

Development of beech necrotic disease in the growing phase of maturing stand under air pollution stress

A. CÍČÁK, I. MIHÁL

Institute of Forest Ecology of the Slovak Academy of Sciences, Zvolen, Slovak Republic

ABSTRACT: The paper compares the state of the necrotic disease of beech stem bark on three research plots in 2004 with 1995. The investigated objects were three research plots of beech in the growing phase of maturing stand in Central Slovakia subjected to different air pollution stress. Larger negative changes in the beech necrotic disease were recorded on a plot situated in the close vicinity (1.5 km) of the aluminium plant. We consider the permanent negative influence of pollutants from the aluminium plant on the vitality of trees as the main cause of the negative changes. The health state of beech (defoliation) on this research plot was also permanently significantly worse than on the two other plots situated at a larger distance from the pollutant source (7 and 18 km respectively). The state of necrotic disease on the plot situated at the distance of 7 km was significantly better in 2004 than in 1995. This difference could result from the age of beech trees being lower by 15 years than on the plot distant 18 km from the pollutant source where the state of necrotic disease has not changed. On none of the studied plots was the tree defoliation influenced by the current state of the necrotic disease of beech stems.

Keywords: *Fagus sylvatica* L.; necrotic disease; defoliation; growth phase of maturing stand; pollutants; Central Slovakia

Since the 1960ies, an increased occurrence of the necrotic disease of beech (*Fagus sylvatica* L.) bark has been observed in Europe. The disease is caused by several phytopathogenic species of fungi and the problems resulting from it continue to be significant in whole Europe (EISENBARTH et al. 2001). The disease is often of epiphytotic nature and becomes a serious problem of the care of the affected stands. In literature we can find evaluations of the current state or of the influence on silvicultural measures in the affected stands as well as explanations of the causes of beech bark necrotic disease, for example in BOGENSCHÜTZ (1983), BURNS and HOUSTON (1987), CÍČÁK et al. (1998), GAVIN and PEART (1993), GOVE and HOUSTON (1996), HOUSTON (1994), KUNCA et al. (2000), MIHÁL et al. (1998), ŠTEFANČÍK (1978), ŠTEFANČÍK and ŠTEFANČÍK (1999). However, papers that would evaluate changes in the necrotic disease after several years are missing in Slovak and foreign

literature. In this context the only exception is the paper of CÍČÁK et al. (2003), who reported that the necrotic disease showed different parameters after some time.

This contribution continues the paper of CÍČÁK and MIHÁL (1997), in which the first results of evaluation of beech bark necrotic disease in 1995 on three research plots under different pollutant stress were presented. The aim of this paper is to evaluate the development of necrotic disease and health state of beech after nine years that have elapsed since the first evaluation in 1995.

MATERIAL AND METHODS

The investigations were carried out in beech stands in the ecological experimental area (EEA) Kováčová – Kremnické vrchy Mts., on the permanent research plot (PRP) Jálná and research monitoring plot (RMP)

Supported by the Slovak Grant Agency VEGA, Grant No. 2/4019/04.

Table 1. Basic characteristics of the experimental plots

Characteristics	Experimental plot		
	EEA Kováčová	PRP Jalná	RMP Žiar nad Hronom
Locality	Kremnické vrchy	Štiavnické vrchy	Štiavnické vrchy
Exposition	W	W	NNW
Altitude (m a.s.l.)	470–490	610	470
Age (years)	96	81	70
Parent rock	dark pyroxenic andesites, tuffs, sandstones	andesites	rhyolite agglomerates
Forest type group	<i>Fagetum pauper in feriora</i>	<i>Querceto-Fagetum</i>	<i>Fagetum pauper</i>
Average annual temperature (°C)	6.8	6.2	7.6
Average annual precipitation (mm/year)	857	850	750
Distance from emission source (km)	18	7	1.5

EEA – Ecological experimental area, PRP – Permanent research plot, RMP – Research monitoring plot

Žiar nad Hronom – Štiavnické vrchy Mts. The beech stands on these plots are in the growing stage of mature stands. The basic characteristics of research plots are given in Table 1.

The beech stand on these research plots developed in comparable ecological conditions. A great change took place in the 1950ies, when aluminium production started in the town of Žiar nad Hronom. According to the results of analyses of the level of noxious agents in assimilative tissues of woody plants in the stands of Žiarska kotlina basin (MAŇKOVSKÁ 1991), RMP Žiar nad Hronom is situated in the high pollution hazard zone (zone A) while PRP Jalná in the low pollution hazard zone (zone C). In Kováčová EEA no stronger influence of pollutants from the aluminium plant in Žiar nad Hronom is expected. The classification of RMP Žiar nad Hronom into the zone of high pollution hazard is also confirmed by the health state of beech (ŠTEFANČÍK, CÍČÁK 1996). In the period 1988–1998 the authors recorded defoliation of 33.1–47.4% on this RMP. In the same period, defoliation on more distant research plots (EEA and PRP) was in the range of 5.9–28.2%.

The necrotic disease of beech stems in 1995 and 2004 was evaluated by a 5-degree classification scale (CÍČÁK, MIHÁL 1997). We evaluated trees of the 1st–3rd tree class (according to Kraft). We evaluated the results by means of the index of stem necrotisation (I_{SN}) and, at the same time, we also expressed the results by the frequency of stem necrotisation. Index of stem necrotisation is an average degree calculated as weighted arithmetic mean of the number of trees classified according to the above scale into

individual degrees of necrotisation. The reasoning and advantages of I_{SN} use were published by CÍČÁK and MIHÁL (1998).

Significance of differences in the necrotic disease of beech stem expressed by I_{SN} between individual years of investigation and research plots was tested by Mann-Whitney U test. We chose this test because of the non-parametric character of data resulting from discrete values used in the evaluation scale.

RESULTS AND DISCUSSION

The necrotic disease expressed by I_{SN} was worse in 2004 than in 1995 on each plot (Fig. 1). We recorded a positive change only on PRP Jalná. I_{SN} on this plot was significantly lower in 2004 than in 1995

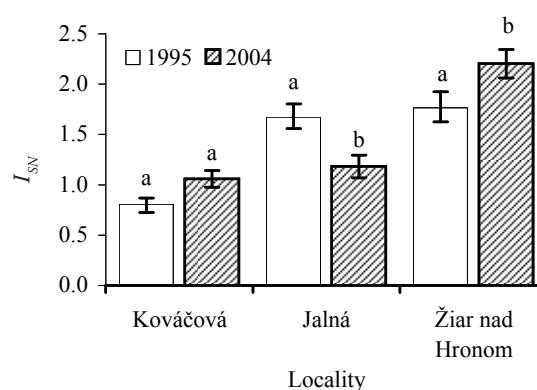


Fig. 1. Index of beech stem necrotisation (I_{SN}) on individual research plots in 1995 in comparison with 2004. Bars represent mean \pm standard error. Letters indicate significant differences (U test, $\alpha = 0.05$)

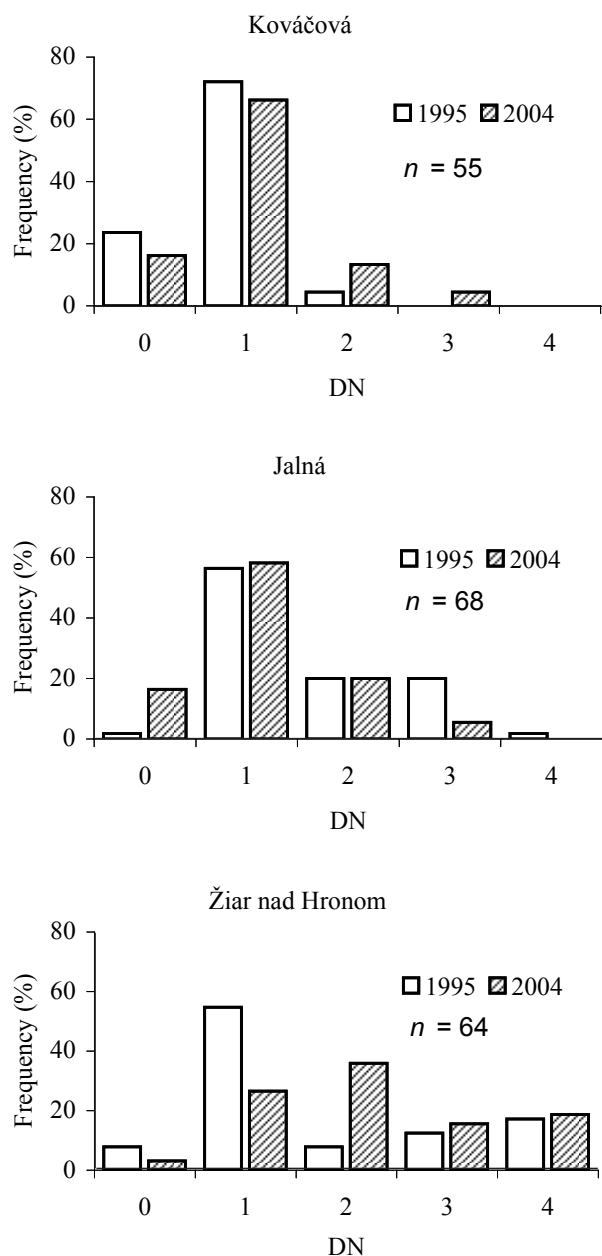


Fig. 2. Changes of frequency values in individual necrotisation degrees of beech stems (DN) on individual plots in 2004 in comparison with 1995

($p < 0.05$). In EEA Kováčová and RMP Žiar nad Hronom the state of necrotic disease was worse. This worsening was insignificant ($p > 0.05$) in EEA but significant ($p < 0.05$) on RMP.

The changed state of necrotic disease observed in 2004 in comparison with 1995 is also confirmed by changes in the frequency of individual degrees of necrotic disease (Fig. 2). We recorded positive changes in individual degrees of necrotic disease on PRP Jalná – an increase in the frequency of degree 0 (without necrotic disease) and a decrease in the frequency of degree 3. It means that in some stems

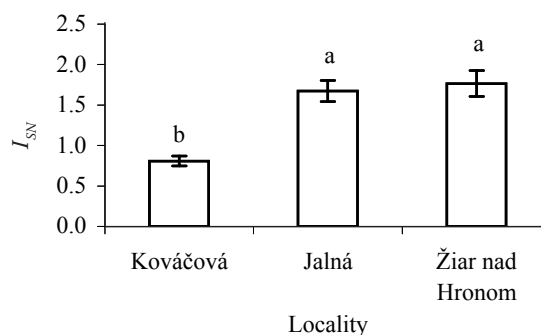


Fig 3. Significance of differences in beech bark disease (I_{SN}) between the localities in 1995. Bars represent mean \pm standard error. Letters indicate significant differences (U test, $\alpha = 0.05$)

the necrotic wounds were not only reduced but also fully healed and smoothed. The process of necrotic wound healing on beech stems in the growing phase of thicket was described by KLEIN (1997). We recorded insignificant negative changes in the frequency of individual degrees of damage in EEA. On RMP the changes were considerably larger. The frequency in necrotisation degree 1 strongly decreased while it increased in degree 2.

Changes in the necrotic disease in 2004 in comparison with 1995 were also observed between individual plots. In 1995 (Fig. 3), I_{SN} showed equal values on PRP Jalná and RMP Žiar nad Hronom and insignificance of their differences was also confirmed statistically ($p > 0.05$). The value of I_{SN} in Kováčová EEA was significantly lower than on PRP and RMP ($p < 0.05$). In 2004 (Fig. 4), after nine years, we recorded substantial changes. The value of I_{SN} on PRP approximated to the I_{SN} value in EEA. Differences

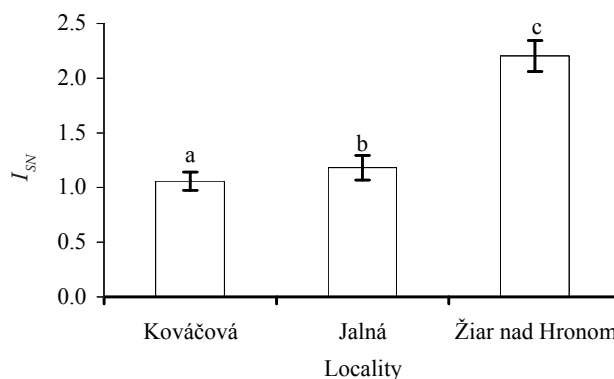


Fig. 4. Significance of differences in beech bark disease (I_{SN}) between the localities in 2004. Bars represent mean \pm standard error. Letters indicate significant differences (U test, $\alpha = 0.05$)

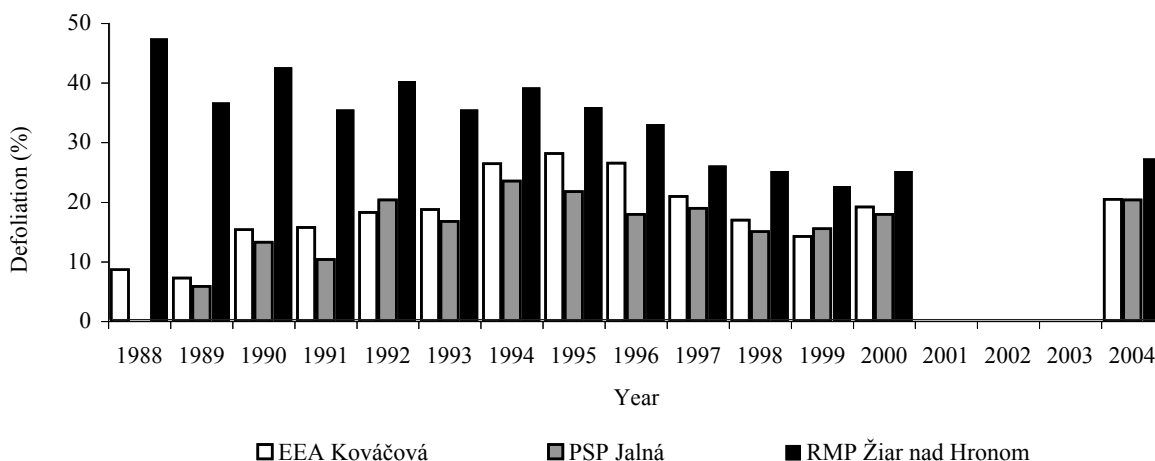


Fig. 5. Development of beech health state (defoliation) on research plots from 1988 to 2004 (the health state was not evaluated in 2001–2003). Trees of the 1st–3rd tree class (according to Kraft) were evaluated

in the values of I_{SN} between individual plots were significant in all cases ($p < 0.05$). A strong increase in I_{SN} on RMP Žiar nad Hronom from 1.77 in 1995 to 2.20 in 2004 was caused mainly by impacts of the pollutants fluorine (HF) and sulphur dioxide. Out of the total number of 54 evaluated localities in Slovakia, the RMP Žiar nad Hronom is one of the two localities showing the highest value of I_{SN} and the highest frequency of beech stem necrotic disease (CÍČÁK, MIHÁL 2002). At the same time it is the only evaluated locality in Slovakia situated immediately in the vicinity of a pollutant source. The amount of emitted HF and sulphur dioxide in 1990 was 847 t/yr and 6,556 t/yr, respectively. The first positive change in the amount of emitted fluorine and sulphur dioxide was recorded in 1992 (557 t/yr and 3,879 t/yr, respectively). In 1996, when a new technology of aluminium production was put into operation, the amount of emitted fluorine and sulphur dioxide decreased still more significantly. In 2001, the amount of emitted fluorine and sulphur dioxide decreased to the level of 30 t/yr and 2,431 t/yr respectively, which is 28-times and 2.7-times less than in 1990. Emission sources are the divisions of the ZSNP company group in Žiar nad Hronom, especially production of aluminium and power engineering division (data on the amount of emitted and air polluting substances were kindly supplied by the ZSNP company group). Although significant changes in pollution stress in the Žiarska kotlina basin took place, the negative trend of necrotic disease continued. As a cause of this, we can consider the permanently continuing negative impacts on the vitality of trees. From the physiological aspects, the beech vitality on RMP Žiar nad Hronom is influenced, compared with

EEA and PRP, by a lower net photosynthetic rate and by a higher intensity of transpiration of leaves (MASAROVIČOVÁ et al. 1996). These unfavourable physiological parameters increase production requirements of beech leaves for water (CÍČÁK et al. 1998). The unfavourable state of vitality of beeches on RMP was manifested by a high mortality rate of trees of the 1st–3rd growth class, which was 21% in the years 1991–2004. We have not recorded any mortality on other research plots. Due to the high mortality, the health state (defoliation) on RMP Žiar nad Hronom is permanently worse than in EEA Kováčová and on PRP Jalná (ŠTEFANČÍK, CÍČÁK 1996). The values of defoliation on all research plots are given in Fig. 5. A part of the results characterising the health state in Fig. 5 (years 1988–1996) that were published by the authors cited above was updated (1997 and 2000–2004) by the authors of this contribution.

As a cause of improvement of the state of necrotic disease on beech stems on PRP Jalná (decrease in I_{SN} from 1.67 in 1995 to 1.18 in 2005) we can consider the higher vitality of trees on this plot than on RMP Žiar nad Hronom. It is also confirmed by classification of this research plot into the low pollutant hazard zone (zone C). Therefore we recorded, with some negligible exceptions, lower values of tree defoliation on PRP Jalná than in EEA Kováčová. This situation, however, can also be caused by the age of beeches that was lower on PRP by 15 years than in EEA Kováčová.

The results from all research plots confirmed the opinion of CÍČÁK et al. (2003) that defoliation was not influenced by the current state of the necrotic disease.

Acknowledgement

The authors thank Ing. Z. ŠUSTEK, CSc., for the translation of the paper.

References

- BOGENSCHÜTZ H., 1983. Management of beech stands infected by *Cryptococcus fagisuga* in West Germany. In: Proceedings IUFRO, Beech Bark Disease Working Party. Conference, Hamden, Connecticut: 115–119.
- BURNS B.S., HOUSTON D.R., 1987. Managing beech bark disease: evaluating defects and reducing losses. *NJAF*, 4: 28–32.
- CICÁK A., MIHÁL I., 1997. Metodika hodnotenia nekrotizácie kôry kmeňov buka. *Lesnictví-Forestry*, 43: 104–109.
- CICÁK A., MIHÁL I., 1998. Index nekrotizácie kôry kmeňov buka. *Lesnictví-Forestry*, 44: 474–477.
- CICÁK A., MIHÁL I., 2002. State of necrotic disease of beech stands in Slovakia. *Mikologija i Fitopatologija*, 36: 93–105.
- CICÁK A., MIHÁL I., ŠTEFANČÍK I., 2003. Development of necrotic disease and health of trees of selective quality in a systematically tended beech pole-stage stand. *Journal of Forest Science*, 49: 11–18.
- CICÁK A., MASAROVIČOVÁ E., ŠTEFANČÍK I., 1998. Produkčná náročnosť buka na vodu vo vzťahu k rozdielnej imisnej záťaži. In: Zborník Atmosférická depozícia a ekofyziologické procesy v ekosystémoch. Poľana, 12.–13. jún 1996. Technická univerzita vo Zvolene: 111–115.
- EISENBARTH E., WILHELM G.J., BERENS A., 2001. Hinweise zur Vorgehensweise bezüglich der Buchenerkrankung. *AFZ-Der Wald*, 23: 1218–1219.
- GAVIN D.G., PEART D.R., 1993. Effects of bark disease on the growth of American beech (*Fagus grandifolia*). *Canadian Journal of Forest Research*, 23: 1566–1575.
- GOVE J.H., HOUSTON D.R., 1996. Monitoring the growth of American beech affected by beech bark disease in Maine using the Kalman filter. *Environmental and Ecological Statistics*, 3: 167–187.
- HOUSTON D.R., 1994. Major new tree disease epidemics: beech bark disease. *Annual Review of Phytopathology*, 32: 75–87.
- KLEIN E., 1997. Buchenkrebse in Jungwüchsen und Buchen-‘T-Krebse’. *Forst und Holz*, 52: 58–61.
- KUNCA A., ZÚBRIK M., LEONTOVÝČ R., 2000. Nekrotické ochorenia bučín a modely obhospodarovania takto postihnutých porastov. In: Zborník Aktuálne problémy v ochrane lesa. Zvolen, LVÚ: 105–108.
- MAŇKOVSKÁ B., 1991. Vplyv imisií na lesné dreviny. In: TUŽINSKÝ L. et al., Výskum vplyvu imisií na základné ekologické zložky lesa. [Záverečná správa.] Zvolen, LVÚ: 75–95.
- MASAROVIČOVÁ E., CICÁK A., ŠTEFANČÍK I., 1996. Eco-physiological, biochemical, anatomical and productional characteristics of beech (*Fagus sylvatica* L.) laeves from regions with different degree of immission impact. *Ekológia (Bratislava)*, 15: 337–351.
- MIHÁL I., CICÁK A., ŠTEFANČÍK I., 1998. Health condition and bark necrotic disease of trees of selective quality in a systematically tended beech pole-stage stand. *Lesnictví-Forestry*, 44: 97–102.
- ŠTEFANČÍK L., 1978. Selektčné prebierky v bukových porastoch a poškodenia vznikajúce pri ťažbe a sústreďovaní. Pestovanie a produkcia buka. Zvolen, Vedecké Práce VÚLH: 169–202.
- ŠTEFANČÍK I., CICÁK A., 1996. Zdravotný stav a hrúbkový prírastok buka pod vplyvom rozdielnej imisnej záťaže. *Lesnícky časopis*, 42: 395–408.
- ŠTEFANČÍK I., ŠTEFANČÍK L., 1999. Štrukturálne zmeny bukovej žrdoviny vplyvom úrovňovej voľnej prebierky na výskumnej ploche Štagiar-Zábučie. *Folia Oecologica*, 25: 63–80.

Received for publication September 30, 2004
Accepted after corrections December 28, 2004

Vývoj nekrotického ochorenia buka v rastovej fáze kmeňoviny pod vplyvom rozdielnej imisnej záťaže

A. CICÁK, I. MIHÁL

Ústav ekológie lesa SAV, Zvolen, Slovenská republika

ABSTRAKT: V práci sa porovnávajú výsledky stavu nekrotického ochorenia kôry kmeňov buka v roku 2004 s rokom 1995. Objektami výskumu boli tri výskumné plochy buka v rastovej fáze dospievajúcej kmeňoviny pod vplyvom rozdielnej imisnej záťaže na strednom Slovensku. Najväčšie negatívne zmeny v nekrotickom ochorení buka boli zistené na ploche, ktorá je v bezprostrednej blízkosti závodu na výrobu hliníka (1,5 km). Za príčinu negatívnych zmien považujeme trvale negatívne

ovplyvňovanú vitalitu stromov imisiami zo závodu na výrobu hliníka. Aj zdravotný stav buka (defoliácia) na tejto ploche bol trvale signifikantne horší ako na ďalších dvoch plochách, vzdialenejších od emisného zdroja (7 km, resp. 18 km). Na plochách vzdialenejších od emisného zdroja boli zmeny v nekrotickom ochorení odlišné. Na ploche vzdialenej 7 km sa stav v nekrotickom ochorení v roku 2004 v porovnaní s rokom 1995 signifikantne zlepšil. Tento výsledok mohol ovplyvniť o 15 rokov nižší vek buka ako na ploche vzdialenej 18 km od emisného zdroja, na ktorej sa stav nekrotického ochorenia nezmenil. Ani na jednej ploche nebola defoliácia stromov ovplyvnená aktuálnym stavom nekrotického ochorenia kmeňov buka.

Kľúčové slová: *Fagus sylvatica* L.; nekrotické ochorenie; defoliácia; rastová fáza kmeňoviny; imisie; stredné Slovensko

Príspevok nadväzuje na prácu ČIČÁK a MIHÁL (1997), v ktorej boli prezentované prvé výsledky hodnotenia nekrotického ochorenia kôry buka v roku 1995 na troch výskumných plochách pod vplyvom rozdielnej imisnej záťaže. Cieľom príspevku je vyhodnotiť vývoj nekrotického ochorenia a zdravotného stavu buka s odstupom deviatich rokov od prvého hodnotenia v roku 1995.

Objektami výskumu boli kontrolné čiastkové výskumné plochy na ekologicko-experimentálnom stacionári (EES) Kováčová – Kremnické vrchy (výraznejší vplyv imisí z hlinikárne v Žiari nad Hronom sa nepredpokladá), na trvalej výskumnej ploche (TVP) Jalná (pásmo slabého imisného ohrozenia – C) a výskumná monitorovacia plocha (VMP) Žiar nad Hronom (pásmo silného imisného ohrozenia – A) v Štiavnických vrchoch. Porasty buka na plochách sú v rastovej fáze dospievajúcej kmeňoviny. Základné charakteristiky o výskumných plochách uvádzame v tab. 1.

Nekrotické ochorenie kmeňov buka v roku 1995 a opakovane v roku 2004 sme hodnotili pomocou 5-bodovej klasifikačnej stupnice (ČIČÁK, MIHÁL 1997). Hodnotili sme stromy 1. až 3. stromovej triedy (podľa Krafta). Výsledky sme vyhodnotili pomocou indexu nekrotizácie kmeňov (I_{NK}), zároveň sme výsledky vyjadrili aj frekvenciou nekrotizácie kmeňov. Index nekrotizácie kmeňov je priemerným stupňom, ktorý sa vypočíta ako vážený aritmetický priemer zo získaných údajov zaradenia stromov podľa hodnotiacej stupnice do jednotlivých stupňov nekrotizácie. Zdôvodnenie a výhody použitia I_{NK} publikovali ČIČÁK a MIHÁL (1998).

Pri testovaní signifikantnosti rozdielov v nekrotickom ochorení kmeňov (vyjadrených I_{NK}) medzi jednotlivými rokmi hodnotenia a aj plochami sme použili Mann-Whitney U test. Tento test sme zvolili vzhľadom na neparametrický charakter údajov, vyplývajúci z diskretných hodnôt použitých v stupnici hodnotenia.

Nekrotické ochorenie, vyjadrené I_{NK} , sa v roku 2004 v porovnaní s rokom 1995 zmenilo na každej výskumnej ploche (obr. 1). Zmeny v stave nekrotického ochorenia na výskumných plochách v roku 2004 v porovnaní s rokom 1995 sú potvrdené aj frekvenciou v jednotlivých stupňoch nekrotického ochorenia (obr. 2). Na TVP Jalná sme zistili pozitívne zmeny v jednotlivých stupňoch nekrotického ochorenia – zvýšenie hodnoty frekvencie v stupni 0 (bez nekrotického ochorenia) a zníženie hodnoty v stupni 3. To znamená, že na niektorých kmeňoch došlo v procese hojenia k zmenšeniu, ale aj k zahojeniu a vyhladeniu nekrotických rán. Proces hojenia nekrotických rán na kmeňoch buka v rastovej fáze žrdovina opisuje KLEIN (1997). Nevýrazné negatívne zmeny vo frekvencii v jednotlivých stupňoch poškodenia sme zistili na EES. Na VMP boli zmeny podstatne väčšie. Výrazne sa znížila frekvencia v stupni nekrotizácie 1 a zvýšila sa v stupni nekrotizácie 2.

Zmeny v nekrotickom ochorení v roku 2004 v porovnaní s rokom 1995 sme zistili aj medzi jednotlivými plochami. V roku 1995 (obr. 3) boli hodnoty I_{NK} na TVP Jalná a VMP Žiar nad Hronom vyrovnané a zároveň potvrdená aj nesignifikantnosť rozdielov ($p > 0,05$). Hodnota I_{NK} na EES Kováčová bola signifikantne nižšia ako na TVP a VMP ($p < 0,05$). V roku 2004 (obr. 4), po deviatich rokoch, sme zistili podstatné zmeny. Hodnota I_{NK} na TVP sa priblížila hodnote I_{NK} na EES. Rozdiel v hodnotách I_{NK} medzi jednotlivými plochami bol vo všetkých prípadoch signifikantný ($p < 0,05$). Výrazné zvýšenie I_{NK} na VMP Žiar nad Hronom – z hodnoty 1,77 v roku 1995 na hodnotu 2,20 v roku 2004 – bolo ovplyvnené hlavne pôsobením imisí fluóru (HF) a oxidu siričitého.

Aj keď došlo k výrazným zmenám v emisnej situácii v Žiarskej kotline, negatívny proces v nekrotickom ochorení kmeňov pokračoval. Za príčinu môžeme považovať trvale negatívne ovplyvňovanú

vitalitu stromov emisiami. Z fyziologického hľadiska je na VMP Žiar nad Hronom vitalita buka v porovnaní s plochami na EES a TVP ovplyvňovaná nižšími hodnotami rýchlosti čistej fotosyntézy a vyššími hodnotami intenzity transpirácie listov (MASAROVICHOVÁ et al. 1996). Tieto nepriaznivé fyziologické parametre zvyšujú produkčnú náročnosť listov buka na vodu (CICÁK et al. 1998). Nepriaznivý stav vitality buka na VMP sa prejavil aj vo vysokej mortalite stromov 1. až 3. stromovej triedy, ktorá dosiahla za roky 1991 až 2004 hodnotu 21 %. Na ostatných plochách sme mortalitu nezaznamenali. Okrem vysokej mortality je aj zdravotný stav (defoliácia) trvale horší ako na EES Kováčová a TVP Jalná (ŠTEFANČÍK, CICÁK 1996). Hodnoty defoliácie na všetkých výskumných plochách uvádzame na obr. 5. Časť výsledkov zdravotného stavu na obr. 5 (rok 1988–1996), ktoré publikovali uvedení auto-

ri, bola aktualizovaná (rok 1997 až rok 2000 a rok 2004) autormi tohto príspevku.

Za príčinu zlepšenia stavu nekrotického ochorenia kmeňov buka na TVP Jalná (zníženie hodnoty I_{NK} z 1,67 v roku 1995 na hodnotu 1,18 v roku 2005) môžeme považovať vyššiu vitalitu stromov v porovnaní s VMP Žiar nad Hronom. Potvrďuje to aj zaradenie tejto výskumnej plochy do pásma slabého imisného ohrozenia (pásma C). Okrem toho sme za celý cyklus monitorovania zdravotného stavu TVP zaznamenali, až na malé výnimky, nižšie hodnoty defoliácie stromov ako na ploche EES Kováčová. Tento stav môže byť ovplyvnený aj o 15 rokov nižším vekom buka na TVP v porovnaní s EES. Na všetkých plochách sa potvrdil poznatok autorov CICÁK et al. (2003), že defoliácia nie je ovplyvňovaná aktuálnym stavom nekrotického ochorenia.

Corresponding author:

Ing. ALOJZ CICÁK, CSc., Ústav ekológie lesa SAV, Štúrova 2, 960 53 Zvolen, Slovenská republika
tel.: + 421 455 330 914, fax: + 421 455 479 485, e-mail: cicak@sav.savzv.sk
