ktoré by mali byť v najbližšom období vyťažené. Vzhľadom k produkčnému potenciálu, súčasnej štruktúre a bohatej prirodzenej obnove je stanovená zásoba a štruktúra určená reálne. Odporúča sa taktiež ponechať zastúpenie ďalších druhov drevín a to najmä javora a bresta.

Kľúčové slová: výberkový les, produkcia, rast, disturbancie, modelovanie, *Abies alba*, *Fagus sylvatica*

Abstract

The aim of the thesis was to broaden knowledge on forest growth dynamics and production of mixed beech-fir forests of the Eastern Carpathians using long-term inventory data from research demonstration area “Komárnik” (RA Komárnik).

RA Komárnik was established in 1954 and its aim was a conversion of the forests into selection-type forests while maintaining current species proportion, age structure and growth conditions. For this purpose, thirteen long-term research plots (LTRP) were established across the area and stand-related parameters were repeatedly measured till 1995. In 2011–2013, six LTRP, which were clearly identified in the field, were selected out and re-measured within a scientific project. These plots were used for analyses in this study to investigate changes in growing stock, species proportion, natural regeneration and mortality of these forests since the establishment of the RA Komárnik.

Results showed that the original structure that was already close-to-nature has been maintained despite a very dynamic development and influence of natural disturbances. However, growing stock decreased due to some disturbance events that occurred across the area during the last 50 years. These changes led to improved conditions for spring and surviving of the natural regeneration which is now very rich. A model structure and growing stock were defined for these forests based on the current status in structure and natural regeneration. Based on the modelling, 400 m³.ha⁻¹ was found to be optimal and thus was used as the target growing stock. In addition, diameter at breast height (DBH) of 62 cm was chosen as the target and the quotient of the geometric order of 1.4 was used to define the model structure (diameter distribution) of future selection forests in the area. The target growing stock is thus smaller than the current 600 m³.ha⁻¹. This is because of the high frequency of very old and large sized trees, which are supposed to be harvested in the near future. Considering the production potential and very rich natural regeneration of these forests, such model seems to be real and well-defined to ensure the balanced structure of selection forest. It is also recommended to maintain the current proportion of other species such as maple and elm.

Keywords: selection forest, production, growth, disturbances, modeling, *Abies alba*, *Fagus sylvatica*

1. Úvod

Lesné ekosystémy, ako objekty pestovania lesa, sú v súčasnosti vystavené pôsobeniu globálnych klimatických zmien. Rastúca teplota, deficit zrážok vo vegetačnom období, zvýšená koncentrácia CO₂, zhoršujúce sa vlastnosti pôdy a častejší výskyt silných nárazových vetrov nútia človeka hľadať nové cesty v obhospodarovaní lesov.

Lesy Slovenska sú vo viac ako 70 % tvorené pôvodnými drevinami, čo je jedným z predpokladov efektívneho využívania princípov ekologicky orientovaného pestovania lesov. Jedným z najvyšších foriem prírode blízkeho obhospodarovania lesa je výberkový hospodársky spôsob. Navyše, na rozdiel od minulosti, súčasná legislatíva (zákon č. 326/2005 Z.z.) preferuje jemnejšie spôsoby hospodárenia ako sú podrastový a výberkový. Nielen na Slovensku, ale i v celej Európe sa vyvíjajú intenzívne aktivity smerom k prechodu od tradičného lesníctva založeného na lese vekových tried a rúbaňovom hospodárskom spôsobe. Príčin je viacero: (i) les vekových tried, no najmä smrekové monokultúry, sa stávajú veľmi citlivé na čoraz častejší výskyt vetrových kalamít a ďalších disturbančných faktorov ako je sucho, podkôrny hmyz a pod., (ii) nároky spoločnosti na to, aby les plnil naraz viaceré funkcie (nielen produkčnú) sa neustále zvyšujú, (iii) predpokladá sa, že lesné ekosystémy s väčšou biodiverzitou (rôznoveké a rôznorodé) budú lepšie odolávať pôsobeniu očakávaných klimatických zmien.

Uvedená téma je preto vysoko aktuálna nielen na Slovensku, ale aj v celosvetovom meradle. Cieľom medzinárodnej lesníckej politiky v posledných desaťročiach je dosiahnutie trvalo udržateľného hospodárenia a za tým účelom sa dlhodobo vyvíjajú systémy kritérií a indikátorov pre hodnotenie stavu a posudzovanie zmien v lesoch od úrovne porastovej až po úroveň globálnu (Bošeľa et al. 2016).

2. Ciele práce

Cieľom dizertačnej práce bolo vyhodnotiť ako vplýva rozdielnosť manažmentu lesa na vývoj zásob, drevinovej skladby a dynamiky regeneračných procesov s možnosťou vystupňovania produkcie v porastoch s výberkovou štruktúrou a v porastoch so štruktúrou typickou pre podrastový hospodársky spôsob.

Pre dosiahnutie uvedeného cieľa sa využili údaje opakovaných meraní trvalých výskumných plôch založených v 50. a 60. rokoch 20. storočia vo Výskumno-úcelovom objekte (VO) Komárnik. Pritom sa stanovili tieto špecifické ciele:

1. Vyhodnotiť produkciu a jej zmeny v čase vplyvom pestovných opatrení a prírodných procesov.
2. Vyhodnotiť dynamiku rastu a odumierania stromov v jedľovo-bukových lesoch so štruktúrou blízkou výberkovej.
3. Vyhodnotiť regeneračné procesy jedľovo-bukových lesov.
4. Posúdiť vplyv environmentálnych faktorov na zmeny rastu a produkcie jedľovo-bukových lesov.
5. Vytvoriť modely štruktúry a zásoby jedľovo-bukových lesov v skúmanom území.

3. Rozbor problematiky

3.1. História obhospodarovania lesov na Slovensku a dopady na ich súčasný stav

Do 15. storočia neexistoval systém (trvalo udržateľného) hospodárenia v lesoch a ťažilo sa ľubovoľne. Prvý poriadok a reguláciu ťažieb nastolil až „Lesný poriadok cisára Maximiliána II.“ z roku 1565. Avšak, odbornosť pri zakladaní a obnove lesných porastov sa začala uplatňovať až v prvej polovici 18. storočia.

Rozvoj lesného hospodárstva sa však začal až počas obdobia Márie Terézie, keď v roku 1769 vydala lesný poriadok pod názvom „Porádek hor aneb lesuv zachování“. Tento mal tri hlavné ciele: 1) určiť, aký poriadok sa má dodržiavať pri rúbaní dreva, 2) ustáliť, ako sa majú vypestovať nové lesy a 3) naznačiť, ako sa má zabezpečiť trvalý úžitok z nich. Tu už bol zakotvený princíp trvalého úžitku, dnes známy pod pojmom „trvalo udržateľné hospodárenie“. Veľmi dôležitým bolo schválenie zákonného článku 31 v roku 1879, ktorý nariaďoval povinné vypracúvanie lesných hospodárskych plánov pre štátne lesy. Pre iné ako štátne lesy sa kontrola realizovala na základe zákonného článku 19 z roku 1898 o „lesodohliadacej“ službe štátu.

Zmena politických a hospodárskych pomerov súvisiaca so vznikom I. Československej republiky zvýšila záujem obchodníkov a priemyselníkov s drevom o ťažbu dreva predovšetkým vo veľkých horských masívoch Slovenska. Keďže pre dosiahnutie ziskov potrebovali sústredenú ťažbu, ťažilo sa na rozsiahlych plochách a ostávali po nich spustnuté pozemky. Aby sa tomu zabránilo začal štát upravovať obchod s drevom. V roku 1932 sa zriadila Československá ústredná predajňa dreva, akciová spoločnosť v Prahe, ktorá obstarávala predaj dreva a výrobkov Československých štátnych lesov a majetkov.

Podstatne odlišné pomery boli po roku 1945, keď sa postupne zjednodušovalo vlastníctvo a užívanie lesov prechádzalo v prospech štátu. Do roku 1960 bolo prijatých mnoho zákonných opatrení, tieto však nemali komplexný charakter. Až po roku 1960 sa prijali zákony, ktoré komplexne riešili obhospodarovanie lesov (166/1960 Zb., 61/1977 Zb., 100/1977 Zb., 326/2005 Z. z., 360/2007 Z. z.).

V druhej polovici 40. rokov minulého storočia je možné sledovať začiatky zavádzania jemnejších spôsobov obhospodarovania lesov znižovaním veľkosti a podielu holorubov, čo sa odrazilo aj v legislatíve (zákon č. 206/1948 Zb.). Začal sa uplatňovať výberkový hospodársky spôsob, čo vyvrcholilo v 50. rokoch 20. storočia (Štefančík et al., 2013). Okrem tohto hospodárskeho spôsobu sa výraznejšie uplatňovali, aj na základe legislatívnej podpory (zákon o lesoch a lesnom hospodárstve č. 166/1960 Zb.), podrastové postupy (clonné) využívajúce prirodzenú obnovu (Greguš, 2002). Avšak výrazná zmena v pestovaní lesov nastala prijatím zákona SNR č. 100/1977 o hospodárení v lesoch a štátnej správe lesného hospodárstva Slovenskej republiky, resp. vyhlášky 14/1978 Zb. Tieto zákonné úpravy prioritizovali rúbaňový hospodársky spôsob, čo znamenalo zníženie podielu podrastového a výberkového spôsobu. Toto však netrvalo dlho, pretože po prevrate v roku 1989, sa opäť začali preferovať jemnejšie hospodárske postupy. Podľa zákona č. 326/2005 Z. z. o lesoch, ktorý platí dodnes, podrastové hospodárstvo s maloplošnou prirodzenou obnovou sa považuje za ekologicky najvhodnejšie.

3.2. Rast, štruktúra a produkcia lesa

3.2.1. Potenciálna produkcia drevín

Náuka o raste a produkcii lesa sa dlhodobo rozvíja najmä v nemecky hovoriacich krajinách a postupne zhromaždila množstvo poznatkov o biologických a ekologických princípoch rastu a produkcie lesných drevín (Assmann, 1961; Mitscherlich, 1978; Pretzsch et al., 2014). Vývojové tendencie smerujú (i) k integrácii poznatkov fyziológie a ekológie, umožňujúcej rastové zákonitosti prírodovedecky lepšie interpretovať, (ii) k matematickej formulácii a biologickému zdôvodneniu rastových procesov (Šmelko et al., 1992).

Z lesníckeho hľadiska je zaujímavá primárna produkcia drevnej biomasy označovaná ako celková objemová produkcia – COP. COP za časovú jednotku je priamo úmerná kvalite stanovišťa, preto je možné využiť ju na nepriamu bonitáciu stanovišť. Keďže v praxi je ťažko merateľná, nahrádza sa pre účely bonitácie inými,

ľahko merateľnými veličinami, najčastejšie výškou dreviny v určitom veku (Barnes et al., 1998).

Bonitou dreviny sa vo všeobecnosti rozumie priemerná výška dominantných stromov v štandardnom referenčnom veku (Oliver and Larson, 1996). Tento vek je obyčajne 100, 50, výnimočne aj 25 rokov. Pritom stanovenie priemernej výšky dominantnej časti porastu môže byť rôzne, a najčastejšie zodpovedá priemernej výške určitého relatívneho, alebo absolútneho počtu najhrubších stromov v poraste (h10%, h20%, resp. h100, h200...). Výhoda tejto tzv. hornej výšky je, že na rozdiel od strednej výšky takmer vôbec nezávisí od typu a sily prebierok, a teda lepšie odráža produkčný potenciál stanovišťa. Túto výhodu uplatnili viacerí autori pri konštrukcii rastových tabuliek (Assmann and Franz, 1965; Badoux, 1968).

Využitie bonity drevín ako nepriameho ukazovateľa kvality stanovišťa sa komplikuje, ak je porast (i) veľmi mladý (ii) nerovnoveký a (iii) skladá sa z viacerých drevín (Monserud, 1988). V zmiešaných a výškovo rozrôznených porastoch sa odporúča bonitovanie výlučne podľa hornej výšky, a pre prevládajúcu drevinu. Pravdepodobne najvhodnejšia sa javí horná výška h10%, ktorá zodpovedá hodnotám h10% v rovnovekom a rovnorodom poraste (Šmelko et al., 1992). Na Slovensku sa v praxi štandardne používa bonitácia podľa strednej výšky, ale variantne aj podľa hornej výšky h10%.

Praktickým problémom je všeobecne pozorovaný slabší vzťah bonít drevín k stanovištným jednotkám ako sa teoreticky predpokladalo. Napríklad Franz (1971, ex Šmelko, 1992) zistil na plochách založených na jednej stanovištnej jednotke variačné rozpätie horných výšok pri rovnakom veku až 7 m. K podobným výsledkom nedávno dospeli autori Kulla et al. (2010) na základe analýzy taxačných databáz na Slovensku. Príčinou môžu byť okrem genetickej variability drevín (i) chyby stanovenia veku a výšky drevín, (ii) nesprávna klasifikácia stanovišť z hľadiska produkčnosti, a (iii) chybné stanovištné mapovanie.

Okrem nepriamej bonitácie sa najmä v poslednom období rozvíjajú metódy priamej, tzv. ekologickej bonitácie stanovišť, ktorých cieľom je simulovať produkčný potenciál na základe pôdnych a klimatických parametrov ekotopu (Kahn,

1994; Curt et al., 2001; Swenson et al., 2005; Monserud et al., 2006). Ekologický bonitačný model prevzatý z nemeckého rastového simulátora SILVA (Pretzsch et al., 2002) a lokalizovaný na slovenské podmienky obsahuje aj stromový rastový simulátor SIBYLA vyvíjaný na Slovensku (Fabrika, 2004).

3.2.2. Vplyv vnútrodruhovej a medzidruhovej kompetície na rast drevín

Kompetícia a kompetičné vzťahy predstavujú v lesoch mierneho pásma hlavný faktor vplývajúci na mortalitu stromov (Eid and Tuhus, 2001; Yang et al., 2003; Monserud et al., 2004). Najväčšia dynamika prebieha v najmladších rastových stupňoch, ktoré sú najpočetnejšie, pričom tu počty jedincov dosahujú až milióny kusov na hektár. Kompetícia závisí v prvom rade od hustoty porastu. Vplýva na stabilitu, ale aj na samotnú produkciu porastov. Susedné jedince sa navzájom ovplyvňujú v korunovom priestore, ale takisto aj v koreňovom systéme pod povrchom zeme. Následky kompetície sa prejavujú aj na tvare kmeňa a jeho vlastnostiach. Významný je napríklad vplyv na zbiehavosť kmeňa či hrčavosť, čo determinuje technické a ekonomické využitkovanie dendromasy. Vzájomným ovplyvňovaním veľkosti korún sa mení aj veľkosť listovej plochy, resp. morfológické vlastnosti listov (Barna, 2004). Kompetičné tlaky medzi drevinami modifikujú podiel biomasy fotosyntetizujúcej časti stromov (t.j. asimilačných orgánov) k celkovej stromovej biomase. Le Goff and Ottorini (2001) zistili v dospelom bukovom poraste, že biosociologické postavenie výrazne ovplyvňovalo distribúciu biomasy medzi nadzemnú a podzemnú časť.

Kompetičné vzťahy môžu byť vnútrodruhové (v rámci jedného druhu dreviny, napríklad v smrekových monokultúrach alebo rovnorodých bučinách), alebo medzidruhové (mnohoraké kombinácie viacerých drevín s rôznou štruktúrou). Na regeneráciu, rast a vývoj drevín v juvenilných rastových štádiách vplývajú aj kompetičné tlaky ostatnej vegetácie. Podmienky obnovy v podraze materského porastu sa výrazne líšia od podmienok na rúbanisku. Kým v stojacom materskom poraste je regenerácia buka a smreka limitovaná najmä dostatkom svetla a veľkosťou porastových medzier (Šamonil and Vrška, 2008; Jarčuška and Barna, 2011), na

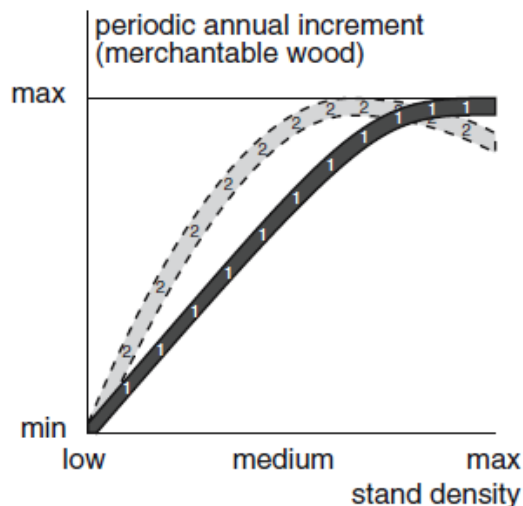
rúbanisku sú juvenilné jedince v silnom konkurenčnom tlaku s nedrevnatou vegetáciou. Zloženie rúbaniskovej vegetácie je pritom výrazne odlišné od zloženia pôvodných lesných fytoocenóz a dominujú v ňom druhy, ktoré sú schopné rýchlo a v hojnej početnosti obsadiť uvoľnený priestor (Jarolímek et al., 1997).

Konkurenčné vzťahy medzi jednotlivými stromami sú rozhodujúce pre takmer všetky aspekty ekológie lesa a ich pochopenie je rozhodujúce pre manažment lesného ekosystému (Thorpe et al., 2010). Toto poznanie je tiež rozhodujúce pre rozvoj trvalo udržateľného obhospodarovania lesných ekosystémov, najmä druhovo zmiešaných a nerovnovekých porastov (Canham et al., 2006).

Mnohé simulačné modely lesov sa spoliehajú na zjednodušené tvrdenie, že kompetícia nie je náhodný, katastrofický ani klimatický mechanizmus, ktorý ovplyvňuje pravdepodobnosť odumretia (napr. Das et al., 2011). Kým predpoklad platí pre husté, mladé porasty prechádzajúce autoreguláciou, kompetícia už nemusí byť hlavným hnacím motorom odumierania v starších lesoch (Oliver and Larson, 1996). Tu hrajú väčšiu úlohu patogény a hmyz (Das et al., 2011). Napríklad Dekker et al. (2009) zistili významné vzťahy medzi súčasným rastom (5-ročný priemer) a mortalitou brezy, douglasky a smrekovca, ale nie pri borovici.

3.2.3. Vplyv prebierok na objemovú produkciu lesov

Koncom 17. storočia, potom ako boli lesy v Európe dovtedy drancované, sa začala perióda glorifikácie prírody a presadzovanie ponechávania lesov na prirodzený vývoj (Pretzsch, 2005). Z ekologického aj ekonomického aspektu boli lesy, ktoré boli predtým intenzívne využívané, ponechávané na samovývoj s domnienkou, že takéto lesy dokážu produkovať maximum z potenciálu daného stanovišťa (Rousseau, 1762). V tej dobe majitelia lesov verili, že akákoľvek redukcia hustoty porastu vedie k zníženiu jeho rastu a produkcie.



Obr. 3.2.3.1 Porovnanie hypotéz o vplyve hustoty porastu na periodický ročný prírastok (podľa Pretzscha, 2005) – 1) maximálna hustota porastu zabezpečuje maximálny periodický ročný prírastok; 2) po prekročení určitej optimálnej hustoty porastu periodický ročný prírastok klesá

Avšak, výsledky dlhodobých prebierkových pokusov v strednej Európe (Schwappach, 1908, 1911; Wiedemann, 1932; Schober, 1972) priniesli protichodné závery. Napríklad Schwappach (1911) uvažoval vo svojich rastových tabuľkách až 40 % zvýšenie prírastku v bukových porastoch po veľmi silnej prebierke v porovnaní s prírastkom po miernej prebierke. Neskôr však Wiedemann (1932) analýzou tých istých údajov s pridanými opakovanými meraniami dospel k záveru, že tento rozdiel nie je taký veľký. Pri Schwappachových analýzach to spôsobilo náhle a krátkodobé zvýšenie prírastkov po silnej prebierke. O 60 rokov neskôr analýzy tých istých údajov taktiež nepriniesli jednoznačnú odpoveď na otázku, či vplyv prebierok je taký ako sa očakávalo (Schober, 1972). Assmann (1970) však prišiel s konceptom kritickej a optimálnej hustoty, ktorý spracoval na podklade dlhodobých prebierkových experimentov. Vo všeobecnosti, mierna prebierka môže ako zvýšiť tak aj znížiť periodický objemový prírastok v závislosti od veku porastu a kvality stanovišťa.

Vo všeobecnosti, primárnym cieľom prebierok je zníženie hustoty porastu a tak zlepšiť kvalitu a produkciu ostávajúcich stromov, aby sa zlepšil ekonomický výnos

lesa v budúcnosti. Existujú však aj iné ciele prebierok, a to napríklad úprava drevinového zloženia, zlepšenie zdravotného stavu, či zlepšenie vertikálnej štruktúry s cieľom zvýšiť odolnosť porastu voči pôsobiacim disturbančným faktorom. Vo vyššom vekovom štádiu to môže byť aj zlepšenie podmienok pre potenciálnu prirodzenú obnovu, čím sa zabezpečí prirodzená kontinuita lesa bez zvýšených investícií na umelú obnovu. Výber vhodnej prebierkovej metódy teda závisí od vopred zvoleného cieľa (ekonomický úžitok, posilnenie neprodukčných funkcií lesa a pod.).

Vplyv prebierok na rast lesa sa prejavuje zmenami hrúbok a výšok jednotlivých stromov a taktiež zmenami v rozdelení počtu stromov a zásoby v hrúbkových stupňoch (Šebík and Polák, 1990). Pri porovnaní medzi hrúbkou a výškou, prebierky majú veľmi významný vplyv na hrúbkový prírastok, výšku stromov však ovplyvňujú iba minimálne. Vplyv prebierok na výškový prírastok jednotlivých stromov však závisí od druhu prebierky. Pri silnej podúrovňovej prebierke sa výška zostávajúcich úrovňových a nadúrovňových stromov významne neovplyvní. Pri použití úrovňových prebierok sa, naopak, zlepši výškový rast vrastavých a podúrovňových stromov. Vzhľadom k relatívne malému zastúpeniu a nízkej objemovosti takýchto stromov v porovnaní s úrovňovými a nadúrovňovými stromami, vplyv zmien výšok sa prejaví na zmene zásoby porastu len veľmi málo. Niektorí autori však poukázali na mierne pozitívne ovplyvnenie výškového prírastku (napr. Wiedemann, 1937; Erteld and Hengst, 1966). Uvedené platí najmä pre porasty stredného a vyššieho veku, teda po kulminácii výškového prírastku (Šebík and Polák, 1990). Navyše, na uvoľnenie priestoru vzniknutého po prebierke výraznejšie reagujú svojím výškovým prírastkom ihličnaté stromy. To preto, že listnaté stromy obyčajne reagujú na uvoľnenie zápoja zväčšením objemu korún a zvýšením hustoty olistenia, teda najmä rast konárov do šírky.

Prebierkami sa však významne ovplyvňuje najmä hrúbkový prírastok stromov a porastu. Uvoľnením zápoja prebierkou sa zväčšuje rastový disponibilný priestor zostávajúcich stromov a tieto reagujú zvýšením hrúbkového prírastku. Pri strednej hrúbke porastu navyše často dochádza aj k počtárskemu posunu. Napríklad pri

podúrovňovej prebierke sa odstránením tenkých podúrovňových stromov umelo (počtársky) zvýši hrúbka stredného kmeňa.



Obr. 3.2.3.2 Porovnanie hrúbkovej štruktúry bukového lesa po silnej podúrovňovej prebierke (hore) a po aplikovaní úrovňovej voľnej prebierky

Pri podúrovňových prebierkach však všeobecne platí zásada, že postupné zníženie zásoby od mladých rastových fáz, aj pri silnejšej intenzite, nemá za následok zníženie objemovej produkcie. Avšak, náhle a silné zásahy v strednom veku porastu pôsobia negatívne (Schreiber, 1955).

S využitím dlhodobých opakovaných meraní (zaberajúcich celý život porastov od ich vzniku až po rubný vek), Pretzsch (2005) komplexne analyzoval vplyv rôznej hustoty na celkovú produkciu a periodický ročný prírastok. V porovnaní

s kontrolnými plochami (bez zásahov) pre smrek zistil, že mierne a silné podúrovňové prebierky dosahujú priemerne 103–107 % celkovej produkcie v mladom veku a 97–102 % v dospelosti. Pre buk to bolo veľmi podobné a to 101–106 %, resp. 94–102 %. Pri miernej a silnej podúrovňovej prebierke, keď hustota je znížená v mladom veku, priemerný periodický prírastok nadobúda tvar unimodálnej krivky. Pritom pri smreku kulminuje v 109 % v prípade, že hustota sa znížila na 59 % a pri buku to bolo v 123 % pri znížení hustoty na 50 %. Smrek na chudobných stanovištiach reagoval pozitívne na prebierky, nižšie prírastky dosahoval na živných stanovištiach. Pri buku to však bolo opačne. S pribúdajúcim vekom sa však bod kulminácie periodického ročného prírastku posúva smerom k maximálnej hustote v závislosti od kvality stanovišťa. Výsledky teda naznačujú, že vplyv prebierok na kvantitatívne produkčné charakteristiky porastov nie je jednoznačný a vplýva na to celý rad faktorov.

Významne sa však vplyvom prebierok, a čo je aj jedným z ich primárnych cieľov, zvyšuje kvalita zostávajúcich stromov, čo následne zvyšuje celkovú ekonomickú hodnotu budúceho rubného porastu (Réh, 1968; Šebík, 1970; Štefančík, 1974, 1975, 1976, 2015; Korpeľ, 1988; Hein et al., 2007; Štefančík and Bošela, 2014). Kvalita stromu a porastu je pritom veľmi dôležitým faktorom z hodnotového hľadiska, ktorý sa premieta do finančného efektu. Napr., Štefančík and Bošela (2014) sledovaním dlhodobých výskumných plôch potvrdili, že najväčší počet cieľových stromov s vysokou kvalitou dreva a veľmi kvalitnou korunou (tvarom a hustotou) sa dosiahol pri aplikovaní Štefančíkovej úrovňovej voľnej prebierky (Štefančík, 1984).

3.2.4. Objemová produkcia výberkových lesov

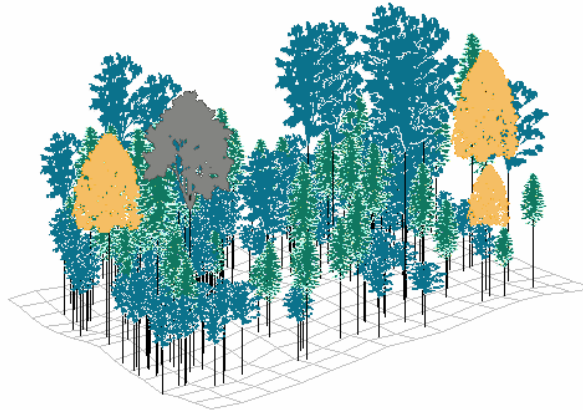
Princíp výberkového lesa ako hospodárskeho spôsobu založeného, či využívajúceho prírodný potenciál veľmi názorne vysvetlil prof. Bezačinský (Bezačinský, 1958):

„Vo výberkovom lese produkcia lesa je založená na princípe, že les ako rastlinné spoločenstvo (ekosystém) vylučuje zo seba neustále jednotlivé členy, pričom

stále nahrádzaním vylúčených členov novými mení a môže trvale bez podstatného prerušenia existovať, teda i trvale produkovať. Umelým, t.j. pestovným zásahom možno usmerňovať vylučovanie jedincov a nahrádzanie ich novými ako aj ich prírastanie, pričom možno dokonale v najvyššej miere využiť individuálne vlastnosti všetkých jedincov a usmerňovať dynamický vývoj a životný rytmus rastlinného spoločenstva.“

Koncepčný rozdiel medzi rúbaňovým a výberkovým hospodárskym spôsobom spočíva v tom, že kým rúbaňový vychádza z mechanického spočítavania výsledkov biologického výrobného procesu a bez podstatného ovplyvňovania ho organizuje, výberkový je založený na zásade, že proces výroby dreva možno aktívne riadiť využívaním biologických zákonitostí lesnej fytoocenózy (Bezačinský, 1958).

Výberkový les, tak ako je chápaný a definovaný, predstavuje súbor stromov všetkých vekových a hrúbkových kategórií rastúcich nad sebou a tak tvoriacich bohatú vertikálnu štruktúru (Šebík and Polák, 1990). Už z definície však vyplýva, že takáto štruktúra sa dá dosiahnuť iba pri určitých druhoch drevín a na určitých typoch stanovišť. Pokiaľ sa týka drevín, vhodnými sú najmä tieň znášajúce ako napríklad jedľa, buk či smrek. Dreviny vyžadujúce svetlo (svetlomilné) zvyčajne prirodzene tvoria porasty s jednoduchšou štruktúrou. Vo výberkových lesoch nie sú teda vekové triedy, tak ako ich chápeme pri rúbaňovom type lesa, odlišené plošne, ale na tej istej ploche sú zastúpené rôzne vekové stupne. Toto má za následok odlišný vývoj taxačných veličín (počet stromov, výška, hrúbka, kruhová základňa, zásoba atď.) v porovnaní s lesom vekových tried. Pritom jednotlivé vekové stupne sú vo výberkovom lese zastúpené jednotlivo alebo skupinovite. Podľa toho sa rozlišujú dve hlavné formy výberkového lesa; stromová a skupinová.



Obr. 3.2.4.1. Príklad zmiešaného porastu s bohatou vertikálnou štruktúrou (TVP 7 založená vo VO Komárnik – stav pri poslednom meraní v roku 2011)

Počet stromov na 1 ha, ktoré dosiahli registračnú hrúbku $d_{1,3}$ 8 cm, je vo výberkovom lese menší ako v rovnovekom poraste. Napr. podľa Fluryho (1929), ale aj iných autorov sa počet stromov na 1 ha pohybuje od 450 do 700 ks, čo približne zodpovedá počtu stromov v rovnovekých smrekových, jedľových alebo bukových porastoch vo veku 100 až 120 rokov. Pritom počet stromov výrazne závisí od bonity stanovišťa, keď na horších bonitách je väčší.

Pre výberkový les je charakteristické klesajúce rozdelenie početností hrúbkových stupňov. Pritom Prodan (1944), ale aj Mitscherlich (1952) naznačili, že výšky jednotlivých hrúbkových stupňov sa nemenia a výšková krivka zostáva taká istá počas dlhého obdobia. To znamená, že štádiové a výškové krivky výberového lesa sú identické. To však platí iba pre rovnovážny, ideálny stav štruktúry výberkového lesa.

Poznatky z minulosti naznačujú, že pri vhodných drevinách na vhodnom stanovišti je výberkový les v širšom zmysle produktívnejší ako rúbaňový. Aj keď zásoba rubných porastov v lese vekových tried je vyššia ako zásoba výberkového lesa, zásoba výberkového lesa na hektár je podstatne vyššia ako priemerná zásoba porastov hospodárskej skupiny lesa vekových tried. V prírodných pomeroch Slovenska sa zásoba výberkových lesov na 1 ha pohybuje v rozpätí 240 až 650 m³ v závislosti od bonity (Šebík and Polák, 1990). Táto zásoba je však vyššia ako priemerná zásoba rúbaňového lesa. Bežný ročný hrúbkový (aj objemový) prírastok stromov strednej a najmä hornej vrstvy je väčší ako v rovnovekom poraste. Je to

spôsobené tým, že koruny stromov v rovnovekom lese rastú vo väčšom horizontálnom zápoji ako je to vo výberkovom lese. V rovnovekých lesoch je hrúbkový prírastok najväčší v mladých rastových fázach a potom stále klesá. Oproti tomu vo výberkovom lese ročný hrúbkový prírastok stúpa so zväčšujúcou sa hrúbkou a od určitej hrúbky stromu zostáva približne rovnaký alebo mierne klesá (Vyskot et al., 1971). Kruhovú základňu sa v rovnovekom lese s narastajúcim vekom zväčšuje, no vo výberkovom lese zostáva takmer konštantná. Vo výberkových lesoch je však kruhová základňa podstatne menšia a to o 30–40 % (Šebík and Polák, 1990).

3.2.5. Objemová produkcia zmiešaných lesov

Doterajší lesnícky výskum sa sústredil najmä na rovnorodé a rovnoveké lesy, pretože tieto v strednej a západnej Európe prevládali vplyvom najmä nemeckej školy. Inak tomu nebolo ani na Slovensku. Pod týmto vplyvom a dominanciou lesa vekových tried sa tvorili rastové modely a tabuľky určené iba pre rovnoveké a rovnorodé porasty (Halaj et al., 1987; Halaj and Petráš, 1998). Avšak, v ostatnom období sa zväčšuje význam druhovej diverzity a jej vplyv na plnenie ekosystémových služieb (Cardinale et al., 2012; Hooper et al., 2012; Gamfeldt et al., 2013). V súčasnosti sa ešte zvyšuje významnosť problematiky, pretože ako národná tak aj medzinárodná lesnícka politika motivuje a pomocou rôznych nástrojov tlačí k zvyšovaniu biodiverzity lesov (druhovo zmiešaných) a k preferovaniu „prírode blízkeho“ pestovania lesov.

Problematika zmiešaných lesov a vplyvu zmiešania na objemovú produkciu lesa je však oveľa menej preskúmaná ako to je v prípade rovnovekých a rovnorodých lesov. Pri tvorbe rastových modelov a tabuliek sa rast a produkcia zmiešaných porastov iba jednoducho aproximovali podľa rastových zákonitostí a produkcie rovnorodých lesov (Pretzsch and Schütze, 2015). Avšak, už v minulosti výsledky výskumu naznačovali, že produkcia zmiešaných lesov je oproti rovnorodým porastom tvoreným tými istými drevinami vyššia. Napríklad Vanselow (1937) uvádza, že produkcia zmiešaného porastu smreka a jedle je väčšia ako produkcia rovnorodého smrekového porastu. Hlavným znakom tohto typu zmiešania, ktorý

zároveň spôsobuje zvýšenie produkcie porastu je skutočnosť, že sa v ňom udržuje vyšší prírastok počas celého života porastu. V mladom veku je to vyšší prírastok smreka ako poloslnej dreviny a neskôr vysoký prírastok jedle. Avšak, v prípade zmiešania smreka a buka, výsledky nie sú jednoznačné, ba dokonca opačné. Napríklad Wiedemann (1942) naznačil, že produkcia zmiešaného porastu tvoreného smrekom a bukom je nižšia ako produkcia rovnorodého smrekového lesa. No je vyššia ako súčet produkcií rovnorodého smreka a rovnorodého buka. Toto však vyvracajú autori Lorey (1902) a Dietrich (1923), ktorí zistili, že produkcia takéhoto zmiešania je dokonca nižšia ako súčet produkcií rovnorodých porastov smreka a buka. Najnovšie výsledky výskumu produkcie zmiešaných lesov ukázali, že produkcia takéhoto typu zmiešaného lesa je vyššia ako jeho rovnorodé ekvivalenty (Pretzsch et al., 2010).



Obr. 3.2.5.1 Príklad zmiešaného jedľovo-bukového lesa

V Európe sa v súčasnosti problematike vplyvu zmiešania na produkciu drevín a porastu významnejšie venuje najmä profesor Pretzsch (Pretzsch and Schütze, 2009; Pretzsch et al., 2013a, 2013b; Del Río et al., 2013), ale aj ďalší. V rovnorodých porastoch, pokiaľ sú tieto zároveň homogénne geneticky a tiež hrúbkovou štruktúrou, všetky stromy si navzájom konkurujú o rastový priestor a o živiny v pôde podobným spôsobom. Zväčšovanie korún stromov je v monokultúrach obmedzené práve vnútrodruhovou konkurenciou a tým sa štruktúra stáva homogénnejšou (Kelty, 1992). Ako dôsledok, suma korunových projekcií je často menšia ako je výmera porastu a tým je potenciálny rastový priestor menej využitý (Pretzsch, 2014). Práve

medzidruhová kompetícia (resp. facilitácia) môže viesť ku zväčšeniu rastového priestoru a lepšiemu využitiu produkčného potenciálu (Forrester et al., 2013). Toto môže mať za následok zvýšenie produkcie zmiešaných lesov v porovnaní s rovnorodými (Pretzsch and Schütze, 2015).

Najnovšie výsledky výskumov využívajúcich dlhodobé empirické údaje (Pretzsch et al., 2010, 2013a; Griess and Knoke, 2011; Bielak et al., 2014), údaje z veľkoplošných inventarizácií (Del Río and Sterba, 2009; Vallet and Perot, 2011; Del Río et al., 2014), simulácie rastu (Morin et al., 2011; Sprauer and Nagel, 2015), či dokonca meta-analýzy (Piotto, 2008; Paquette and Messier, 2011; Zhang et al., 2012) naznačujú, že produktivita zmiešaných lesov môže významne presiahnuť produktivitu rovnorodých lesov. Tento rozdiel môže dosiahnuť až 50 % pri drevinách fixujúcich dusík (Forrester et al., 2006) a 20–30 % pri ostatných drevinových zmesiach (Pretzsch et al., 2013a).

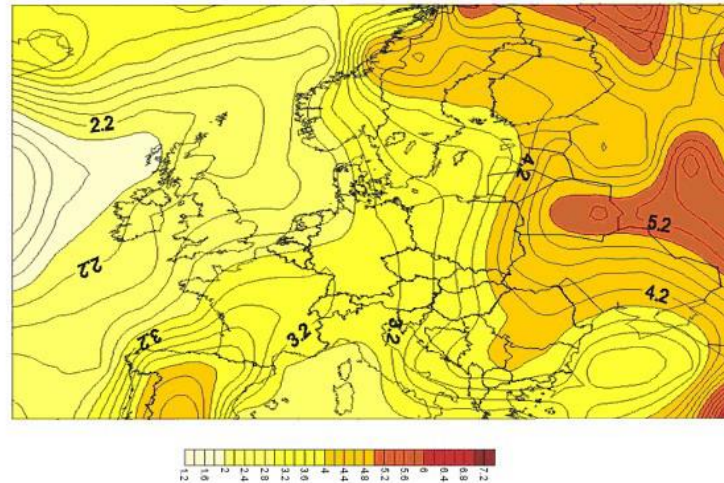
V závislosti od druhu dreviny a spôsobu zmiešania, porasty môžu mať vyššiu, nižšiu alebo rovnakú produkciu v porovnaní s rovnorodými porastmi tých istých drevín (Toïgo et al., 2015). Autori zistili, že zmiešania buk-smrek, buk-jedľa a v menšej miere aj zmiešanie smrek-jedľa dosiahli vyššiu produkciu ako ich rovnorodé porasty. V prípade prvých dvoch druhov zmiešania bola nadprodukcia práve vďaka primiešanému buku bez ohľadu na abiotické podmienky. Avšak pri zmiešaní smrek-jedľa, nadprodukcia výrazne závisela od abiotických podmienok.

3.2.6. Vplyv klimatickej zmeny a znečistenia ovzdušia na rast a produkciu lesov

Na globálnej úrovni, bolo obdobie 2001–2010, pokiaľ ide o priemerné ročné teploty, o 0,477 °C teplejšie ako v referenčnom období 1961–2000 a zároveň o 0,217 °C teplejšie ako v období 1991–2000 (Morice et al., 2012). Priemerná teplota v Európe (terestrická) v období 2002 – 2011 bola až o 1,3 °C vyššia ako v období pred priemyselnou revolúciou (EEA, 2012).

Projekcie klimatických zmien podľa IPCC AR4 (van Vuuren et al., 2011) pre strednú Európu založené na šiestich rozdielnych regionálnych klimatických

modeloch (RCM) naznačujú, že priemerná letná teplota bude v období 2051–2080 vyššia o +1,3–2,7 °C v porovnaní s obdobím 1951–2000. Podobný nárast sa očakáva aj pri priemernej zimnej teplote. Pri letných zrážkach sa očakáva pokles o 0 – 25 %, avšak pri zimných zrážkach môže nastať ako pokles tak aj nárast (-10 – +15 %). Najnovšie scenáre podľa IPCC AR5 obsahujú širší interval možného vývoja klímy v budúcnosti, avšak priemerný trend je rovnaký (Rogelj et al., 2012).



Obr. 3.2.6.1 Zmena priemernej ročnej teploty vzduchu (°C) v Európe v období 2071-2100 v porovnaní s obdobím 1951-1980 podľa kanadského klimatického modelu CCCM 2000 (“A2-SRES”) (de Melo, 2010)

Predpokladá sa, že výrazné zmeny v chemickom zložení atmosféry, zvyšovanie teplôt, zmeny v množstve a rozložení zrážok a zvyšovanie frekvencie prírodných disturbancií budú mať vážne následky pre lesné (no nielen lesné) ekosystémy na celom svete (Ainsworth and Long, 2005; Goldblum and Rigg, 2005). Pritom tieto zmeny budú pravdepodobne viesť k výrazným zmenám v raste, produkcii a mortalite stromov a tým ovplyvnia celkovú stabilitu lesných ekosystémov. Poznatky o potenciálnom vplyve týchto klimatických zmien na európske lesné ekosystémy sa v poslednom období veľmi rozšírili (Lindner et al., 2010; Hlásny et al., 2011; Campioli et al., 2012; Spathelf et al., 2014; Pretzsch et al., 2014). Niektoré štúdie pritom naznačujú zmeny v raste a produkcii (Piao et al., 2011; Pretzsch et al., 2014), iné zase zvýšenú mortalitu stromov vplyvom zvyšujúceho sa sucha (Allen et al., 2010) a niektoré výsledky naznačujú posuny v distribúcii druhov (Delzon et al., 2013).

Vo všeobecnosti, zmeny v produkcii lesa za posledné storočie boli pozitívne, okrem stanovišť, kde nízka dostupnosť vody, nízke teploty a nízke úrovne depozície dusíka limitovali rast, t.j. Mediteránne a Boreálne lesy (Spiecker et al., 1996; Boisvenue and Running, 2006; Jump et al., 2006; Kahle et al., 2008; Pretzsch et al., 2014). Avšak, najnovšie výsledky naznačujú zvyšujúce sa negatívne vplyvy novodobých klimatických zmien na rast, produkciu a vitalitu lesných ekosystémov (Bigler et al., 2006; Vicente-Serrano et al., 2010; Piao et al., 2011; Sarris et al., 2011). Predovšetkým pri buku sa ukazuje negatívny efekt sucha na rast naprieč celým jeho distribučným areálom (Kint et al., 2012). S ohľadom na rozšírenie drevín, minimálne teploty sú dôležité vo vyšších zemepisných šírkach a vyšších nadmorských výškach, kde limitujú rast a šírenie drevín (Colwell et al., 2008). Preto v týchto lokalitách môžu mať klimatické zmeny sprevádzané oteplením pozitívny vplyv na rast stromov a tiež na ich ďalšie šírenie smerom k vyšším nadmorským výškam, či zemepisným šírkam (Walther et al., 2002).

Pokiaľ ide o strednú Európu a najmä Slovensko, štúdií zameraných na kvantifikáciu dopadov klimatických zmien na rast a produkciu a zmeny v distribučných areáloch drevín je pomerne málo a výsledky sú často protichodné (Hlásny et al., 2011a). Toto znemožňuje využitie výsledkov v lesníckej praxi, najmä pre strategické rozhodovanie na najbližších 50–100 rokov. Preto sú štúdie regionálneho charakteru veľmi dôležité. S využitím rastového simulátora SIBYLA Hlásny et al. (2011a) priniesli nové poznatky o potenciálom vplyve klimatických zmien na rast a produkciu hlavných (strategických) drevín na Slovensku do roku 2100. Výsledky naznačujú, že produkcia duba a tiež mortalita stromov sú takmer nesenzitívne voči očakávaným klimatickým zmenám. Kým produkcia sa nezmenila, mortalita dokonca klesla v nadmorských výškach okolo 300 m, čo poukazuje na pomerne dobrú stabilitu a trvalú udržateľnosť produkcie duba na Slovensku. Dokonca, zvyšujúca sa produkcia vo vyšších nadmorských výškach (okolo 400–500 m n.m.) až do 10 % naznačuje možnú expanziu duba do vyšších nadmorských výšok, najmä však na chudobnejších a suchších stanovištiach. Buk je veľmi plastická drevina s vysokým kompetičným potenciálom, avšak je výrazne citlivá na dynamiku klímy na spodnej hranici svojho rozšírenia (na suchých stanovištiach) (Jump et al., 2006; Peñuelas et al., 2008; Piovesan et al., 2008; Mátyás et al., 2010). Simulácie

rastu buka pre pomery Slovenska (Hlásny et al., 2011a) ukázali, že produkčné optimum buka sa môže výrazne posunúť smerom k vyšším nadmorským výškam (zo súčasných 400–800 na okolo 1200 m n.m.) a s užším pásom optima. To znamená, že celková produkcia buka na Slovensku môže v budúcnosti, v prípade naplnenia niektorého zo scenárov, významne klesnúť. Tieto výsledky korešponujú aj s výsledkami autorov Sykes and Prentice (1996), ktorí predpovedali, že buk sa v budúcnosti vplyvom otepľovania posunie severnejšie a že sa zvýši frekvencia, kedy buk bude kolonizovať post-disturbančné plochy podobne ako sukcesné (pionierske) dreviny. Niektoré ďalšie štúdie naznačili pokles regeneračnej schopnosti buka v budúcnosti v niektorých regiónoch (Czajkowski et al., 2005; Peñuelas et al., 2008; Lenoir et al., 2009) a tiež zvýšenú mortalitu v dôsledku sucha (Berki et al., 2009). Zvyšovanie frekvencie a predlžovanie období sucha môže viesť k strate kompetičnej sily buka v budúcnosti (Lindner, 2000). Iná situácia je pri smreku. Smrek je veľmi citlivá drevina na sucho, napriek tomu je v strednej Európe rozšírená aj výrazne mimo svoj prorodzený areál (Ellenberg, 1996). Práve preto sa následky klimatických zmien výraznejšie prejavujú u smreka ako u ostatných drevín (Eriksson et al., 2005; Schütz et al., 2006). Rastové simulácie smrekových porastov naznačujú znižovanie produkcie v nižších nadmorských výškach (na spodnej hranici jeho prirodzeného výskytu), avšak zvyšovanie produkcie v 7. vegetačnom stupni (VS), v ktorom smrek dosahuje v súčasnosti ekologické optimum (Hlásny et al., 2011a). Predikcie zároveň naznačujú, že produkcia smreka v 5. a 6. VS sa významne nezmení. Avšak práve zvýšeným výskytom rozsiahlejších disturbancií (vplyvom vetra) a vytvorením vhodných klimatických podmienok pre vývoj troch generácií lykožrúta smrekového (*Ips typographus*) (Hlásny et al., 2011b) budú smrekové porasty aj v týchto VS významne ohrozené.

4. Materiál a metodika

4.1. História a zameranie Výskumno-účelového objektu (VO) Komárník

Slovensko je jednou z mála Európskych krajín, v ktorej sa zachovali lesy s uplatňovaním výberkového hospodárskeho spôsobu (Štefančík et al., 2013). Vďaka tomu, že sa v týchto lesoch v minulosti zriadili výskumné objekty, výberkové hospodárenie sa v nich uplatňuje dodnes. V oblasti Spiša to je výskumný objekt v lesných celkoch (LC) Mníšek nad Hnilcom, Smolník a Smolnícka Huta. Vo Východných Karpatoch je to Výskumno-účelový objekt „Komárník“ (VO Komárník). Práve tomuto objektu VO Komárník sa venuje táto dizertačná práca. História obhospodarovania a vlastníckych vzťahov týchto lesov sa veľmi podrobne venujú práce Košúta (1982) a Štefančíka et al. (2012, 2013). Preto sa v tejto kapitole uvádza iba základná charakteristika a geografické a klimatické vymedzenie objektu.

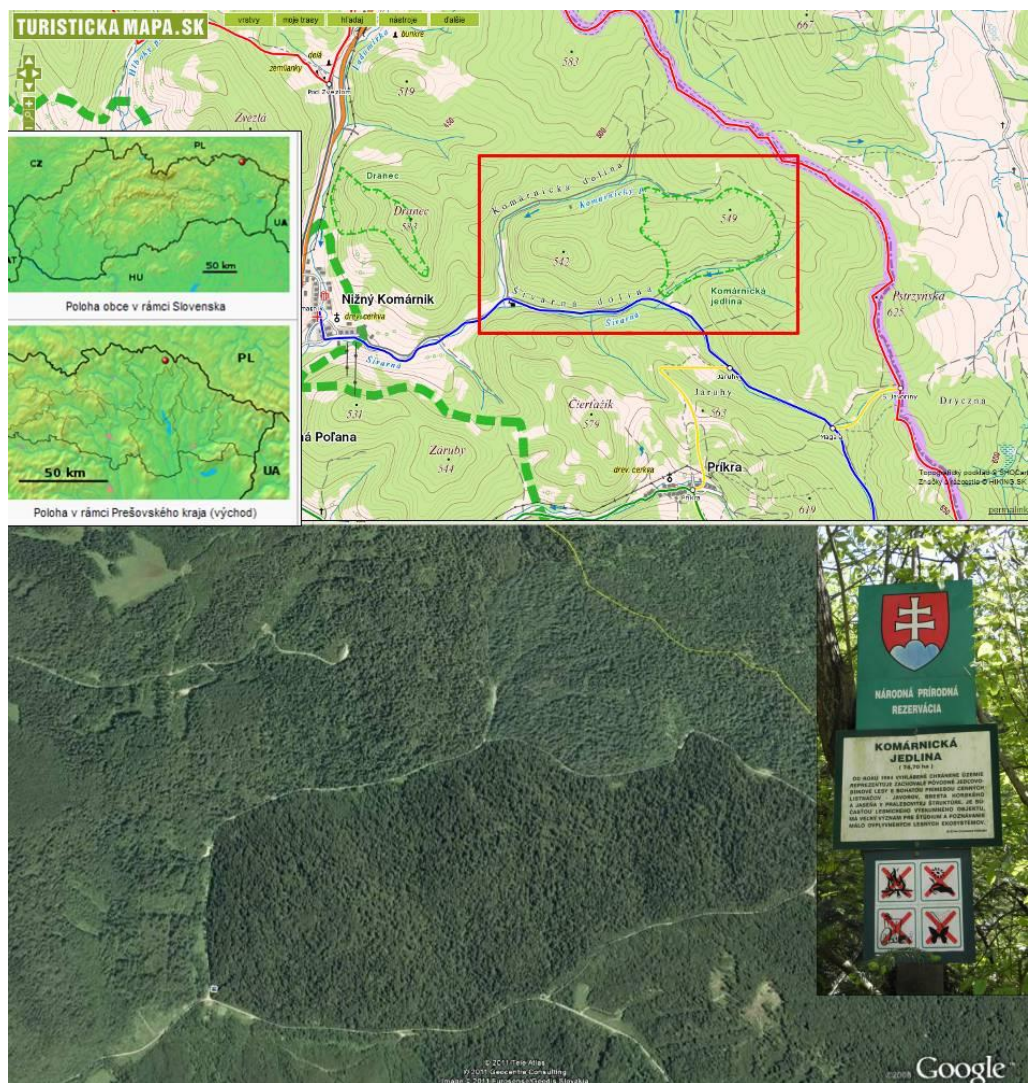


Obr. 4.1.1 Vplyvom menej intenzívneho manažmentu a uplatňovania výberkového hospodárskeho spôsobu sa v lesoch VO Komárník vyskytujú aj veľmi hrubé a staré stromy javora horského

VO Komárnik bol zriadený bývalým Povereníctvom lesov a drevárskeho priemyslu rozhodnutím č.21–78/219.1–1954 Kr. zo dňa 4.3.1954. Pôvodne mal objekt slúžiť na výskum hospodárskej úpravy lesov a jej aplikácii v praxi. Neskôr sa pokračovalo vo výskume základných rastových zákonitostí pri uplatňovaní výberkového hospodárskeho spôsobu a jeho foriem, ďalej vo výskume hospodárskej úpravy výberkového a podrastového spôsobu ako aj vo výskume intenzity hospodárskych zásahov a im zodpovedajúcich ťažbovo-obnovných a dopravných technológií. Okrem toho objekt slúžil na dlhodobé sledovania a vyhodnocovania kvantitatívnej a kvalitatívnej stránky produkcie a jej zmien vplyvom rôznej intenzity hospodárskych zásahov, ako aj vplyvu týchto zásahov na pôdny kryt, ako aj na šľachtiteľsko-genetický výskum jedle, buka, jaseňa, javora a bresta v podmienkach flyšu. VO Komárnik slúžil aj na výskum funkcií lesa v zmiešaných jedľovo-bukových porastoch, osobitne na zisťovanie povrchového odtoku a vodoerózných pôdných strát vo vzťahu k spôsobom obhospodarovania lesa (Midriak et al., 1986).

4.2. Prírodné podmienky VO Komárnik

S výmerou 668,80 ha sa VO Komárnik nachádza v masíve Východné Karpaty v západnej časti Bukovských vrchov, v juhovýchodnej časti územia okolo Duklianskeho priesmyku (Obr. 4.2.1). Organizačne spadá do okresu Svidník, bývalého odštepného lesného závodu (OZ) Svidník a lesnej správy (LS) Krajná Poľana. Na tomto území sa nachádzajú dve významné rezervácie a to Národná prírodná rezervácia (NPR) Komárnická jedlina a prírodná rezervácia (PR) Dranec. NPR Komárnická jedlina je zároveň súčasťou VO Komárnik.



Obr. 4.2.1 Lokalizácia VO Komárnik, členitosť terénu (hore) a súčasný stav lesov (dole)

Územie je výrazne členité (Obr. 4.2.1), napriek tomu je tu rozptätie nadmorských výšok iba od 350 do 580 m. Prevládajú tu ťažko priepustné ílovité vrstvy v podloží, resp. kambizeme pseudoglejové až glejové s menšími ostrovčkami kambizeme pseudoglejovej nasýtenej. Na mnohých miestach sú čiastočne alebo úplne zamokrené, čo je typické pre karpatský terciárny paleogénny flyš, ktorý sa skladá prevažne z pieskocov, ílovitých a slieňovitých bridlíc.

Z hľadiska fytoecologicko-typologického, najviac zastúpené sú tu jedľové bučiny (*Abieto-Fagetum*) a typické bučiny (*Fagetum typicum*), ktoré spolu tvoria viac ako 85 %. Ďalej sa tu vyskytujú *Fagetum pauper*, *Fageto-Aceretum*, *Fraxineto-Aceretum* a *Tilieto-Aceretum*.

Podľa klimateckej rajonizácie patrí tento región do mierne chladnej a mierne vlhkej oblasti s prechodom až do regiónu s chladnou a vlhkou klímou.

Tab. 4.2.1 Klimatické charakteristiky pre územie výskumného objektu (1951 – 1980) (Štefančík et al., 2012)

Charakteristika	Hodnota
Priemerná ročná teplota vzduchu	6,1 – 6,8 °C
Priemerná teplota vzduchu vo vegetačnom období	12,5 – 13,3 °C
Dlhodobý priemerný ročný úhrn zrážok	810 – 877 mm
Dlhodobý priemerný úhrn zrážok vo vegetačnom období	504 – 537 mm
Počet dní v roku nad 5°C	200 – 209

Klimatické charakteristiky naznačujú, že územie je dostatočne zásobené zrážkami a v kombinácii s priaznivou teplotou preto vytvára dobré podmienky pre produkciu lesa. Klimatické charakteristiky boli odvodené pre obdobie referenčnej klímy 1951–1980 zo zrážkomernej stanice Nižný Komárnik (zdroj: SHMÚ) (Štefančík et al., 2012).

4.3. Základná charakteristika lesov na VO Komárnik

V polovici 50-tych rokov 20. storočia sa vo VO Komárnik priemerovaním naplo vykonala celoplošná inventarizácia stromov s hrúbkou $d_{1,3}$ nad 8 cm vo všetkých dielcoch podľa drevín, kvalitatívnych tried a hrúbkových stupňov. Výsledky ukázali (Košút, 1982), že celková zásoba ihličnanov bola 140 887 m³ a listnáčov 176 248 m³, teda spolu viac ako 300 tis. m³. Najzastúpenjšími drevinami boli jedľa a buk (obe dreviny po 44 %). Na území sa tiež vyskytovali dreviny ako javor (5,1 %), jaseň (0,8 %), brest (3,6 %), hrab (1,4 %), lipa (0,3 %) a iné (0,4 %).

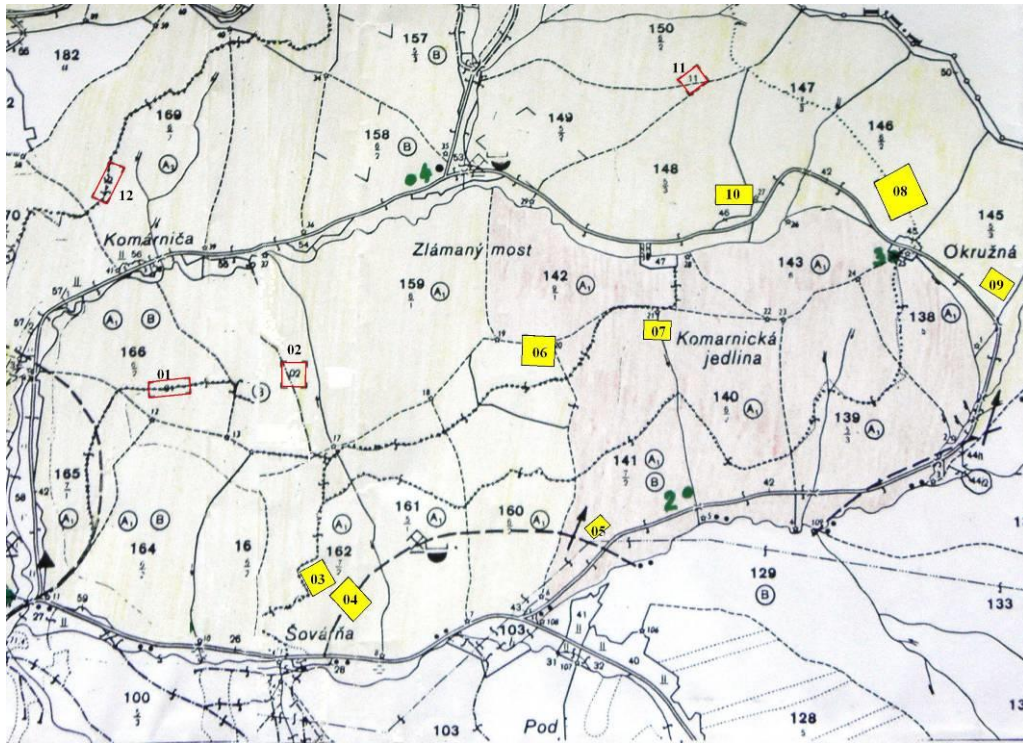
Tab. 4.3.1 Výmera a plošné zastúpenie drevín vo VO Komárnik podľa LHP
(PSL) platného v rokoch 1998–2007

Drevina	Výmera (ha)	Podiel (%)
Jedľa	144,35	21,87
Smrek	4,14	0,63
Smrekovec	0,20	0,03
Borovica	0,43	0,06
Duglaska	0,52	0,08
Spolu ihličnaté	149,64	22,67
Buk	398,18	60,32
Dub	0,27	0,04
Hrab	23,25	3,52
Javor	49,90	7,56
Jaseň	10,10	1,53
Brest	24,49	3,71
Lipa	2,07	0,03
Breza	1,33	0,20
Osika	0,24	0,04
Vrba	0,63	0,10
Spolu listnaté	510,46	77,33
Celkom	660,10	100,00

Od obdobia zakladania VO Komárnik sa zastúpenie drevín mierne zmenilo, keď najzastúpenejšou drevinou bol buk (cca 60 %) a jedľa dosahovala iba okolo 22 % (Tab. 4.3.1).

4.4. Trvalé výskumné plochy (TVP) vo VO Komárnik

V rokoch 1957 až 1964 bolo celkovo založených 13 TVP s výmerou od 0,20 do 1,00 ha. Na každej z nich bol určený konkrétny cieľ zameraný najmä na sledovanie vplyvu rôznej intenzity hospodárskych zásahov na vývoj štruktúry a produkcie lesov. Plocha č. 07 (nachádzajúca sa v NPR Komárnická jedlina) zostala bez zásahov ako kontrolná plocha pre porovnávanie vývoja manažovaného a nemanážovaného lesa.



Obr. 4.4.1 Umiestnenie trvalých výskumných plôch (TVP) vo VO Komárnik. TVP 4, 5, 6, 7, 9 a 10 boli v roku 2011 obnovené a použité aj v tejto práci

Trvalá výskumná plocha č. 4 (TVP 4)

TVP s výmerou 0,48 ha a rozmermi 60 × 80 m bola založená v roku 1957 v dielci č. 509 (teraz č. 109). Nachádza sa v nadmorskej výške 450 m na južnej expozícii so sklonom svahu 25–35 %. Typologicky plocha reprezentuje skupinu lesných typov *Fagetum typicum* na hlinitej, slabo štrkovitej, humóznej a zamokrenej pôde. Porast bol v čase založenia plochy vo veku 130 rokov. V čase založenia TVP bolo zastúpenie drevín v dielci nasledovné: buk 60 %, jedľa 30 % a javor horský 10 %. Porast mal strednú výšku 29 m s relatívnou taxačnou bonitou +1. Pred posledným meraním v roku 2011 boli opakované merania hrúbok stromov vykonané v rokoch 1957, 1968, 1975, 1980, 1985, 1990 a 1995. Plocha bola zameraná na výskum vplyvu hospodárskych zásahov na štruktúru porastu.



Obr. 4.4.2 Štruktúra lesa na TVP 4 (stav z roku 2011)

Trvalá výskumná plocha č. 5 (TVP 5)

TVP s výmerou 0,15 ha bola založená v roku 1959 v dielci č. 506 (teraz č. 106). Nachádza sa v nadmorskej výške 550 m na južnej expozícii so sklonom svahu 15–20 %. Typologicky plocha reprezentuje skupinu lesných typov *Fagetum typicum* a *Abieto-Fagetum* na hlinitej, slabo štrkovitej a humóznej pôde. Porast bol v čase založenia plochy vo veku 130 rokov. V čase založenia TVP bolo zastúpenie drevín v dielci nasledovné: buk 50 %, jedľa 20 %, javor horský 20 % a brest 10 %. Porast mal strednú výšku 30 m s relatívnou taxačnou bonitou +1. Pred posledným meraním v roku 2011 boli opakované merania hrúbok stromov vykonané v rokoch 1959, 1963, 1969, 1975, 1980, 1985, 1990, 1995 a 2000 (v 1995 boli zamerané pozície stromov). Plocha bola určená na výskum vplyvu hospodárskych zásahov na štruktúru porastu v prospech javora horského.



Obr. 4.4.3 Štruktúra lesa na TVP 5 (stav z roku 2011)

Trvalá výskumná plocha č. 6 (TVP 6)

TVP s výmerou 0,56 ha bola založená v roku 1962 v dielcoch č. 106, 107, 116 (pôvodne 506, 507, 516). Nachádza sa v nadmorskej výške 540 m na južnej expozícii so sklonom svahu 5–10 %. Typologicky plocha reprezentuje skupinu lesných typov *Fageto-Aceretum* a *Fraxineto-Aceretum* na plytkej a kamenitej pôde. Porast bol v čase založenia plochy vo veku 130 rokov. V čase založenia TVP bolo zastúpenie drevín v dielci nasledovné: brest horský 50 %, buk 30 %, jedľa 10 % a javor horský 10 %. Porast mal strednú výšku 30 m s relatívnou taxačnou bonitou 2. Pred posledným meraním v roku 2011 boli opakované merania hrúbok stromov vykonané v rokoch 1963, 1964, 1968, 1975, 1980, 1985, 1990 a 1995 (v 1992 boli zamerané pozície stromov). Plocha bola určená na výskum vplyvu hospodárskych zásahov na štruktúru porastu v prospech bresta horského.



Obr. 4.4.4 Štruktúra lesa na TVP 6 (stav z roku 2011)

Trvalá výskumná plocha č. 7 (TVP 7)

TVP s výmerou 0,42 ha bola založená v roku 1962 v dielcoch č. 105, 106 (pôvodne 505, 506). Nachádza sa v nadmorskej výške 500 m na južnej expozícii so sklonom svahu 5–10 %. Typologicky plocha reprezentuje skupinu lesných typov *Fageto-Aceretum* na hlinitej, slabo štrkovitej a humóznej pôde. Porast bol v čase založenia plochy vo veku 130 rokov. V čase založenia TVP bolo zastúpenie drevín v dielci nasledovné: buk 60 %, jedľa 20 % a brest horský 20 % (+ javor horský vtrúsene). Porast mal strednú výšku 28 m s relatívnou taxačnou bonitou 1. Pred posledným meraním v roku 2011 boli opakované merania hrúbok stromov vykonané v rokoch 1964, 1975, 1980, 1985, 1990 a 1995 (v 1992 boli zamerané pozície stromov). Plocha bola zameraná na výskum prirodzeného vývoja bez hospodárskych zásahov.



Obr. 4.4.5 Štruktúra lesa na TVP 7 (stav z roku 2011)

Trvalá výskumná plocha č. 9 (TVP 9)

TVP s výmerou 0,325 ha bola založená v roku 1964 v dielci č. 502 (teraz č. 102). Nachádza sa v nadmorskej výške 480 m na južnej expozícii so sklonom svahu 5–10 %. Typologicky plocha reprezentuje skupinu lesných typov *Fagetum typicum* na hlinitej a humóznej pôde. Porast bol v čase založenia plochy vo veku 120 rokov. V čase založenia TVP bolo zastúpenie drevín v dielci nasledovné: buk 60 % a jedľa 40 %. Porast mal strednú výšku 27 m s relatívnou taxačnou bonitou 3. Pred posledným meraním v roku 2011 boli opakované merania hrúbok stromov vykonané v rokoch 1964, 1965, 1975, 1980, 1985, 1990 a 1995. Plocha bola zameraná na výskum vplyvu hospodárskych zásahov na štruktúru porastu v prospech jedle bielej.



Obr. 4.4.6 Štruktúra lesa na TVP 9 (stav z roku 2011)

Trvalá výskumná plocha č.10 (TVP 10)

TVP s výmerou 0,5 ha bola založená v roku 1964 v dielci č. 520 (teraz č. 120). Nachádza sa v nadmorskej výške 510 m na južnej expozícii so sklonom svahu 10–20 %. Typologicky plocha reprezentuje skupinu lesných typov *Fagetum typicum* na piesočnatohlinitej, štrkovitej a humóznej pôde. Porast bol v čase založenia plochy vo veku 130 rokov. V čase založenia TVP bolo zastúpenie drevín v dielci nasledovné: buk 60 % a jedľa 40 %. Porast mal strednú výšku 30 m s relatívnou taxačnou bonitou 2. Pred posledným meraním v roku 2011 boli opakované merania hrúbok stromov vykonané v rokoch 1964, 1975, 1980, 1985, 1990 a 1995 (v 1992 boli zamerané pozície stromov). Plocha bola zameraná na dlhodobú kontrolu produkcie.



Obr. 4.4.7 Štruktúra lesa na TVP 10 (stav z roku 2011)

4.5. Spracovanie údajov a štatistické analýzy

Analýzy boli zamerané najmä na vyhodnotenie zmien medzi prvým (pri založení výskumných plôch) a posledným meraním na jednotlivých TVP za obdobie približne 50 rokov (1963–2013), pretože tieto merania boli najpodrobnejšie a hrúbky a výšky boli merané u všetkých stromov. Sledovali sa zmeny najmä v zásobách (používala sa zásoba hrubiny bez kôry „HBK“ na hektár) a zastúpení drevín (vypočítanej zo zásob, nie z počtu stromov). Vyhodnotili sa zmeny pre jednotlivé dreviny a plochy v skúmanom objekte. Taktiež sa vyhodnotili prírastky na kruhovej základni jednotlivých stromov prepočítané na jeden rok (BAI v $cm^2 \cdot rok^{-1}$). Dôležitou súčasťou bolo spracovanie a analýza odmretého dreva a stavu prirodzenej obnovy. Jednotlivé spracovania a analýzy sú v ďalšom texte podrobne popísané.

4.5.1. Výpočet objemov stromov a zásob drevín a porastov na TVP

Objemy jednotlivých stromov sa vypočítali pomocou objemových rovníc odvodených v minulosti z rozsiahleho domáceho materiálu (Petráš and Pajtík, 1991). Rovnice sú dvoj-argumentové s dvoma nezávislými premennými: hrúbkou $d_{1,3}$ (cm) a výškou stromu (m). Rovnice boli vyvinuté pre 12 najzastúpenejších drevín

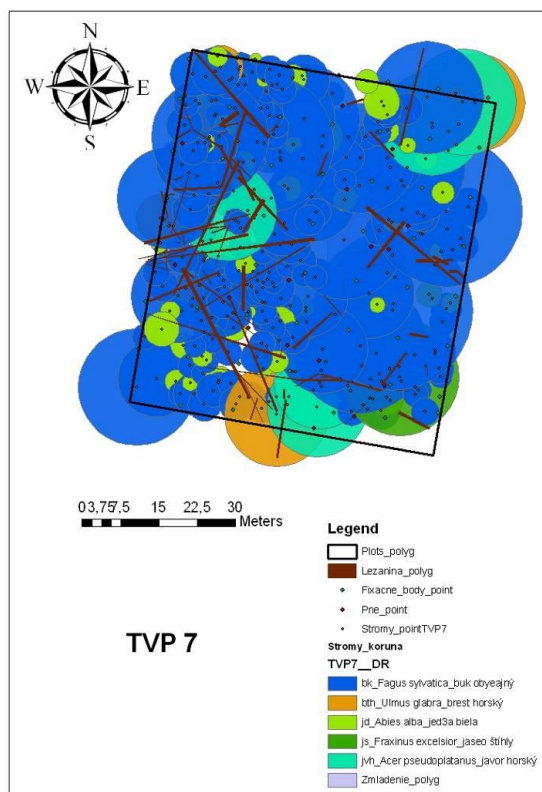
v Československu. Výpočet objemu takej dreviny, pre ktorú neexistuje samostatná rovnica sa urobil tak, že daná drevina sa priradila k rastovo podobnej, pre ktorú rovnica existuje (napr. javor podľa buka). Rovnice boli zostavené pre odhad objemu stromov v rôznych objemových jednotkách (hrubina bez kôry - HBK, hrubina s kôrou - HSK, kmeň bez kôry - KBK, kmeň s kôrou - KSK a strom s kôrou - SSK). V tejto práci sa použila iba jednotka HBK, pretože táto je najčastejšie používaná v bežnej lesníckej praxi. Výpočet objemu jednotlivých stromov sa urobil iba pre prvé a posledné meranie, pretože pri založení plôch a ich poslednej inventarizácii boli merané hrúbky a výšky všetkých stromov hrubších ako 7 cm vo výške 1,3 m nachádzajúcich sa na plochách.

Výpočet zásob na hektár ($\text{m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$) sa urobil tak, že sa vypočítal prevodový koeficient na hektár ($10000/\text{výmera plochy}$), ktorým sa vynásobil súčet objemov jednotlivých stromov na ploche. Výsledky sa prezentujú na hektár, aby bolo umožnené porovnanie medzi plochami a drevinami.

4.5.2. Inventarizácia odumretého stojaceho a ležiaceho dreva na TVP

Odumreté stojace drevo nazývame tiež stojace sucháre. To sú také stromy, ktoré už nejavia známky života (sú úplne defoliované). Stav stromov sa zisťoval od založenia plôch, preto bolo možné vyhodnotiť aj zmeny v zásobách suchárov. Objemy stojacich suchárov sa vypočítali tak isto ako objemy stojacich živých stromov podľa objemových rovníc a následným prepočtom na hektár sa získali zásoby na hektár (HBK v $\text{m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$).

Odumreté drevo ležiace sa inventarizovalo iba pri poslednom meraní v roku 2011–2013 pomocou technológie FieldMap (IFER). Zisťovala sa ich presná poloha na plochách a merali sa hrúbky na oboch koncoch. Zisťoval sa aj druh dreviny, pokiaľ to stav ležaniny umožňoval. Objem ležaniny sa vypočítal pomocou Huberovho vzorca pre výpočet objemu guľatiny.



Obr. 4.5.2.1 Priestorová distribúcia stromov a odumretej ležiacej hmoty (ležaniny) na TVP 7

Pne sa inventarizovali taktiež iba pri poslednom meraní. Ich objem sa vypočítal pomocou regresnej rovnice odvodenej Šmelkom (2010):

$$V_p = 0,580569 \cdot d_p^{2,054338} \cdot h_p^{1,043639} \quad (4.5.2.1)$$

Kde d_p je hrúbka pňa meraná v reze a h_p je výška pňa.

Pri meraní a zisťovaní stavu pňov a ležiacej odumretej hmoty sa súčasne zisťoval aj stupeň rozkladu. Každý kus odumretého dreva (peň alebo ležanina) sa zaradil do jedného zo 4 stupňov (0 – 3): 0 – čerstvé, tvrdé; 1 – ešte tvrdé; 2 – čiastočne mäkké a 3 – veľmi mäkké.

4.5.3. Radiálne prírastky a prírastky na kruhovej základni

Radiálne prírastky, resp. prírastky na kruhovej základni, sa vyhodnotili dvoma prístupmi: (1) pomocou bežných periodických prírastkov odvodených z 5-ročných opakovaných meraní hrúbok stromov na TVP a (2) pomocou odobratých vývrtoch na vybraných plochách. V tomto prípade však bolo možné vyhodnotiť iba jedľu, pretože pre ostatné dreviny sa vývrty neodoberali.

V prvom prístupe sa vývoj hrúbok previedol na periodické ročné prírastky na kruhovej základni (BAI v $\text{cm}^2 \cdot \text{rok}^{-1}$). Prírastky sa porovnali medzi drevinami jedľa a buk, pretože pri týchto drevinách bol dostatočný počet údajov pre zovšeobecňovanie. Navyše, tieto dve dreviny predstavujú kostru porastov vo Výskumno-účelovom objekte „Komárnik“. Rozdiely v prírastkoch sa medzi drevinami porovnali pomocou regresnej analýzy a porovnania tvaru závislostí BAI od hrúbky stromov. Hrúbka stromu, ako hlavná vysvetľujúca premenná, sa zvolila z dvoch dôvodov: 1) prírastok na kruhovej základni závisí od celkovej hrúbky stromu (čím väčšia hrúbka tým väčší prírastok) a 2) existujú rozdiely v rozdelení hrúbkovej početnosti medzi týmito drevinami.

Pri druhom prístupe sa porovнала dynamika radiálneho rastu (letokruhových prírastkov – v mm) jedle medzi plochami s rozdielnym manažmentom. V tomto prípade bolo možné vyhodnotiť dynamiku prírastkov za posledných 100 až 150 rokov, čiže takmer od vzniku porastov.

4.5.4. Modely výškových kriviek

Pre modelovanie sa použili výšky stromov všetkých opakovaných meraní na TVP vo VO Komárnik. Rozsah materiálu pre jednotlivé opakované merania a tiež kvalitatívny rozbor týchto meraní je podrobne opísaný v práci Klouček et al. (2015).

Pre modelovanie sa použila Korfova rastová funkcia:

$$\hat{h} = 1,3 + A \exp\left(\frac{k}{1-n} d^{(1-n)}\right) \quad (4.5.4.1)$$

kde

\hat{h} - odhadovaná výška stromu,

d – meraná hrúbka stromu

A, k, n – koeficienty funkcie, ktoré treba odhadnúť. Pre odhad sa použila nelineárna metóda najmenších štvorcov.

Ďalší postup odvodenia výškových kriviek je podrobne vysvetlený v práci Klouček et al. (2015).

4.5.5. Inventarizácia prirodzenej obnovy na TVP

Pre inventarizáciu prirodzenej obnovy sa využil už v minulosti založený systém bodov v pravidelnej sieti 10×10 m. Body boli v teréne vytýčené kovovými a plastovými kolíkmi s označením. Záznamy o zmladení sú tak priestorovo viazané na túto sieť bodov. Inventarizácia bola vykonaná na všetkých bodoch siete, s výnimkou tých, ktoré sa nachádzajú na okrajoch plochy. Inventarizovali sa juvenilné jedince stromov až do hrúbky 7 cm v prsnej výške ($d_{1,3}$). Na štvorcovej ploche s rozmerom 1,5×1,5 m bol zisťovaný počet jedincov drevín nižších ako 1,3 m. Počet jedincov bol zisťovaný v rámci každého druhu v troch výškových triedach: 0-20 cm, 21-50 cm, 51-130 cm. Dreviny vyššie ako 1,3 m a tenšie ako 7 cm boli zisťované na kruhových plochách s identickým stredovým bodom. Jedince tenšie ako 2 cm boli zaznamenávané na ploche s polomerom 2 m a jedince s hrúbkou od 2 do 7 cm na ploche s polomerom 4 m. Zisťované boli počty jedincov jednotlivých druhov drevín v hrúbkových kategóriách po 1 cm (0–1,0 cm, 1,1–2,0 cm, 2,1–3,0 cm, 3,1–4,0 cm, 4,1–5,0 cm, 5,1–6,0 cm a 6,1–7,0 cm).

4.5.6. Modelová výberková štruktúra a zásoba jedľovo-bukových porastov

Princíp výberkového lesa spočíva v trvalosti produkcie, ktorá sa zabezpečuje cez diferencovanú štruktúru a trvalú prirodzenú obnovu. Diferencovaná štruktúra

znamená, že stromy sú zastúpené vo všetkých hrúbkových stupňoch a rastú na malej ploche nad sebou. Prirodzená obnova by mala byť kontinuálna a v dostatočnom množstve. Podľa Duca (1991) je pre rovnovážny stav výberkového lesa potrebných aspoň $260 \text{ ks} \cdot \text{ha}^{-1}$ jedincov obnovy s hrúbkou $d_{1,3}$ od 0,1 do 7,4 cm.

Pre modelovanie optimálnej štruktúry a zásoby porastov vo VO Komárnik sa využil princíp geometricky klesajúceho radu podľa Liocurta:

$$N_m = Aq^{-(n-1)} \quad (4.5.6.1)$$

Kde N_m je cieľový počet stromov v m -tom hrúbkovom stupni, A je početnosť v prvom hrúbkovom stupni, q je kvocient geometrického radu a n je počet hrúbkových stupňov.

V prvom kroku sa stanovil kvocient q ako priemerný kvocient pre daný porast:

$$q = \frac{\sum_{i=1}^{i-1} \frac{n_i}{n_{i+1}}}{i-1} \quad (4.5.6.2)$$

Kde n_i je počet stromov v i -tom hrúbkovom stupni. Tento kvocient sa však následne upravoval podľa požiadaviek na celkovú zásobu a potrebnú štruktúru najmä vzhľadom k zabezpečeniu, či zachovaniu dostatočného množstva prirodzenej obnovy. Následne sa odvodilo teoretické rozdelenie početností v jednotlivých hrúbkových stupňoch:

$$N_m = 10^{\log n_{d_{max}} + (k-i) \log q} \quad (4.5.6.3)$$

Kde $n_{d_{max}}$ je počet stromov v maximálnom hrúbkovom stupni (stromy s cieľovou hrúbkou) a k je poradie hrúbkového stupňa, v ktorom sa nachádzajú stromy s cieľovou hrúbkou.

Následne sa pre jednotlivé hrúbkové stupne odvodili zásoby. Z modelov výškových kriviek sa odhadli stredné výšky pre hrúbkové stupne. Pomocou objemových rovníc (Petráš and Pajčík, 1991) sa vypočítali objemy stredných kmeňov v jednotlivých hrúbkových stupňoch a vynásobením modelovou početnosťou sa

odvodila zásoba pre každý hrúbkový stupeň. Následným sčítaním zásob hrúbkových stupňov sa získala celková modelová zásoba porastu.

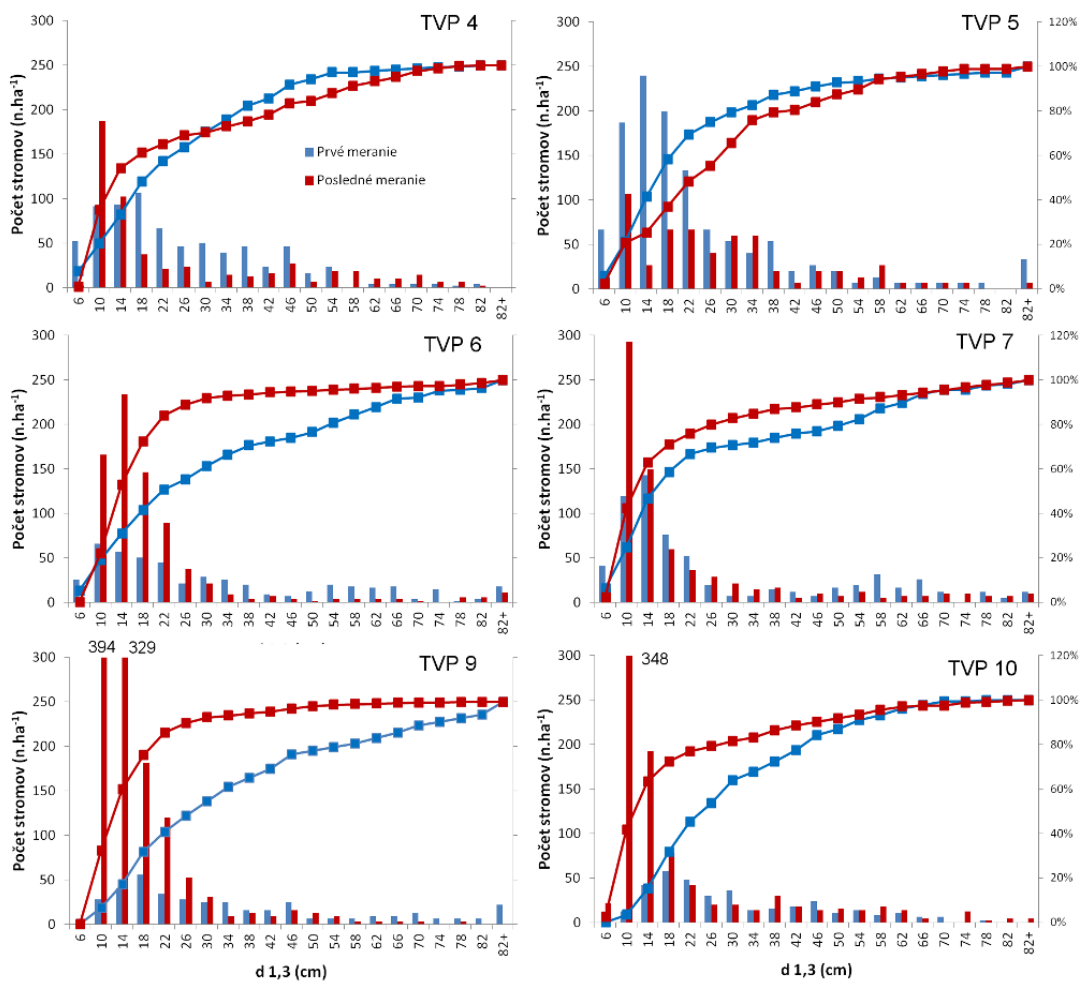
5. Výsledky

5.1. Vývoj zásob a zastúpenia drevín

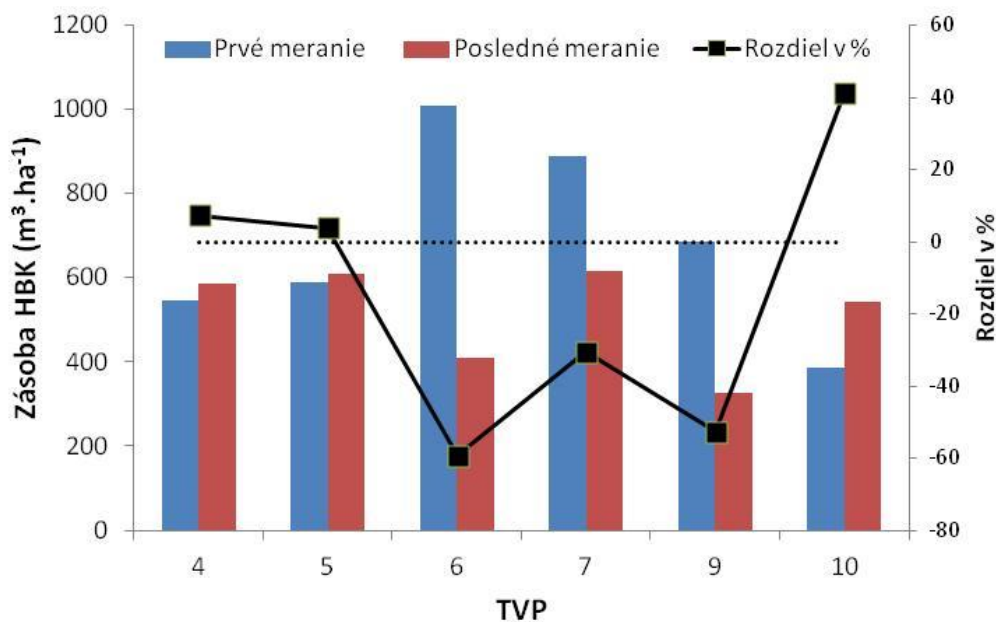
Porasty na jednotlivých TVP majú rôznu históriu vplyvom rozdielneho manažmentu (resp. ponechania na samovývoj) s rozličnými cieľmi výchovy (pomoc konkrétnej drevine či vytvorenie bohatej vertikálnej štruktúry, resp. oboje), čo viedlo k rozdielnemu vývoju ich vertikálnej štruktúry. Navyše, disturbancie rôzneho druhu a rôznej intenzity výrazne ovplyvnili dynamiku lesa v niektorých častiach objektu. Napríklad odumieranie bresta, ktorý mal na TVP 6 pôvodne vysoké zastúpenie (Obr. 5.1.3), významne znížilo celkovú zásobu porastu (Obr. 5.1.2) pri poslednom meraní. Brest sa vyskytoval aj na iných plochách, no iba v malom zastúpení.

Spoločným znakom všetkých skúmaných porastov (TVP) vo výskumnom objekte je však výrazne ľavostranné rozdelenie hrúbkových početností (Obr. 5.1.1), čo naznačuje štruktúru podobnú výberkovému lesu. Pokiaľ ide o zmeny štruktúry v čase, medzi plochami existujú pomerne významné rozdiely. Hrúbková štruktúra na TVP 4 sa za takmer 50 rokov sledovania výrazne nezmenila. Tvar rozdelenia bol ako pri založení plochy tak aj pri jej poslednom meraní výrazne ľavostranný, pričom štruktúrou sa porast blíži výberkovému typu lesa. Z toho je zrejmé, že porast si zachováva vyváženú štruktúru aj vďaka tomu, že tu nedošlo k výrazným disturbanciám. Podobne aj celková zásoba ako aj zásoba jednotlivých drevín sa nezmenila (Obr. 5.1.2 a 5.1.3). Na TVP 5, oproti ostatným plochám, sa zaznamenal pokles celkovej početnosti jedincov s hrúbkou $d_{1,3}$ nad 7 cm, najmä však v tenších hrúbkových kategóriách. Vertikálna štruktúra sa mierne zmenila, no rozdelenie zostalo ľavostranné. Zásoba porastu sa však výraznejšie nezmenila (Obr. 5.1.2). Vertikálna štruktúra sa výrazne zmenila na TVP 6, keď ubudol veľký počet stromov z hornej vrstvy a zároveň sa zásoba porastu znížila až o 60 %. Toto malo za následok zvýšenie počtu tenkých stromov. Podobná situácia bola aj na TVP 7, no nie v takej

intenzite ako na TVP 6. Zásoba porastu klesla o takmer 40 %, čo je však stále pomerne veľký úbytok zásoby spôsobujúci rozvoľnenie strednej a hornej vrstvy. Tu sa štruktúra za 50 rokov významne nezmenila. Najväčší nárast počtu tenkých stromov (do 20 cm v $d_{1,3}$) sa zaznamenal na TVP 9. Podobne aj tu boli tieto zmeny spôsobené úbytkom veľmi hrubých stromov z hornej vrstvy a znížením zásoby porastu o viac ako 50 %. Zaujímavá situácia bola na TVP 10, kde napriek tomu, že nedošlo k úbytku (odumretiu, ťažbe, vývratom) najhrubších stromov z hornej vrstvy (ako to bolo v predchádzajúcich plochách) zásoba porastu vzrástla až o 40 % (Obr. 5.1.2) a významne sa zvýšil počet stromov v nižších hrúbkových stupňoch.

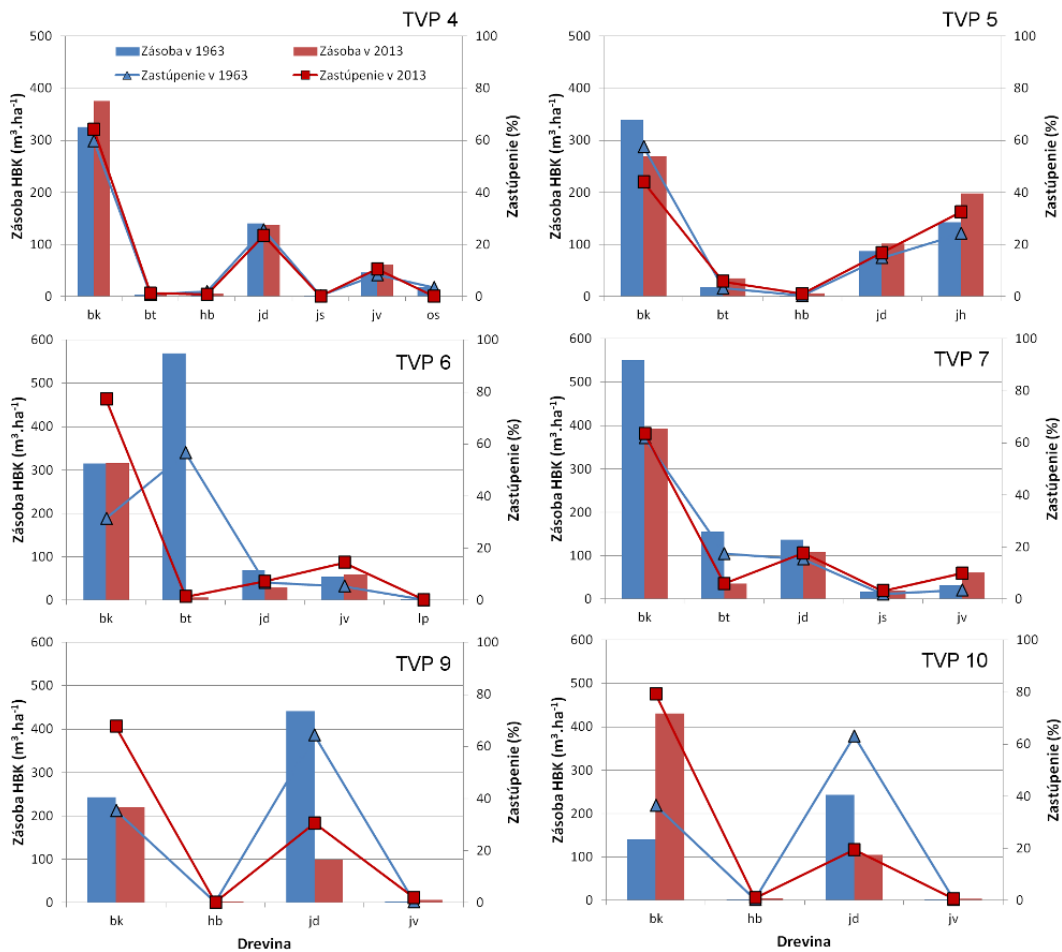


Obr. 5.1.1 Histogram absolútnych a kumulatívnych početností stromov na jednotlivých TVP pri prvom a poslednom meraní (porovnanie zmien v čase)



Obr. 5.1.2 Zásoba hrubiny bez kôry (HBK) porastov na jednotlivých TVP pri prvom a poslednom meraní (zmeny v čase) a jej relatívna zmena

Z pohľadu dynamiky lesa sú tiež zaujímavé zásoby a jej zmeny po jednotlivých drevinách (Obr. 5.1.3). Je zrejmé, že v súčasnosti (resp. pri poslednom meraní) najväčší podiel na zásobe na všetkých plochách dosahuje buk. V minulosti, t.j. pred 50 rokmi, to však nebolo tak na všetkých plochách. Na TVP 6 najväčšie zásoby dosahoval brest. Tento však podľahol hromadnému odumieraniu v 70.-80. rokoch a na ploche neostal takmer žiadny. Následne dominanciu prebral buk. Brest sa vo väčšom zastúpení nachádzal aj na TVP 7, no podobne ako v prípade TVP 6, jeho zastúpenie výrazne kleslo, keď pri poslednej inventarizácii nedosahoval ani 50 m³ na hektár. Podobne aj na TVP 9 a 10 v minulosti nedominoval buk, ale jedľa. Pritom na TVP 9 jedľa dosahovala zásobu až viac ako 400 m³ na hektár. Celková zásoba na TVP 10 bola výrazne nižšia, čo sa po 50 rokoch zmenilo a v súčasnosti je na TVP 10 vyššia zásoba s prevahou buka. Na TVP 4, 5 a 7 nedošlo k výrazným zmenám v zásobách a zastúpení drevín ani po 50 rokoch.



Obr. 5.1.3 Zásoba hrubiny bez kôry (HBK) drevín a ich zastúpenie (v % z HBK) na jednotlivých TVP pri prvom a poslednom meraní (zmeny v čase)

5.2. Zásoba odumretej hmoty v rôznej štruktúre porastov

Zásoba odumretej hmoty v porastoch je tvorená zásobou stojacich suchárov, ležiaceho odumretého dreva (ležaniny) a pňov. Odumretá hmota sa zisťovala zvlášť pre stojace sucháre, ležiacu hmotu a pne. Pri stojacich suchároch bolo možné vyhodnotiť aj zmenu, pretože výskyt suchárov sa zisťoval aj pri prvom meraní. Pri ostatných kategóriách sa zisťovali zásoby iba pri poslednom meraní. Avšak zisťovali sa aj stupne rozkladu, pomocou čoho je možné usudzovať na periódu, kedy táto vznikla.



Obr. 5.2.1 Ukážka odumretej ležiacej hmoty (ležaniny) na TVP 6

Pokiaľ ide o stojace sucháre, ktoré indikujú zdravotný stav porastu v danom čase, tak najväčšia zásoba sa pri poslednom meraní v rokoch 2011–2013 zistila na TVP 7 a potom na TVP 9 (Tab. 5.2.1). Na týchto plochách zároveň došlo k najväčším zmenám, keď pri prvom meraní sa sucháre nevyskytovali. Na ostatných plochách sú zásoby a podiel suchej stojacej hmoty zanedbateľné. Naopak, na TVP 5 sa pri založení plochy a prvom meraní zaznamenali sucháre javora a osiky, avšak pri poslednom meraní to boli sucháre buka a javora. Celková zásoba suchárov na hektár však predstavovala iba okolo 12 m³.

Tabuľka 5.2.1 Zásoba stojacich suchárov pri založení TVP a pri poslednom meraní v roku 2011–2013

TVP	Drevina	Kmeň s kôrou (KSK) (m ³ .ha ⁻¹)		Hrubina bez kôry (HBK) (m ³ .ha ⁻¹)	
		prvé	posledné	prvé	posledné
4	bk	0.0	0.2	0.0	0.1
	jd	0.0	3.5	0.0	3.2
Spolu		0.0	3.7	0.0	3.3
5	bk	0.0	8.9	0.0	10.4
	jh	0.0	2.3	0.0	2.6
	jv	1.3	0.0	1.2	0.0
	os	11.5	0.0	13.6	0.0
Spolu		12.8	11.2	14.8	13.0

Tabuľka 5.2.1 Zásoba stojacich suchárov pri založení TVP a pri poslednom meraní v roku 2011–2013 (pokračovanie tabuľky)

TVP	Drevina	Kmeň s kôrou (KSK) (m ³ .ha ⁻¹)		Hrubina bez kôry (HBK) (m ³ .ha ⁻¹)	
		prvé	posledné	prvé	posledné
6	bk	0.0	0.6	0.0	0.5
	jd	0.0	0.6	0.0	0.6
Spolu		0.0	1.2	0.0	1.0
7	bh	0.0	20.3	0.0	22.5
	bk	0.0	12.6	0.0	16.7
	jd	0.0	1.2	0.0	1.0
Spolu		0.0	34.1	0.0	40.2
9	bk	0.0	20.5	0.0	21.2
	jd	0.0	1.1	0.0	0.9
Spolu		0.0	21.5	0.0	22.1
10	bk	0.0	0.7	0.0	0.3
	jd	0.0	6.8	0.0	6.0
Spolu		0.0	7.5	0.0	6.4

Iná situácia bola pri ležiacej odumretej hmote (ležanine) (Tab. 5.2.2). Táto sa však inventarizovala iba pri poslednom meraní v rokoch 2011–2013. Najvyššie zásoby ležaniny sa zaznamenali na TVP 6, čo je výsledkom hromadného odumierania a rozpadu bresta. Pritom najväčší podiel zásoby sa nachádza v stupni rozkladu 3 (čiastočne mäkké drevo), čo naznačuje, že táto hmota je staršieho dátumu pred cca 10 – 20 rokov. Celkovo vysoká zásoba, aj keď nižšia ako na TVP 6, sa zistila aj na TVP 7. Podobne aj v tomto prípade je hmota čiastočne mäkká až rozpadnutá a pochádza pravdepodobne z rovnakého obdobia ako na TVP 6. Na ostatných plochách sa ležanina vyskytovala len v malých množstvách. Pri pňoch bola situácia podobná (Tab.5.2.3), čo je logické, avšak celková zásoba pňov aj spolu so stojacimi suchármi sa na celkovej odumretej hmote podieľa minimálne.

Tabuľka 5.2.2 Zásoba ležiacej odumretej hmoty na jednotlivých TVP pri poslednom meraní (2011–2013)

TVP	Stupeň rozkladu				Spolu
	0	1	2	3	
$\text{m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$					
4	0.0	0.0	24.4	21.7	46.0
5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
6	0.0	25.7	327.2	50.2	403.1
7	15.1	2.9	127.8	96.3	242.1
9	0.0	0.0	0.8	5.1	5.9
10	0.0	0.1	17.7	13.8	31.5

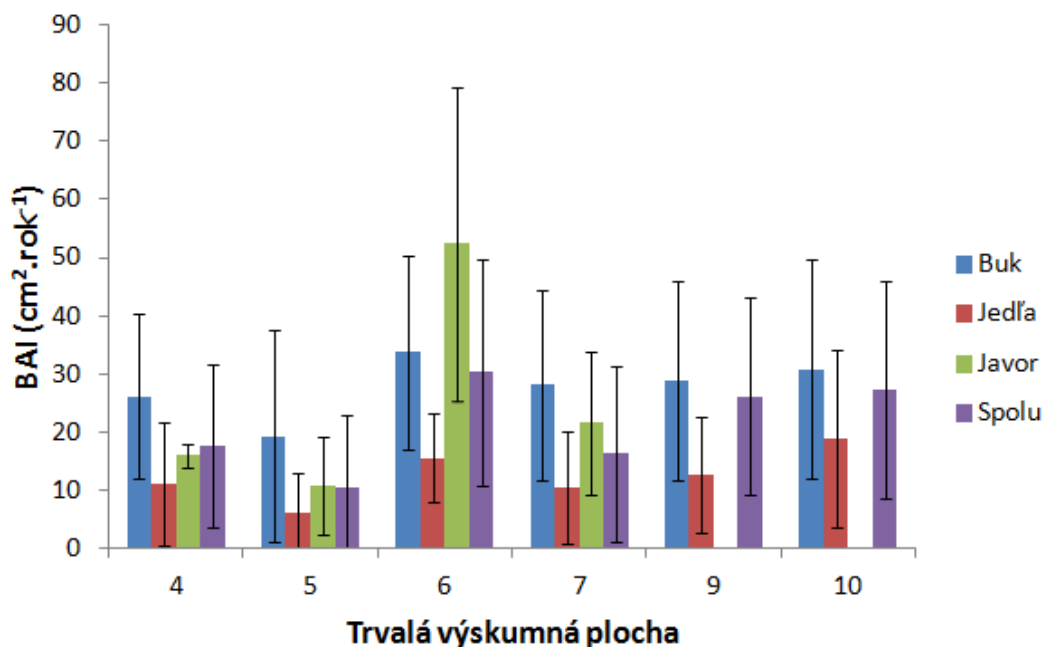
Tabuľka 5.2.3 Zásoba (HBK) pňov na jednotlivých TVP pri poslednom meraní v roku 2011–2013

TVP	Stupeň rozkladu		Spolu
	2	3	
$\text{m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$			
4	1.4	3.7	5.1
5	0.0	4.2	4.2
7	10.1	7.6	17.7
9	1.9	10.5	12.4
10	0.6	10.9	11.5

5.3. Radiálny prírastok stromov a prírastok na kruhovej základni ako indikátory zmien

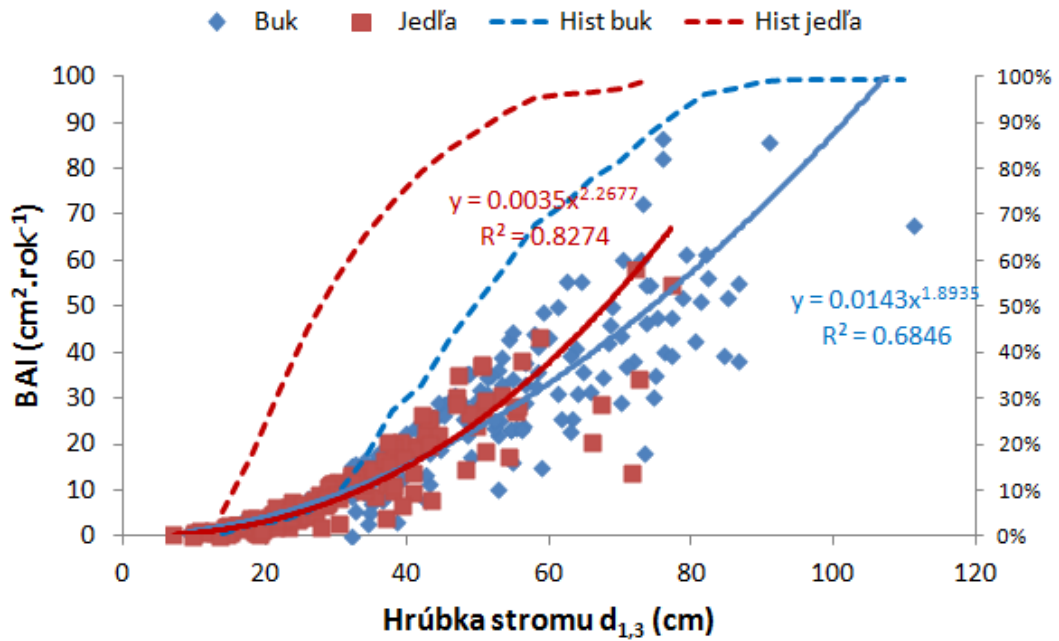
Skúmal sa priemerný periodický prírastok na kruhovej ploche jednotlivých stromov ako rozdiel medzi kruhovou základňou na TVP pri poslednom a prvom meraní vydelený dĺžkou skúmanej periódy. Pre jednotlivé dreviny a plochy sa potom vypočítal priemerný prírastok a jeho variabilita, ktorá je zobrazovaná pomocou chybových úsečiek v grafoch (Obr. 5.3.1). Výsledky ukázali, že najvyššie prírastky na kruhovej základni sa dosiahli na TVP 6 a najmenšie na TVP 5. Pritom na TVP 5 boli najvyššie prírastky vďaka vysokým prírastkom javora. Avšak aj buk na tejto TVP dosahoval najväčšie prírastky pri porovnaní s ostatnými plochami. Buk ako aj jedľa dosiahli najmenšie prírastky na TVP 5. Podobne to bolo aj na TVP 4. Nižšie prírastky jednotlivých stromov spôsobila pomerne vysoká zásoba, ktorá sa za

posledných 50 rokov nezmenila (pozri Obr. 5.1.2). Oproti tomu významný pokles zásob na TVP 6, zapríčinený hromadným odumieraním brestov, viedol k rapidnému zvýšeniu prírastkov zostávajúcich stromov.



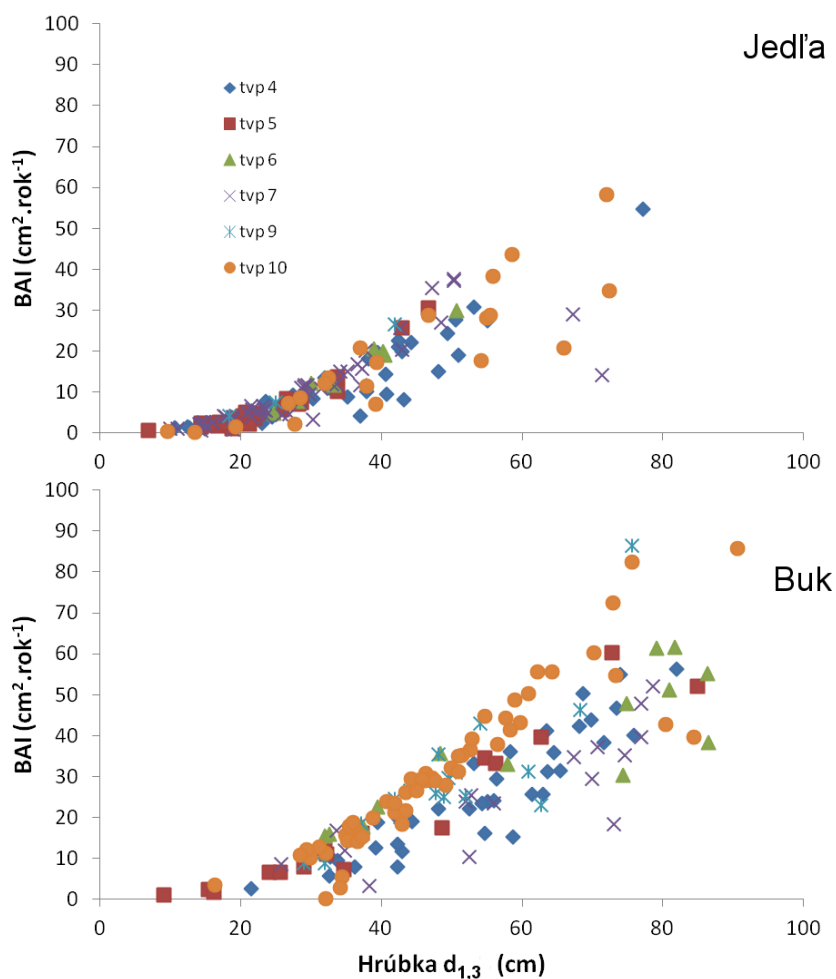
Obr. 5.3.1 Priemerný ročný prírastok (vypočítaný ako priemerný periodický prírastok z rozdielu medzi prvým a posledným meraním) na kruhovej základni (BAI)

Okrem TVP 6, buk dosahoval najvyššie prírastky na všetkých plochách. Za ním zaostával javor a najnižšie prírastky sa zistili pri jedli. Rozdiel medzi jedľou a bukom je však spôsobený dvoma faktormi. Prvým je, že stromy buka sú v priemere hrubšie ako stromy jedle, čo demonštruje Obr. 5.3.2. Pritom prírastok na kruhovej ploche významne závisí od hrúbky stromu, keď s hrúbkou exponenciálne rastie.



Obr. 5.3.2 Porovnanie priemerných ročných prírastkov na kruhovej ploche stromov medzi bukom a jedľou v závislosti od hrúbky ($d_{1,3}$). Čiarkované čiary predstavujú kumulatívne rozdelenia početností stromov podľa hrúbky $d_{1,3}$.

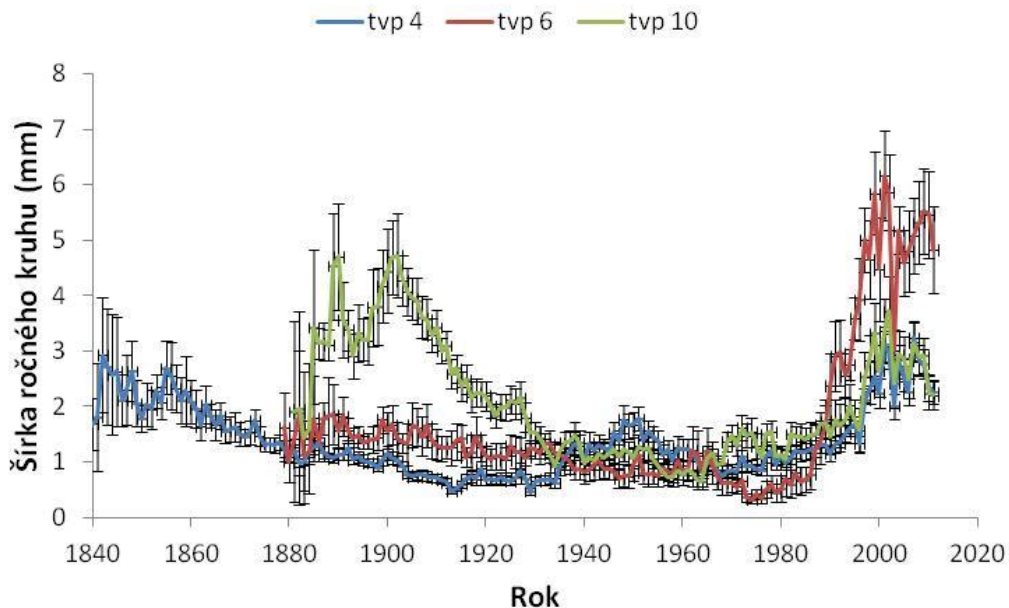
Pri analyzovaní prírastkov jedle a buka na jednotlivých plochách (Obr. 5.3.3) je vidieť, že ako pri buku tak aj pri jedli najvyššie prírastky boli zistené na TVP 10 a to pri stromoch všetkých hrúbkových kategórií. Najmenšie prírastky sa ukazujú na TVP 7. Rozdielna vertikálna a tým aj hrúbková štruktúra však výrazne ovplyvnila rozdiely v celkovom priemernom prírastku na kruhovej základni medzi jednotlivými plochami. Na TVP 4 a 5 sa vysoký podiel stromov nachádza práve v nižších hrúbkových stupňoch a teda s menším prírastkom na kruhovej základni. Aj z tejto analýzy je zrejmé, že stromy buka sú ako na jednotlivých plochách tak aj celkovo rovnomernejšie rozdelené po hrúbkových stupňoch. Jedľa je zastúpená najmä v nižších hrúbkových stupňoch a iba na TVP 10 a 7 (jeden strom aj na TVP 4) sa nachádzajú veľmi hrubé jedince (s hrúbkou $d_{1,3}$ nad 60 cm).



Obr. 5.3.3 Priemerný ročný prírastok na kruhovej ploche stromov v závislosti od hrúbky stromov na jednotlivých TVP pre drevinu jedľa a buk

Druhým faktorom, prečo jedľa dosiahla priemerne menšie prírastky za posledných 50 rokov je skutočnosť, že stromy tejto dreviny mali veľmi nízke prírastky v období od 1960 do 1990, čo ukázala analýza odobratých vývrtov (Obr. 5.3.4). Avšak, po období 1980–1990 jedľa začala nezvyčajne zvyšovať svoje radiálne prírastky a až v 90-tych rokoch predbehla buk. Po roku 2000 však toto zvyšovanie prírastkov pokračovalo až jedľa dosahovala viac ako 2-násobné prírastky buka. Zaujímavé však je, že jedľa na TVP 10 je mladšia ako na TVP 4 (o viac ako 40 rokov) a v minulosti mala pomerne vysoké radiálne prírastky. Pravdepodobne to súviselo s kulmináciou hrúbkového prírastku v tomto veku. Tiež to naznačuje, že sa jedľa na tejto ploche nachádzala v úrovni a nadúrovni porastu. Iný priebeh prírastkov sa zistil pri jedli na TVP 4 a 6. Na týchto plochách jedľa v minulosti nedosahovala také vysoké prírastky ako na TVP 10, napriek tomu, že na TVP 6 sú stromy približne

rovnako staré ako na TVP 10. Pravdepodobne na plochách 4 a 6 jedľa rástla vo väčšom zápoji, prípadne viaceré stromy rástli v úrovni a podúrovni. Môže to naznačovať aj rozdielnu štruktúru porastov v minulosti. Na TVP 6 jedľa v súčasnosti dosahuje bezprecedentné prírastky a to vďaka hromadnému odumretiu bresta a náhlemu uvoľneniu korunového zápoja. Avšak, v tomto prípade je pravdepodobných niekoľko faktorov, ktoré rozoberieme v kapitole Diskusia.



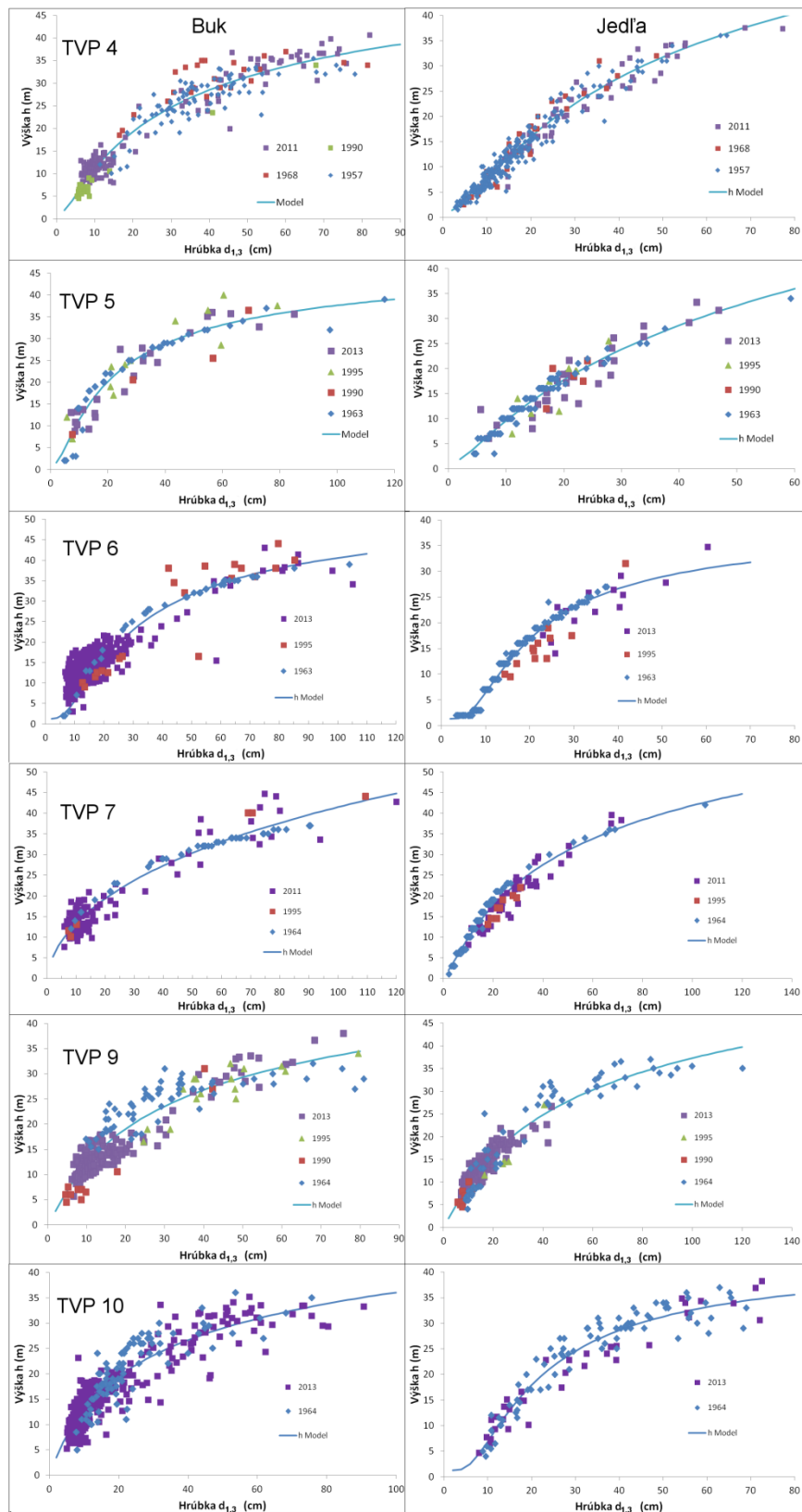
Obr. 5.3.4 Vývoj ročných radiálnych prírastkov jedle na troch TVP s rôznym stavom a vývojom vertikálnej a horizontálnej štruktúry porastu

5.4. Výškové krivky a ich zmeny vplyvom rozdielneho manažmentu

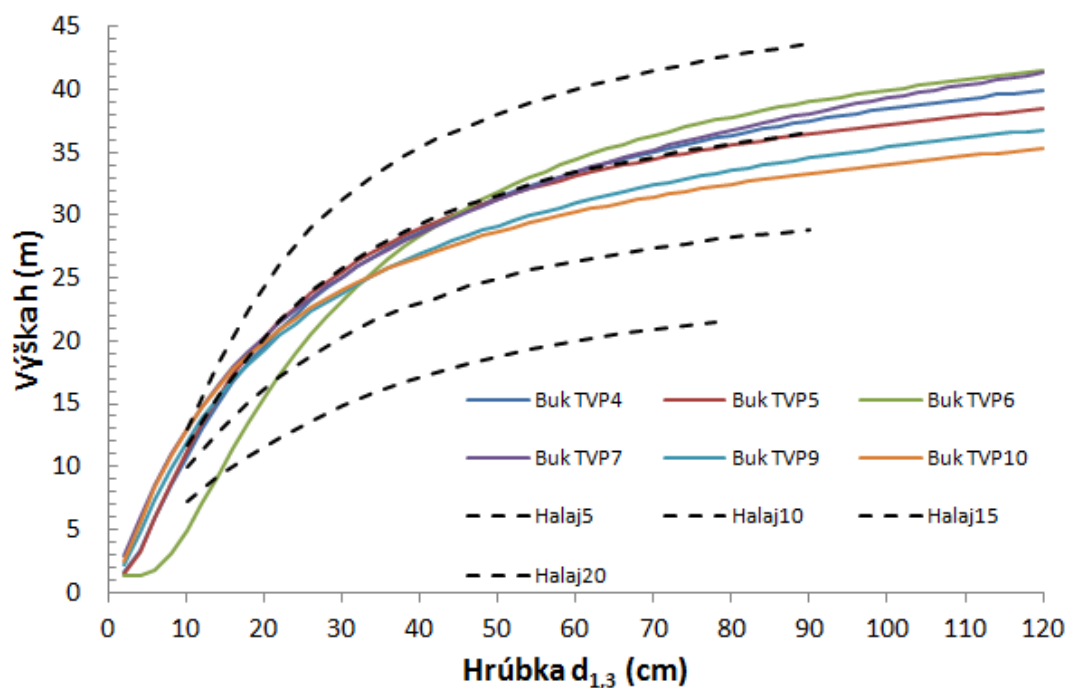
Výšková krivka charakterizuje rast výšok stromov v závislosti od ich hrúbok. V rovnovekom lese sa výšková krivka s vekom mení. Jednotlivé výškové krivky sú poukladané nad sebou a reprezentujú porast v určitom rastovom štádiu. V rovnovážnom výberkovom lese je len jedna výšková krivka, ktorá charakterizuje jeho vyrovnaný stav. Tento jav sa ukázal aj na skúmaných plochách vo výskumnom objekte (Obr.5.4.1). Porovnanie výšok v závislosti od hrúbky stromov medzi jednotlivými meraniami od založenia plôch ukázalo jedno bodové pole bez náznakov usporiadania výšok nad sebou. Preto bolo možné vytvoriť jednu výškovú krivku pre

každú plochu bez ohľadu na vek. Pri porovnaní drevín buka a jedle, výrazne vyššia variabilita výšok sa ukázala pri buku. Buk je omnoho plastickejšia drevina, ktorá výrazne reaguje na zmeny svetelných pomerov v poraste. Pokiaľ ide o celkový výškový rast, tak medzi plochami sú pomerne malé rozdiely. Pri porovnaní drevín, buk mal intenzívnejší výškový rast v mladších rastových fázach (tenších hrúbkových stupňoch), no celkovo dosiahol menšie výšky v porovnaní s jedľou.

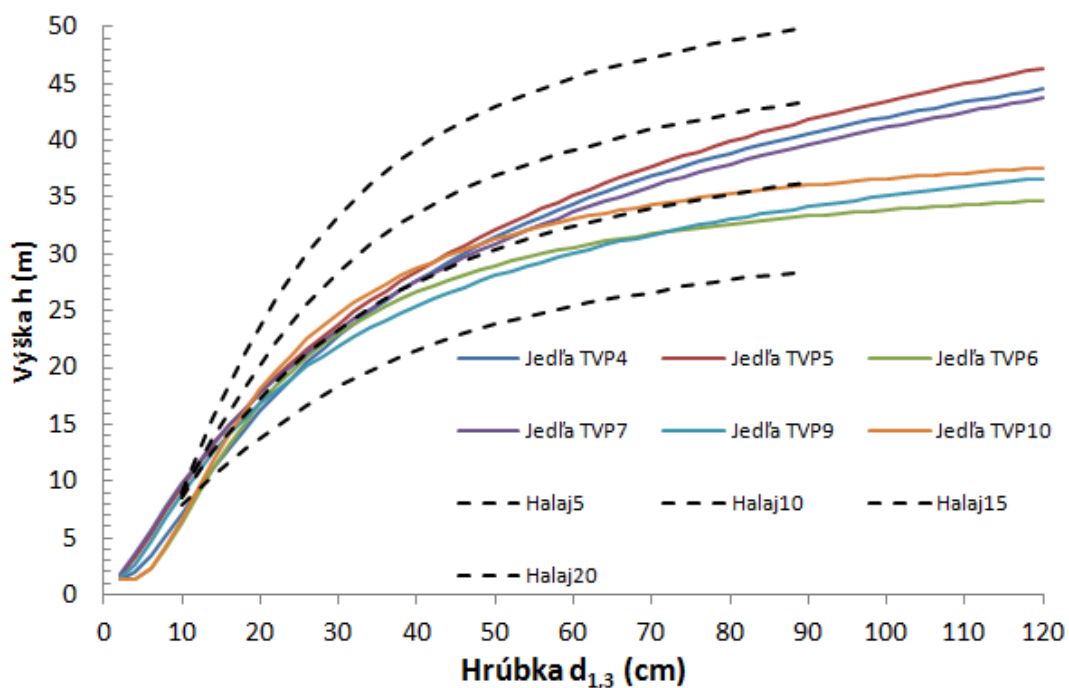
Vytvorené výškové krivky pre jednotlivé plochy sa následne porovnali s výškovými tarifami pre výberkové lesy, ktoré boli odvodené pre slovenské pomery z rozsiahleho výskumného materiálu (Halaj, 1963). V grafe sa zobrazilo celé rozpätie výškových taríf od 5 do 20, aby bolo možné porovnať výškový rast a produkčný potenciál jedle a buka s rozpätím potenciálu na Slovensku (Obr. 5.4.2 a 5.4.3). Podrobnejšie sa tejto problematike venujeme v článku Klouček et al. (2015). Pri buku je zrejmé, že výškový rast je priemerný až lepší ako je priemer pre Slovensko, pretože výškové krivky sa nachádzajú v hornej polovici vejára. Pokiaľ ide o jedľu, táto drevina dosahuje vo výskumnom objekte priemernú slovenskú úroveň. Zaujímavé však je, že sa zistila rovnaká intenzita výškového rastu (sklon kriviek) pri porovnaní medzi meraniami a výškovými tarifami, čo podporuje použiteľnosť výškových taríf pre takéto typy lesov. Medzi jednotlivými plochami sú pri buku len veľmi malé rozdiely vo výškovom raste, keď maximálny rozdiel predstavuje približne 5 m. Vzhľadom k variabilite a nižšej presnosti merania výšok v porovnaní s jedľou je to relatívne malý rozdiel. Pri jedli však tento rozdiel bol väčší a predstavoval až okolo 10 m. Obidve dreviny dosahovali najvyššie výšky na TVP 5 a 7 a najnižšie na TVP 9 a 10. Zaujímavé porovnanie medzi drevinami je na TVP 6, kde buk mal najvyššie výšky, avšak jedľa naopak najnižšie.



Obr. 5.4.1 Výšky a výškové krivky jedle a buka pri opakovaných meraniach na jednotlivých TVP



Obr. 5.4.2 Porovnanie výškových kriviek na TVP s výškovými tarifami podľa Halaja (1963) pre buk



Obr. 5.4.3 Porovnanie výškových kriviek na TVP s výškovými tarifami podľa Halaja (1963) pre jedľu

5.5. Stav prirodzenej obnovy vplyvom rôznej štruktúry porastov

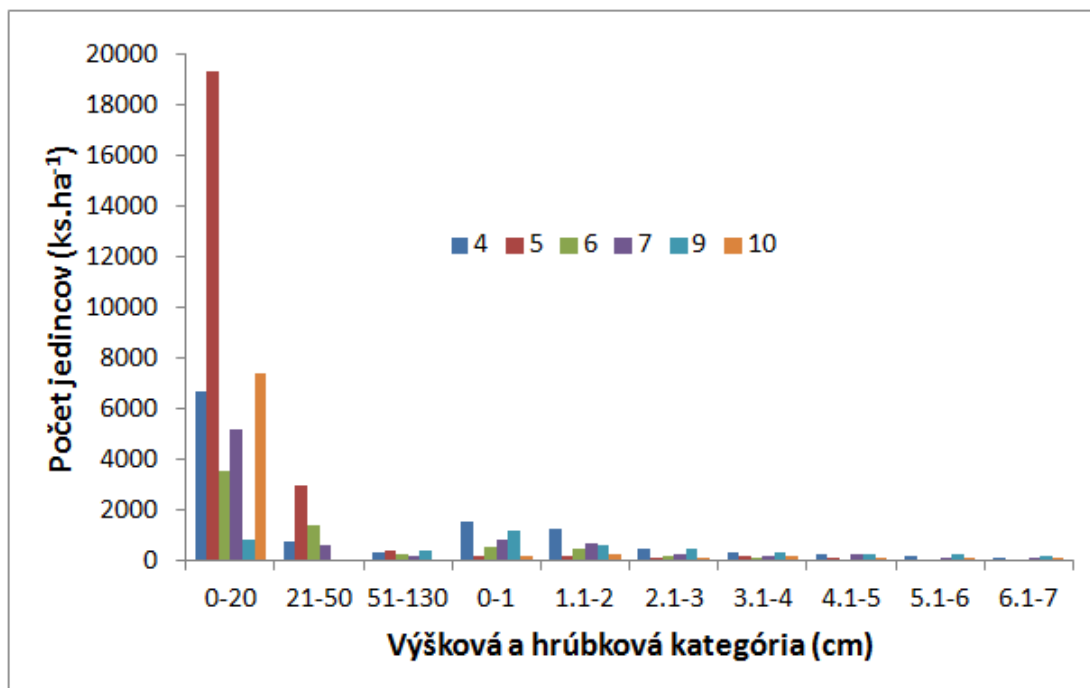
Určitým nedostatkom je, že zmladenie sa zisťovalo iba pri poslednom meraní v rokoch 2011–2013. To znamená, že kvantitatívne a kvalitatívne zmeny v zmladení nebolo možné vyhodnotiť a výsledky sa obmedzujú na interpretáciu stavu, ktorý je výsledkom pôsobenia mnohých faktorov v skúmaných lesoch za ostatných 50 rokov. Avšak aj takéto informácie môžu významne prispieť k získaniu poznatkov o dynamike rastu a regenerácie jedľo-bukových ekosystémov na výskumnom objekte.



Obr. 5.5.3 Ukážka prirodzenej obnovy jedle, ktorá je vo výskumnom objekte bohatá, avšak výrazne trpí škodami spôsobenými srnčou a jeleňou zverou

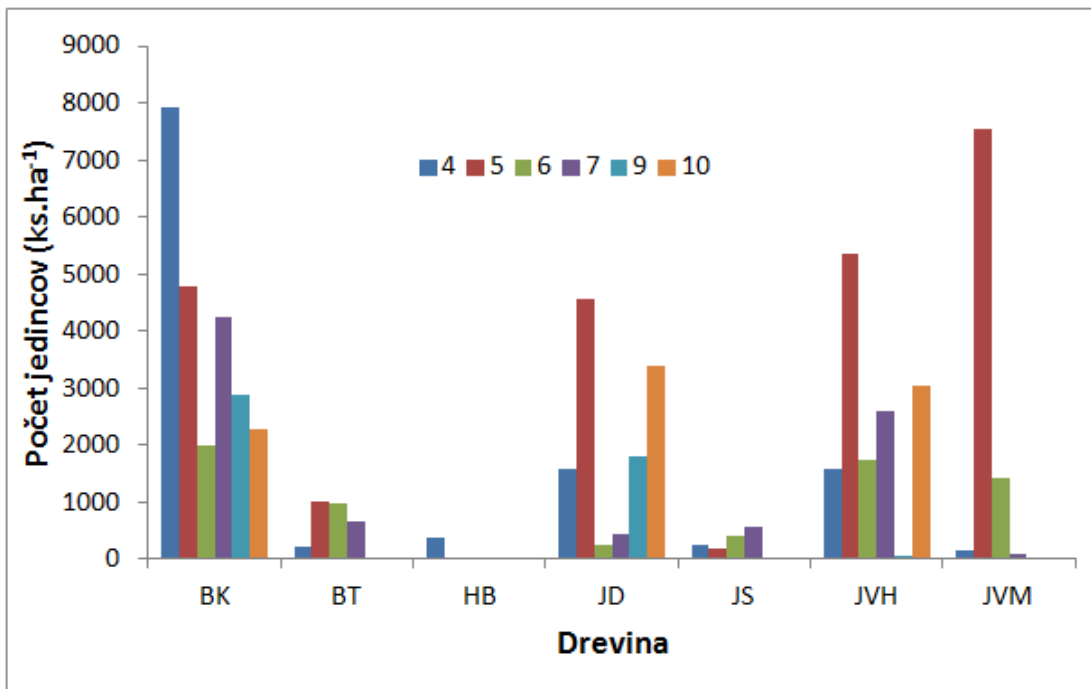
Metodika zberu údajov o zmladení na jednotlivých TVP bola stanovená tak, aby bolo možné s dostatočnou presnosťou vyhodnotiť súčasný stav prirodzenej obnovy. Výsledky sa prezentujú formou rozdelenia početností podľa výškových a hrúbkových kategórií a taktiež podľa jednotlivých drevín, ktoré sa v zmladení vyskytli.

Výsledky naznačujú, že zmladenie na plochách je v priemere pomerne bohaté a dosahuje početnosti od 4708 ks.ha⁻¹ (TVP 9) až do takmer 23 525 ks.ha⁻¹ (TVP 5). Na ostatných plochách sa početnosť zmladenia pohybovala nasledovne: 6807 ks.ha⁻¹ (TVP 6), 8568 ks.ha⁻¹ (TVP 7), 8765 ks.ha⁻¹ (TVP 10) a 12 079 ks.ha⁻¹ (TVP 4). Následne sa skúmala početnosť zmladenia vo výškových (0–20 cm, 21–50 cm a 51–130 cm) a 1 cm hrúbkových kategóriách (0–1,0 cm, 1,1–2,0 cm, 2,1–3,0 cm, 3,1–4,0 cm, 4,1–5,0 cm, 5,1–6,0 cm a 6,1–7,0 cm). Z histogramu rozdelenia početností je vidieť, že najviac zastúpenou kategóriou takmer na všetkých plochách (okrem TVP 9) bola výšková kategória 0 – 20 cm, čiže semenáčiky až nárast (Obr. 5.5.1). Na TVP 9 bola najzastúpenejšia kategória od 130 cm výšky do 1 cm hrúbky v 1,3 m výšky. Na tejto ploche však zmladenie bolo najmenej početné. V relatívnom vyjadrení, semenáčiky tvorili od 18 % (TVP 9) až do 85 % (TVP 10) celkovej početnosti zmladenia. Celkový tvar rozdelenia početností je teda výrazne ľavostranný (okrem TVP 9) a korešponduje s rozdelením stromov s hrúbkou nad 7 cm vo výške 1,3 m. Pritom na TVP 9 sa výrazne zahustila spodná vrstva, keď výrazne vzrástol počet stromov v najnižších hrúbkových kategóriách, čo spôsobilo utlmenie regeneračných procesov. Zaujímavé však je, že podobná zmena (aj keď nie až v takom rozsahu ako na TVP 9) nastala aj na TVP 10, keď sa posilnila spodná vrstva (najmä hrúbkové kategórie 8–12 cm a 12,1–16,0 cm v d_{1,3}). Tu však početnosť jedincov prirodzenej obnovy bola dvojnásobne vyššia (8765 ks.ha⁻¹), pričom semenáčiky tvorili až 85 % celkového počtu zmladenia.



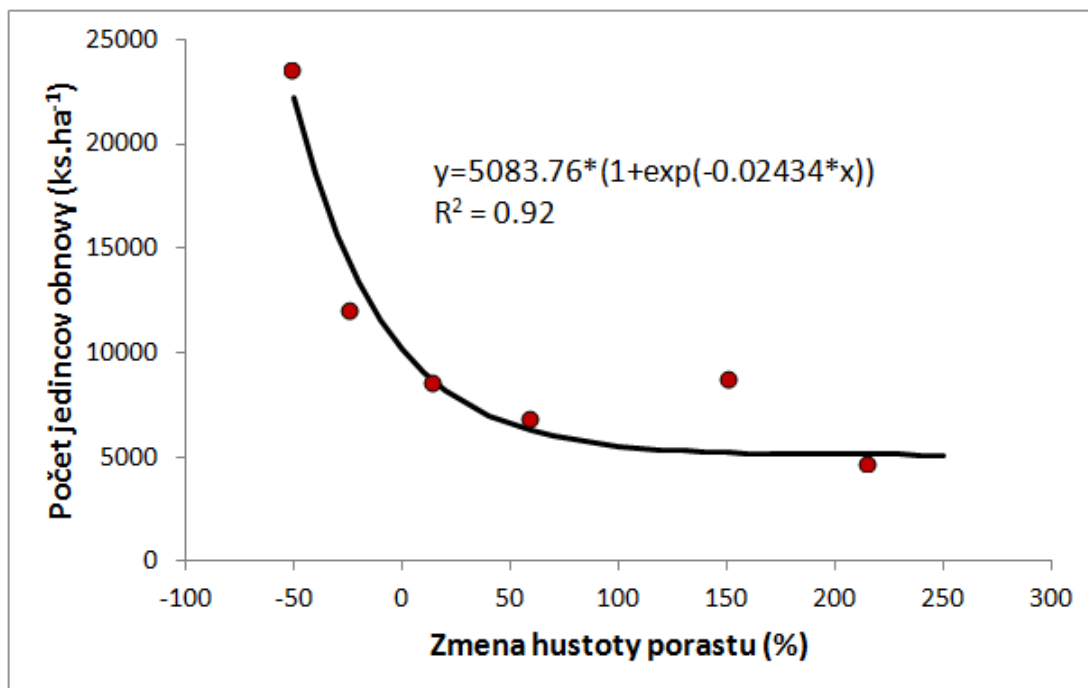
Obr. 5.5.1 Početnosť prirodzenej obnovy na jednotlivých TVP podľa výškových a hrúbkových kategórií (farebne sú odlišené jednotlivé TVP)

Sledovala sa aj početnosť prirodzenej obnovy podľa jednotlivých drevín, ktoré sa v zmladení vyskytovali. Najčastejšou a najzastúpenejšou drevinou bol buk, potom javor horský, jedľa, javor mliečny, brest horský, jaseň štíhly a najmenej početný bol hrab (Obr. 5.5.2). Medzi jednotlivými plochami sa zastúpenie drevín značne líšilo. Buk bol najviac zastúpený na TVP 4 a 9 (66 % a 61 %) a najmenšie zastúpenie dosiahol na TVP 5, 10 a 6 (20 %, 26 % a 29 %). Javor horský mal najnižšie zastúpenie (iba 1 %) na TVP 9, inak jeho zastúpenie sa pohybovalo od 13 % do 35 %. Jedľa bola najzastúpenejšia na TVP 9 a 10 (38 a 39 %). Pritom na TVP 9 bola jedľa pri založení plochy dominantnou drevinou (dosahovala zásobu až viac ako 400 m³.ha⁻¹), no pri poslednom meraní sa zaznamenal jej výrazný pokles v materskom poraste (na 100 m³.ha⁻¹).



Obr. 5.5.2 Početnosť prirodzenej obnovy na jednotlivých TVP podľa druhov drevín (farebne sú odlišené jednotlivé TVP)

Pokiaľ ide o absolútne početnosti, tak buk dosahuje veľmi hojnú početnosť na TVP 4 (takmer 8000 ks.ha⁻¹) a na ostatných plochách sa jeho početnosť pohybuje od 2000 ks.ha⁻¹ (TVP 6) po takmer 5000 ks.ha⁻¹ (TVP 5). Veľmi zaujímavým zistením bola vysoká početnosť javora mliečneho a javora horského na TVP 5 (viac ako 5000 ks.ha⁻¹ javora horského a takmer 8000 ks.ha⁻¹ javora mliečneho). Zastúpenie javorov na tejto ploche je však logické, pretože táto drevina má pomerne vysoké zastúpenie aj v materskom poraste.



Obr. 5.5.3 Vplyv zmeny hustoty porastu na početnosť obnovy. Zmena hustoty porastu sa vyjadřila ako relatívna zmena (v %) počtu jedincov s hrúbkou $d_{1,3}$ nad 7 cm medzi prvým a posledným meraním

Je teda zrejmé, že hustota a drevinové zloženie prirodzenej obnovy veľmi tesne závisí od hustoty a drevinového zloženia materského porastu. Pritom hustota materského porastu priamo ovplyvňuje početnosť jedincov zmladenia (Obr. 5.5.3). Na plochách, kde hustota materského porastu klesla o 50 % početnosť jedincov prirodzenej obnovy bola na úrovni takmer 25 000 ks.ha⁻¹. Naopak, pri zahutnení materského porastu 200 %-ná početnosť bola výrazne nižšia (iba 5000 ks.ha⁻¹). Zaujímavý je však veľmi strmý pokles hustoty zmladenia zaznamenaný pri zmenách hustoty materského porastu od -50 % do +50 %, keď pri ďalšom zahutňovaní materského porastu sa početnosť obnovy už výrazne nemenila. Treba však poznamenať, že celkové zásoby všetkých skúmaných porastov boli pri poslednom meraní pomerne nízke (pozri Obr. 5.1.2) v porovnaní s normálne obhospodarovanými porastmi na Slovensku a preto prirodzená obnova bola na všetkých plochách relatívne bohatá.

5.6. Modely optimálnej štruktúry a zásoby jedľovo-bukových lesov

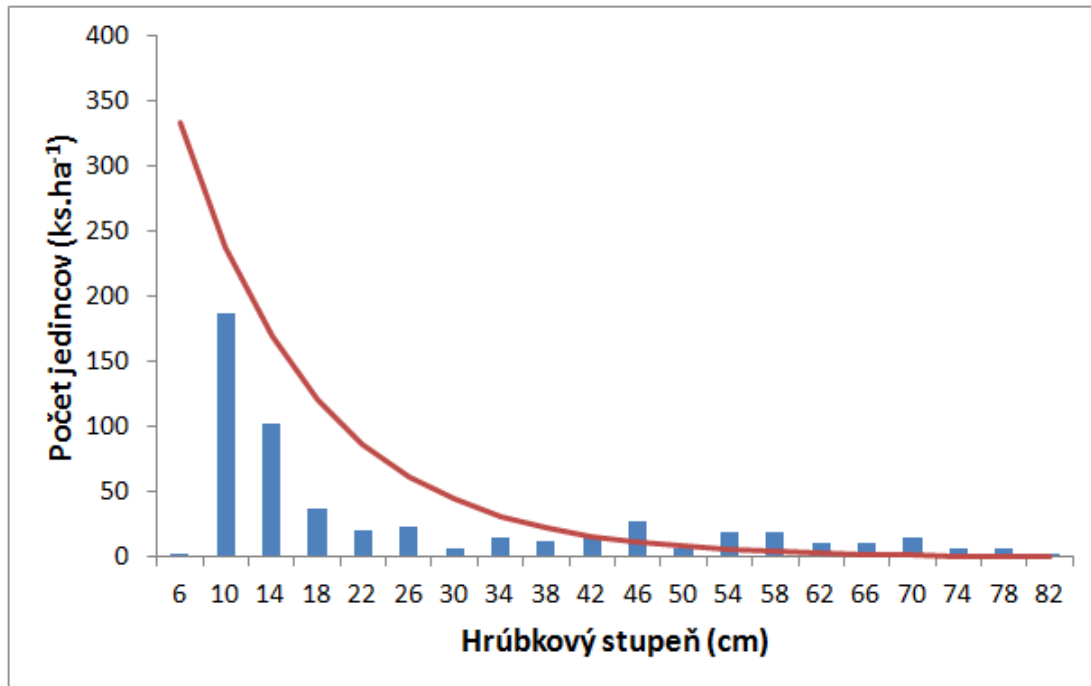
Pre ďalšie rozhodovanie o tom aký typ pestovných zásahov by sa mal aplikovať a aké množstvo dendromasy by bolo optimálne (možné) odobrať pre zlepšenie štruktúry porastov sa pre každú TVP stanovila modelová štruktúra a zásoba (HBK, $\text{m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$). Pritom sa vychádzalo z predpokladu, že najvhodnejším hospodárskym spôsobom v týchto porastoch je výberkový (aj vzhľadom k doterajšej nízkej intenzite hospodárenia v danom území).

Predchádzajúce výsledky ukázali, že rozdelenie hrúbkových početností porastov je výrazne ľavostranné a v niektorých prípadoch sa približuje optimálnej výberkovej štruktúre. Avšak, na všetkých TVP sa nachádzajú veľmi hrubé a prestarnuté stromy s pomerne nízkou kvalitou dreva (najmä u buka). Zároveň čiastočne chýbajú stromy v strednej vrstve. Výsledky tiež ukázali, že prirodzená obnova je veľmi bohatá (nadpriemerná), čo je výsledkom rozvoľnenia korún v hornej vrstve s vytvorením optimálnych podmienok pre vznik a prežívanie obnovy. S ohľadom na tieto výsledky sa stanovila cieľová hrúbka, počet stromov v cieľovej hrúbke a kvocient geometrického radu q . Vzhľadom k tomu, že produkčný potenciál skúmaných porastov je veľmi podobný a prirodzená obnova je veľmi bohatá, pre všetky TVP sa navrhli rovnaké hodnoty uvedených parametrov:

- Cieľová hrúbka: 62 cm
- Počet stromov s cieľovou hrúbkou: 3
- Kvocient geometrického radu q : 1,4

Cieľová hrúbka sa stanovila na 62 cm, pretože u buka v týchto podmienkach sa často vyskytuje nepravé jadro už v pomerne skorom veku (80 rokov a viac). Ďalším dôvodom je, že stromy s väčšou dimenziou sú náročné ako na ťažbu, tak aj pre ďalšie spracovanie na pilách. Vzhľadom k nízkej kvalite takýchto stromov sa zvyšujú náklady a znižujú výnosy. Pre výberkové lesy v slovenských pomeroch sa často používa kvocient geometrického radu v rozpätí od 1,2 do 1,4. Jedľovo-bukové porasty vo VO Komárnik majú pomerne vysoký produkčný potenciál (pozri výškové

krivky porastov ich porovnanie so slovenskými výškovými tarifami na Obr. 5.4.2 a 5.4.3.), preto sa kvocient q stanovil na hodnotu 1,4.

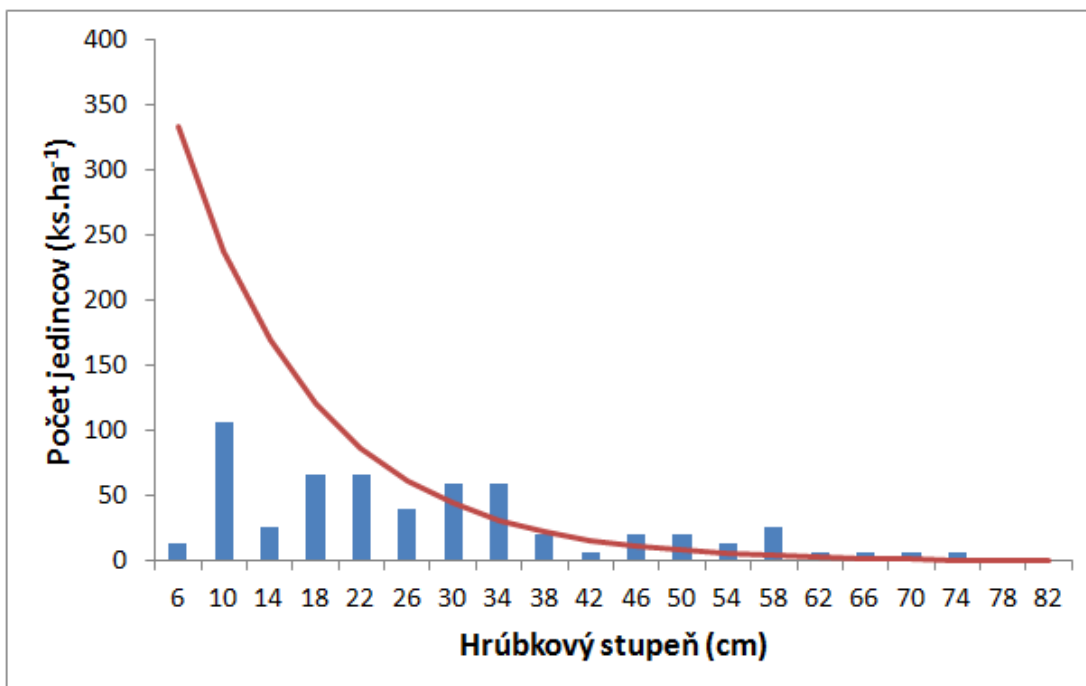


Obr. 5.6.1 Skutočné a modelové rozdelenie početností stromov v hrúbkových stupňoch na TVP 4

Na TVP 4 je vidieť pomerne veľký počet prestarnutých stromov s veľkými dimenziami a zároveň nedostatočne vyplnený priestor strednej a spodnej vrstvy (Obr. 5.6.1). Podľa modelového rozdelenia početností by sa mali veľmi hrubé stromy vyťažiť, aby sa tak stimulovalo odrastanie stromov v spodnej a strednej vrstve a presuny jedincov do vyšších hrúbkových stupňov. Vzhľadom k bohatej prirodzenej obnove a dostatočnému počtu stromov s hrúbkou $d_{1,3}$ od 0,1 do 7,0 cm, je takáto modelová štruktúra reálna. Pestovným cieľom na tejto TVP bolo „vytvorenie, resp. zachovanie výberkovej štruktúry“, čo sa viac-menej podarilo dosiahnuť. Aj drevinové zloženie (podiel jedle a buka) sa výraznejšie nezmenilo, pričom sa mierne zvýšilo zastúpenie cenných listnáčov (javora, bresta), čo možno hodnotiť veľmi priaznivo.

V rámci ďalšieho manažmentu v zmysle pestovného zámeru je potrebné zásahmi uvoľňovať jedľu a v prirodzenej obnove redukovať buk v prospech jedle.

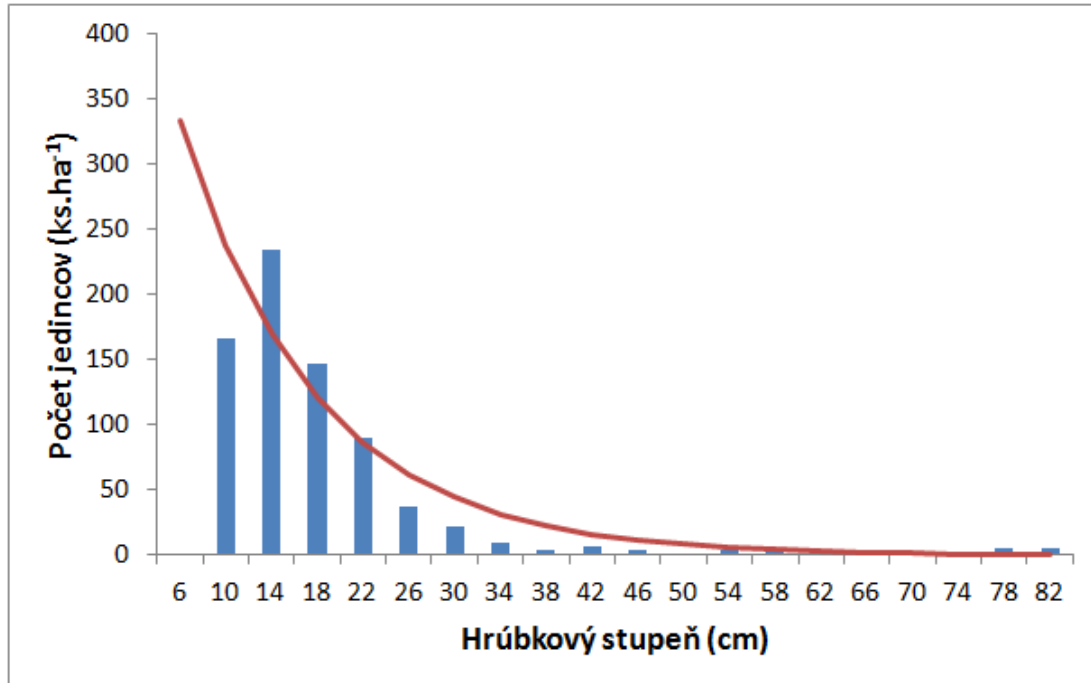
Maloplošnými clonnými zásahmi podporiť diferencovanú vertikálnu štruktúru. Zásahmi tiež podporovať ostatné cenné listnaté dreviny (javor horský, brest).



Obr. 5.6.2 Skutočné a modelové rozdelenie početností stromov v hrúbkových stupňoch na TVP 5

V poraste, kde bola založená TVP 5 je situácia podobná tej na TVP 4 (Obr. 5.6.2). Súčasná celková zásoba porastu je taká istá ako na TVP 4 (cca 550 m³.ha⁻¹). Rozdiel je však počte jedincov prirodzenej obnovy s hrúbkou 0,1 až 7,0 cm, ktorá na TVP 5 dosahuje iba okolo 800 ks.ha⁻¹ (na TVP 4 to je viac ako 4000 ks.ha⁻¹). Napriek výrazne nižšej hustote obnovy je táto dostatočná pre zabezpečenie výberkovej štruktúry. Preto sa modelová štruktúra stanovila podobne ako na TVP 4. Pestovné zásahy na tejto TVP boli zamerané na podporu javora horského, prípadne bresta horského, čo sa podarilo. Jedľa tvorila prevažne strednú a dolnú vrstvu. Po 50.rokoch zastúpenie uvedených cenných listnáčov nepokleslo, resp. sa mierne zvýšilo. Podobne tomu bolo aj pri jedli, ktorá zostala dôležitou súčasťou porastovej štruktúry. V súčasnosti na tu nachádza niekoľko porastových medzier po vývratoch najhrubších jedincov buka a javora horského. Na týchto medzerách sa zmladzuje hlavne buk a jedľa, menej javor horský. Pestovnými opatreniami je potrebné

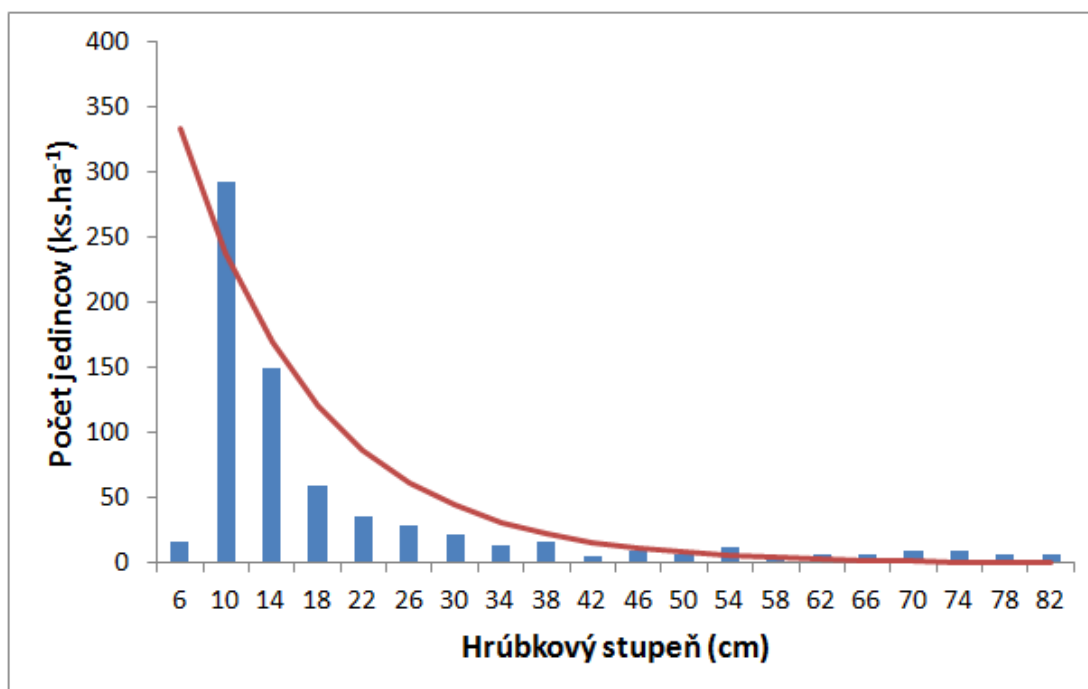
podporovať jedľu a cenné listnáče v konkurencii proti vitálnemu buku. Problémom môže byť poškodenie zverou.



Obr. 5.6.3 Skutočné a modelové rozdelenie početností stromov v hrúbkových stupňoch na TVP 6

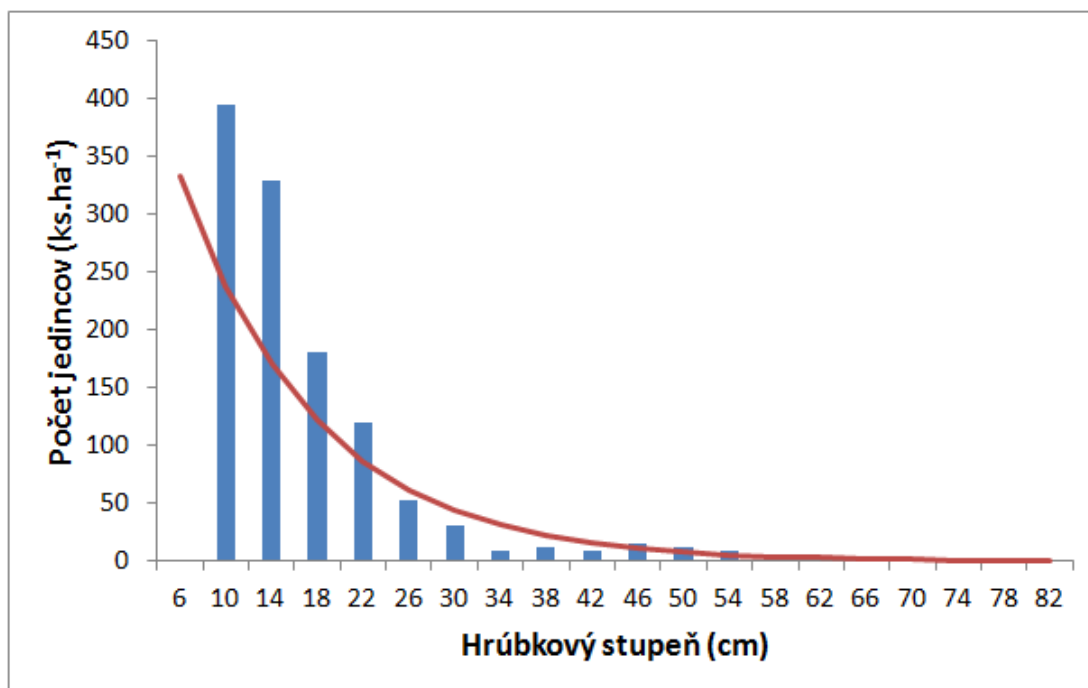
Situácia na TVP 6 je trochu iná ako u predchádzajúcich plôch (Obr. 5.6.3). Súčasná štruktúra sa približuje modelovej výberkovej, čo dáva veľké predpoklady pre zabezpečenie dobrého fungovania podľa princípov výberkového lesa. V poraste je však mierny nedostatok stromov v strednej vrstve, no po vyťažení prestarnutých a veľmi hrubých stromov, by sa tento nedostatok mohol upraviť. Podporuje to aj dostatočný počet stromov v nižších hrúbkových stupňoch a tiež nadpriemerný výskyt prirodzenej obnovy (hlavne buka). Cieľom zásahov vykonaných v minulosti na tejto TVP bola podpora bresta horského, čo sa evidentne nepodarilo. Jednou z príčin bolo hromadné hynutie bresta v 80-tych rokoch. Podľa dostupných údajov bolo na začiatku 90. rokov minulého storočia na tejto TVP k ťažbe vyznačených až 51 stromov s objemom 349 m³. Okrem uvedeného je tiež pravdepodobné, že jednou z príčin vymiznutia brestov bola aj jeho neúspešná prirodzená obnova. Je totiž veľmi citlivý na sucho a tiež mrazy, pričom vyžaduje pomerne vysokú pôdnu vlhkosť.

V dôsledku uvedeného sa výrazne zmenilo drevinové zloženie v prospech buka a nepatrne vzrástlo aj zastúpenie javora horského. Udržanie jedle (hlavne v strednej vrstve) si bude vyžadovať výraznú podporu.



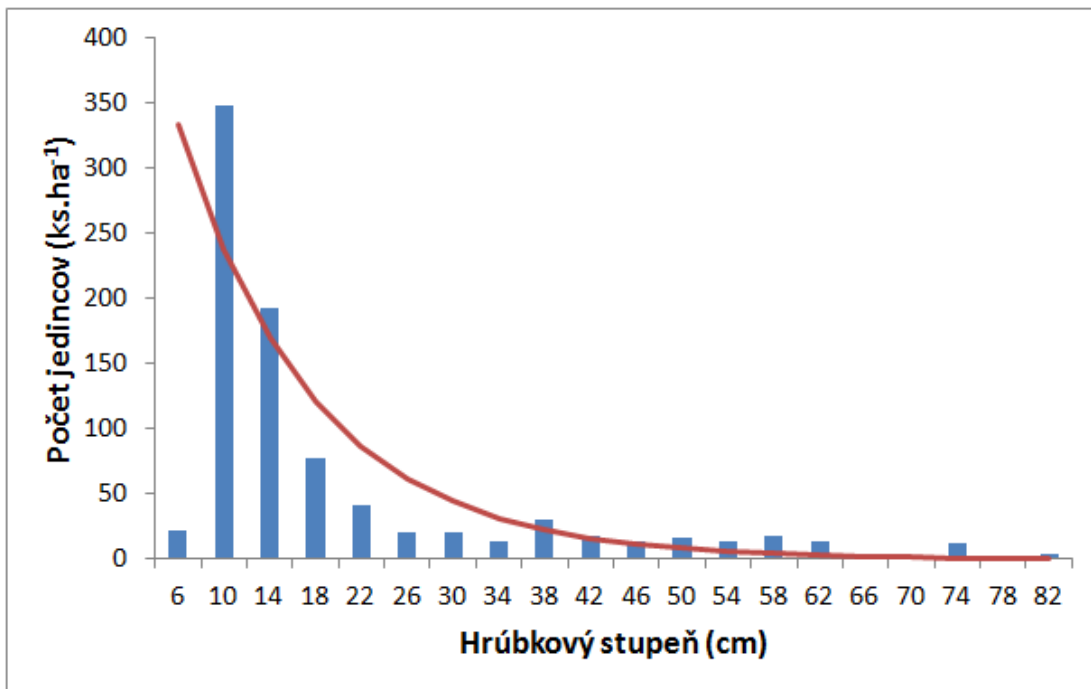
Obr. 5.6.4 Skutočné a modelové rozdelenie početností stromov v hrúbkových stupňoch na TVP 7

Oproti ostatným plochám, porast, kde bola založená TVP 7 bol ponechaný na samovývoj a nachádza sa v rezervácii (NPR Komárnická jedlina). Štruktúra je výrazne ľavostranná s nedostatkom stromov v strednej vrstve a nadbytkom prestarnutých a veľmi hrubých jedincov. Prírodná obnova je veľmi početná (viac ako 8000 ks.ha⁻¹, pritom je viac ako 2500 ks.ha⁻¹ v hrúbkovej kategórii 0,1 až 7,0 cm), čo dáva predpoklad pre rovnovážne fungovanie lesa. Keďže ide o porast v bezzásahovom režime, táto plocha bude slúžiť pre porovnávanie fungovania lesa vplyvom prírodných zákonitostí a usmerňovaného človekom. Vidno, že táto TVP si zachovala členitú vertikálnu štruktúru a aj podľa produkčných ukazovateľov (objem hrubiny, priemerný ročný prírastok) si zachovala najvyššie hodnoty. Z hľadiska drevinového zloženia je potešiteľné, že buk a jedľa si približne zachovali svoje zastúpenie, pričom javor horský ho dokonca zvýšil. Menej priaznivé je zistenie o úbytku bresta horského, smerujúceho až k jeho vymiznutiu na tejto ploche z dôvodov konštatovaných pri TVP 6.



Obr. 5.6.5 Skutočné a modelové rozdelenie početností stromov v hrúbkových stupňoch na TVP 9

Na TVP 9 bola situácia podobná ako na kontrolnej ploche 7 umiestnenej v rezervácii. Z rozdelenia početností je zrejmé, že štruktúra je veľmi blízka výberkovej a približuje sa aj modelovej. Vzhľadom k vysokému počtu jedincov obnovy (viac ako 3400 ks.ha⁻¹ v hrúbkovej kategórii 0,1–7,0 cm) je táto štruktúra udržateľná aj do budúcnosti. Pestovné zásahy by mali byť iba slabé a nasmerované predovšetkým do spodnej vrstvy. Na tejto TVP bolo cieľom budovanie viacvrstvovej štruktúry s podporou jedle. Aj keď jej zastúpenie za sledované obdobie kleslo, možno konštatovať, že súčasné zastúpenie jedle je dostatočné. Dôležitá je najmä skutočnosť, že došlo k jej úspešnej obnove, čo dokazuje aj jej zvýšený počet, spolu s hrúbkovou a výškovou štruktúrou, keď významne sú zastúpené jedince v najnižších hrúbkových triedach. To zároveň dáva predpoklad jej úspešného odrastania v strednej vrstve porastového profilu s perspektívou dosiahnutia hornej vrstvy po vyťažení najhrubších jedincov buka.



Obr. 5.6.3 Skutočné a modelové rozdelenie početností stromov v hrúbkových stupňoch na TVP 10

Aj v prípade TVP 10 ide rozdelenie hrúbkových početností blízke výberkovej štruktúre. Podobne aj tu je mierny nedostatok stromov v strednej vrstve a zároveň nadbytok stromov hrubých (50–60 cm) a veľmi hrubých presahujúcich cieľovú hrúbku 62 cm. Taktiež je v poraste nadbytok stromov v spodnej vrstve. Na tejto TVP bolo dlhodobým zámerom kontrola produkcie. Po 50 rokoch možno konštatovať, že v dôsledku vývoja porastu, ako aj ťažbových zásahov sa zmenilo drevinové zloženie v prospech buka, ktorý sa v minulosti obnovil pod porastovými medzerami, kde dominoval nad jedľou. Táto bola likvidovaná zverou, resp. v konkurenčnom boji s bukom v daných podmienkach zaostávala. Z uvedeného dôvodu sa vyvíjala následná štruktúra porastu, ktorá v súčasnosti dosahuje početnú strednú vrstvu buka a tiež hornú vrstvu spolu s jedľou. V spodnej vrstve sa sporadicky vyskytuje aj prirodzená obnova jedle. Pestovné zásahy by teda mali byť nasmerované do spodnej vrstvy a do nadúrovne.

Tab. 5.6.1 Modelové hektárové zásoby (HBK v m³.ha⁻¹) na TVP podľa vybraných drevín

TVP	Buk (60%)	Jedľa (30%)	Javor (5%)	Brest (5%)	Spolu
4	240	120	20	20	399
5	242	121	20	20	404
6	224	112	19	19	373
7	236	118	20	20	394
9	229	115	19	19	382
10	227	113	19	19	378

Pokiaľ ide celkovú zásobu porastov vo VO Komárnik, tak modelová (cieľová) zásoba (pri modelovej vertikálnej štruktúre) by mala byť mierne nižšia ako je skutočná na TVP 4, 5, 7 a 10 (pritom TVP 7 je s bezzásahovým režimom ako kontrolná). Priemerná modelová zásoba skúmaných porastov by nemala presiahnuť 400 m³.ha⁻¹ (Tab. 5.6.1). Napriek tomu, že súčasné porasty majú vo väčšine prípadov takmer výberkovú štruktúru, nachádzajú sa v nich veľmi hrubé a prestarnuté stromy s vysokým objemom hrubiny.

6. Diskusia

6.1. Produkčný potenciál jedľovo-bukových lesov Východných Karpát

Na začiatku 20. storočia sa v lesoch patriacich do VO Komárnik vykonávala iba túlavá ťažba a lesy mali charakter prírodný až pralesovitý. Počas druhej svetovej vojny sa však štruktúra porastov mierne narušila (ťažili sa najmä stromy v stredných hrúbkových stupňoch), pretože sa v nich vybuďovalo množstvo bunkrov a prebiehali v nich intenzívne boje.

Napriek tomu sa štruktúra porastov pri zakladaní plôch v 50. a 60. rokoch podobala výberkovej (Obr. 5.1.1). Po 50-tich rokoch existencie VO sa štruktúra výraznejšie priblížila výberkovej, čo je samozrejme výsledkom viacerých faktorov, no okrem pestovného usmerňovania najmä náhodnými prírodnými procesmi a udalosťami (prirodzená mortalita prestarnutých jedincov, výskyt vetrových a snehových disturbancií a pod.). Počas 50-tich rokov trvania výskumného objektu sa

vyskytlo niekoľko náhodných ťažieb (kalamít), z ktorých najvýznamnejšia bola vetrová a námrazová kalamita na prelome rokov 1978/79 s rozsahom 25 436 m³ dreva (Štefančík et al., 2012). Z toho jedľa tvorila viac ako polovicu (16 289 m³). Podobne významným bolo odumieranie bresta v 80. rokoch v častiach VO, kde táto drevina mala vysoké zastúpenie (najmä na TVP 6). Prírodné faktory teda mali významný vplyv na dynamiku zmien rastu a štruktúry lesa na VO Komárnik, čo však výrazne ovplyvňuje zhodnotenie vplyvu rozdielneho manažmentu. Umožňuje nám to však sledovať vplyv prírodných disturbancií rôzneho druhu a s rôznou silou na rast a produkciu lesov.

Vetrové a snehové kalamity (spolu s odumieraním bresta) spolu s pestovnými opatreniami viedli k vytvoreniu štruktúry lasa vo VO podobnej výberkovým lesom a pralesom. Preto je zaujímavé produkciu a jej zmeny porovnať s bukovými a jedľovo-bukovými pralesmi Slovenska. Porovnanie nám pomôže zhodnotiť súčasnú produkciu lesov vo VO Komárnik vo vzťahu k možnému potenciálu takýchto lesov. V pralesoch Slovenska sa zásoba bukových porastov v štádiu dorastania pohybuje od 480 m³.ha⁻¹ po 760 m³.ha⁻¹ v závislosti od kvality stanovišťa (Saniga, 2011). V štádiu optima sa hektárová zásoba bukových pralesov pohybuje od 520 m³ až do 1030 m³. Nakoniec, hektárové zásoby bukových pralesov v štádiu rozpadu sa pohybujú od 470 m³ do 700 m³. Ak by sme to porovnali s lesmi vo výskumnom objekte, identifikovali by sme štádium rozpadu vzhľadom k zásobe, ktorá sa pohybuje od 300 m³.ha⁻¹ po 550 m³.ha⁻¹ a tiež vzhľadom k veľmi bohatej a nadpriemernej hustote prirodzenej obnovy.

Výsledky výskumov v Európe naznačujú, že zmiešané lesy majú väčší produkčný potenciál ako rovnírodé (Pretzsch and Schütze, 2009; Pretzsch et al., 2010; Pretzsch et al., 2013a; Toigo et al., 2015). Niektoré štúdie dokonca tvrdia, že dreviny v zmiešaných lesoch sú menej citlivé na negatívne faktory ako tie isté dreviny v rovnírodnom lese (Lebourgeois et al., 2013; Pretzsch et al., 2013b). Najnovšie výskumy (Bošela et al., 2015) ukazujú, že buk je sám sebe väčším konkurentom, a preto môže dosiahnuť vyššiu produkciu, keď rastie v zmiešaní s jedľou alebo smrekom. Výberový dizajn vo VO Komárnik neumožňoval preveriť, či a do akej miery sú zmiešané porasty tvorené najmä bukom a jedľou produkčnejšie

ako by boli nezmiešané bučiny. Vzhľadom k najnovším poznatkom vedeckých štúdií uvedených vyššie, ale aj v rozbere problematiky je však pravdepodobné, že bukové porasty s primiešaním jedle budú produkovať viac ako rovnorodé bučiny. Cieľom výskumu vo VO Komárnik však bolo, okrem zachovania drevinového zmiešania, prípadne podpory primiešania niektorých druhov drevín v bučinách (brest, javor či jedľa), udržanie či zlepšenie vertikálnej štruktúry porastov a ich prebudova na výberkové lesy.

6.2. Produkčný a ekologický potenciál buka a jedle v kontexte klimatických zmien

Jedľa je ekologicky, ale i produkčne veľmi dôležitou súčasťou prevažne bukových lesných ekosystémov v tomto regióne o čom svedčí aj vytvorenie NPR Komárnicka jedlina. Patrí medzi najproduktívnejšie a ekologicky významné dreviny európskych lesných ekosystémov (Korpel' et al., 1982). V postglaciálnom období sa jedľa objavovala ako jedna z posledných drevín koncom antika (asi 2500 rokov pred n.l.). Jedľa sa šírila najmä z dvoch hlavných refúgií a to z Balkánu a Apeninského polostrova (Liepelt et al., 2002). Počas postglaciálnej rekolonizácie sa populácie expandujúce z rozdielnych refúgií stretli vo východnej a západnej časti Panónskej panvy (Gömöry et al., 2004). Stret oboch populácií v severnej časti Karpát (vo Východných Karpatoch) je považovaný za posledný sekundárny kontakt refugiálnych migračných ciest.

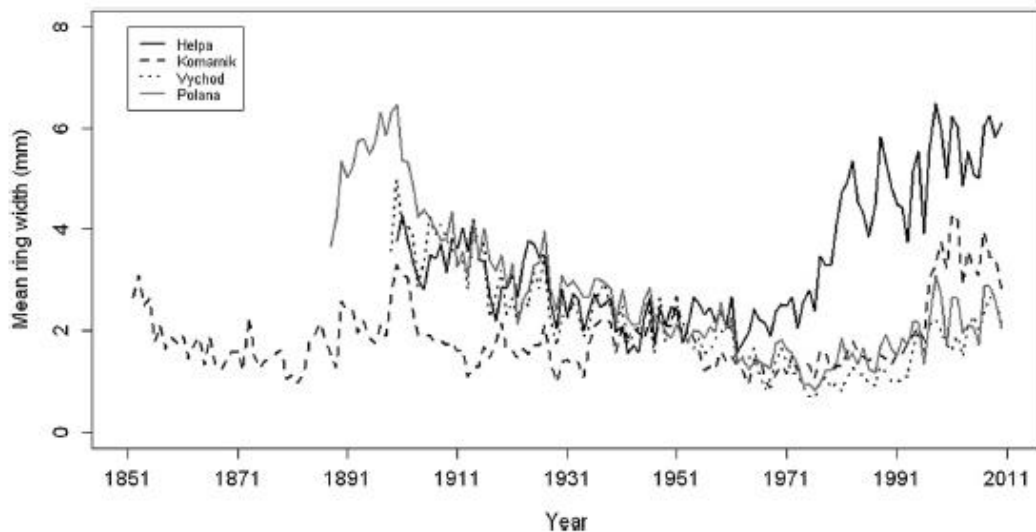


Obr. 6.1 Jedľové drevo sa využíva najmä ako stavebný (konštrukčný) materiál, pre výrobu šindľov a sudov, na vodné stavby (člny, pilóty, hate) a pod. (foto: zrubový dom v Nižnom Komárniku)

Donedávna sa jedľa považovala za drevinu, ktorá preferuje chladnú a vlhkú klímu (Ellenberg, 2009), avšak posledné paleontologické štúdie ukázali, že pred intenzívnym využívaním pôdy a antropogénnymi požiarimi (pred ~5000 rokmi) jedľa tvorila lesy aj v teplých a subtropických podmienkach v južnej Európe, kde priemerné júlové teploty boli v rozsahu 21 až 25°C a kde v súčasnosti jedľa takmer úplne absentuje (Tinner et al., 2013). V minulosti preto jedľa dosahovala omnoho vyššie zastúpenie so širším distribučným areálom v Európe.

Napriek vysokej potenciálnej produkcii je jedľa veľmi citlivá na znečistenie prostredia, a preto opakovane zaznamenávala zhoršenie zdravotného stavu a následné odumieranie v minulosti. Výrazné zhoršenie zdravotného stavu jedle sa zaznamenalo nielen na Slovensku, ale aj v celej Európe a za hlavnú príčinu sa považovali vysoké úrovne emisií (najmä však síry) (Muzika et al., 2004; Elling et al., 2009; Bošľa et al., 2014; Büntgen et al., 2014). Avšak, úrovne emisií výrazne klesali od 80-tych rokov 20. storočia (Smith et al., 2011). Následne niekoľko štúdií poukázalo na zvýšenie prírastkov najmä u smreka (Hauck et al., 2012) a jedli (Elling et al., 2009; Bošľa et al., 2014; Büntgen et al., 2014). Komárnická jedľa, ako naznačili výsledky analýz v tejto práci, nie je výnimkou. Táto jedľa, podobne ako v iných častiach strednej a západnej Európy, negatívne zareagovala poklesom

radiálnych prírastkov s následnou regeneráciou a rapídnyim zvýšením prírastkov, ktoré dokonca dosiahli v poslednom desaťročí nevídanú úroveň.



Obr. 6.1 Dynamika radiálnych prírastkov jedle (priemerné letokruhové prírastky) za posledných 100-150 rokov na štyroch lokalitách na území Slovenska (Bošela et al., 2014)

Ubúdanie jedle v minulosti bolo taktiež spôsobované pre jedľa nie veľmi vhodnými holorubnými hospodárskymi postupmi (Bezačinský, 1960; Korpel' and Vinš, 1965). Najnovšie poznatky však naznačujú, že jedľa má v súčasnej dobe veľký produkčný a najmä ekologický potenciál vzhľadom k výrazným poklesom emisií (Elling et al., 2009; Büntgen et al., 2014; Bošela et al., 2014) a môže mať obrovský potenciál pre zachovanie vysokej produkcie a pre udržanie zásob uhlíka v európskych lesoch v najbližších storočiach (Tinner et al., 2013). Veľmi významná je jej pozitívna reakcia na mierne zvýšenie teplôt v neskorých zimných mesiacoch, ale aj v mesiaci júl, čo naznačuje určitý potenciál do budúcnosti, keďže smrek je veľmi citlivá drevina na extrémny počasie a najmä na sucho. Najnovšie štúdie preukázali, že jedľa má veľký prírastkový potenciál aj vo vyššom veku (nad 150 rokov), čo umožňuje uplatňovanie rôznych prírode blízkych metód pestovania lesov.

Buk je rozšírený po celej Európe a je ekonomicky veľmi cenný. Hoci nie je veľmi náročný na pôdu, vyžaduje vyššiu vlhkosť vzduchu (vyrovnané rozloženie zrážok počas roka a časté hmly) a drenážované pôdy (je citlivý na stagnujúcu vodu v pôde). Preferuje mezotrofné, kalcifilné, či mierne kyslé pôdy. Dobře znáša chladné

zimy, avšak je citlivý na skoré jarné mrazy. Zastúpenie buka v Karpatoch je približne 16 % (Brus et al., 2011). Predpokladá sa, že buk je tu rozšírený v pôvodnom zastúpení (Ellenberg et al., 1986), ktorého maximum bolo dosiahnuté v Holocéne (Bradshaw, 2004). V súčasnosti buk tvorí prevažne prirodzené lesy a iba zriedkavo je umelo vysádzaný, pričom jeho reprodukčný materiál nebol vo výraznej miere komerčne distribuovaný. V niektorých Európskych krajinách však bukové porasty boli extenzívne konvertované na poľnohospodárske plochy (Bolte et al., 2007). Buk zohráva dôležitú úlohu pri tvorbe stratégií na adaptáciu lesov na klimatické zmeny v Karpatoch (Tarp et al., 2000). Štúdie vykonané v nižších polohách rozšírenia buka, napr. v Španielsku (Peñuelas and Boada, 2003; Jump et al., 2006; Peñuelas et al., 2007) alebo Maďarsku (Mátyás et al., 2010) naznačujú, že buk je senzitívny na veľmi suché roky s následkom jeho odumierania. Takýto stav môže byť nasledovaný kalamitným premnožením hmyzu ako napr. podkôrny hmyz (*Taphrorychus bicolor*) (Mátyás et al., 2010), alebo zvýšená virulencia patogénov (*Nectria ditissima*). Taktiež viaceré modely naznačujú výskyt zvýšenej mortality a zníženej produkcie buka spôsobenej klimatickou zmenou v nižších polohách jeho ekologickej amplitúdy (napr. Hlásny et al., 2011; Czúcz et al., 2011). Vplyv sucha na odumieranie buka v Európe sa potvrdil ako priamym terénnym zisťovaním (Jump et al. 2006; Mátyás et al., 2010), tak aj pomocou modelovania (Hlásny et al., 2011a). Navyše, buk hrá dôležitú úlohu v súčasných stratégiách týkajúcich sa napr. znovuzalesnenia poľnohospodárskych pôd, resp. premeny lesov na lesy adaptabilné (Tarp et al., 2000).

Pokiaľ sa týka buka a bukových porastov vo VO Komárnik, stromy dosiahli priemerné periodické prírastky na kruhovej základni podobné jedli (pozri Obr. 5.3.1 a 5.3.2). Jedľa však výrazne zredukovala svoje prírastky v období rokov 1950 – 1990 a po uvoľnení emisií výrazne zlepšila svoj rast. U buka však nebolo možné detailnejšie zhodnotiť medziročnú dynamiku radiálnych prírastkov a teda ani vyhodnotiť vplyv emisií a recentných klimatických zmien. Lepšie porovnanie týchto dvoch drevín a ich reakcií na emisie a zmenu klímy by si preto vyžadovalo ďalší výskum.

7. Záver a odporúčania pre využitie poznatkov v praxi

Výsledky analýz ukázali, že súčasná štruktúra jedľovo-bukových porastov vo VO Komárnik je výrazne diferencovaná a často sa približuje optimálnej výberkovej. Výrazné zmeny vo vertikálnej štruktúre, zastúpení drevín a zásobách boli za posledných 50 rokov spôsobené najmä vplyvom prírodných faktorov a plošných disturbancií ako vetrová kalamita 1978/79, či hromadné hynutie brestov. Celkové zásoby sa za 50 rokov monitoringu buď výrazne nezmenili, alebo výrazne klesli práve vplyvom náhodných prírodných udalostí. Súčasná zásoba týchto porastov sa pohybuje v rozpätí od $320 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$ do takmer $620 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$. Pri založení výskumných plôch v rokoch 1957–1964 však zásoby v niektorých porastoch dosahovali až $1000 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$. Toto naznačuje pomerne vysoký produkčný potenciál, čomu nasvedčuje aj nadpriemerný výškový rast buka a jedle (ale aj ostatných dôležitých drevín ako javor a brest) v porovnaní s priemernými produkčnými pomermi na Slovensku.

Pre jedľovo-bukové porasty sa navrhli modely štruktúry a zásoby, ktoré vychádzali z kvantitatívneho a kvalitatívneho rozboru súčasnej štruktúry a zásoby a tiež s ohľadom na súčasný stav prirodzenej obnovy. Tieto modely udávajú zásobu modelových porastov pri modelovej štruktúre okolo $400 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$. Táto zásoba je menšia ako zásoba, ktorú dokážu tieto porasty dosiahnuť. V súčasných porastoch je však pomerne vysoký výskyt veľmi hrubých a prestarnutých stromov, ktoré by mali byť v najbližšom období odstránené. Tieto stromy majú nízku kvalitu dreva a vďaka veľkým rozmerom sa zvyšujú náklady na ich ťažbu a ďalšie spracovanie na pilách. Preto sa pre tieto porasty stanovila cieľová hrúbka 62 cm s počtom stromov v tejto kategórii $3 \text{ ks} \cdot \text{ha}^{-1}$. Kvocient geometrického radu, potrebného pre definovanie cieľovej štruktúry, sa stanovil na hodnotu 1,4. Takáto hodnota sa používa pre nadpriemerne produkčné výberkové lesy. Vzhľadom k tomu, že buk pri väčšom uvoľnení rastového priestoru má tendenciu zväčšovať svoju korunu do šírky a znižovať kvalitu kmeňa, odporúča sa ho pestovať v menších či väčších skupinách, t.j. aplikovať skupinovú formu výberkového hospodárskeho spôsobu. Pokiaľ ide o zastúpenie drevín, navrhuje sa ponechať súčasné drevinové zloženie zahŕňajúce druhy ako jedľa, javor a brest s bukom ako dominantnou drevinou. Vzhľadom k vysokému produkčnému potenciálu jedle a taktiež jej bohatej prirodzenej obnove

má táto drevina dobrý potenciál a mala by byť v týchto lesoch podporovaná a chránená proti poškodzovaniu zverou.

8. Literatúra

- Ainsworth, E.A., Long, S.P., 2005. What have we learned from 15 years of free-air CO₂ enrichment (FACE)? A meta-analytic review of the responses of photosynthesis, canopy properties and plant production to rising CO₂. *New Phytol.* 165, 351–372.
- Allen, C.D., Macalady, A.K., Chenchouni, H., Bachelet, D., McDowell, N., Vennetier, M., Kitzberger, T., Rigling, A., Breshears, D.D., Hogg, E.H., Gonzalez, P., Fensham, R., Zhang, Z., Castro, J., Demidova, N., Lim, J.-H., Allard, G., Running, S.W., Semerci, A., Cobb, N., 2010. A global overview of drought and heat-induced tree mortality reveals emerging climate change risks for forests. *For. Ecol. Manag.* 259, 660–684.
- Assmann, E., 1961: *Waldtragskunde*. Munchen, Bonn, Wien, BLV. Verlagsges.
- Assmann, E., 1970 *The principles of forest yield study*. Pergamon Press Ltd, Oxford, New York, Toronto, Sydney, Braunschweig.
- Assmann, E., Franz, F., 1965: *Vorläufige Fichten- Ertragstafeln für Bayern*. *Forstwissenschaftliches Centralblatt* 84, 13–43.
- Badoux, E., 1968: *Ertragstafeln für die Fichte in der Schweiz*. Birmensdorf ZH. Eidgenössische Anstalt für das forstliche Versuchswesen, 75 pp.
- Barnes, V.B., Zak, R.D., Denton, R.S., Spurr, H.S., 1998: *Forest Ecology*. 4th edition. John Wiley and Sons, Inc., USA, 774 s.
- Barna, M., 2004. Adaptation of European beech (*Fagus sylvatica* L.) to different ecological conditions: leaf size variation. *Polish J. Ecol.* 52, 34–45.
- Barnes, V.B., Zak, R.D., Denton, R.S., Spurr, H.S., 1998. *Forest Ecology*. 4th edition. John Wiley and Sons, Inc., USA, 774 s., ISBN 978-0-471-30822-5.
- Berki, I., Rasztoivits, E., Móricz, N., Mátyás, C., 2009. Determination of the drought tolerance limit of beech forests and forecasting their future distribution in Hungary. *Cereal Res. Commun.* 37, 613–616.
- Bezačinský, H., 1958. Je výberkové hospodárstvo správnou cestou k zvyšovaniu produktívnosti lesov na Slovensku? In Halaj, J. (ed.). *O výberkových lesoch*

- na Slovensku: Sborník z vedeckej konferencie konanej 2. – 5.10 1956. Bratislava: Vydavateľstvo Slovenskej akadémie vied 1958, s. 12–20.
- Bezačinský L., 1960. Problém odumierania jedle na Slovensku z pestovateľského hľadiska. Zborník „Jedľa na Slovensku“, Bratislava.
- Bielak, K., Dudzińska, M., Pretzsch, H. 2014. Mixed stands of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) and Norway spruce [*Picea abies* (L.) Karst] can be more productive than monocultures. Evidence from over 100 years of observation of long-term experiments. *For. Syst.* 23(3), 573–589.
- Bigler, C., Bräker, O., Bugmann, H., Dobbertin, M., Rigling, A., 2006. Drought as an inciting mortality factor in scots pine stands of the Valais, Switzerland. *Ecosystems* 9, 330–343.
- Boisvenue, C., Running, S.W., 2006. Impacts of climate change on natural forest productivity - evidence since the middle of the 20th century. *Glob. Change Biol.* 12, 862–882.
- Bolte, A., Czajkowski, T., Kompa T., 2007. The north-eastern distribution range of European beech a review. *Forestry* 80(4), cpm028.
- Bošela, M., Petráš, R., Sitková, Z., Priwitzer, T., Pajčík, J., Hlavatá, H., Sedmák, R. & Tobin, B., 2014. Possible causes of the recent rapid increase in the radial increment of silver fir in the Western Carpathians. *Environ. Pollut.* 184, 211–221.
- Bosela, M., Tobin, B., Šeben, V., Petráš, R., Larocque, G.R., 2015. Different mixtures of Norway spruce, silver fir, and European beech modify competitive interactions in central European mature mixed forests. *Can. J. For. Res.* 45, 1577–1586.
- Bošela, M., Larocque, G.R., Baycheva, T., Valbuena, R., Lier, M., 2016. Criteria and indicators of sustainable forest management. In Larocque, G. (ed.). *Ecological Forest Management Handbook*, CRC Press, s. 377–409. ISBN 9781482247855.

- Bradshaw, R.H.W., 2004. Past anthropogenic influence on European forests and some possible genetic consequences. *For. Ecol. Manage.* 197, 203–212.
- Brus, D.J., G.M. Hengeveld, D.J.J. Walvoort, P.W. Goedhart, A.H. Heidema, G.J. Nabuurs, Gunia, K., 2011. Statistical mapping of tree species over Europe. *Eur. J. For. Res.* 131, 145–157.
- Büntgen, U., Tegel, W., Kaplan, J.O., Schaub, M., Hagedorn, F., Bürgi, M., Brázdil, R., Helle, G., Carrer, M., Heussner, K.U., Hofmann, J., Kontic, R., Kyncl, T., Kyncl, J., Camarero, J.J., Willy, T., Esper, J. & Liebhold, A., 2014. Placing unprecedented recent fir growth in a European-wide and Holocene-long context. *Front. Ecol. Environ.* 12, 100–106.
- Campioli, M., Vincke, C., Jonard, M., Kin, V., Demarée, G., Ponette, Q., 2012. Current status and predicted impact of climate change on forest production and biogeochemistry in the temperate oceanic European zone: review and prospects for Belgium as a case study. *J. For. Res.* 17, 1–18.
- Canham, Ch.D., Papaik, M.J., Uriarte, M., McWilliams, W.H., Jenkins, J.C., Twery, M.J., 2006. Neighborhood analysis of canopy tree competition along environmental gradients in New England forests. *Ecol. Appl.* 16, 540–554.
- Cardinale, B.J., Duffy, J.E., Gonzalez, A., Hooper, D.U., Perrings, C., Venail, P., et al. 2012. Biodiversity loss and its impact on humanity. *Nature* 486, 59–67.
- Colwell, R.K., Brehm, G., Cardelús, C.L., Gilman, A.C., Longino, J.T., 2008. Global warming, elevational range shifts, and lowland biotic attrition in the wet tropics. *Science* 322, 258–261.
- Curt, T., Bouchaud, M., Agrech, G., 2001: Predicting site index of Douglas-Fir plantations from ecological variables in the Massif Central area of France. *For. Ecol. Manag.* 149, 61–74.
- Czajkowski, T., Kuhling, M., Bolte, A., 2005. Einfluss der Sommer-trockenheit im Jahre 2003 auf das Wachstum von Natur - verjüngungen der Buche (*Fagus sylvatica* L.) im nordöstlichen Mitteleuropa. *Allg. Forst. Jagdztg.* 176, 133–143.

- Czúcz, B., Gálhidy, L., & Mátyás, C., 2011. Present and forecasted xeric climatic limits of beech and sessile oak distribution at low altitudes in Central Europe. *Ann. For. Sci.* 68, 99–108. doi:10.1007/s13595-011-0011-4.
- Das, A., Battles, J., Stephenson, N.L., Mantgem, Ph., 2011. The contribution of competition to tree mortality in old-growth coniferous forests. *For. Ecol. Manag.* 261, 1203–1213.
- de Melo, J., Mathys, N.A. 2010. Trade and Climate Change: The Challenges Ahead, CEPR Discussion Paper No. 8032, Center for Economic Policy Research September 2010.
- Dekker, M., Sass-Klaassen, U., den Ouden, J., Goedhart, P.W., 2009. The effect of canopy position on growth and mortality in mixed sapling communities during self-thinning. *Eur. J. For. Res.* 128, 455–466.
- Del Río, M., Condés, S., Pretzsch, H., 2014. Analyzing size-symmetric vs. Size asymmetric and intra-vs. inter-specific competition in beech (*Fagus sylvatica* L.) mixed stands. *For. Ecol. Manage.* 325, 90–98.
- Del Río, M., Schütze, G., Pretzsch, H., 2013. Temporal variation of competition and facilitation in mixed species forests in Central Europe. *Plant Biol.* 16, 166–176. doi:10.1111/plb.12029
- Del Río, M., Sterba, H., 2009. Comparing volume growth in pure and mixed stands of *Pinus sylvestris* and *Quercus pyrenaica*. *Ann. For. Sci.* 66(5), 1–11.
- Delzon, S., Urli, M., Samalens, J.-C., Lamy, J.-B., Lischke, H., Sin, F., Zimmermann, N.E., Porté, A.J., 2013. Field evidence of colonisation by Holm oak, at the northern margin of its distribution range, during the Anthropocene period. *Plos One* 8, e80443.
- Dietrich, V., 1923. Beiträge zur Zuwachslehre. *Silva* 23, 177–181.
- Duc, P., 1991. Untersuchungen zur Dynamik des Nachwuchses in Emmentaler Plenterflächen, Schweiz. *Z. Forstwesen* 142(4), 299–319.
- Eid, T., Tuhus, E., 2001. Models for individual tree mortality in Norway. *For. Ecol. Manag.* 154, 69–84.

- Ellenberg, H., 1996. *Vegetation Mitteleuropas mit den Alpen*, 5th edn. Ulmer, Stuttgart.
- Ellenberg, H. 2009. *Vegetation ecology of Central Europe*. Fourth edition. Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- Ellenberg, H., Mayer, R., Schauermann, J., 1986. *Ökosystemforschung – Ergebnisse des Sollingprojektes*. Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart, 507 s.
- Elling, W., Dittmar, C., Pfaffelmoser, K., Rötzer, T., 2009. Dendroecological assessment of the complex causes of decline and recovery of the growth of silver fir (*Abies alba* Mill.) in Southern Germany. *For. Ecol. Manage.* 257, 1175–1187.
- Eriksson, M., Pouttu, A., Roininen, H., 2005. The influence of windthrow area and timber characteristics on colonization of wind-felled spruces by *Ips typographus* (L.). *For. Ecol. Manag.* 216, 105–116.
- Erteld, W., Hengst, E., 1966. *Waldetragslehre*. Radebeul. Naumann Verlag, 332 s.
- European Environment Agency (EEA), 2012. *Climate Change, Impacts and Vulnerability in Europe 2012 e an Indicator based Report*. European Environment Agency, Denmark, 304 s.
- Fabrika, M., 2004: *Ekologická bonitácia v modeli rastu lesa Sibyla na podklade klimatických a pôdnych charakteristík*. In: *Climate change - weather extremes organisms and ecosystems*. Slovak bioclimatological society SAS, Bratislava: s. 143–159.
- Flury, P., 1929. Über den Aufbau des Plenterwaldss. *Mitteilungen der Schweizerischen Central Anstalt für das forstliche Versuchswesen*, H 2, s. 305–357.
- Forrester, D.I., Bauhus, J., Cowie, A.L., Vanclay, J.K., 2006. Mixed-species plantations of Eucalyptus with nitrogen-fixing trees: a review. *For. Ecol. Manage.* 233, 211–230.
- Forrester, D.I., Kohnle, U., Albrecht, A.T., Bauhus, J. 2013. Complementarity in mixed-species stands of *Abies alba* and *Picea abies* varies with climate, site quality and stand density. *For. Ecol. Manage.* 304, 233–242.

- Gamfeldt, L., Snäll, T., Bagchi, R., Jonsson, M., Gustafsson, L., Kjellander, P., et al. 2013. Higher levels of multiple ecosystem services are found in forests with more tree species. *Nature Communications* 4, 1340.
- Goldblum, D., Rigg, L.S., 2005. Tree growth response to climate change at the deciduous–boreal forest ecotone, Ontario, Canada. *Can. J. For. Res.* 35, 2709–2718.
- Gömöry, D., Longauer, R., Liepelt, S., Ballian, D., Brus, R., Kraigher, H., Parpan, V.I., Parpan, T. V., Paule, L., Stupar, V.I., Ziegenhagen, B., 2004. Variation patterns of mitochondrial DNA of *Abies alba* mill. in suture zones of postglacial migration in Europe. *Acta Societatis Botanicorum Poloniae* 73, 203–206.
- Greguš, C., 2002: Dlhodobý rozvoj lesného hospodárstva na Slovensku (Štúdiá). Zvolen, ÚEL SAV, 54 s.
- Griess, V.C., Knoke, T., 2011. Growth performance, windthrow, and insects: meta-analyses of parameters influencing performance of mixed-species stands in boreal and northern temperate biomes. *Can. J. For. Res.* 41, 1141–1158.
- Halaj, J., 1963: Tabuľky na určovanie hmoty a prírastku porastov. Bratislava: Slovenské vydavateľstvo pôdohospodárskej literatúry, 327 p.
- Halaj, J., Grék, J., Pánek, F., Petráš, R., Řehák, J., 1987. Rastové tabuľky hlavných drevín ČSSR [Growth tables of the main tree species in Czechoslovak Socialist Republic]. *Príroda*, Bratislava.
- Halaj, J. Petráš, R. 1998. *Rastové tabuľky hlavných drevín*. Bratislava: SAP Press, 1998, 325 s., ISBN 80-88908-22-1.
- Hauck, M., Zimmermann, J., Jacob, M., Dulamsuren, C., Bade, C., Ahrends, B., Leuschner, C., 2012. Rapid recovery of stem increment in Norway spruce at reduced SO₂ levels in the Harz Mountains, Germany. *Environ. Pollut.* 164, 132–141.
- Hein S., Lenk E., Klädtke J., Kohnle U., 2007. Effect of crop tree selective thinning on beech (*Fagus sylvatica* L.). *Allg. Forst. Jagdztg.* 178, 8–20.

- Hlásny, T., Barcza, Z., Fabrika, M., Balázs, B., Churkina, G., Pajtík, J., Sedmák, R., Turčáni, M., 2011a. Climate change impacts on growth and carbon balance of forests in Central Europe. *Clim. Res.* 47, 219–236. doi:10.3354/cr01024
- Hlásny, T., Zajíčková, L., Turčáni, M., Holuša, J., Sitková, Z., 2011b. Geographical variability of spruce bark beetle development under climate change in the Czech Republic. *J. For. Sci.* 57, 242–249.
- Hlásny, T., Barcza, Z., Fabrika, M., Balázs, B., Churkina, G., Pajtík, J., Sedmák, R., Turčáni, M., 2012. Climate change impacts on growth and carbon balance of forests in Central Europe. *Clim. Res.* 47, 219–236.
- Hooper, D.U., Adair, E.C., Cardinale, B.J., Byrnes, J.E.K., Hungate, B.A., Matulich, K.L., Gonzalez, A., Duffy, J.E., Gamfeldt, L., O'Connor, M.I. 2012. A global synthesis reveals biodiversity loss as a major driver of ecosystem change. *Nature* 486, 105–108.
- Jarčuška B., Barna M., 2011. Influence of light availability on height growth of naturally regenerated beech with different growth histories. *Austrian J. For. Sci.* 128, 53–65.
- Jarolímek, I., Zaliberová, M., Mucina, L., Mochnacký, S., 1997. Vegetácia Slovenska, Rastlinné spoločenstvá Slovenska, 2. Synantropná vegetácia, Veda, Bratislava, 420 s.
- Jump, A.S., Hunt, J.M., Peñuelas, J., 2006. Rapid climate change-related growth decline at the southern range edge of *Fagus sylvatica*. *Glob. Change Biol.* 12, 2163–2174.
- Kahle, H.-P., Karjalainen, T., Schuck, A., Ågren, G.I., Kellomäki, S., Mellert, K., Prietzel, J., Rehfuss, K.E., Spiecker, H., 2008. Causes and Consequences of Forest Growth Trends in Europe e Results of the RECOGNITION Project. European Forest Institute Research Report 21. Brill, Leiden.
- Kahn, M., 1994. Modellierung der Höhenentwicklung ausgewählter Baumarten in Abhängigkeit vom Standort. *Forstliche Forschungsberichte, Munchen*, vol. 141, 221 s.

- Kelty, M.J. 1992. Comparative productivity of monocultures and mixed stands. In: Kelty MJ, Larson BC, Oliver CD (eds) *The ecology and silviculture of mixed-species forests*. Kluwer, Dordrecht, s. 125–141.
- Kint, V., Aertsen, W., Campioli, M., Vansteenkiste, D., Delcloo, A., Muys, B., 2012. Radial growth change of temperate tree species in response to altered regional climate and air quality in the period 1901–2008. *Clim. Change* 115 (2), 343–363.
- Klouček, T., Štefančík, I., Petráš, R., Mecko, J., Slávik, M., 2015. Modely výškových kriviek jedľovo-bukových porastov Východných Karpát. *Lesn. Čas. - For. J.* 61, 107–113.
- Korpeľ, Š., 1988. Dynamika rastu a vývoja bukových porastov vo fáze mladiny až žrdoviny vplyvom pestovnej techniky. *Acta Facultatis Forestalis Zvolen* 30, 9–38.
- Korpeľ, Š., Vinš, B., 1965. *Pestovanie jedle*. Slovenské vydavateľstvo pôdohospodárskej literatúry, Bratislava.
- Korpeľ, Š., Paule, L., Laffers, A., 1982. Genetics and breeding of the silver fir (*Abies alba* Mill.). *Annales Forestales* 9 (5), 151–184.
- Kulla, L., Bošľa, M., Burgan, K., 2010. Potreba a možnosti inovácie rámcového plánovania HÚL na Slovensku. In Bortel, S., Bavlšík, J. (eds.): *Súčasnosť a budúcnosť hospodárskej úpravy na Slovensku*. Zvolen, NLC, s 42–49.
- Košút, M., 1982: Tridsať rokov výberného spôsobu hospodárenia v lesoch na východnom Slovensku. *Lesnícky časopis*, 28(5), 375-381.
- Le Goff, N., Ottorini, J.-M. 2001. Root biomass and biomass increment in a beech (*Fagus sylvatica* L.) stand in North-East France. *Ann. For. Sci.* 58, 1–13.
- Lebourgeois, F., Gomez, N., Pinto, P., Mérian, P., 2013. Mixed Stands Reduce *Abies alba* Tree-Ring Sensitivity to Summer Drought in the Vosges Mountains, Western Europe. *For. Ecol. Manage.* 303, 61–71. doi:10.1016/j.foreco.2013.04.003.

- Lenoir, J., Gégout, J.C., Pierrat, J.C., Bontemps, J.D., Dhote, J.F., 2009. Differences between tree species seedling and adult altitudinal distribution in mountain forests during the recent warm period (1986–2006). *Ecography* 32, 765–777.
- Liepelt, S., Bialozyt, R., Ziegenhagen, B., 2002. Wind-dispersed pollen mediates postglacial gene flow among refugia. *PNAS* 99, 14590–14594.
- Lindner, M., 2000. Developing adaptive forest management strategies to cope with climate change. *Tree Physiol.* 20, 299–307.
- Lindner, M., Maroschek, M., Netherer, S., Kremer, A. et al., 2010. Climate change impacts, adaptive capacity, and vulnerability of European forest ecosystems. *For. Ecol. Manag.* 259, 698–709.
- Lorey, T., 1902. Mischbestände aus Fichte und Buche. *Allg. Forst. Jagdztg* 78, 41–46.
- Mátyás, C., Berki, I., Czúc, B., Gálos, B., Móricz, N., Rasztoivts, E., 2010. Future of beech in Southeast Europe from the perspective of evolutionary ecology. *Acta Silv. Lign. Hung.* 6, 91–100.
- Midriak et al., 1986. Vplyv foriem hospodárskych spôsobov na plnenie funkcií lesa v zmiešaných JD-BK porastoch vo VO Komárnik. Metodika riešenia ČVÚ R 531-033-05. Košice: VS VÚLH, 23 s.
- Mitscherlich, G., 1978: Wald, Wachstum und Umwelt. Frankfurt a M, 2. überarb.
- Mitscherlich, G., 1952. Der Tannen-Fichten-(Buchen)-Plenterwald. Freiburg, Schriftenreihe d. Badischen Forstlichen Versuchsanstalt, H 8, 42 s.
- Monserud, R.A., 1988. Variations on a theme of site index. In: A.R. Ek, S.R. Shifley, T.E. Burk. (eds.), *Forest growth modeling and prediction*. USDA For. Serv. Gen. Tech. Rep. NC-120, s. 419–427.
- Monserud, R.A., Ledermann, T., Sterba, H., 2004. Are self-thinning constraints needed in a tree-specific mortality model? *For. Sci.* 50, 848–858.
- Monserud, R. A., Huang, Sh., Yang, Y., 2006: Predicting lodgepole pine site index from climatic parameters in Alberta. *The Forestry Chronicle* 82, 562–571.

- Morice, C.P., Kennedy, J.J., Rayner, N.A., Jones, P.D., 2012. Quantifying uncertainties in global and regional temperature change using an ensemble of observational estimates: the HadCRUT4 dataset. *J. Geophys. Res.* 117 (D8), 27.
- Morin, X., Fahse, L., Scherer-Lorenzen, M., Bugmann, H., 2011. Tree species richness promotes productivity in temperate forests through strong complementarity between species. *Ecol. Lett.* 14, 1211–1219.
- Muzika, R.M., Guyette, R.P., Zielonka, T., Liebhold, A.M., 2004. The influence of O₃, NO₂ and SO₂ on growth of *Picea abies* and *Fagus sylvatica* in the Carpathian Mountains. *Envi. Pol.*, 130, 65–71.
- Oliver, C.D., Larson, B.C., 1996: Forest stand dynamics. John Wiley & Sons, Inc., USA, 520 s.
- Paquette, A., Messier, C., 2011. The effect of biodiversity on tree productivity: from temperate to boreal forests. *Glob. Ecol. Biogeogr.* 20(1), 170–180.
- Peñuelas, J., Boada, M., 2003. A global change-induced biome shift in the Montseny Mountains (NE Spain). *Glob. Change Biol.* 9, 131–140.
- Peñuelas, J., Ogaya, R., Boada, M., & S. Jump, A., 2007. Migration, invasion and decline: changes in recruitment and forest structure in a warming-linked shift of European beech forest in Catalonia (NE Spain). *Ecography* 30(6), 829–837. doi:10.1111/j.2007.0906-7590.05247.x.
- Peñuelas, J., Hunt, J.M., Ogaya, R., Jump, A.S., 2008. Twentieth century changes of tree-ring $\delta^{13}\text{C}$ at the southern range-edge of *Fagus sylvatica*: Increasing water-use efficiency does not avoid the growth decline induced by warming at low altitudes. *Glob. Chang. Biol.* 14, 1076–1088. doi:10.1111/j.1365-2486.2008.01563.x
- Petráš, R., Pajtík, J., 1991. Sústava česko-slovenských objemových tabuliek drevín. *Lesnícky časopis* 37, 49–56.

- Piao, S., Wang, X., Ciais, P., Zhu, B., Wang, T.A.O., Liu, J.I.E., 2011. Changes in satellite- derived vegetation growth trend in temperate and boreal Eurasia from 1982 to 2006. *Glob. Change Biol.* 17, 3228–3239.
- Piotto, D., 2008. A meta-analysis comparing tree growth in monocul- tures and mixed plantations. *For. Ecol. Manag.* 255, 781–786.
- Piovesan, G., Biondi, F., Di Filippo, A., Alessandrini, A., Maugeri, M., 2008. Drought-driven growth reduction in old beech (*Fagus sylvatica* L.) forests of the central Apennines, Italy. *Glob. Chang. Biol.* 14, 1265–1281. doi:10.1111/j.1365-2486.2008.01570.x.
- Pretzsch, H., 2005. Stand density and growth of Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) and European beech (*Fagus sylvatica* L.): Evidence from long-term experimental plots. *Eur. J. For. Res.* 124, 193–205. doi:10.1007/s10342-005-0068-4.
- Pretzsch, H. 2014. Canopy space filling and tree crown morphology in mixed-species stands compared with monocultures. *For. Ecol. Manage.* 327, 251–264.
- Pretzsch, H., Biber, P., Ďurský, J., 2002: The single tree-based stand simulator SILVA: construction, application and evaluation. *For. Ecol. Manag.* 162, 3–21.
- Pretzsch, H., Schütze, G., 2009. Transgressive overyielding in mixed compared with pure stands of Norway spruce and European beech in Central Europe: Evidence on stand level and explanation on individual tree level. *Eur. J. For. Res.* 128, 183–204. doi:10.1007/s10342-008-0215-9
- Pretzsch, H., Block, J., Dieler, J., Dong, P.H., Kohnle, U., Nagel, J., Spellmann, H., Zingg, A., 2010. Comparison between the productivity of pure and mixed stands of Norway spruce and European beech along an ecological gradient. *Ann. For. Sci.* 67, 712–712. doi:10.1051/forest/2010037
- Pretzsch, H., Bielak, K., Block, J., Bruchwald, A., Dieler, J., Ehrhart, H.P., Kohnle, U., Nagel, J., Spellmann, H., Zasada, M., Zingg, A., 2013a. Productivity of mixed versus pure stands of oak (*Quercus petraea* (Matt.) Liebl. and *Quercus robur* L.) and European beech (*Fagus sylvatica* L.) along an

- ecological gradient. *Eur. J. For. Res.* 132, 263–280. doi:10.1007/s10342-012-0673-y
- Pretzsch, H., Schütze, G., Uhl, E., 2013b. Resistance of European tree species to drought stress in mixed versus pure forests: Evidence of stress release by inter-specific facilitation. *Plant Biol.* 15, 483–495. doi:10.1111/j.1438-8677.2012.00670.x
- Pretzsch, H., Biber, P., Schütze, G., Uhl, E., Rötzer, T., 2014. Forest stand dynamics in Central Europe has accelerated since 1870. *Nat. Commun.* 1–10. doi:10.1038/ncomms5967.
- Pretzsch, H., Schütze, G., 2015. Effect of tree species mixing on the size structure, density, and yield of forest stands. *Eur. J. For. Res.* doi:10.1007/s10342-015-0913-z.
- Prodan, M., 1944. Zuwachs- und Ertragsuntersuchungen im Plenterwald. Dissertation. Freiburg.
- Réh, J., 1968. Štúdium štruktúry bukovej húštiny. *Lesnický časopis* 14, 651–671.
- Rogelj, J., Meinshausen, M., Knutti, R., 2012. Global warming under old and new scenarios using IPCC climate sensitivity range estimates. *Nat. Clim. Change* 2, 248–253.
- Rousseau, J.-J., 1762. *Du Contract Social*. German Ed. 1977: Gesellschaftsvertrag, Reclam, Stuttgart.
- Saniga, M., 2011. Bukové pralesy. In Barna, M., Kulfan, J., Bublinec, E. (eds.). *Buk a bukové ekosystémy Slovenska*. Bratislava: Veda, s 209–226.
- Sarris, D., Christodoulakis, D., Korner, C., 2011. Impact of recent climatic change on growth of low elevation eastern Mediterranean forest trees. *Clim. Change* 106, 203–223.
- Schober, R., 1972. *Die Rotbuche 1971*. J.D. Sauerländer's Verlag, Frankfurt
- Schreiber, M., 1955. Massenmässige Ertragssteigerung durch Waldpflege. *Algm.Forstz.*

- Schütz, J.P., Götz, M., Schmid, W., Mandallaz, D., 2006. Vulnerability of spruce (*Picea abies*) and beech (*Fagus sylvatica*) forest stands to storms and consequences for silviculture. *Eur. J. For. Res.* 125, 291–302.
- Schwappach, A., 1908. Die Kiefer. Wirtschaftliche und statische Untersuchungen der forstlichen Abteilung der Hauptstation des forstlichen Versuchswesens in Eberswalde. Verlag Neumann, Neudamm.
- Schwappach, A., 1911. Die Rotbuche. Wirtschaftliche und statische Untersuchungen der forstlichen Abteilung der Hauptstation des forstlichen Versuchswesens in Eberswalde. Verlag Neumann, Neudamm.
- Smith, S.J., Van Aardenne, J., Klimont, Z., Andres, R.J., Volke, a. & Delgado Arias, S., 2011. Anthropogenic sulfur dioxide emissions: 1850-2005. *Atmos. Chem. Phys.* 11, 1101–1116.
- Spathelf, P., van der Maaten, E., van der Maaten-Theunissen, M., Campioli, M., Dobrowolska, D., 2014. Climate change impacts in European forests: the expert views of local observers. *Ann. For. Sci.* 71, 131–137.
- Spiecker, H., Mielikäinen, K., Köhl, M., 1996. Growth Trends in European Forests - Studies from 12 Countries. European Forest Institute Research Report; no. 5. Springer, Berlin.
- Sprauer, S., Nagel, J., 2015. Aboveground productivity of pure and mixed Norway spruce and European beech stands. *Eur. J. For. Res.*, 781–792.
doi:10.1007/s10342-015-0889-8.
- Swenson, J. J., Waring, R. H., Fan, W., Coops, N., 2005: Predicting site index with a physiologically based growth model across Oregon, USA. *Can. J. For. Res.* 35, 1697–1707.
- Sykes, M.T., Prentice, I.C., 1996. Climate change, tree species distributions and forest dynamics: a case study in the mixed conifer/northern hardwoods zone of northern Europe. *Clim. Change* 34, 161–177.
- Šamonil, P., Vrška T., 2008. Long term vegetation dynamics in the Šumava Mts. Natural spruce-fir-beech forests. *Plant Ecol.* 196, 197–214.

- Šebík, L., 1970. Kvalita a vplyv prvých úrovňových prebierok na kvalitu predrubných bukových porastov. Zborník vedeckých prác LF VŠLD vo Zvolene 12, 31–50.
- Šebík, L., Polák, L. 1990. *Náuka o produkcii dreva*. Bratislava: Príroda, 1990, ISBN 80-07-00268-5, 322 s.
- Šmelko, Š., 2010. Nové metodické postupy na kvantifikáciu mŕtveho dreva a jeho zložiek v lesných ekosystémoch. Lesn. Čas. – For. J. 56(2), 155–175.
- Šmelko, Š., Wenk, G., Antanaitis, V., 1992: Rast, štruktúra a produkcia lesa. Príroda, Bratislava, 342 s.
- Štefančík, I., 2015. Rast, štruktúra a produkcia bukových porastov s rozdielnym režimom výchovy. Zvolen, NLC: 148 s.
- Štefančík, I., Priwitzer, T., Sitková, Z. 2012. Výskumný objekt „Komárnik“ a jeho význam v súčasnosti. Lesn. čas. – For. J. 58(4), 257–267.
- Štefančík, I., Pajtík, J., Bošľa, M., Priwitzer, T., Čaboun, V., Klouček, T., 2013. Porovnanie vývoja vybraných jedľobukových porastov vo výskumno-účelovom objekte „Komárnik“. Lesn. Čas. - Forestry Journal 59(4), 229–239.
- Štefančík, I., Bošľa, M., 2014. An influence of different thinning methods on qualitative wood production of European beech (*Fagus sylvatica* L.) on two eutrophic sites in the Western Carpathians. J. For. Sci. 60, 406–416.
- Štefančík, L., 1974. Prebierky bukových žrd'ovín. Bratislava, Príroda: 141 s.
- Štefančík, L., 1975. Pestovanie akostnej produkcie v bukových porastoch. Lesníctví 21, 749–766.
- Štefančík, L., 1976. Hromadná kvalita bukového porastu a jej zmeny vplyvom prirodzeného vývoja a prebierky. Lesnícky časopis 22, 141–157.
- Štefančík, L., 1984. Freie Hochdurchforstung in ungepflegten Buchenstangenhölzern. Allgemeine Forstzeitung 95, 106–110.

- Tarp, P., Helles, F., Holten-Andersen, P., Larsen, J.B., Strange, N., 2000. Modelling near-natural silvicultural regimes for beech—an economic sensitivity analysis. *For. Ecol. Manage.* 130, 187–198.
- Thorpe, H.C., Astrup, R., Trowbridge, A., Coates, K.D., 2010. Competition and tree crowns: A neighbourhood analysis of three boreal tree species. *For. Ecol. Manag.* 259, 1586–1596.
- Tinner, W., Colombaroli, D., Heiri, O., Henne, P.D., Steinacher, M., Untenecker, J., Vescovi, E., Allen, J.R.M., Carraro, G., Conedera, M., Joos, F., Lotter, A.F., Luterbacher, J., Samartin, S. & Valsecchi, V., 2013. The past ecology of *Abies alba* provides new perspectives on future responses of silver fir forests to global warming. *Ecol. Monog.* 83, 419–439.
- Toïgo, M., Vallet, P., Perot, T., Bontemps, J.-D., Piedallu, C., Courbaud, B., 2015. Overyielding in mixed forests decreases with site productivity. *J. Ecol.* 103, 502–512. doi:10.1111/1365-2745.12353.
- Vallet, P., Perot, T., 2011. Silver fir stand productivity is enhanced when mixed with Norway spruce: evidence based on large-scale inventory data and a generic modelling approach. *J. Veg. Sci.* 22(5), 932–942.
- van Vuuren, D.P., Edmonds, J., Kainuma, M., Riahi, K., Thomson, A., Hibbard, K., Hurtt, G.C., Kram, T., Krey, V., Lamarque, J.F., Masui, T., Meinshausen, M., Nakicenovic, N., Smith, S.J., Rose, S.K., 2011. The representative concentration pathways: an overview. *Clim. Change* 109, 5e31.
- Vanselow, K., 1937. Die Kulturversuche der Badischen forstlichen Versuchsanstalt auf dem Köcherhof. *Allg. Forst. Jagdztg.* 33–51.
- Vicente-Serrano, S.M., Lasanta, T., Gracia, C., 2010. Aridification determines changes in forest growth in *Pinus halepensis* forests under semiarid Mediterranean climate conditions. *Agric. For. Meteorol.* 150, 614–628.
- Vyskot et al., 1971. *Základy růstu a produkce lesů*. Praha: Státní Zemědělské nakladatelství, 440 s.
- Walther, G.R., Post, E., Convey, P., Menzel, A., et al., 2002. Ecological responses to recent climate change. *Nature* 416, 389–395.

- Wiedemann, E., 1932. Die Rotbuche 1931. Mitt. der Preußischen Forstl. Versuchsanstalt. Verlag M. & H. Schaper, Hannover.
- Wiedemann, E., 1937. Die Fichte 1937. Mitteilungen aus Forstwirtschaft und Forstwissenschaft. Hannover, 248 s.
- Wiedmann, E., 1942. Der gleichaltrige Fichten- Buchen- Mischbestand. Mitt. Aus Forstwirt. Und Forstwiss., H 1, 88 s.
- Yang, Y.Q., Titus, S.J., Huang, S.M., 2003. Modeling individual tree mortality for white spruce in Alberta. *Ecol. Model.* 163, 209–222.
- Zhang, Y., Chen, H.Y., Reich, P.B., 2012. Forest productivity increases with evenness, species richness and trait variation: a global meta- analysis. *J. Ecol.* 100(3), 742–749.