

## Záverečná karta projektu

Názov projektu Evidenčné číslo projektu **APVV-15-0270**

**Eutrofizácia prostredia a jej dopady na druhovú diverzitu opadavých lesov temperátnej zóny.**

Zodpovedný riešiteľ **doc. Ing. Karol Ujházy, PhD.**

Príjemca **Technická univerzita vo Zvolene**

### Názov pracoviska, na ktorom bol projekt riešený

Technická univerzita vo Zvolene

### Názov a štát zahraničného pracoviska, ktoré spolupracovalo pri riešení

-

### Udelené patenty/podané patentové prihlášky, vynálezy alebo úžitkové vzory, ktoré sú výsledkami projektu

-

### Najvýznamnejšie publikácie (knihy, články, prednášky, správy a pod.) zhrňujúce výsledky projektu – uveďte aj publikácie prijaté do tlače

De Lombaerde E., Verheyen K., Perring M. P., Bernhardt-Römermann M., Van Calster H., Brunet J., Chudomelová M., Decocq G., Diekmann M., Durak T., Hédli R., Heinken T., Hommel P., Jaroszewicz B., Kopecký M., Lenoir J., Macek M., Máliš F., J.G. Mitchell F., Naaf T., Newman M., Petřík P., Reczyńska K., Schmidt W., Świerkosz K., Vild O., Wulf M., Baeten L. (2018): Responses of competitive understorey species to spatial environmental gradients inaccurately explain temporal changes. *Basic and Applied Ecology* 30: 52–64

Depauw, L., Landuyt, D., Perring, M. P., Blondeel, H., Maes, S. L., Kopecký, M., Máliš, F., Vanhellemont, M. & Verheyen, K. (2019). A general framework for quantifying the effects of land-use history on ecosystem dynamics. *Ecological Indicators* 107, 105395.

Depauw, L., Perring, M.P., Landuyt, D., Maes, S.L., Blondeel, H., De Lombaerde, E., Brūmelis, G., Brunet, J., Closset- Kopp, D., Czerepko, J., Decocq, G., den Ouden, J., Gawryś, R., Härdtle, W., Hédli, R., Heinken, T., Heinrichs, S., Jaroszewicz, B., Kopecký, M., Liepiņa, I., Macek, M., Máliš, F., Schmidt, W., Smart, S.M., Ujházy, K., Wulf, M., Verheyen, K. 2020. Light availability and land- use history drive biodiversity and functional changes in forest herb layer communities. *Journal of Ecology* 108:1411–1425.

Landuyt D., Maes S.L., Depauw L., Ampoorter E., Blondeel H., Perring M.P., Brūmelis G., Brunet J., Decocq G., de Ouden J., Härdtle W., Hédli R., Heinken T., Heinrichs S., Jaroszewicz B., Kirby K.J., Kopecky M., Máliš F., Wulf M., Verheyen K. 2020: Drivers of aboveground understorey biomass and nutrient stocks in temperate deciduous forests. *Journal of Ecology* 108(3): 982-997.

Lembrechts J.J., Aalto J., Ashcroft M.B., ... Čiliak, M., ... Máliš, F. ... et al. 2020: SoilTemp:

A global database of near-surface temperature. *Global Change Biology*, 26 (11): 6616–6629.

Maes, S. L., Perring, M. P., Vanhellemont, M., Depauw, L., van den Bulcke, J., Brūmelis, G., Brunet J., Decocq G., den Ouden, J., Härdtle, W., Hédli, R., Heinken, T., Heinrichs, S., Jaroszewicz, B., Kopecký, M., Máliš, F., Wulf, M., & Verheyen, K. 2019: Environmental drivers interactively affect individual tree growth across temperate European forests. *Global Change Biology* 25: 201–2017

Perring M. P., Diekmann M., Midolo G., Costa D. S., Bernhardt-Römermann M., Otto J. C., Gilliam F.S., Hedwall P-O., Nordin A., Dirnböck T., Simkin S.M., Máliš F., Blondeel H., Brunet J., Chudomelová M., Durak T., De Frenne P., Hédli R., Kopecký M., Landuyt D., Li D., Manning P., Petřík P., Reczyńska K., Schmidt W., Standovár T., Świerkosz K., Vild O., Waller D.M., Verheyen K. 2018: Understanding context dependency in the response of forest understorey plant communities to nitrogen deposition. *Environmental Pollution* 242: 1787–1799

Perring, M. P., Bernhardt-Römermann, M., Baeten, L., Midolo, G., Blondeel, H., Depauw, L., Landuyt, D., Maes, S. L., De Lombaerde, E., Carón, M. M., Vellend, M., Brunet, J., Chudomelová, M., Decocq, G., Diekmann, M., Dirnböck, T., Dörfler, I., Durak, T., De Frenne, P., Gilliam, F. S., Hédli, R., Heinken, T., Hommel, P., Jaroszewicz, B., Kirby, K. J., Kopecký, M., Lenoir, J., Li, D., Máliš, F., Mitchell, F. J.G., Naaf, T., Newman, M., Petřík, P., Reczyńska, K., Schmidt, W., Standovár, T., Świerkosz, K., Van Calster, H., Vild, O., Wagner, E. R., Wulf, M. and Verheyen, K. (2018): Global environmental change effects on plant community composition trajectories depend upon management legacies. *Global Change Biology*, 24(4), 1722-1740.

Seidling, W., Hamberg, L., Máliš, F., Salemaa, M., Kutnar, L., Czerepko, J., Kompa T., Buriánek V., Dupouey JL., Vodálová A., Canullo, R. (2020). Comparing observer performance in vegetation records by efficiency graphs derived from rarefaction curves. *Ecological Indicators*, 109, 105790.

Staude, I. R., Waller, D. M., Bernhardt-Römermann, M., Bjorkman, A. D., Brunet, J., De Frenne, P., Hédli, R., Ute Jandt, U., Lenoir, J., Máliš, F., Verheyen, K., Wulf, M., Pereira, H. M., Vangansbeke, P., Ortmann-Ajkai, A., Pielech, R., Berki, I., Chudomelová, M., Decocq, G., Dirnböck, T., Durak, T., Heinken, T., Jaroszewicz, B., Kopecký, M., Macek, M., Malicki, M., Naaf, T., Nagel, T. A., Petřík, P., Reczyńska, K., Høistad Schei, F., Schmidt, W., Standovár, T., Świerkosz, K., Teleki, B., Van Calster, H., Vild, O. & Baeten, L. 2020: Replacements of small-by large-ranged species scale up to diversity loss in Europe's temperate forest biome. *Nature Ecology & Evolution*, 1-7.

Ujházy, K., Hederová, L., Máliš, F., Ujházyová, M., Bosela, M., & Čiliak, M. 2017: Overstorey dynamics controls plant diversity in age-class temperate forests. *Forest Ecology and Management* 391: 96–105.

Ujházy, K., Ujházyová, M., Bučinová, K., Čiliak, M., Glejdura, S., & Mihál, I. 2018: Response of fungal and plant communities to management-induced overstorey changes in montane forests of the Western Carpathians. *European Journal of Forest Research* 137(2): 169-183.

Verheyen, K., Bažány, M., Čečko, E., Chudomelová, M., Closset- Kopp, D., Czortek, P., Decocq, G., De Frenne, P., De Keersmaeker, L., Enríquez García, C., Fabšičová, M., Grytnes, J.A., Hederová, L., Hédli, R., Heinken, T., Schei, F.H., Horváth, S., Jaroszewicz, B., Jermakowicz, E., Klinerová, T., Kolk, J., Kopecký, M., Kuras, I., Lenoir, J., Macek, M., Máliš, F., Martinessen, T.C., Naaf, T., Papp, L., Papp- Szakály, Á., Pech, P., Petřík, P., Prach, J., Reczyńska, K., Sætersdal, M., Spicher, F., Standovár, T., Świerkosz, K., Szcześniak, E., Tóth, Z., Ujházy, K., Ujházyová, M., Vangansbeke, P., Vild, O., Wołkowycki, D., Wulf, M., Baeten L. 2018: Observer and relocation errors matter in resurveys of historical vegetation plots. *Journal of Vegetation Science* 29: 812–823.

Zellweger, F., Coomes, D., Lenoir, J., Depauw, L., Maes, S. L., Wulf, M., ... & Schmidt, W. (2019). Seasonal drivers of understorey temperature buffering in temperate deciduous forests across Europe. *Global Ecology and Biogeography* 28(12): 1774-1786.

Zellweger, F., De Frenne, P., Lenoir, J., Vangansbeke, P., Verheyen, K., Bernhardt-Römermann, M., Baeten, L., Hédli, R., Berki, I., Brunet, J., Van Calster, H., Chudomelová, M., Decocq, G., Dirnböck, T., Durak, T., Heinken, T., Jaroszewicz, B., Kopecký, M., Máliš, F., Macek, M., Malicki, M., Naaf, T., Nagel, T. A., Ortmann-Ajkai, A., Petřík, P., Pielech, R., Reczyńska, K., Schmidt, W., Standovár, T., Świerkosz, K., Teleki, B., Vild, O., Wulf, M., Coomes, D. 2020: Forest microclimate dynamics drive plant responses to warming,

### **Uplatnenie výsledkov projektu**

Išlo o projekt základného výskumu. Predpokladáme, že publikované a medializované výstupy a naše odporúčania pre prax nájdu rýchle uplatnenie pri aktuálnej snahe o prechod na prírode blízke obhospodarovanie lesov na Slovensku, a to predovšetkým vo veľkoplošných chránených územiach a územiach Natura 2000. Výsledky publikované v najprestížnejších vedeckých časopisoch Science a Nature budú mať bezpochyby uplatnenie pri strategickom rozhodovaní o mitigácii antropogénnych environmentálnych zmien na globálnej úrovni.

### **Súhrn výsledkov riešenia projektu a naplnenia cieľov projektu v slovenskom jazyku (max. 20 riadkov)**

Projekt bol zameraný na výskum dopadov antropogénnej eutrofizácie na lesné spoločenstvá temperátnej zóny. V zmysle pôvodného zámeru sme problematiku riešili dvoma prístupmi: a) pomocou manipulatívneho terénneho experimentu a b) analýzami zmien vegetácie na trvalých plochách založených v rokoch 1950 až 1980 a opakovaných po roku 2005.

Terénny experiment bol založený v roku 2017 na piatich lokalitách dubových lesov Vysokoškolského lesníckeho podniku TU vo Zvolene. Po aplikácii troch manažmentových zásahov (preriedenie zápoja na začiatku a každoročné hnojenie a odstraňovanie opadu) sme pozorovali výrazné zmeny v druhovom zložení aj diverzite podrastu cievnatých rastlín. Ukázalo sa, že najvýznamnejšie zmeny nastali vplyvom synergického efektu kombinácie dvoch až troch zásahov, najmä odstraňovania opadu a presvetlenia porastu. Vtedy došlo k výraznému nárastu druhovej bohatosti, obohatenie druhového zloženia o ruderálne druhy, čiastočne aj o druhy dubových hájov. Efekt eutrofizácie bol významný len v kombinácii s presvetlením. Toto zistenie znamená vážny problém pre ekologickú obnovu vegetácie dubových hájov v oblastiach s vysokými depozíciami dusíkatých látok z atmosféry. Analýzy opakovaných záznamov vegetácie a prostredia na trvalých plochách potvrdili negatívne dopady eutrofizácie na úrovni biómu temperátnych opadavých lesov Európy. Ukázalo sa, že zo zvýšeného množstva dusíka v prostredí profitujú generalisti, ktorí vytlačujú úzko špecializované druhy rastlín, a tak dochádza k homogenizácii spoločenstiev a poklesu beta-diverzity v krajine. Aj na tejto úrovni sa preukázali významné interakcie eutrofizácie so súčasnými a historickými formami manažmentu lesov, ktorý sa okrem iného prejavuje zmenou hustoty lesov, ich drevinového zloženia, fragmentáciou a dostupnosťou svetla do podrastu. Štruktúra porastov totiž môže urýchliť alebo naopak tlmíť dôsledky eutrofizácie. Ako významné sa preukázali aj interakcie depozícií dusíka s globálnymi zmenami klímy. Efekt otepľovania makroklímy účinne tlmí mikroklíma zapojeného porastu a súčasne sa dopady eutrofizácie prejavujú pri uvoľnení zápoja. Pre mitigáciu týchto antropogénnych faktorov je preto potrebné v praxi udržiavať relatívne vysoký zápoj lesov v krajine, ale súčasne je potrebné regulovať šírenie a podiel drevín, ktoré potláčajú diverzitu podrastu.

Zmeny fytoocenóz temperátnych lesov sa plne dotýkajú aj lesov Slovenska. Potvrdzujú to výsledky získané trvalých plôch lesníckej typológie, a to najmä z dubových lesov. V rámci projektu sme dobudovali a doplnili databázu TRP, zabezpečili jej zálohovanie a dostupnosť na novovybudovaných webových stránkach. Výsledky analýz z našich najrozšírenejších typov dubín (slt Fageto-Quercetum) preukázali eutrofizáciu, homogenizáciu a posun v druhovom zložení od vegetácie svetlých dubových hájov k eutrofnejším tienitým lesom. Okrem depozícií dusíka to v prípade Slovenska súvisí najmä so zmenou a unifikáciou manažmentu v dubinách a vplyvom premnoženej raticovej zveri.

### **Súhrn výsledkov riešenia projektu a naplnenia cieľov projektu v anglickom jazyku (max. 20 riadkov)**

The project was focused on the effects of anthropogenic eutrophication on the forest communities of the temperate zone. In accordance with the original intention, we solved the problem using two approaches: a) by means of a manipulative field experiment, and b) by analyses of vegetation changes in permanent plots established in the years 1950 to 1980, and repeated after 2005.

The field experiment was established in 2017 on five localities of oak forests of the

University Forestry Enterprise of Technical University in Zvolen. After the application of three management treatments (reduction of canopy at the beginning, annual nitrogen fertilization and removal of litter) we observed significant changes in the species composition and diversity of vascular plant ground layer. It was revealed, that the most significant changes occurred due to the synergistic effect of combined two to three treatments, especially the removal of litter and reduction of tree canopy. It resulted to a significant increase in species richness, enrichment of species composition by ruderal species, and partly also by nemoral species of oak woods. The effect of eutrophication was significant only in combination with canopy reduction. This finding poses a serious problem for the ecological restoration of oak woods in areas with high atmospheric nitrogen deposition.

Analyses of resurveyed vegetation and environment properties in permanent plots confirmed a negative effects of eutrophication at the level of the temperate deciduous forest biome in Europe. It has been shown that generalists who replaced narrowly specialized plant species benefit from the increased amount of nitrogen in the environment, resulting to the homogenization of communities and a decrease in beta-diversity of landscape. Also at this level, significant interactions of eutrophication with current and historical forms of management have been identified. Management alters tree stand density, tree species composition, level of fragmentation and the availability of light in understorey, and these properties can accelerate or mitigate effects of eutrophication. The interactions of nitrogen deposition with global climate change have also been shown to be significant. The warming of the macroclimate is effectively buffered by stand structure and microclimate, and similarly, effects of eutrophication are magnified when the canopy closure. In order to mitigate these anthropogenic factors, it is therefore necessary to maintain a relatively high forest canopy cover in temperate landscapes, but at the same time, it is necessary to regulate the spread and proportion of woody plants that suppress diversity in the herb layer.

The changes in the plant communities detected at the European level are fully relevant for the forests of Slovakia. This is confirmed by the results obtained from the permanent plots of forest typology, and they are especially valid for oak forests. As part of the project, we completed and supplemented a database of permanent plots, and enabled its backup and availability on the newly built website. The results of analyses from our most common types of oak forests (Fageto-Quercetum) showed eutrophication, homogenization and a shift in species composition from the vegetation of opened oak woods to more eutrophic shady forests. In addition to the nitrogen deposition, this processes are mainly related to the change and unification of forest management in the oak forests and to the impact of an overpopulated ungulates in the case of Slovakia.