

Vplyv slnečnej aktivity na rast a hustotu drevnej hmoty borovíc

I. Dorotovič, Forestry and Forest Products Centre, Tropical Research Institute (IICT), Lisbon, Portugal; SÚH Hurbanovo, ivan.dorotovic@suh.sk

J. L. Lousada, Centro de Investigação e de Tecnologias Agro-Ambientais e Biológicas (CITAB), Dpto Florestal, Universidade Trás-os-Montes e Alto Douro (UTAD), Vila Real, Portugal

J. C. Rodrigues, Forestry and Forest Products Centre, Tropical Research Institute (IICT), Lisbon, Portugal

V. Karlovský, Hvezdáreň a planetárium M.R. Štefánika, Hlohovec

Abstrakt

Tento príspevok prezentuje pokračovanie výskumu vykonaného v práci Surový a kol. (2010). Zamerali sme sa na analýzu údajov o šírke letokruhov a hustote drevnej hmoty dvoch druhov borovíc: šesť vzoriek prímorskej borovice (*Pinus pinaster*), ktoré rástli na severe Portugalska a jedna vzorka borovice sosna (*Pinus sylvestris*), ktorá rástla na juhu Slovenska. Bol pozorovaný negatívny vplyv slnečnej aktivity (SA) na rast týchto borovíc s výrazne silnejším vplyvom v prípade prímorskej borovice. Šírka letokruhov bola všeobecne menšia v rokoch maxima SA. Ďalej bolo zistené, že ovplyvnená je šírka neskorého dreva, pričom šírka skorého dreva je málo ovplyvnená slnečnou aktivitou. Hustota drevnej hmoty neskorého dreva vykazuje obdobne výraznejšiu antikoreláciu so slnečnou aktivitou ako hustota drevnej hmoty skorého dreva.

1. ÚVOD

Slnko vytvára rôznymi fyzikálnymi mechanizmami žiarenie na všetkých vlnových dĺžkach. Energia slnečného žiarenia, spolu s plazmou a energetickými časticami v slnečnom vetre, ovplyvňuje mnoho procesov v atmosfére a na povrchu Zeme. Mnohé skoršie i nedávne práce, založené na skúmaní vzoriek stromov z rôznych oblastí sveta, naznačujú, že slnečná aktivita (SA) môže pôsobiť na rast stromov prostredníctvom zmien klimatických podmienok na povrchu zeme v dôsledku variácií SA (LaMarche and Fritts 1972; Eddy 1980; Ogurtsov et al. 2002; Feng and Han 2009; Prestes et al. 2011; Shumilov et al. 2011). Prestes et al. (2011) aplikovali iteratívnu regresnú analýzu a vlnkovú metódu na údaje o šírke letokruhov araukarií v Brazílii a našli periodicity a trendy súvisiace so SA, lunárnym cyklom (Saros) a Brücknerovým cyklom.

Variácie SA boli podstatne nižšie počas rokov 2007 – 2009 (predĺžené minimum SA) ako v skoršom období pokrývajúcim roky 1999 – 2001 (maximum SA). Merania pomocou družíc v posledných desaťročiach odhalili variabilitu slnečnej „konštanty“ (v priemere ~0.1 % počas slnečného cyklu) (Frölich a Lean, 2004).

He a kol. (2007) skúmali chronológiu šírky letokruhov z 58 vzoriek čínskych borovíc a poukázali na silnú odozvu v letokruhoch stromov na SA a globálnu zmenu životného prostredia. Shumilov a kol. (2011) zistili analýzou 561-ročnej (1445-2005) chronológie letokruhov borovice regionálnu klimatickú odozvu na vplyv slnečnej a vulkanickej aktivity (na základe vzoriek zo živých stromov z polostrova Kola v Rusku).

V tejto práci skúmame vzťah medzi 11-ročnými slnečnými cyklami a rastom i hustotou drevnej hmoty borovíc pomocou údajov o šírke a hustote drevnej hmoty letokruhov (RW - ring width, RD – ring density), šírke a hustote drevnej hmoty skorého (jarného) dreva (EWW/EWD - earlywood width/density), šírke a hustote drevnej hmoty neskorého (letného) dreva (LWW/LWD - latewood width/density) získaných zo vzoriek prímorskej borovice (*Pinus pinaster*) a borovice sosna (*Pinus sylvestris*).

2. ÚDAJE A METÓDY SPRACOVANIA

Použili sme nasledovné vstupné údaje:

1. šírka letokruhu, jarného dreva a letného dreva, hustota drevnej hmoty prímorskej borovice (*Pinus*

pinaster) zo 6 vzoriek jednotlivých borovic s vekom 79, 79, 80, 78, 81, 85 rokov (Gerês, Portugal).

2. šírka letokruhu, jarného dreva a letného dreva, hustota drevnej hmoty borovice sosna (*Pinus sylvestris*) zo vzorky 180-ročného stromu (Hurbanovo, Slovakia).

3. údaje o slnečných škvrnách (Wolfovo číslo slnečných škvŕn: Wolf Sunspot Number - SSN) z databázy SIDC v Bruseli, Belgicko (<http://www.sidc.be/sunspot-data/>) a dátumy minim a maxim slnečných cyklov z NGDC v Boulderi, USA (ftp://ftp.ngdc.noaa.gov/STP/SOLAR_DATA/SUNSPOT_NUMBERS/docs/maxmin.new).

Experimentálna lokalita Gerês sa nachádza na severe Portugalska (N 41° 43' 30.34", W 8° 9' 56.98") a má prímorskú klímu s vplyvom vyššej nadmorskej výšky 500-600 m (podľa klimatickej klasifikácie Csb Köppen-Geiger). Priemerná ročná teplota je 14,3°C, ročný úhrn zrážok je 29904 mm (Mendes a Bettencourt, 1980; Miranda a kol., 2006). Pôda je bohatá na organické látky a kyseliny, obsahuje nízku koncentráciu fosforu a strednú koncentráciu draslíka (Agroconsultores and Coba, 1991).

Lokalita vzorky z Hurbanova sa nachádza na juhozápade Slovenska (N 47° 52' 33.28", E 18° 11' 37.93") a má kontinentálnu a nižinnú klímu. Priemerná ročná teplota je 10°C (v lete dosahuje priemerná teplota v júli 20.2°C a v zime v januári -1.5 °C). Klíma je suchá, priemerný ročný úhrn zrážok je 550 mm (Miklós and Hrnčiarová, 2002). Najčastejší typ rastlinstva je poľnohospodárska monokultúra a lužné lesy ako prirodzený typ vegetácie (Michalko a kol., 1986). Borovica sosna bola vysadená v meste Hurbanovo, v parku hvezdárne a rástla v rokoch 1830-2010.

Merania ročného prírastku a hustoty drevnej hmoty všetkých vzoriek boli vykonané mikrodenzitometrickou metódou pomocou zariadenia Joyce-Loebl MK3 (popis možno nájsť v práci Louzada, 2000).

Skúmali sme vzťah medzi 11-ročnými cyklami SA a rastom i hustotou drevnej hmoty borovic pomocou korelačných grafov. Bola použitá aj vlnková analýza na zistenie periodicít v časových radoch údajov o raste borovic a hustote drevnej hmoty. Použitý algoritmus vlnkovej analýzy je upravená verzia pôvodného algoritmu zostaveného Torrencom and Compom (1998), ktorú poskytli Grinstead a kol. (2004).

Podľa nášho vedomia je to prvýkrát, keď bol skúmaný prípadný vplyv SA na rast a hustotu drevnej hmoty zvlášť na jarné a letné drevo, nielen na celkový letokruh.

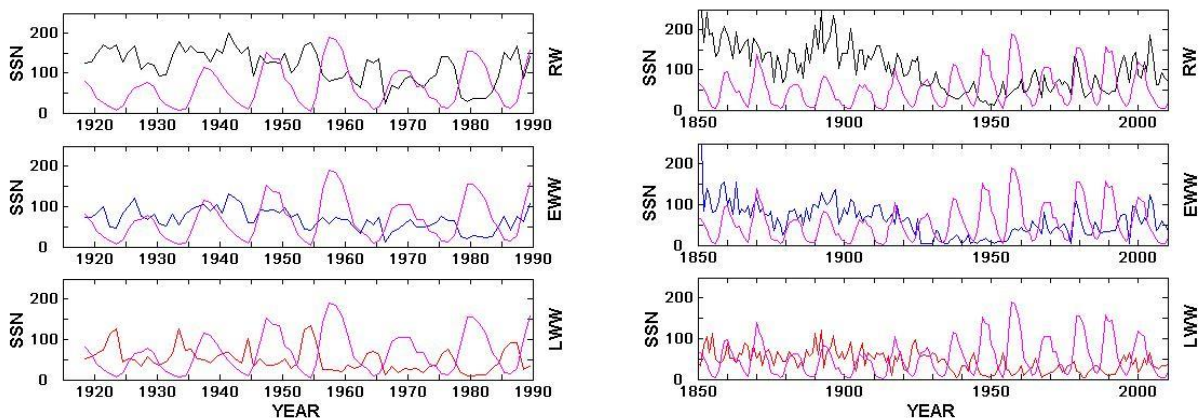
3. VÝSLEDKY

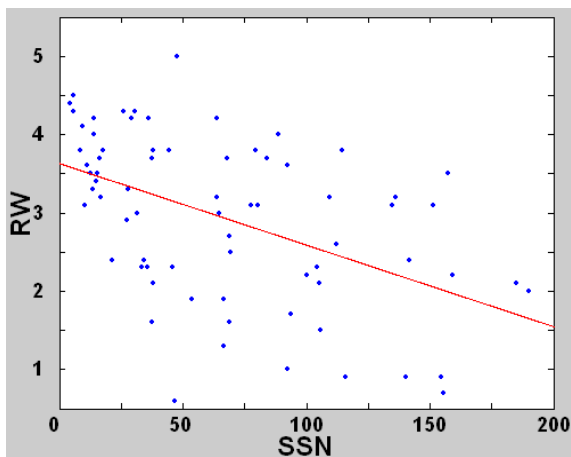
3.1. Rast stromov

3.1.1. *Pinus pinaster* (prímorská borovica)

Obr. 1 (ľavý stĺpec) ukazuje koreláciu medzi RW, EWW, resp. LWW a slnečnou (škvrnovou) aktivitou pre údaje zo vzorky prímorskej borovice. Výrazná antikorelácia je medzi RW a SA ($R = 0.49$) v období 1925-1980 a ešte výraznejšia antikorelácia je medzi LWW a SA, $R = 0.656$). Naopak, takmer nulová je korelácia medzi EWW a SA ($R = 0.033$).

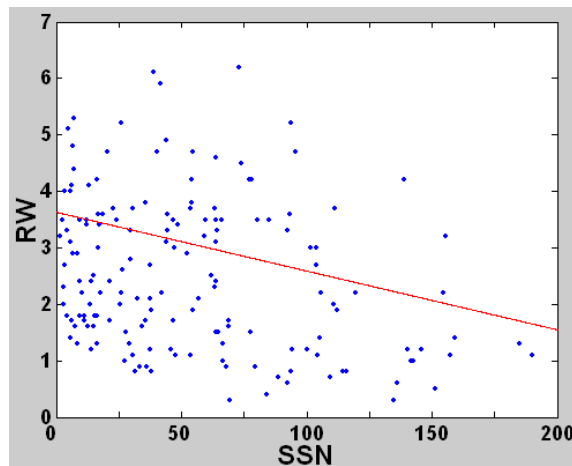
Na zistenie periodicít, významne prítomných v časových radoch rastu prímorskej borovice sme použili vlnkovú analýzu a vykonali sme vlnkovú transformáciu (wavelet transform - CWT), krížovú vlnkovú transformáciu (cross-wavelet transform - XWT) a skúmali sme aj koherenciu vlnkovej transformácie (wavelet transform coherence - WTC) pre časové rady SSN, RW, EWW a LWW. Na obr. 2 a obr. 3 (ľavý stĺpec) sú výsledky tejto analýzy.





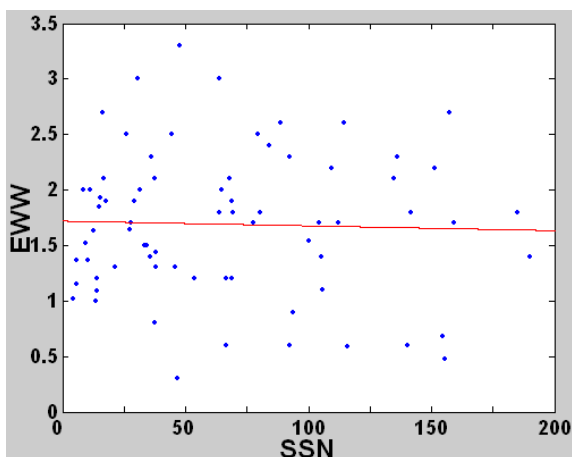
— Linear Fit

Linear Fit $RW = 3.630012 - 0.0104115 SSN$
 RSquare = 0.238716, R = 0.49



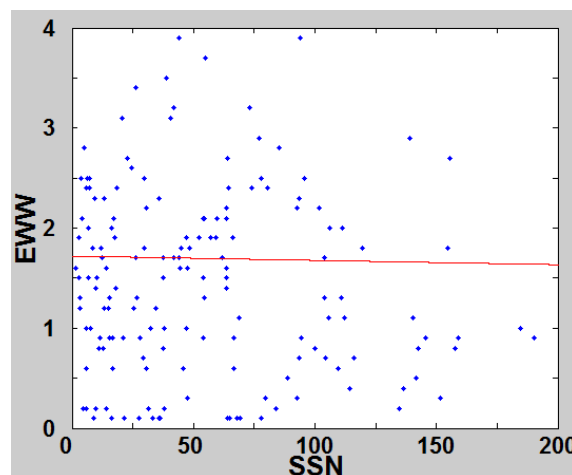
— Linear Fit

Linear Fit $RW = 3.033102 - 0.0079253 SSN$
 RSquare = 0.056517, R = 0.24



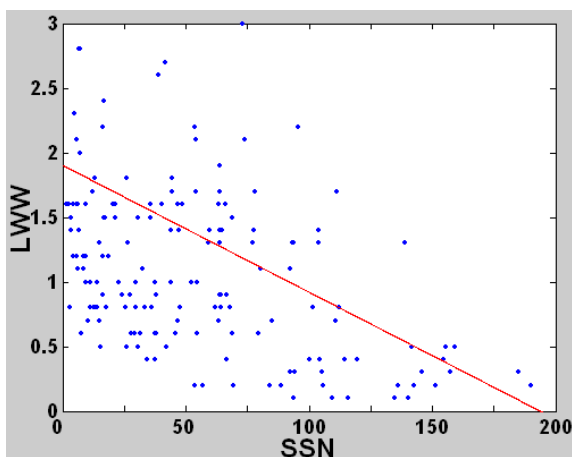
— Linear Fit

Linear Fit $EWW = 1.7201368 - 0.0004296 SSN$
 RSquare = 0.001086, R = 0.033



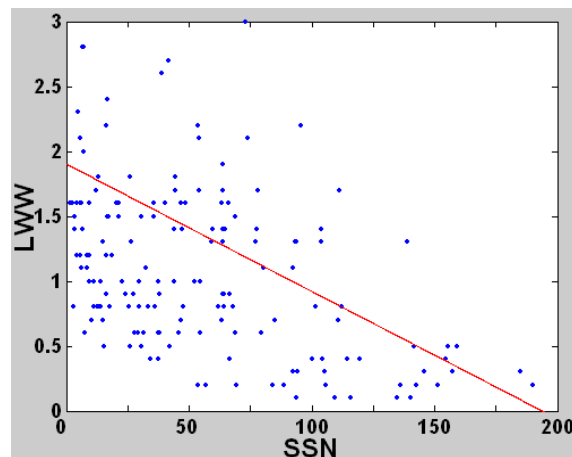
— Linear Fit

Linear Fit $EWW = 1.6058113 - 0.0015 SSN$
 RSquare = 0.003554, R = 0.060



— Linear Fit

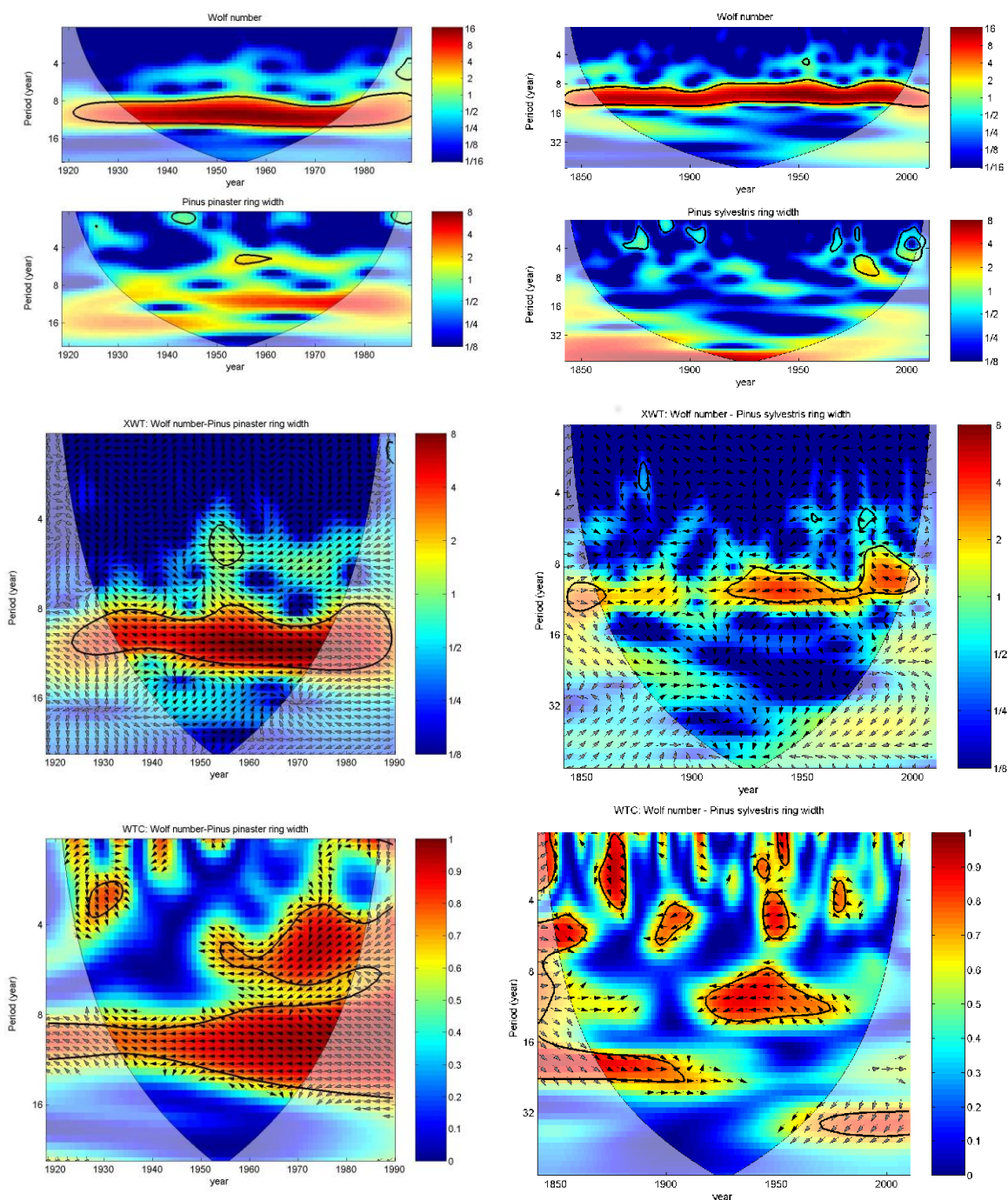
Linear Fit $LWW = 1.9023671 - 0.0098191 SSN$
 RSquare = 0.430699, R = 0.656



— Linear Fit

Linear Fit $LWW = 1.4272907 - 0.0064252 SSN$
 RSquare = 0.197577, R = 0.444

Obrázok 1. Priebeg šírky letokruhu (RW), skorého dreva (EWW) a neskorého dreva (LWW) v porovnaní s ročným priemerom Wolfvoho čísla (SSN) [horný rad]. Korelačné grafy RW [druhý rad zhora], EWW [tretí rad zhora] a LWW [dolný rad] so SSN. Obrázky pre primorskú borovic sú v ľavom stĺpci a obrázky pre borovicu sosna sú v pravom stĺpci.



Obrázok 2. Vlnkové výkonové spektrum [horný rad] pre červený šum, krížová vlnková transformácia) [stredný rad] a vlnková koherencia [dolný rad] Wolfovho čísla a RW. Obrázky pre prímorskú borovicu sú v ľavom stĺpci a obrázky pre borovicu sosna sú v pravom stĺpci. Oblasť s vplyvom chýbajúcich okrajových údajov je vyznačená tieňovane a kontúry vymedzujú oblasti výkonového spektra s 95% úrovňou vierohodnosti.

3.1.2. *Pinus sylvestris* (borovica sosna)

Obdobne ako obr. 1., obr. 3 ukazuje koreláciu medzi RW, EWW, resp. LWW a slnečnou (škrvnovou) aktivitou pre údaje zo vzorky borovice sosna v období rokov 1845-2010. Tieto výsledky naznačujú podobný vzťah ako pre prímorskú borovicu, hoci s trochu nižšími koeficientmi korelácie.

Výsledky vlnkovej analýzy pre borovicu sosna sú prezentované na obr. 4. Vlnkové výkonové spektrum vykazuje v tomto prípade vysoký výkon iba pre analýzy LWW, v rokoch 1930-1960.

3.2. Hustota drevnej hmoty

3.2.1. *Pinus pinaster* (prímorská borovica)

Na obr. 5 sú prezentované korelačné grafy medzi SA a EWD, resp. LWD a an obr. 6 sú výsledky vlnkovej analýzy SSN versus EWD a LWD pre prímorskú borovicu.

3.2.2. *Pinus sylvestris* (borovica sosna)

Na obr. 7 sú prezentované korelačné grafy medzi SA a RD, EWD, resp. LWD a an obr. 8 sú výsledky vlnkovej analýzy SSN versus EWD a LWD pre borovicu sosna.

4. DISKUSIA A ZÁVERY

Zistili sme podobný charakter vzťahu medzi rastom stromov (hustotou drevnej hmoty) a SA ako v našej skoršej práci (Surový a kol., 2008), t.j. že rast stromov a hustota drevnej hmoty sú evidentne vyššie v obdobiach slnečného minima ako v obdobiach slnečného maxima. Z toho vyplýva negatívny vplyv zvýšenej SA na rast a hustotu drevnej hmoty borovic. Bolo zistené navyše, že vplyv slnečnej aktivity je výraznejší v prípade analýzy údajov prírastku a hustoty drevnej hmoty formovanej v lete a na jeseň (neskoré drevo - LW) ako v prípade analýzy drevnej hmoty formovanej na jar (skoré drevo - EW), viď korelačné grafy na obr. 1., obr. 3, obr. 5 a obr. 7. Tento fakt, t. j. že LWW/LWD sú ovplyvnené SA, kým EWW/EWD nie sú výrazne ovplyvnené SA, je najdôležitejším výsledkom tejto práce.

Možné vysvetlenie vzťahu medzi SA a rastom/hustotou drevnej hmoty borovic je zmena úrovne fotoasimilácie v stromoch: vysoká SA môže nepriamo (prostredníctvom zmien v klíme Zeme) ovplyvniť (znižovať) úroveň asimilačného procesu v stromoch. Vysoká SA v rokoch maxima ničí chlorofyl v listoch stromov, čo znižuje fotosyntetickú tvorbu cukrov. Podobne je to aj v letnom období, keď je Slnko vyššie nad obzorom a na stormy dopadá viac žiarenia ako v jarnom období. Stromy tak tvoria menej buniek s tenšími stenami, čo následne vyvoláva tvorbu dreva s menšou hustotou. Samozrejme, existuje mnoho faktorov (napr. Lokálna povrchová teplota, zrážky, kvalita pôdy a pod.), ktoré môžu oveľa výraznejšie vplývať na rast stromov ako slnečná aktivita.

Vlnková analýza umožnila skúmať časovo lokalizované zmeny v priebehu vývoja RW, EWW, LWW, RD, EWD a LWD tak opre prímorskú borovicu ako aj pre borovicu sosna. Vo všeobecnosti je vlnkový výkon vyšší v prípade porovnania vývoja SA a charakteristik prímorskej borovice (*Pinus pinaster*) a mierne nižší v prípade analýzy údajov borovice sosna (*Pinus sylvestris*).

V budúcnosti bude vhodné porovnať výsledky tejto práce s analýzou vývoja povrchovej teploty a zrážok v skúmaných lokalitách (Gerês a Hurbanovo).

PodĎakovanie

Autori sú vďační tímu SIDC za poskytnutie údajov o škrvnovej aktivite. Ďakujeme tiež V. Čalfovi a Š. Mačanskému (SÚH Hurbanovo) za technickú asistenciu pri získaní vzoriek z *Pinus sylvestris*.

LITERATÚRA

- Agroconsultores e Coba: 1991. Carta dos Solos, Carta do Uso Actual da Terra e Carta da Aptid-ó da Terra do Nordeste de Portugal. Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, Vila Real, Portugal.
- Eddy, J., 1980. The historical record of solar activity. *The Ancient Sun*, 119–134.
- Feng, B. and Han, Y. B.: 2009, Possible effect of solar activity on variation of the tree-rings of a 500 a *Platycladus orientalis* at the Mausoleum of Emperor Huang, *Science in China Series G-Physics Mechanics & Astronomy* **52**(4): 631-639.
- Grinsted A., Moore J.C., and Jevrejeva S., 2004, Nonlinear Processes in Geophysics (2004) **11**: 561-566.
- He, X. G., Chen, Z. J. Chen, W. Shao, X. M. He, H. Sun, Y., 2007: Solar activity, global surface air temperature anomaly and pacific decadal oscillation recorded in urban tree rings, *Annals of Forest Science*, **64**, 743.
- LaMarche, V.C. and Fritts, H.C.: 1972, Tree-rings and sunspot numbers, *Tree-ring Bulletin*, Vol. 32, 19.
- Louzada, J. 2000. Variação fenotípica e genética em características estruturais na madeira de *Pinus pinaster* Ait. UTAD, Série Didáctica, Ciências Aplicadas nº 143, Vila Real, 293.
- Mendes, J.C., Bettencourt, M.L.: 1980, O Clima de Portugal – Contribuição para o estudo do balanço climatológico de água no solo e classificação climática de Portugal Continental, Fasc. XXIV. Instituto Nacional de Meteorologia e Geofísica: 287.
- Michalko, J., Berta, J., Magic, D.: 1986, Geobotanická mapa ČSSR – Slovenská socialistická republika [Geobotanical Map of Czechoslovakia, Slovak Socialist Republic]. Veda, Bratislava.
- Miklós, L., Hrnčiarová, T. (eds.): 2002. Atlas krajiny Slovenskej republiky [Landscape atlas of the Slovak Republic]. Ministerstvo životného prostredia SR, Bratislava & Slovenská agentúra životného prostredia, Banská Bystrica.
- Miranda, P., Valente, M., Tomé, A., Trigo, M., Coelho, F., Aguiar, A., Azevedo, E.: 2006, The Portuguese climate in the 20th and 21st centuries, in Santos e Miranda (eds.), Gradiva, 47.
- Ogurtsov, M.G., Kocharov, G.E., Lindholm, M., Merilainen, J., Eronen, M., and Nagovitsyn, Yu.A., 2002: Evidence of solar variation in tree-ring-based climate reconstructions, *Solar Phys.*, **205**, 403.
- Prestes, A., Rigozo, N.R., Nordemann, D.J.R., Wrasse, C.M., SouzaEcher, M.P., Echer, E., daRosa, M.B., Rampelotto, P.H.: 2011, Sun–earth relationship inferred by tree growth rings in conifers from Severiano De Almeida, Southern Brazil, *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, **73**, 1587–1593
- Shumilov, O. I., Kasatkina, E. A., Mielikainen, K., Timonen, M. and Kanatjev, A.G.: 2011, Palaeovolcanos, Solar activity and pine tree-rings from the Kola Peninsula (northwestern Russia) over the last 560 years, *Int. J. Environ. Res.*, **5**(4): 855-864.
- Surový P., Ribeiro N. A., Pereira J. S., Dorotovič I., 2008: Influence of solar activity cycles on cork growth – a hypothesis, *Proc. of the 19th National Solar Physics Meeting*, Papradno 2008, ed. I. Dorotovič, SÚH Hurbanovo (published on CD), 67.
- Torrence, C., Compo, G.: 1998, *Bulletin of the American Meteorological Society*, **79**, 61.