

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Fakulta lesnická a dřevařská

Katedra hospodářské úpravy lesa



**TRENDY TLOUŠŤKOVÝCH A VÝŠKOVÝCH PŘÍRŮSTŮ
SMRKU ZTEPILÉHO (*Picea abies* (L.) KARST.) V OBLASTECH
S HISTORICKY ODLIŠNÝMI VSTUPY DUSÍKU**

Disertační práce

Zpracovala: Ing. Monika Vejpustková

Školitel: Prof. Ing. Jan Kouba, CSc.

Praha, 2008

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem disertační práci na téma „Trendy tloušťkových a výškových přírůstků smrku ztepilého (*Picea abies* (L.) KARST.) v oblastech s historicky odlišnými vstupy dusíku“ vypracovala samostatně s použitím pramenů uvedených v kapitole Literatura.

.....

PODĚKOVÁNÍ

Mé poděkování patří především kolegům z Výzkumného ústavu lesního hospodářství a myslivosti za pomoc při náročné práci v terénu i v laboratoři.

Děkuji školiteli Prof. ing. Janu Koubovi, CSc. a dalším pracovníkům katedry Hospodářské úpravy lesa za rady a podporu v průběhu zpracování práce.

OBSAH

1. ÚVOD	6
2. CÍLE DISERTAČNÍ PRÁCE	8
3. LITERÁRNÍ REŠERŠE	9
3.1 RŮST A PŘÍRŮST STROMU	9
3.1.1 <i>Tloušťkový růst a přírůst stromu</i>	9
3.1.2 <i>Výškový růst a přírůst stromu</i>	10
3.1.3 <i>Plošný a objemový růst a přírůst stromu</i>	11
3.2 RŮSTOVÉ ZÁKONITOSTI A MODELÝ	12
3.2.1 <i>Matematická formulace růstové funkce</i>	12
3.2.2 <i>Růstové a taxační tabulky</i>	14
3.3 DENDROCHRONOLOGIE (LETOKRUHOVÉ ANALÝZY)	14
3.3.1 <i>Kmenové analýzy</i>	15
3.3.2 <i>Modelování vztahů mezi letokruhovými řadami a vlivy prostředí</i>	15
3.3.2.1 <i>Modelování vztahu přírůstů ke klimatu</i>	17
3.3.2.2 <i>Modelování vztahu přírůstů k exogenním faktorům neklimatického charakteru</i>	18
3.4 ZMĚNY V PŘÍRŮSTU LESNÍCH POROSTŮ, MOŽNÉ PŘÍČINY TOHOTO JEVU.....	19
3.4.1 <i>Změny v přírůstu lesních porostů</i>	19
3.4.2 <i>Možné příčiny akcelerace přírůstů lesních porostů</i>	22
3.5 DUSÍK.....	26
3.5.1 <i>Dusík a jeho formy, koloběh dusíku</i>	26
3.5.2 <i>Příjem dusíku a jeho význam pro rostliny</i>	27
3.5.3 <i>Emise dusíku, imise dusíku, depozice dusíku</i>	28
3.5.4 <i>Působení zvýšených depozic dusíku na lesní ekosystémy</i>	32
3.5.4.1 <i>Přímé působení oxidů dusíku na asimilační orgány</i>	32
3.5.4.2 <i>Acidifikace lesních půd</i>	33
3.5.4.3 <i>Změny ve výživě lesních porostů</i>	33
4. MATERIÁL A METODY	36
4.1 ODBĚROVÁ MÍSTA	36
4.1.1 <i>Orlické hory</i>	37
4.1.2 <i>Krušné hory</i>	39
4.1.3 <i>Žďárské vrchy</i>	41
4.2 KMENOVÁ ANALÝZA VZORNÍKŮ Z DOSPĚLÝCH POROSTŮ	43
4.3 ANALÝZA VÝŠKOVÉHO RŮSTU MLADÝCH POROSTŮ	43
4.4 VZTAH PŘÍRŮSTŮ K PRŮBĚHU POČASÍ.....	44
4.5 VZTAH PŘÍRŮSTŮ KE VSTUPŮM DUSÍKU, SÍRY A FLUORU.....	45
5. VÝSLEDKY	47
5.1 KMENOVÉ ANALÝZY VZORNÍKŮ Z DOSPĚLÝCH POROSTŮ.....	47
5.1.1 <i>Orlické hory, lokalita Šerlišský mlýn</i>	47
5.1.2 <i>Krušné hory, lokalita Přebuz - Falešný metr</i>	51
5.1.3 <i>Žďárské vrchy, lokalita Čachnov</i>	55
5.2 ANALÝZA VÝŠKOVÉHO RŮSTU MLADÝCH POROSTŮ	59
5.2.1 <i>Orlické hory</i>	59
5.2.2 <i>Krušné hory</i>	60

5.2.3 Žďárské vrchy	62
5.2.4 Srovnání mezi oblastmi	64
5.3 VZTAH PŘÍRŮSTŮ K PRŮBĚHU POČASÍ.....	65
5.3.1 Orlické hory, lokalita Šerlišský mlýn.....	65
5.3.2 Krušné hory, lokalita Přebuz – Falešný metr	67
5.3.3 Žďárské vrchy, lokalita Čachnov.....	69
5.4 VZTAH PŘÍRŮSTŮ KE VSTUPŮM DUSÍKU, SÍRY A FLUORU	71
5.4.1 Orlické hory	71
5.4.1.1 Depozice	71
5.4.1.2 Koncentrace látek v půdní vodě	73
5.4.2 Žďárské vrchy	74
5.4.2.1 Depozice	74
6. DISKUSE.....	76
6.1 RŮST A PŘÍRŮST DOSPĚLÝCH VZORNÍKŮ	76
6.2 VÝŠKOVÝ RŮST MLADÝCH SMRKOVÝCH POROSTŮ	85
7. ZÁVĚR	89
8. PŘÍNOSY PRO PRAXI A PERSPEKTIVY DALŠÍHO VÝZKUMU	91
SUMMARY	92
LITERATURA	95

PŘÍLOHA 1

PŘÍLOHA 2

1. ÚVOD

Lesy v České republice jsou stále pod silným antropogenním tlakem. Více než 50 let byly lesní porosty devastovány působením imisí, především oxidu siřičitého. Po roce 1990 význam SO_2 z hlediska negativního působení na lesy výrazně poklesl, na druhou stranu na významu nabývají další látky vypouštěné do ovzduší, jedná se hlavně o sloučeniny dusíku (NO_x a NH_3). Z dalších sledovaných látek ohrožují zdravotní stav lesních porostů depozice fluoru a chloru, výrazněji se projevuje i působení přízemního ozónu.

K posledním významným škodám na lesních porostech způsobených prokazatelně oxidem siřičitým došlo v roce 1996 (Lomský, Šrámek, 1999). V následujících letech bylo zaznamenáno několik závažných poškození smrkových porostů nového typu s různým symptomatickým obrazem. Na jaře 1999 se projevilo vážné poškození mladých smrkových porostů v Orlických horách, došlo k červenání a opadu jehličí na loňských výhonech smrku ztepilého (Šach et al. 1999). Ve stejném roce bylo zaznamenáno rozsáhlé žloutnutí smrkových porostů všech věkových kategorií ve vyšších nadmořských výškách (7. LVS) v západním Krušnohoří (Šrámek et al. 2001). Podobný typ poškození byl pozorován též na některých lokalitách v Jizerských a Orlických horách. V roce 2000 a 2001 žloutnutí porostů v Krušných horách dále gradovalo, zatímco v roce 1999 zde bylo postiženo 2000 ha porostů, v roce 2000 to bylo 6 500 ha, v roce 2001 dokonce 9000 ha (Lomský, Šrámek, 2004). Poslední rozsáhlejší poškození nového typu se projevilo po zimě 2001/2002 u mladých smrkových porostů v Orlických horách. Nejčastěji se jednalo o červenání jehličí a jeho následný opad v horní části korun nad úrovní sněhové pokrývky (Čermák et al. 2005).

Epizody poškození byly zaznamenány ve všech věkových stupních. Nejvýznamnější jsou ovšem postižení mladých smrkových porostů ve věku do 40 let, které mají v hřebenových polohách imisních oblastí, vzhledem k rozsáhlým imisním a kůrovcovým těžbám v 70. a 80. letech, dominantní zastoupení. Z pohledu těchto skutečností je paradoxní, že růst smrkových porostů není negativně ovlivněn. Mladé smrkové porosty naopak vykazují neobvyklé výškové přírůsty (Vejpustková et al. 2004) a často bývá, zejména v případě Orlických hor, předmětem diskuse, nakolik je negativně ovlivněno vyžrávání letorostů, stavba dřeva a mechanická stabilita porostů.

Mechanismy ani příčiny nových typů poškození pozorovaných po roce 1996 nebyly zatím plně objasněny. Za rizikový faktor chřadnutí smrku je považován vysoký vstup dusíku NO_x . Ten v kombinaci s nepříznivými klimatickými podmínkami (dlouhá období sucha v letních měsících, ostré teplotní zvraty v průběhu zimy a časného jara) a s nevyvážeností

v minerální výživě (především nedostatek hořčíku a vápníku) je pravděpodobně jednou z hlavních příčin v komplexu faktorů.

Pozorovaná poškození smrkových porostů na konci 90. let se stala podnětem k projektu Národní agentury pro zemědělský výzkum „Vliv současných depozic dusíku na zvyšování přírůstu a kvalitu výživy smrkových porostů“, který v letech 2001-2004 řešil Výzkumný ústav lesního hospodářství a myslivosti Jíloviště – Strnady ve spolupráci s Mendelovou zemědělskou a lesnickou univerzitou v Brně. Projekt byl zaměřen na problematické oblasti Orlických hor (poškození nedostatečně vyžrálých letorostů), západního Krušnohoří (narušení rovnováhy ve výživě porostů) a na kontrolní oblast Žďárské vrchy. Cílem projektu bylo zjistit, nakolik je průkazný nárůst tloušťkových i výškových přírůstů smrku ve vybraných oblastech, a určit vliv vysokých depozic dusíku na pozorované poškození jak z hlediska acidifikace lesních půd a narušení výživy, tak z hlediska zvyšování přírůstu a následného relativního nedostatku ostatních živin v důsledku vyředovacího efektu.

Tato disertační práce řeší dílčí část projektu zabývající se analýzou tloušťkových a výškových přírůstů smrku ztepilého (*Picea abies* (L.) KARST.) ve vybraných oblastech a jejich vztahem k dalším zjišťovaným parametrům prostředí.

2. CÍLE DISERTAČNÍ PRÁCE

Hlavním cílem práce je analyzovat trendy tloušťkových a výškových přírůstků smrku ztepilého (*Picea abies* (L.) KARST.) v oblastech s historicky odlišnými vstupy dusíku (Orlické hory, Krušné hory, Žďárské vrchy). Dalším cílem je vyhodnotit vztah přírůstků smrku ke klimatu (dominantní faktor působící na utváření přírůstků), ke vstupům dusíku (možný vliv na zvyšování přírůstků smrkových porostů) a ke vstupům síry a fluoru (hlavní zátěžové prvky).

3. LITERÁRNÍ REŠERŠE

3.1 Růst a přírůst stromu

Termín růst stromu vyjadřuje souhrnný produkční výkon k určitému časovému okamžiku. Graficky lze růst stromu znázornit růstovou křivkou, jejíž tvar se přibližuje tvaru tzv. S-křivky.

Přírůst znamená zvětšení sledované růstové veličiny za určitý časový úsek. Pokud je tímto úsekem jedno vegetační období, pak jde o běžný přírůst, pokud jde o více vegetačních období, pak se jedná o periodický přírůst. Graficky znázorněné běžné roční přírůsty stromu jako funkce věku představují přírůstovou křivku. Dalším používaným typem přírůstu je průměrný přírůst, který je určen podílem produkce a věku. Obecně je běžný přírůst více rozkolísaný a kulminuje dříve než průměrný přírůst (Šebík, Polák, 1990).

3.1.1 Tloušťkový růst a přírůst stromu

Činností dělivých pletiv - kambia a felogenu – zvětšuje strom každý rok svoji tloušťku tím, že na stromě vzniká nový plášť dřeva a kůry. Buňky dřeva, které se vytváří v první polovině vegetačního období jsou tenkostěnné a široké a tvoří tzv. jarní dřevo. Ke konci vegetačního období se tvoří užší, zploštěné a silnostěnné buňky, které tvoří tzv. letní dřevo. Vrstva jarního a letního dřeva vytvořená během jednoho vegetačního období vytváří letokruh. Měřením šířky letokruhu je možné zpětně odvodit velikost tloušťkového přírůstu v jednotlivých letech. Dobře rozpoznatelná hranice letokruhu je u jehličnanů a kruhovitě pórovitých listnáčů, naopak u roztroušeně pórovitých listnáčů je rozpoznání letokruhů velmi obtížné (Drápela, Zach, 1995).

Tloušťkový růst smrku začíná v polovině dubna, v hustém zápoji na konci dubna, zpravidla současně s rozvíjením pupenů, pozdní dřevo se začíná tvořit od začátku června, tloušťkový přírůst vrcholí na konci června až na začátku července, tvorba ročního přírůstu je ukončena v srpnu či začátkem září (Šebík, Polák, 1990). Roční růstové křivky mají typický tvar S, takže roční průběh tloušťkového růstu a růstový proces jako funkce věku mají stejný rytmus (Schober, 1949).

Tloušťka a tloušťkový přírůst stojícího stromu se měří v konvenční výšce 1,3 m nad zemí (vyloučení vlivu nepravidelností od kořenových náběhů). Hodnoty tloušťky $d_{1,3}$ vynesené jako funkce věku vytváří tloušťkovou růstovou křivku, tato nezačíná v nulovém bodě, neboť první měření je možné provést až ve věku, kdy strom dorostl výčetní výšky 1,3m.

Tloušťkový přírůst sledovaný na příčném řezu kmene odpovídá dvojnásobku přírůstu na poloměru, resp. dvojnásobné šířce letokruhu.

Tloušťkový růst a přírůst je ovlivněn zejména těmito faktory: vlastnostmi dřeviny, kvalitou stanoviště, postavením stromu v porostu, klimatickými podmínkami a poškozením biotickými a abiotickými činiteli. Na tloušťkový přírůst má velký vliv sociální postavení, rozdíly v tloušťkovém růstu stromů jednotlivých stromových tříd jsou značné, na uvolnění reagují stinné dřeviny zvýšením tloušťkového přírůstu o 20% i více (Šebík, Polák, 1990). Při prudkých změnách růstových podmínek může docházet nejen ke zmenšování či zvětšování přírůstu, ale i k nepravidelné tvorbě letokruhů, což se může projevit jednak vytvořením tzv. dvojitého (falešného) letokruhu, jednak tím, že se v daném roce měřitelně velký letokruh nevytvoří vůbec – tzv. chybějící letokruh (Drápela, Zach, 1995).

Tloušťkový přírůst v různých výškách na kmeni není stejný. Rozložením tloušťkového přírůstu po kmeni se zabývali například Guttenberg (1915), Topcuoglu (1940), Šmelko (1975). Výzkumy potvrdily všeobecnou zákonitost, že tloušťkový přírůst klesá od paty stromu směrem nahoru, přičemž minima dosahuje zhruba v 1/5 výšky kmene a poté zase stoupá.

Velikost přírůstu po obvodu příčného řezu kmene nabývá různé hodnoty. Zjistit tloušťkový přírůst znamená určit z velkého počtu možných hodnot takovou, která by nejlépe charakterizovala průměrnou velikost tloušťkového přírůstu příslušného příčného řezu. Rozložení tloušťkového přírůstu nejvíce ovlivňují vnější růstové podmínky jako jsou sklon terénu, expozice, převládající směr větrů (Šmelko, 1982).

3.1.2 Výškový růst a přírůst stromu

Produktem výškového růstu a přírůstu stromu je letorost (roční výhon). Smrk každoročně zvětšuje svoji výšku o letorost, který vyrůstá z vrcholového pupenu (terminálu), čímž se prodlužuje hlavní osa stromu. Délka letorostu se dalším růstem stromu v následujících letech nemění a dá se zpětně změřit (Šebík, Polák, 1990).

Období výškového růstu dřevin v průběhu jednoho vegetačního období je poměrně krátké. Ze všech jehličnatých dřevin má smrk nejkratší období výškového růstu. Burger (1926) zjistil, že ve středoevropských podmínkách ve středních výškových polohách začíná růst smrku koncem května a končí začátkem července. Podle Assmanna (1961) má na celkovou délku letorostu počasí běžného roku minimální vliv, určující je počasí v předcházejícím roce v tzv. období tvorby pupenů od července do září.

Růstové a přírůstové výškové křivky jednotlivých dřevin se podobají, jejich tvar a průběh závisí především na vlastnostech dřeviny, kvalitě stanoviště, původu stromu a jeho postavení v růstovém prostoru porostu. Smrk jako polostinná dřevina má zpočátku pomalý růst a maximálních výškových přírůstů dosahuje mezi 30. až 40. rokem, což jej řadí mezi pomalurostoucí dřeviny. Významný vliv na výškový růst a přírůst má dlouhodobé zastínění stromů v mládí, u stinných dřevin však nepůsobí škodlivě, pouze tlumí výškový přírůst a oddaluje jeho kulminaci o 50 – 100 let (Šebík, Polák, 1990).

3.1.3 Plošný a objemový růst a přírůst stromu

Roční plošný přírůst je roven střední šířce letokruhu násobené středním obvodem letokruhu. Vedle šířky letokruhu má vliv na velikost plošného přírůstu hlavně průměr stromu, tedy obvod kruhové plochy, na níž se plošný přírůst tvoří. Při absolutně stejném přírůstu tloušťkovém vzrůstá přírůst plošný se vzrůstajícím průměrem kmene stromu (Korf, 1953). Z tohoto důvodu přírůst na kruhové základně kulminuje podstatně později než příslušný přírůst tloušťkový.

Přírůst objemový je výsledkem přírůstu na tloušťce, kruhové ploše, výšce a je též výsledkem změny tvaru kmene. Průběh růstu a přírůstu taxačních veličin je časově oddělený, růst objemový kulminuje ze všech nejpozději. Období kulminace běžného objemového přírůstu je značně rozdílné. V širokém průměru kulminace nastává u slunných, rychlerostoucích dřevin ve věku 40 – 70 roků, u stinných a pomalurostoucích dřevin až ve věku 80 – 120 let. Na čas kulminace má silný vliv i stanoviště (čím horší bonita, tím pozdější doba kulminace) a růstový prostor stromu. Stanovení doby kulminace průměrného objemového přírůstu je důležité pro stanovení mytní zralosti stromu či porostu (Šebík, Polák, 1990). Věk kulminace běžného objemového přírůstu smrku uvádí různí autoři takto: na nejlepších bonitách 70 – 80 let, průměrné bonity 140 – 150 let (Polák, 1967), nadúrovňové stromy na dobrém stanovišti 50 – 70 let (Weck, 1955), dobré stanoviště 50 – 70 let, průměrné stanoviště 110 – 130 let, špatné stanoviště 130 let a více (Erteld, Hengst, 1966).

3.2 Růstové zákonitosti a modely

3.2.1 Matematická formulace růstové funkce

Pro biometrické řešení základních produkčních otázek má velký význam poznání a matematické formulování průběhu jednotlivých růstových veličin v závislosti na věku. Korf (1971) stanovil podmínky, které musí růstová křivka obecně splňovat (obr. 1):

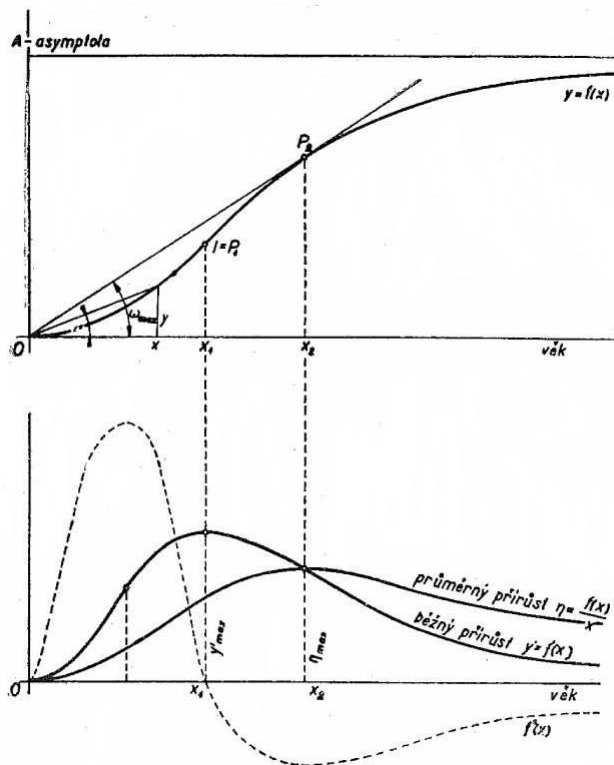
1. křivka by měla mít tvar protáhlého S a měla by mít tyto vlastnosti:
 - $\lim_{t \rightarrow \infty} f(t) = A$ se asymptoticky přibližuje hodnotě A, která je charakteristická pro každý růstový předpoklad (bonitu)
 - pro $t=0$ musí $f(0)=0$, $f'(0)=0$, $f''(0)=0$ růstové i přírůstové křivky mají počátek v bodě [0,0]
 - v čase t_1 (inflexní bod) se konvexní průběh křivky mění v konkávní, v čase t_1 je běžný roční přírůst maximální $f'(t_1)=\max$, $f''(t_1)=0$
2. růstová funkce nesmí být strnulá, tzn. musí být dostatečně přizpůsobivá empirickým údajům, kritérium přizpůsobivosti stanovil Korf (1939) jako poměr času kulminace průměrného ročního přírůstu t_2 a času kulminace běžného ročního přírůstu t_1
3. růstová funkce musí mít všeobecnou platnost pro celý časový úsek života stromu, to znamená musí se těsně přimykát k empirickým údajům v celém věkovém rozpětí
4. růstová funkce by neměla obsahovat příliš mnoho parametrů

Všechny uvedené předpoklady splňuje růstová funkce odvozená Korfem (1939). Tato funkce patří u nás k nejpoužívanějším.

tvar růstové funkce
$$y = A \cdot e^{[k \cdot (1-n)^{-1} \cdot t^{1-n}]}$$

tvar přírůstové funkce
$$y' = A \cdot e^{[k \cdot (1-n)^{-1} \cdot t^{(1-n)}]} \cdot k \cdot t^{-n}$$

Obr. 1 Obecná růstová křivka a příslušné přírůstkové křivky běžného a průměrného přírůstu podle Korfa (1953)



V letokruhových analýzách jsou pro vyjádření trendu letokruhových řad často používány i další přírůstkové funkce. Zach, Drápela (1991) uvádějí možnosti použití těchto funkcí:

- Hugerhoffova

$$y' = A \cdot t^b \cdot e^{c \cdot t}$$

- lomenná

$$y' = a + \frac{b}{t} + \frac{c}{t^2}$$

- Chapman – Richardsova

$$y' = A \cdot B \cdot C \cdot e^{-B \cdot t} \cdot [1 - e^{-B \cdot t}]^{C-1}$$

- Gompertzova

$$y' = A \cdot e^{-C \cdot t} \cdot e^{\left[\frac{-1}{C} e^{-C \cdot t} \right]}$$

3.2.2 Růstové a taxační tabulky

V současné době jsou v ČR používány Růstové a taxační tabulky hlavních dřevin České republiky (smrk, borovice, buk, dub) (Černý et al. 1996). Tabulky sestávají ze tří komponent: taxačních tabulek, růstových tabulek a obecného růstového modelu.

Taxační tabulky popisují vztahy mezi základními veličinami plně zakmeněných, stejnověkových, nesmíšených porostů. Obsahují bonitní vějíř. Bonitní křivky spojují výšku porostů různého věku na stejném stanovišti a mají tedy charakter inventarizačních křivek. S ohledem na dynamiku růstových podmínek mají inventarizační křivky omezenou časovou platnost, a proto je i použití bonitního vějíře taxačních tabulek časově omezené.

Růstové tabulky popisují vývoj základních veličin současných porostů v průběhu doby obmýtí ve stejnorodých, stejnověkových, plně zakmeněných porostech.

Obecný růstový model umožňuje predikovat vývoj současných porostů při různých výchovných režimech a pro různé zakmenění. Vstupní údaje zahrnují porostní údaje a model výchovy.

3.3 Dendrochronologie (letokruhové analýzy)

V nejširším významu je dendrochronologie věda, která se zabývá datováním letokruhů a studiem informace obsažené ve struktuře datovaných letokruhů s aplikacemi do mnoha vědních oborů (Kaennel, Schweingruber, 1995). Do současné doby se vyvinulo mnoho samostatných podoborů dendrochronologie, z nichž nejpropracovanější jsou dendroklimatologie a dendroarcheologie.

Obecný postup při letokruhové analýze je možné popsat v následujících krocích:

- formulace problému a stanovení strategie odběru vzorků (vývrty nebo kotouče)
- odběr vzorků, jejich popis, uložení, příprava na měření (zbroušení povrchu vývrty či kotouče, příp. další zvýraznění hranic letokruhů)
- proměření šířek letokruhů
- datování vzniku letokruhů (synchronizace) metodou křížového datování (vzájemné porovnávání více letokruhových sérií)
- odstranění věkového trendu (standardizace) a výpočet letokruhových indexů, výsledkem je tzv. letokruhová chronologie
- další statistické a matematické zpracování podle povahy řešeného problému
- zpracování výsledků letokruhové analýzy a jejich interpretace (Drápela, Zach, 1995)

Potenciál letokruhových analýz spočívá především v přesné rekonstrukci meziroční variability přírůstů a v možnosti získání dlouhých řad pozorování. Kromě samotného studia trendů v utváření přírůstů jsou letokruhové analýzy používány ve studiích hledajících vztahy mezi růstem a parametry prostředí (klíma, zásoba živin v půdě, znečištění ovzduší, koncentrace CO₂ apod.) (Spiecker, 1999).

3.3.1 Kmenové analýzy

Kmenovou analýzou se rozumí kompletní analýza kmene pokáceného stromu, při níž jsou na sérii kmenových kotoučů odebraných v různých výškách počítány a měřeny letokruhy, takto lze určit průběh přírůstu a dynamiku růstu kmene stromu za celý jeho život (Kaennel, Schweingruber, 1995)

Kromě informace o radiálních tloušťkových přírůstech je možné metodou kmenové analýzy retrospektivně zjistit i výškové přírůsty, vývoj tvaru kmene a následně vyjádřit plošný a objemový přírůst jednotlivých stromů. Hlavním problémem kmenových analýz je výběr reprezentativních stromů pro daný porost v případě, že není známá historie porostu (Spiecker, 1992). Přírůst stromů je silně ovlivňován především kompetičními vztahy sousedních stromů dále modifikovanými hospodářskými zásahy a genetickými rozdíly. Vliv kompetice lze minimalizovat výběrem dominantních stromů (Spiecker, 1999).

Hlavní výhodou kmenových analýz je, že se jedná o jedinou metodu, která umožňuje spolehlivě rekonstruovat výškový přírůst. Odběr kmenových kotoučů má i tu výhodu, že v daném místě kmene máme kompletní přehled o tloušťkovém přírůstu po celé ploše příčného řezu. Lze tedy provést velmi přesné měření v nejvhodnějším místě. Naproti tomu hlavní nevýhodou kmenových analýz je, že se jedná o destrukční metodu, neboť je nutné skácet celý strom. Problémem může být i doprava většího množství kotoučů a jejich uchování (Drápela, Zach, 1995).

Vlastní metodiku kmenových analýz podrobně popisuje např. Korf (1953). Jím uvedený postup jsem použila v této práci a je proto popsán dále v metodice (kapitola 4).

3.3.2 Modelování vztahů mezi letokruhovými řadami a vlivy prostředí

Studiem přírůstů ve vztahu ke změnám prostředí (přirozeným i antropogenním) se zabývá dendroekologie (Vinš, 1962b). Metody používané v dendroekologických studiích uvádí Fritts (1976), Schweingruber (1989), Cook a Kairiukstis (1990), Schweingruber (1996).

Účelem všech postupů je získání informačního signálu (požadované informace) a potlačení informačního šumu (informace netýkající se řešeného problému). Letokruh sám je agregací různých signálů (věkového, klimatického, genetického, působení škodlivých faktorů apod.), záleží tedy na cíli výzkumu, kterou z těchto složek budeme považovat za signál a kterou za šum. Pro stanovení jednotlivých signálů vytvořil Cook (1990) lineární adiční model obsahující základní signály letokruhových řad:

$$R_t = A_t + C_t + \delta D1_t + \delta D2_t + E_t$$

kde

R_t - šířka letokruhu

A_t - věkový trend letokruhové řady

C_t - klimatický signál obsažený v letokruhu

$\delta D1_t$ - endogenní faktor, způsobuje odchylky oproti očekávaným hodnotám, které se projevují jen v dané letokruhové sérii

$\delta D2_t$ - exogenní faktor, způsobuje odchylky oproti očekávaným hodnotám, které se projevují shodně u více zkoumaných letokruhových sérií

δ - binární indikátor přítomnosti ($\delta=1$) nebo nepřítomnosti ($\delta=0$) příslušného faktoru v informaci určitého letokruhu

E_t - náhodná odchylka (tj. informace, která je nevysvětlitelná předchozími členy modelu)

V reálných letokruhových řadách je obsaženo všech pět členů, i když v nestejně míře. Věkový trend A je obligatorním členem modelu a souvisí se změnami tloušťkového přírůstu s věkem stromu. Předpokládaný průběh tloušťkového přírůstu v závislosti na věku je znám jako přírůstová funkce. Věkový trend je z řady eliminován procesem standardizace.

Člen C zahrnuje všechny klimaticky podmíněné vlivy prostředí a je stálou součástí modelu. Separace klimatického signálu je možná s pomocí response funkce (funkce odezvy).

Člen $D1$ jsou zcela lokální faktory působící třeba jen na jeden strom, v letokruhové křivce se projeví neočekávaným „pulssem“. Jsou způsobeny především změnami v disponibilním prostoru stromu, lokálními změnami ve výživě apod. Jejich separace je prakticky nemožná.

Člen $D2$ představuje charakteristickou reakci stromů v rámci porostu nebo určitého lesního celku na vliv působící v celé této oblasti. Patří sem především kalamity způsobené různými biotickými i abiotickými činiteli (hmyz, imise atd.). Separace $D2$ je možná tehdy, existují-li záznamy o rozsahu a časovém průběhu kalamity (Drápela, Zach, 1995).

Základním statistickým postupem používaným pro dekompozici jednotlivých vlivů prostředí a k získání potřebných informací z letokruhové řady je analýza časových řad. Metody podrobně popisuje např. Anděl (1976), Cipra (1986).

3.3.2.1 Modelování vztahu přírůstů ke klimatu

Nejvíce dendroekologických studií se doposud zabývalo studiem působení klimatu na přírůsty. Pro dendroklimatologické studie musíme z letokruhové řady odstranit nejprve věkový trend procesem standardizace, eliminovat případnou autokorelaci a získat tak oddělený klimatický signál C, zatímco ostatní (D1 a D2) se mohou souhrnně považovat za neklimatický šum.

Vychází se z předpokladu, že lze nalézt statisticky podložený vztah mezi růstem a klimatickými vlivy, který umožní modelovat vliv klimatu na tloušťkový přírůst z variability letokruhů a naopak. Stupeň závislosti mezi růstem a klimatickými faktory určují především tyto faktory: ekologická amplituda dřeviny, blízkost vzorníků k jejich klimatologickým limitům, rozsah variability faktorů limitujících růst. Proces hledání této závislosti se nazývá kalibrace, proces ověření správnosti modelu navrženého kalibrací se nazývá verifikace (Fritts, 1976).

V procesu kalibrace se zpravidla metodami regresní analýzy hledá model, který je schopen pomocí jednoho nebo více prediktorů modelovat hodnoty jednoho nebo více prediktantů. V dendroklimatologii rozeznáváme dva typy funkcí: (1) response funkce (funkce odezvy), zde jsou prediktorem klimatické proměnné, prediktantem šířky letokruhů; (2) transfer funkce, zde jsou prediktorem šířky letokruhů, prediktantem klimatické proměnné (Fritts, 1976). Z lesnického hlediska je důležitější modelování tloušťkového přírůstu na klimatických charakteristikách, tedy response funkce.

Response funkce je formou mnohonásobné lineární regrese, kde za prediktory jsou použity hlavní komponenty měsíčních klimatických dat - průměrných měsíčních teplot a měsíčních úhrnů srážek. Výpočtem lze určit, kolik variability v časové řadě letokruhových indexů lze vysvětlit pomocí klimatických proměnných (vyjádřeno koeficientem determinace), a lze kvantifikovat relativní důležitost původních jednotlivých proměnných. Hodnota koeficientu determinace určuje, jak silný je klimatický signál v letokruhové chronologii. Znaménko a hodnota regresních koeficientů jednotlivých měsíčních klimatických proměnných charakterizují povahu vztahu klima – přírůst stromu (Briffa, Cook, 1990).

Pro výpočet response funkce se používají speciální programy, nejznámější je program PRECON (Fritts, 1996), který jsem použila také v této práci.

3.3.2.2 Modelování vztahu přírůstků k exogenním faktorům neklimatického charakteru

Pro studium vlivu těchto faktorů je nutné oddělit hlavně věkový trend A, klimatický vliv C a exogenní vliv D2, ostatní lze považovat za šum.

Jedním z nejčastěji studovaných exogenních faktorů jsou imise. Innes (1990) hodnotí nejvíce používané metody studia vlivu znečišťujících látek na lesní porosty za použití letokruhových analýz:

1. *Srovnání stromů stejného druhu rostoucích v podobných ekologických podmínkách ale s různou imisní zátěží.*

Tento přístup byl hojně používán při studiu vlivu imisí v oblastech s lokalizovaným zdrojem znečištění. U nás tuto metodu rozvinul Vinš k průkazu kouřových škod na lesních porostech v imisních oblastech (např. Vinš, 1961, 1962a, 1967; Vinš, Tesař, 1969). Zatímco při studiu vlivu imisí v oblasti přiléhající ke zdroji znečištění má tato metoda podle Innese (1990) svůj význam, při studiu účinku imisí transportovaných na velké vzdálenosti je její použití omezené, neboť tato metoda je založena na předpokladu, že rozdíl v průběhu letokruhových chronologií lze vysvětlit rozdílem v imisní zátěži. Ve skutečnosti na obě skupiny srovnávaných stromů působí celý soubor faktorů od různých klimatických podmínek po rozdíl v kompetičních vztazích, které nelze postihnout v celé jejich šíři. Navíc pro každé stanoviště je specifická interakce mezi imisemi a faktory prostředí.

2. *Srovnání trendů ve vývoji přírůstků z velkého počtu odběrových míst na velkém území se vzorem rozložení imisního zatížení na tomto území*

Metodu popisuje Strand (1980), který srovnával vzor vývoje přírůstků smrku a borovice z území východního Norska se vzorem depozice síry a pH srážek v této oblasti. Tato metoda má podobné nedostatky jako metoda popsaná v prvním bodě.

3. *Odstranění věkového trendu a vlivu klimatu*

Metoda odstranění věkového trendu a vlivu klimatu z jednotlivých chronologií s následným předpokladem, že zbývající trend v chronologii lze přičíst imisím (Adams et al., 1985; Grissino-Mayer a Butler, 1993). Problémy této metody: regresní analýza vztahu přírůstků ke klimatu není schopna postihnout vliv klimatických extrémů s nízkou frekvencí výskytu (Kienast et al., 1987); separace vlivu klimatu od vlivu imisí je velmi obtížná,

protože oba faktory působí ve vzájemné interakci; imise mohou narušit reakci přírůstků na kolísání klimatu, a tím ovlivnit výsledky response funkce (McClenahen a Dochinger, 1985; Smith et al., 1999; Kroupová, 2001; Kroupová, 2002).

4. *Srovnání růstu před a po začátku působení imisí*

Tento přístup byl použit v mnoha studiích zabývajících se vlivem imisí z lokálního zdroje na velikost přírůstků blízkých porostů. Výhodou metody je, že lze spočítat response funkci pro období před působením imisí, výsledný model je pak aplikován na období po začátku působení imisí, rozdíl mezi pozorovanými a vypočtenými indexy dává představu o vlivu imisí na růst stromů na daném stanovišti (Cook, 1987). Metoda má však omezené použití pokud s ní chceme zkoumat změny v přírůstech spojených s novodobým chřadnutím lesních porostů. Prvním důvodem je, že přesné příčiny chřadnutí nejsou známé a není tudíž možné určit začátek jejich působení. Za druhé, znečišťující látky (především okyselující složky), které pravděpodobně mají na chřadnutí významný podíl, jsou v prostředí přítomny od dob průmyslové revoluce, ačkoli poměr nejdůležitějších – sulfátů a nitrátů – se významně mění v čase. Za počátek působení imisí se v tomto případě může stanovit okamžik, kdy je možné prokázat změnu v průběhu letokruhové chronologie. McClenahen a Dochinger (1985) zkoumali reakci růstu dubu bílého na lokální zdroj znečišťujících látek a použili metodu výpočtu několika response funkcí pro různé časové intervaly. Zjistili, že response funkce pro stanoviště v blízkosti zdroje znečištění vykazuje silný neklimatický signál pro období 1930 – 1978, tento signál nebyl zjištěn na vzdálenějších stanovištích, ani pro periodu před rokem 1930.

3.4 Změny v přírůstu lesních porostů, možné příčiny tohoto jevu

3.4.1 Změny v přírůstu lesních porostů

Změny ve složení zemské atmosféry, ke kterým došlo v tomto století, zejména zvýšená koncentrace CO₂ v atmosféře a zvýšená množství dusíku a síry v ovzduší, významně ovlivňují růst a zdravotní stav lesních dřevin. V oblastech s vysokými koncentracemi SO₂ v ovzduší způsobují imise chřadnutí a odumírání stromů a kyselé deště negativně ovlivňují vlastnosti lesních půd. Na druhé straně zvyšující se koncentrace CO₂ v atmosféře a zvýšené depozice dusíku v lesních půdách mohou mít kladné vlivy na některé fyziologické procesy a na růst lesních dřevin (Chalupa, 1974). Skutečnost zvyšujících se přírůstků evropských lesů v posledních dekádách byla již spolehlivě prokázána. K prokázání změn v růstu lesních dřevin

byla využita data z (1) opakovaných měření přírůstů pocházejících z národních inventarizací lesů a trvalých zkusných ploch, (2) letokruhových, resp. kmenových analýz.

Data pocházející z inventarizací popisují reprezentativním způsobem růst porostů v rámci velkých územních celků. Z výsledků inventarizací lze získat středně- až dlouhodobá data o vývoji přírůstů. Jelikož inventarizační plochy jsou obvykle založeny v podobě systematické sítě, lze získaná data vyhodnocovat pomocí geostatistických metod. Velkou výhodou je možnost prostorového vyhodnocení příčinných vztahů mezi přírůsty a ostatními geo-referenčními daty jako jsou klimatická data, pedologické mapy nebo mapy atmosférických depozic. Nevýhodou těchto dat je nejednotnost používaných metod v různých zemích a změna metod v průběhu času. Zjištěné změny v růstu stromů tak mohou v některých případech být důsledkem porovnání nekonzistentních dat (Spiecker, 1999).

Rozborem inventarizačních dat ze Švédska doložil Elfving et al. (1996) zvýšení potenciální produkce o 60 % za období od roku 1923 do roku 1990. Významný vzestup výškových a tloušťkových přírůstů byl pozorován především od roku 1953. Toto zjištění je v dobré shodě s výsledky Schopfera (1994), který významný vzestup přírůstů smrku od poloviny 50. let v Bádensku - Würtensbersku přičítá hlavně zvýšeným depozicím dusíku. Také v Norsku byly zjištěny nadprůměrné přírůsty, a to zejména v její jižnější části země, kde se vyskytují nejvyšší depozice atmosférického dusíku (Strand, 1998). Pro území ČR provedl zhodnocení údajů získaných při inventarizacích za období 1950 – 1995 Kouba (1995). Za toto období stoupla u nás zásoba v lesních porostech o více jak 60 %.

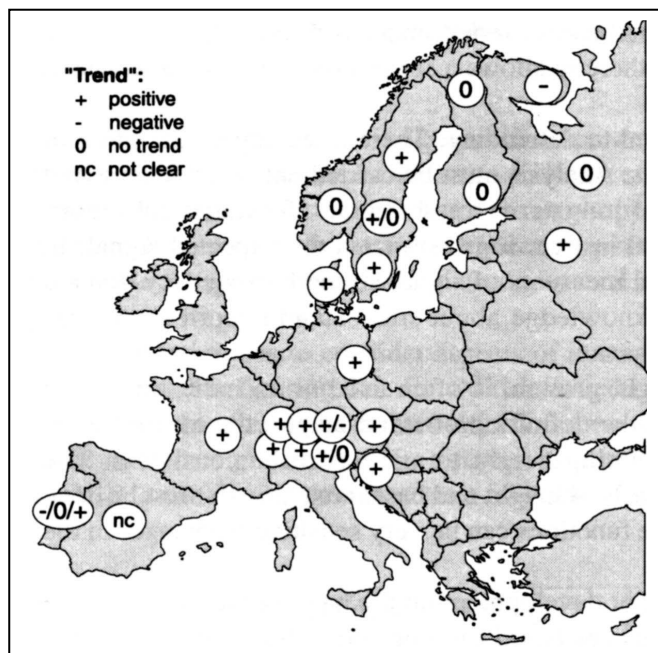
Trvalé výzkumné plochy zakládáné od poloviny 19. století sloužily nejprve především pro studium produkce dané dřeviny na určitém stanovišti. Později přibývaly další výzkumné záměry: provenienční pokusy, testování účinku výchovných zásahů, hnojařské pokusy apod. Velkou výhodou dlouhodobě sledovaných ploch je především dobrá dokumentace historie porostu. Plochy jsou dobře identifikovány, stromy očíslovány a pravidelně měřeny. Nevýhodou je, že získaná data nejsou reprezentativní díky nízkému počtu takovýchto ploch a také díky jejich subjektivnímu výběru.

Eriksson a Johansson (1993) porovnávali vývoj přírůstů dvou následujících generací smrku na trvalé výzkumné ploše v jihozápadním Švédsku. K dispozici byla měření pro první generaci za období 1880 – 1919, pro druhou generaci pak za období 1950 – 1989. Celkový objemový přírůst porostu druhé generace ve věku 0 – 40 let byl v průměru o 40 % vyšší než v první generaci, zároveň horní výška 40-letého porostu vzrostla o 20 %. Za nejvýznamnější faktor způsobující zvýšení přírůstů jsou pokládány zvýšené depozice dusíku, které pozorovány v této části Švédska od roku 1950. Zvýšení přírůstů smrkových porostů potvrzují

těž výsledky z trvalých výzkumných ploch a probírkových pokusů v Severním Westfálsku (Spelsberg et al. 1995).

Studie o růstových trendech z 12 zemí Evropy, shrnuté ve výzkumné zprávě Evropského lesnického institutu (Spiecker et al. 1996), jsou založeny jak na datech z letokruhových analýz, tak na datech z inventarizací a trvalých výzkumných ploch. Ačkoliv metody vyhodnocení se liší v závislosti na povaze analyzovaných dat, většina studií prokázala shodný vzestupný trend v produktivitě porostů. Vyšší přírůsty zaznamenány v jižní části Skandinávie, ve většině regionů střední Evropy a v některých částech jižní Evropy (obr. 2). Přírůst vyjádřený v objemových jednotkách se zvýšil řádově o 40 % v jižním Švédsku, běžně o 50 % a výjimečně o 250 % v jižním Německu, o 24 - 80 % v Rakousku a o 50 – 160 % ve Francii. Naproti tomu žádný trend ve vývoji přírůstů se neprojevil na většině lokalit v severní Evropě a v několika případech v jižní Evropě. Pokles přírůstů zjištěn pouze ve výjimečných případech v porostech vystavených extrémní zátěži znečišťujícími látkami či v porostech ovlivněných extrémními klimatickými podmínkami.

Obr. 2 Růstové trendy v evropských lesích, 22 studií z 12 zemí (Spiecker et al. 1996)



3.4.2 Možné příčiny akcelerace přírůstků lesních porostů

V souvislosti s prokázáním rostoucí produkce lesů vyvstaly otázky po příčině tohoto jevu. Pozornost se zaměřila na tři faktory úzce související s úrovní fotosyntézy a výživou dřevin a mající tedy přímý vztah k velikosti produkce - koncentraci CO₂, teplotu a depozice dusíku. Za posledních 100 let výrazně stouply hodnoty všech jmenovaných faktorů.

Z původní předindustriální koncentrace CO₂ 270 – 280 ppm se zvýšila koncentrace CO₂ v roce 1958 na 315 ppm a v roce 1996 dosáhla 360 ppm. Zároveň na severní polokouli zaznamenány velké změny v relativních amplitudách koncentrace CO₂, což signalizuje podstatné zvýšení asimilace CO₂ u rostlinstva, zejména u porostů lesních dřevin, které se rozkládají na velkých rozlohách (Chalupa, 1997).

Za důkaz zvyšujících se přírůstků v důsledku působení CO₂ jsou považovány letokruhové analýzy lesních porostů v odlehlých oblastech, kde jsou předpokládány minimální depozice dusíku. Přírůsty borovice limby (*Pinus cembra*) v nadmořské výšce nad 2000 m n. m. v centrální části Východních Alp analyzoval Nicolussi et al. (1995). Šířka letokruhů stromů ve věkové skupině 80 – 90 let stoupla v průběhu 20. století o 33 %.

Silným důkazem o zvyšování přírůstků působením CO₂ je letokruhová analýza *Quercus ilex* vystaveného dlouhodobě vysokým koncentracím CO₂ (650 ppm) v blízkosti přírodního vývěru CO₂ v Itálii (Hättenschwiler et al. 1997). Stromy přirůstaly v průměru o 12 % rychleji než stromy rostoucí poblíž, ale vystavené již normálním koncentracím CO₂.

Pozorovaný vzestup globální roční teploty v tomto století činil přibližně 0,5 °C. Je otázkou, zda tento vzestup teploty byl způsoben antropogenními vlivy, zejména vzestupem koncentrace CO₂ a dalších skleníkových plynů v atmosféře, či zda se jedná o podnební kolísání, které bylo vyvoláno přírodními vlivy (Chalupa, 1997). V chladných oblastech (v boreálním pásu či ve vyšších nadmořských výškách mírného pásu) se teplota stává limitujícím faktorem z hlediska růstu dřevin. Úzké pozitivní korelace mezi teplotou a parametry růstu (zejména maximální hustotou dřeva) je využíváno jednak při dendroklimatologických rekonstrukcích vývoje klimatu (Brázdil et al. 1997; Briffa et al. 1992) a jednak v modelech hodnotících účinek vzestupu teploty na lesní porosty (D'Arrigo et al. 1992).

Teplota ovlivňuje téměř všechny procesy v rostlinách a v půdě: vyšší teplota zvyšuje celkovou fotosyntézu, rychlost mineralizace, prodlužuje se délka vegetační doby. Všechny tyto změny mohou vést k zrychlení přírůstu. Na druhou stranu dochází k zvýšení respirace,

urychlení stárnutí listů, zvyšují se ztráty dusíku z půdy v plynné formě, zvyšuje se imobilizace N půdními mikroorganismy a především se zvyšuje pravděpodobnost vodního stresu pro rostlinu (Cannell, 1999). Rehfuss et al. (1999) uvádí výsledky modelů popisujících vztah přírůstů a teploty, které odhadují, že teplota měla jen minimální vliv na růst lesů v průběhu 20. století, vyšší teploty v následujícím století pak mohou produktivitu zvýšit ale i snížit v závislosti na hydrologické bilanci stanoviště.

Depozice NH_4^+ a NO_3^- vzrůstá v přírodních a polopřírodních ekosystémech v důsledku emisí anorganického dusíku vznikajících činností člověka. Tento dodatečný dusík způsobuje eutrofizaci ekosystémů normálně chudých na dusík, jako je většina lesů v mírném pásu (Schleppi et al. 1999a). Před rokem 1940 se pohybovala úroveň depozic dusíku okolo $5 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$, v roce 1970 to však již bylo $20 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$ a v současné době jsou ve velké části evropských lesů vstupy dusíku cca $15 - 30 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$ (Cannell, 1999).

Vliv úrovně výživy na přírůst byl v minulosti testován v rámci řady pokusů s hnojením lesních porostů (Vinš, Materna, 1968; Vinš 1971; Vinš, 1979). Z výsledků je známa pozitivní reakce dřevin na zvýšené dávky dusíku, která se projevuje především v porostech na chudých kyselých půdách. V pokusech s hnojením byly uplatňovány vysoké dávky dusíku, řádově ve stovkách kilogramů. Vinš (1979) hodnotil účinek hnojení lovosickým ledkem v dávce 500 kg/ha aplikované ve dvou po sobě jdoucích letech na smrkové porosty 6. – 8. bonity. V decenniu následujícím po aplikaci hnojiva došlo k zvýšení tloušťkového přírůstu u úroňových stromů o 55 %, výškový přírůst stoupl zhruba o 45 %. Shrnutí výsledků řady pokusů s hnojením provedl Materna (1985). Ze syntézy vyplynulo, že nízké dávky dusíku do $60 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$ jsou v podstatě neúčinné a neprojeví se výrazněji na přírůstu, pokud nejde o velmi silnou poruchu výživy. Proto byla stanovena minimální dávka dusíkatých hnojiv na $120 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$, lépe $240 - 360 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$.

Z výsledků pokusů s hnojením je zřejmé, že přírůst lesních dřevin reaguje pozitivně na dodávaný dusík. Je tedy pravděpodobné, že i depozice dusíku budou mít kladný vliv na zvyšování přírůstů. Otázkou ale zůstává, jak velký je tento stimulační efekt, neboť roční dávky dusíku prostřednictvím depozic tvoří méně než 10 % z dávky aplikované při hnojení. Na tuto otázku nelze odpovědět pomocí standardních hnojařských pokusů. Proto se pokusy s dodáváním živin začaly na konci 80. let koncipovat tak, aby se výškou dávky a charakterem blížily vstupům prostřednictvím depozic. Hnojivo je dodáváno v malých dávkách aplikovaných v krátkých časových intervalech v průběhu celého roku.

Simulací různých úrovní depozic dusíku a jejich účinkem na funkci lesních ekosystémů se zabývaly projekty NITREX (Nitrogen saturation experiments) a EXMAN (Experimental

Manipulation of Forest Ecosystems in Europe). NITREX zahrnoval 10 experimentů v 7 evropských zemích. Experimenty byly založeny na stanovištích s depozicí dusíku od 13 do 59 kg.ha⁻¹.rok⁻¹. Na lokalitách s přirozeně nízkou úrovní depozice byl dusík uměle přidáván do podkorunových srážek, naopak na lokalitách s vysokými depozicemi dusíku byly srážky zachycovány pomocí speciální střechy zbudované pod porostem a obsah dusíku v nich byl uměle snižován (Gundersen et al. 1998). Projekt EXMAN zahrnoval 6 experimentů ve 4 zemích, v jejichž rámci bylo pokusně měněno chemické složení a množství atmosférických depozic (Wright, 1998).

Výsledky experimentu z lokality Klosterhede (Dánsko) shrnul Gundersen (1998). V tomto experimentu byl v průběhu 4 let sledován vliv zvýšených depozic dusíku na dospělý smrkový porost. Přirozená depozice 15 – 20 kg.ha⁻¹.rok⁻¹ byla uměle zvýšena o dalších 35 kg.ha⁻¹.rok⁻¹, celkový vstup dusíku tedy činil 50 – 55 kg.ha⁻¹.rok⁻¹. Porovnáním plochy s dodávaným dusíkem a kontrolních ploch nebyl zjištěn žádný rozdíl v růstových parametrech – výčetní tloušťce, délce výhonů a váze jehličí. Jak na hnojené tak na kontrolní ploše byl zaznamenán pokles přírůstků v důsledku sucha, které se opakovalo po čtyři roky pokusu. V jehličí došlo k významnému vzestupu koncentrace N na hnojené ploše ve 3. roce pokusu, zároveň poklesl obsah P a Mg. Právě nízký obsah P mohl být příčinou inhibice růstové reakce na zvýšené koncentrace dusíku v jehličí. Vymývání nitrátů stoupalo v průběhu pokusu. Na konci vegetační sezóny 3. roku se koncentrace NO₃⁻ v půdní vodě již nesnížila na pozadovou hodnotu. Tato reakce je považována za počátek ztráty biologické kontroly nad koloběhem dusíku, jedná se o tzv. 2. fázi ve vývoji stavu nasycení.

Opačně koncipovaným experimentem integrovaným do projektu NITREX a EXMAN byl pokus na lokalitě Solling v Německu. Zde byla testována reakce smrkového porostu (62 let) na zásadní redukci vstupu síry, dusíku a dalších okyselujících složek v kombinaci s prodlouženými periodami sucha (Bredemeier et al. 1998). Redukce okyselujících složek na předindustriální úroveň neměla prokazatelný efekt na velikost kumulativních tloušťkových přírůstků. Naproti tomu výrazná redukce přírůstků, především výškových, se po 2 letech pokusu projevila na ploše se simulací suchých období. Ve 3. roce nebylo již sucho simulováno a výškový přírůstek okamžitě stoupl. To indikuje rychlou regeneraci smrku po nepříznivém působení sucha.

V podmínkách ekosystému horského smrkového lesa zkoumal účinek zvýšených depozic dusíku Schleppi et al. (1999b). Přirozená depozice na stanovišti byla 12 kg.ha⁻¹.rok⁻¹. Přihnojování dodatečným dusíkem ve výši 30 kg.ha⁻¹.rok⁻¹ se na zkoumaném smrkovém porostu neprojevilo zvýšeným přírůstkem (měřeno dendrometry), též index listové plochy

(LAI) a objem opadu zůstaly beze změn. Zvýšená depozice se neprojevila ani změnou chemismu jehličí. Nadzemní biomasa přijala pouze 12 % z dodatečně dodávaného dusíku. Důvodem absence účinku N na rostliny v tomto pokusu může být znevýhodnění stromů a rostlin v kompetici s půdními mikroorganismy v příjmu dusíku. Dusík byl dodáván v průběhu celého roku, ale rostliny jej mohly přijímat pouze ve vegetačním období, které je zde krátké (5 měsíců). Reakce na dodaný dusík byla nevýrazná i proto, že nedostatek dusíku není jediným limitujícím faktorem z hlediska přírůstků nadzemní i podzemní biomasy na tomto stanovišti. Příjem dusíku je zde limitován též anaerobními podmínkami v minerální půdě, které omezují prostor pro růst kořenů a mykorrhizu pouze na svrchní část půdy. Dalším limitujícím faktorem může být i nedostatek fosforu.

Pozitivní efekt depozic dusíku byl zaznamenán v pokusu na modelových ekosystémech čtyřletých sazenic smrku, kde byl po 3 roky sledován vliv třech různých koncentrací CO₂ (280, 420 a 560 ppm) a třech různých úrovní mokrých depozic dusíku (0, 30 kg.ha⁻¹.rok⁻¹ a 90 kg.ha⁻¹.rok⁻¹) na šířku letokruhu a kvalitu dřeva (Hättenschwiler et al. 1996). Letokruhové analýzy provedené na konci pokusu prokázaly stimulační efekt mokrých depozic dusíku jak na radiální, tak na objemový přírůst. Koncentrace CO₂ neměly na šířku letokruhu ani na objemovou produkci vliv. Naproti tomu koncentrace CO₂ způsobily významný vzrůst hustoty dřeva, zatímco depozice dusíku měly opačný efekt – pod jejich vlivem hustota dřeva klesala. V pokusu nebyla prokázána pozitivní interakce mezi CO₂ a N. Účinek CO₂ byl ve většině případů signifikantní pouze mezi variantami 280 a 420 ppm, stejně tak účinek depozic byl významný mezi variantami 0 a 30 kg.ha⁻¹.rok⁻¹. Při porovnání s třetí variantou jak u CO₂, tak u dusíku byly zaznamenány jen malé změny. To signalizuje, že maximální účinek CO₂ a dusíku se dostavuje při koncentracích, které jsou blízké současné úrovni v mnoha regionech.

Výše uvedená vyhodnocení zvýšených depozic dusíku do lesních ekosystémů dokládají, že ačkoliv dusík má bezpochyby kladný efekt na přírůsty, ne vždy se zvýšené vstupy dusíku musí projevit nárůstem produkce lesních porostů.

Argumenty, které podporují hypotézu omezeného vlivu depozic na růst lesních dřevin, shrnul na základě údajů z literatury Rehfuss et al. (1999): (1) stromy jsou schopné přijmout jen malou část z dusíku dodaného depozicí (část dusíku je dodána v zimním období, část je vymyta, imobilizována nebo se ztrácí v důsledku denitrifikace), (2) vztahy mezi roční mineralizací dusíku a produkcí nadzemní biomasy napovídají, že depozice N sami o sobě mohou způsobit zvýšení přírůstků maximálně o 10 – 20 %, (3) k zvýšení produkce porostů o 50 % a více je nutné aplikovat velkou dávku dusíku – několikanásobně více než vstupuje do

ekosystémů formou depozic – často navíc společně se závlahou a dodáním ostatních živin, (4) velká část lesních porostů, kde úroveň depozic převyšuje po několik dekád hodnotu $25 \text{ kg ha}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$, může být blízko stavu saturace, (5) mladé lesní porosty nemusí reagovat na hnojení dusíkem po uzavření zápoje díky efektivní recyklaci dusíku uvnitř stromů i v rámci ekosystému.

Příčinu současných růstových trendů se tedy zatím nepodařilo uspokojivě vysvětlit. Proto byl na konci roku 1996 vyhlášen výzkumný projekt EFI, který navazuje na výše zmíněnou studii o růstových trendech evropských lesů (Spiecker et al. 1996), a jehož cílem je objasnění vztahu mezi současnými růstovými změnami a výživou pro smrk, borovici a buk - Relationships between Recent Changes of Growth and Nutrition of European Norway Spruce, Scots Pine and European Beech Forests – RECOGNITION (Rehfuess et al. 1999). První výsledky z některých modelů hodnotících vliv synergického působení zvyšující se koncentrace CO_2 v troposféře a depozic dusíku na růst lesních porostů podávají důkazy o tom, že vzrůst teploty neovlivňuje velikost přírůstků tolik jako hnojivý účinek CO_2 v interakci se zvýšeným přísunem dusíku. Kromě těchto tří hlavních faktorů se na zvyšování přírůstků lesních porostů mohou do značné míry podílet i změny ve využívání krajiny člověkem a lepší hospodaření v lesích.

3.5 Dusík

3.5.1 Dusík a jeho formy, koloběh dusíku

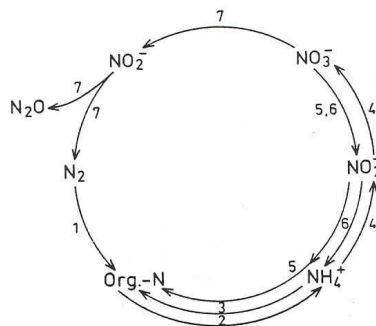
Dusík je základní látkou utvářející plynný obal země, jeho obsah v atmosféře činí 78%. Z hlediska obsahu v živých tkáních je po uhlíku, vodíku a kyslíku čtvrtým nejvýznamnějším biogenním prvkem a zároveň nejvýznamnější makroživinou (Lyr et al. 1967). Neschopnost většiny druhů využívat molekulární formu dusíku dala vzniknout paradoxu, že ačkoliv je dusík jedním z nejhojnějších prvků v biosféře, jsou jeho zásoby považovány za omezené. Důvodem je, že 99,96% dusíku se vyskytuje ve formě N_2 a pouze 0,04% je vázáno ve sloučeninách (Söderlund, Rosswall, 1982). Na rozdíl od ostatních živin dusík není obsažen v horninách. Primárním zdrojem dusíku pro terestrické ekosystémy jsou amonné a nitrátové ionty rozpuštěné ve srážkách a biologická fixace dusíku mikroorganismy (Binkley, 1986).

Nejvýznamnější sloučeniny dusíku vstupující do přírodních procesů jsou hlavní oxidy dusíku NOx: (NO, NO₂), antropogenně produkované spalováním fosilních paliv, přirozená produkce existuje pouze u NO a to emisemi z půdy, vulkanickou činností a elektrickými výboji v atmosféře (blesk); N₂O je tvořen zejména nitrifikací a denitrifikačními procesy v půdě, zároveň je významným skleníkovým plynem. Významné jsou též redukované formy dusíku (NH₃, NH₄⁺). NH₃ je vysoce rozpustný ve vodě, v atmosféře rychle reaguje s kyselými sloučeninami za vzniku NH₄⁺. Zdrojem 90% emisí těchto látek je v Evropě zemědělství. Pokud se vyjádří obsahem dusíku, jsou tyto emise zhruba na stejné úrovni jako emise oxidů dusíku (Söderlund, Rosswall, 1982; Lovett, 1992; Van Miegroet et al. 1992).

Biogeochemický cyklus dusíku zahrnuje velké množství sloučenin od redukovaných forem až po vysoce oxidované formy. Na většině transformací v rámci koloběhu dusíku se podílí mikroorganismy ve vodě a půdě. Biotická část koloběhu dusíku je schematicky znázorněna v obrázku 3.

Obr. 3 Schéma biotické části koloběhu dusíku podle Söderlunda a Rosswalla (1982).

1. Fixace dusíku, 2. Mineralizace (= amonifikace), 3. Imobilizace (asimilace amoniaku), 4. Nitrifikace,
5. Imobilizace (asimilace dusičnanů a dusitanů), 6. Neasimilační redukce nitrátů, 7. Denitrifikace



3.5.2 Příjem dusíku a jeho význam pro rostliny

Plynný dusík mohou využít pouze rostliny žijící v symbióze s bakteriemi typu *Rhizobium*. Z hlediska minerální výživy mají význam zvláště aniont NO₃⁻ a kationt NH₄⁺. Rozhodující úlohu v příjmu minerálního dusíku rostlinou mají metabolické procesy v kořenu rostliny. Asimilace nitrátů (NO₃⁻) může probíhat v kterémkoliv orgánu rostliny, jestliže obsahuje dostatek sacharidů, jejichž oxidací se uvolňuje energie potřebná pro redukci nitrátů. Nitráty, které nemohou být z různých důvodů redukovány v kořenech, jsou transportovány do listů, které mají vlastní nitrátový metabolismus. Na redukční řetězec NO₃⁻ mohou navázat

enzymy inkorporující NH_4^+ do organických látek jako skupinu $-\text{NH}_2$ aminokyselin a amidů. Podobně probíhá také inkorporace NH_4^+ přijatého z půdy. Kationt NH_4^+ snadno proniká rostlinnými membránami, a proto se do kořenů dostává velmi rychle (několikrát rychleji než nitrát). Rostlina ho musí rychle zpracovat, jinak by došlo k metabolickým poruchám, tzv. toxicitě amoniaku (Šebánek et al. 1983).

Podle Gebauera et al. (2000) amoniakální dusík převládá nad nitrátovým při odběru minerálního dusíku z půdy s porosty smrku ztepilého v pěstebních podmínkách mírného klimatu na kyselých půdách. Nitráty jsou mnohem důležitější jako zdroj minerálního N pro listnaté stromy než pro jehličnany.

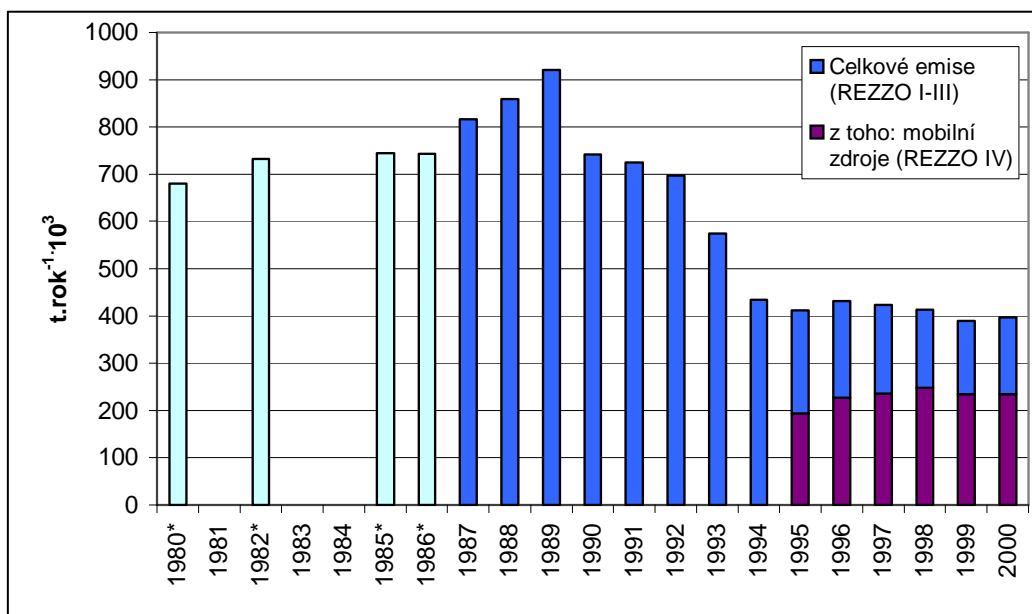
Při nedostatku dusíku je omezen růst rostlin a zvláště je zpomalen růst asimilačních orgánů. Listy jsou bledě zelené, se sníženým obsahem chlorofylu a nízkou intenzitou fotosyntézy. Dusík se přesouvá ze starých listů do mladých, které zůstávají zelené. Staré listy žloutnou a postupně odumírají. Mění se charakter vývoje – rostliny zkracují vegetační dobu, semena jsou nekvalitní. Při nadbytku dusíku jsou rostliny sytě zelené, vytáhlé, náchylné k poléhání, citlivé k chladu i suchu (Šebánek et al. 1983).

V přírodních podmínkách je koloběh dusíku poměrně uzavřený s nízkými vstupy z vnějšku. Lesní ekosystémy v našich podmínkách jsou adaptovány spíše na nedostatek tohoto prvku, což platí zejména pro horské oblasti. Současná produkce dusíku je vlivem člověka značně vysoká a výrazně převyšuje přirozený stav. Většina lesních ekosystémů mírného pásu je proto vystavena zvýšeným depozicím dusíku, i když tradičně byly tyto lesní ekosystémy obsahem dusíku limitovány (Tamm, 1991).

3.5.3 Emise dusíku, imise dusíku, depozice dusíku

V České republice došlo v první polovině devadesátých let k redukci emisí oxidů dusíku (obr.4). Ta však nebyla tak výrazná jako v případě oxidu siřičitého a zhruba od poloviny devadesátých let dochází ke stagnaci až mírnému nárůstu produkce NO_x . Zřejmým jevem je také nárůst emisí z dopravy. Ten je pro lesní ekosystémy rizikovější, protože na rozdíl od významných stacionárních zdrojů, koncentrovaných v aglomeracích, distribuuje znečištění přímo do lesnatých oblastí podél liniových zdrojů.

Obr. 4 Vývoj emisí oxidů dusíku v České republice



Zdroj dat: REZZO, ročenky ČHMÚ, Statistické ročenky ČR.

* Pro roky 1980, 1982, 1985 a 1986 jsou využity údaje ze statistické ročenky, které jsou udávány pouze jako emise ze stacionárních zdrojů (REZZO I-III)

Koncentrace oxidů dusíku v ovzduší se vyvíjejí různě podle lokalit. K poklesu dochází zejména v dříve silně zatížených oblastech, kde došlo k výraznému snížení emisí redukcí průmyslové výroby a zaváděním nových technologií. Hodnoty oxidů dusíku v oblastech vzdálených od zdrojů nadále zůstávají nízké. K vzestupu dochází v současné době zejména podél liniových zdrojů jako jsou dálnice a hlavní silnice, kde stoupá úroveň emisí z dopravy.

Lidská činnost se významně podílí i na produkci amoniaku. V roce 1994 pocházelo cca 85% produkce NH_3 z chovu dobytka a aplikací splaškových vod, 10% z aplikací hnojiv a 5% z průmyslového spalování (Rennenbegr, Gessler, 1999). Produkovaný amoniak NH_3 má velmi krátkou dobu setrvání v atmosféře a šíří se pouze lokálně – do 50 km. Jednotlivé zdroje se tedy mohou negativně projevat pouze ve svém bezprostředním okolí. V atmosféře se však NH_3 rychle přeměňuje do aerosolu NH_4^+ , jehož doba setrvání v atmosféře je 4 až 15 dní a může se tedy účinně transportovat na mnohem delší vzdálenosti až 1000 km.

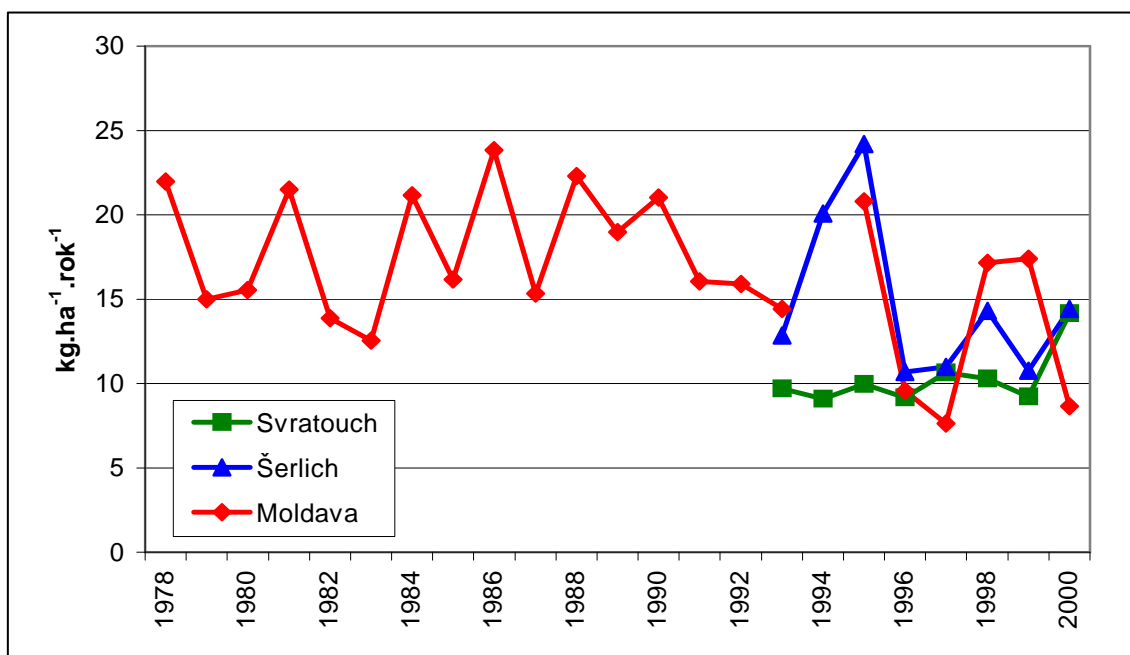
Přes nesporný význam plynných forem dusíku je hlavní antropogenní vstup tohoto prvku do lesních ekosystémů formou depozice dusičnanových (NO_3^-) a amonných (NH_4^+) iontů, která je nejčastěji sledována jako celková (bulk) či podkorunová (throughfall) depozice – v obou případech zahrnuje do značné míry i aerosoly a část suché depozice.

V čistých oblastech do lesních ekosystémů přichází 2 až 4 kg N.ha⁻¹.rok⁻¹ (Aber et al. 1989; Rapp, 1992) a tyto vstupy se prakticky pohybují na úrovni přirozeného pozadí (De Vries, 1988). Rennenbegr a Gessler (1999) uvádějí pro nezatížené oblasti roční depozici do 10 kg N na hektar za rok. V průmyslových oblastech Evropy (SRN, Holandsko) dosahovaly depozice N v oblasti Schwarzwaldu 30-40 kg N.ha⁻¹.rok⁻¹, v severních zemědělských oblastech SRN až 80 kg N.ha⁻¹.rok⁻¹ (Kenk, Fisher, 1988; Rasmussen et al. 1992). V Holandsku nebyly neobvyklé ve farmářských oblastech vysoké depozice N v rozmezí 100 - 200 kg.ha⁻¹.rok⁻¹ s vysokým obsahem redukováných forem (Draaijers et al. 1989). V severních lesních oblastech Evropy (Dánsko, Norsko, Švédsko), ale také ve Velké Británii se pohybovaly depozice dusíku od 3 do 21 kg.ha⁻¹.rok⁻¹ (Rasmussen et al. 1992; Unsworth 1992; Falkegren-Grerup et al. 1998) a tato dávka 21 kg N byla považována za kritickou (Tamm, 1991), a mohla vést při dlouhodobém působení ke změnám v lesních ekosystémech (Skeffington, Wilson, 1988).

Úroveň depozice dusíku je v rámci České republiky značně proměnlivá v čase i prostoru a její velikost je významně ovlivňována také charakterem vegetace. Vývoj depozice dusíku v čase nevykazuje obecně tak výrazný pokles jako je tomu u depozic síry a nekopíruje zcela křivku emisí NO_x. K určitému poklesu došlo, podobně jako u emisí NO_x, zejména v silně zatížených oblastech. Jinde lze sledovat většinou setrvalou úroveň depozic. Obrázek 5 ukazuje vývoj celkových depozic na volné ploše na stanicích Moldava (východní Krušnohoří), Šerlich (Orlické hory), Svratouch (Žďárské vrchy).

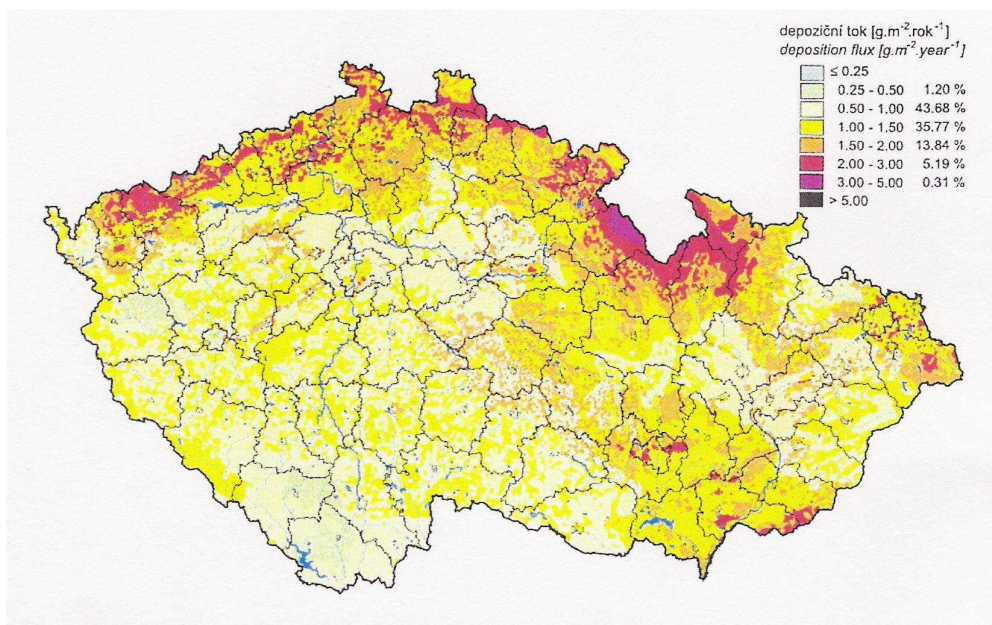
Obr. 5 Vývoj celkové depozice dusíku na vybraných stanicích

Zdroj dat: VÚLHM (Moldava, Šerlich), ČHMÚ (Svratouch)

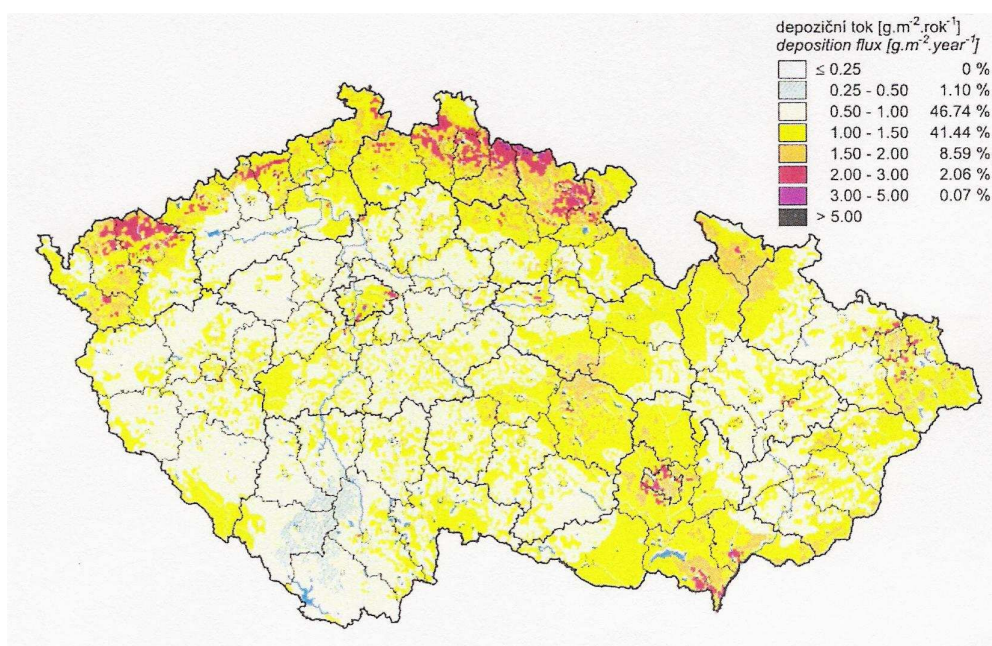


Z hlediska geografického je v České republice nejvyšší zatížení depozicemi dusíku v oblouku hercynských pohoří od Krušných hor, přes Lužické a Jizerské hory, Krkonoše Orlické hory až po Kralický Sněžník a Jeseníky (obr. 6 a 7). Přitom suchá forma depozice je relativně významnější v Krušných horách, mokrá v Krkonoších a Orlických horách.

Obr. 6 Pole celkové roční depozice dusíku v ČR v roce 1998
Převzato z ČHMÚ (1999)



Obr. 7 Pole celkové roční depozice dusíku v ČR v roce 2000
Převzato z ČHMÚ (2001)



V lesních porostech je úroveň depozice obecně vyšší než na volné ploše, vzhledem k vysokému specifickému povrchu, který umožňuje účinné zachycování znečišťujících látek ve formě plynů, aerosolů i pevných částic a následné spláchnutí do lesních půd. Povrch asimilačního aparátu je v případě lesa 10-20 násobkem povrchu půdy bez vegetace (Míchal, 1994). V listnatých porostech je depozice kyselých látek obecně nižší než v jehličnatých, protože listnáče mají menší zachytnou listovou plochu, která se ještě významně redukuje v zimním období, a také určitou schopnost pufrace protonů. V případě dusíku může být u listnatých dřevin významná část přijata v korunách stromů a depozice N je tak v porostu nižší oproti volné ploše. Např. na plochách Šerlich v Orlických horách v letech 1988-1997 představovaly depozice dusíku do starého smrkového porostu v průměru 210% depozice volné plochy. U mladého smrkového porostu to bylo 120% a v porostu buku a jeřábu (pouze období 1988-1994) byly depozice dusíku obdobné jako na volné ploše (Lochman et al. 2004).

3.5.4 Působení zvýšených depozic dusíku na lesní ekosystémy

Vzhledem k tomu, že je dusík hlavní makroživinou, která je ve většině přírodních lesních ekosystémů limitní, mohou mít emise tohoto prvku do určité míry pozitivní vliv, zejména na produkci ekosystémů. Např. sledování Binkleye a Hogberga (1997) potvrdily, že kromě části porostů nacházejících se na jihozápadním pobřeží Švédska nejsou zbývající lesní oblasti satureovány dusíkem a lze uvažovat i přihnojování dusíkem.

Větší pozornost je však v současné době věnována negativnímu působení zvýšených depozic dusíku na lesní ekosystémy. Procesy s tím spojené lze rozdělit na:

- ◆ Přímé působení oxidů dusíku na asimilační orgány
- ◆ Acidifikace lesních půd a narušení výživy porostů
- ◆ Eutrofizace stanovišť a zvýšený přírůst lesních dřevin

3.5.4.1 Přímé působení oxidů dusíku na asimilační orgány

Limitní hodnota UN ECE pro ochranu ekosystémů je $30 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3} \text{NO}_x$ jako hodnota ročního průměru. Tato bývá překročena pouze na malé části území České republiky, a to zejména v městských aglomeracích. Z hlediska přímého poškození lesů je tedy významnější působení oxidů dusíku jako prekurzorů vzniku ozónu, který je závažnou škodlivinou.

3.5.4.2 Acidifikace lesních půd

Půdní acidifikace je definována jako ztráta neutralizační kapacity půdy (Van Breemen et al. 1983). Zakyselování lesních půd je přirozený proces, který však může být významně umocněn depozicemi okyselujících látek, z nichž nejvýznamnější jsou sloučeniny dusíku a síry (Wesselink, 1994). Řada autorů (Mengel et al. 1987; Kaupenjohann 1989; Leonardi, Flückiger, 1989) ukázala, že kyselé depozice zapříčiňují vyplavování kationtů (K, Mg a Ca) z chlorotických a nebo žlutých listů. Vyplavování bazických kationtů z korun stromů může způsobit nerovnováhu ve výživě vyvolanou dezintegrací příjmu živin, a to zvláště na místech, kde vstup dusíku do ekosystému je vysoký. Vyplavování kationtů z korun zvyšuje potřebu příjmu bazických kationtů z půdy, což se odráží v následném uvolňování H^+ kationtů z jemných kořínků do půdního prostředí. Pro smrkové porosty ve vyšších oblastech Bavorska vypočítal Kaupenjohann (1989) rychlost vymývání alkalických kationtů z korun. Tato se pohybovala v rozmezí od 1,12 do 1,54 kmol.ha⁻¹.rok⁻¹, což odpovídalo pufrační kapacitě půdy (1,00-1,60 kmol.ha⁻¹.rok⁻¹) a představovalo přibližně 50% celkového objemu kyselé depozice vstupující do daného ekosystému.

Schneider (1990) ukázal, že uvolňování H^+ kationtů z jemných kořínků může narušit příjem živin, kdežto příjem H^+ kationtů z atmosférické depozice může být relativně rychle pufrován výměnnými procesy, hlavně alkalickými kationty sorpčního komplexu organické půdní vrstvy.

Aniont NO_3^- je extrémně mobilní v půdě a opouští velmi rychle půdní systém společně s ekvivalentním množstvím jak bazických, tak kyselých kationtů (Lundell, 2000). Reakční mechanismus pro depozice amonného dusíku je odlišný. Vysoká depozice může také způsobit vyplavování bazických kationtů z korun. Když je iont NH_4^+ nitrifikován a/nebo přijímán kořeny, projevuje se toto ve zvýšené acidifikaci na rozhraní půda-kořen.

Všechny popsané procesy přispívají k zvýšení půdní kyselosti a podporují ztrátu živin z ekosystému se současným snížením neutralizační kapacity půdy (Hüttl, Schneider, 1998; Persson, Ahlstrom, 1999; Sheppard, Cape, 1999).

3.5.4.3 Změny ve výživě lesních porostů

Vstup dusíku jako živiny může být sice pozitivní, zároveň však může vážně narušit poměr dusíku k dalším biogenním prvkům a způsobit nerovnováhu ve výživě. Reakce lesních porostů závisí na saturaci lesních ekosystémů dusíkem i na dostupnosti dalších prvků. V lesních ekosystémech, které nejsou satureovány dusíkem, kam patří i většina našich lesních

porostů, reagují tyto porosty prvořadě na zvýšený příjem dusíku zvýšením obsahu N v sušině jehličí, větví, stvolů a v kořenech (Krause, 1989; De Vries, 1988). Následně pak dochází k nárůstu biomasy asimilačních orgánů a ve svém důsledku i k zlepšení přírůstu (Kenk, Fischer, 1988; Schulze et al. 1987).

Řada sledování prokázala zvýšení obsahu N v jehlicích v různých místech střední Evropy (Heinsdorf et al. 1988; Hofmann et al. 1990). Tento jev vždy koreloval se zvýšeným vstupem dusíkatých sloučenin cestou atmosférické depozice. Sauter (1991) provedl analýzu jehličí u 80-letého borového porostu rostoucího na kyselých podzolech. Našel pozitivní trend ve stavu výživy dusíkem, od velmi nízké až deficitní výživy v 60. letech minulého století k dobré až optimální výživě koncem 80. let. Maternovy výsledky (1986) listových analýz ukázaly, že smrkové porosty v 80. letech zvláště v horských oblastech ČR vykazovaly ve většině případů nedostatek dusíku v jehličí. Navazující výsledky listových analýz z 90. let (Lomský, 1992) již ukázaly na nevyváženost dusíkaté výživy v jednotlivých pohořích, zvláště v severních pohořích ČR (Jizerské hory, západní Krušnohoří).

Hippeli a Brans (1992) prokázali stejný trend nárůstu obsahu dusíku v jehličí borovice, rostoucí na písčítých půdách v severovýchodním Německu během období 1964 – 1988, prakticky na všech zkoumaných stanovištích. Současně však došlo k poklesu obsahu Mg v jehličí až na hranici deficiencie tohoto prvku.

Vývoj nevyváženosti výživy byl zjištěn Nebem (1991) v porostech smrku ztepilého v Duryňském lese. Během dvaceti let došlo k snížení nedostatku N v jehličí a naopak se počátkem 80. let začal projevovat nedostatek Mg v jehličí. I experiment modelující depoziční podmínky posledního období v Krušných horách ukázal, že simulovaná depozice dusíku (až $80 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$) stimulovala jak u buku tak smrku růst, ale výrazně se projevila na nedostatku Mg a K v asimilačních orgánech u obou druhů (Heilmeyer et al. 2000). Stejný nedostatek v obsahu K a P vyvolala aplikace dusíkatých hnojiv ve smrkovém porostu v jihozápadním Švédsku (Salih, Andersson, 1999).

Persson a Ahlstrom (1999) zkoumali vliv depozice dusíku na růst jemných kořenů, na vitalitu a stav borových porostů. Zjistili, že poměr N k dalším makroprvkům v jemných kořenech může být dobrým indikátorem požadavků minerální výživy a vitality stromů v oblastech s depozicemi dusíku.

Agren (1983) ve svých modelových pokusech zjistil, že dávka $21 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$ je v průběhu 40-100 let schopna zvětšit obsah N v jehličí do 2% sušiny. A sám považuje hranici 1,8 - 2,0% N v sušině jehličí za hranici saturace ekosystému. Naproti tomu Tamm

(1991) ve své práci prezentuje vyšší dlouhodobou dávku působení N - v jeho pokusu během 20 let lesní ekosystém přijal 730 kg N, tj. 36 kg.ha⁻¹.rok⁻¹, bez zásadních změn.

Saturace ekosystému N se projeví nejenom ve zvýšení obsahu N v jehličí, ale také zvýšeným obsahem aminokyselin, klesá obsah P a ligninu v jehličí, zvyšuje se citlivost k vodnímu stressu. U sazenic borovic (Elliotova a kadidlová) došlo ke změnám v alokaci sušiny, změnám v celkové váze listů, v rychlosti fotosyntézy a vodivosti listů (Samuelson, 2000). Další příjem N snižuje růst kořenů a biomasu mykorrhizy (Aber et al. 1989). Dochází ke změně architektury koruny smrků a k snížení odolnosti vůči mrazu (Schoettle, 2000) - snižuje se obsah cukrů a zpomaluje se proces vytrávání dřeva. Rovněž se snižuje odolnost proti suchu a hrozí zvýšení nebezpečí infekcí (Tamm, 1991). Větší náchylnost stromů k napadení patogeny a savým hmyzem zjistili Flückiger a Braun (1999). Vysoký obsah dusíku v půdě zesiluje i reakci stromů na ozónový stres. Zvýšené koncentrace ozónu při vyšším obsahu N výrazně ovlivnily některé anatomické parametry dřeva smrku (Kurczyńska et al. 1998).

Při vyšších depozicích N ve formě NH₃ (Kaupenjohan, 1989) může docházet i k narušení výživy a to výměnných bazických kationtů z asimilačních orgánů. Rehfuess (1987) naznačil ještě další mechanismy, kterými nadbytek dusíku může způsobit nerovnováhu výživy. Jednak může zvýšená depozice N stimulovat růst, vyvolávat zředovací efekt s následným nedostatkem dalších prvků (P, K, Mg), dále může být příjem živin z půdy redukován konkurencí NH₄⁺ v příjmu živin v kořenových centrech a konečně vysoký obsah NH₄⁺ v půdě redukuje růst mykorrhizy.

Při plné saturaci lesního ekosystému N v obou jeho formách dochází k akceleraci procesů mineralizace a nitrifikace, k vyplavování přebytečného NO₃⁻. Půdy díky zvýšenému vstupu H⁺ budou mít tendenci k zvyšování acidity, vyplavování bazických kationtů a podzolizaci (Aber et al. 1989). Švédské pokusy ukázaly (Tamm, 1991), že až dávka 90 kg N.ha⁻¹.rok⁻¹ významně ovlivnila kyselost půdy.

V neposlední řadě se zvýšení dlouhodobé depozice N odráží ve změně struktury vegetačního pokryvu ekosystému (Petrjohn et al. 1999). Příkladem může být Holandsko, kde se vzrůstající saturací ekosystému N se začínají vřesoviště zatravňovat a vřes je pomalu vytlačován travinami jako jsou bezkolonec (*Molinia caerulea* L.) a metlice (*Deschampsia flexuosa* L.) (Skeffington, Wilson, 1988).

4. MATERIÁL A METODY

4.1 Odběrová místa

Přírůsty smrku byly postupně analyzovány ve třech oblastech: Orlické hory (problematická oblast s vysokými depozicemi dusíku, s neobvykle vysokými výškovými přírůsty a s výskytem rozsáhlého poškození mladých smrkových porostů v letech 1999 - 2002), Krušné hory – západní část (oblast s dlouhodobými vysokými vstupy síry a dusíku a s intenzivním žloutnutím smrkových porostů od konce 90. let), Českomoravská vrchovina – Žďárské vrchy (kontrolní oblast s relativně nízkými vstupy dusíku a síry, bez výrazných problémů se zdravotním stavem lesa). V každé oblasti byl vybrán jeden dospělý smrkový porost (věk 120 a více let), ve kterém byla provedena podrobná kmenová analýza 10 vzorníků, a minimálně 20 mladých porostů ve věkovém rozpětí 10 až 50 let, kde byl analyzován výškový růst vždy u 20 vzorníků v každém porostu.

Dospělé porosty byly vybírány podle několika základních kritérií. Porost se musel vyskytovat na lokalitě charakterizující sledovaný problém v dané oblasti (viz výše), zároveň muselo být v blízkosti porostu existující sledování depozic. Preferovány byly ty porosty, kde byly k dispozici další informace týkající se stavu lesa, půdních vlastností, chemismu asimilačních orgánů apod. Kromě těchto základních kritérií musely porosty splňovat i další kritéria nutná pro realizaci a následnou porovnatelnost výsledků přírůstových šetření: ve všech třech oblastech se muselo jednat o porosty rostoucí v obdobných stanovištních podmínkách, porosty musely být podobného věku, pokud možno musel být známý způsob obhospodařování, v porostu musel být dostatečný počet zdravých nadúrovňových jedinců (vyloučení stromů s hnilobou kmene), porost musel mít dostatečnou velikost pro omezení okrajového efektu, v neposlední řadě byl nutnou podmínkou i souhlas vlastníka lesa s provedením destrukčních analýz. Přehled vybraných lokalit pro kmenové analýzy a jejich základní charakteristiky uvádí tabulka 1.

Tab. 1 Přehled lokalit vybraných pro kmenové analýzy

Oblast	Lokalita	Číslo por.	Věk v r.2001	Lesní typ	Půdní typ	Podloží	Nadm. výška	Exp.	Reliéf	Vlastník
Orlické hory	Šerlišský mlýn	360C1	129	7K1	krypto-podzol	dvojslídny svor	920-970	JZ	svah 12°	Colloredo-Mansfeld
Krušné hory	Přebuz - Falešný metr	14C13	125	7M3	podzol modální	granit	925	-	rovina	LČR, LS Horní Blatná
Žďárské vrchy	Čachnov	206A6	133	6K1	kambizem dystrická	dvojslídny svor	730	-	rovina	LČR, LS Nové Město na Mor.

4.1.1 Orlické hory

Jednoznačně vhodný porost byl nalezen v Orlických horách na lokalitě Šerlišský mlýn. Jednalo se o porost 360C1, který patřil k srovnávací řadě výzkumných ploch VÚLHM a pro účely studie měl funkci kontroly.

V roce 1958 byla ve vyšších horských polohách ve stupni buko-smrkovém (LZ Opočno, polesí Deštné) založena srovnávací řada výzkumných ploch pasečných a v převodu v rámci úkolu „Převody pasečných tvarů na výběrné“. Pro založení řady výzkumných ploch byl vybrán 86-letý (září 1958) porost s pomísní příměsí buku vesměs ve spodní etáži a s ojedinělou příměsí jedle, který odpovídal vzhledem k poškození vrcholovými zlomy průměru těchto exponovaných lokalit. Porost vznikl ze smíšeného porostu s bukem s částečným předzmlazením smrku, většinou však jeho výsadbou. Spolu s náletovým převážně podúrovňovým bukem (cca 10 % hmoty) představuje typický obraz smíšených porostů vyšších poloh, kde bývala dříve vždy využívána přirozená obnova, která u smrku v tomto případě tvoří asi 29 % - výsledek analýzy 100 pařezů (Zakopal, 1973).

Porost na kontrolní ploše, kde v roce 2002 odebrány vzorníky pro účely kmenové analýzy, byl od roku 1958 bez zásahů. Výjimkou jsou nahodilé těžby, jako například po polomové kalamitě mokrým sněhem a námrazou v zimě 1967/68, kdy došlo k značnému narušení kontrolní plochy. Inventarizace (většinou spojené s nahodilými těžbami) zde byly v letech 1971, 1979, 1984. Inventarizace zachycují pouze stav na menších ploškách, celý porost měřen nebyl. V roce 1979 se vytěžily pouze 3 stromy. V roce 1984 byla zaznamenána těžba 52 stromů (14 % ze stavu před těžbou), průměrný těžžený kmen měl větší tloušťku než střední kmen. V roce 1998 byl soubor výzkumných ploch předán k běžnému hospodaření vlastníkovi Kristině Colloredo-Mansfeldové.

Na lokalitě byly od roku 1986 měřeny depozice, sledován byl také chemismus půdní a povrchové vody. V roce 1994 byl tento projekt ukončen a následně bylo pokračováno pouze v provizorním měření.

Vzhledem k značné objemové rozrůzněnosti zásob byly pro určení základních taxačních charakteristik porostu vytyčeny dvě zkusné plochy o rozměrech 50x50 m (0,25 ha). Porost se nachází na strmém svahu (12°). První plocha byla vytyčena v horní části svahu při hranici porostu, druhá pak ve spodní části svahu při dolní hranici porostu. Základní taxační charakteristiky dílčích ploch uvádí tabulky 2 a 3.

Tab. 2 Základní taxační charakteristiky porostu 360C1 (plocha v horní části porostu)

Plocha 1	SM	BK	SM souše	celkem
počet stromů na plochu (0,25 ha)	57	30	10	97
střední kmen:				
střední tloušťka (cm)	42,0	26,0		
střední výška (m)	22,2	20,7		
Weiseho horní střední kmen:				
horní střední tloušťka (cm)	52,9	36,4		
horní střední výška (m)	24,0	21,8		
výčetní základna (m ² /ha)	32,1	6,2	3,3	41,6
zásoba hroubí (m ³ /ha)	312,4	62,7		375,1

Tab. 3 Základní taxační charakteristiky porostu 360C1 (plocha v dolní části porostu)

Plocha 2 (dolní část porostu)	SM	BK	JR	celkem
počet stromů na plochu (0,25 ha)	60	3	1	64
střední kmen:				
střední tloušťka (cm)	54,0			
střední výška (m)	29,7			
Weiseho horní střední kmen:				
horní střední tloušťka (cm)	61,9			
horní střední výška (m)	31,5			
výčetní základna (m ² /ha)	48,5	0,4	0,04	48,9
zásoba hroubí (m ³ /ha)	543,8			

V Orlických horách byly mladé porosty pro analýzu výškových přírůstků vybrány tak, aby se stanovištními podmínkami blížily dospělému porost. Porosty reprezentující první dva věkové stupně byly rozmístěny víceméně podél celé délky hlavního hřebene Orlických hor, kde bylo v posledních letech pozorováno významné poškození dřevin. Tři porosty byly vybrány ze srovnávací řady výzkumných ploch na Šerlišském mlýně, 10 porostů bylo vybráno ze souboru ploch, kde byla v roce 2001 provedena chemická analýza jehličí v rámci studie pro MZe „Stav výživy a imisní zátěže mladých smrkových porostů v Orlických horách“ (Šrámek et al. 2001). Přehled vybraných porostů a jejich základní charakteristiky jsou uvedeny v tabulce 4.

Tab. 4 Přehled mladých smrkových porostů z oblasti Orlických hor vybraných pro analýzu výškových přírůstků

Číslo porostu	Věk v roce 2001		Nadm. výška	Lesní typ	Bonita abs.	Pásmo ohrožení	Vlastník	Pozn.
	dle LHP	dle LA*						
360C4	47	43	960	7K1	22	B	Colloredo-Mansfeld	
18C4	38	36	930	7K3	24	B	Kolowratské lesy	
360C5	34	34	960	7K5	26	B	Colloredo-Mansfeld	
359E8	24		900	7K6	24	B	Colloredo-Mansfeld	analýza jehličí v r. 2000
20Aa2	24		1010	7K	26	B	Lesy Janeček	analýza jehličí v r. 2000
360C8	19	25	960	7K5	22	B	Colloredo-Mansfeld	analýza jehličí v r. 2000
2Bb2	18		880	6K	22	B	Kolowratské lesy	analýza jehličí v r. 2000
16Cc2	18		930	7K	22	B	Kolowratské lesy	analýza jehličí v r. 2000
31Aa2	17		870	7K	26	B	Lesy Janeček	analýza jehličí v r. 2000
360C2	16		960	7K1	22	B	Colloredo-Mansfeld	
9Cc2/1	15		1070	8Z	14	A	Kolowratské lesy	
47Bb2	14		940	7K	18	A	Kolowratské lesy	analýza jehličí v r. 2000
83Ff2	14		1000	7K	16	A	Kolowratské lesy	analýza jehličí v r. 2000
427D3	14		1020	7Z2	22	B	Colloredo-Mansfeld	
21Aa2	14		1000	7Z	18	B	Lesy Janeček	
19B2	13		960	7Z2	18	A	Kolowratské lesy	
14Cc2	13		1030	7Z	16	A	Kolowratské lesy	
62Bb2	12		970	7K	16	A	Kolowratské lesy	analýza jehličí v r. 2000
358B4	11		970	7K3	22	B	Colloredo-Mansfeld	analýza jehličí v r. 2000

LA* věk určený letokruhovou analýzou pařezových výřezů

4.1.2 Krušné hory

Vzorníky pro kmenovou analýzu byly vybrány z porostu 14C14, který se nachází přibližně 2 km severně od obce Přebuz v nadmořské výšce 920 m n.m. Porost je místy mezernatý s náletem smrku. V důsledku exponované polohy zde smrk trpí častými vrcholovými zlomy. Aktuální taxační charakteristiky porostu byly určeny proměřením zkusné plochy 50x50 m (0,25 ha) a jsou uvedeny v tabulce 5.

Tab. 5 Základní taxační charakteristiky porostu 14C14

	SM
počet stromů na plochu (0,25 ha)	71
střední kmen:	
střední tloušťka (cm)	34,0
střední výška (m)	23,1
Weiseho horní střední kmen:	
horní střední tloušťka (cm)	41,2
horní střední výška (m)	24,7
výčetní základna (m ² /ha)	24,8
zásoba hroubí (m ³ /ha)	271,8

V polovině 90. let 20. století byla započata obnova porostu násekem od JV. Vytěžený objem dle lesní hospodářské evidence za předchozí decennium (1992 – 2001) činil 480 m³ b.k., vytěžená plocha byla 1,65 ha z celkové plochy porostní skupiny 12,97 ha.

Porost na lokalitě Přebuz - Falešný metr byl jednou povápněn, a to v druhé polovině 80. let. V současné době je tato lokalita zařazena mezi kontrolní plochy a není proto vápněna.

V oblasti západního Krušnohoří nemohlo být splněno kritérium existujícího měření depozic v blízkosti porostu, neboť v celé oblasti není žádné dlouhodobější sledování depozic k dispozici.

Mladé porosty byly vybrány tak, aby měly podobnou bonitu a rostly ve shodných stanovištních podmínkách (soubor lesních typů 7M a 7K) jako dospělý porost 14C14 (přehled porostů viz. tab. 6. Dva z mladých porostů 2. věkového stupně patří mezi porosty s buldozerovou přípravou půdy a byly do výběru zařazeny z důvodů srovnání. Velkým problémem při výběru mladých porostů bylo silné poškození zvěří (okus, loupání). Takto poškozena je v oblasti většina porostů. Proto ani u porostů 3. věkového stupně a starších nebylo zpravidla možné změřit víc jak 10 výškových přírůstků.

Tab. 6 Přehled mladých smrkových porostů z oblasti Krušných hor vybraných pro analýzu výškových přírůstků

Číslo porostu	Věk v r. 2003 dle LHP	Bonita abs.	Lesní typ	Pásmo ohrožení	Nadmořská výška	Pozn.
13B4	41	22	7M3	C	940	
9A3	36	24	7M3	C	940	
13B3a/1c	28	24	7M3	C	920	
102B3	26	20	7M3	C	920	
11E3	24	22	7M3	C	920	
16C3	23	22	7M3	B	920	
14E2	22	22	7M3	C	920	
18B2	22	22	7M3	C	920	
9A2	20	24	7M3	C	940	
28B2b/1b	18	22	7M3	B	900	buldozer
18A2b/1b	18	24	7M3	C	920	
14C2	18	22	7M3	C	920	
101A2	18	22	7M3	C	920	
8C2	17	22	7K3	C	920	
27D2	17	22	7M3	B	920	
16A2	16	22	7M3	C	920	buldozer
102B2	15	22	7M3	C	920	
108A2	14	20	7M3	C	880	oplocenka
101A1b	12	22	7M3	C	920	
26E1	12	22	7M3	B	880	
116B1	12	24	7K3	B	880	
115B2/1b	12	22	7M3	C	880	oplocenka
26C1	11	22	7M3	B	920	
117C1a	11	24	7K3	B	900	
108B1	11	22	7M3	C	880	
19B1a	10	22	7M3	B	920	
115B1a	10	22	7M3	C	880	
108A1	9	22	7K3	C	880	

4.1.3 Žďárské vrchy

Porost pro kmenovou analýzu (206A6) byl vybrán na lokalitě Čachnov, která leží na náhorní rovině Žďárských vrchů, v blízkosti profesionální stanice ČHMÚ Svatouch, kde jsou kromě meteorologických prvků (počátek měření v roce 1951) sledovány od roku 1993 též depozice. Ačkoliv nadmořská výška činí pouze 730 m n. m., z hlediska průběhu počasí je tato lokalita srovnatelná s horskými polohami.

Přehled zásahů za posledních 10 let podává lesní hospodářská evidence za decennium 1993 – 2002. Od roku 1994 do roku 1999 v porostu registrovány pouze nahodilé těžby s vytěženým objemem 1 - 20 m³. V roce 2000 byla zahájena obnova porostu, přičemž byla odtěžena asi třetina plochy porostu, vytěžená zásoba činila 230 m³.

Vzhledem k homogenitě porostu byla použita ke stanovení základních taxačních charakteristik jedna zkusná plocha o rozměrech 35x35 m (0,125 ha). Vypočtené hodnoty uvádí tabulka 7.

Tab. 7 Základní taxační charakteristiky porostu 206A6

	SM	BO	celkem
počet stromů na plochu (0,125 ha)	68	1	69
střední kmen:			
střední tloušťka (cm)	38,0		
střední výška (m)	29,2		
Weiseho horní střední kmen:			
horní střední tloušťka (cm)	45,4		
horní střední výška (m)	31,8		
výčetní základna (m ² /ha)	52,7	1,1	53,8
zásoba hroubí (m ³ /ha)	690,6		

Mladé porosty ve Žďárských vrších byly vybrány v širším okolí dospělého porostu 206A6, v revíru Čachnov. Mladé porosty mají podobnou bonitu a rostou ve shodných stanovištních podmínkách (lesní typ 6K1) jako dospělý porost. Přehled mladých porostů je uveden v tab. 8.

Tab. 8 Přehled mladých smrkových porostů z oblasti Žďárských vrchů vybraných pro analýzu výškových přírůstků

Číslo porostu	Věk v r. 2002		Bonita abs.	Lesní typ	Nadmoř. výška
	dle LHP	dle LA*			
206A4	43	44	26	6K1	730
202A3	35	33	26	6K1	775
207E4	35	39	26	6K1	745
203B6	25		26	6K1	758
209A3	25		26	6K1	740
246B2	25		26	6K1	679
206A3	24	20	26	6K1	730
210C2	24		24	6K1	720
215G13	24		26	6K1	623
202B3	23		26	6K1	764
243A2	23		24	6K1	718
250A1	22		26	6K1	736
203B1	15		26	6K1	769
243A1	15		24	6K1	752
253F1	15		26	6K1	708
206A2	14		26	6K1	734
242A1	14		26	6K1	720
246B1	14		26	6K1	678
208A2	13		26	6K1	749
210C1	13		24	6K1	722
214A1	13		26	6K1	632
243C1	13		24	6K1	699

LA* věk určený letokruhovou analýzou pařezových výřezů

4.2 Kmenová analýza vzorníků z dospělých porostů

Pro účely kmenové analýzy bylo vybráno 10 vzorníků horního středního kmene. Vzorník musel být pokud možno bez viditelného mechanického poškození kmene a koruny, bez hniloby a bez náhlého uvolnění. Před skácením byla u všech vzorníků změřena výška a výčetní tloušťka a označena orientace kmene vzhledem ke světovým stranám.

První kotouč z pokáceného stromu byl odebrán ve výčetní výšce, další kotouče pak po dvoumetrových sekcích. Z pařezu byly navíc odříznuty výseče pro přesné zjištění věku stromu. Povrch kotoučů byl pro lepší čitelnost letokruhů zbroušen. Šířky letokruhů byly měřeny na každém kotouči na 4 poloměrech vedených ve směru hlavních světových stran, měření bylo provedeno na digitalpozitometru Kutschenreiter s přesností na 0,01 mm.

Jednotlivé letokruhové série byly synchronizovány metodou křížového datování a zároveň byly opraveny nepravidelnosti v tvorbě letokruhů (doplněny chybějící letokruhy, odhaleny falešné letokruhy). Datace a oprava sérií byla provedena v programu DAS, správnost datace byla početně ověřena programem COFECHA (Holmes et al. 1986). Datované letokruhové série byly následně použity pro určení velikosti výškových přírůstů, které byly odvozeny jako průměrné přírůsty v odpovídajících sekcích z podílu délky sekce a rozdílu počtu letokruhů na začátku a na konci dvoumetrové sekce. Běžný výškový přírůst byl aproximován průměrným pětiletým přírůstem. Výstupy letokruhových analýz byly použity k výpočtu přírůstů na kruhové ploše a hmotových přírůstů v pětiletých intervalech (Korf, 1953).

Pro zvýraznění trendů ve vývoji přírůstů a též pro lepší vzájemnou porovnatelnost vzorníků byly hodnoty běžných přírůstů vyjádřeny ve standardizované podobě - jedná se o běžný přírůst vyjádřený v procentech průměrného přírůstu za celou dobu života stromu (Röhle, 1999).

4.3 Analýza výškového růstů mladých porostů

V každém mladém porostu bylo vybráno 20 úrovnových vzorníků. Výškový přírůst byl zjišťován proměřením délek jednotlivých internodií od vrcholku stromu. V porostech do 30 let věku byly výškové přírůsty měřeny na stojících stromech výškoměrnými tyčemi SOKKIA. V porostech 4. a 5. věkového stupně byly vzorníky skáceny a proměřeny ležící kmemy. Z každého vzorníku byly navíc odebrány dva protilehlé vývrty, případně jeden kotouč pod

posledním přeslenem, ke kterému byly proměřeny délky jednotlivých internodií od vrcholku stromu, počet letokruhů pak posloužil jako kontrola správnosti měření výškových přírůstů.

Pro další vyhodnocení byly mladé porosty rozděleny do skupin podle věkových stupňů. Pro každý věkový stupeň byly vyneseny vývojové výškové křivky a jejich průběh vzájemně graficky porovnán. Bylo provedeno též porovnání s výškovým vývojem vzorníků ze starého porostu za prvních 50 let života.

Vývojové výškové křivky jednotlivých porostů byly graficky porovnány s bonitním vějířem smrku Taxačních tabulek (Černý et al. 1996). Průběh bonitních křivek Taxačních tabulek byl vzat za referenční hodnotu výškového vývoje. Pro každý porost byl vypočten periodický výškový přírůst pro interval posledních 5 - 10 let v závislosti na počtu změřených výškových přírůstů. Za použití párového t-testu byla statisticky otestována odchylka zjištěného skutečného výškového přírůstu v daném intervalu od tabulkových hodnot. Tabulkový přírůst byl určen interpolací z bonitního vějíře Taxačních tabulek. Bonita porostu na počátku testovaného intervalu byla odvozena od střední výšky porostu v daném časovém okamžiku vypočtené jako aritmetický průměr výšek jednotlivých stromů.

4.4 Vztah přírůstů k průběhu počasí

Vztah přírůstů k průběhu počasí byl studován na řadách radiálních tloušťkových přírůstů z výčetní výšky dospělých vzorníků. Časové řady radiálních tloušťkových přírůstů bylo nutné nejprve standardizovat. Standardizace (odstranění věkového trendu z časové řady šířek letokruhů) byla provedena v programu ARSTAN (Holmes et al. 1986). Věkový trend byl aproximován lineární funkcí nebo klesající exponenciální funkcí v závislosti na charakteru řady, takto byla získána řada indexovaných hodnot šířek letokruhů. Zbývající autokorelace v časové řadě byla eliminována autoregresivním modelem (každá série byla modelována jako autoregresivní proces, jehož řád byl stanoven individuálně pro každou sérii). Výsledné indexované série (residuální letokruhové chronologie) byly agregovány do průměrné chronologie pro danou lokalitu.

Pro dendroklimatologické vyhodnocení byla použita klimatická data převzatá ze stanic ČHMÚ. Stanice musely splňovat následující kritéria: (1) lokalizace v podobných klimatických podmínkách, co nejbližší odběrovému místu, (2) k dispozici měsíční data (teploty a srážky) minimálně za období 40 let. V Orlických horách byla vybrána stanice Deštné v Orlických horách, v Krušných horách stanice Nová Ves v Horách, v oblasti

Žďárských vrchů stanice Svratouch. Ze stanic Deštné a Nová Ves v Horách byly získány měsíční úhrny srážek a průměrné měsíční teploty, ze stanice Svratouch byly navíc k dispozici i průměrné maximální a průměrné minimální měsíční teploty. Vztah klima – přírůst byl na všech třech lokalitách analyzován ve shodném časovém intervalu 1958 – 2001.

Klimatická data z dané stanice byla porovnáována s příslušnou průměrnou residuální letokruhovou chronologií. Indexovaná šířka letokruhu byla postupně korelována s hodnotami měsíčních klimatických proměnných v zadané sekvenci 17 měsíců: květen roku předcházejícího tvorbě letokruhu až září roku, kdy se daný letokruh vytvořil.

Součástí dendroklimatologického vyhodnocení byl i výpočet funkce odezvy (response function) za použití programu PRECON (Fritts, 1996). Vstupní proměnné byly stejné jako u jednoduchých korelací.

Vztah výškových přírůstů mladých porostů ke klimatickým faktorům nebylo možné analyzovat, neboť řady naměřených výškových přírůstů jsou velmi krátké.

4.5 Vztah přírůstů ke vstupům dusíku, síry a fluoru

Vztah přírůstů ke vstupům dusíku, síry a fluoru bylo možné analyzovat v oblastech Orlické hory a Žďárské vrchy. Dusík byl vybrán kvůli jeho možnému působení na zvyšování výškových přírůstů mladých smrkových porostů, síra a fluor pak jako hlavní zátěžové prvky vzhledem k silnému imisnímu zatížení Orlických hor v minulosti.

V oblasti Orlické hory, na lokalitě Šerlišský mlýn, v porostech patřící ke srovnávací řadě výzkumných ploch VÚLHM, byly v období 1988 – 1997 měřeny depozice v dospělém smrkovém porostu 360C1 (zde byly následně odebírány vzorníky pro kmenové analýzy) a smrkové tyčovině (porost 360C4), společně s měřením depozic probíhalo ve smrkových porostech i sledování chemismu půdní vody ve třech hloubkách půdního profilu (pod humusovým horizontem O, pod horizontem A a pod horizontem B). Pro období 1993 – 2001 jsou k dispozici také hodnoty depozice na volné ploše měřené na vrcholu Šerlichu.

V oblasti Žďárské vrchy bylo k dispozici pouze měření depozic na volné ploše u profesionální stanice ČHMÚ Svratouch (počátek sledování v roce 1993).

Pro vyhodnocení vztahu přírůstů k depozicím byla použita metoda odstranění věkového trendu a vlivu klimatu z jednotlivých chronologií s následným předpokladem, že zbývající trend v chronologii lze vysvětlit úrovní depozic.

U dospělých vzorníků byly hodnoty depozic korelovány s residui indexů tloušťkových přírůstů převzatými z regresního modelu klima – přírůst a dále s residui indexů ročních výškových přírůstů (použity hodnoty délek jednotlivých internodií měřených od vrcholku vzorníků skácených pro kmenové analýzy, postup odvození výškových indexů byl shodný s postupem použitým u mladých porostů – viz dále).

U mladých porostů bylo nejprve nutné odstranit věkový trend v řadách výškových přírůstů následujícím postupem: růstová data jednotlivých vzorníků z každého porostu byla vyrovnána Korfovou růstovou funkcí (Korf, 1939) za použití metod nelineární regrese v programu Mathematica. Následně byl trend v řadách výškových přírůstů daného vzorníku aproximován Korfovou přírůstovou funkcí s parametry získanými pro růstová data. Indexy byly vypočteny jako podíl naměřené a aproximované hodnoty výškového přírůstu. Pro každý porost byla vypočtena průměrná řada indexovaných výškových přírůstů.

Metodami mnohonásobné lineární regrese byl stanoven model vztahu klima – výškový přírůst pro každý porost. Prediktanty v modelu byly indexy výškového přírůstu (viz výše). Za prediktory byly použity ty klimatické proměnné, které významně ovlivňují přírůst starých vzorníků v dané oblasti. V Orlických horách byly jako prediktory použity tyto proměnné: průměrná teplota v období květen až září daného roku, srážkový úhrn za únor až březen daného roku a srážkový úhrn v červenci předchozího roku. Ve Žďárských vrších: průměrná teplota v září předchozího roku, srážkový úhrn za červen až červenec daného roku a srážkový úhrn v červenci předchozího roku. Takto byly pro každý porost vypočteny modelové indexy výškového přírůstu a následně residua jako rozdíl mezi skutečnými a modelovými indexy.

Residua indexů výškových přírůstů byly agregovány do průměrných chronologií pro jednotlivé věkové stupně. Tyto byly korelovány s dostupnými řadami měření depozic dusíku, síry a fluoru v dané oblasti, v Orlických horách navíc také s koncentracemi těchto látek v půdní vodě.

5. VÝSLEDKY

5.1 Kmenové analýzy vzorníků z dospělých porostů

5.1.1 Orlické hory, lokalita Šerlišský mlýn

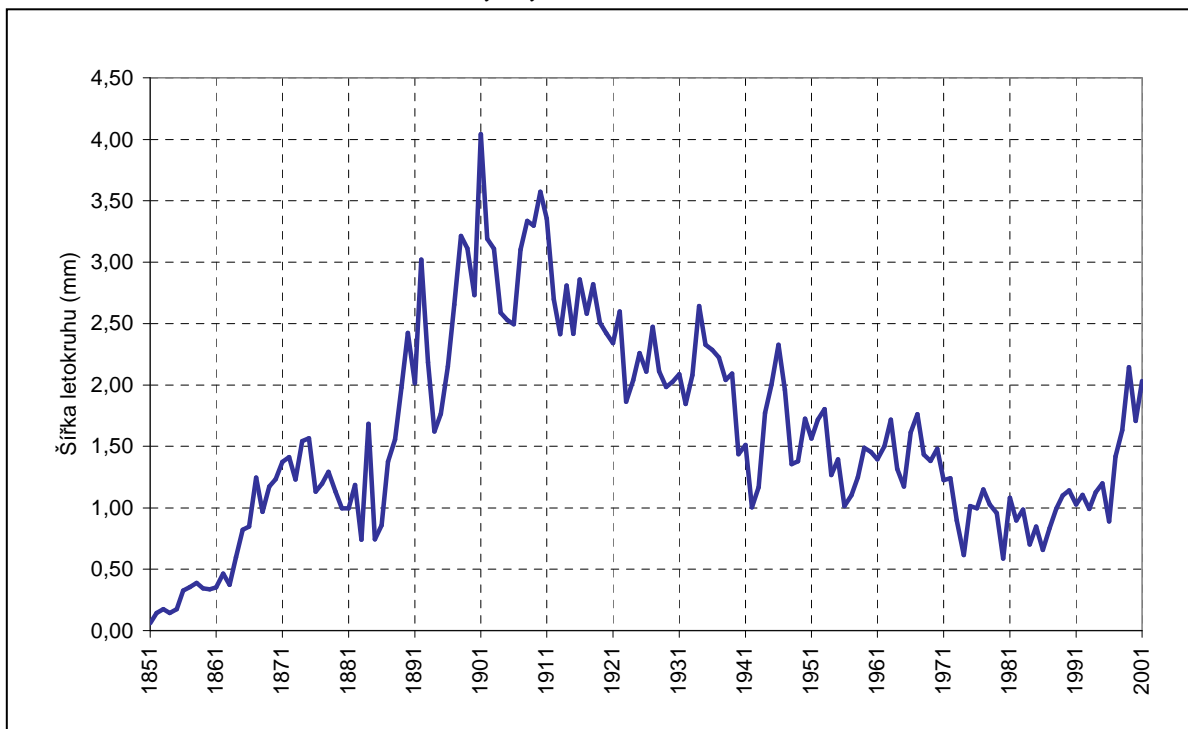
Absolutní věk vybraných vzorníků, určený letokruhovou analýzou pařezových výřezů, se pohyboval od 140 do 200 let (tab. 9). U všech vzorníků bylo zjištěno různě dlouhé období nízkých přírůstů v mládí vypovídající o počátečním vývoji stromků v zástinu pod mateřským porostem. Délka potlačení byla v průměru 41 let, velikost průměrného tloušťkového přírůstu v tomto období činila 1,6 mm. Polovina vzorníků za tuto dobu nedosáhla výšky 1,3 m, sekvence úzkých letokruhů je tak patrná pouze na pařezu. Většina stromků byla uvolněna v relativně krátkém časovém úseku v 80. letech 19. století. Tomu odpovídá i průběh průměrné letokruhové křivky zobrazující radiální tloušťkové přírůsty ve výčetní výšce (obr. 8): zpočátku dlouhé období nízkých přírůstů, přibližně od roku 1885 začíná běžný radiální přírůst stoupat, kulminace dosahuje po 15 letech v roce 1901, od tohoto roku postupně klesá.

Mezi vzorníky je značný věkový rozdíl, ovšem ze synchronního průběhu výškových křivek na obr. 9 je patrné, že po uvolnění na konci 19. století měly stromy jednotný vývoj.

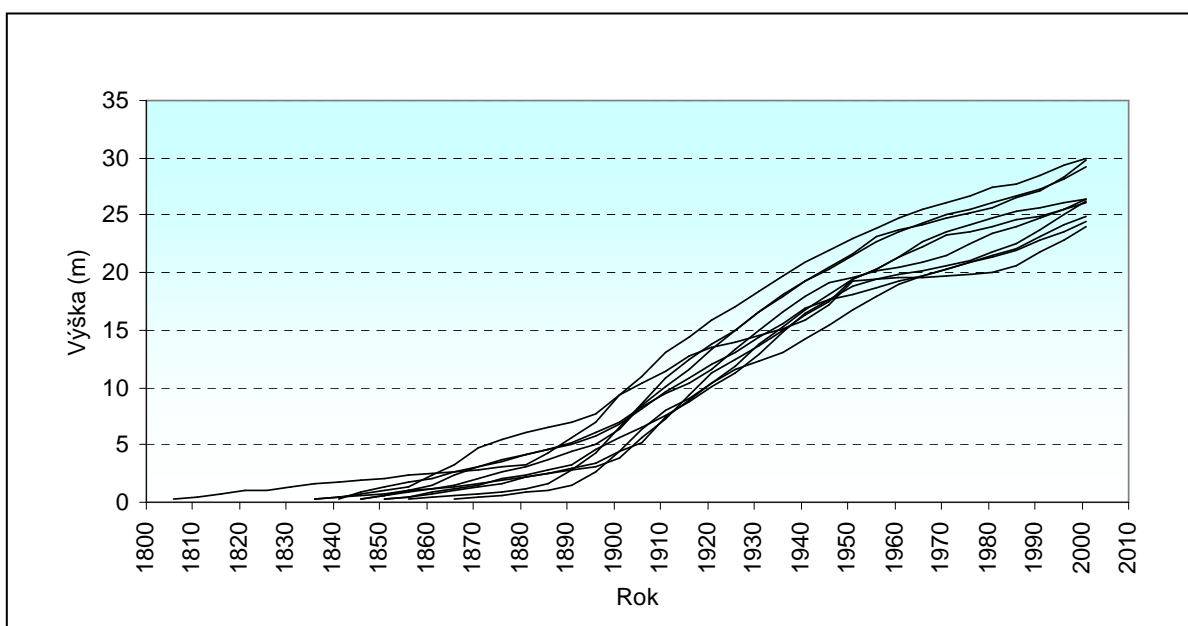
Tab. 9 Výsledky letokruhové analýzy pařezových výřezů

Číslo stromu	Datace dřeně	Věk na pařezu v r. 2001	Perioda potlačení	Délka potlačení v letech	Průměr na pařezu na konci potlačení (cm)	Průměrný přírůst v době potlačení (mm)
1	1836	166	1836 - 1883	47	5,63	1,20
2	1847	155	1847 - 1896	50	13,35	2,67
6	1852	150	1852 - 1893	42	6,05	1,44
12	1858	144	1858 - 1885	28	2,95	1,05
13	1806	196	1806 - 1883	78	8,08	1,04
17	1867	135	1867 - 1885	19	2,45	1,29
18	1837	165	1837 - 1854	18	1,73	0,96
20	1852	150	1852 - 1886	35	6,45	1,84
22	1839	163	1839 - 1888	50	10,9	2,18
25	1845	157	1845 - 1886	42	8,80	2,10
Průměr		158,1		40,9		1,58

Obr. 8 Průměrná letokruhová série - Šerlišský mlýn



Obr. 9 Vzrůstové výškové křivky - Šerlišský mlýn



Vývojové křivky výčetní tloušťky, výšky, kruhové výčetní základny a objemu kmene a průběh běžných a průměrných přírůstů těchto veličin pro jednotlivé vzorníky jsou vyneseny v obr. P1 – P10 přílohy č.1 této práce.

Běžný tloušťkový přírůst nejprve stoupá, po dosažení bodu kulminace nastává pozvolný pokles až pod hodnoty přírůstu průměrného. Vzhledem k různě dlouhému období

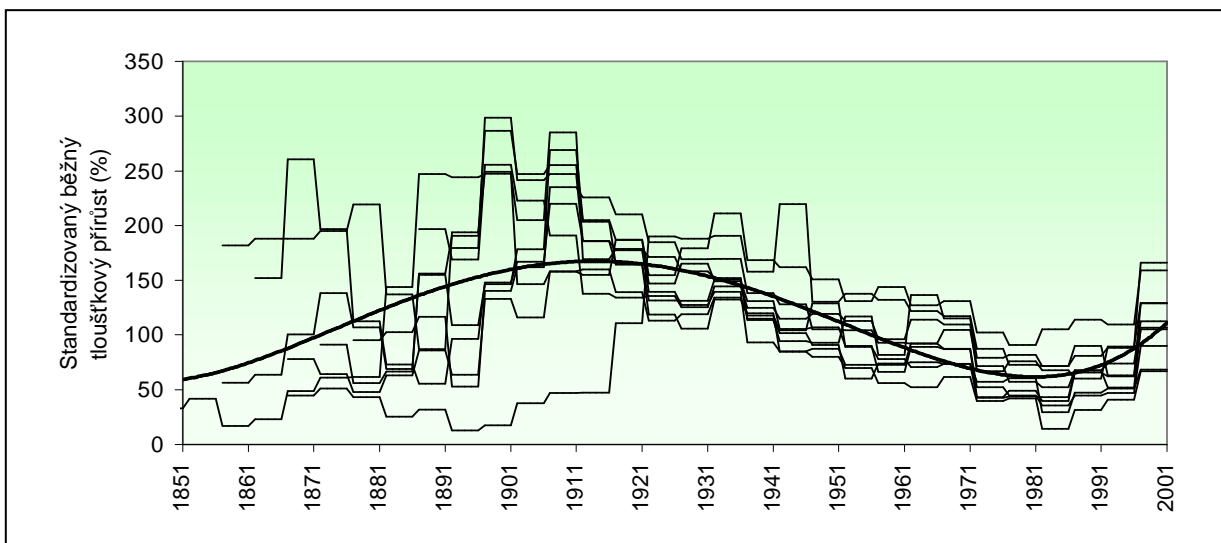
počátečního růstu vzorníků v zástinu nastává kulminace tloušťkového přírůstu v širokém věkovém rozpětí 30 – 110 let. Nejnižších hodnot dosahuje tloušťkový přírůst v období 1972 – 1986. V decenniu 1987 – 1996 přírůsty mírně stoupají. Prudký vzestup pozorován v poslední pětileté periodě 1997 – 2001, následkem čehož dochází u 7 vzorníků k vzestupu hodnoty běžného tloušťkového přírůstu nad úroveň přírůstu průměrného.

Výškové přírůsty je možné objektivně posoudit pouze u poloviny vzorníků kvůli četným vrcholovým zlomům. Výškové přírůsty jsou v porovnání s tloušťkovými více rozkolísané. K první kulminaci běžného výškového přírůstu dochází u vzorníků ve věku 45 – 100 let. U nepoškozených vzorníků klesá výškový přírůst na nejnižší hodnoty, stejně jako přírůst tloušťkový, v periodě 1972 – 1986. V 90. letech běžný výškový přírůst stoupá a blíží se či překračuje hodnotu průměrného výškového přírůstu, přitom věk vzorníků se v tomto období pohybuje od 130 do 190 let.

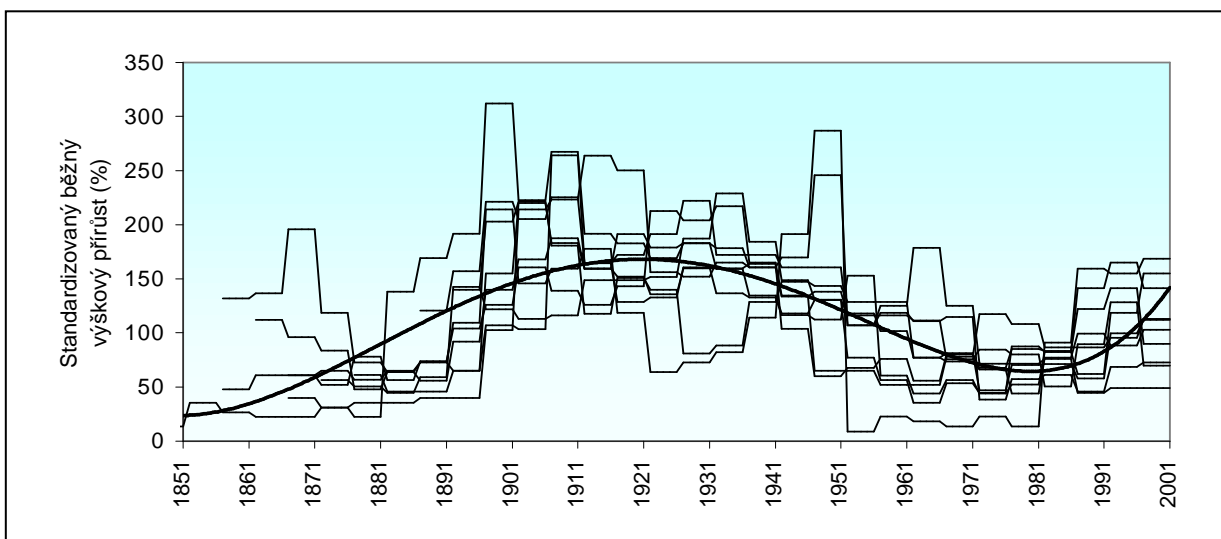
Atypický průběh přírůstů je ještě markantnější u přírůstových křivek kruhové výčetní základny a objemu kmene. I mírný vzestup radiálních tloušťkových přírůstů má při daných tloušťkových dimenzích vzorníků za následek strmý vzestup přírůstů na kruhové výčetní základně, a tím i objemu kmene. K první kulminaci běžného přírůstu na výčetní základně dochází ve věku 65 – 120 let, objemový přírůst poprvé kulminuje nejdříve ve 100 letech, vzorník č. 13 (věk 200 let) zatím kulminace běžného objemového přírůstu vůbec nedosáhl. K výraznému poklesu hodnot běžného přírůstu na výčetní základně došlo v letech 1972 – 1986, v tomto období také poprvé klesl běžný přírůst pod hodnoty přírůstu průměrného, a to u 5 vzorníků. Pokles objemového přírůstu zaznamenán v periodě 1977 – 1986, u 2 vzorníků došlo k protnutí křivek běžného objemového přírůstu a přírůstu průměrného. Po roce 1986 plošné i objemové přírůsty stoupají a běžné přírůsty se znovu dostávají nad úroveň přírůstů průměrných. Průměrné plošné i objemové přírůsty tedy setrvale stoupají, aniž by zatím dosáhly bodu kulminace.

Trendy ve vývoji běžných přírůstů ještě lépe vyniknou vynesou-li se do jednoho grafu příslušné běžné přírůsty vzorníků ve standardizované podobě jako funkce letopočtu (obr. 10 až obr. 13). Kvůli četným vrcholovým zlomům je nejobektivnějším způsobem vyjádření přírůstů přírůst na výčetní kruhové základně (obr. 12). Přírůst této veličiny má velmi těsný vztah k přírůstu objemovému, proto i standardizovaný běžný objemový přírůst (obr. 13) vykazuje podobné trendy jako standardizovaný přírůst na výčetní základně. Zřetelný je vzestup přírůstů obou veličin od poloviny 80. let. V poslední pětileté periodě pak hodnoty běžných přírůstů dokonce přesahují hodnoty z období první kulminace.

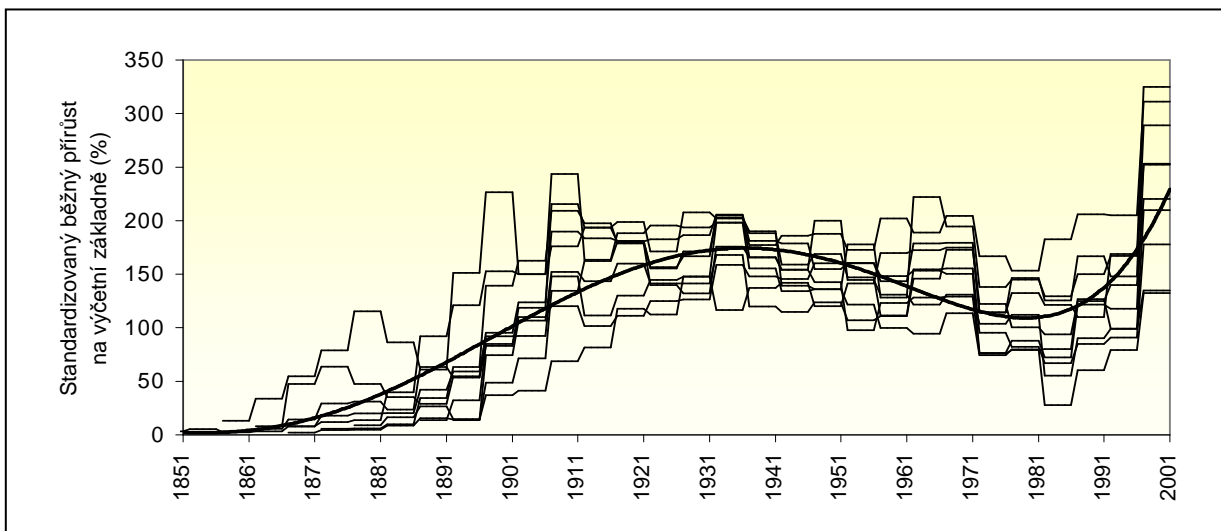
Obr. 10 Standardizovaný běžný radiální tloušťkový přírůst - Šerlišský mlýn

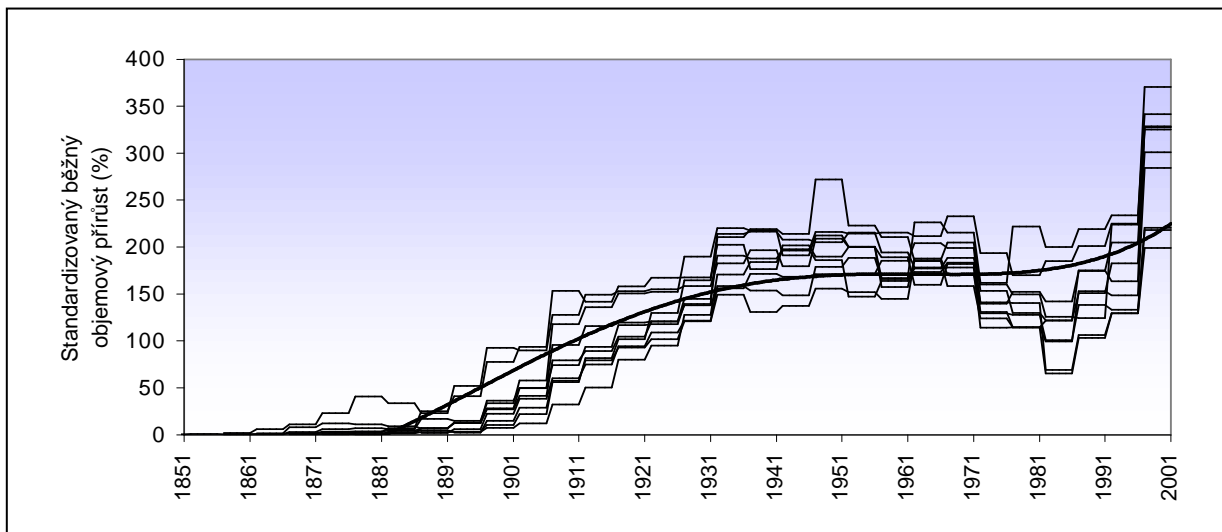


Obr. 11 Standardizovaný běžný výškový přírůst - Šerlišský mlýn



Obr. 12 Standardizovaný běžný přírůst na výčetní základně - Šerlišský mlýn

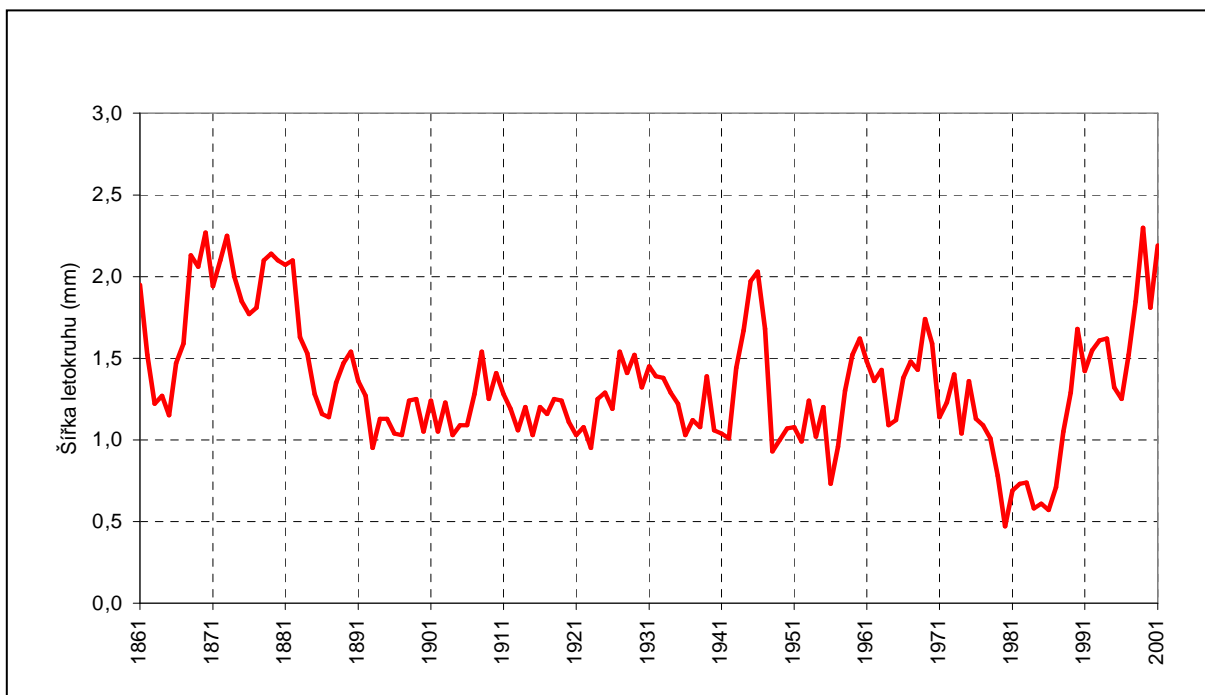


Obr. 13 Standardizovaný běžný objemový přírůst - Šerlišský mlýn

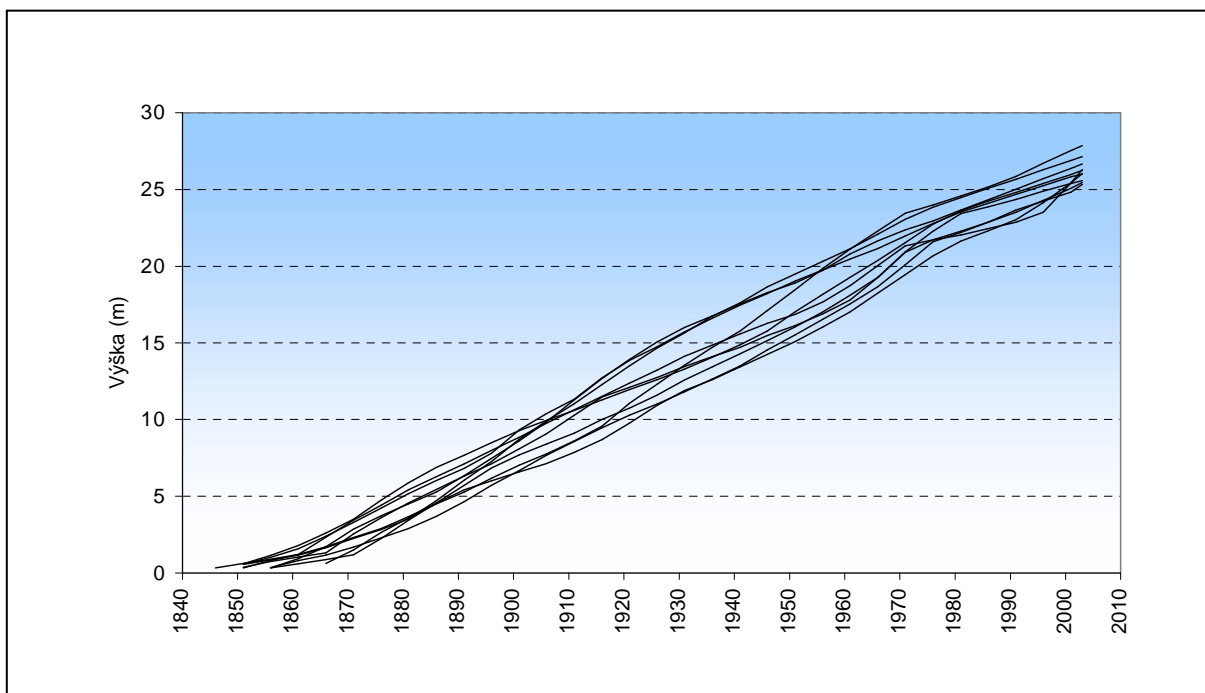
5.1.2 Krušné hory, lokalita Přebuz - Falešný metr

Věk vzorníků, určený analýzou pařezových výřezů, se pohyboval od 140 do 157 let. U poloviny vzorníků byla zaznamenána perioda nízkých přírůstů v mládí (znak potlačení) v trvání 6 – 22 let. Je pravděpodobné, že porost vznikl kombinací přirozené obnovy a dosadby.

V časové řadě šířek letokruhů (měřeno na kotoučích z výčetní výšky) nebyl zaznamenán typický exponenciální pokles se stoupajícím věkem (obr. 14). Tloušťkový přírůst vzorníků byl v průběhu života vyrovnaný a víceméně kolísal okolo průměrné hodnoty 1,36 mm. V posledních 25 letech lze pozorovat dva výrazné výkyvy: (1) přírůstová deprese v letech 1979 – 1987 s hlubokými minimy v letech 1980 a 1986, (2) výrazný vzestup přírůstů po roce 1987, kdy maxima v letech 1999 a 2001 převyšují hodnoty přírůstu v prvních 20 letech života.

Obr. 14 Průměrná letokruhová série – Přebuz-Falešný metr

Vzrůstové výškové křivky tvoří úzký svazek (obr. 15), což vypovídá o víceméně vyrovnaném výškovém vývoji vzorníků v minulosti. I přes relativně vysoký věk výška vzorníků stále stoupá, není zde patrné typické zploštění výškové křivky v dospělosti. Nárůst výšky s věkem má téměř lineární trend po celou dobu života.

Obr. 15 Vzrůstové výškové křivky – Přebuz-Falešný metr

Vývojové křivky výčetní tloušťky, výšky, kruhové výčetní základny a objemu kmene a průběh běžných a průměrných přírůstů těchto veličin pro jednotlivé vzorníky z lokality Přebuz - Falešný metr jsou vyneseny v obrázcích P11 až P20 v příloze č.1.

Běžný tloušťkový přírůst kulminuje u všech vzorníků v mládí do 40 let věku. U vzorníků 2 a 10 pozorována druhá kulminace ve věku 90 let. Nejnižší hodnoty běžného tloušťkového přírůstu zaznamenány u všech vzorníků pro periodu 1977 – 1986. Věk vzorníků se v tomto období pohyboval mezi 125. a 145. rokem věku. V tomto období běžný přírůst poklesl pod hodnotu průměrného přírůstu. Po roce 1986 přírůsty prudce stoupají. V poslední pětileté periodě 1997 – 2001 se hodnoty běžných přírůstů u třech vzorníků (2, 6, a 7) blíží hodnotám přírůstu v době první kulminace, u dvou vzorníků (1 a 3) je dokonce překračují. U všech vzorníků se běžný přírůst opětovně dostává nad úroveň průměrného přírůstu.

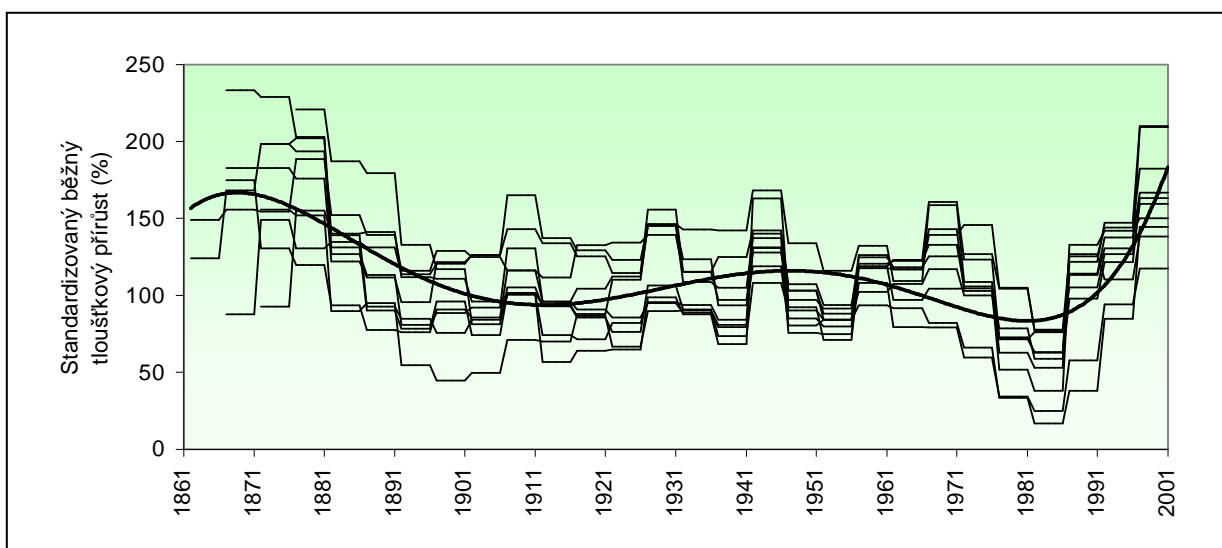
Běžný výškový přírůst je velmi rozkolísaný a je proto značně obtížné spolehlivě stanovit dobu kulminace. První kulminace dosáhly vzorníky do 60 let věku. Nejnižší hodnoty výškových přírůstů zaznamenány v periodě 1977 – 1986, kdy se věk vzorníků pohyboval mezi 120 a 140 lety. V pětileté periodě následující po minimu výškové přírůsty mírně stouply a dále setrvávají na ustálené hodnotě. Běžný výškový přírůst zůstává pod hodnotami průměrného přírůstu. Výjimkou je vývoj výškových přírůstů vzorníků 6 a 7, u kterých v posledním desetiletí (1992 – 2001) přírůsty strmě stoupají. Oba vzorníky však byly před 15 lety postiženy vrcholovým zlomem se ztrátou výškových přírůstů. Vysoké přírůsty v posledním decenniu jsou tedy spíše projevem regenerace po poškození koruny.

Běžný přírůst na výčetní základně má těsný vztah k přírůstu tloušťkovému, proto i zde v posledních 30 letech pozorovány dva výrazné zvraty ve vývoji přírůstů. Prvním je hluboký pokles přírůstů s počátkem v 1. polovině 70. let a minimem v pětileté periodě 1981 – 1986. Pouze v této periodě a pouze u čtyřech vzorníků (2, 7, 8 a 9) hodnoty běžného přírůstu klesly pod hodnotu přírůstu průměrného. Po roce 1986 nastává prudký obrat a přírůsty strmě stoupají. Běžný přírůst na výčetní základně v poslední analyzované pětileté periodě 1997 – 2001 je u všech vzorníků nejvyšší za celou dobu života.

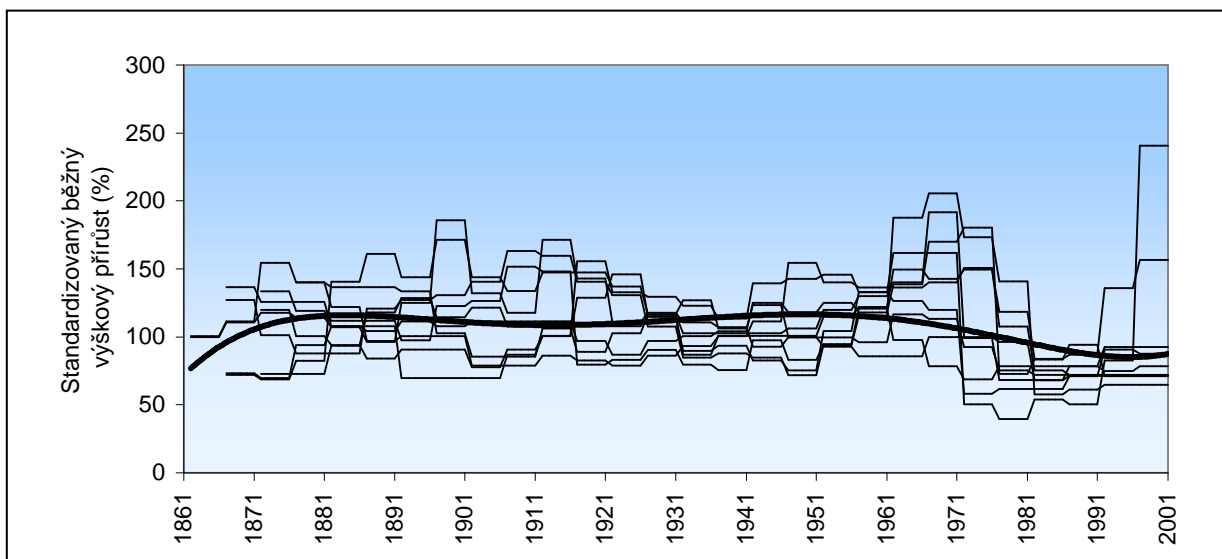
Vzestup přírůstů nejlépe dokumentuje vývoj objemového přírůstu. I zde se projevil pokles běžných přírůstů v 1. polovině 80. let, nicméně ani u jednoho vzorníku běžný přírůst neklesl pod hodnotu přírůstu průměrného. V posledních 15 letech běžný objemový přírůst zaznamenal rychlý vzestup a stejně jako běžný přírůst na výčetní základně dosáhl v poslední analyzované periodě 1997 – 2001 maximální hodnoty. Průměrný objemový přírůst zatím ani u jednoho vzorníku nedosáhl bodu kulminace a stále stoupá.

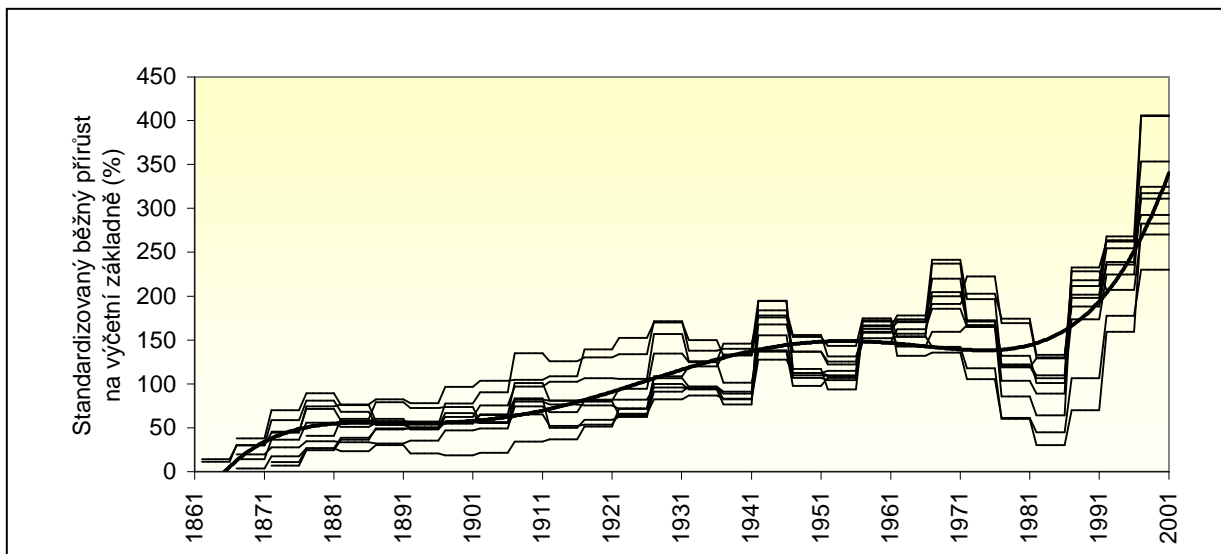
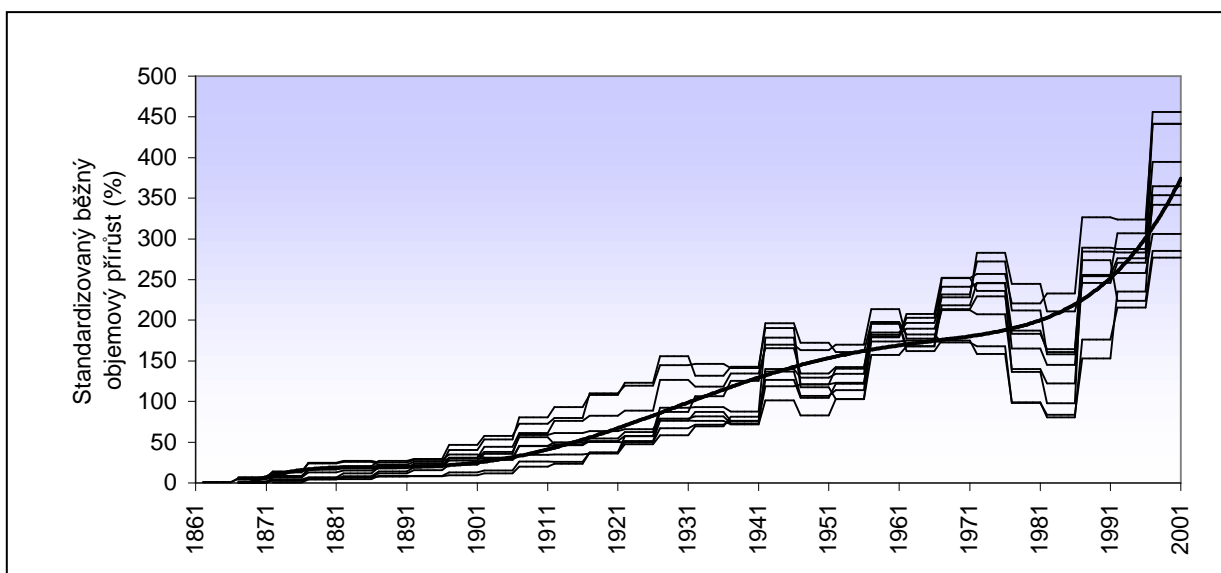
Příslušné běžné přírůsty vzorníků ve standardizované podobě jsou vyneseny v obrázcích 16 až 19. Průměrná výčetní tloušťka vzorníků v roce 1986 byla 34 cm, výrazný vzestup radiálních tloušťkových přírůstů u stromů této dimenze měl za následek strmý nárůst hodnot běžného přírůstu na výčetní kruhové základně a následně i přírůstu objemového. Objemový přírůst stoupá od roku 1986 i přesto, že výškové přírůsty v průběhu 70. let poklesly a od 80. let víceméně stagnují.

Obr. 16 Standardizovaný běžný radiální tloušťkový přírůst - Přebuz



Obr. 17 Standardizovaný běžný výškový přírůst - Přebuz



Obr. 18 Standardizovaný běžný přírůst na výčetní základně - Přebuz**Obr. 19** Standardizovaný běžný objemový přírůst - Přebuz

5.1.3 Žďárské vrchy, lokalita Čachnov

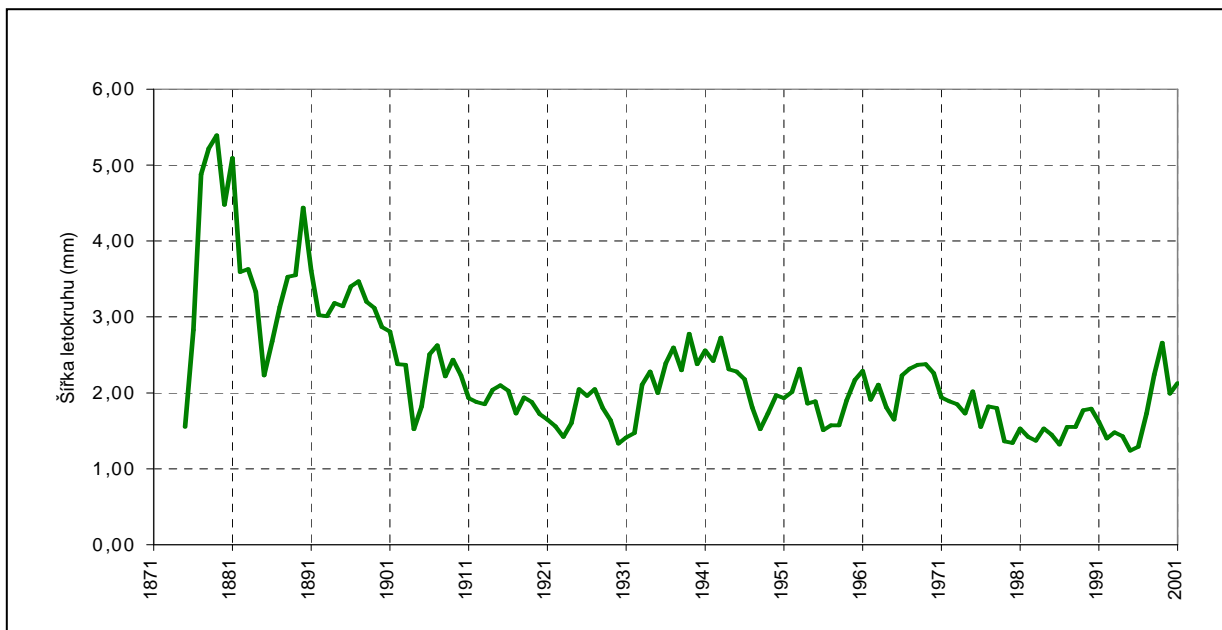
Věk porostu v roce 2002 byl podle údajů LHP 135 let. Věk určený analýzou pařezových výřezů vybraných vzorníků je o něco nižší a pohybuje se od 110 do 132 let, průměr 117 let. Na pařezu žádného ze vzorníků nebyla zaznamenána perioda nízkých přírůstů na počátku růstu.

Radiální tloušťkový přírůst ve výčetní výšce u vzorníků z porostu 206A6 na Čachnově vykazuje klasický exponenciální pokles přírůstu s věkem v první polovině života stromů, později se hodnota přírůstu ustaluje a víceméně kolísá kolem průměrné hodnoty 2mm/rok

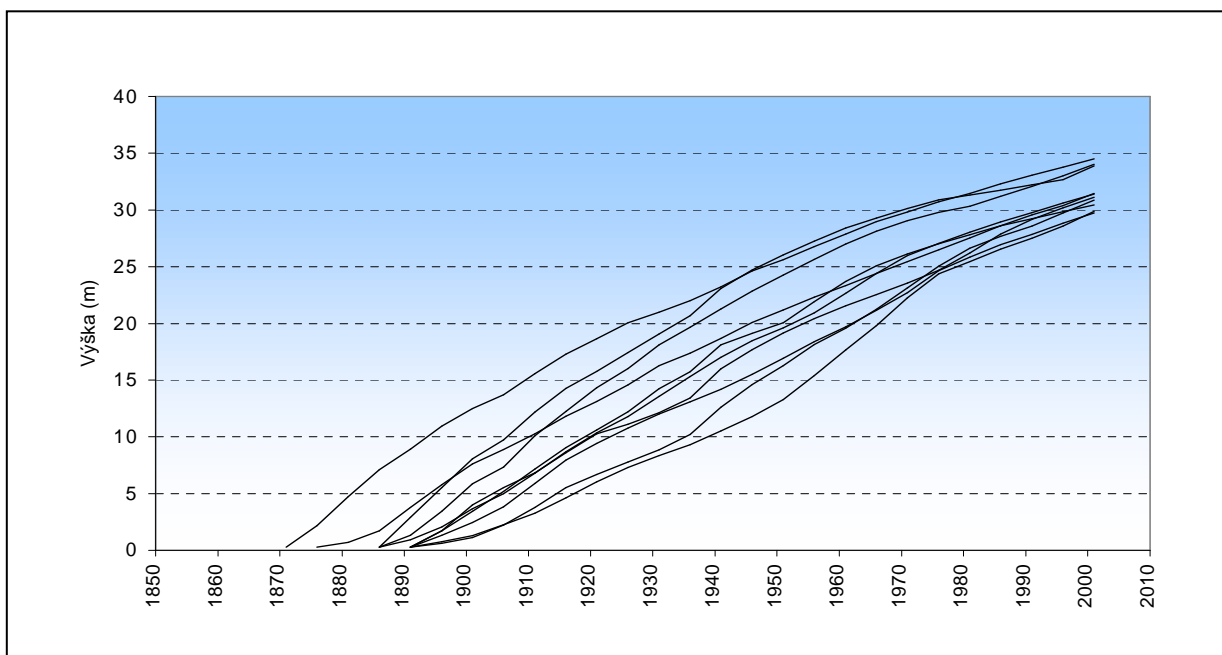
(obr. 20). Od poloviny 70. let do roku 1996 lze pozorovat nižší přírůsty, v posledních pěti letech (1997 – 2001) přírůsty naopak výrazně stoupají.

Vzrůstové výškové křivky vzorníků z Čachnova (obr. 21) tvoří široké pole. Vzorníky se svou výškou v minulosti značně lišily, k vyrovnání výšek došlo až v dospělosti, přibližně ve věku 100 let.

Obr. 20 Průměrná letokruhová série – Čachnov



Obr. 21 Vzrůstové výškové křivky - Čachnov



Vývojové křivky výčetní tloušťky, výšky, kruhové výčetní základny a objemu kmene a průběh běžných a průměrných přírůstů těchto veličin pro jednotlivé vzorníky z lokality Čachnov jsou vyneseny v obrázcích P21 až P30 v příloze č.1.

Běžný tloušťkový přírůst většiny vzorníků z Čachnova dosahuje kulminace velmi záhy: mezi 15 a 25 rokem života, od tohoto bodu pak přírůst pozvolna s věkem klesá. U třech vzorníků (č. 2,4 a 5) zaznamenána později ještě druhá kulminace ve věku 55 – 85 let, po které následuje rychlý pokles přírůstů. U obou skupin vzorníků, bez ohledu na dobu kulminace, dosahuje tloušťkový přírůst shodně nejnižších hodnot ve věku 100 – 120 let, což letopočtem odpovídá první polovině 80. let 20. století. V této době se též běžný přírůst již nachází pod úrovní přírůstu průměrného. V poslední pětileté periodě 1997 – 2001 zaznamenán u všech vzorníků výrazný vzestup tloušťkových přírůstů, následkem čehož se běžný přírůst znovu dostává nad hodnoty přírůstu průměrného.

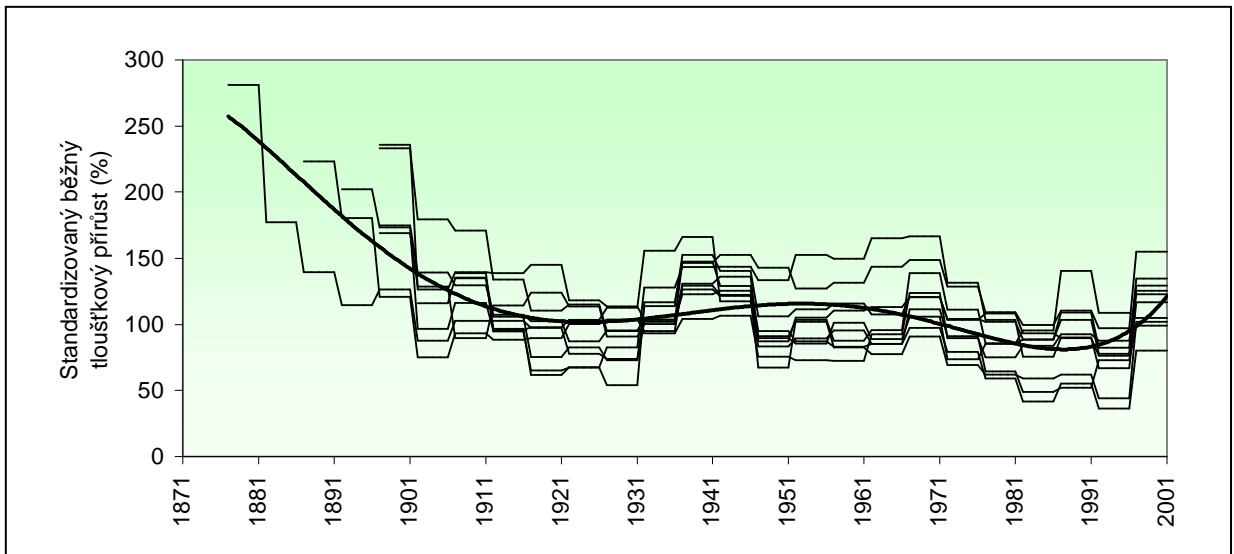
Výškové přírůsty vzorníků jsou značně rozkolísané. Věk kulminace běžného výškového přírůstu se pohybuje v širokém rozpětí od 15 do 85 let. Jelikož běžný přírůst v průběhu života vzorníků značně kolísá a často opakovaně dochází k protnutí křivek běžného a průměrného přírůstu, je nemožné jednoznačně stanovit dobu kulminace průměrného výškového přírůstu. Nejnižších hodnot dosahuje běžný výškový přírůst, podobně jako běžný tloušťkový přírůst, v 80. letech 20. století. Vzestup přírůstů v poslední pětileté periodě 1997 – 2001 se však na rozdíl od tloušťkového přírůstu projevil jen u 3 vzorníků, hodnoty běžného přírůstu navíc zůstávají pod hodnotami přírůstu průměrného.

Běžný přírůst na kruhové základně vykazuje u 7 z 10 vzorníků trvale stoupající trend. Pouze u třech vzorníků se projevil výraznější pokles přírůstů v první polovině 80. let. U dvou vzorníků hodnoty běžného přírůstu v tomto období dokonce poklesly pod hodnoty přírůstu průměrného. Vzhledem k tomu, že přírůst na kruhové základně má těsný vztah k přírůstu tloušťkovému, který po roce 1996 u analyzovaných vzorníků výrazně stoupá, dochází v této periodě i k markantnímu vzestupu přírůstu na kruhové ploše .

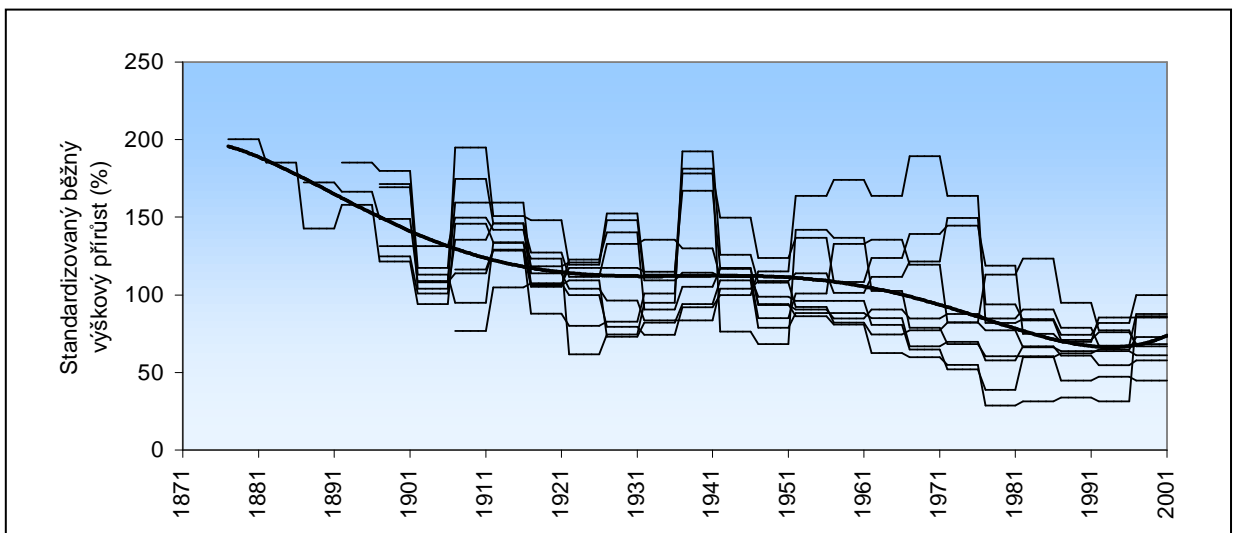
Ještě výraznější je vzestupný trend u běžných objemových přírůstů. Ani u jednoho vzorníku zatím nedošlo k protnutí křivek běžného a průměrného objemového přírůstu. Běžný ani průměrný objemový přírůst tedy zatím nedosáhl bodu kulminace. Nejvýraznější změnou v průběhu křivek běžného objemového přírůstu je strmý vzestup v periodě 1997 – 2001.

Příslušné běžné přírůsty vzorníků z lokality Čachnov převedené do standardizované podoby a vynesené jako funkce letopočtu prezentují obrázky 22 až 25.

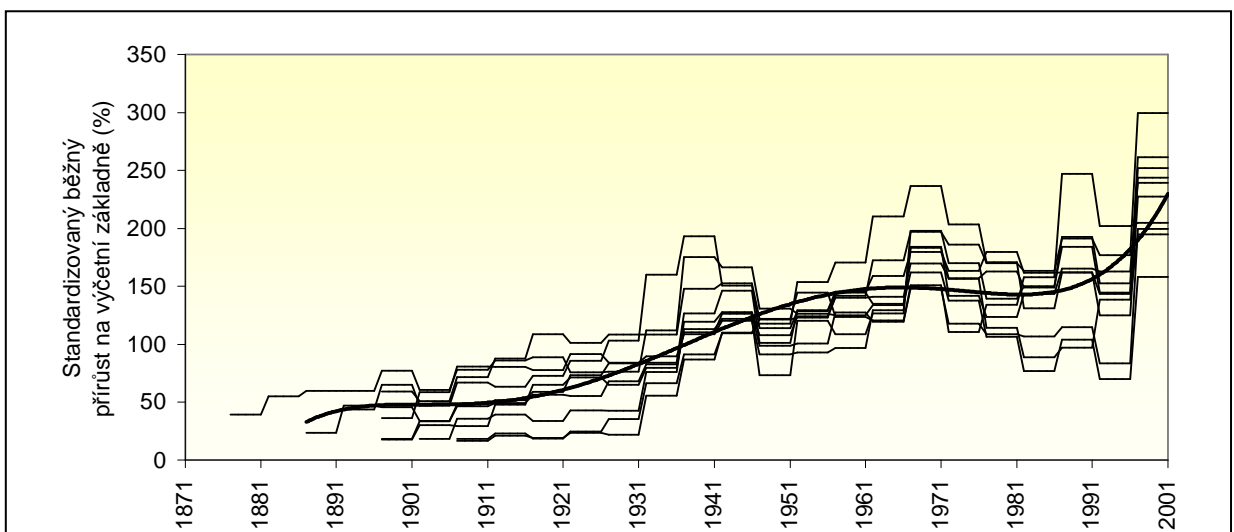
Obr. 22 Standardizovaný běžný radiální tloušťkový přírůst - Čachnov

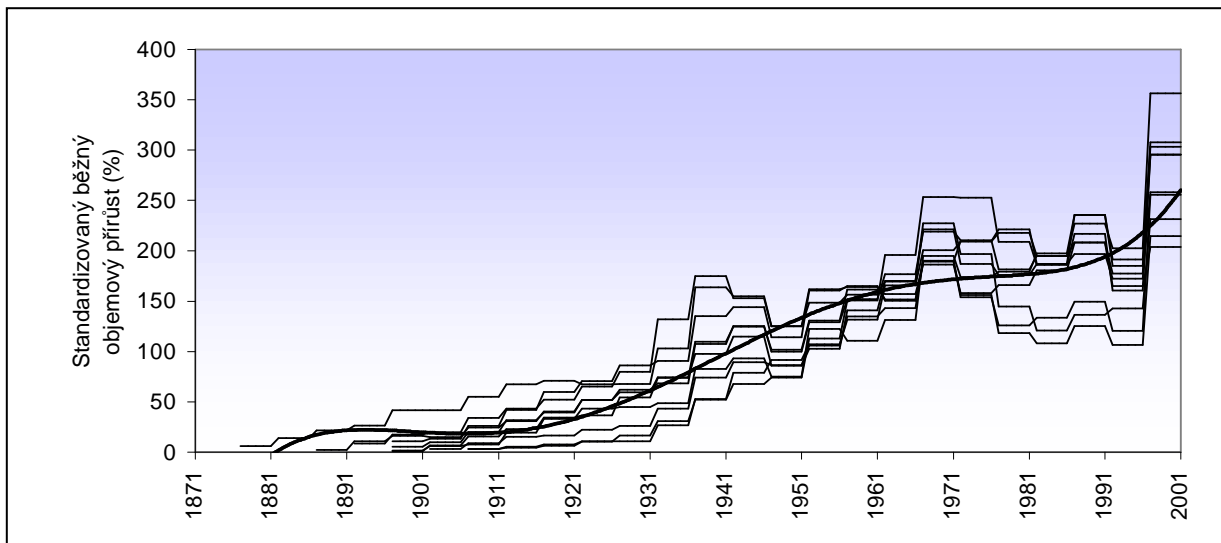


Obr. 23 Standardizovaný běžný výškový přírůst - Čachnov



Obr. 24 Standardizovaný běžný přírůst na výčetní základně - Čachnov

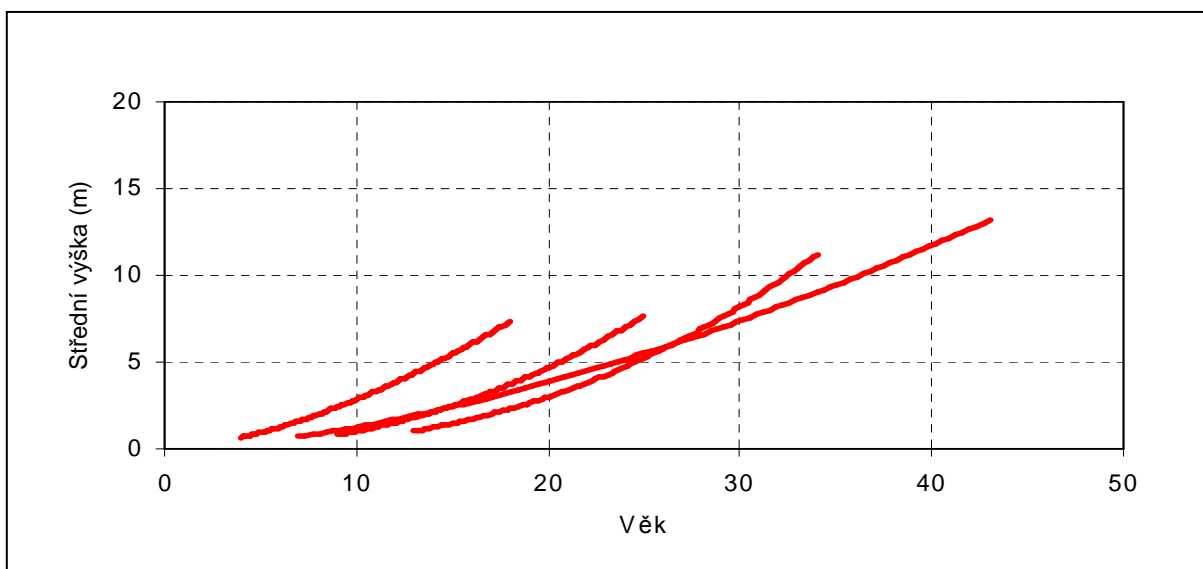


Obr. 25 Standardizovaný běžný objemový přírůst - Čachnov

5.2 Analýza výškového růstu mladých porostů

5.2.1 Orlické hory

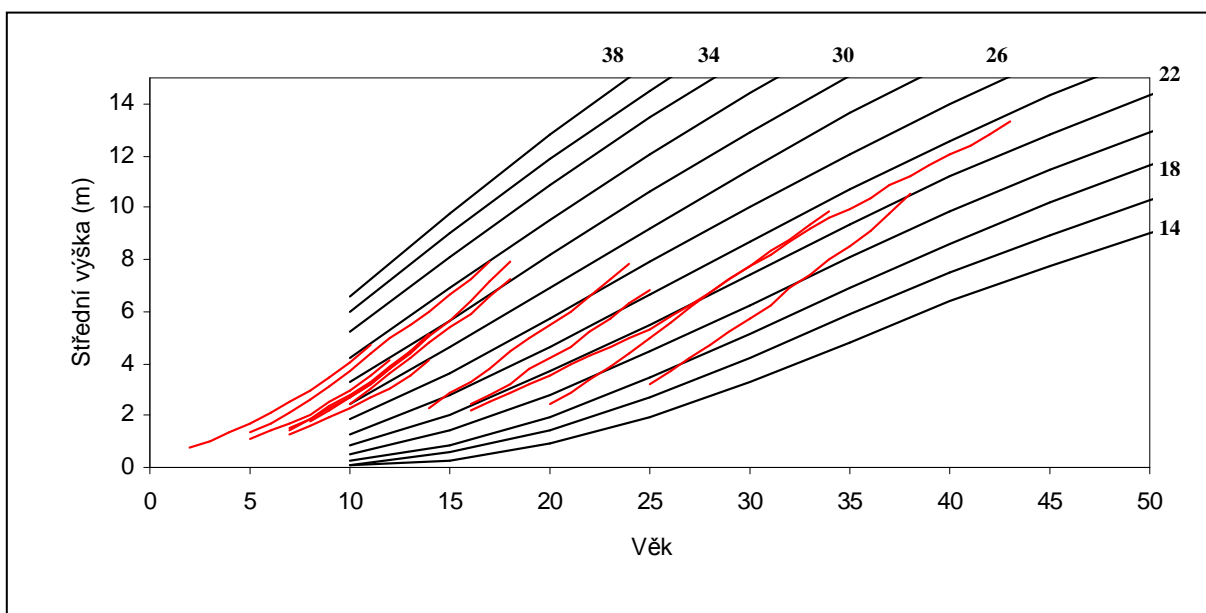
V grafu 26 jsou porovnány vývojové výškové křivky skupin porostů druhého až pátého věkového stupně. Čím mladší porost, tím strmější průběh výškové křivky. Výškové křivky porostů 3. a 4. věkového stupně byly alespoň zpočátku souběžné s křivkou pro 5. věkový stupeň, v posledním decenniu však dochází k akceleraci přírůstů a křivky pro 3. a 4. věkový stupeň začínají strmě stoupat. Zcela odlišný je průběh výškové křivky pro nejmladší porosty – průměrná výška těchto porostů byla ve věku 15 let 5,9 m, což je téměř trojnásobek výšky současného 43-letého porostu, který ve stejném věku dosahoval pouze 2,1 m. Relativní nárůst výšky za posledních 25 let tedy činí 7% za rok.

Obr. 26 Vzrůstové výškové křivky mladých porostů 2. až 5. věkového stupně z Orlických hor

Z vizuálního porovnání vzrůstových výškových křivek mladých porostů s průběhem křivek bonitního vějíře Taxačních tabulek (Černý et al. 1996) je zřejmé neobvykle strmé narůstání výšky s věkem u současných mladých porostů (obr. 27). Pouze porost reprezentující 5. věkový stupeň (bonita 22) vykazuje vývoj víceméně ve shodě s bonitním vějířem.

Nadprůměrné hodnoty výškových přírůstů potvrzují i výsledky statistického testu (tab. T1 v příloze 2). U většiny porostů vychází kladný rozdíl mezi skutečným a tabulkovým výškovým přírůstem jako statisticky významný. Výjimkou jsou dva nejmladší porosty 358B4 a 62B2. U obou porostů byl vzhledem k nízkému věku problém s určením bonity na počátku intervalu. U porostu 360C4 bylo možné otestovat dva intervaly o délce 10 a 20 let. Skutečný přírůst vychází významně vyšší než tabulkový pro oba intervaly.

Obr. 27 Srovnání vývojových výškových křivek mladých porostů z Orlických hor s křivkami bonitního vějíře smrku Taxačních tabulek (Černý et al. 1996)



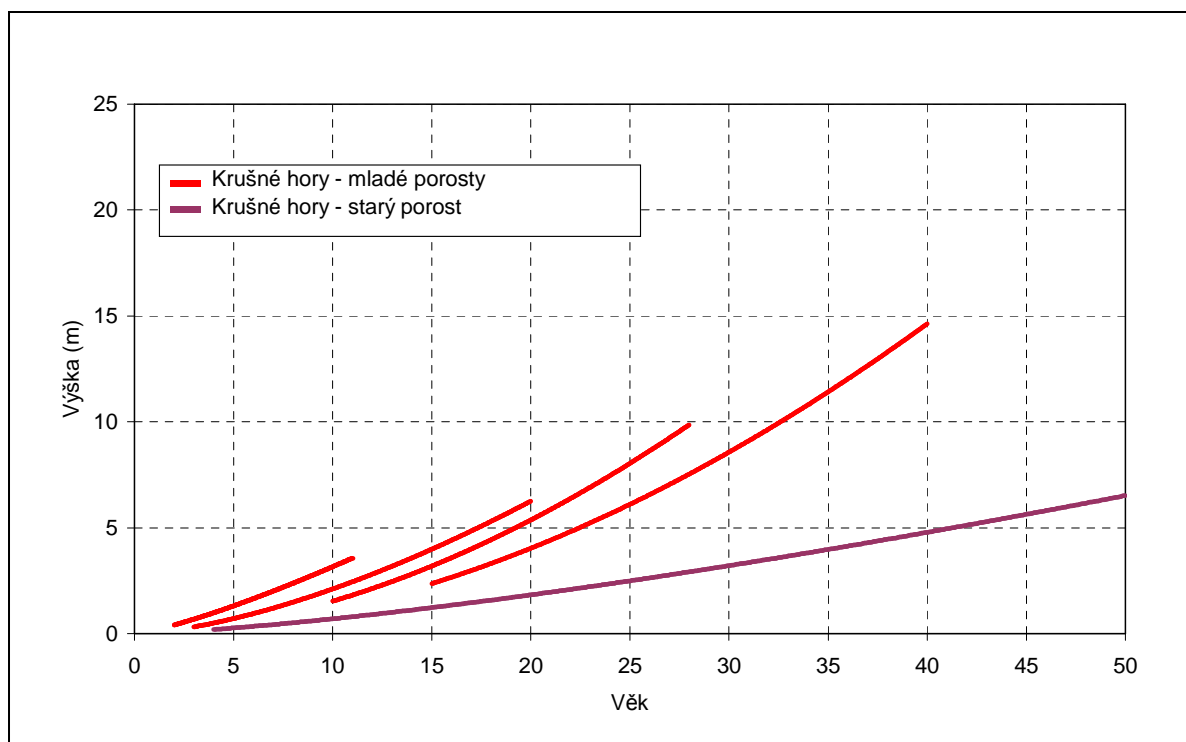
5.2.2 Krušné hory

Sklon výškových křivek mladých porostů stoupá s klesajícím věkem (obr. 28). Posun v úrovni výškových křivek je víceméně rovnoměrný od nejstaršího po nejmladší věkový stupeň. Současné porosty 2. věkového stupně zde dosahovaly ve věku 15 let výšky 3,9 m, zatímco současný 40-ti letý porost měl ve stejném věku pouze 2,7 m. Relativní vzestup výškového růstu za posledních 22 let je 2% za rok.

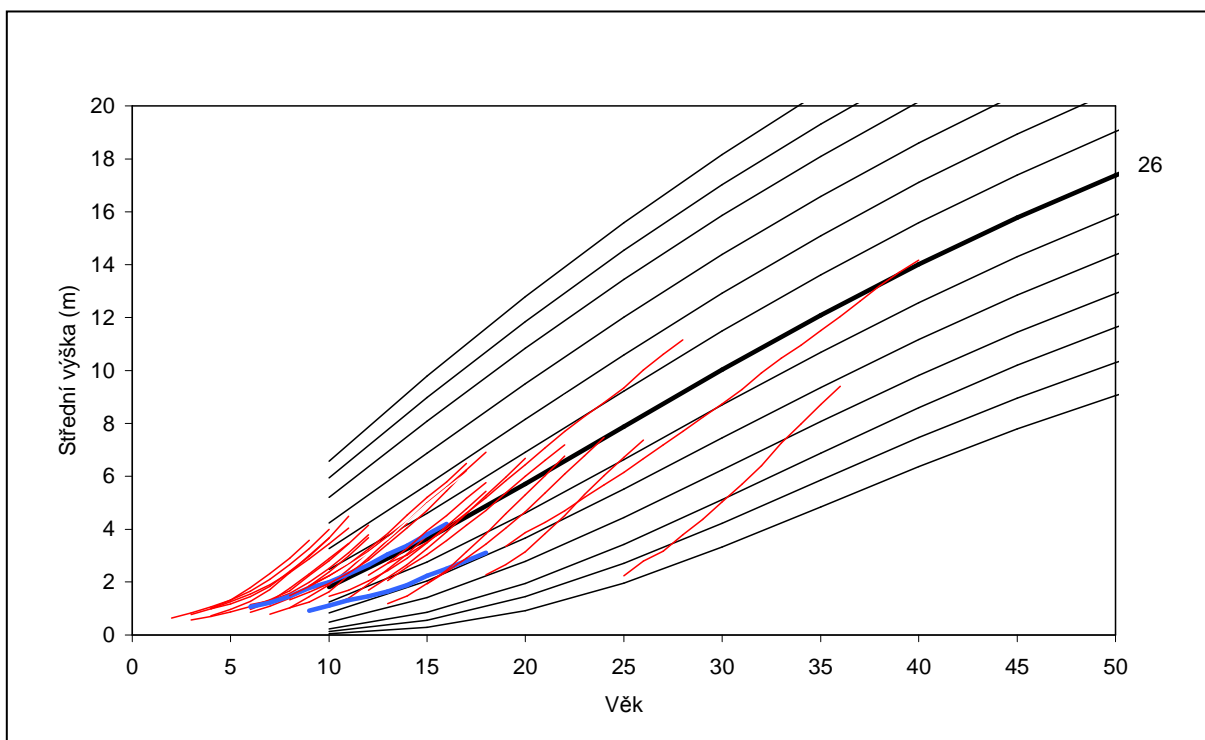
Ze srovnání výškových křivek mladých porostů s výškovým vývojem starých vzorníků za prvních 50 let života (obr. 28) vyplývá, že současné mladé porosty přirůstají rychleji a dosahují významně větších výšek. Před 140 lety zde patnáctileté smrky (vybrány pouze nezastíněné vzorníky) dosahovaly výšky 1,2 m, nyní jsou to 4 m – současné mladé porosty jsou tedy více než 3x vyšší. Jinými slovy lze také říci, že výšku 4 m dosahují smrky v západním Krušnohoří o dvacet let dříve, než stromy předchozí generace.

Výškové křivky mladých porostů všech analyzovaných věkových stupňů protínají ve svém průběhu několik křivek vyšších bonit bonitního vějíře Taxačních tabulek (Černý et al. 1996) - obr. 29. Výjimkou z tohoto trendu je výškový vývoj porostů s buldozerovou přípravou půdy 16A2 a 28B2b/1b (v obrázku 5.22 zobrazeny modrou linií). Jejich výškové křivky kopírují průběh bonitních křivek. Ačkoliv se podle údajů LHP jedná o porosty stejné bonity (AVB=22), výšková křivka porostu 16A2 se přimyká ke křivce absolutní výškové bonity 26.

Obr. 28 Vzrůstové výškové křivky mladých porostů pro 2. až 5. věkový stupeň z oblasti západního Krušnohoří, pro srovnání v grafu vynesena i výšková křivka vzorníků ze starého porostu za prvních 50 let života



Obr. 29 Srovnání vývojových výškových křivek mladých porostů z oblasti západního Krušnohoří s křivkami bonitního vějíře smrku Taxačních tabulek (Černý et al. 1996)



Odchylka skutečných a tabulkových přírůstů byla statisticky testována párovým t-testem (tab. T2 v příloze č. 2). Skutečný přírůst vychází jako významně vyšší u 23 porostů. Maximální odchylka skutečného a tabulkového přírůstu zaznamenána pro porost 9A3, který byl v mládí poškozen okusem, po odeznění poškození došlo k akceleraci výškových přírůstů (v obr. 5.22 výšková křivka tohoto porostu leží mimo pole ostatních výškových křivek).

Pro pět porostů vychází skutečný přírůst nižší než tabulkový. Do této skupiny spadají porosty 19B1a (věk 10 let), 26C1 (věk 11 let) a 26E1 (věk 12 let), u nichž vzhledem k nízkému věku nemusela být správně určena bonita na počátku testovaného intervalu. Dále sem spadají oba buldozerované porosty 16A2 (věk 16 let) a 28B2b/1b (věk 18 let).

5.2.3 Žďárské vrchy

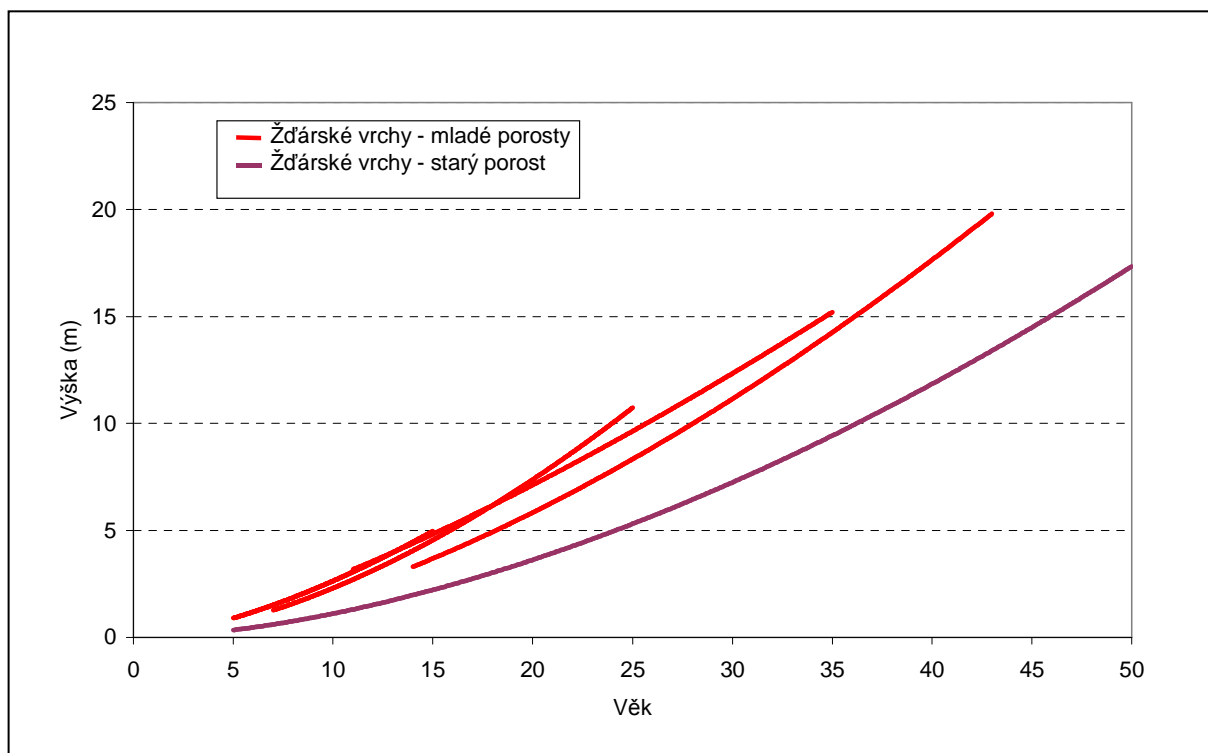
Vzrůstové výškové křivky skupin porostů 2. až 5. věkového stupně ze Žďárských vrchů (obr. 30) tvoří úzký svazek. Výškové křivky pro druhý a třetí věkový stupeň mají identický průběh jsou jen mírně strmější než pro porosty 4. a 5. věkového stupně. Současné 15-ti leté porosty mají výšku 5,2 m, zatímco současný 43 letý porost měl ve stejném věku 3,8 m. Relativní vzestup výškového růstu za posledních 28 let je 1,3% za rok.

Ze srovnání výškového vývoje současných mladých porostů s výškovým vývojem vzorníků ze starého porostu v prvních 50 letech života (obr. 30) je vidět, že výška současných mladých porostů je významně vyšší a s věkem stoupá rychleji, přestože podle údajů LHP se jedná o porosty stejných bonit (AVB 26). Porovnáme-li výškovou křivku smrkových porostů druhého věkového stupně s křivkou dospělých vzorníků, je patrné, že zatímco před 100 lety byla ve Žďárských vrších výška patnáctiletého smrkového porostu dva metry, v současné době je to téměř pět metrů.

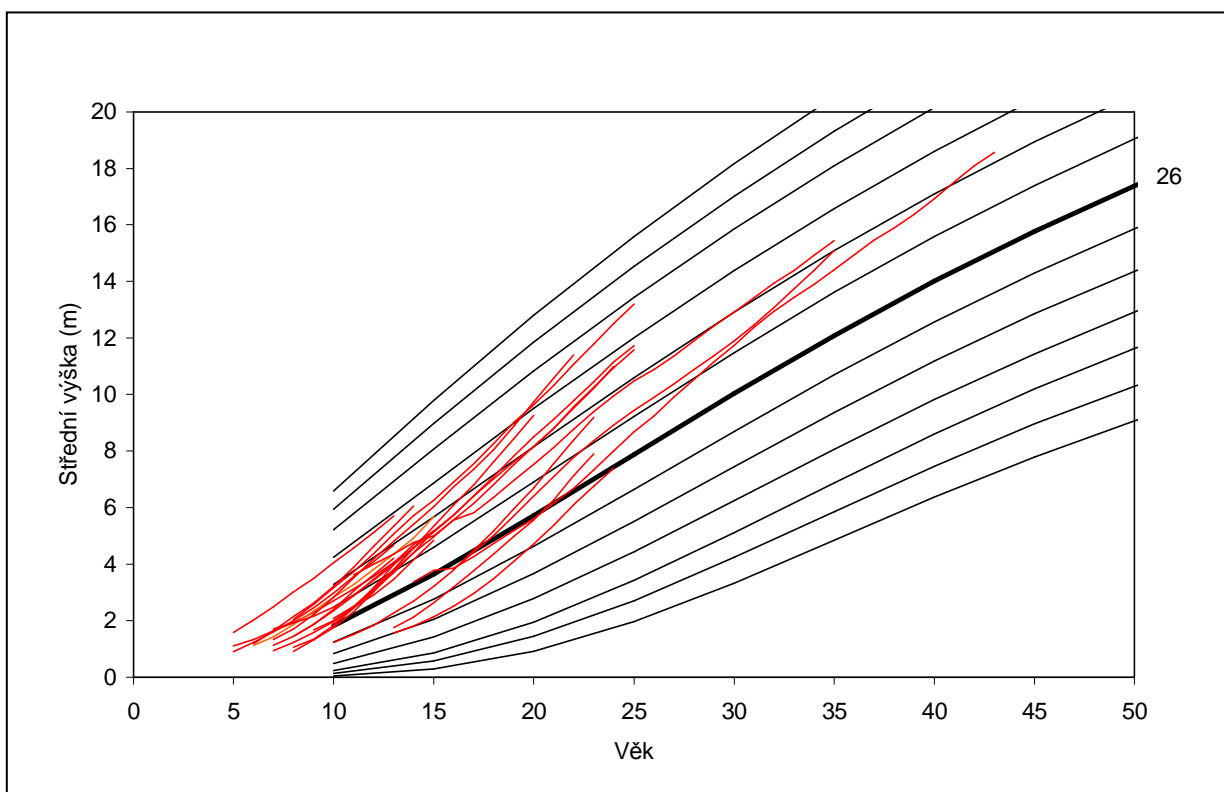
Z obr. 31, kde jsou vyneseny vývojové výškové křivky jednotlivých mladých porostů ze Žďárských vrchů na pozadí bonitního vějíře Taxačních tabulek (Černý et al. 1996), vyplývá, že výškové křivky současných mladých porostů mají mnohem strmější průběh než křivky bonitní.

Odchylka skutečných a tabulkových přírůstů byla statisticky testována párovým t-testem. U 20 z celkem 22 analyzovaných porostů je skutečný přírůst významně vyšší než tabulková hodnota (tab. T3 v příloze č. 2). Výjimkou je porost 206A2, u kterého je skutečný přírůst nižší než tabulkový, a porost 207E4, u kterého bylo možné testovat rozdíl mezi skutečným a tabulkovým přírůstem ve dvou intervalech (10 a 20 let) a statisticky významný rozdíl vychází pouze při testování přírůstů v delším intervalu.

Obr. 30 Vzrůstové výškové křivky mladých porostů pro 2. až 5. věkový stupeň z oblasti Žďárských vrchů, pro srovnání v grafu vynesena i výšková křivka vzorníků ze starého porostu za prvních 50 let života



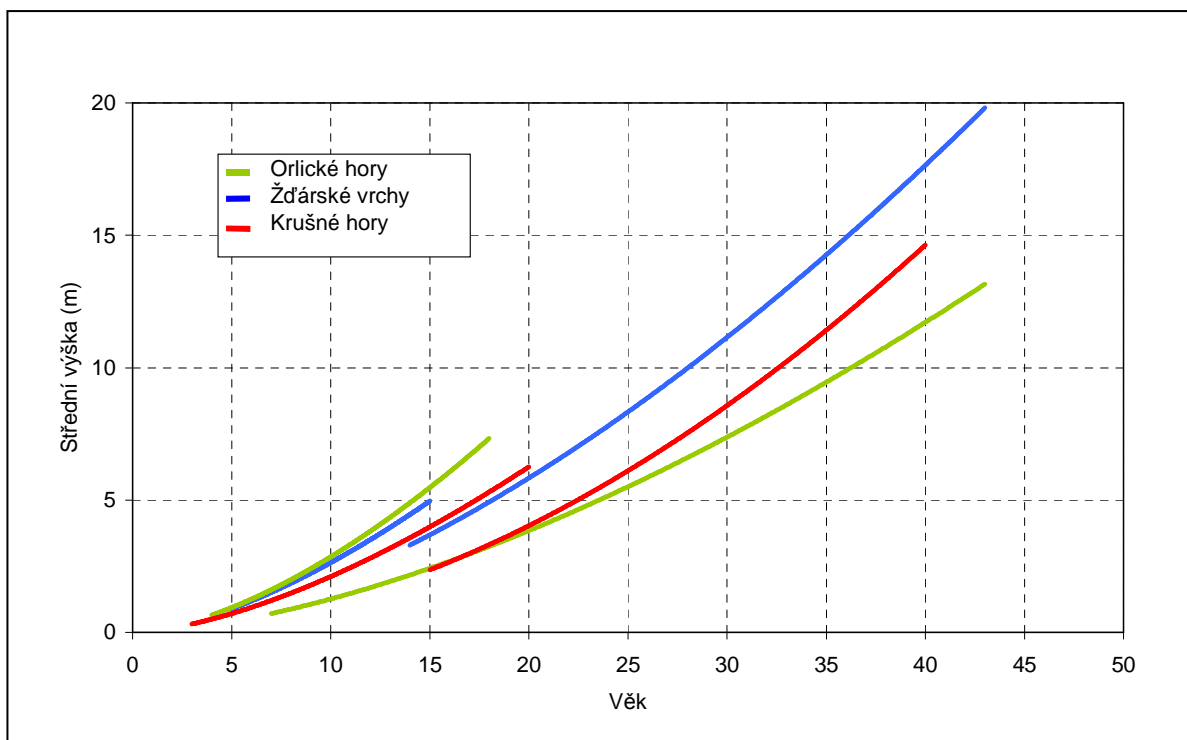
Obr. 31 Srovnání vývojových výškových křivek mladých porostů z oblasti Žďárských vrchů s křivkami bonitního vějíře smrku Taxačních tabulek (Černý et al. 1996)



5.2.4 Srovnání mezi oblastmi

O intenzitě změn v růstu mladých smrkových porostů v jednotlivých oblastech vypovídá i vzájemné srovnání výškových vývojových křivek mladých porostů mezi oblastmi (obr. 32). Z obrázku je patrné, že v současném pátém věkovém stupni nejpomaleji přirůstaly studované porosty v Orlických horách. O něco větších výšek dosahovaly porosty v západním Krušnohoří a zcela v souladu s bonitou nejvíce přirůstaly porosty v oblasti Žďárských vrchů. U porostů, které jsou v současné době ve třetím a čtvrtém věkovém stupni (v obrázku není znázorněno) zůstalo pořadí jednotlivých oblastí stejné, výška porostů se však výrazně zvětšila. K ještě výraznějšímu nárůstu výšek dochází u nejmladších porostů ve druhém věkovém stupni. Zde však není zachováno pořadí jednotlivých oblastí. V současnosti nejrychleji přirůstají nejmladší porosty z Orlických hor. Přestože rostou na exponovaných stanovištích (AVB 16 až 22), jejich výška překračuje výšku věkově srovnatelných porostů ze Žďárských vrchů s bonitou 26.

Obr. 32 Vzájemné srovnání vývojových výškových křivek mladých porostů 2. a 5. věkového stupně ze studovaných oblastí (Orlické hory, Krušné hory, Žďárské vrchy)



Roční relativní vzestup výšky smrku (vyjádřeno pro věk porostů 15 let) v letech 1975 - 2001 byl ve Žďárských vrších 1,3%, v Krušných horách 2% a v Orlických horách 7%.

Pro oblast Žďárských vrchů a Krušných hor, kde bylo provedeno srovnání s výškovým vývojem starých vzorníků, bylo možné vyjádřit též rychlost posunu ve výšce 15-ti letých porostů pro předchozí období: ve Žďárských vrších v letech 1900 – 1975 stoupala výška 15-ti letých porostů rychlostí 0,4% za rok, v Krušných horách byla rychlost vzestupu v periodě 1865 – 1975 1,1% za rok.

5.3 Vztah přírůstků k průběhu počasí

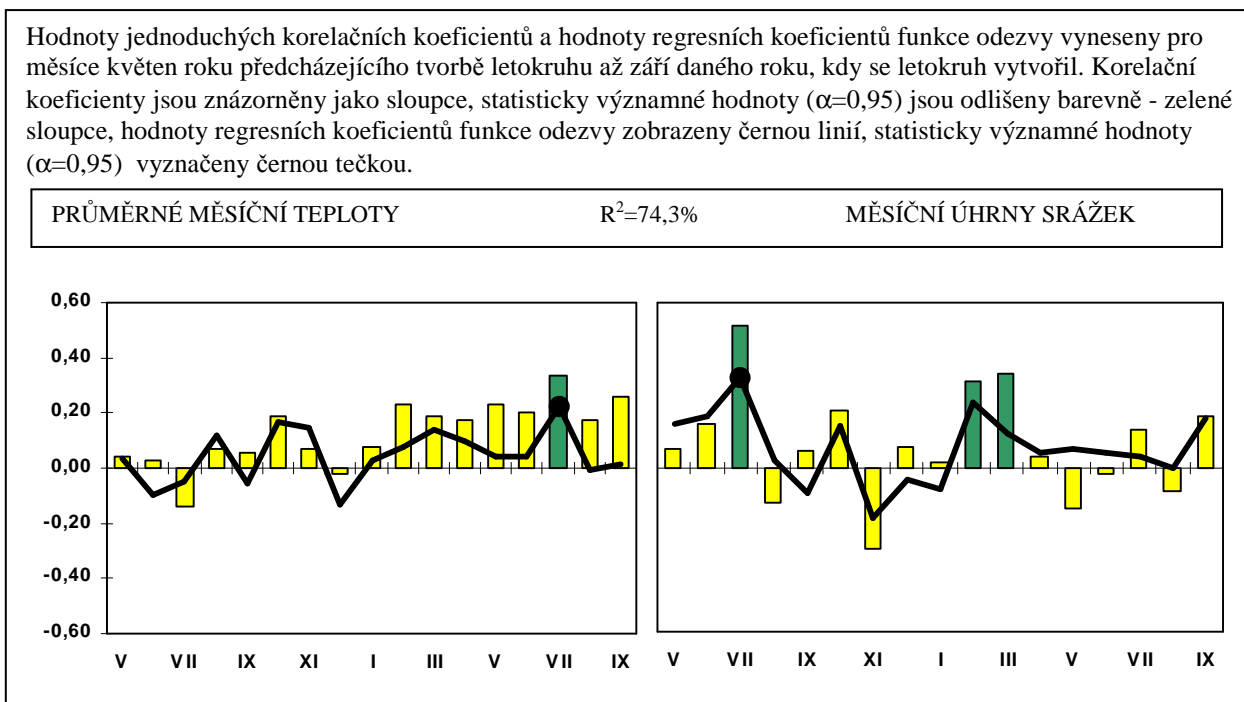
5.3.1 Orlické hory, lokalita Šerlišský mlýn

Analýza prokázala vysoce významný vliv průběhu počasí v daném a předchozím roce na šířku utvářeného letokruhu – celkem 74,3 % variability v radiálních tloušťkových přírůstcích lze vysvětlit pomocí měsíčních průměrných teplot a měsíčních úhrnů srážek. Z výsledků korelační analýzy je patrné, že vyšší přírůstků pozitivně ovlivňují především teploty v průběhu vegetační doby v daném roce, a dále srážkové úhrny v červenci předchozího roku a v předjaří roku daného (obr. 33). Výsledky funkce odezvy pro teploty a srážky dobře

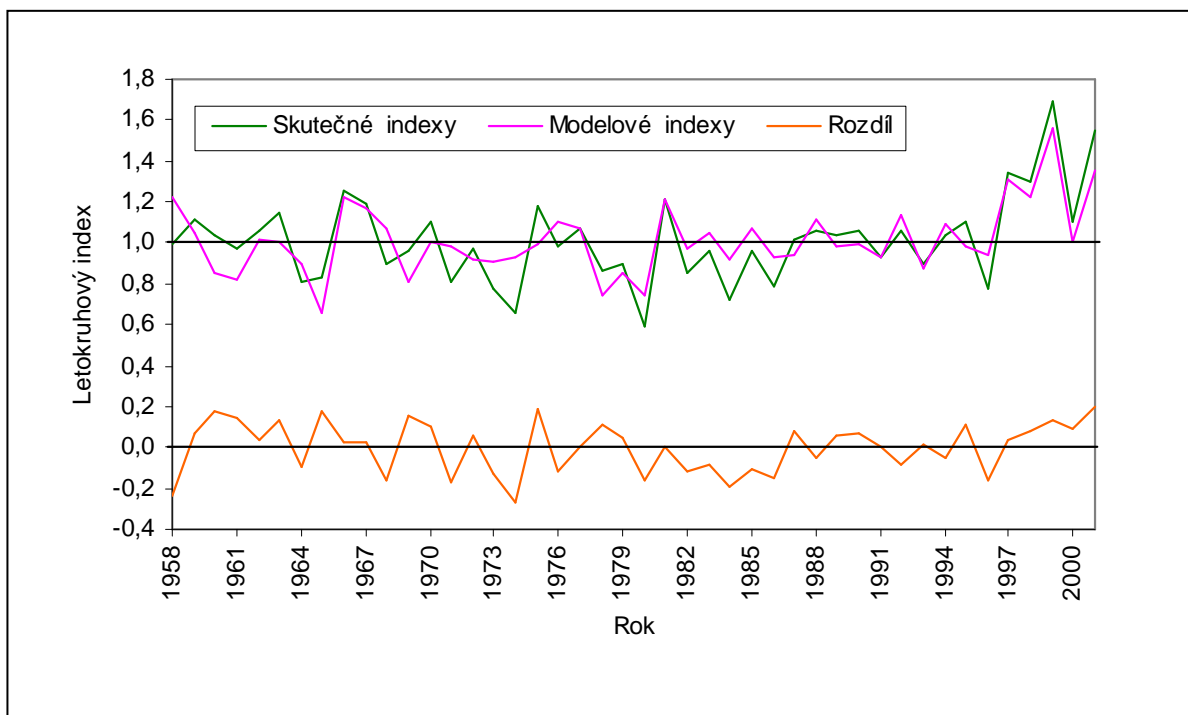
korespondují s výsledky jednoduchých korelací, jako statisticky signifikantní na hladině významnosti $\alpha=5\%$ vychází hodnoty regresních koeficientů pro teploty v červenci daného roku a srážky v červenci předchozího roku, v obou případech se jedná o pozitivní závislost (obr. 33).

Ze srovnání indexů vypočtených ze skutečně naměřených hodnot tloušťkových přírůstů a modelových indexů získaných pomocí response funkce (obr. 34) vyplývá, že model velmi dobře vystihuje proměnlivost přírůstů, a to i v poslední pětileté periodě (1997 – 2001), kdy přírůsty nabývají neobvykle vysokých hodnot. Pouze v periodě 1980 – 1986 je skutečný přírůst trvale nižší než modelový. Největší odchylka mezi skutečným a modelovým přírůstem vychází pro rok 1974.

Obr. 33 Výsledky analýzy vztahu klima – přírůst smrku na lokalitě Šerlišský mlýn



Obr. 34 Srovnání skutečných a modelových indexů přírůstu smrku na lokalitě Šerlišský mlýn



5.3.2 Krušné hory, lokalita Přebuz – Falešný metr

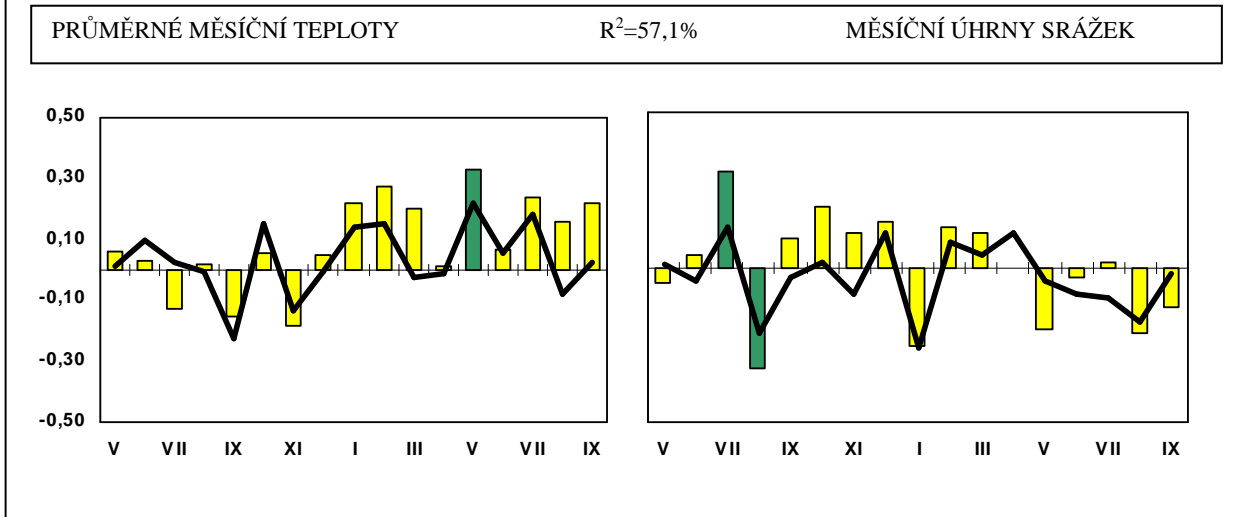
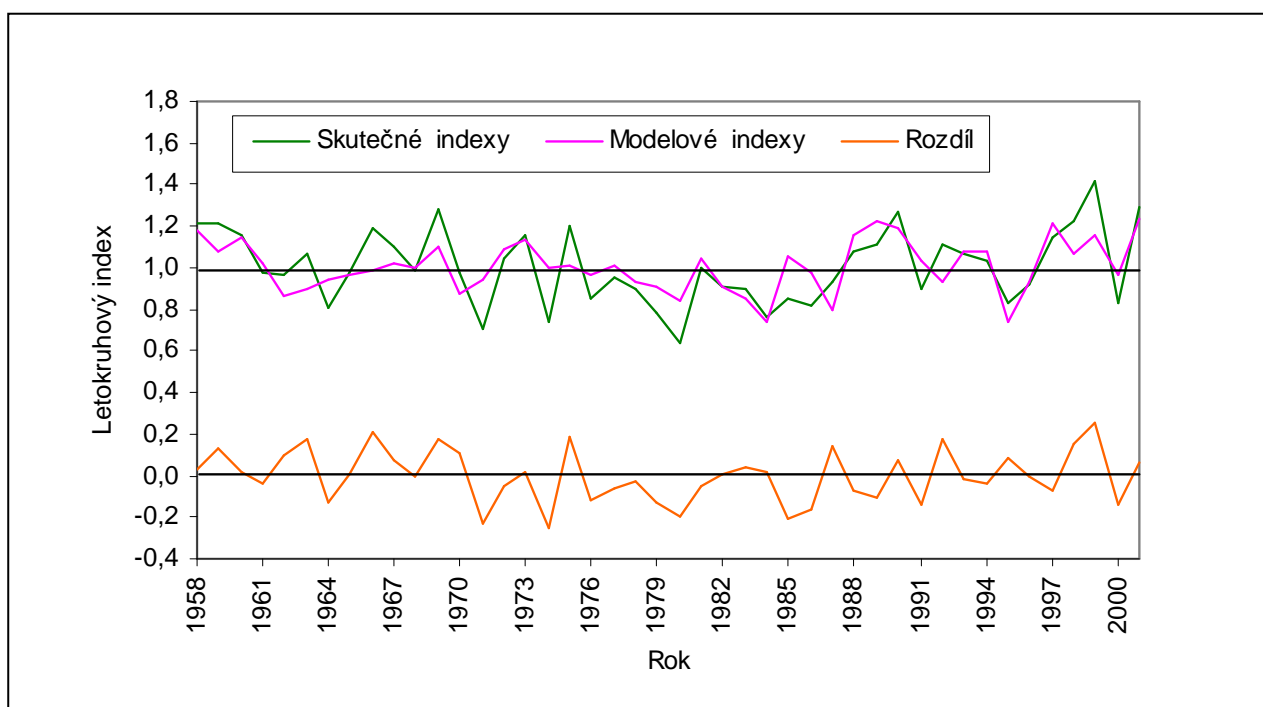
Výše přírůstů kladně koreluje s teplotami v období leden až březen a dále květen až září v daném roce, kdy se vytvořil zkoumaný letokruh (obr. 35). Statisticky významný je vztah mezi přírůsty a květnovými teplotami. Výše srážek v daném roce nemá na přírůsty vliv. Jako signifikantní vychází korelace se srážkovými úhrny v měsících červenci a srpnu předchozího roku, pro červenec vychází vztah mezi srážkami a přírůsty jako pozitivní, v srpnu naopak jako negativní (obr. 35).

Výsledky výpočtu funkce odezvy obecně korespondují s výsledky korelační analýzy, avšak pro měsíce, u nichž výpočtem jednoduchých korelací identifikován signifikantní vztah přírůstů k dané klimatické veličině, nevyšel ani v jednom případě regresní koeficient funkce odezvy jako statisticky významný. Pomocí průměrných měsíčních teplot a měsíčních úhrnů srážek je model schopen vysvětlit 57,1% variability radiálních tloušťkových přírůstů.

Obecné trendy řad skutečných a modelových indexů si odpovídají (obr. 36). V periodě 1971 - 1986 se však hodnoty skutečných indexů pohybují pod hodnotami modelovými. Největší záporná odchylka mezi skutečnými a modelovými indexy zaznamenána pro rok 1974.

Obr. 35 Výsledek analýzy vztahu klima – přírůst smrku na lokalitě Přebuz-Falešný metr

Hodnoty jednoduchých korelačních koeficientů a hodnoty regresních koeficientů funkce odezvy vyneseny pro měsíce květen roku předcházejícího tvorbě letokruhu až září daného roku, kdy se letokruh vytvořil. Korelační koeficienty jsou znázorněny jako sloupce, statisticky významné hodnoty ($\alpha=0,95$) jsou odlišeny barevně - zelené sloupce, hodnoty regresních koeficientů funkce odezvy zobrazeny černou linií, statisticky významné hodnoty ($\alpha=0,95$) vyznačeny černou tečkou.

**Obr. 36** Srovnání skutečných a modelových indexů přírůstu smrku na lokalitě Přebuz-Falešný metr

5.3.3 Žďárské vrchy, lokalita Čachnov

Maximum variability v radiálních tloušťkových přírůstech (60,3%) se podařilo vysvětlit pomocí průměrných maximálních měsíčních teplot a měsíčních srážkových úhrnů. Na přírůst v daném roce má pozitivní vliv výše maximálních teplot v lednu až březnu tohoto roku, letní maximální měsíční teploty mají spíše negativní účinek, přírůst snižují i vysoké maximální teploty v červenci, září a říjnu předchozího roku (obr. 37). Srážkové úhrny v červnu daného roku a v červenci daného i předchozího roku mají významně pozitivní vliv na výši přírůstu, pro červenec daného roku vychází jako statisticky signifikantní i regresní koeficient funkce odezvy (obr. 37).

Model s kombinací průměrných měsíčních teplot a měsíčních srážkových úhrnů je schopen vysvětlit 59,7% variability v tloušťkových přírůstech smrku. Výše přírůstů kladně koreluje s průměrnými teplotami v lednu až březnu daného roku, průměrné teploty v letních měsících daného roku nemají na přírůst vliv, naproti tomu vysoké průměrné teploty v červenci a září předchozího roku ovlivňují přírůsty negativně (obr. 37). Jako statisticky významný vychází korelační koeficient pro teplotu v září předchozího roku (záporný vliv). Regresní koeficienty funkce odezvy nedosahují v tomto modelu signifikantních hodnot.

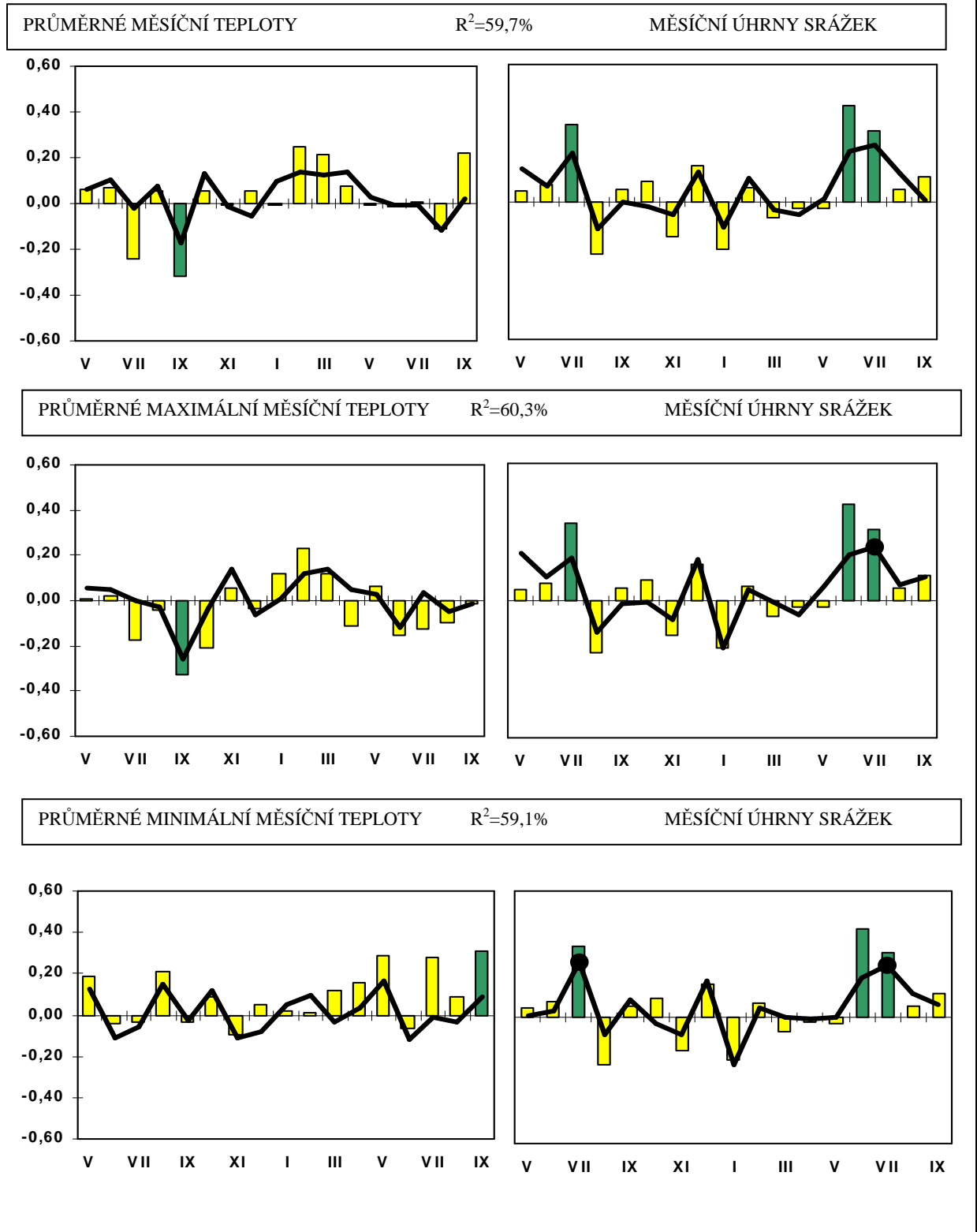
Nejmenší vypovídací schopnost má model při kombinaci průměrných minimálních měsíčních teplot a měsíčních úhrnů srážek – celkem vysvětluje 59,1 % variability radiálních přírůstů. Minimální teploty ovlivňují přírůst pozitivně, a to hlavně v březnu až květnu a v červenci až září daného roku. Regresní analýza určila dva statisticky významné regresní koeficienty pro srážkové úhrny v červenci daného roku a v červenci předchozího roku (obr. 37).

Z výše uvedených výsledků vyplývá, že přírůsty na lokalitě Čachnov jsou stimulovány mírnými teplotami na konci zimy a teplým předjařím a hlavně pak dostatkem srážek v červnu a červenci daného i předchozího roku. Přírůsty naopak snižují vysoké teploty na podzim předchozího roku a letní sucha v daném roce.

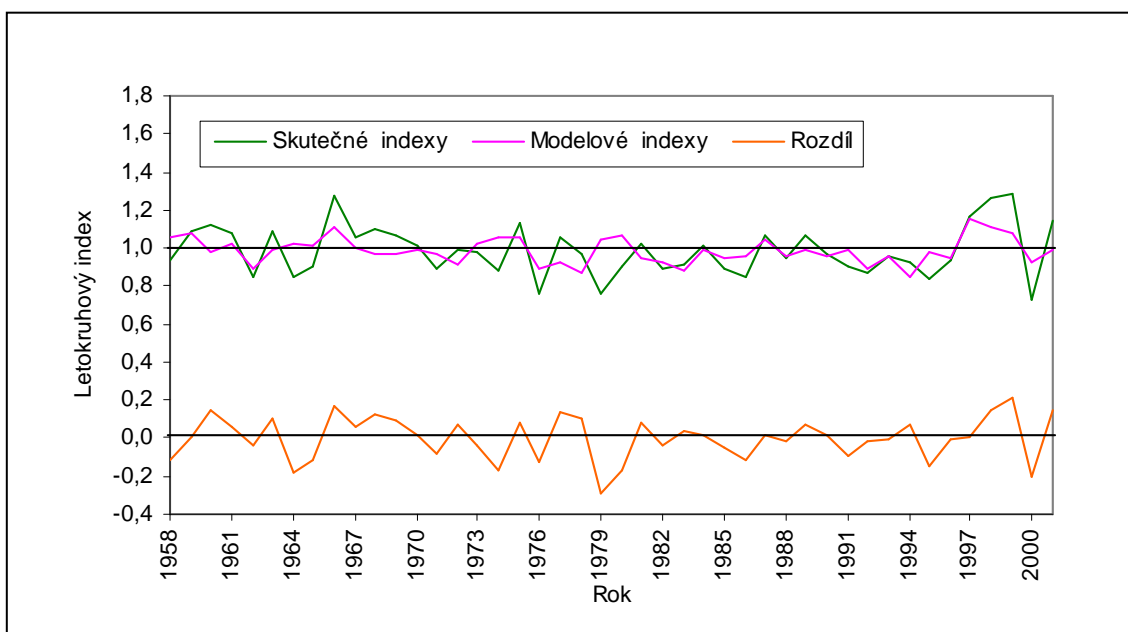
Časové řady skutečných a modelových indexů mají víceméně souběžný průběh, není zde patrný žádný dlouhodobý vliv jiných faktorů než klimatických (obr. 38). Významná odchylka zaznamenána v roce 1979 (hluboký pokles skutečného přírůstu, naproti tomu vzestup modelového přírůstu).

Obr. 37 Výsledky analýzy vztahu klima – přírůst smrku na lokalitě Čachnov

Hodnoty jednoduchých korelačních koeficientů a hodnoty regresních koeficientů funkce odezvy vyneseny pro měsíce květen roku předcházejícího tvorbě letokruhu až září daného roku, kdy se letokruh vytvořil. Korelační koeficienty jsou znázorněny jako sloupce, statisticky významné hodnoty ($\alpha=0,95$) jsou odlišeny barevně - zelené sloupce, hodnoty regresních koeficientů funkce odezvy zobrazeny černou linií, statisticky významné hodnoty ($\alpha=0,95$) vyznačeny černou tečkou.



Obr. 38 Srovnání skutečných a modelových indexů přírůstu smrku na lokalitě Čachnov



5.4 Vztah přírůstů ke vstupům dusíku, síry a fluoru

5.4.1 Orlické hory

5.4.1.1 Depozice

Vztah přírůstů dospělých smrků z lokality Šerlišský mlýn k hodnotám depozice dusíku na volné ploše v roce tvorby daného přírůstu vychází jako kladný pro tloušťkový i výškový přírůst. Pokud koreluje přírůst s depozicí dusíku z roku předcházejícího, pak je vztah pro tloušťkový přírůst záporný, na výškový přírůst nemají spady dusíku z předchozího roku vliv. Vztah tloušťkových a výškových přírůstů k depozicím síry v daném i předchozím roce je záporný (tab. 10). Korelační koeficienty nejsou ani v jednom případě statisticky významné.

Tab. 10 Korelace mezi přírůsty starého porostu a spadem látek na volné ploše na Šerlichu (1993 – 2001)

	depozice v roce tvorby daného přírůstu			depozice v roce předcházejícím tvorbě daného přírůstu		
	N volná plocha	S volná plocha	F volná plocha	N' volná plocha	S' volná plocha	F' volná plocha
Tloušťkový přírůst	0,31	-0,35	0,46	-0,45	-0,41	-0,53
Výškový přírůst	0,48	-0,12	-0,01	0,05	-0,15	-0,23

$$R_{\text{sig}0,05} = 0,67$$

$$R_{\text{sig}0,05} = 0,71$$

Korelace tloušťkových přírůstů dospělých smrků s depozicemi dusíku pod tímto porostem je kladná pro depozici v daném roce, depozice dusíku z předchozího roku

tloušťkový přírůst neovlivňuje. Výškový přírůst reaguje záporně na depozice dusíku, síry i fluoru v daném i předchozím roce (tab. 11). Korelační koeficienty nejsou signifikantní.

Tab. 11 **Korelace mezi přírůsty starého porostu a spadem látek ve starém smrkovém porostu 360C1 (1988 – 1997)**

	depozice v roce tvorby daného přírůstu			depozice v roce předcházejícím tvorbě daného přírůstu		
	N starý porost	S starý porost	F starý porost	N' starý porost	S' starý porost	F' starý porost
Tloušťkový přírůst	0,33	0,19	0,12	0,02	0,35	0,30
Výškový přírůst	-0,38	-0,38	-0,46	-0,45	-0,50	-0,45

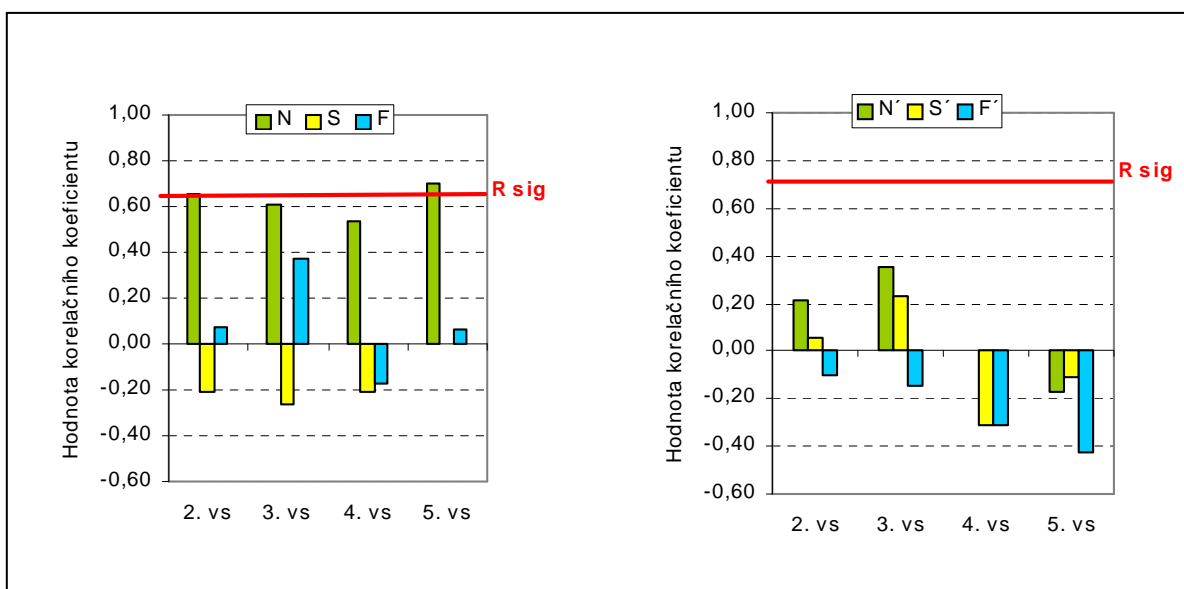
$R_{\text{sig}0,05} = 0,63$ $R_{\text{sig}0,05} = 0,67$

Výškový přírůst mladých porostů má kladný vztah ke vstupům dusíku na volné ploše v daném roce, statisticky významná je hodnota korelačního koeficientu pro 5. věkový stupeň, vysokých hodnot dosahují korelační koeficienty i pro ostatní věkové stupně. Depozice dusíku z předchozího roku nemají na výškový přírůst mladých porostů vliv. Podobně vychází i vztah výškových přírůstů k depozicím síry a fluoru: spád těchto látek v daném i předchozím roce neovlivňuje přírůst mladých porostů (obr. 39).

Obr. 39 *Korelace mezi výškovými přírůsty mladých porostů a depozicemi látek na volné ploše Šerlich (1993 – 2001)*

a) depozice v roce tvorby daného přírůstu

b) depozice v předcházejícím roce

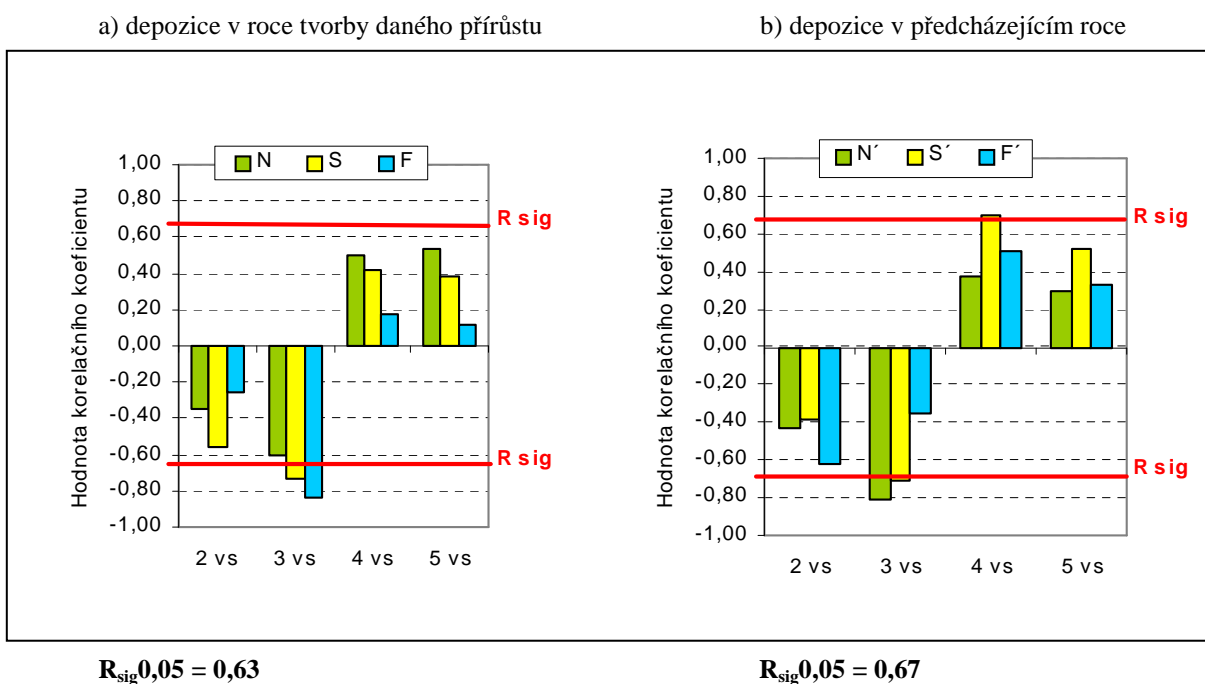


$R_{\text{sig}0,05} = 0,67$

$R_{\text{sig}0,05} = 0,71$

Vztah výškových přírůstů mladých porostů k depozicím dusíku, síry a fluoru pod mladým smrkovým porostem (měření z let 1988 – 1997) vychází jako záporný pro porosty 2. a 3. věkového stupně, naopak porosty 4. a 5. věkového stupně mají ke vstupům těchto látek kladný vztah (obr. 40). Charakter vztahu přírůst - depozice vychází podobně při srovnání přírůstů s hodnotami spadu v daném i předchozím roce. Statisticky významný je záporný vztah výškových přírůstů porostů 3. věkového stupně k depozicím síry a fluoru v daném roce a dále k depozicím dusíku a síry v předcházejícím roce. Signifikantní je též kladný vztah výškových přírůstů porostů 4. věkového stupně k depozicím síry v předcházejícím roce.

Obr. 40 Korelace mezi výškovými přírůsty mladých porostů a depozicemi látek v mladém smrkovém porostu 360C4 (1988 – 1997)



5.4.1.2 Koncentrace látek v půdní vodě

Tloušťkové přírůsty starého porostu mají kladný vztah k průměrným ročním koncentracím dusíku, síry a fluoru v půdní vodě (měřeno ve stejném porostu v letech 1988 – 1997). Pro výškový přírůst vychází závislost jako negativní. Ani v jednom případě nevyhází závislost jako statisticky významná, korelační koeficienty jsou nejvyšší pro vztah výškového přírůstu ke koncentracím dusíku v půdní vodě pod humusovým horizontem a pod minerálním horizontem A (tab. 12).

Tab. 12 Korelace mezi přírůsty starého porostu a průměrnou roční koncentrací látek v půdní vodě (měřeno ve starém porostu 1988 - 1997)

	Nroč O starý porost	Nroč A starý porost	Sroč O starý porost	Sroč A starý porost	Froč O starý porost	Froč A starý porost
Tloušťkový přírůst	0,33	0,33	0,25	0,24	0,31	0,28
Výškový přírůst	-0,49	-0,49	-0,27	-0,43	-0,31	-0,17

 $R_{\text{sig}0,05} = 0,63$

Charakter vztahu výškových přírůstků ke koncentracím dusíku, síry a fluoru v půdní vodě (měřeno v letech 1988 – 1997 v mladém porostu 360C4 s měřením depozic) má obdobný charakter jako vztah přírůstků k depozicím z tohoto porostu: porosty 2. a 3. věkového stupně reagují na koncentrace dusíku, síry a fluoru záporně, naproti tomu porosty 4. a 5. věkového stupně kladně. Výškové přírůsty porostů 3. věkového stupně významně snižují koncentrace dusíku pod minerálním horizontem B. Na výškový přírůst porostů 2. věkového stupně mají signifikantní záporný vliv koncentrace fluoru též měřeno pod B-horizontem (tab. 13).

Tab. 13 Korelace mezi výškovými přírůsty mladých porostů a průměrnou roční koncentrací látek v půdní vodě (měřeno v mladém smrkovém porostu 360C4 v letech 1988 - 1997)

	Nroč O ml porost	Nroč B ml porost	Sroč O ml porost	Sroč B ml porost	Froč O ml porost	Froč B ml porost
Výškový přírůst 2.věkový stupeň	-0,17	-0,58	-0,55	-0,17	-0,24	-0,73
Výškový přírůst 3.věkový stupeň	-0,36	-0,76	-0,58	-0,11	-0,46	-0,58
Výškový přírůst 4.věkový stupeň	0,28	0,39	0,30	0,05	0,25	0,33
Výškový přírůst 5.věkový stupeň	0,47	0,21	0,44	-0,17	0,31	-0,09

 $R_{\text{sig}0,05} = 0,63$

5.4.2 Žďárské vrchy

5.4.2.1 Depozice

Analýza vztahu mezi přírůsty starého porostu na lokalitě Čachnov a úrovní depozic na volné ploše ukázala, že tloušťkové přírůsty reagují negativně na vstupy dusíku, síry i fluoru v daném roce, naopak spád dusíku v předchozím roce tloušťkový přírůst ovlivňuje kladně. Hodnota korelačního koeficientu pro vztah tloušťkových přírůstků ke spadu dusíku je vysoká a blíží se kritické hodnotě korelačního koeficientu na hladině významnosti $\alpha=0,05$. Výškové přírůsty významně snižuje spád dusíku v předcházejícím roce. Naproti tomu pozitivní vztah mají výškové přírůsty starého porostu ke vstupům síry a fluoru (tab. 14).

Tab. 14 Korelace mezi přírůsty starého porostu na lokalitě Čachnov a spadem látek na volné ploše Svatouch (1993 – 2001)

	depozice v roce tvorby daného přírůstu			depozice v roce předcházejícím tvorbě daného přírůstu		
	N volná plocha	S volná plocha	F volná plocha	N' volná plocha	S' volná plocha	F' volná plocha
Tloušťkový přírůst	-0,66	-0,22	-0,22	0,56	0,06	0,07
Výškový přírůst	-0,06	0,51	0,49	-0,73	0,66	0,74

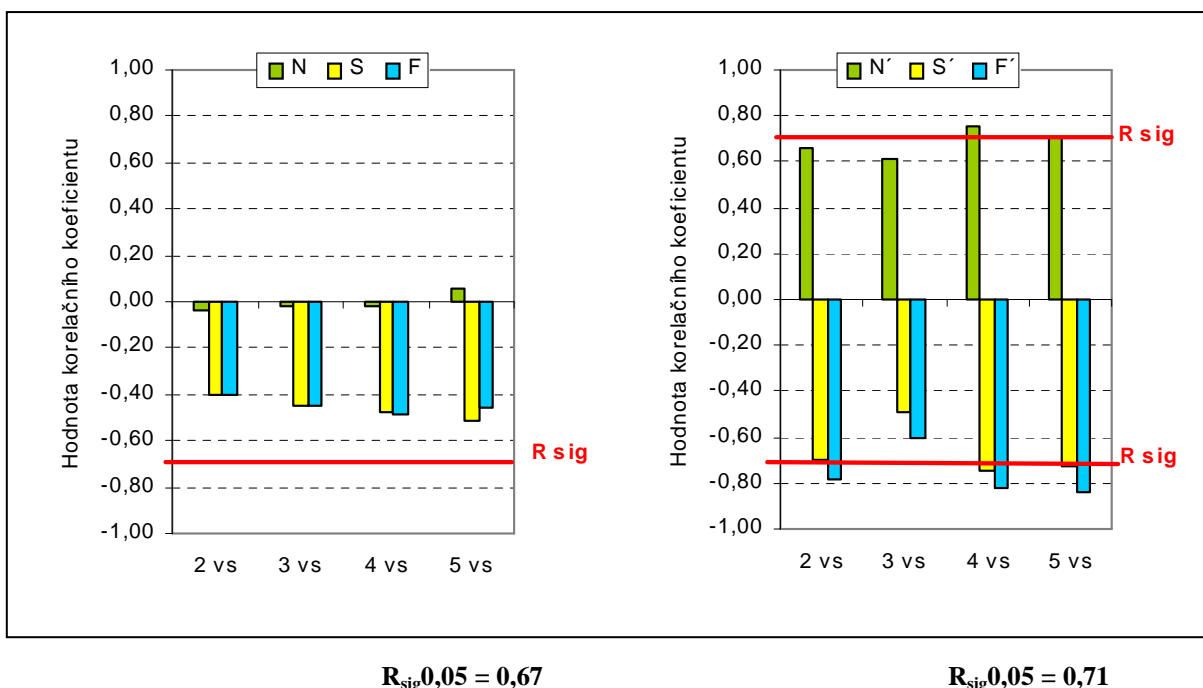
$R_{sig,0,05} = 0,67$ $R_{sig,0,05} = 0,71$

Výškové přírůsty mladých porostů všech studovaných věkových stupňů významně stimulují vstupy dusíku z roku předcházejícího tvorbě přírůstu. Spady síry a fluoru z předcházejícího roku naopak přírůsty významně snižují. Depozice dusíku v daném roce nemají na přírůst vliv, depozice síry a fluoru působí negativně, ale korelační koeficienty nejsou signifikantní (obr. 41).

Obr. 41 Korelace mezi výškovými přírůsty mladých porostů a spadem látek na volné ploše Svatouch (1993 – 2001)

a) depozice v roce tvorby daného přírůstu

b) depozice v předcházejícím roce



6. DISKUSE

6.1 Růst a přírůst dospělých vzorníků

Vzorníky pro účely kmenových analýz byly vybrány z podobných porostů, přesto zde existují některé rozdíly. Porosty na Šerlišském mlýně a Falešném metru jsou si velmi podobné stanovištními podmínkami, bonitou i průměrným věkem vybraných vzorníků. Analýza pařezových výřezů však ukazuje na rozdílný původ porostů. Široké věkové rozpětí (140 - 200 let) a dlouhé období potlačeného růstu v mládí (18 – 78 let) svědčí o autochtonním původu smrkových vzorníků na Šerlišském mlýně. Věk vzorníků z Přebuzi byl více vyrovnaný (140 - 160 let), z toho pouze u poloviny zaznamenáno potlačení v mládí v trvání 6 – 22 let. Je pravděpodobné, že porost vznikl kombinací přirozené obnovy a dosadby. Porost na lokalitě Čachnov má vyšší bonitu a nachází se v nižší nadmořské výšce, podle výsledků analýzy pařezových výřezů vzorníků lze předpokládat, že porost vznikl umělou obnovou (absence periody nízkých přírůstů na počátku růstu).

V Orlických horách byl u všech vybraných vzorníků ze starého smrkového porostu na lokalitě Šerlišský mlýn prokázán původ z přirozené obnovy, což je pravděpodobně dáno tím, že jedinci autochtonní populace, díky vyšší produktivitě a odolnosti vůči mechanickému poškození korun, lépe splňovaly kritéria stanovená pro výběr vzorníků. Ani velmi dlouhá doba potlačení neměla negativní dopad na vitalitu stromků. Nejstarší analyzovaný vzorník s dobou potlačení téměř 80 let patřil ve fázi nepotlačeného růstu k nejpřirůstavějším. K podobným výsledkům dospěl i Magin (1959) při analýze vzorníků jedle s různou dobou zastínění. Srovnáním výškových křivek od počátku nepotlačeného růstu zjistil, že výškové křivky mají v období po odstínění totožný průběh. Zakopal (1973) uvádí, že smrk se v těchto podmínkách vyznačuje vysokým stupněm zastinitelnosti po dlouhou dobu při celkově setrvalém trendu výškových přírůstů, pomalejší růst smrku v zástinu je vyvažován větší pevností a houževnatostí jeho dřeva.

Průměrné letokruhové série z výčetní výšky vzorníků se výrazně liší věkovým trendem v řadách přírůstů. Zde se opět projevuje rozdíl ve způsobu obnovy porostů – zatímco porost na Čachnově byl s největší pravděpodobností uměle založen a kulminace běžného tloušťkového přírůstu zde nastává záhy (před 25. rokem života) s následným exponenciálním poklesem s narůstajícím věkem (obr. 20), vzorníky ze Šerlišského mlýna pocházejí z přirozené obnovy a jejich počáteční zpomalený růst a pozdní kulminace tloušťkového přírůstu (mezi 30. a 110. rokem života stromů) je důsledkem vývoje v zástinu pod mateřským

porostem (obr. 8). Zcela specifický je průběh letokruhové křivky z lokality Přebuz, u níž nebyl zaznamenán typický exponenciální pokles se stoupajícím věkem, tloušťkový přírůst vzorníků kulminoval před 40. rokem života stromu, následoval rychlý pokles, poté je tloušťkový přírůst vyrovnaný a víceméně kolísá okolo průměrné hodnoty 1,36 mm (obr. 14).

Přes zmíněné rozdíly mezi porosty ve způsobu obnovy a částečně též rozdíly ve stanovištních podmínkách průměrné letokruhové chronologie z výčetní výšky vzorníků vykazují vysokou shodu v meziročním kolísání tloušťkových přírůstů a lze je velmi dobře synchronizovat. Lze tedy předpokládat, že růstové podmínky na lokalitách jsou si blízké a stromy na jejich působení reagují obdobně.

Zjištěné průběhy běžných a průměrných přírůstů všech růstových veličin (obr. P1 – P30 v příloze 1) se značně odlišují od obecného modelu přírůstové funkce. V důsledku strmého vzestupu produkce po roce 1986 na Šerlišském mlýně a na Přebuzi a od roku 1997 též na Čachnově se hodnoty běžného tloušťkového přírůstu opětovně dostávají nad hodnoty přírůstu průměrného, respektive u přírůstu na kruhové ploše a u objemového přírůstu často k protnutí křivek běžného a průměrného přírůstu vůbec nedošlo. Znamená to, že průměrný tloušťkový přírůst po první kulminaci opět stoupá, u přírůstu na kruhové ploše a u objemového přírůstu kulminace průměrného přírůstu ještě nenastala. Tyto výsledky ukazují, že růstový potenciál smrku je i u starých stromů vysoký – vzorníky ze všech třech lokalit byly schopny reagovat na pozitivní změnu v růstových podmínkách akcelerací přírůstů.

Poněkud odlišná je situace u výškových přírůstů. Zatímco na Šerlichu běžný výškový přírůst kopíruje vývoj tloušťkového přírůstu, na Přebuzi a na Čachnově běžný výškový přírůst po minimu v první polovině 80. let stoupl jen mírně nebo stagnuje a zůstává pod hodnotami přírůstu průměrného.

Průběh růstu a přírůstu jednotlivých taxačních veličin je časově oddělený – nejprve kulminuje výškový přírůst, potom přírůst tloušťkový, na kruhové základně, přírůst výtvarnice a až o dost později přírůst objemový (Šebík, Polák, 1990). Výsledky z kmenových analýz s těmito údaji korespondují, ačkoliv určení věku kulminace běžných tloušťkových a především běžných výškových přírůstů je u některých vzorníků problematické vzhledem k jejich vysoké rozkolísanosti. Na lokalitě Přebuz všechny vzorníky zdánlivě dosáhly kulminace běžných plošných a objemových přírůstů shodně na počátku 70. let 20. století ve věku 120 – 135 let, strmý pokles přírůstů, který následoval, je však spíše krátkodobým výkyvem v důsledku extrémních imisí – klimatických podmínek v tomto období (viz dále), než projevem přirozeného věkového trendu ve vývoji běžných přírůstů. Vzorníky na

Šerlišském mlýně dosáhly kulminace běžných plošných přírůstů ve věku 65 – 120 let, objemové přírůsty u vzorníků kulminovaly nejdříve ve věku 100 let. Po kulminaci přírůst postupně klesal, nicméně vzestup běžných přírůstů po roce 1986, především pak v poslední analyzované periodě 1997 – 2001 je natolik strmý, že u 8 z 10 vzorníků na této lokalitě se hodnoty běžného přírůstu na kruhové výčetní základně a objemového přírůstu blíží nebo překračují hodnoty z doby první kulminace.

Podobné nepravidelnosti v průběhu objemového přírůstu zjistil i Guttenberg (1915), který analyzoval celkem 30 smrků (až 300 let staré) z porostu obhospodařovaného výběrným způsobem. U jednoho z analyzovaných smrků zaznamenal první kulminaci objemového přírůstu v 80 letech, poté přírůst poklesl a opětovně začal stoupat od 115 let věku. Příčinou nepravidelného vývoje je podle Guttenberga pravděpodobně přirozené uhynutí nebo vytěžení sousedních konkurenčních stromů a následné výrazné zvětšení růstového prostoru, na které strom reagoval zvýšeným přírůstem. Pouze 2 vzorníky analyzované Guttenbergem dosáhly maxima průměrného objemového přírůstu, u ostatních stromů se křivky běžného a průměrného přírůstu vůbec nepřetřaly.

Röhle (1999) analyzoval smrk ze dvou porostů (110 a 143 let) z oblasti jižního Bavorska. V Bavorku zjistil vzestup objemového přírůstu přibližně od roku 1960 bez ohledu na věk porostu. Průběh křivek standardizovaného objemového přírůstu smrkových porostů z Bavorska je podobný průběhu křivek této veličiny pro smrk ze Šerlišského mlýna, kde je však období vzestupu omezeno na poslední dvě decennia. Pozdější obrat ve vývoji přírůstů v Orlických horách může souviset s vysokou imisní zátěží oblasti od 50. let 20. století

Při interpretaci současného vzestupu přírůstů je potřeba vycházet z průběhu přírůstů v předcházejícím období, minimálně od roku 1970. V posledních 30 letech byly na lokalitách Šerlišský mlýn a Přebuz pozorovány dva výrazné zvraty ve vývoji přírůstů smrku. Prvním je hluboký pokles přírůstů s počátkem v 1. polovině 70. let a minimem v pětileté periodě 1981 – 1986, druhým vzestup přírůstů od roku 1987. Na Čachnově zaznamenán slabší pokles přírůstů od roku 1979, přírůsty setrvaly na nižší úrovni prakticky do roku 1996, v poslední analyzované pětileté periodě 1997 - 2001 přírůsty výrazně stoupají.

Silná přírůstová deprese od poloviny 70. let do poloviny 80. let je typická pro dospělé smrkové porosty z horských oblastí při severní hranici ČR. Stejně trendy zaznamenal Röhle (1999) pro smrk ze sasské strany Krušných hor, Kroupová (2002) pro smrkové porosty z východní části Krušných hor, Jizerských hor a Krkonoš, Sander et al. (1995) pro smrk z Labského dolu v Krkonoších, Kroupová a Kyncl (2001) pro smrk z Orlických hor, lokalita

Luisino údolí. Ve zmíněných pracích byla zároveň většinou potvrzena regenerace porostů na konci 80. let spojená se vzestupem přírůstů na úroveň z konce 60. let.

Pokles přírůstů je vysvětlován klimatickými extrémami ve spojení s vysokou imisní zátěží. Z nepříznivých klimatických faktorů to byly především teplotní zvraty v zimním období, případně v časném jaru, kdy během několika dní poklesla teplota z kladných hodnot hluboko pod bod mrazu. Teplotní zvrát na jaře 1977 a hlavně pak teplotní zvrát v zimě 1978/79 byly podle Materny (1999) určující pro další osud lesa ve východním křídle Krušných hor. V těchto letech zde byla zničena většina porostů smrku ztepilého. Velkoplošné odumírání porostů se projevilo ve strmém vzestupu imisních těžeb ve východním ale i v západním Krušnohoří, od roku 1979 též v Jizerských horách (Šrámek, 2000). Série nepříznivých let vyvrcholila rokem 1980 s velmi studeným létem a s vysokými koncentracemi znečištění v zimních měsících, pravděpodobně dozníval též vliv poškození z předchozího roku. Dramatický pokles tloušťkových přírůstů zjištěn u většiny analyzovaných porostů z východního Krušnohoří, Jizerských hor a Krkonoš. Z výsledků je patrný pokles přírůstů podél výškového gradientu. O nejsilnějším zasažení ploch z hřebenových poloh svědčí i nízké přírůsty v následujících třech letech a vysoká četnost výskytu poruch v tvorbě letokruhů. K prodloužení fáze minimálních přírůstů na počátku 80. let přispěly též teplotní zvraty v zimním období 1980/81, silný mrazový zvrát v lednu 1982 spolu s vysokou mírou znečištění (Kroupová, 2002). Citlivost k nízkým teplotám indikuje snížení mrazuvzdornosti vlivem SO_2 (Feiler, 1985; Michael et al. 1982). Přímo v Krušných horách byl tento jev popsán a experimentálně prokázán Spáleným (1980) a Ryškovou a Uhlířovou (1985).

Pokud srovnáme růstovou reakci smrků z východního Krušnohoří (Kroupová, 2002) s výsledky letokruhových analýz vzorníků z Přebuzi a Šerlišského mlýna je zřejmé, že ačkoliv stromy byly vystavené stejnému klimatickému stresu vyrovnaly se s ním lépe a vykazaly vyšší odolnost zřejmě díky nižší imisní zátěži. Na Přebuzi ani na Šerlišském mlýně nebyly identifikovány poruchy v tvorbě letokruhů, od roku 1987 přírůsty setrvale stoupají. Naproti tomu ve východní části Krušných hor je četný výskyt poruch v tvorbě letokruhů od roku 1978 až do posledního analyzovaného roku 1998, vzestup přírůstů s počátkem ve druhé polovině 80. let byl zde přerušen strmým poklesem v roce 1996, kdy se ve východním Krušnohoří projevilo rozsáhlé poškození smrkových porostů opět v důsledku extrémních imisně – klimatických podmínek v zimě 1995/96 (Lomský, Šrámek, 1999).

Výsledky regresního modelu klima – přírůst ukazují, že na Šerlišském mlýně v periodě 1980 – 1986 je skutečný tloušťkový přírůst trvale nižší než modelový (obr. 34). Na lokalitě Přebuz zjištěna záporná odchylka skutečných indexů od modelových v období 1971 –

1986 (obr. 36). Znamená to, že přírůsty v těchto letech dosahovaly nižších hodnot než by odpovídalo čistě klimatickému vlivu na velikost přírůstů. Trvalá záporná odchylka ve zmíněném období svědčí o působení neklimatického faktoru, kterým s největší pravděpodobností bylo vysoké znečištění. Zach, Drápela (1991) zaznamenali podobné záporné odchylky skutečných a modelových hodnot po roce 1975 pro přírůst v poškozených smrkových porostech v oblasti Moravskoslezských Beskyd.

Největší odchylka mezi skutečným a modelovým přírůstem vychází na Šerlišském mlýně i na Přebuzi pro rok 1974. Tento rok je u nás významným přírůstovým minimem pro smrk z nejvyšších horských poloh, kde je velikost přírůstu limitována především letními teplotami (Sander et al. 1995, Kroupová, 2002). Rozbor klimatických dat ukazuje, že v tomto roce byly extrémně chladné měsíce červen a červenec. Hypotézu o klimatickém vlivu podporuje i fakt, že v roce 1974 nebylo zaznamenáno viditelné poškození porostů, ani nedošlo k nárůstu imisních těžeb (Šrámek, 2000). Rok 1974 lze tedy považovat za klimatický extrém, který není regresním modelem postihnutelný. Jak uvádí Kienast et al. (1987) response funkce poskytuje informace o dominantní povaze vztahu klima – přírůst, jakýsi „průměrný vzor“ v dlouhodobém časovém horizontu. Odhalení faktorů působících s nižší frekvencí je možné metodou analýzy zvláštních a významných roků (Schweingruber et al. 1990).

Na Čachnově prokázán pokles přírůstů na počátku 80. let u 4 vzorníků, ostatní reagovaly buď slabě nebo vůbec. Pokles přírůstů odstartoval rok 1979, pravděpodobně šlo o reakci na mrazový zvrát ze zimy 1978/79. V dalších letech pak působily nepříznivé klimatické podmínky z počátku 80. let podobně jako v Krušných a Orlických horách. Jejich působení však nebylo umocněno imisní zátěží. Na Čachnově zaznamenány nižší přírůsty též v období 1991 – 1996. Jak ukazují výsledky analýzy vztahu klima - přírůst, na rozdíl od horských lokalit Šerlišský mlýn a Přebuz jsou přírůsty na Čachnově významně stimulovány též srážkovými úhrny v červnu a červenci daného roku. Z dat pro klimatickou stanici Svratouch je patrné, že vegetační sezóny od roku 1988 byly s výjimkou let 1991 a 1996 teplotně nadprůměrné, ovšem první polovina 90. let patřila zároveň k nejsušším (roky 1990, 1992, 1993 patří mezi deset roků s nejnižšími srážkovými úhrny ve vegetační době za celou řadu pozorování). Je proto pravděpodobné, že velikost přírůstů v periodě 1991 – 1996 byla redukována v důsledku srážkového deficitu.

Časové řady skutečných a modelových indexů pro lokalitu Čachnov mají víceméně souběžný průběh, není zde patrný žádný dlouhodobý vliv jiných faktorů než klimatických

(obr. 38). Výrazná záporná odchylka v roce 1979 může být interpretována jako vliv klimatického extrému (mrazový zvrát).

Vzestup přírůstů na lokalitě Šerlišský mlýn a Přebuz lze rozdělit do dvou fází: (1) 1987 – 1996, (2) 1997 – 2001.

Počátek 1. fáze vzestupu přírůstů paradoxně spadá do doby kulminace znečištění. Zřejmě díky příznivému vývoji počasí bez klimatických extrémů v zimních měsících a nadprůměrným teplotám ve vegetační době (obr. 42), které podle výsledků analýzy klima – přírůst pro obě lokality mají na velikost tloušťkových přírůstů pozitivní vliv, byly stromy schopny regenerace po předchozím kritickém období. V Orlických horách na lokalitě Šerlišský mlýn byl vzestup tloušťkových přírůstů v decenniu 1987 – 1996 mírnější než na lokalitě Přebuz. Hodnoty tloušťkových přírůstů na Šerlišském mlýně se v polovině 90. let dostaly zpět na úroveň na začátku 70. let (obr. 8), naproti tomu u vzorníků na Přebuzi zaznamenán strmý vzestup radiálních tloušťkových přírůstů až na úroveň hodnot z poloviny 60. let (obr. 14).

V roce 2004 při odběru vzorníků pro kmenové analýzy byl porost na Přebuzi místy mezernatý, zakmenění porostu bylo dle údajů LHP 0,7. Na rychlý vzestup přírůstů na Přebuzi na konci 80. let mohlo mít kromě klimatických faktorů vliv i proředění porostu, ke kterému pravděpodobně došlo v době vrcholu imisní kalamity v 1. polovině 80. let v důsledku odtěžení jedinců uhynulých či ve špatném zdravotním stavu. Ačkoliv západní Krušnohoří bylo podstatně méně vystaveno vlivu imisí než východní část hřebene (Materna, 1997), také zde evidovány imisní těžby od konce 70. let (Šrámek, 2000). Na úhynu stromů v porostu se mohly podílet i biotičtí škůdci z řad kambiofágního hmyzu (gradace lýkožrouta smrkového v Krušných horách v letech 1983 – 84) i foliofágního hmyzu (přemnožení smrkové formy obaleče modřínového z let 1979 – 1985 a ploskohřbetky smrkové z let 1980 – 1988 silně zasáhlo LZ Horní Blatná) (Liška, Zahradník, 1997).

Porost na Přebuzi byl jednou povápněn ve 2. polovině 80. let, nelze proto pominout možné ovlivnění přírůstů provedeným melioračním zásahem.

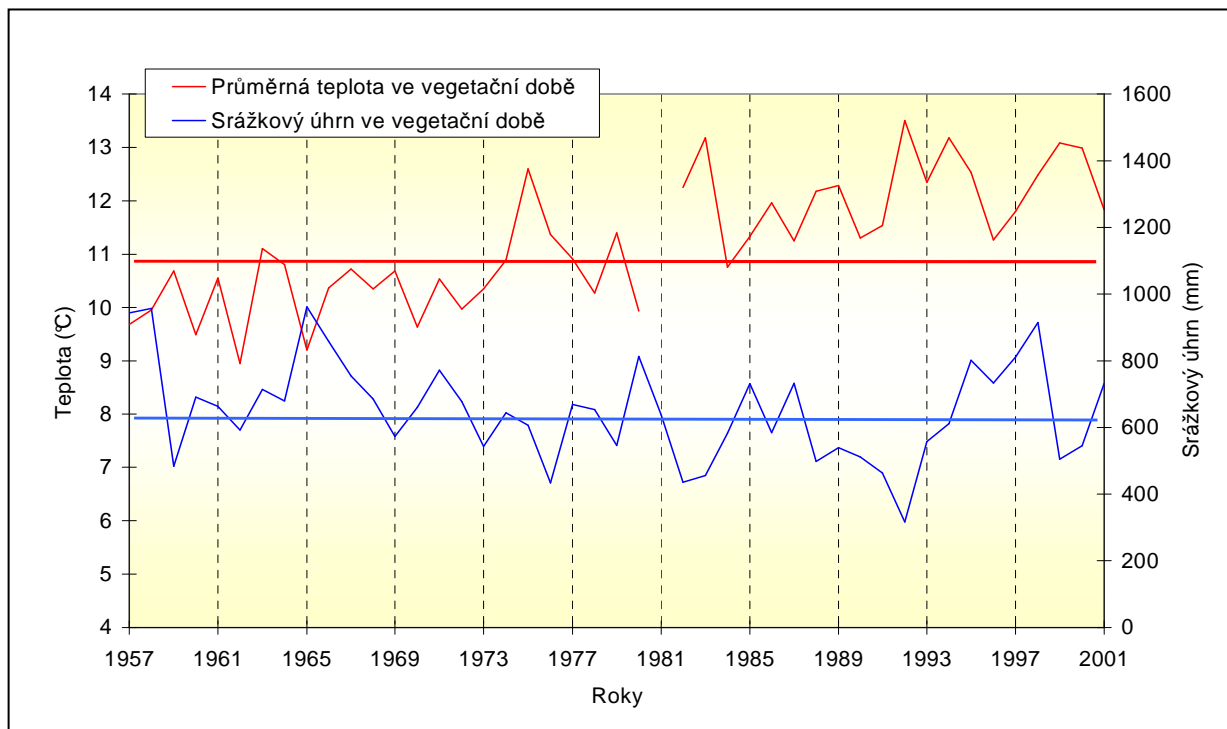
V druhé fázi vzestupu přírůstů v periodě 1997 – 2001 se hodnoty běžného přírůstu na kruhové výčetní základně a běžného objemového přírůstu na lokalitě Šerlišský mlýn blíží nebo překračují hodnoty z doby první kulminace, na Přebuzi se běžné tloušťkové a především běžné plošné a objemové přírůsty dostávají vysoko nad předešlou úroveň.

V období 1997 – 2001 výrazně stoupá radiální tloušťkový přírůst a následně též přírůst na kruhové výčetní základně a objemový přírůst na Čachnově.

Z rozboru klimatických dat nejbližších meteorologických stanic vyplývá, že průměrné teploty ve vegetační době mají od počátku sledování vzestupný trend, od roku 1985 dosahují trvale nadprůměrných hodnot (obr. 42). Vegetační teploty v letech 1992, 1994, 1999 a 2000 patří na stanici Deštné v Orlických horách k nejvyšším za celou dobu pozorování. Vysoké teploty ve vegetační době byly v letech 1988 – 1994 doprovázeny nízkými úhrny srážek, naproti tomu vegetační sezóny 1995 – 1998 byly srážkově nadprůměrné (obr. 42). Vzestup přírůstků na Šerlišském mlýně a Přebuzi po roce 1986 tedy koresponduje se vzestupem teplot ve vegetační době. Letní přísušky na počátku 90. let neměly na velikost přírůstků vliv. Naproti tomu smrk na Čachnově je na nedostatek srážek v letním období daného roku citlivý a zřejmě z tohoto důvodu se strmý vzestup přírůstků projevil až v letech 1997 – 2001, tedy v období, kdy se vysoké vegetační teploty pojí s dostatkem srážek.

Rozhodující úlohu klimatických faktorů v pozorovaném zvýšení přírůstků od roku 1997 potvrzují výsledky regresního modelu klima – přírůstek. Klimatický model dobře vystihuje proměnlivost přírůstků v tomto období na všech třech lokalitách (obr. 34, 36 a 38).

Obr. 42 Průběh vegetačních průměrných teplot a srážkových úhrnů ze stanice Deštné v Orlických horách



Diskutabilní je role spadů dusíku v pozorovaném zvyšování přírůstků. V minulosti byla zátěž tří sledovaných lokalit odlišná. Nejvyšší vstupy kyselých depozic byly v západním Krušnohoří, nejnižší ve Žďárských vrších. V současné době není mezi lokalitami významný

rozdíl v úrovni depozic dusíku (obr. 5), koncentrace ve srážkách jsou obdobné, vyšší spady na horských lokalitách jsou dány vyššími srážkovými úhrny (Šrámek et al. 2005).

Na Šerlišském mlýně vychází nízké nesignifikantní hodnoty korelačních koeficientů pro vztah běžných tloušťkových a výškových přírůstků jak k depozicím dusíku na volné ploše v období 1993 – 2001, tak k depozicím pod porostem v období 1988 – 1997. Podobně vychází též vztah přírůstků k průměrným ročním koncentracím dusíku v půdní vodě (měřeno společně s depozicemi pod starým porostem v období 1988 – 1997). Tyto výsledky podporují závěr z hodnocení klimatického modelu: model vysvětluje v období 1988 – 2001 většinu variability v radiálních tloušťkových přírůstcích, významný vliv neklimatického faktoru proto není pravděpodobný.

Na Čachnově mají podle výsledků korelační analýzy depozice dusíku na velikost tloušťkových i výškových přírůstků významný záporný vliv. Jako signifikantní vychází negativní vztah běžných výškových přírůstků k celkové roční depozici dusíku v roce předcházejícím tvorbě letokruhu. Tloušťkové přírůsty reagují negativně na spady dusíku v daném roce. Tyto výsledky však nemohu spolehlivě zdůvodnit. Vstupy dusíku byly ve sledovaném období nízké, roční depozice dusíku na volné ploše se pohybovala okolo $10 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$, což odpovídá hodnotě zvýšeného pozadí. Výsledky z analýzy půdně – biologických vlastností na lokalitě Čachnov dokazují, že plocha není dusíkem nadměrně zatížena, z analýzy jehličí pak vyplývá, že zásoba základních živin u dospělých smrků je dostatečná až dobrá (Šrámek et al. 2005). Při bližším prozkoumání průběhu hodnot roční depozice dusíku na stanici Svratouch a průběhu residuí tloušťkových přírůstků vyplývá, že hodnoty obou řad vykazují minimální meziroční změny s výjimkou roku 2000, kdy depozice výrazně stoupla a přírůstek naopak výrazně poklesl. Vegetační období roku 2000 bylo podle klimatických dat ze stanice Svratouch extrémně suché a teplé (druhý nejnižší srážkový úhrn za celou dobu pozorování od roku 1952), což by mohlo dobře vysvětlovat náhlý výrazný pokles přírůstků. Je tedy pravděpodobné, že významná záporná korelace mezi řadami přírůstků a depozic je náhodná.

Při interpretaci výsledků korelační analýzy vztahu přírůstků ke vstupům okyselujících látek je potřeba zmínit některá omezení snižující spolehlivost vyhodnocení: časové řady měření depozic a koncentrací látek v půdní vodě jsou velmi krátké (9 resp. 10 let), hodnota celkové roční depozice resp. hodnota průměrné roční koncentrace látek v půdní vodě nemusí mít přímý vztah k velikosti přírůstků.

Na míru ovlivnění přírůstu smrku vstupy dusíku lze usuzovat ze srovnání vývoje tloušťkových a výškových přírůstků dospělých vzorníků ze zkoumaných lokalit v kontextu se zjištěnými půdně-biologickými vlastnostmi a parametry stavu výživy.

Podle výsledků půdně – biologického průzkumu je Šerlišský mlýn lokalitou nejvíce zatíženou zvýšenými vstupy dusíku. Aktuální obsah minerálního dusíku ve svrchním horizontu Ao byl na Šerlišském mlýně $60\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}\text{N}$, což je dvojnásobek v porovnání s Přebuzí a dokonce trojnásobek v porovnání s Čachnovem. Na Šerlišském mlýně byl zároveň zjištěn vysoký podíl nitrátového N na celkovém minerálním N ve všech analyzovaných horizontech (Ao, Ae, Bvs). Naopak podíl amonného dusíku byl na této lokalitě nejnižší, nejvyšší hodnoty amonného N zjištěny na Přebuzi. Plocha v Orlických horách se vyznačuje výrazně nejvyšší nitrifikační schopností mikroflóry (nitrifikace zde byla několikanásobně vyšší ve srovnání s ostatními plochami). Relativně nízký index dostupnosti dusíku na lokalitě Šerlišský mlýn v porovnání s aktuálními obsahy minerálního N je možnou adaptací půdní mikroflóry na snadnou dostupnost dusíku v půdě v podmínkách vysokých vstupů dusíku atmosférickými depozicemi (Šrámek et al. 2005).

Na Šerlišském mlýně, Přebuzi i Čachnově lze hodnotit půdní prostředí jako narušené. Hodnoty aktivního $\text{pH}_{(\text{H}_2\text{O})}$ i výměnného $\text{pH}_{(\text{KCl})}$ řadí půdy všech horizontů do kategorie silně kyselé na všech třech lokalitách. Obsahy dusíku v půdě byly nejvyšší na Šerlišském mlýně, a to v rámci celého půdního profilu. Vysoké koncentrace N i ve větších hloubkách svědčí o vyšším nasycení humusu i svrchní minerální půdy dusíkem a je pravděpodobné, že již dochází k vyplavování dusíku do spodních horizontů. Zásoba draslíku v půdě je dostatečná pouze na Čachnově, na Šerlišském mlýně je obsah velmi nízký, na Přebuzi je draslík ve výrazném deficitu. Obsahy vápníku a hořčíku v půdě jsou nízké až deficitní na všech třech lokalitách

Výživa stromů charakterizovaná výsledky analýzy jehličí vychází jako nejhorší na Přebuzi. Obsah dusíku v jehličí je zde pod hranicí nízkého obsahu, deficitní je fosfor a výrazný nedostatek je především hořčíku, obsah vápníku je dobrý. Naproti tomu na Šerlišském mlýně a Čachnově je obsah N v jehličí dobrý a zásoby ostatních živin jsou také dostatečné až dobré (Šrámek et al. 2005).

Výše uvedené výsledky podávající důkaz o zvýšené saturaci plochy Šerlišský mlýn dusíkem a zároveň prokazující závažné narušení výživy na ploše Přebuz nekorespondují očekávaným způsobem s výsledky kmenových analýz. Akcelerace tloušťkových přírůstků a následně též přírůstků plošných a objemových je na obou lokalitách srovnatelná. Lokalita Šerlišský mlýn se odlišuje pouze ve vývoji výškových přírůstků, které zde jako na jediné lokalitě mírně stoupají. Skutečnost, že vzestup přírůstků na výčetní základně a na objemu je

mnohem výraznější než vzestup výškových přírůstů svědčí podle Röhleho (1999) o tom, že se nezvyšuje pouze bonita stanoviště, ale zároveň že dochází ke zlepšení produkční úrovně jako takové.

Role zvýšených vstupů dusíku v pozorovaném vzestupu přírůstů dospělých smrků v posledních letech není tedy jednoznačná. Je pravděpodobné, že vstupy dusíku mají na velikost přírůstů dospělých vzorníků omezený vliv. Podle výsledků sledování depozic na lokalitě Šerlišský mlýn (VÚLHM), překračovala na konci 80. let depozice dusíku v dospělém smrkovém porostu $50 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$, během sledování pak postupně poklesla na hodnoty okolo $30 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$ na konci devadesátých let (Lochman et al. 2004). Jak uvádí Rehfuess et al. (1999) velká část porostů, kde úroveň depozic převyšuje po několik dekád hodnotu $25 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$, může být blízko stavu saturace. O stavu saturace na Šerlišském mlýně svědčí i vysoké obsahy nitrátů v půdě a známky počínajícího vyplavování dusíku do spodních horizontů na této ploše. Vstup dusíku jako živiny může být sice pozitivní, zároveň však může vážně narušit poměr dusíku k dalším biogenním prvkům a způsobit nerovnováhu ve výživě. Jak ukazují některé práce vzestup obsahu dusíku v jehličí bývá doprovázen poklesem obsahu hořčíku, draslíku a fosforu (Nebe, 1991; Hippeli, Brans, 1992; Salih, Andersson, 1999). Přímo v oblasti západního Krušnohoří na tento jev upozornil Lomský (1992). Právě nízký obsah P může být příčinou inhibice růstové reakce na zvýšené koncentrace dusíku v jehličí (Gundersen, 1998). Rehfuess (1987) naznačil ještě další mechanismus, kterým nadbytek dusíku může způsobit nerovnováhu ve výživě: zvýšená depozice N může stimulovat růst a vyvolat tak zředovací efekt s následným nedostatkem dalších prvků (P, K, Mg).

6.2 Výškový růst mladých smrkových porostů

Posun v úrovni výškových křivek s klesajícím věkem mladých smrkových porostů z Orlických a Krušných hor je možné interpretovat jako důkaz probíhajících rychlých změn růstových podmínek v posledních 50 letech. Abnormální akcelerace výškových přírůstů mladých smrkových porostů z Orlických hor v posledním decenniu dobře koresponduje s vývojem výškových přírůstů starých vzorníků z lokality Šerlišský mlýn. Wenk a Vogel (1996) analýzou trendů vývoje horní výšky smrkových porostů různého věku shodně prokázali narůst strmosti výškových křivek s klesajícím věkem. Zkoumali výškový růst všech věkových stupňů a zjistili, že výšková křivka současných mladých porostů se významně

odchyluje od výškové křivky nejstarších porostů od samého počátku, maximální difference mezi křivkami je ve věku 40 – 80 let, později se výškové křivky opět sblíží.

Elfving a Tegnhammar (1996) na základě analýzy dat z opakovaných měření vzorníků borovice a smrku při národních lesních inventarizacích v letech 1953 - 1992 prokázali, že výška stromů v daném věku v průběhu této 40-ti leté periody významně stoupá, a to o 0,6 – 0,8% za rok pro obě dřeviny. Tyto hodnoty jsou v ČR ve studovaných oblastech u současných mladých porostů vysoko překračovány. Roční relativní vzestup výšky smrku (vyjádřeno pro věk porostů 15 let) v letech 1975 - 2001 byl ve Žďárských vrších 1,3%, v Krušných horách 2% a v Orlických horách 7%.

Je zajímavé, že ačkoliv je ve Žďárských vrších posun ve výškových křivkách za posledních 50 let relativně nejmenší ze všech tří studovaných oblastí, rychlost vzestupu výšek po roce 1975 je více jak trojnásobná v porovnání s obdobím před rokem 1975, kdy rychlost změny ve výšce porostů byla pouze 0,4% za rok; v Krušných horách je rychlost vzestupu výšek nejmladších porostů po roce 1975 „jen“ dvojnásobná (před rokem 1975 zde výška porostů stoupala o 1,1% za rok). Tento fakt ukazuje, že změny v přírůstu v Krušných horách jsou nejen intenzivnější, ale byly i dříve nastartovány než ve Žďárských vrších.

Původní záměr porovnat dynamiku přírůstků mladých porostů s přírůsty vzorníků ze starého smrkového porostu za prvních 50 let života nebylo možné uskutečnit v Orlických horách, neboť letokruhová analýza pařezových výřezů ukázala, že vybrané staré vzorníky na lokalitě Šerlišský mlýn pocházejí z přirozeného zmlazení, a tudíž velikost přírůstků v mládí byla výrazně ovlivněna vývojem v zástinu mateřského porostu, a to po různě dlouhou dobu.

Jinou metodou vyhodnocení trendů ve vývoji výškových přírůstků současných mladých porostů je porovnání naměřených růstových dat s referenčními hodnotami reprezentovanými bonitním vějířem Taxačních tabulek (Černý et al. 1996). Při takovémto srovnání je nutné mít na zřeteli určité limity použití výškových křivek bonitního vějíře jako referenčních hodnot. Limity jsou dány jednak použitou metodou konstrukce bonitního vějíře, jednak časově omezenou platností křivek.

Bonitní vějíř byl odvozen na základě dat z databáze lesních hospodářských plánů Lesprojektu, výškové bonitní křivky mají charakter inventarizačních křivek. Inventarizační křivka přesně charakterizuje vývojovou výškovou křivku stromů na daném stanovišti pouze v případě přísné homogenity pokusného materiálu – pravidelného rozdělení početností výzkumných ploch ve věkových a výškových stupních. Ve skutečnosti však přebytek údajů porostů lepších bonit v mladých porostech má za následek počáteční strmé stoupaní a naopak

převaha zastoupení údajů z ploch horších bonit ve vyšším věku má za následek zploštění křivky (Halaj et al. 1987, Sequens, 1994). Výsledky srovnání výškového růstu mladých porostů s tabulkovými hodnotami však ukazují významné překročení referenčních hodnot i přes zmíněné určité nadsazení tabulkových přírůstků v mladém věku. Sterba (1992) a Hasenauer (1994) studovali za použití kmenových analýz výškový růst smrku v rakouské části Českého masivu, zjištěné hodnoty překračovaly dvakrát až třikrát hodnoty predikované růstovými tabulkami Guttenberga (1896). Podobně Spelsberg (1995) prokázal, že výškové přírůsty smrku v Severním Westfálsku vysoko překračují hodnoty predikované příslušnými růstovými tabulkami (Wiedemann, 1936, 1942).

S ohledem na měnící se růstové podmínky v čase popisují výškové křivky bonitního vějíře růst porostů v období, kdy byla sbírána data ke konstrukci tabulek. Pokud tedy porovnáme naměřené hodnoty s tabulkovými hodnotami platných Růstových a taxačních tabulek (Černý et al. 1996), srovnáváme v podstatě růst současných mladých porostů s růstem porostů v období od 50. do 80. let 20. století.

Potřeba zohlednit měnící se růstové podmínky v čase se odrazila v konstrukci dynamických růstových modelů (Černý, Pařez, 1989; Černý et al. 1993). Tito autoři odvodili model vývoje porostní výšky smrku z růstových trendů pozorovaných na jednotlivých výzkumných plochách. Společným rysem všech variant výškového modelu je velká strmost odpovídající vysokému běžnému přírůstu zjištěnému na výzkumných plochách. Vysoká strmost dynamických výškových křivek vede k tomu, že predikované hodnoty dnešních mladých porostů na lepších bonitách dosahují ve věku kolem 100 let nereálně vysokých hodnot. Výsledky simulačních úloh pro široké rozpětí produkčních úrovní ukazují, že nejvhodnějším dynamickým modelem popisující budoucí vývoj porostů je scénář předpokládající po současném vzestupu přetrvání běžných přírůstků na dosažené úrovni, respektive scénář předpokládající přetrvání běžných přírůstků na dosažené úrovni do konce století a následný postupný pokles.

Tvar dynamických výškových křivek se výrazně odlišuje od tvaru bonitních křivek (statické křivky). Příčinu odlišnosti vidí Černý et al. (1993) v prudkých změnách růstu v posledních deceniích způsobených změnami v růstovém prostředí. Podle Wenka et al. (1990) jsou to především změny v obhospodařování lesních porostů (přechod k umělému zakládání porostů, široký spon mezi vysazovanými sazenicemi, intenzivní výchova porostů), dále zvýšené depozice dusíku, možné dlouhodobé změny teploty a vzestup koncentrace CO₂ v atmosféře.

Vztah výškových přírůstů mladých porostů ke klimatickým faktorům nebylo možné analyzovat vzhledem ke krátkým časovým řadám naměřených výškových přírůstů. Předpokládala jsem proto, že přírůst mladých smrků v dané oblasti je ovlivňován stejnými klimatickými faktory jako přírůst starých vzorníků.

Porosty v Orlických horách a ve Žďárských vrších se liší reakcí na vstupy síry a fluoru. Zatímco v Orlických horách spad těchto látek přírůst neovlivňuje, výškové přírůsty porostů ve Žďárských vrších reagují záporně na vyšší vstupy jak síry tak fluoru. Je možné, že porosty v Orlických horách se přizpůsobily mnohem vyšším koncentracím zátěžových prvků, jaké se v oblasti vyskytovaly v 70. a 80. letech, v analyzované periodě 1993 – 2001 pak byly koncentrace síry a fluoru v porovnání s předchozím obdobím nízké a stromy na tyto nižší hodnoty nereagují. Naproti tomu v relativně nezatížené oblasti Žďárských vrchů mohou i nízké vstupy síry a fluoru přírůst významně ovlivnit.

Jak v Orlických horách tak ve Žďárských vrších mají výškové přírůsty mladých smrkových porostů všech analyzovaných věkových stupňů významný pozitivní vztah k mokré depozici dusíku (měřeno na volné ploše). Předpoklad, že přírůsty smrku budou mít těsnější vztah k hodnotám celkové depozice, respektive ke koncentracím látek v půdní vodě, se v Orlických horách nepotvrdil.

Výsledky analýzy jehličí 50 mladých porostů z Orlických hor ukázaly, že dusík není v žádném porostu deficitní. Obsahy dusíku se pohybovaly v hodnotách od 1,1% do 2,1% a lze je hodnotit jako dobré až velmi dobré. Obsahy ostatních živin byly dostatečné s výjimkou hořčíku ve 2. ročníku jehličí, který byl hodnocen jako nedostatečný téměř u poloviny ploch (Šrámek et al. 2001). Na konci 90. let, kdy se projevilo rozsáhlé žloutnutí smrkových porostů v Krušných horách, byly provedeny četné analýzy jehličí v mladých smrkových porostech v této oblasti. Kritický nedostatek hořčíku byl doprovázen velmi nízkými obsahy dalších bazických prvků (Ca, K). Naproti tomu výživa dusíkem byla podobně jako v Orlických horách hodnocena jako dobrá až velmi dobrá (Lomský, Šrámek, 2004; Lomský et al. 2006). Přitom Maternovy výsledky (1986) listových analýz ukázaly, že smrkové porosty v 80. letech zvláště v horských oblastech ČR vykazovaly ve většině případů nedostatek dusíku v jehličí. Z uvedených faktů vyplývá, že k významnému zlepšení výživy dusíkem došlo v průběhu 90. let. Je tedy pravděpodobné, že akcelerace výškových přírůstů mladých porostů v posledním decenniu souvisí nejen s příznivými klimatickými podmínkami tohoto období, ale i se zvýšenými vstupy dusíku. Tuto hypotézu podporuje i abnormální nárůst výšky nejmladších porostů v Orlických horách, kde se na rozdíl od Krušných hor zlepšení výživy dusíkem nepojí s tak výrazným nedostatkem ostatních bazických prvků.

7. ZÁVĚR

V souladu se stanovenými cíli byly analyzovány tloušťkové a výškové přírůsty smrku ztepilého v Orlických a Krušných horách, které patří k historicky silně zatíženým depozicemi dusíku i dalších prvků, a dále ve Žďárských vrších s historicky nižší zátěží. V každé oblasti byl vybrán jeden dospělý smrkový porost (věk 120 let a více) s 10 vzorníky pro podrobnou analýzu kmene a dále minimálně 20 mladých smrkových porostů (věk 10 až 50 let) s 20 vzorníky pro analýzu výškového růstu.

Kmenové analýzy dospělých vzorníků prokázaly strmý vzestup radiálních tloušťkových přírůstů po roce 1986 na Šerlišském mlýně (Orlické hory) a na Přebuzi (Krušné hory) a od roku 1997 též na Čachnově (Žďárské vrchy). Hodnoty běžného tloušťkového přírůstu se v tomto období opětovně dostávají nad hodnoty přírůstu průměrného, respektive u přírůstu na kruhové ploše a u objemového přírůstu často k protnutí křivek běžného a průměrného přírůstu vůbec nedošlo. Znamená to, že průměrný tloušťkový přírůst po první kulminaci opět stoupá, u přírůstů plošných a objemových kulminace průměrného přírůstu ještě nenastala. Tyto výsledky ukazují na vysoký růstový potenciál smrku a schopnost reagovat na změnu růstových podmínek až do vysokého věku.

Vzestup přírůstů na Šerlišském mlýně a na Přebuzi koresponduje s poklesem imisního zatížení a s příznivými klimatickými podmínkami. Na obou lokalitách mají na přírůst pozitivní vliv především teploty ve vegetačním období daného roku a právě vegetační sezóny v 90. letech patřily k teplotně vysoce nadprůměrným. Na lokalitě Čachnov jsou přírůsty citlivé na letní přísušky, proto zde přírůsty stoupají až ve druhé polovině 90. let, kdy se vysoké vegetační teploty pojily s dostatkem srážek.

Korelační analýza vztahu přírůstů k depozicím dusíku neprokázala na Šerlišském mlýně ani na Čachnově pozitivní vztah ke vstupům dusíku.

Výsledky půdně – biologického průzkumu podávají důkaz o zvýšené saturaci plochy Šerlišský mlýn dusíkem a zároveň prokazují závažné narušení výživy na ploše Přebuz. Tato zjištění nekorespondují očekávaným způsobem s výsledky kmenových analýz. Akcelerace tloušťkových přírůstů a následně též přírůstů plošných a objemových je na obou lokalitách srovnatelná. Je proto pravděpodobné, že zvýšené depozice dusíku mají na přírůsty dospělých vzorníků omezený vliv.

Analýza výškového růstu mladých smrkových porostů ukázala, že s klesajícím věkem porostu stoupá strmost výškových křivek ve všech třech zkoumaných oblastech. Posun

v úrovni výškových křivek je možné interpretovat jako důkaz probíhajících rychlých změn růstových podmínek v posledních 50 letech.

Současné mladé porosty přirůstají mnohem rychleji a dosahují významně větších výšek než současné staré porosty ve stejném věku. Výškový růst mladých porostů zároveň významně překračuje referenční hodnoty reprezentované bonitními křivkami růstových tabulek.

V Orlických horách i ve Žďárských vrších mají výškové přírůsty mladých smrkových porostů významný pozitivní vztah k mokré depozici dusíku.

Porovnání výsledků analýz jehličí z 80. let a z konce 90. let ukázalo, že v Orlických i Krušných horách došlo v tomto období k významnému zlepšení výživy dusíkem. Je pravděpodobné, že akcelerace výškových přírůstů mladých porostů v posledním decenniu souvisí nejen s příznivými klimatickými podmínkami, ale i se zvýšenými vstupy dusíku. Tuto hypotézu podporuje i abnormální nárůst výšky nejmladších porostů v Orlických horách, kde se na rozdíl od Krušných hor zlepšení výživy dusíkem nepojí s výrazným nedostatkem ostatních bazických prvků.

Z uvedeného shrnutí výsledků vyplývá, že stanovené cíle byly dosaženy. Vyhodnocení růstových trendů a vztahu přírůstů ke klimatickým faktorům bylo provedeno v plánovaném rozsahu. Původní obava z možného vážného narušení vztahu mezi přírůsty a klimatickými faktory dlouhodobým působením vysoké imisní zátěže se v Orlických ani v Krušných horách nepotvrdila. V obou oblastech klimatický model dobře vystihuje proměnlivost přírůstů, pomocí klimatických faktorů lze vysvětlit většinu variability v radiálních tloušťkových přírůstech.

Vyhodnocení vztahu přírůstů ke vstupům dusíku, síry a fluoru bylo limitováno dostupnými experimentálními daty: pro oblast západního Krušnohoří neexistují žádná sledování depozic, ve zbývajících dvou oblastech jsou k dispozici řady měření depozic na volné ploše z období 1993 – 2001, v Orlických horách jsou k dispozici i údaje o depozici pod porostem a o průměrné roční koncentraci látek v půdní vodě, obojí ovšem z jiného období (1988 – 1997). Časové řady měření depozic jsou velmi krátké (9 resp. 10 let) a ani v jednom případě nepokrývají období první poloviny 80. let, kdy znečištění kulminovalo. Při interpretaci výsledků analýzy vztahu přírůstů ke vstupům okyselujících látek je potřeba vzít v úvahu, že hodnota celkové roční depozice resp. hodnota průměrné roční koncentrace látek v půdní vodě nemusí mít přímý vztah k velikosti přírůstů.

8. PŘÍNOSY PRO PRAXI A PERSPEKTIVY DALŠÍHO VÝZKUMU

Přínosem je určitě objektivní stanovení běžných tloušťkových a výškových přírůstů smrku metodami letokruhové analýzy, které dává podrobnou informaci o současném vývoji základních růstových veličin ve zkoumaných oblastech. Šetření potvrdila, že přírůsty starých i mladých vzorníků dosahují v posledním analyzovaném decenniu abnormálně vysokých hodnot. Zcela bezprecedentní je nárůst výšky u nejmladších porostů v Orlických horách.

Pozorovaná akcelerace přírůstů je primárně pozitivní jev (vyšší produkce dřevní hmoty), zároveň však s sebou přináší významná rizika. Právě v Orlických a Krušných horách, kde na prvním místě není výše produkce, ale udržení a stabilizace lesních porostů, nabývají na významu negativní dopady zvyšování přírůstů. Jedná se zejména o vyšší riziko mechanického poškození korun rychle rostoucích mladých smrků v zimním období. Rychlý růst stimulovaný zvýšenými depozicemi dusíku může také vést k nerovnováze ve výživě v důsledku tzv. zřed'ovacího efektu (následný nedostatek dalších bazických prvků - P, K, Mg). Mechanické poškození i nerovnováha ve výživě znamenají pro stromy významný stres, oslabené stromy citlivě reagují na klimatické extrémny a jsou náchylnější k napadení hmyzími škůdci či houbovými chorobami. Na tyto skutečnosti je nutné reagovat pěstebními opatřeními vedoucími ke zvýšení stability porostů a důsledně prováděnou ochranou (včasné zásahy proti hrozícím kalamitám hmyzích škůdců, snížení tlaku zvěře).

Některé experimentální pokusy popsané v literatuře podaly důkaz o interakci mezi zvýšenými vstupy dusíku a změnami v mikroskopické struktuře a chemických vlastnostech dřeva. Pro další výzkum se proto jako perspektivní jeví zaměřit se při letokruhových analýzách kromě šířky letokruhu i na další parametry: šířku a podíl časného a pozdního dřeva, maximální hustotu pozdního dřeva. Z chemických vlastností je důležitý obsah ligninu v buněčných stěnách, určující vyzrávání letorostů. Tento výzkum by se měl zaměřit především na mladé smrkové porosty v problémových oblastech s opakovanými projevy poškození.

SUMMARY

The trends of radial and height increments of Norway spruce (*Picea abies* (L.) KARST.) in regions with historically different nitrogen inputs.

In 1999 - 2001 severe damages have been recorded within the spruce stands in the Orlické and Krušné (Ore) Mts. However, growth of the spruce stands was not affected negatively, the young stands showed extraordinary height increments, in contrary. These facts were the base for the project „The impact of recent nitrogen deposition on growth and quality of nutrition of the spruce stands“, solved in 2001-2004 in the Forestry and Game Management Research Institute, Jíloviště – Strnady in co-operation with the Mendel University of Agriculture and Forestry in Brno. The project was focused on the problem parts in the Orlické Mts. (damage of non-mature current year shoot), western part of the Ore Mts. (yellowing of the spruce stands as a result of disturbed tree nutrition), and the control region Žďárské vrchy (Hillsides of Žďár). This doctoral thesis solves part of the project, aimed with analysis of the trends of the radial and height increments of Norway spruce (*Picea abies* (L.) KARST.) in mentioned regions, and evaluation of the relationship between growth and climate (a driving factor of tree growth), growth and nitrogen input (possible impact on accelerated growth of the spruce stands), and also growth and sulphur and fluorine input (the main stress elements).

In each region one mature spruce stand was selected (age 120 years and more), where a detailed stem analysis of 10 sample trees was done. Based on the values of current radial and height increments, development of the basal area and volume increments were derived for each sample tree, and the trends of individual types of increments were analysed.

In each region also height growth of at least 20 young spruce stands (age of 10 to 50 years) was studied. In every stand 20 sample trees were measured. Height curves derived for 10 years-age classes were compared to each other and also to the height curve of the mature stand from the given region. Height curves of individual young stands were confronted with the site index curves of the valid yield tables (Černý et al. 1996).

Climate - growth relationship was studied using ring-width series from the breast height of the mature sample trees. Climatic variables, of decisive impact on tree-ring width, were stated by the methods of correlation analysis and multiple linear regression. The model of climate – growth relationship was determined.

Relationship of growth to nitrogen, sulphur and fluorine input could be analysed in the regions of Orlické Mts. and Žďárské vrchy, where the deposition data were at disposal. Current radial and height increments of both the mature and young spruce stands were correlated to the values of the total annual deposition of N, S and F; in the Orlické Mts. also to the mean annual concentration of N, S and F in the soil solution.

Stem analyses of the mature sample trees have confirmed, that current and mean-increment curves of all growth parameters significantly differ from general model of the growth function. Due to the sharp increase of production since 1987 in the locality Šerlišský mlýn (Orlické Mts.) and Přebuz (Ore Mts.), and since 1997 also in Čachnov (Žďárské vrchy), the current radial increment exceeded again the values of the mean radial increment. The curves of current and mean basal area increment often even did not cross. The same is true for the curves of volume increment. It means that the mean radial increment is increasing again after the first culmination, culmination of the mean basal area and volume increment did not occurred yet. The results show that the growth potential of spruce is high even with the old trees. Sample trees in all localities were able to react on the positive changes of growth conditions by increment acceleration.

Growth increase in Šerlišský mlýn and Přebuz well corresponds to lowering of the air pollution load and suitable climatic conditions. As shown in the analysis of climate – growth relationship, especially temperatures in the vegetation period of current year affect tree growth at both localities. And mainly vegetation seasons in the nineties were highly over average in temperatures. In the locality Čachnov, contrary to the mountain areas of Šerlišský mlýn and Přebuz, tree growth is significantly stimulated also by precipitation amounts in June and July of the current year. This difference in relationship to climatic factors explains why in Čachnov the growth increase starts only after 1997. High vegetation temperatures in the first half of the nineties were connected with significant lack of precipitation, in contrary, vegetation periods of the second half of the nineties were warm and over average in precipitation in the same time.

Relationship of growth to nitrogen deposition is not unambiguous. Correlation analysis did not prove positive relation to nitrogen inputs neither in Šerlišský mlýn, nor in Čachnov.

Results of the soil – biology investigation confirm higher nitrogen saturation of the plot Šerlišský mlýn, and, in the same time, they confirm serious disturbance of nutrition in the plot Přebuz. These findings do not correspond in expected way with the results of the stem

analyses. Acceleration of diameter increments and also basal area and volume increments is comparable in both localities. Locality Šerlišský mlýn differs just in the development of height increments, which moderately increase only here.

Analysis of height growth of the young spruce stands revealed, that younger stand curves show a steeper increase than older stand in all three regions investigated. A significant increase of height at tree age of 15 years was found in the period 1975 – 2001. The trend was of the magnitude 1,3% per year in Žďárské vrchy, 2% per year in the Ore Mts. and 7% per year in the Orlické Mts. The shift in the height curves level can be interpreted as a proof of ongoing fast changes of the growing conditions in the last 50 years.

Present-day young spruce trees grow faster and they are much higher than the old sample trees in the same age.

The height curves of present-day young stands no longer correspond with the site index curves of valid yield tables. Growth rate exceeds significantly the reference values.

A significant positive correlation of height increments to the wet nitrogen deposition was found in the Orlické Mts. and also in Žďárské vrchy.

Results of needle analyses of the young stands in the Orlické Mts. showed that nitrogen was not deficient in any of the sample stand. Nitrogen contents could be classified as good or very good, contents of other nutrients were sufficient. In the Ore Mts., similarly to the Orlické Mts., nutrition by nitrogen was very good. For the other nutrients, critical deficiency of magnesium was found, and very low contents of other basic elements (Ca, K). Comparing of this state at the end of nineties to the state in the eighties, when the spruce stands in mountain regions of the Czech Republic showed mostly nitrogen deficiency in needles, it can be stated, that nitrogen supply improved significantly during the nineties. Thus it seems to be probable, that growth acceleration of the young stands in the last decade is connected not only to suitable climatic conditions in this period, but also to higher nitrogen inputs. This hypothesis is supported also by abnormal height growth rate of the youngest stands in the Orlické Mts., where, contrary to the Ore Mts., better nutrition of nitrogen is not connected to significant deficiency of other basic elements.

LITERATURA

- Aber, J., Nadelhoffer, K., Steudler, P., Melillo, J., 1989: Nitrogen saturation in Northern forest ecosystems. Excess nitrogen from fossil fuel combustion may stress the biosphere. *BioScience*, 39 (6): 378-386.
- Aber, J., 1992: Nitrogen cycling and nitrogen saturation in temperate forest ecosystems. *Tree*, 7 (7): 220-223.
- Adams, H.S., Stephenson, S.L., Blasing, T.J., Duvick, D.N., 1985: Growth-trend declines of spruce and fir in Mid-Appalachian subalpine forests. *Environmental and experimental botany*, 25: 315 – 325.
- Agren, G., I., 1983: Ecological Effects of Acid Deposition: Report and Background Papers. Stockholm Conference on the Acidification of the Environment: Expert Meeting. Solna, 233 s.
- Anděl, J., 1976: Statistická analýza časových řad. SNTL, Praha.
- Assmann, E., 1961: Waldertragskunde. Organische Produktion, Struktur, Zuwachs und Ertrag von Waldbeständen. München – Bonn – Wien, 490 s.
- Binkley, D., 1986: Forest Nutrition Management. A Wiley – interscience publication, New York, Chichester, Brisbane, Toronto, Singapore, 290 s.
- Binkley, D., Hogberg, P., 1997: Does atmospheric deposition of nitrogen threaten Swedish forests? *Forest ecology and management*, 92 (1-3): 119-152.
- Brázdil, R., Dobrý, J., Kyncl, J., Štěpánková, P., 1997: Rekonstrukce teploty vzduchu v oblasti Krkonoš na základě letokruhů smrku v období 1804 – 1989. *Geografie – Sborník ČGS*, 102, 1: 3 – 16.
- Bredemeier, M., Blanck, K., Dohrenbusch, A., Lamersdorf, N., Meyer, A., C., Murach, D., Parth, A., Xu, Y., J., 1998: The Solling roof project - site characteristics, experiments and results. *Forest Ecology and Management*, 101: 281-293.

Briffa, K., Cook, E., 1990: Methods of response function analysis. In: Cook, E. R., Kairiukstis, L. A. (eds): Methods of dendrochronology: applications in the environmental science. Vienna: International Institute for Applied System Analysis. Kluwer Academic, Dordrecht Boston London, s. 240 – 247.

Briffa K., R., Jones, P., D., Schweingruber, F., H., 1992: Tree-ring reconstructions of summer temperature patterns across western North America since 1600. *J. Clim.* 5: 735 – 754.

Burger, H., 1926: Untersuchungen über des Höhenwachstum verschiedener Holzarten. *Mitt.d. Schweiz. Centralanst. f. d. Forstl. Versuchswesen*, 14: 29 – 158.

Cannell, M., G., R., 1999: Relative importance of increasing atmospheric CO₂, N deposition and temperature in promoting European forest growth. In: Karjalainen, T., Spiecker, H., Laroussinie, O. (eds.): Causes and consequences of accelerating tree growth in Europe. *EFI Proceedings No. 27*, 1999.

Carpon, S., J., M., Mansfield, T., A., Hand, D., W., 1991: Low temperature-enhanced inhibition of photosynthesis by oxides of nitrogen in lettuce (*Lactuca Sativa*). *New Phytologist*, 118: 309-313

Cipra, T., 1986: Analýza časových řad s aplikacemi v ekonomii. SNTL, Praha.

Cook, E., 1987: The use and limitations of dendrochronology in studying effects of air pollution on forests. In: Hutchinson, T., Meema, K.M. (eds.): Effects of air pollution on forest, wetland, and agricultural ecosystems. Springer-Verlag, Berlin, Germany.

Cook, E., 1990: A conceptual linear aggregate model for tree rings. In: Cook, E. R., Kairiukstis, L. A. (eds): Methods of dendrochronology: applications in the environmental science. Vienna: International Institute for Applied System Analysis. Kluwer Academic, Dordrecht Boston London, s. 98 - 104.

Cook, E. R., Kairiukstis, L. A. (eds), 1990: Methods of dendrochronology: applications in the environmental science. Vienna: International Institute for Applied System Analysis. Kluwer Academic, Dordrecht Boston London, 394 s.

Čermák, M., Martinková, M., Palovčíková, D., Jankovský, L., 2005: About phytopathological and histological aspects of Norway spruce dieback in the Orlické hory Mts. *J. For. Sci.*, 51: 348 – 358.

Černý, M., Pařez, J., 1989: Dynamický model vývoje porostní výšky smrku. *Lesnictví*, 35: 789 – 898.

Černý, M., Pařez, J., Malík, Z., 1993: Růstové modely hlavních dřevin České republiky (smrk, borovice, buk, dub) – 2. etapa. Zpráva o výsledcích řešení za rok 1993. Skupina ekologického monitoringu PYRUS, 66 s.

Černý, M., Pařez, J., Malík, Z., 1996: Růstové a taxační tabulky hlavních dřevin České republiky (smrk, borovice, buk, dub). Příloha č. 3 vyhlášky MZe č. 84/1996 Sb. o lesním hospodářském plánování (částka 28/1996 Sb.), IFER, Jílové u Prahy. 245 s.

ČHMÚ, 1999: Znečištění ovzduší na území České republiky v roce 1998. Český hydrometeorologický ústav, 186 s.

ČHMÚ, 2001: Znečištění ovzduší na území České republiky v roce 2000. Český hydrometeorologický ústav, 214 s.

D'Arrigo, R., D., Jacoby, G., C., Free, R., M., 1992: Tree-ring width and maximum latewood density at the North American treeline: parameters of climatic change. *Can. J. For. Res.* 22: 1290 – 1296.

De Vries, W., 1988: Critical deposition levels for nitrogen and sulphur on Dutch forest ecosystems. *Water, Air, and Soil Pollution*, 42: 221-239.

Discoll, C., T., Schaefer, A., 1989: Background of Nitrogen Processes. In: *The Role of Nitrogen in the Acidification of Soils and Surface Waters*. Nordic Council of Ministers, NORD 1989-92, August 1989.

Draaijers, G., Ivens, W., B., Bleuten, W., 1989: The contribution of ammonia emissions from agriculture to the deposition of acidifying and eutrophying compounds onto forest. *Environmental Pollution*, 60: 55-66.

Drápela, K., Zach, J., 1995: *Dendrometrie (Dendrochronologie)*. MZLU v Brně, 149 s.

Elfving, B., Tegnhammar, L., 1996: Trends of tree growth in Swedish forests 1953 – 1992: an analysis based on sample trees from the National Forest Inventory. *Scand. J. For. Res.* 11: 26 – 37.

Elfving, B., Tegnhammar, L., Tveite, B., 1996: Studies of growth trends of forests in Sweden and Norway. In: Spiecker et al.: *Growth trends in European forests*. European Forest Institute Research Report No. 5, Springer: 61 - 70.

Eriksson, H., Johansson, U., 1993: Yields of Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) in two consecutive rotations in southwestern Sweden. *Plant and Soil*, 154: 239-247.

Erteld, W., Hengst, E., 1966: *Waldtragslehre*. Radebeul, Neumann Verlag, 332 s.

Falkengren-Grerup, U., Brunet, J., Diekmann, N., Hoek, K., W., 1998: Nitrogen mineralization in deciduous forest soil in south Sweden in gradients of soil acidity and deposition. *Environmental Pollution*, 102 (supl. 1): 415-420.

Feiler, S., 1985: Einflüsse von Schwefeldioxid auf die Membranpermeabilität und folgen für die Frostempfindlichkeit der Fichte (*Picea abies* (L.) Karst.). *Flora* 177: 217 – 226.

Flückiger, W., Braun, S., 1999: Nitrogen and its effect on growth, nutrient status and parasite attacks in beech and Norway spruce. *Water, Air, and Soil Pollution*, 116: 99-110.

Fritts, H.C., 1976: *Tree Rings and Climate*. Academic Press, London – New York – San Francisco, 567 s.

Fritts, H. C., 1996: *Users Manual for Program Precon* (distribučováno společně s programem).

Gebauer, G., Zeller, B., Schmidt, G., May, C., Buchmann, N., Colin-Belgrand, M., Dambrine, E., Martin, F., Schulze, E., D., Bottner, P., 2000: The fate of ¹⁵N-labelled nitrogen inputs to coniferous and broadleaf forests. In: Schulze, E., D. (Ed.): Carbon and Nitrogen Cycling in European Forest Ecosystems. Ecol. Studies 142, Springer: 144 – 170.

Grissino-Mayer, H.D., Butler, D.R., 1993: Effects of climate on growth of shortleaf pine (*Pinus echinata* Mill.) in northern Georgia: a dendroclimatic study. Southeastern Geographer, 1: 65 – 81.

Gundersen, P., Emmett, B., A., Kjonaas, O., J., Koopmans, C., J., Tietema, A., Wright, R., F., 1998: Impact of nitrogen deposition on nitrogen cycling in forests: a synthesis of NITREX data. Forest Ecology and Management, 101: 37-55.

Gundersen, P., 1998: Effects of enhanced nitrogen deposition in a spruce forest at Klosterhede, Denmark, examined by moderate NH₄NO₃ addition. Forest Ecology and Management, 101: 251-268.

Guttenberg, A., 1915: Wachstum und Ertrag der Fichte im Hochgebirge. Wien und Leipzig, Franz Deuticke, 156 s.

Halaj, J., Pánek, F., Petráš, R., 1987: Výškový rast smreka na podklade nových rastových tabuliek (1980). Lesníctví, 33: 905 – 918.

Hasenauer, H., 1994: Ein Einzelbaumwachstumssimulator für ungleichaltrige Fichten-Kiefern- und Buchen-Fichtenmischbestände. Forstl. Schriftenr. Univ. Bodenkultur Wien, Vol. 8, 152 s.

Hättenschwiler, S., Schweingruber, F., H., Körner, Ch., 1996: Tree ring responses to elevated CO₂ and increased N deposition in *Picea abies*. Plant, Cell and Environment 19: 1369-1378.

Hättenschwiler, S., Miglietta, F., Rachi, A., Körner, Ch., 1997: Thirty years of in situ tree growth under elevated CO₂: a model for future forest responses? Global Change Biology 3: 463-471.

Heilmeyer, H., Baronius, K., Kuhn, A., Nebe, W., 2000: Biomass and nutrition of birch, beech, spruce and fir with varying nitrogen and sulfur supplies in a pot experiment. *Forstwissenschaftliches Centralblatt*, 119 (4): 161-176.

Heinsdorf, D., Krauss, H., H., Hippeli, P., 1988: Ernährungs- und bodenkundliche Untersuchungen in Fichtebeständen des mittleren Thüringer Waldes unter Berücksichtigung der in den letzten Jahren aufgetretenen Umweltbelastungen. *Beiträge Forstwirtschaft*, 22: 160-167.

Hicks, B., B., 1989: Overview of Deposition Processes. In: *The Role of Nitrogen in the Acidification of Soils and Surface Waters*. Nordic Council of Ministers, NORD: 92, August 1989

Hippeli, P., Branse, C., 1992: Veränderungen der Nährelementkonzentrationen in den Nadeln mittelalter Kiefernbestände auf pleistozänen Sandstandorten Brandenburgs in den Jahren 1964 bis 1988. *Forstwissenschaftliches Centralblatt*, 111: 44-60.

Hofman, G., Heinsdorf, D., Krauss, H., H., 1990: Wirkung atmosphärischer Stickstoffeinträge auf Produktivität und Stabilität von Kiefern-Forstökosystemen. *Beitr. Forstwirtschaft*, 24: 59-73.

Holmes, R. L., Adams, R. K., Fritts, H. C., 1986: Users Manual for Program Arstan. In: *Tree-Ring Chronologies of Western North America: California, eastern Oregon and northern Great Basin*. Laboratory of Tree-Ring Research, The University of Arizona, s. 50 – 65.

Hüttel, R., F., Schneider, B., U., 1998: Forest ecosystem degradation and rehabilitation. *Ecological Engineering*, 10: 19-31.

Chalupa, V., 1974: Vliv zvyšování koncentrace kyslíčnanu uhličitého v ovzduší na fotosyntézu a přírůstek lesních dřevin. *Lesnictví*, 20: 297 – 312.

Chalupa, V., 1997: Probíhající změny ve složení zemské atmosféry, kolísání sluneční zářivosti a měnící se růst lesních dřevin. *Lesnictví – Forestry*, 43 (11): 481 – 502.

Innes, J., 1990: General aspects in the use of tree rings for environmental impact studies. In: Cook, E. R., Kairiukstis, L. A. (eds): Methods of dendrochronology: applications in the environmental science. Vienna: International Institute for Applied System Analysis. Kluwer Academic, Dordrecht Boston London, s. 224 - 229.

Kaennel, M., Schweingruber, F.H., 1995: Multilingual glossary of dendrochronology. Birmensdorf, Swiss Federal Institute for Forest, Snow and Landscape Research. Bern, Stuttgart, Vienna, Haupt, 467 s.

Kaupenjohann, M., 1989: Chemischer Bodenzustand und Nährelementversorgung immissionbelasteter Fichtenbestände in NO - Bayern. Bayreuther Bodenkundl. Berichte, 11: 1-202.

Kenk, G., Fischer, H., 1988: Evidence from nitrogen fertilization in the forest of Germany. Environmental Pollution, 54: 199-218.

Kienast, F., Schweingruber, F.H., Bräker, O.U., Schär, E., 1987: Tree ring studies on conifers along ecological gradients and the potential of single-year analyses. Can. J. For. Res., 17: 683 – 696.

Korf, V., 1939: Příspěvek k matematické definici vzrůstového zákona lesních porostů. Lesnická práce: 339–356.

Korf, V., 1953: Dendrometrie. Státní zemědělské nakladatelství Praha. 327 s.

Korf, V., 1971: Odvození celkové hmotové produkce lesních porostů. Lesnictví, 17: 903 – 922.

Kouba, J., 1995: Změny růstu a přírůstu lesů České republiky. In: Seminár „Realizácia hospodárskej úpravy lesov podľa nových legislatívnych noriem“. Technická Univerzita, Zvolen: s. 93 – 98.

Krause, G., 1989: Forests decline in central Europe: The Unravelling of multiple causes. In: "Towards a more exact ecology". The 30th Symposium of the British Ecological Society, London 1988, Blackwell Scientific Publications Oxford, 377-399.

Kroupová, M., 2001: Letokruhová analýza smrku na vybraných plochách intenzivního monitoringu programu ICP Forests. In: Uhlířová, H. (Ed.): Monitoring zdravotního stavu lesa v České republice. Ročenka programu ICP Forests. VÚLHM Jíloviště-Strnady, s. 78 – 85.

Kroupová, M., Kyncl, T., 2001: Orlické hory - mění se maximální hustota a podíl pozdního dřeva v letokruzích smrku? Zprávy lesnického výzkumu 4: 150 - 154.

Kroupová, M., 2002: Dendroecological study of spruce growth in regions under long-term air pollution load. J For Sci, 48: 536 – 548.

Kurczyńska, E.U., Bastrup-Birk, A., Mortensen, L., 1998: Influence of ozone and soil nitrogen content on the stem anatomy of Norway spruce saplings grown in open-top chambers. Environmental and Experimental Botany, 40: 113-121.

Leonardi, S., Flückiger, W., 1989: Der einfluss einer durch sauren regen induzierten kationenaufwaschung auf die rhizosphäre and die pufferkapazität von buchenkeimlingen in nährsolutionskultur. Forstwissenschaftliches Centralblatt, 107: 160-172.

Liška, J., Zahradník, P., 1997: Hmyzí škůdci imisních poloh Krušných hor. 50let krušnohorské imisní kalamity (sborník referátů). Most, 1997.

Lochman, V., Mareš, V., Fadrhonsová, V., 2004: Development of air pollutant deposition, soil water chemistry and soil on Šerlich research plots, and water chemistry in a surface water source. J. For.Sci., 50: 263 – 283.

Lomský, B., 1992: Informace o depozici dusíkatých sloučenin a jejich využití lesními ekosystémy. Závěrečná zpráva DÚ 03 (Úkol N 03331 866), 13 s.

Lomský, B., Šrámek, V., 1999: Damage of the forest stands in the Ore Mts. during period 1995 – 1997. J. For. Sci., 45: 169 – 180.

Lomský, B., Šrámek, V., 2004: Different types of damage in mountain forest stands of the Czech Republic. J. For. Sci., 50: 533 – 537.

Lomský, B., Šrámek, V., Maxa, M., 2006: Fertilizing measures to decrease Norway spruce yellowing. *J. For. Sci.*, 52 (Special issue): 65 - 72.

Lovett, G., M., 1992: Atmospheric Deposition and Canopy Interactions of Nitrogen. In: Johnson, D., W., Lindberg, S., E. (Eds.): *Atmospheric Deposition and Forest Nutrient Cycling. A synthesis of the Integrated Forest Study. Ecological Studies 91*, Springer – Verlag, New York Berlin Heidelberg, s. 152 - 166.

Lundell, Y., 2000: Aspects on nutrient availability in Swedish forest soils. *Acta Universitatis Agriculturae Sueciae-Silvestria*, 135, 87 s.

Lyr, H., Polster, H., Fiedler, H., J., 1967: *Gehölzphysiologie*, VEB Fischer Verlag, Berlin, 400 s.

Magin, R., 1959: Kronengröße und Zuwachs in Mehrschichtigen Mischbeständen. *Forst- und Holzwirt*, 14: 309 – 312.

Materna, J., 1985: Hodnocení dosavadních výsledků hnojení ve starších lesních porostech. Závěrečná zpráva VÚLHM. 31 s.

Materna, J., 1986: Vliv imisí na minerální výživu lesních dřevin. *Lesnictví*, 32 (7): 569-580.

Materna, J., 1997: Padesát let od počátku intenzivního poškození krušnohorských lesů. 50let krušnohorské imisní kalamity (sborník referátů). Most, 1997.

Materna, J., 1999: Development and causes of forest damage in the Ore Mts. *J. For. Sci.*, 45: 147 – 152.

McClenahan, J.R., Dochinger, L.S., 1985: Tree-ring response of white oak to climate and air pollution near the Ohio river valley. *Journal of environmental quality*, 14: 274 – 279.

Mengel, K., Lutz, H., J., Breininger, M., 1987: Auswaschung von Nährstoffen durch sauren Nebel aus jungen, intakten Fichten (*Picea abies*). *Zentralblatt für Pflanzenernährung Bodenkultur*, 150: 61-68.

Michael, G., Feiler, S., Ranft, H., Tesche, M., 1982: Der Einfluss von Schwefeldioxid und Frost auf Fichten. *Flora* 172: 317 – 326.

Míchal, I., 1994: *Ekologická stabilita*. Veronica, Brno, 276 s.

Morgan, S., M., Lee, J., A., Asheden, T., W., 1992: Effect of nitrogen oxides on nitrate assimilation in bryophytes. *New Phytologist* 120: 89-97.

Nebe, W., 1991: Veränderungen der Stickstoff- und Magnesiumversorgung immissionsbelasteter älterer Fichtenbestände in ostdeutschen Mittelgebirgen. *Forstwissenschaftliches Centralblatt*, 110: 4-12.

Nicolussi, K., Bortenschlager, S., Körner, Ch., 1995: Increase in tree ring width in subalpine *Pinus cembra* from the central Alps that may be CO₂ related. *Trees*, 9: 181 – 189.

Persson, H., Ahlström, K., 1999: Effect of nitrogen deposition on tree roots in boreal forests. In: *Going underground – ecological studies in forest soils*, 221- 238.

Persson, T., Karlsson, P., S., Seyferth, U., Sjöberg, R., M., Rudebeck, A., 2000: Carbon mineralization in European forest soils. In: Schulze, E., D. (Ed.): *C and N Cycling in European Forest Ecosystems*. *Ecol. Studies* 142, Springer: 257 – 275.

Peterjohn, W., T, Foster, C., J., Christ, M., J., Adamms, M., B., 1999: Patterns of nitrogen availability within a forested watershed exhibiting symptoms of nitrogen saturation. *Forest ecology and management*, 119 (1/3): 247-257.

Polák, L., 1967: *Nauka o výnosovosti lesa*. Praha, SPN, 179 s.

Rapp, M., 1992: Nutrient cycling in European forests: State of current research and future needs. In.: Teller, A., Mathy, P., Jeffers, J., N., R. (Eds.): Responses of forest ecosystems to environmental changes. Elsevier Applied Science London New York, 176-188.

Rasmussen, L., Beier, C., Visser de, P., Breemen Van, N., Kreutzer, K., Schierl, R., Bredemeier, M., Raben, G., Farrel, E., 1992: The Exman Project Experimental Manipulations of Forest Ecosystems. In.: Teller, A., Mathy, P., Jeffers, J.N.R. (Eds.): Responses of forest ecosystems to environmental changes. Elsevier Applied Science London New York, 325-334

Rehfuess, K., E., 1987: Perceptions on forest diseases in Central Europe. *Forestry*, 60: 1-11.

Rehfuess, K., E., Ågren, G., I., Andersson, F., Cannell, M., Friend, A., Hunter, I., Kahle, H-P., Prietzel, J., Spiecker, H., 1999: Relationships between Recent Changes of Growth and Nutrition of European Norway Spruce, Scots Pine and European Beech Forests – RECOGNITION. European Forest Institute Working Paper 19, 94 s.

Rennenberg, H., Gessler, A., 1999: Consequences of N deposition to forest ecosystems – recent results and future research needs. *Water, Air and Soil Pollution* 116: 47-64.

Röhle, H., 1999: Changed growth performances in Germany exemplified by spruce, and conclusions for forestry. In: Karjalainen, T., Spiecker, H., Laroussinie, O. (eds.): Causes and Consequences of Accelerating Tree Growth in Europe. EFI Proceedings No. 27, s. 217 - 227.

Ryšková, L., Uhlířová, H., 1985: Vliv imisí na mrazuvzdornost jehličnatých dřevin. *Práce VÚLHM* 66: 339 – 361.

Salih, N., Andersson, F., 1999: Nutritional status of a Norway spruce stands in SW Sweden in response to compensatory fertilization. *Plant and Soil*, 209 (1): 85-100.

Samuelson, L., J., 2000: Effects of nitrogen on leaf physiology and growth of different families of loblolly and slash pine. *New Forests*, 19 (1): 95-107.

Sander, C., Eckstein, D., Kyncl, J., Dobrý, J., 1995: The growth of spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) in the Krkonoše Mountains as indicated by ring width and wood density. *Ann Sci For* 52: 401 – 410.

Sauter, U., 1991: Zeitliche Variationen des Ernährungszustands nordbayrischer Kiefernbestände. *Forstwiss. Centralblatt*, 110: 4-12.

Saxe, H., 1987: Stomate-dependent and stomate-independent uptake of NO_x and effect on photosynthesis, respiration and transpiration of potted plants. In: Hutchinson T., C., Meema, K., M., (Eds.): *Effect of Atmospheric Pollutants on Forest, Weetland and Agricultural Ecosystems*. Springer Verlag Berlin.

Sequens, J., 1994: Bonitní vějíř a trendy výškového růstu borovice. *Lesnictví – Forestry*, 40: 550 – 556.

Schleppi, P., Bucher-Wallin, I., Siegwolf, R., Saurer, M., Muller, N., Bucher, J., B., 1999a: Simulation of increased nitrogen deposition to a montane forest ecosystem: partitioning of the added ¹⁵N. *Water, Air, and Soil Pollution*, 116: 129-134.

Schleppi, P., Muller, N., Edwards, P., J., Bucher, J., B., 1999b: Three years of increased nitrogen deposition do not affect the vegetation of a montane forest ecosystem. *Phyton (Austria)*, 39 (4): 197-204.

Schopfer, W., Hradetzky, J., Kublin, E., 1994: Wachstumsänderungen der Fichte in Baden-Württemberg. *Forst und Holz* 49: 633-644.

Schneider, B., U., 1990: Wachstum und Ernährung von Feinwurzeln in unterschiedlich immissionsbelasteten Fichtenbeständen des Fichtegebirges. Dissertation. Fakultät Biologie, Chemie und Geowissenschaften der Universität Bayreuth, 154 s.

Schober, R., 1949: Die Lärche, eine ertragskundlich – biologische Untersuchung. Hannover, Verlag Schaper.

Schoettle, A., W., 2000: Effect of two years of nitrogen deposition on shoot growth and phenology of Engelmann spruce (*Picea engelmannii* Parry ex. Engelm.) seedlings. *Journal of Sustainable Forestry*, 10 (1/2): 181-189.

Schulze, E., D., Oren, R., Zimmermann, R., 1987: Die Wirkung von Immissionen auf 30-jährige Fichten in mittlere Höhenlagen des Fichtelgebirges auf Phyllit. *Allgemeine Forstzeitschrift*, 2 (2): 725-730.

Schweingruber, F.H., 1989: *Tree rings: basics and applications of dendrochronology*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 276 s.

Schweingruber, F.H., Eckstein, D., Serre-Bachet, F., Bräker, O.U. 1990: Identification, presentation and interpretation of event years and pointer years in dendrochronology. *Dendrochronologia*, 8: 8 – 38.

Schweingruber, F.H., 1996: *Tree rings and Environment. Dendroecology*. Birmensdorf, Swiss Federal Institute for Forest, Snow and Landscape Research. Bern, Stuttgart, Vienna, Haupt, 609 s.

Sheppard, L., J., Cape, J., N., 1999: The impact of nitrogen on forest soils and feedbacks on tree growth. *Water, Air and Soil Pollution*, 116 (1/2): 65-74.

Skeffington, R., A., Wilson, E., 1988: Excess nitrogen deposition: Issues for consideration. *Environmental Pollution*, 54: 159-184.

Smith, K.T., Cufar, K., Levanic, T., 1999: Temporal stability and dendroclimatology in silver fir and red spruce. *Phyton (Horn, Austria)*, 39: 117 – 122.

Söderlund, R., Rosswall, T., 1982: The Nitrogen Cycles. In: Bolle, H., Fukai, R., Leeuw, J., W., Ploeg, S., Rosswall, T., Schenk, P., Söderlund, R., Yokoyama, Y., Zehnder, A., J., B.: *The Natural Environment and the Biogeochemical Cycles*. Springer - Verlag Berlin Heidelberg New York..

Spálený, J., 1980: Vliv kouřových imisí na mrazuvzdornost smrku ztepilého. Lesnická práce 59: 411 – 414.

Spelsberg, G., 1995: Zum Höhenwachstum der Fichte in Nordrhein-Westfalen. Allg. Forst- Jagdztg, 165 (4): 77 - 80.

Spelsberg, G., Teske, H., Graner, M., Suntrup, U., 1995: Hohes Zuwachsniveau der Fichte in Nordrhein-Westfalen. Allgemeine Forst Zeitschrift, 50 (20): 1097-1098.

Spiecker, H., 1992: Which trees represent stand growth? In: Bartholin, T.,S., Björn, B.,E., Eckstein, D., Schweingruber, F.,H. (Eds): Tree rings and environment. Proceedings of the international dendrochronological symposium, Ystad, South Sweeden, 1990: 308 – 312.

Spiecker, H., Mielikäinen, K., Köhl, M., Skovsgaard, J., 1996: Growth trends in European forests: studies from 12 countries. European Forest Institute Research Report No. 5, Springer. 372 s.

Spiecker, H., 1999: Growth trends in European forests – do we have sufficient knowledge? In: Karjalainen, T., Spiecker, H., Laroussinie, O. (Eds.): Causes and consequences of accelerating tree growth in Europe. EFI Proceedings No. 27.

Sterba, H., 1992: Determining parameters of competition models under changing environmental conditions. In: Franke, J., Roeder, A. (Eds.): Mathematical modelling of forest ecosystems. J.D. Sauerländer Verlag, Frankfurt/Main, s. 148 – 159.

Strand, L., 1980: The effect of acid precipitation on tree growth. In: Drablos, D., Tollan, A. (eds.): Ecological impact of acid precipitation. SNSF Project, Oslo, Norsko.

Strand, G., H., 1998: Large-scale variations in radial tree growth in Norway: an application of median polish for spatial trend detection. Applied Geography Sevenoaks. 18 (2): 153-168.

Šach, F., Fottová, D., Balcar, V., Černohous, V., Kacálek, D., Nárovec, V., 1999: Mohou imise škodit v Orlických horách? Lesnická práce, 78: 452 – 455.

Šarapatka, B., 1996: Pedologie. Vydavatelství Univerzity Palackého, Olomouc. 235 s.

Šebánek, J., Gréc, L., Javor, A., Švihra, J., 1983: Fyziologie rostlin. SZN Praha, 560 s.

Šebík, L., Polák, L., 1990: Náuka o produkciu dreva. Príroda, Bratislava, 322 s.

Šimek, M., Cooper, J. E., 2001: Nitrogen use efficiency in temperate zone arable lands. In: Shiyomi, M., Koizumi, H., (Eds.): Structure and Function in Agroecosystem Design and Management. CRS Press LLC: 227 – 251.

Šmelko, Š., 1975: Štúdium rastu a prírastku lesných stromov a porastov. Časť 2. Závěrečná správa. Zvolen, LF VŠLD, 154 s.

Šmelko, Š., 1982: Biometrické zákonitosti rastu a prírastku lesných stromov a porastov. Bratislava, 184 s.

Šrámek, V., 2000: Vliv klimatických a meteorologických faktorů na vitalitu dřevin a ekologickou stabilitu lesních porostů. Disertační práce. MZLU Brno. 173 s.

Šrámek, V., Lomský, B., Fadrhonsová, V., 2001: Žloutnutí smrkových porostů v České republice – nové projevy staré zátěže? Lesnická práce, 80: 484 – 486.

Šrámek, V., Maxa, M., Šebková, V., Novotný, R., 2001: Stav výživy a imisní zátěže mladých smrkových porostů v Orlických horách na základě chemické analýzy asimilačních orgánů. Studie pro MZe. VÚLHM Jíloviště – Strnady.

Šrámek, V., Kulhavý, J., Vejpustková, M., Maxa, M., Fadrhonsová, V., Novotný, R., Lomský, B., Záhora., 2005: Vliv současných depozic dusíku na zvyšování přírůstu a kvalitu výživy smrkových porostů. Závěrečná zpráva projektu NAZV QC1723. VÚLHM Jíloviště – Strnady, 54 s.

Tamm, C., O., 1991: Nitrogen in Terrestrial Ecosystems. Ecological Studies 81, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 115 s.

Topcuoglu, A., 1940: Verteilung des Zuwachses auf die Schaftlänge der Bäume. Tharandter Forstl. Jahrbuch, 91: 485 – 554.

Uhlířová, H., Šrámek, V., Pashutová, J., 1997: Znečištěné ovzduší a lesy IV: Oxidy dusíku a ozon. Zprávy lesnického výzkumu 42, 28-31.

Unsworth, M., N., 1992: Climate and air pollution as determinants of forest ecosystem processes. In.: Teller, A., Mathy, P., Jeffers, J., N., R. (Eds.): Responses of forest ecosystems to environmental changes. Elsevier Applied Science London New York, s. 63-75.

Van Breemen, N., Mulder, J., Driscoll, C., T., 1983: Acidification and alkalization of soils. Plant and Soil 75: 283 – 308.

Van Miegroet, H., Cole, D., V., Foster, N., W., 1992: Nitrogen Distribution and Cycling. In: Johnson, D., W., Lindberg, S., E. (Eds.): Atmospheric Deposition and Forest Nutrient Cycling. A synthesis of the Integrated Forest Study. Ecological Studies 91, Springer – Verlag, New York Berlin Heidelberg, s. 178 – 199.

Vejpustková, M., Zahradník, D., Šrámek, V., Fadrhonsová, V., 2004: Growth trends of spruce in the Orlické hory Mts. J For Sci 50: 67 – 77.

Vinš, B., 1961: Použití letokruhových analýz k průkazu kouřových škod. Část I. Metodický příspěvek k zpracování letokruhových analýz. Lesnictví 8: 753-770.

Vinš, B., 1962a: Použití letokruhových analýz k průkazu kouřových škod. Část II. Příspěvek k hodnocení letokruhových analýz. Lesnictví 4: 263-280.

Vinš, B., 1962b: Pracovní postupy a stručný přehled výsledků dendroekologického výzkumu lesních dřevin. Zprávy VÚLHM 8: 185-205.

Vinš, B., 1967: Pokles přírůstu v lesních porostech poškozených kouřovými exhalacemi (přehled výsledků výzkumu za desetiletí 1956-65). Zprávy lesn. výzk. 4: 4-8.

Vinš, B., Materna, J., 1968: Použití letokruhových analýz k průkazu kouřových škod a vlivu hnojení. Práce VÚLHM 35: 233 – 264.

Vinš, B., Tesař, V., 1969: Přírůstové ztráty vlivem kouřových exhalací na Trutnovsku. Práce VÚLHM 38: 139-158.

Vinš, B., 1971: K problematice hodnocení výsledků hnojení v lesních porostech. In: Hnojení půd v lesních porostech, souhrn referátů ze semináře ČSAZ-ÚVTI Praha: 49 – 59.

Vinš, B., 1979: Změny běžného přírůstu vyvolané hnojením a meliorací lesních půd. In: Zvyšování produktivnosti lesa hnojením a meliorací půd. Sborník z konference ČSAZ: 129 – 140.

Weck, J., 1955: Forstliche Zuwachs- und Ertragskunde. Berlin, Neumann Verlag, 160 s.

Wenk, G., Antanaitis, V., Šmelko, S., 1990: Waldertragslehre. Deutscher Landwirtschaftsverlag, 448 s.

Wenk, G., Vogel, M., 1996: Height growth investigations of Norway spruce (*Picea abies*, [L.] Karst.) in the eastern part of Germany during the last century. In: Spiecker, H., Mielikäinen, K., Köhl, M., Skovsgaard, J., (Eds.): Growth trends in European forests: studies from 12 countries. European Forest Institute Research Report No. 5, Springer, s. 99 – 106.

Wesselink, L., G., 1994: Time trends & mechanisms of soil acidification. Thesis Wageningen, 129 s.

Wright, R., F., 1998: Introduction to the NITREX and EXMAN projects. Forest Ecology and Management, 101: 1-7.

Zach, J., Drápela, K., 1991: Možnosti užití některých matematických funkcí ke standardizaci letokruhových sérií. Lesnictví, 37: 267 – 272.

Zach, J., Drápela, K., 1991: A diameter increment analysis of spruce in the Beskydy Mountains in the area under the influence of air pollutants. Lesnictví, 37: 787 – 794.

Zakopal, V., 1973: Vliv pěstební techniky na přírůst, obnovu a prostředí v maloplošném pasečném hospodářství podrostním ve stupni buko-smrkovém. Závěrečná zpráva VÚLHM.