

Bioklimatológia lesa – história, súčasnosť a perspektívy jej vývoja na Slovensku

J. ŠKVARENINA ⁽¹⁾, F. MATEJKA ⁽²⁾, K. ŠTRÉLCOVÁ ⁽¹⁾, J. MINDÁŠ ⁽³⁾, P. FLEISCHER ⁽⁴⁾, T. HURTALOVÁ ⁽²⁾,
L. TUŽINSKÝ ⁽¹⁾, V. ČABOUN ⁽⁵⁾, Z. SITKOVÁ ⁽⁵⁾ and T. HLÁSNY ⁽⁵⁾

⁽¹⁾ Technická univerzita, Lesnícka fakulta vo Zvolene (e-mail: jarosk@vsld.tuzvo.sk, strelcov@vsld.tuzvo.sk)

⁽²⁾ Geofyzikálny ústav SAV, Bratislava (e-mail: geofmate@savba.sk, geoftahu@savba.sk)

⁽³⁾ Lesy SR, Banská Bystrica (e-mail: jozef.mindas@lesy.sk)

⁽⁴⁾ Výskumná stanica TANAP-u, Tatranská Lomnica (e-mail: fleischer@post.sk)

⁽⁵⁾ Národné lesnícke centrum - Lesnícky výskumný ústav, Zvolen
(e-mail: Vladimir.Caboun@nlcsk.org Tomas.Hlasny@nlcsk.org Zuzana.Sitkova@nlcsk.org)

Abstract

The contribution presents a selected overview of the history and current status of the forest bioclimatology in Slovakia together with a projection of the future needs for the research in this field. The present status of the research on the microclimate of forest stands is reviewed in relation to changing objectives of this interdisciplinary scientific activity and research priorities are identified. The first meteorological measurements in forest stands on the Slovak territory were carried out in 1898 at the locality of Kysihýbel (Štiavnické vrchy Mts., Central Slovakia). Over the past few decades, the research on the forest bioclimatology in Slovakia was concentrated mainly in four institutions, namely at the Technical University in Zvolen, at the National Forest Centre in Zvolen, at the Research Station of the Tatra National Park in Tatranská Lomnica and at selected institutes of the Slovak Academy of Sciences. In the last three decades, the climatic functions of forests were understood from more general aspects and the bioclimatology become a part of a research on the forest ecosystems in Slovakia. Despite all this, there is a strong need for better understanding the influence of forest on biosphere - atmosphere interactions and their impact on the climate system at present as well as in conditions of expected climate change.

Key words: *bioclimatology, research, education, climate change, Slovakia*

1. Úvod

Lesy v Slovenskej republike pokrývajú viac ako 40 % plochy z celého územia. Lesné ekosystémy sú zložité, vysoko organizované spoločenstvá rastlín a živočíchov, ktoré fungujú v súlade so svojím abiotickým prostredím vo vzájomnom ovplyvňovaní sa navzájom. Vplyvy lesov sa v krajine prejavujú v atmosfére, hydrosfére i v pôde – v mikro až mezoklimatickom režime krajiny (funkcia klimatická, resp. bioklimatická), v kolobehu vody v krajinnom prostredí (funkcia hydrická, resp. vodohospodárska), ale aj vo filtrácii polutantov, hluku, nepriaznivého elektromagnetického žiarenia (funkcia hygienická). K nemenej dôležitým funkciám patrí aj viazanie resp. uvoľňovanie CO₂, kedy hovoríme o tzv. sekvestračnej funkcii. Lesy ochraňujú poľnohospodárske pôdy pred nepriaznivou vodnou bilanciou, suchom, vetrom, chladom a snežnou radiáciou, zachovávajú vodu a chránia

pôdu pred eróziou, ochraňujú človeka, poskytujú mu priestor pre regeneráciu, atď. V stabilnom a funkčne účinnom lese pôsobí klimatická funkcia spravidla kladne. Nepriaznivý účinok sa dostavuje pri negatívnych zmenách ekologických podmienok antropogénnou činnosťou, pôsobením abiotických a biotických škodlivých činiteľov.

Vzhľadom na vyvíjajúci sa zdravotný stav lesov, pretrvávajúce negatívne, najmä antropogénne vplyvy na lesné prostredie vznikla nevyhnutná potreba zabezpečenia bioklimatického výskumu, ktorý v interakcii vzťahov pôda - rastlina - ovzdušie možno považovať za prioritný. Cieľom tohto príspevku je predstaviť najdôležitejšie medzníky vo vývoji lesníckej bioklimatológie na Slovensku v ich historickom vývoji, poukázať na súčasný stav a budúce smerovanie.

2. Stručný prehľad historického vývoja lesníckej bioklimatológie na Slovensku

Význam klímy v lesníctve sa odzrkadlil už v samotných počiatkoch lesníckeho výskumu. Pri vzniku Ústrednej výskumnej lesníckej stanice v sídle Lesníckej akadémie v Banskej Štiavnici a štyroch pokusných staníc v sídle horárskych škôl (1898) sa hneď od prvých rokov začal aj v skromných podmienkach organizovať intenzívny výskum, pričom mimoriadna pozornosť sa venovala predovšetkým meteorologickým pozorovaniam. Napr. v Kysihýbli už na konci roka 1899 bola pozorovacia stanica vybavená týmito prístrojmi: barometer, psychrometer, teplomery na meranie maximálnej a minimálnej teploty vzduchu. V lesnej škôlke boli umiestnené 3 teplomery na meranie teploty pôdy v hĺbke 15, 30 a 60 cm (Kováčová 1878). Od konca 50-tych rokov minulého storočia môžeme vývoj bioklimatológie lesa spájať predovšetkým s činnosťou štyroch inštitúcií:

- Výskumného ústavu lesného hospodárstva (VÚLH) resp. Lesníckeho výskumného ústavu (LVÚ), dnes Národného lesníckeho centra (NLC) vo Zvolene
- Vysoké školy lesníckej a drevárskej (VŠLD), dnes Technickej univerzity (TU), Lesníckej fakulty (LF), vo Zvolene
- Výskumnej stanice TANAP-u v Tatranskej Lomnici
- Geovedných pracovísk Slovenskej akadémie vied.

2.1 Bioklimatologický výskum lesa v Národnom lesníckom centre - Lesníckom výskumnom ústave

V súvislosti so spoločenskými zmenami v roku 1989 vznikol v roku 1991 na Lesníckom výskumnom ústave Odbor ekológie a ekofyziológie lesných drevín (od r. 1995 Odbor lesného prostredia, od r. 2003 Odbor ekológie a biodiverzity lesných ekosystémov). V roku 2006 vzniklo zlúčením troch príspevkových organizácií MP SR Národné lesnícke centrum. Inštitúcia bola zriadená ako príspevková organizácia Ministerstvom pôdohospodárstva SR na základe projektu splnutia Lesníckeho výskumného ústavu Zvolen, Lesoprojektu Zvolen, Ústavu pre výchovu a vzdelávanie pracovníkov LVH SR Zvolen do Národného lesníckeho centra so sídlom vo Zvolene. Národné lesnícke centrum – Lesnícky výskumný ústav prebral všetky výskumné aktivity v oblasti lesníctva, vrátane rozvoja výskumu lesníckej bioklimatológie v jej najširších dimenziách zhrňujúcich problematiku dôsledkov klimatických zmien na lesy a lesné hospodárstvo, vplyvu meteorologických činiteľov na ekofyziologické procesy lesných drevín, bilancie emisií skleníkových plynov v lesnom hospodárstve a depozičných procesov.

V r. 1991 sa započali práce na budovaní Výskumno-demonštračného objektu Poľana - Hukavský grúň, kde sa na kvalitatívne novej úrovni rozvinul široko koncipovaný biometeorologický a lesnícko-hydrologický výskum, ako súčasť ekosystémového výskumu lesných spoločenstiev (*Švarenina a kol., 2004*). Monitorovanie fyzikálnych aj chemických parametrov atmosféry v lesných ekosystémoch sa stalo súčasťou medzinárodného kooperatívneho programu "ICP Forest". Lesnícky výskumný ústav v tom období postupne na Slovensku budoval sieť monitorovacích plôch zahrňujúcich o. i. meranie meteorologických veličín, znečistenia ovzdušia a depoziácie.

Od roku 2003 je dominantnou aktivitou pokrývajúcou problematiku klimatickej zmeny a jej dopady na lesy SR projekt s názvom Vplyv klimatickej zmeny na lesy Slovenska (*Mind'áš a kol., 2003*), dotovaný Ministerstvom pôdohospodárstva SR a riešený Národným lesníckym centrom vo Zvolene. Koordinátorom projektu bol doc. Ing. Jozef Mind'áš, CSc. a v poslednom roku riešenia Prof. Ing. Vladimír Čaboun, CSc. Široko koncipovaný projekt je zameraný na pochopenie dopadov klimatických zmien na procesy v lesných ekosystémoch a návrh vhodných adaptačných a mitigačných opatrení. Výsledky projektu majú slúžiť pre potreby strategických rozhodnutí Ministerstva pôdohospodárstva SR. Hlavnými cieľmi úlohy je:

- rozšíriť vedecké poznatky o vplyvoch globálnej klimatickej zmeny na lesné ekosystémy, spresniť prognózy vývoja lesných ekosystémov v podmienkach klimatickej zmeny a na ich základe vypracovať návrh systému adaptačných a mitigačných opatrení pre ich trvalo udržateľné obhospodarovanie a plnenie všetkých požadovaných funkcií (ekologické, ekonomické a sociálne) a pre potreby strategických rozhodnutí rezortu

- vytvoriť experimentálnu bázu na objektivizáciu bilancovania zásob uhlíka v lesných ekosystémoch, vytvoriť a overiť národnú metodiku bilancovania emisií skleníkových plynov v sektore využívania krajiny a lesníctva a navrhnúť systém monitorovania bilančných zmien skleníkových plynov pre sektor lesného hospodárstva
- konkretizovať metódy ochrany lesa proti škodlivým faktorom, definovať preventívne opatrenia a vytvoriť stratégiu integrovanej ochrany lesa v podmienkach klimatickej zmeny
- konkretizovať opatrenia vo vzťahu k naplneniu záväzkov Kjótskeho protokolu v podmienkach lesného hospodárstva.

Na uvedený projekt tematicky nadväzuje ďalšia štátna úloha „Rekonštrukcia nepôvodných lesných spoločenstiev ohrozených zmenou prírodných podmienok (najmä klímy) na ekologicky stabilnejšie ekosystémy“. Koordinátorom projektu bol doc. Ing. Marek Turčáni, PhD., následne Ing. Vladimír Šebeň, PhD. Úloha sa zaoberá procesmi hynutia nepôvodných lesných porastov mimo areálu ich prirodzeného výskytu (najmä smreka) a dopadmi zmien prírodných podmienok na ich zdravotný stav, produkciu, ekologickú stabilitu a možnosti konverzie na stabilnejšie ekosystémy. Pozornosť je taktiež venovaná ekonomickému zhodnoteniu dopadov hynutia a náročnosti navrhovaných opatrení. Úloha zabezpečuje výskum v oblasti:

- priestorovej distribúcie hynutia nepôvodných smrekových porastov na Slovensku v regionálnej mierke
- poznania hlavných činiteľov podieľajúcich sa na hynutí nepôvodných smrečín a pochopenie mechanizmu ich pôsobenia
- aplikácie zistených poznatkov pri optimalizácii rekonštrukcií nepôvodných lesných spoločenstiev.

Problematiky bioklimatológie sa čiastkovo dotýka aj ďalšia široko zameraná štátna úloha „Výskum, klasifikácia a uplatňovanie funkcií lesa v krajine“. Zodpovedný riešitelia projektu sú Ing. Martin Moravčík, CSc., Prof. Ing. Vladimír Čaboun, CSc. a Ing. Jozef Tutka, CSc. (*Moravčík a kol., 2006*). V súlade s lesníckou stratégiou EÚ je jedným zo základných cieľov lesníckej politiky na Slovensku presadzovanie polyfunkčného (funkčne integrovaného) obhospodarovania lesov a ochrana potenciálu ich funkcií v celej šírke. Preto je treba vyriešiť spôsob ekonomického zabezpečenia celého rozsahu spoločenskej potreby na funkčné úžitky z lesov v nadväznosti na ostatné nástroje lesníckej politiky. Projekt sa v tomto duchu zameriava na:

- vedecké zhodnotenie najnovších poznatkov o funkčných účinkoch lesa v reálnych ekologických, lesohospodárskych a sociálno-ekonomických podmienkach s využitím poznatkov ekológie, environmentalistiky a ekonomiky prírodných zdrojov
- analýzu a zhodnotenie princípov, metód a postupov a návrh metód a algoritmov hodnotenia a oceňovania funkcií lesa
- implementáciu systematiky, hodnotenia a oceňovania funkcií lesa v riadiacom, legislatívnom a plánovacom procese

V rámci projektu je riešená problematika hydrických funkcií lesa, ktorej cieľom je vyhodnotiť vplyv rozličných typov lesných ekosystémov na hydrologický režim vybraných území a zovšeobecnenie výsledkov pre potreby kvantifikácie vybraných hydrických funkcií lesa v rámci SR. Na základe poznania interakcií „les – voda – ďalšie podmienky prostredia“ (*Mind'áš, Škvarenina, 1995*) bude vybudovaný expertný systém, umožňujúci s využitím údajov z existujúcich databáz predikovať mieru, akou jednotlivé ekosystémy plnia svoje hydrické funkcie.

Trojicu projektov dopĺňa projekt financovaný EC „Central and Eastern Europe Climate Change Impact and Vulnerability Assessment“ riešený od roku 2006 (*Halenka a kol., 2006*). Projekt je zameraný na regionálne modelovanie zmien klímy v rozlíšení 10 km, pre potreby impaktových štúdií v oblasti vodného manažmentu, poľnohospodárstvo a lesníctva, znečistenia ovzdušia v urbánnych oblastiach. NLC-LVÚ je organizáciou koordinujúcou pracovnú skupinu „Dopady klimatických zmien na poľnohospodárstvo a lesníctvo“. Koordinátorom je RNDr. Tomáš Hlásny, PhD. V oblasti lesníctva je pozornosť venovaná dopadom klimatických zmien na produkciu drevín, dynamiku škodcov

a patogénov a návrhu opatrení. Hodnotený je dopad tak dlhodobých procesov zmeny klímy ako aj extrémov počasia.

2.2 Výučba a výskum lesníckej bioklimatológie na univerzite vo Zvolene

V lesnom hospodárstve má bioklimatológia nezastupiteľné miesto, bioklimatologický faktor často vstupuje až do rozhodovacích procesov lesníckej praxe. Pestovanie lesov, ochrana lesov, lesnícke meliorácie, ale aj ďalšie vedné disciplíny sa nemôžu uplatniť bez patričných poznatkov a vedomostí z mikrometeorológie, mikroklimatológie a lesníckej bioklimatológie. Rozhodujúca úloha v tomto smere patrí výchove odborníkov na TU vo Zvolene.

Začiatky silvimeteorológie na VŠ poľnohospodárskeho a lesného inžinierstva v Košiciach (prednášal prof. Maláč), po presťahovaní vysokej školy do Zvolena (doc. Intribus, doc. Petřík) sú podrobne spracované v publikácii ŠKVARENINA a kol., (1995) a ďalších. V uvedenom období sa vyučovali prednášky z lesníckej bioklimatológie spravidla v letnom semestri, zvyčajne v rozsahu: 2 hodiny prednášky, 2 hodiny cvičenia v týždni a 24 hodinové mikrometeorologické merania. Ako študijná literatúra študentom slúžili vysokoškolské skriptá (Intribus, 1963, Petřík, 1970, 1975, ...) a knižná publikácia (Intribus, 1964). V roku 1986 vychádza celoštátna učebnica zvolenských a brnenských autorov (Petřík a kol., 1986), ktorá bola významným záverom disciplíny 80-tych rokov.

Spoločenské zmeny po novembri 1989 určitou mierou ovplyvnili aj výučbu a zameranie lesníckej bioklimatológie. Problematika znečisťovania ovzdušia bola v osnovách bioklimatológie koncom osemdesiatych rokov pomerne nepovšimnutá. V r. 1991 začína výučba predmetu "Meteorológia a klimatológia" na novej Fakulte ekológie a environmentalistiky TU (FEE). Do dôchodku odchádza doc. Ing. Matej Petřík, CSc. Prednášky v ďalšom období gestorujú doc. Ing. Ladislav Tužinský, CSc. a Ing. Jaroslav Škvarenina, CSc., cvičenia zabezpečuje Ing. Katarína Střelcová a doktorandi katedry.

Do výučby sa postupne zaraďuje aktuálny bioklimatologický jav - znečistenie atmosféry. Táto problematika sa vyučuje v už spomínaných obligatórnych predmetoch (Bioklimatológia - LF, Meteorológia a bioklimatológia LF odbor Ekológia lesa, Meteorológia a klimatológia - FEE), ako aj v rámci voliteľných predmetov: Monitoring prírodného prostredia a bioty, Hygiena a znečisťovanie.

Prechodom slovenského vysokého školstva na trojstupňové štúdium (bakalársky, inžiniersky a doktorandský stupeň) došlo aj k zmenám vo výučbe bioklimatologických predmetov. V tabuľke 1 sú uvedené predmety, ktoré sa akreditovali v rámci novej štruktúry študijných programov na TU vo Zvolene. Výučbu zabezpečujú: prof. Ing. J. Škvarenina, CSc., doc. Ing. K. Střelcová, PhD., Prof. Ing. Ladislav Tužinský, CSc., a doktorandi katedry.

Tab. 1. Zoznam predmetov súvisiacich s bioklimatológiou lesa, ktoré sa akreditovali v rámci novej štruktúry študijných programov na TU vo Zvolene.

Predmety gestor	Fakulta Št. program	Stupeň
Povinné predmety		
Bioklimatológia doc. Ing. K. Střelcová, PhD.	LF Lesníctvo	I. bakalársky
Bioklimatológia doc. Ing. K. Střelcová, PhD	LF Apl.zool. a poľovníctvo	I. bakalársky
Fyzická geografia, meteorológia a ekoklimatológia prof. Ing. J. Škvarenina, CSc.	FEE Ekológia krajiny	I. bakalársky
Fyzická geografia, atmosféra a hydrosféra prof. Ing. J. Škvarenina, CSc.	FEE Ekológia a ochrana biodiverzity	I. bakalársky
Ekoklimatológia lesa a krajiny, prof. Ing. J. Škvarenina, CSc. doc. Ing. K. Střelcová, PhD	LF Ekológia lesa	II. inžiniersky
Fytogeografia lesných spoločenstiev prof. Ing. J. Škvarenina, CSc.	LF Ekológia lesa	II. inžiniersky
Modelovanie rozptylu škodlivín v životnom prostredí prof. Ing. J. Škvarenina, CSc.	FEE Environmentálne inžinierstvo	II. inžiniersky III. doktorandský
Povinne voliteľné predmety		
Znečisťovanie ovzdušia prof. Ing. J. Škvarenina, CSc.	Ekológia lesa	II. inžiniersky
Globálne zmeny klímy a lesné ekosystémy, prof. Ing. J. Škvarenina, CSc.	Ekológia lesa	II. inžiniersky
Bioklimatológia prof. Ing. J. Škvarenina, CSc.	LF 6.4.2 Hydromeliorácie	III. doktorandský

Stav a úroveň výskumnej práce v odbore bioklimatológia na vysokej škole lesníckej a drevárskej (VŠLD) a Technickej univerzite (TU) vo Zvolene boli podmienené na jednej strane spoločenskou objednávkou, na strane druhej personálnymi, technickými a finančnými možnosťami pracoviska. Lesnícka bioklimatológia sa na zvolenskej škole nevyvíjala v podmienkach samostatného pracoviska. Spočiatku to bolo v rámci katedry pedológie a geológie, neskôr v rámci širokospektrálnej katedry lesného prostredia (spolu s geológiou, pedológiou, botanikou, fyziológiou rastlín, fytocenológiou a typológiou a ekológiou lesa) a od r. 1990 na katedre prírodného prostredia (geológia, pedológia). Tieto skutočnosti mali pozitívne, ale aj negatívne pôsobenie na úroveň bioklimatológie na TU vo Zvolene. K nesporným pozitívam patril fakt, že výuka i výskum lesníckej a ekologicky orientovanej bioklimatológie sa realizoval v prostredí komplexného chápania ekosystému lesa a krajiny, pri rešpektovaní chápania vzájomných súvislostí medzi atmosférickými procesmi a pôdno-ekologickými väzbami a pri rešpektovaní vzťahov medzi klímou, bioklimou, reliéfom na jednej strane a lesným (rastlinným) ekosystémom na strane druhej. Podobne aj vedecký výskum sa orientoval na sledovanie komplexu vzťahov v systéme pôda – rastlina – atmosféra. Hlavným nedostatok tohto

organizačného začlenenia možno vidieť vo fakte, že bioklimatológia sa na rozdiel od pôdohospodárskych univerzít okolitých krajín nemohla z administratívno-technických príčin etablovať na samostatnom pracovisku. Dôsledkom uvedeného organizačného začlenenia bioklimatológie bola absencia samostatných profilových projektov a určitá personálna, materiálno-technická podviazanosť disciplíny.

V posledných rokoch bioklimatologické pracovisko na TU vo Zvolene získalo, resp. sa podieľalo na riešení projektov domácich i zahraničných grantových agentúr, napríklad:

- Americko - slovenský projekt „Slovak Republic’s Country Study“ v rámci programu „U.S.Government Support for Country Studies to Address Climate Change“ – US EPA - part Forestry (koordinácia prof. Lapin, v spolupráci s LVÚ dr. Mind’áš)
- Nórsko - slovenský projekt „Mapping critical levels/loads for the Slovak republic” – NIVA Oslo, Norway
- WARM project (Wildland – urban Area Fire Risk Management) súčasť 5. Rámcového programu EÚ pre vedu a výskum. Výskum krajinných lesných požiarov v Európe (koordinácia prof. Holécy, v spolupráci s LVÚ dr. Mind’áš)
- CARBOMONT (Effects of land-use changes on sources, sinks and fluxes of carbon in European mountain areas) - súčasť 5. Rámcového programu EÚ pre vedu a výskum (koordinácia Ing. Oszlányi, v spolupráci s LVÚ dr. Mind’áš, dr. Priwitzer).

VEGA- projekty vedeckej grantovej agentúry MŠ SR

- ŠKVARENINA, J. 1995: Charakteristika predpokladaných dôsledkov zmien klímy a chemizmu atmosféry na vybrané lesné ekosystémy Karpát a ich obhospodarovanie
- ŠKVARENINA, J. a kol. 1999: Meniace sa zloženie atmosféry, predpokladané klimatické zmeny, vplyv na lesné ekosystémy a ich obhospodarovanie.
- ŠKVARENINA, J. a kol. 2002-2004: Adaptačná stratégia lesných ekosystémov na predpokladané klimatické zmeny v podmienkach pretrvávajúcej imisnej záťaže.
- ŠKVARENINA, J. a kol. 2005-2007: Analýza dôsledkov klimatických zmien na lesné ekosystémy Západných Karpát a návrh adaptačných a mitigačných opatrení.
- STŘELCOVÁ a kol. 2002-2004: Výpar a vodná bilancia modelových lesných ekosystémov v rôznych nadmorských výškach s ohľadom na meniace sa podmienky prostredia.
- STŘELCOVÁ a kol. 2005-2007: Transport vody, chemických látok a energie v horských lesných ekosystémoch v podmienkach klimatickej zmeny.

KEGA - Kultúrna a edukačná grantová agentúra MŠ SR

- STŘELCOVÁ a kol., 2007-2009: Tvorba virtuálneho laboratória meteorológie a bioklimatológie s E-learningom pomocou implementácie dát digitálnych automatických meraní a ich internetového on-line prenosu do procesu výučby.

APVT – Agentúra pre podporu vedy a techniky

- ŠKVARENINA, J. a kol. 2002 – 2005: Regionalizácia klimatických pomerov a imisnej záťaže podľa lesných oblastí a geomorfologických celkov Slovenska.

Vedecko-výskumné aktivity na TU prebiehajúce prakticky od 60-tych rokov minulého storočia až po súčasnosť, môžeme zhrnúť do týchto tematických oblastí:

- mikroklima lesných typov, mikroklima ako súčasť stanovištných podmienok lesných biotopov,
- mikroklima pri prevodoch nízkych (výmladkových) lesov, mikroklimatické mapovanie, mikroklimatické aspekty ošetrovania lesných kultúr, mikroklimatické závislosti tvorby rosy,
- mikroklimatické a bioklimatické pomery v pralesných ekosystémoch, bioklimatické podmienky prirodzenej obnovy v lesných ekosystémoch,
- snehová pokrývka a premrzanie pôdy v lesných spoločenstvách,
- zrážkové pomery jedľobučiny, tvorba horizontálnych zrážok a ich imisná záťaž,

- kyslosť, chemizmus a kvalita porastových zrážok, výskyt hmiel na Slovensku a ich imisná charakteristika,
- atmosférická imisná depozícia a jej ekologické limity v lesoch SR,
- transpirácia a evapotranspirácia v lesných porastoch,
- sucho a zrážková zabezpečenosť ekosystémov, klimatická vodná bilancia a rastové reakcie lesných drevín,
- klimatické zmeny vs. lesné ekosystémy,
- meteorologické podmienky vzniku lesných požiarov,
- biometeorologické aspekty hromadného hynutia lesov,
- fenologické prejavy lesných drevín vo vzťahu k biometeorologickým podmienkam.

Bioklimatické stanice a objekty

Bioklimatologické pracovisko zabezpečovalo aj monitoring meteorologických prvkov na území Vysokoškolského lesníckeho podniku TU vo Zvolene (predtým ŠLP VŠLD). Počiatky siahajú do 60-tych rokov minulého storočia, kedy sa prevádzkovala doplnková mezoklimatická sieť staníc s využitím mechanických registračných prístrojov (termohygrografy) pod odborným vedením doc. Petrika a Ing. Slávika (*Kolektív autorov, 1971, Petrik, 1978, Slávik, 1983*). V dôsledku technických a organizačných nedostatkov sieť postupne zanikla.

V osemdesiatych rokoch začali aj vo zvolenských pomeroch nachádzať uplatnenie prvé automatizované meteorologické stanice, ich prevádzka je spojená s osobami Ing. Střelca, Ing. Krajčoviča, Ing. Střelcovej a Ing. Škvareninu. Toto obdobie bolo žiaľ spojené s pomerne veľkou poruchovosťou zariadení a preto malo praktické používanie automatických staníc skôr epizodický charakter účelovo viazaný na riešenie konkrétnych projektov, (*Střelec, 1993, Škvarenina, 1993*). 80-te roky sú spojené aj s činnosťou komplexného ekologického výskumného objektu v pralese jedľovej bučiny v NPR Mláčik v Kremnických vrchoch. Významné výsledky sa dosiahli v sledovaní zrážkového režimu, monitoringu acidity a chemického zloženia zrážok, osobitne horizontálnych zrážok.

Prelomovou fázou v používaní bolo zakúpenie a sprevádzkovanie automatickej meteorologickej stanice DELTA-T anglickej proveniencie, a jej inštalácia v profile lesného porastu na výskumno-demonštračnom objekte Poľana - Hukavský grúň, práce viedol a organizoval Dr. Mind'áš z Lesníckeho výskumného ústavu vo Zvolene. Na danom objekte vznikol rad kvalitných biometeorologických pozorovaní základných mikrometeorologických prvkov a prispel k napísaniu veľkého množstva kvalitných vedeckých prác, (*Mind'áš, 1999, Střelcová, 2000 a ďalšie*). K stanici na Hukavskom grúni začiatkom 90-tych rokov pribudla meteorologická veža a monitorovacia stanica na Prednej Poľane (*Škvarenina, Mind'áš, Střelcová, 2004*). V súčasnosti sa prevádzkuje sieť biometeorologických staníc s online prenosom v rámci Vysokoškolského podniku TU a Biosférickej rezervácie CHKO Poľana (*Střelcová-Škvarenina, 2006*).

2.3 Bioklimatologický výskum lesa na Výskumnej stanici TANAP-u

Už viac ako 50 rokov pôsobí v tatranskej oblasti Výskumná stanica TANAP-u, ktorej široko koncipované výskumné aktivity majú v mnohých prípadoch silný bioklimatologický aspekt. Rozvoju takto orientovaného výskumu pomohla široká medzinárodná vedecká spolupráca realizovaná v posledných desiatich rokoch v rámci medzinárodných projektov. Z hľadiska lesníckej bioklimatológie sa dosiahli významné výsledky v oblasti monitoringu meteorologických parametrov v sieti automatických staníc merajúcich od roku 2000 na 15 lokalitách zrážky, teplotu a relatívnu vlhkosť vzduchu, smer a rýchlosť vetra v siedmich lokalitách, slnečné žiarenie v šiestich lokalitách a teplotu pôdy v piatich lokalitách. Informácie o charakteristikách prízemnej vrstvy atmosféry sú od roku 2006 doplnené meraniami vlhkosti pôdy gravimetricky a kapacitnou sondou na piatich lokalitách.

Koncentrácia prízemného ozónu sa meria pozdĺž výškového profilu od roku 1998. Na ploche tvoriacej súčasť ICP Forest II situovanej na južnej strane Vysokých Tatier sa od roku 1998 sleduje množstvo a chemizmus zrážok s dvojtýždňovým cyklom odberu vzoriek. Pozornosť je tiež venovaná množstvu a chemizmu lyzimetrických vôd v pôdnom profile do hĺbky 35 cm. Od roku 2005 sa meria výška a vodná hodnota snehu na výškovom transekte.

Interpretácia získavaných experimentálnych údajov umožňuje v širokom rozsahu skúmať biotické a abiotické zmeny v súvislosti s globálnymi klimatickými zmenami, ako aj vzťahy medzi charakteristikami okolitého prostredia a vývojom podkôrneho hmyzu. Získané poznatky nachádzajú uplatnenie pri analýze zdravotného stavu lesných porastov, pri biometrickom hodnotení lesných porastov a kosodreviny, pri prognóze procesu vývoja podkôrneho hmyzu s presnosťou stanovenia rojenia na jeden deň a pri stanovení populačnej dynamiky chránených druhov živočíchov v tatranskej oblasti.

2.4 Bioklimatologický výskum lesa na pracoviskách Slovenskej akadémie vied

S problematikou lesníckej bioklimatológie priamo alebo nepriamo súviseli viaceré výskumné aktivity vykonávané počas Medzinárodného biologického programu v lokalite Báb pri Nitre. V rámci komplexného interdisciplinárneho ekosystémového výskumu sa tu riešila aj výskumná úloha „Výskum radiačnej a tepelnej bilancie v rôznych ekosystémoch“. Jej ťažiskovou časťou bol výskum mikroklimy dubovo-hrabového lesa a jeho vplyv na prízemnú vrstvu atmosféry, ktorý personálne a technicky zabezpečovali riešitelia z bývalého Ústavu meteorológie a klimatológie SAV, resp., po roku 1975, už ako pracovníci Geofyzikálneho ústavu SAV.

Pri riešení tejto úlohy bola venovaná značná pozornosť časovej a priestorovej variabilite meteorologických prvkov v korunách stromov a v najnižších vrstvách ovzdušia nad korunami. Podrobne boli spracované najmä radiačné pomery, náležitá pozornosť bola však venovaná aj teplote vzduchu v produkčnom priestore a v prízemnej vrstve atmosféry nad korunami stromov (Smolen, 1970, Smolen a Matejka, 1982).

Z metodického hľadiska možno niektoré postupy použité pri mikroklimatických meraniach v lesnom poraste v Bábě označiť, v našich podmienkach a v danej dobe, ako priekopnícke. Pravdepodobne po prvý raz boli na území Slovenska merané meteorologické prvky v lesnom poraste pomocou elektrických snímačov neelektrických veličín, ktoré boli inštalované na 30 metrov vysokej kovovej veži trubkovej konštrukcie, pričom výstupné napätia merala a registrovala meracia ústredňa skonštruovaná na tranzistorovej báze. Prvotné spracovanie nameraných údajov prebiehalo v reálnom čase a získané výsledky boli archivované s časovým krokom desať minút ako zápisy elektrickým písacím strojom a súčasne vo forme záznamov na diernej páske.

V tomto období boli získané cenné výsledky aj v oblasti ekofyziológie, hydrológie, pedológie, ktoré mali súčasne značný význam pre lesnícku bioklimatológiu. V sledovanom lesnom poraste bol po prvý raz na Slovensku použitý pri výskume uhlíkovej bilancie lesa plynový analyzátor typ URAS-2 (Ústav experimentálnej biológie a ekológie SAV), pracovníci vtedajšieho Ústavu hydrológie a hydrauliky SAV experimentovali s meraním transpiračného prúdu a ako ďalšiu charakteristiku vodného režimu lesa začali využívať výsledky merania teploty povrchu listov.

Na niektoré aktivity z oblasti lesníckej bioklimatológie, ktoré odštartovali počas Medzinárodného biologického programu v Bábě neskôr čiastočne nadviazal mikroklimatický výskum malokarpatskej oblasti vykonávaný v rokoch 1976 – 1980 v rámci čiastkových úloh hlavnej úlohy vtedajšieho Štátneho programu základného výskumu VI-2-1 „Funkcia štruktúra a produktivita lesných ekosystémov Malých Karpát“, (kordinačným pracoviskom bol Ústav experimentálnej biológie a ekológie SAV), ktorá svojim zameraním zapadala do projektu MAB2 medzivládneho programu Človek a biosféra (MAB). V rámci takto orientovaného výskumu boli získané nové poznatky o mikroklimatických pomeroch malokarpatských lesov, o ich mikroklimatických účinkoch a podmienkach pre stabilitu lesnej klímy v tejto oblasti.

2.5 Budúcnosť bioklimatologického výskumu lesa na Slovensku

Hlavné smery súčasnej a budúcej orientácie bioklimatického výskumu sú orientované na riešenie širšie koncipovaných otázok zhoršovania zdravotného stavu lesov, úlohy lesov v globálnych biogeochemických cykloch, dôsledkov klimatických zmien a trvalo udržateľného obhospodarovania lesov. Hlavné oblasti bioklimatického výskumu, ktoré sa na Slovensku v súčasnosti riešia, plne korešpondujú so smermi a orientáciou výskumu v lesníckych vyspelých krajinách a môžeme ich formulovať takto:

- výskum polutantov, fotooxidantov, acidifikácie a eutrofizácie zrážok, stanovenie a hodnotenie kritických záťaží vo vzťahu k meniacim sa globálnym klimatickým pomeroch

- kvantifikácia jednotlivých zložiek vodnej bilancie lesných porastov, ekofyziologické procesy lesných drevín, ako aj zo širšieho hľadiska vodohospodárskej, vodoochranej a protipovodňovej funkcie lesných ekosystémov
- bioklimatické hodnotenie zonality lesných spoločenstiev v meniacich sa klimatických pomeroch
- Výskum dôsledkov klimatických zmien na lesné ekosystémy, vplyv rastu extremity atmosférických dejov a prírodných rizík na stav lesa
- klimatická podmienenosť vybraných biogeochemických cyklov v lesných spoločenstvách (uhlíkový a dusíkový cyklus)
- moderná prístrojová technika a jej zavádzanie do biometeorologického výskumu a monitoringu.

Napriek mnohým významným výsledkom získaným doteraz v oblasti bioklimatológie lesa je stále aktuálna požiadavka hlbšieho poznania zákonitostí vplyvu lesov na interakcie medzi biosférou a atmosférou a dopad týchto interakcií na stabilitu ekosystému v súčasnosti i v podmienkach predpokladanej zmeny klímy. Lesnícka bioklimatológia sa stáva dôležitou súčasťou širšie koncipovaného bádania, od ktorého sa očakávajú odpovede na naliehavé otázky o vplyve lesov na distribúciu zrážok a na retenčnú schopnosť zalesnených území. Na druhej strane, vplyv atmosférických faktorov na rast, vývoj a produkčné funkcie lesov a tiež mikroklimatické dôsledky pestovateľských zásahov zostávajú stále aktuálne. Je však príznačné, že v posledných desaťročiach silnejú v oblasti lesníckej bioklimatológie interdisciplinárne väzby, čo vytvára predpoklady pre vyšší stupeň zovšeobecniteľnosti získaných poznatkov a pre ich efektívnejšiu aplikáciu.

Pod'akovanie

Práca bola podporená finančnými prostriedkami grantovej agentúry VEGA MŠ SR: číslo projektu: 1/2382/05, 1/2357/05, 1/4393/07, 2/5006/27.

Zoznam použitej literatúry

- [1] Halenka, T. a kolektív., 2006: Central and Eastern Europe Climate Change Impact and Vulnerability Assessment, Project Proposal, Charles University, Prague, 85 s.
- [2] Intribus, R.: Lesnícka meteorológia a klimatológia [Vysokoškolský učebný text], Zvolen, VŠLD, 1963, 165 s.
- [3] Intribus, R.: Klíma v lesnom hospodárstve, Bratislava, SVPL, 1964.
- [4] Kolektív autorov, 1971: Klimatická charakteristika jednotlivých staníc ŠLP z rokov 1965-1970. KPG VŠLD, 1971.
- [5] Mind'áš, J., Škvarenina, J., 1995: Výskum interakčných vzťahov systému atmosféra - lesný ekosystém. In: *Problémy geológie, bioklimatológie a pedológie v súčasných prírodných podmienkach*. Zvolen, Vydavateľstvo Technickej univerzity, 135–139.
- [6] Mind'áš, J., Škvarenina, J., 1998: Využitie meteorologických a hydrologických údajov v lesníctve a súčasný stav lesníckeho bioklimatologického výskumu. In: *Bulletin Slovenskej meteorologickej spoločnosti pri SAV*, Bratislava: Slovenský hydrometeorologický ústav, roč. IX, číslo 3, 16–19.
- [7] Mind'áš, J., 1999: Kvantitatívna a kvalitatívna charakteristika zrážkového režimu jedľo-bukového ekosystému. Dizertačná práca, Zvolen, 138 s.
- [8] Mind'áš, J., Čaboun, V., Priwitzer, T., Zúbrik, M., Moravčík, M., 2003: Vplyv klimatickej zmeny na lesy Slovenska, Správa pre úvodnú oponentúru výskumu a vývoja, NLC-LVÚ, Zvolen, 33 s. (<http://www.tuzvo.sk/sk/meteodata.html>).

- [9] Moravčík, M., Čaboun, V., Tutka, J., Mindáš, J., Jankovič, J., 2006: Výskum, klasifikácia a uplatňovanie funkcií lesa v krajine, Správa pre úvodnú oponentúru výskumu a vývoja, NLC-LVÚ, Zvolen, 20 s.
- [10] Petřík, M., 1978: Charakteristika teploty a vlhkosti ovzdušia na území Školského lesného podniku VŠLD vo Zvolene. *Zb. ved. prác. LF VŠLD vo Zvolene*, 20, 1978, 9–20.
- [11] Petřík, M., 1970, 1975, 1979, 1985 ... : Bioklimatológia a Cvičenia z lesníckej bioklimatológie [Vysokoškolský učebný text], Zvolen, Edičné stredisko.
- [12] Petřík, M., Havlíček, V., Uhrecký, I., 1986: Lesnícka bioklimatológia, Príroda, Bratislava, 352 s.
- [13] Smolen, F., 1970: Meteorologický výskum v rámci medzinárodného biologického programu na Slovensku. *Met. zprávy*, XXIII, 1, 18–23.
- [14] Smolen, F., Matejka, F., 1982: Vertikálne zvrstvenie teploty vzduchu v produkčnom priestore dubovo-hrabového lesa. *Ekológia*, 1, 1, 25–36.
- [15] Střelec, J., 1993: Vybrané prvky mikroklímy v pôde a v prízemnej vrstve vzduchu bukového ekosystému vo vzťahu k ťažbovo-obnovným postupom. Dizertačná práca, ÚEL SAV Zvolen, 101 s.
- [16] Střelcová, K., 2000: Vplyv meteorologických činiteľov na transpiračný prúd a transpiráciu buka v stredohorskej oblasti Poľany. Technická univerzita, Lesnícka fakulta, Zvolen, 125 s.
- [17] Střelcová, K., Škvarenina, J., 2006: Meteorologické laboratórium Technickej univerzity s online prenosom meteorologických údajov z regionálnych meteorologických staníc do internetu, Bul. SBkS SAV, 17–23. (www.tuzvo.sk/files/3_3/katedry_lf/kpp/prirucka_meteo_net_more.doc).
- [18] Škvarenina, J. 1993: Horizontálne zrážky v jedľo-bukovom ekosystéme ako nositeľ depozície vybraných elementov. Kandidátska dizertačná práca, Zvolen, Lesnícka fakulta TU, 114 s.
- [19] Škvarenina, J., Střelcová, K., Mindáš, J., Tužinský, L., 1995: Výučba predmetov meteorológia a bioklimatológia na TU Zvolen. In: Problémy geológie, bioklimatológie a pedológie v súčasných prírodných podmienkach. Zvolen : Vydavateľstvo Technickej univerzity, 187–190.
- [20] Škvarenina, J., Mindáš, J., Střelcová, K., 2004: Bioklimatologický výskum v BR Poľana. In: Sláviková, D. (ed.) Trvalo udržateľné využívanie lesa vo vzťahu k ekologickej stabilite krajiny Biosférickej rezervácie – Chránenej krajinskej oblasti Poľana. Zvolen, 2004, Vydavateľstvo Technickej univerzity vo Zvolene.