

Institute of Sustainable Regional and Local Development



SUA · FESRD

Faculty
of European Studies
and Regional Development

Fast-growing trees and plants grown for energy purposes

Theory and good practices of growing
and energy use of biomass

International Scientific Conference

Nitra 2024

www.fesrr.uniag.sk/en

INSTITUTE OF SUSTAINABLE REGIONAL AND LOCAL DEVELOPMENT
FACULTY OF EUROPEAN STUDIES AND REGIONAL DEVELOPMENT
SLOVAK UNIVERSITY OF AGRICULTURE IN NITRA
AND VISEGRAD GRANTS ID #22310328

International Scientific Conference

**FAST-GROWING TREES AND PLANTS GROWN
FOR ENERGY PURPOSES**

(Theory and good practices of growing and energy use of biomass)



September 5-6th 2024 in Nitra

Fast-growing trees and plants grown for energy purposes: Theory and good practices of growing and energy use of biomass

Peer-reviewed International Scientific Conference Proceedings,
September 5 – 6th 2024 in Nitra, Slovakia

Papers peer-reviewing was conducted in accordance with ethical rules for review process with the exclusion of possible conflict of interests.

Copyediting & Proofreading:

Vladimír Kišš, Martin Prčík

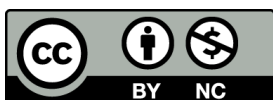
Acknowledgements

Supported by the Visegrad Grants #22310328 (Analysis & modelling the impact of bioenergy transition for security & sustainability) from the International Visegrad Fund.

Approved by the Rector of the Slovak University of Agriculture in Nitra on 4th October 2024 as a peer-reviewed proceedings of the scientific papers.

This work is published under the license of the Creative Commons Attribution NonCommercial 4.0 International Public License (CC BY-NC 4.0).

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>



ISBN 978-80-552-2789-4

DOI: <https://doi.org/10.15414/2024.9788055227894>

CONTENT

Fast-growing woods and energy plants for receiving renewable energy in a circular economy system
Rýchlorastúce dreviny a energetické rastliny pre získavanie obnoviteľnej energie v systéme obehového hospodárstva

Gaduš Ján – Gierlt Tomáš5

Legislative framework of the EU and Slovakia for growing of energetic fast-growing plants
Legislatívny rámec EÚ a SR pre pestovanie energetických rýchlorastúcich rastlín

Lazíková Jarmila – Vačková Ivana – Rumanovská Ľubica — Ďurkovičová Jana19

Vertical distribution of aboveground biomass of energy grass *Arundo donax* in eighth vegetative year

Vertikálna distribúcia nadzemnej biomasy energetickej trávy Arundo donax v ôsmom vegetačnom roku

Pauková Žaneta – Prčík Martin40

Implementation of precision agriculture in the conditions of EU countries

Implementácia presného poľnohospodárstva v podmienkach krajín EÚ

Pliešovský Jaromír48

The potential of land use for the cultivation of fast-growing plants as a factor the sustainable development of the regions of Slovakia

Potenciál využitia pôdy pre pestovanie rýchlorastúcich rastlín ako faktor udržateľného rozvoja regiónov Slovenska

Prčík Martin – Kišš Vladimír60

Plantations of fast-growing trees in the cultural landscape

Plantáže rýchlorastúcich drevín v kultúrnej krajine

Prčík Martin – Kišš Vladimír – Pauková Žaneta69

Diameter at breast height by innovative close-range technologies of *Paulownia* plantations

Odhad hrúbky $D_{1,3}$ pomocou inovatívnych technológií blízkeho dosahu v plantážach paulownie

Skladan Michal – Výbošťok Jozef – Chudá Juliána – Lieskovský Martin – Gejdoš Miloš79

Possibilities of social entrepreneurship in the context of land use for biomass production

Možnosti sociálneho podnikania v kontexte využívania pôdneho fondu pre tvorbu biomasy

Žuffová Eva – Gubánová Monika – Prčík Martin – Kišš Vladimír –

Hanáčková Denisa – Vačková Ivana92

RÝCHLORASTÚCE DREVINY A ENERGETICKÉ RASTLINY PRE ZÍSKAVANIE OBNOVITELNEJ ENERGIE V SYSTÉME OBEHOVÉHO HOSPODÁRSTVA

FAST-GROWING WOODS AND ENERGY PLANTS FOR RECEIVING RENEWABLE ENERGY IN A CIRCULAR ECONOMY SYSTEM

JÁN GADUŠ*, TOMÁŠ GIERTL

Slovenská poľnohospodárska univerzita v Nitre / Slovak University of Agriculture in Nitra

*Korešpondenčný autor / Corresponding author

ABSTRACT

The circular economy assumes the creation of such products that will consume as few primary energy sources as possible and at the same time will prefer the use of renewable resources and materials. Circular economy products must meet the requirements of reusability, repair ability, improvement, recyclability or environmentally acceptable degradability, while there is a requirement to continuously reduce the carbon footprint.

In the paper, we point out at one of the prospective possibilities of highly efficient use of cultivated biomass on arable land not used for food products, among which we can include fast-growing trees (willow, poplar, paulownia) with a grow cycle of four to six years, but even more advantageous one-year energy crops (miscanthus, arundo), as input raw material for bio refineries, as part of the circular economy.

The biomasses of these energy plants can be subjected to thermochemical conversion and very efficiently obtain biogenic fuels and biochemicals.

Research focused on the cultivation of fast-growing trees and energy plants has been carried out at the SPU in Nitra for more than 17 years, and the biomass obtained in this way has subsequently been studied for energy use, but also for obtaining biochemicals by applying progressive pyrolysis technology installed in the Biomass Gasification Laboratory of the AgroBioTech Research Center. The paper compares the results from the thermochemical conversion of both fast-growing trees and energy plants. The output after thermochemical depolymerization of biomass is biochar, bio-oil and synthesis gas. The solid and liquid components can be used as input raw materials for other applications, the synthesis gas is continuously burned in the cogeneration unit, where electricity (installed power of 30 kW_{el}) and heat is obtained.

Keywords: fast-growing trees, energy plants, biomass, thermochemical conversion, circular economy

ÚVOD

Bioenergia zohráva nezastupiteľnú úlohu v koncepte obehového hospodárstva. Obehové hospodárstvo sa snaží minimalizovať odpad a maximalizovať recykláciu a opätovné použitie zdrojov. Bioenergia môže v tomto modeli fungovať ako:

- **Zdroj energie:** Biomasa z rôznych zdrojov, ako sú poľnohospodárske a lesné odpady, komunálny odpad a kal z čističiek odpadových vôd, ale aj zámerne pestovaná biomasa sa môže spracovávať na získavanie bioplynu, biopalív (pre dopravu) a tepla.
- **Zásobník uhlíka:** Biomasa absorbuje oxid uhličitý z atmosféry počas rastu a uchováva ho vo svojej štruktúre. Pri spaľovaní biomasy sa uvoľňuje oxid uhličitý, ale tento uhlík bol predtým pohlcovaný z atmosféry, takže celkový vplyv na klímu je tak neutrálny.
- **Zdroj surovín:** Biomasa sa môže používať na výrobu rôznych produktov, ako sú bioplasty, biochemikálie a biomateriály.

Bioenergia je obnoviteľná energia získavaná z biomasy. Biomasa je definovaná ako biologický materiál, ktorý je priamo alebo nepriamo produkovaný fotosyntézou. Ide napríklad o drevo a drevné zvyšky, energetické plodiny, rastlinné zvyšky a organický odpad/zvyšky z priemyslu, poľnohospodárstva, krajinného hospodárstva a domácností. Pokrokovými technológiami sa energia biomasy konvertuje na tuhé, kvapalné alebo plynné palivá, ktoré sa môžu použiť na získavanie tepla a/alebo elektriny, alebo sa môžu použiť ako alternatívne palivo v doprave. Bioenergia je dnes hlavným obnoviteľným zdrojom energie a štúdie Medzinárodnej energetickej agentúry (IEA) naznačujú, že moderná bioenergia je základnou súčasťou budúceho nízkouhlíkového globálneho energetického systému, ak sa majú splniť v krátkej budúcnosti záväzky v oblasti zmeny klímy.

Bioenergia je teda súčasťou obnoviteľných, nízko-uhlíkových energetických systémov a môže zabezpečiť sekvestráciu atmosférického uhlíka, ako aj mnohé environmentálne a sociálno-ekonomické výhody, a preto prispieva k plneniu globálnych cieľov v oblasti zmeny klímy, ako aj cieľov širších environmentálnych, sociálnych, ekonomických a k zabezpečeniu trvalo udržateľného rozvoja.

Biomasa je jedným z kľúčových obnoviteľných zdrojov energie (OZE) a je významným faktorom pri dosahovaní európskych klimatických cieľov do roku 2030, keď podľa Smernice EÚ 2023/2413 o podpore využívania energie z obnoviteľných zdrojov bol revidovaný cieľ smerom nahor v oblasti obnoviteľnej energie do roku 2030 z 32 % na 42,5 % (s cieľom zvýšiť ho na 45 %). Členské štáty EÚ sledujú špecifické cesty k splneniu svojich povinností, ktoré sú definované v národných akčných plánoch podľa príslušných energetických trhov a dostupných zdrojov. V roku 2022 predstavoval podiel obnoviteľných energií v EÚ 23,0 % hrubej konečnej spotreby energie (Eurostat, 2023). S podielom viac ako 60 % na spotrebe energie z obnoviteľných zdrojov predstavuje bioenergia významný obnoviteľný zdroj energie v EÚ.

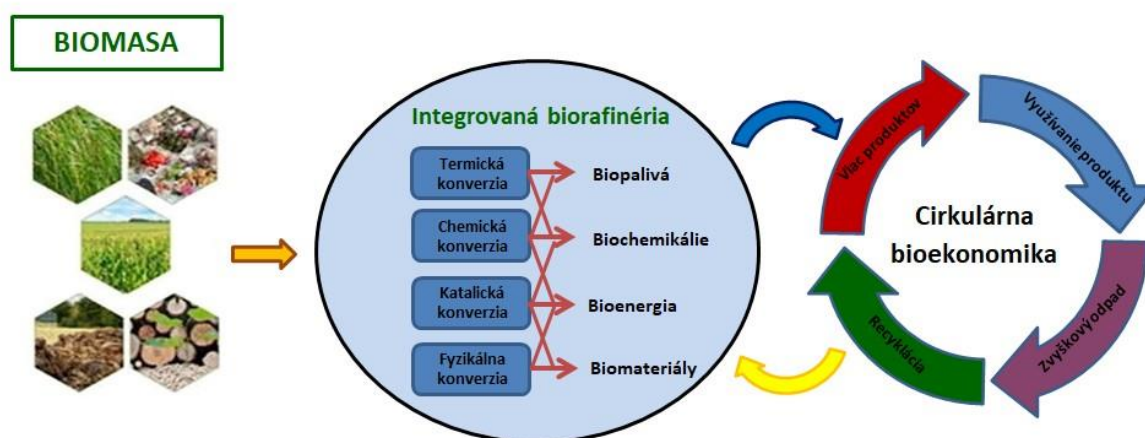
Využívanie bioenergie môže významne znížiť našu uhlíkovú stopu a prispieť tak ku skvalitneniu životného prostredia. Aj v bioenergetike pri konverzii biomasy sa produkuje určité množstvo oxidu uhličitého, ako pri tradičných fosílnych palivách, ich vplyv sa môže minimalizovať, ak sa nahradí lesná biomasa rýchlorastúcimi drevinami a energetickými bylinami. Rýchlorastúce stromy a energetické byliny sú preto východiskovou surovinou pre bioenergetiku. Využívanie bioenergie je možné charakterizovať dvomi hlavnými kategóriami: „tradičné“ a „moderné“. Tradičné využitie sa týka najmä spaľovania biomasy v takých formách, ako je drevo, živočíšny odpad a tradičné drevené uhlie. Medzi moderné technológie v oblasti

bioenergetiky patria výroba kvapalných biopalív väčšinou zo zámerne pestovanej biomasy v biorafinériách, bioplynové zariadenia, kde je bioplyn produkovaný anaeróbnou digestiou predovšetkým zvyškov a vedľajších produktov z poľnohospodárstva a potravinárstva, ako aj komunálnej sféry; systémy vykurovania na drevné štiepky a pelety a ďalšie technológie, napr. pyrolýza.

Približne tri štvrtiny svetovej spotreby energie z obnoviteľných zdrojov predstavuje bioenergia, pričom viac ako polovica z toho je zabezpečovaná tradičnými technológiami využívania biomasy. Biomasa má teda významný potenciál a môže sa priamo spaľovať na účely vykurovania alebo výroby energie, alebo sa môže konvertovať na náhrady ropy alebo plynu. Kvapalné biopalivá, ktoré sú vhodnou obnoviteľnou náhradou za benzín a naftu v odvetví dopravy.

Energetické využívanie biomasy na Slovensku má veľký potenciál, ktorý vychádza predovšetkým z geografických daností krajiny: celé územie republiky totiž pokrýva cca 47 % poľnohospodárskej a približne 41 % lesnej pôdy. Je to výzva pre slovenských pôdohospodárov - okrem produkcie a zabezpečenia potravín pre obyvateľstvo sa otvárajú možnosti aj v oblasti výroby energie a energetických nosičov, ktoré by v budúcnosti mohli priniesť 25 – 30 % z celkových príjmov.

Biorafinéria je zariadenie, ktoré integruje procesy premeny biomasy so zariadeniami na výrobu palív, energie a chemikálií s pridanou hodnotou z biomasy. Biorafinéria je obdobou dnešnej ropnej rafinérie, ktorá vyrába viacero palív a produktov z ropy. Získaním niekoľkých produktov súčasne biorafinéria maximalizuje hodnotu získanú zo suroviny biomasa. Produkty s vysokou hodnotou (biochemikálie) zvyšujú ziskovosť, veľkoobjemové palivo (náhrada za naftu a benzín) pomáha uspokojovať energetické potreby a výroba energie vedie k zníženiu nákladov na energiu a úsporám emisií skleníkových plynov z tradičných elektrární.



Obr. 1 Schéma možností integrovania biorafinérie do systému obehového hospodárstva

Existuje niekoľko platforiem, ktoré je možné použiť v biorafinérii, pričom hlavnými z nich je tzv. platforma pre cukor a termochemická platforma (známa aj ako platforma syngasu). Biorafinérie na platforme cukru rozkladajú biomasu na rôzne typy zložkových cukrov vhodných na fermentáciu alebo iné biologické spracovanie na rôzne palivá a chemikálie. Na

druhej strane termochemické bioraфинérie transformujú biomasu na syntézny plyn (vodík a oxid uhľnatý), biouhlie a pyrolýzny olej.

V príspevku uvádzame porovnanie výsledkov experimentov s využívaním modernej technológie termochemickej konverzie (pyrolýzy) podrvenej suchej biomasy *Miscanthus* (Ozdobnica čínska), *Arunda donax* (trsteník obyčajný) a štiepky z rýchlorastúcich drevín *Paulownia* a *víby Tordis* na biogénne palivá realizované v poloprevádzkových podmienkach Laboratória splyňovania biomasy Výskumného centra AgroBioTech Slovenskej poľnohospodárskej univerzity v Nitre.

MATERIÁL A METÓDY

Rýchlorastúce dreviny a energetické byliny

Poľnohospodárska pôda predstavuje až 47 % celkovej výmery Slovenskej republiky. Z toho nevyužitá poľnohospodárska pôda dosahuje viac ako 460-tisíc hektárov Túto pôdu, ktorá sa nevyužíva na pestovanie plodín pre potravinové účely, by bolo možné využívať výhodne na produkciu biomasy pre energetické a materiálové využite. Polemika, ktorá sa šíri propagandou o pestovaní energetických plodín na výrobu palív na úkor produkcie potravín sa nezakladá na pravde. Hlavným dôvodom má byť údajné znížovanie výmery poľnohospodárskej pôdy na pestovanie plodín na potravinové účely. V tomto prípade toto tvrdenie nie je akceptovateľné, hlavne ak berieme do úvahy pôdno-klimatické podmienky Slovenska. Výmera nevyužívanej poľnohospodárskej pôdy za posledné roky v SR totižto neustále stúpa. Príčin je viac. V prvom rade je to pokles počtu chovaných hospodárskych zvierat a tým aj pokles potrieb pestovania krmovín pre ich chov.

Prvoradou úlohou poľnohospodárstva SR je a aj musí zostať produkcia potravín pre obyvateľstvo. Slovensko disponuje dostatočnou výmerou pôdy na produkciu potravín, poplašné správy o zdražovaní potravín zapríčinené pestovaním plodín na výrobu biopalív možno jednoznačne hodnotiť ako nepravdivé.

Najviac nevyužitých poľnohospodárskych pôd bolo zaznamenaných v Žilinskom kraji (42 %), Trenčianskom kraji (32 %) a Prešovskom kraji (25 %). Najmenej nevyužitej poľnohospodárskej pôdy bolo zaznamenané v Nitrianskom kraji (len 8 %), Košickom kraji (10 %) a Trnavskom kraji (12 %). Vo všeobecnosti je možné konštatovať, že len cca 1 940-tisíc hektárov poľnohospodárskej pôdy je využívaná na poľnohospodársku produkciu. Zvyšných viac ako 460-tisíc hektárov (t. j. 19 %) sa vôbec nevyužíva.

Pestovaním energetických rastlín sa neznižuje úrodnosť pôdy s nepriaznivou bilanciou uhlíka. Po ukončení pestovania tieto rastliny zanechávajú pôdu v dobrom štruktúrnom stave s pozitívnou bilanciou živín. Nehovoriac o zabránení výraznejšej veternej a vodnej erózií, vyparovaniu vody a vyplavovaniu živín. Navyše trváce porasty energetických rastlín stabilizujú odtok vody z územia. Z hľadiska hospodárskeho významu sa dokonca odporúča pestovať takého plodiny, a to aj na pôdach nižšej kvality. Pre pestovanie energetických rastlín je tak možné využívať nielen nevyužitú poľnohospodársku pôdu, ale aj pôdu menej kvalitnú napr. okolo ciest alebo kontaminovanú.

Uvažovaný energetický potenciál poľných plodín pestovaných v našich podmienkach sa môže ešte zvýšiť o plodiny pestované na alternatívne energetické využitie. Výskumný ústav pôdozvedectva a ochrany pôdy Bratislava člení poľnohospodársky pôdny fond Slovenska na:

- primárnu poľnohospodársku pôdu (1 368 tis. ha – 56 % poľnohospodárskej pôdy),
- sekundárnu poľnohospodársku pôdu (696 tis. ha – 29 % poľnohospodárskej pôdy),
- ostatnú poľnohospodársku pôdu (370 tis. ha – 15 % poľnohospodárskej pôdy).

Slovenské poľnohospodárstvo môže vyčleniť sekundárnu poľnohospodársku pôdu na účelové pestovanie zelenej biomasy na výrobu energie buď vo forme zelených rastlín na výrobu bioplynu (kukurica, obilniny, strukoviny a pod.), alebo následnú kombinovanú výrobu elektriny a tepla. Ostatná poľnohospodárska pôda podľa kategorizácie prírodných podmienok pre rozvoj bioenergie by mala byť prednostne využívaná na pestovanie energetických rastlín. Z rozlohy takmer 370 tis. ha poľnohospodárskej pôdy sa uvažuje s reálnou pestovateľskou plochou energetických plantáží fytoomasy a dendroomasy na výmere 100 tis. ha. Vhodné plodiny na tieto energetické účely sú štiavec, ozdobnica čínska, trsteník, láskavec, topinambur hľuznatý, ciroky, krídlatka, technické konope, rýchlorastúce druhy vŕb rodu *Salix* a pod.

Medzi výhody pestovania energetických plodín môžeme zaradiť aj vytváranie nových pracovných príležitostí, čo môže spomaliť vyľudňovanie vidieka. Energetické plodiny znižujú produkciu emisií i nároky na agrochemikálie a viac šetria životné prostredie. Na ich pestovanie možno využiť i marginálne poľnohospodárske oblasti, nevhodné na pestovanie hospodársky najdôležitejších plodín a rastlín.

Aj napriek tomu, že je SR bohatá na lesnú a poľnohospodársku pôdu, pestovanie rýchlorastúcich drevín a energetických rastlín v našej krajine je problematika relatívne nová. Boli vypracované metodické príručky pre pestovanie a zakladanie plantáží rýchlorastúcich drevín a energetických rastlín, ktoré na Slovensku prebiehali na úrovni maloparcelkových pokusov, ale situácia sa mení k pozitívnemu trendu. Konkrétne založené plantáže energetických porastov (ozdobnica čínska, trstenník obyčajný, konope siate technické a pod.) sa začínajú rátať v niekoľkých desiatkach hektárov v rámci celého Slovenska. V podmienkach Východoslovenskej nížiny sa v uplynulých rokoch začalo s pestovaním ozdobnice čínskej a vŕby košíkarskej vo väčšom meradle, ako alternatívnych zdrojov energie s následným využitím pre energetické a stavebné účely. Dobré výsledky boli dosiahnuté aj pri pestovaní láskavca. Je tu však aj iný aspekt využitia energetických plodín alebo fytoomasy pre produkciu biopalív II. a III. generácie. Sú to perspektívne energetické druhy rastlín testované aj v zahraničí na výťažnosť bioplynu, pre spaľovanie, resp. pyrolýzu. Diverzifikácia poľnohospodárskej výroby na priemyselné využitie fytoomasy, je spôsob ako sa udržať v neustálej rastúcej konkurencii zahraničných výrobcov na našom trhu. Pričom na Slovensku sa energetické rastliny pestujú na menej kvalitných marginálnych pôdach. V súčasnosti sa šľachtia nové a introdukované druhy energetických rastlín na účelové využitie. Ozdobnica čínska a jej hybridy *Miscanthus x giganteus*, trsteník obyčajný - *Arundo donax*, odrody konopy siatej technickej - *Cannabis sativa* je len malý výpočet zo šľachtiteľského programu v rámci EÚ, rýchlo sa rozvíjajúceho trhu s biopalivami v Európe, ale aj v rámci celého sveta.

Pri stále sa zvyšujúcich cenách energií je energetické využitie rastlín jednou z možností zvyšovania energetickej účinnosti. Výhodou je okrem iného aj samozásobenie regiónu energiou a zvýšenie jeho nezávislosti na okolí, čo prináša i sociálne výhody formou vytvárania pracovných príležitostí v regióne.

Ozdobnica čínska patrí medzi rastliny, ktoré sa na premenlivé environmentálne podmienky dobre prispôbujú. Je to viacročná (pereniálna) tráva, ktorá pochádza z prírodných podmienok

východnej Ázie a na jednom stanovišti dosahuje trvácnosť 15 – 20 rokov. Pri podobných agroklimatických podmienkach dosahuje výšku 3 – 4 m a produkciu 20 až 40 ton suchej hmoty biomasy z hektára. Ako rastlina s C4 typom premeny uhlíka dokáže lepšie využívať živiny a vodu ako ostatné plodiny. Splňuje všetky požiadavky na energetické plodiny.

Na SPU v Nitre už viac ako 16 rokov realizujeme výskum pestovania rýchlorastúcich stromov a energetických bylín a získanú biomasu skúmame na využívanie energetické, ale aj na produkovanie biochemikálií aplikovaním progresívnej pyrolýznej technológie nainštalovanej v Laboratóriu splyňovania biomasy Výskumného centra AgroBioTech.

Plantáž rýchlorastúcich drevín a energetických bylín bola založená v roku 2007 na Vysokoškolskom poľnohospodárskom podniku SPU s.r.o v Kolíňanoch a má celkovú rozlohu cca 1,7 ha. Na fotografii Obr. 2 sú vyznačené zóny, kde sa pestujú jednotlivé dreviny (vrbý, topole) a energetické byliny (ozdobnica čínska, trsteník obyčajný). Pokusná plantáž dreviny paulownia bola založená neskôr (v roku 2014) na inom stanovišti v Kolíňanoch s rozlohou cca 10 árov (Obr. 4).



Obr. 2 Pohľad na plantáž rýchlorastúcich drevín a energetických bylín – VPP SPU v Kolíňanoch



Obr. 3 Pohľad na porast ozdobnice čínskej (Giganteus) – VPP SPU v Kolíňanoch



Obr. 4 Pohľad na porast paulownie – VPP SPU v Koliňanoch

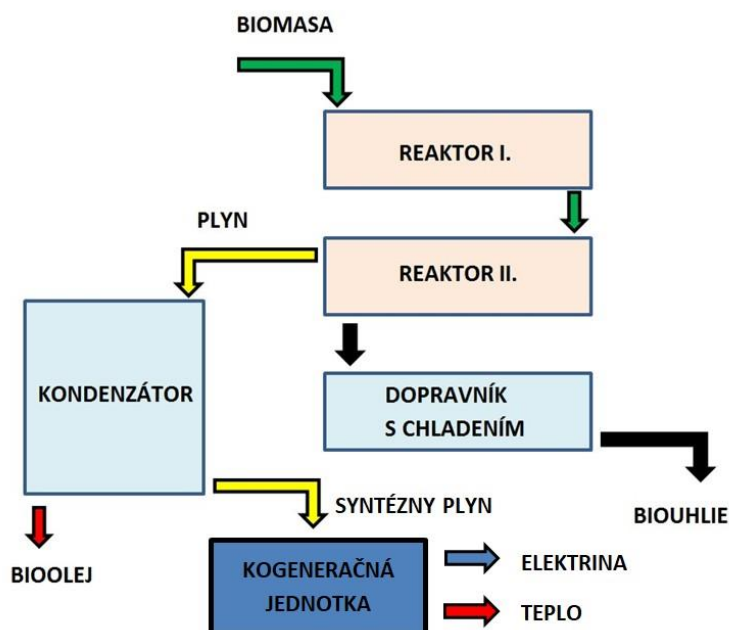
Efektívne a ekologické využitie biomasy v energetike má minimálne negatívne vplyvy na životné prostredie, vzhľadom na možnosť regionálnej produkcie je veľmi vhodná pre použitie v malých a stredných energetických zdrojoch.

Veľmi zaujímavou sa v ostatnom čase javia rôzne princípy tepelnej depolymerizácie biomasy umožňujúce komplexné využitie vstupnej biomasy pri jej transformácii na biopalivá v plynnom, kvapalnom a tuhom skupenstve.

Základným princípom činnosti pyrolýznej jednotky typu UNIPYR je kontinuálny tepelný rozklad (depolymerizácia) biomasy a dendromasy, prípadne iných hmôt organického pôvodu (ako papier, textil), zbavených inertných prímiesí (napr. kovu, skla, zeminy, piesku), s kapacitou spracovania surovín do 60 kg za hodinu. Tepelným spracovaním organickej hmoty v reaktorovej zostave bez prístupu vzdušného kyslíka dochádza k rozkladu vstupných surovín na tri hlavné výstupné zložky, a to: syntézny plyn (plynná fáza), reaktorový olej (tekutá fáza) a zuhoľnatená časť vstupných surovín - biouhlie (tuhá fáza).

Technologickú zostavu (Obr. 5) tvorí reaktor I, kde sa surovina predohrieva na teplotu 100 až 180 °C a následne prechádza do reaktora II, v ktorom pri teplote až do 600 °C dochádza k rozkladu suroviny na plynnú fázu (syntézny plyn) a zvyšná časť suroviny zostane v tuhej fáze v podobe biouhlia, ktorý je z reaktora odoberaný vynášacím dopravníkom, kde zároveň prebieha aj ochladzovanie. Plynná fáza je odvádzaná do kondenzátora, v ktorom je ochladzovaná, pričom sa čiastočne vyzráža do kvapalnej fázy (tzv. biooleja).

Bioolej je potom možné odberať z kondenzátora k následnej úprave jeho kvalitatívnych parametrov. Syntézny plyn vznikajúci v technologickom procese nízko-teplotného rozkladu biomasy je odvádzaný plynovodným potrubím a distribučným dúchadlom je dopravovaný po úprave (odvodnenie a odsírenie) do plynojemu a ďalej do viacpalivového motora kogeneračnej jednotky s inštalovaným elektrickým výkonom 30 kW_{el}. Celý proces je riadený a kontrolovaný riadiacou jednotkou. Vyprodukovaná elektrina je využívaná samotnou technológiou na elektrický ohrev bioreaktorov.



Obr. 5 Hlavné podsystémy pyrolýznej jednotky typu UNIPYR

Objektom experimentov je hľadanie vhodných zmesí vstupnej biomasy a sledovanie ich vplyvu na množstvo a kvalitu vznikajúceho plyného, tekutého (biopalivá 2. generácie) a tuhého biogénneho paliva - biouhlia. Experimentálne sú overované aj parametre procesu (teplota reaktora, rýchlosť posuvu materiálu v bioreaktore) pre hľadanie optimálneho nastavenia pre tú ktorú zmes vstupných materiálov za účelom dosahovania čo najvyššej kvality produkovaných biogénnych palív.

Pri realizovaní porovnávacích meraní využívajúc technológiu splyňovania vstupných materiálov zložených z rôznych druhov biomasy sú využívané rovnaké metodiky pre určovanie nasledovných východiskových parametrov:

- Hmotnosť biomasy, vrátane hmotnostných podielov jednotlivých komponentov zmesových materiálov, precíznym vážením,
- Obsah suchej hmoty, využívajúc automatické sušínové váhy
- Obsah organickej suchej hmoty, prostredníctvom muflovej pece a štandardných postupov,
- Hodnota pH.

Predmetom skúmania sú aj parametre procesu:

- Procesná teplota, meraná elektronicky, on-line,
- Rýchlosť posuvu materiálu v reaktore, meraná elektronicky, on-line,
- Objem produkovaného syntézneho plynu, meraný on-line.

Merané sú:

- Množstvo tekutej a tuhej frakcie vychádzajúcej z reaktora.
- Zloženie syntézneho plynu - prenosným analyzátorom plynu a precíznejšie analýzy chromatograficky
- Zloženie biouhlia – stanovenie percentuálneho obsahu uhlíka (C), vodíka (H), dusíka (N), síry (S) a kyslíka (O) elementárnym analyzátorom vario MACRO cube.

VÝSLEDKY A DISKUSIA

Pre zdokumentovanie efektívnosti technológie termochemickej konverzie biomasy uvádzame ako príklad výsledky experimentov, kde ako vstupná surovina bola použitá štiepka z rýchlorastúcich drevín - vrba Tordis (Švédsko) a Paulownia (Obr. 6), podrvená biomasa ozdobnice čínskej *Giganteus* (*Miscanthus x giganteus*) (Obr. 7) a trsteníka obyčajného (*Arundo donax*) dopestovaných na experimentálnej plantáži SPU v Nitre v Kolíňanoch. Pre pokus bola použitá teplota bireaktora 500 °C, doba zdržania 10 minút a ostatné parametre uvedené v tabuľke Tab. 1. Z experimentov s uvedenými vstupnými materiálmi – štiepka vrby Tordis a Paulownia a podrvená biomasa ozdobnice čínskej a trsteníka obyčajného, boli získané priemerné množstvá biogénnych palív uvedené v tabuľke (Tab. 2).

Elementárna analýza (Tab. 3) vyprodukovaného biouhlia bola realizovaná využitím elementárneho analyzátora vario MACRO cube vo Výskumnom centre AgoBioTech.

Tab. 1 Vstupná biomasa

Parameter	Vrba Tordis	Paulownia	Ozdobnica čínska	Trsteník obyčajný
Dávka vstupnej biomasy (kg h ⁻¹)	20	20	20	20
Obsah suchej hmoty (SH) (%)	91,99	93,06	91,38	96,61
Obsah organickej suchej hmoty (OSH ako % SH)	90,61	97,61	96,93	93,69



a)



b)

Obr. 6 Štiepka z vrby Tordis a) a Paulownie b)



a)



b)

Obr. 7 Podrvená biomasa ozdobnice čínskej Giganteus a) a trsteníka obyčajného b)

Tab. 2 Vyprodukované biogénne palivá

Zložka biopaliva	<i>Vrba Tordis</i>	<i>Paulownia</i>	<i>Ozdobnica čínska</i>	<i>Trsteník obyčajný</i>
Biouhlie (kg)	4,00	5,78	4,80	3,8
Bioolej (kg)	5,80	6,60	6,50	8,8
Syntézny plyn ($\text{m}^3 \text{h}^{-1}$)	10,80	8,75	5,50	5,57

Výhrevnosť (Tab. 3) bola stanovená výpočtom využitím Dulongovho vzťahu:

$$(\text{kJ kg}^{-1}) = 337 \text{ C} + 1419 (\text{H} - 1/8 \text{ O}) + 93 \text{ S} + 23,26 \text{ N} \quad (1)$$

kde hodnoty C, H, N, S, O zodpovedajú zisteniam elementárnej analýzy vzoriek biouhlia

Pokusy so štiepkou vrby odrody *Tordis*, biomasy *Paulownie*, ale aj s podrvenou suchou biomasou ozdobnice čínskej *Giganteus* (*Miscanthus sinensis Giganteus*) a trsteníka obyčajného boli zamerané aj na hľadanie optimálnych pomerov, najmä procesnej teploty a rýchlosti posuvu (doby zdržania) materiálu. Experimenty preukázali, že všetky skúmané materiály sú veľmi vhodnou surovinou pre termochemickú konverziu na biopalivá, pričom tuhá výstupná zložka – biouhlie môže nájsť aj celý rad ďalších uplatnení, napr. vďaka svojim špecifickým vlastnostiam ako pôdne aditívum.

Veľmi vysoký obsah uhlíka dosahovaný pri všetkých skúmaných vstupných materiáloch pri procesnej teplote 500°C predurčuje aj energetické využitie biouhlia ako náhrady za vysokokvalitné kamenné fosílné čierne uhlie s predpokladanou výhrevnosťou od 20 do 28 MJ.kg^{-1} . Toto biouhlie je možné využívať v stávajúcej podobe, ale aj vo forme peliet, resp. brikiet, t.j. ako tvarované biopalivo.

Ako ukážku uvádzame výstup v podobe biouhlia z pyrolýzy štiepky z *Paulownie* Obr. 8 a z podrvenej biomasy ozdobnice čínskej Obr. 9.

Aplikácia zuhoľnatenej biomasy pre agronomické účely nie je trendom posledných desaťročí. Už v roku 1929 John Morley zmieňuje v časopise *The National Greenkeeper* pozitíva aplikácie hnedého uhlia a popisuje následné zlepšenie pôdnej štruktúry. V šesťdesiatych rokoch boli potom popísané územia v Amazónii, kde spolupôsobenie spálenej biomasy a ďalších organických materiálov viedlo k vytvoreniu veľmi úrodných pôd označovaných dnes ako **terra preta**. V dôsledku neustáleho zvyšovania koncentrácie CO_2 v atmosfére sa novodobó začalo uvažovať, že aplikáciou materiálov s vysokým obsahom uhlíka akým je biouhlie sa časť uhlíka môže dlhodobo ukladať v pôde.

Tab. 3 Elementárna analýza biouhlia

Parameter	<i>Vrba Tordis</i>	<i>Paulownia</i>	<i>Ozdobnica čínska</i>	<i>Trsteník obyčajný</i>
Uhlík - C (% _{hmot.})	80,20	82,40	80,70	81,60
Vodík - H (% _{hmot.})	2,68	2,95	3,02	2,91
Dusík - N (% _{hmot.})	0,93	0,68	0,49	0,82
Síra - S (% _{hmot.})	0,16	0,15	0,18	0,17
Kyslík - O (% _{hmot.}) - výpočtom	16,03	13,82	16,05	14,5
Výhrevnosť (MJ.kg ⁻¹) - výpočtom	28,02	29,58	28,66	28,96



Obr. 8 Ukážka biouhlia zo štiepky Paulownie



Obr. 9 Ukážka biouhlia z podrvenej biomasy ozdobnice čínskej Giganteus

Vedci z USA vo svojej štúdii uvádzajú, že by bolo možné pyrolýzou biomasy, kde by sa získaval syntézny plyn a bioolej pre energetické účely a biouhlie by bolo použité pre pôdne aplikácie, dosiahnuť sekvestraciu až 10 % ročných emisií z fosilných palív.

Pestovanie ozdobnice čínskej má celý rad výhod, najmä jej vysoké ročné hektárové úrody fytohmoty v intervale od 20 – 40 t.ha⁻¹ absolútnej sušiny v závislosti od agroklimatických podmienok. Z pohľadu priemyselného využitia je táto energetická rastlina vhodná na výrobu

biometánu, bioetanolu, ale aj ako zdroj celulózy lignínového charakteru, pričom jej uplatnenie je momentálne v štádiu výskumu.

V porovnaní s energetickými rastlinami rýchlorastúce dreviny, medzi ktoré patrí vrbá aj *Paulownia* majú nevýhodu, že zber sa uskutočňuje každé 4 až 6 rokov, čo predlžuje cyklus kolobehu oxidu uhličitého. Pri vrbe odrody *Tordis*, v podmienkach experimentálnej plantáži SPU v Kolíňanoch bola dosiahnutá úroda v sušine pri päťročnom cykle v prepočte na 1 rok $16,78 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ a pri *Paulownii* klon R112 dosiahla $33,8 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ (päťročný cyklus), pri energetickej byline ozdobnica čínska *Giganteus* (každoročný zber) bola dosiahnutá úroda v prepočte $27,95 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ a pri byline trsteník obyčajný výnos $26,61 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$.

ZÁVER

Cirkulárna ekonomika a obnoviteľné zdroje energie sú kľúčovými témami súčasnej spoločnosti, ktoré súvisia s udržateľným využívaním zdrojov a ochranou životného prostredia. Cieľom cirkulárnej ekonomiky je minimalizovať odpady a obnoviteľné zdroje energie hrajú dôležitú úlohu pri presúvaní sa od lineárneho modelu spotreby k systému, kde sa energiou a materiálmi obieha v uzavretom cykle.

Rýchlorastúce dreviny a energetické byliny predstavujú sľubný zdroj biomasy pre termochemickú konverziu. Ponúkajú mnoho výhod oproti tradičným zdrojom biomasy, ako je rýchly rast, nízke nároky na pôdu a nízke emisie skleníkových plynov a sú preto vhodným materiálom v systéme cirkulárnej bioekonomiky. Existujú však aj určité výzvy, ktoré je potrebné prekonať, ako je logistika, náklady, konkurencia o pôdu a udržateľnosť. S rastúcim dopytom po udržateľných zdrojoch energie má využitie rýchlorastúcich drevín a energetických bylín veľký potenciál hrať dôležitú úlohu v budúcnosti energetiky.

Pyrolýza ako už bolo konštatované je termo-chemický proces rozkladu organického materiálu v bezkyslíkovom prostredí za vysokých teplôt. V obehovom hospodárstve môže pyrolýza hrať dôležitú úlohu v zhodnocovaní odpadu, znižovaní závislosti od fosílnych palív a výrobe nových surovín (tzv. biochemikálii).

Pyrolytické technológie, ako ukazujú aj naše skúsenosti, sú veľmi efektívnou cestou na tepelnú premenu lignocelulózy biomasy na biogénne palivá s vyššou pridanou hodnotou. Pri termochemickej konverzii štiepky z vrby *Tordis*, biomasy z *Paulownie*, ale aj podrvenej biomasy ozdobnice čínskej a trsteníka obyčajného, proces tepelného rozkladu bol stabilný a bol generovaný veľmi hodnotný syntézny plyn, ktorý bol spaľovaný v motore kogeneračnej jednotky a bola produkovaná elektrina a teplo. Tuhá zložka – biouhlie pri vrbe dosahovala veľmi vysoký priemerný obsah uhlíka $80,20 \%_{\text{hmot.}}$ a podobne aj pri druhej skúmanej biomase – *Paulownii* $82,40 \%_{\text{hmot.}}$ Pri ozdobnici čínskej bol priemerný obsah uhlíka $80,70 \%_{\text{hmot.}}$ a byline trsteník obyčajný bol priemerný obsah uhlíka $81,60 \%_{\text{hmot.}}$, čo predstavuje tiež vysokohodnotné palivo porovnateľné s kvalitným fosílnym čiernym uhlím. Bioolej z pyrolýzy biomasy všetkých skúmaných materiálov by vyžadoval ešte ďalšie spracovanie destiláciou pre získanie alternatívnych tekutých palív ako náhrady za benzín, resp. naftu.

SÚHRN

Obehové hospodárstvo (cirkulárna ekonomika) predpokladá vytváranie takých produktov, ktoré budú spotrebúvať čo najmenej primárnych zdrojov energie a zároveň budú preferovať využívanie obnoviteľných zdrojov a materiálov. Produkty obehového hospodárstva musia spĺňať požiadavky opätovného použitia, opraviteľnosti, zlepšenia, recyklovateľnosti alebo environmentálne prijateľnej odbúrateľnosti, pričom je požiadavka na neustále znižovanie uhlíkovej stopy.

V príspevku poukazujeme na jednu z perspektívnych možností vysoko efektívneho využívania pestovanej biomasy na potravinársky nevyužívanú ornú pôdu, medzi ktoré môžeme zaradiť rýchlorastúce dreviny (vrba, topole, paulownia) s cyklom štvor- až šesť-ročným, ale ešte výhodnejšie jednoročné energetické plodiny (*miscanthus*, *arundo*), ako vstupnej suroviny pre biorafinérie, ako súčasti obehového hospodárstva.

Biomasu týchto energetických rastlín je možné podrobiť termochemickej konverzii a veľmi efektívne získavať biogénne palivá a biochemikálie.

Na SPU v Nitre je už viac ako 17 rokov realizovaný výskum pestovania rýchlorastúcich stromov a energetických bylín a takto získaná biomasa je následne skúmaná na energetické využívanie, ale aj na získavanie biochemikálií aplikovaním progresívnej pyrolýznej technológie nainštalovanej v Laboratóriu splyňovania biomasy Výskumného centra AgroBioTech. V príspevku sú porovnávané výsledky z termochemickej konverzie ako rýchlorastúcich stromov, tak aj energetických bylín. Výstupom po termochemickej depolimerizácii biomasy je biouhlie, bioolej a syntézny plyn. Tuhú a tekutú zložku je možné využívať ako vstupné suroviny pre ďalšie aplikácie, syntézny plyn je priebežne spaľovaný v kogeneračnej jednotke, kde je získavaná elektrina (inštalovaný výkon 30 kW_{el}) a teplo.

Kľúčové slová: rýchlorastúce dreviny, energetické rastliny, biomasa, termochemická konverzia, obehové hospodárstvo

POĎAKOVANIE

Táto publikácia vznikla vďaka podpore v rámci Operačného programu Integrovaná infraštruktúra pre projekt: Dopytovo-orientovaný výskum pre udržateľné a inovatívne potraviny, Drive4SIFood 313011V336, spolufinancovaný zo zdrojov Európskeho fondu regionálneho rozvoja a prostriedkov projektu V4: Analysis & modelling the impact of bioenergy transition for security & sustainability, ID: 22310328.

ZOZNAM POUŽITEJ LITERATÚRY

1. Bioenergy, Dostupné z <https://www.irena.org/bioenergy>.
2. Gierl, T. - Hauptvogel, M. 2019. Verifikácia možností využívania rýchlorastúcich drevín na výrobu biopalív, Nitra 2019, 71 s., ISBN 978-80-552-2052-9.
3. Jandačka, J. - Mikulík, M. 2007. Technológie pre zvýšenie energetického potenciálu biomasy, ISBN 978-80-969595-4-9,
4. Janíček, F. - Daruľa, I. - J. Gaduš, et al. 2009. Renewable energy sources 1: technologies for a sustainable future, Pezinok - Renesans, 2009. 174 s., ISBN 978-80-89402-05-2.

5. Lehmann, J. et al. 2006. Bio-Char sequestration in terrestrial ecosystems – A Review. In.: Mitig. Adapt. Strategies Glob. Chang. 11, 403. Springer 2006. Dostupné z: <https://www.css.cornell.edu/faculty/lehmann/publ/MitAdaptStratGlobChange%2011,%20403-427,%20Lehmann,%202006.pdf>
6. Mandalová, K. - Kotrla, M. - Prčík, M. 2017. Regionálne disparity v pestovaní a využívaní biomasy rýchlorastúcich rastlín v podmienkach Slovenska, SPU v Nitre 2017, 89 s., ISBN 978-80-552-1704-8.
7. Morley, J. 1929. The National Greenkeeper 3, Dostupné z: <https://archive.lib.msu.edu/tic/ngkctc/page/1929dec21-30.pdf>.
8. Ochodek, T. - Najser, J. - Horák J. 2009. Splyňovanie biomasy, SlovGas 4/2009 28 – 31.
9. Pauková, Ž. - Prčík, M. - Wójcik-Gront, E. 2022. Produkcia biomasy a dynamika rastu energetickej trávy *Arundo donax*, Verbum: Praha 2022, 87 s., ISBN 978-80-87800-26-3.
10. Renewable Energy Statistics 2023, Dostupné z: <https://www.irena.org/Publications/2023/Jul/Renewable-energy-statistics-2023>.
11. Renewable Energy Statistics 2023, https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Renewable_energy_statistics#Share_of_renewable_energy_more_than_doubled_between_2004_and_2022.
12. Sombroek, W. 1965. Centre for Agricultural Publications and Documentation, Dostupné z: <https://core.ac.uk/download/pdf/29392986.pdf>
13. Zhang, L. - Xu, Ch. - Champagne, P. 2010. Overview of recent advances in thermo-chemical conversion of biomass, Energy Conversion and Management 51, Elsevier 969–982.

Kontaktná adresa: Ján Gaduš, Prof., Ing., PhD., SPU v Nitre, Fakulta európskych štúdií a regionálneho rozvoja, Ústav udržateľného regionálneho a miestneho rozvoja, Tr. A. Hlinku 2, 949 76 Nitra, e-mail: jan.gadus@uniag.sk, tel. +421 37 641 4620

LEGISLATÍVNY RÁMEC EÚ A SR PRE PESTOVANIE ENERGETICKÝCH RÝCHLORASTÚCICH RASTLÍN

LEGISLATIVE FRAMEWORK OF THE EU AND SLOVAKIA FOR GROWING OF ENERGETIC FAST-GROWING PLANTS

JARMILA LAZÍKOVÁ, IVANA VAČKOVÁ*, ĽUBICA RUMANOVSKÁ, JANA ĎURKOVIČOVÁ

Slovenská poľnohospodárska univerzita v Nitre / Slovak University of Agriculture in Nitra

*Korešpondenčný autor / Corresponding author

ABSTRACT

The use of biomass in the form of fast-growing plants for energy production is part of the EU's energy policy, which is regulated in Art. 194 TFEU. The mentioned article in the context of Art. 11 TFEU respects and enforces the requirements of environmental protection with regard to sustainable development. Biomass for energy production represents one of the renewable energy sources necessary to achieve energy efficiency and energy saving. According to EU primary law, it is the role of the member states to determine strategic goals regarding the structure of energy sources, the structure of the state's energy supply as well as the conditions for the use of their energy resources. It only proves how these competences are crucial to be in the hand of the member states. The first EU secondary legislation on renewable energy sources was created only after the new millennium in 2001 and 2003 as a reaction to the Kyoto Protocol in the context of the commitments made in relation to climate change. A new directive in 2009 introduced common rules for the use of energy from renewable sources for member states. It follows from the available political documents and preambles of legal regulations that the levels of these goals were not stipulated on the precise scientific analyses of the impacts, especially impacts on agriculture and the food industry, environment or society. We believe that scientific impact analysis is a cheaper option than removing the consequences of wrong decisions. So far, the last directive on renewable energy sources is the directive from 2018, which introduced the obligation to increase the share of energy from renewable sources in the total energy consumption from the original 20% to 32%. However, there was no justification for the set amount of this share. Finally, the amendment of the directive from 2023 increased this share to 45% with the justification that it is necessary to achieve the EU's goal in the field of greenhouse gases. Savings in greenhouse gas emissions should also ensure the sustainability criteria defined in Art. 29 of Directive 2018/2001/EU, and which are specified in Commission implementing regulations 2022/2448 for forest biomass and 2022/996 for land use. Directive 2018/2001/EU was transposed into the national law of the member states, including Slovakia, in particular into the laws on energy and the environment. In Slovakia, among the most important is Act No. 309/2009 Coll. on the support of renewable energy sources and highly efficient combined production and on the amendment and supplementation of some laws together with implementing decrees, which currently also applies to heat producers from biomass. Another amendment to this law can be expected in the near future as a result of the transposition of directive 2023/2413/EU (amendment of directive 2018/2001/EU), which adds osmotic energy

to the exhaustive calculation of renewable energy sources. The biomass heat producer is obliged to prove the fulfilment of the sustainability criteria by means of a confirmation obtained from the biomass fuel supplier. The introduction and observance of sustainability criteria ensures the functioning of the internal energy market and facilitates trade between member states. In the case of growing biomass on agricultural land, it is also necessary to respect Act No. 220/2004 Coll. on the protection and use of agricultural land. If the biomass is grown on forest land, the biomass producer proceeds according to Act no. 326/2005 Coll. on forests and Act no. 138/2010 Coll. about forest reproductive material. In addition, it is necessary to take into account Act No. 543/2002 Coll. on nature and landscape protection, according to which consent is required from the state authority for nature and landscape protection for the cultivation of such types of fast-growing plants that are non-native and are not even listed in Annex no. 2 of the Decree of the Ministry of the Slovak Republic no. 170/2021 Coll. Law no. 326/2005 Coll. on forests in contrast to Act no. 220/2004 Coll. on the protection and use of agricultural land, it does not use the term “fast-growing plants” but the term “energy growth” or “forest plantation.” In this case, the approval of the nature and landscape protection authority for the cultivation of non-native species is granted as part of a binding opinion for the purpose of approving the forest care program. If forest reproduction material from import or commercial exchange is used to establish energy growths or forest plantations, the consent of the National Forestry Center is also required. The legislative framework is completed by Act no. 24/2006 Coll. on the assessment of environmental impacts and on the amendment of certain laws, which requires an environmental impact assessment if a growth of fast-growing plants is established on uncultivated or semi-natural territories or if there is deforestation and then the first afforestation for the purpose of changing to another type of land use. The legislative framework for the cultivation of energy fast-growing plants consists of a number of legal regulations of different legal force with the use of various instruments of legal regulation at the EU level and in national law. Their mapping requires knowledge not only of law, but also of other scientific fields, such as agriculture, forestry, landscape engineering, environment, sustainable development or energy industry. Therefore, deeper research into the legislative framework of energy fast-growing plants requires an interdisciplinary approach.

Key words:

EU legislation, energy, renewable energy sources, fast-growing plants, growing on agricultural land

ÚVOD

Biomasa v podobe dreva bola hlavným zdrojom energie od začiatku ľudskej existencie. K znovuobjaveniu obnoviteľných zdrojov energie vrátane biomasy sa spoločnosť vracia potom, čo zdroje fosílnych palív sa postupne vyčerpávajú (Carpita, Sage, 2015) a spôsobujú vážne škody na životnom prostredí (Sharif et al., 2021). Nahrádzanie neobnoviteľných zdrojov biologickými a využívanie biomasy je súčasťou obehového biohospodárstva, ktoré zohráva kľúčovú úlohu pri dosahovaní cieľov udržateľného rozvoja (D’Adamo et al., 2022). Jedným zo zdrojov biomasy je aj drevo získané pestovaním rýchlorastúcich rastlín na poľnohospodárskej pôde alebo lesných pozemkoch. Bioenergetické plodiny sú ústredným prvkom stratégií zmierňovania klimatických zmien, ktoré využívajú biogénny uhlík spolu

s využívaním biomasy na výrobu tepla (Taylor et al., 2019). Pestovanie týchto rastlín môže mať však rôzne dopady na životné prostredie ako aj sociálny a ekonomický rozvoj regiónov (Lymtsiousis, et al., 2018). Spolu s výhodami, akými sú zmena klímy, sekvestrácia uhlíka, zníženie emisií oxidu dusného a obnovenie ekologickej rovnováhy, sa môžu objaviť aj isté výzvy, ktorým treba čeliť pri pestovaní bioenergetických plodín, napr. súperenie o pôdu a vodu s potravinárskymi plodinami, nestabilita trhu s bioenergetickými plodinami, menšie ekonomické stimuly na produkciu ako aj sociálno-ekonomické vplyvy (Garg et al. 2023). Viacerí autori však vidia riešenie v pestovaní rýchlorastúcich energetických rastlín na opustenej a degradovanej pôde (Alaejos et al., 2023). Mnohé z nich sú vhodné na zakladanie lesných plantáží s krátkou rotáciou (Fernández et al., 2020). V EÚ je riziku opustenia pôdy vystavených približne 56 miliónov hektárov pôdy (Schuh et al., 2020). Okrem toho vedecké výsledky dokazujú potrebu preferencie diverzity lesných plantáží pred monokultúrami z dôvodu väčšej odolnosti voči škodcom (Verheyen et al., 2016).

Aby pestovanie energetických rýchlorastúcich rastlín a tvorba biomasy prispeli k dosahovaniu cieľov napr. pri znižovaní emisií skleníkových plynov, musí sa takáto biomasa vyrábať udržateľným spôsobom (Camia et al., 2021). Transformácia energetiky si vyžaduje právny systém, ktorý podporuje najudržateľnejšie formy energie (Giljam, 2016). Európska únia prepracovala smernicu o obnoviteľných zdrojoch energie z roku 2009 a rozšírila kritériá udržateľnosti v novej smernici z roku 2018 tak, aby sa okrem biopalív a biokvapalín na dopravu vzťahovali aj na biomasu určenú výrobu tepla a elektriny (Európska komisia, 2017).

Cieľom článku je zmapovať právne predpisy EÚ a Slovenska vo veci pestovania rýchlorastúcich energetických rastlín a poskytnúť na jednom mieste stručný prehľad tých právnych noriem, ktoré sa venujú danej problematike, resp. s ňou úzko súvisia.

MATERIÁL A METÓDY

V článku sú použité normatívne právne akty EÚ a SR, dôvodové správy a ďalšie dostupné sprievodné dokumenty, vedecké názory publikované v odborných a vedeckých článkoch týkajúcich sa využívania obnoviteľných zdrojov energie. Základnými metódami sú metódy logické a metódy formálne právne, ktoré sú nevyhnutné pri interpretácii normatívnych právnych aktov. Dôležité je aj využitie sociologických metód, osobitne metódy skúmania rôznych dokumentov, ktoré predchádzali alebo sprevádzali vznik normatívnych právnych aktov, ako i dokumentov, ktoré sú výsledkom aplikačnej praxe v tejto oblasti. Vzhľadom na množstvo týchto dokumentov je potrebné uskutočniť ich reprezentatívny výber.

VÝSLEDKY A DISKUSIA

1. Legislatívny rámec pre energetiku a obnoviteľné zdroje energie v primárnom práve EÚ

Európske (hospodárske) spoločenstvo sa začalo angažovať v oblasti energetiky až prijatím Maastrichtskej zmluvy v roku 1993, ktorá medzi jeho aktivity v článku 3 písm. t) zaradila aj opatrenia v oblasti energetiky. Až Lisabonská zmluva z roku 2009 vyčlenila energetiku ako samostatnú politiku EÚ v rámci vnútorných činností a politik EÚ v XXI. hlave tretej časti Zmluvy o fungovaní EÚ (ZFEÚ).

Do prijatia Lisabonskej zmluvy sa sekundárne právne predpisy prijímali spravidla na základe ustanovení o transeurópskych sieťach alebo o životnom prostredí, či ustanoveniach o aproximácii právnych predpisov členských štátov. V súčasnosti článok 194 ZFEÚ predstavuje právny základ na prijímanie sekundárnych právnych predpisov (nariadení, smerníc, rozhodnutí) v oblasti energetiky. Tieto sa prijímajú spravidla riadnym legislatívnym postupom (čl. 194 ods. 2 ZFEÚ). Len výnimočne v citlivých oblastiach týkajúcich sa fiškálnej politiky je možné využiť mimoriadny legislatívny postup, v rámci ktorého sekundárne právne akty prijíma Rada jednomyseľne po porade s Európskym parlamentom (čl. 194 ods. 3 ZFEÚ).

Politika energetiky patrí podľa čl. 4 ZFEÚ do spoločných právomocí EÚ a členských štátov, čo znamená, že právne predpisy môže prijímať nielen EÚ, ale aj členské štáty v zmysle princípu subsidiarity (čl. 5 Zmluvy o Európskej únii - ZEÚ a Protokol č. 2 o používaní zásad subsidiarity a proporcionality pripojené k ZEÚ a ZFEÚ).

Podľa čl. 194 ods. 1 ZFEÚ *v rámci vytvorenia a fungovania vnútorného trhu a so zreteľom na potrebu zachovávať a zlepšovať životné prostredie sleduje politika Únie v oblasti energetiky v duchu solidarity medzi členskými štátmi tieto ciele:*

- a) *zabezpečovať fungovanie trhu v oblasti energetiky;*
- b) *zabezpečovať bezpečnosť dodávok energie v Únii;*
- c) *presadzovať energetickú efektívnosť, úsporu a vývoj nových a obnoviteľných zdrojov energie a*
- d) *podporovať prepojenie energetických sietí.*

Z citovaného ustanovenia vyplýva, že energetika ako jedna z vnútorných politík EÚ je súčasťou vnútorného trhu, t.j. trhu bez vnútorných hraníc medzi členskými štátmi, kde je zabezpečený voľný pohyb tovarov, osôb, služieb a kapitálu. metodi Podmienka solidarity medzi členskými štátmi má zabezpečiť riešenie krízových situácií najmä v prípade výpadkov dodávok energie v rámci EÚ. Prvé dva hlavné ciele v oblasti energetiky a to zabezpečiť funkčný trh s energiami a bezpečnosť dodávok energie v EÚ dopĺňa tretí cieľ zameraný na energetickú efektívnosť, úsporu energie, k čomu majú prispieť aj nové a obnoviteľné zdroje energie. Práve tieto zdroje predstavujú cestu, ako znižovať energetickú závislosť EÚ od tretích krajín a bojovať proti klimatickým zmenám (Syllová et al., 2010). Členským štátom aj naďalej zostalo určiť si podmienky pre využívanie svojich energetických zdrojov, zvoliť si štruktúru zdrojov energie ako aj štruktúru zásobovania štátu energiou (čl. 194 ods. 2 ZFEÚ). Takéto vymedzenie kompetencií *expressis verbis* členským štátom v primárnom práve býva ojedinelé. Z toho vyplýva, že členské štáty považujú tieto tri kompetencie v oblasti energetiky za strategické z hľadiska svojej vnútornej bezpečnosti. EÚ má však právo v zmysle čl. 192 ods. 2 písm. c) ZFEÚ v rámci politiky ochrany životného prostredia prijať mimoriadnym legislatívnym postupom opatrenia, ktoré môžu významne ovplyvniť voľbu členského štátu medzi rôznymi energetickými zdrojmi a základnú skladbu jeho zásobovania energiou.

Ako právny základ na prijímanie sekundárnych právnych aktov je možné využiť aj článok 114 a čl. 115 ZFEÚ o aproximácii práva členských štátov. Avšak je oblasť energetiky upravená v osobitnej hlave, mali by sa prednostne sekundárne právne predpisy v tejto oblasti opierať o čl. 194 ZFEÚ.

2. Vývoj sekundárneho práva EÚ v oblasti energetiky, obnoviteľných zdrojov energie a biomasy

EÚ zatiaľ neprišla priamo k právnej regulácii pestovania energetických rýchlorašúcich rastlín, prijala však niekoľko smerníc týkajúcich sa energie z obnoviteľných zdrojov a biopalív a palív z biomasy, v ktorých určuje kritériá udržateľnosti za účelom získania finančnej podpory na takto vyrábané palivá.

Právny predchodca Európskej únie, Európske (hospodárske) spoločenstvo, sa pričínilo o prijatie smernice o podpore výroby elektrickej energie z obnoviteľných zdrojov v roku 2001 a v nadväznosti na ňu o dva roky neskôr aj smernice o podpore používania biopalív a iných obnoviteľných palív v doprave, pričom právny základ predstavoval čl. 175 Zmluvy o európskom spoločenstve (ZES), dnes čl. 192 ZFEÚ týkajúci sa politiky životného prostredia. Dovtedy sa problematika obnoviteľných zdrojov objavovala prevažne v politických dokumentoch, ako napr. Biela kniha o obnoviteľných zdrojoch energie,¹ Rezolúcia Rady z 8.6.1998 o obnoviteľných zdrojoch energie² a pod.

Smernica Európskeho parlamentu a Rady č. 2001/77/ES o podpore elektrickej energie vyrábanej z obnoviteľných zdrojov energie na vnútornom trhu s elektrickou energiou reagovala na záväzky EÚ prijaté v Kjótskom protokole.³ Podpora výroby energie z obnoviteľných zdrojov sa stala jednou z priorít EÚ z dôvodu bezpečnosti, diverzity ponuky energií, ochrane životného prostredia a napokon sociálnej a ekonomickej súdržnosti. Smernica obsahovala legálne definície pojmu obnoviteľné zdroje, ktoré znamenali *obnoviteľné nefosílné zdroje energie (veternú, solárnu, geotermálnu energiu, energiu vln a príboja, vodnú energiu, energiu z biomasy, zo skládkových plynov, z plynov z čistiarní odpadových vôd a z bioplynov)* a biomasa, pod ktorou sa rozumeli *biologicky rozložiteľné frakcie výrobkov, odpadu a zvyškov z poľnohospodárstva (vrátane rastlinných a živočíšnych látok), lesníctva a príbuzných odvetví, ako aj biologicky rozložiteľné frakcie priemyselného a komunálneho odpadu*.

Dôvodom prijatia druhej smernice Európskeho parlamentu a Rady č. 2003/30/ES o podpore používania biopalív alebo iných obnoviteľných palív v doprave bola snaha dosiahnuť ciele ako *je splnenie záväzkov vo vzťahu na klimatické zmeny, ekologicky priaznivá bezpečnosť zásobovania palivami a podpora obnoviteľných zdrojov energie* (čl. 1 smernice), nakoľko *podporovanie používania biopalív v súlade s udržateľnou praxou v poľnohospodárstve a lesnom hospodárstve stanovenou v pravidlách, ktorými sa riadi spoločná poľnohospodárska politika, by mohlo vytvoriť nové príležitosti pre udržateľný rozvoj vidieka vo väčšej miere na trh orientovanej poľnohospodárskej politike, zameranej na európsky trh a na prosperujúci vidiecky život a multifunkčné poľnohospodárstvo, a mohlo by otvoriť nový trh pre inovačné poľnohospodárske výrobky so zreteľom na súčasné a budúce členské štáty* (bod 15 preambuly smernice). Smernica síce obsahovala legálnu definíciu biomasy, ale identickú s legálnou definíciou uvedenou v smernici č. 2001/77/ES.

Obe smernice boli nahradené v roku 2009 novým predpisom a to smernicou Európskeho parlamentu a Rady 2009/28/ES o podpore využívania energie z obnoviteľných zdrojov energie a o zmene a doplnení a následnom zrušení smerníc 2001/77/ES a 2003/30/ES ešte stále

¹ COM(97) 599 final, Brussels, 26.11.1997

² Ú. v. ES C 198, 24.6.1998, s. 1.

³ Rozhodnutie Rady z 25. apríla 2002, ktoré sa týka schválenia Kjótskeho protokolu k Rámcovému dohovoru Organizácie Spojených národov o klimatických zmenách a spoločnom plnení záväzkov z neho vyplývajúcich v mene Európskeho spoločenstva (Ú. v. ES L 130, 15.5.2002, s. 1 – 3)

založenou na článku primárneho práva týkajúceho sa životného prostredia. Uvedená smernica zavádza spoločné pravidlá využívania energie z obnoviteľných zdrojov pre členské štáty, ktorých cieľom je najmä eliminovať emisie skleníkových plynov, podporovať využívanie energeticky efektívnych technológií a energie z obnoviteľných zdrojov ako účinné nástroje na zaistenie bezpečnosti dodávok energie. Tieto nástroje zároveň prispievajú k podpore technického rozvoja a inovácií, vytvárajú nové pracovné príležitosti a podporujú rozvoj vidieckych oblastí. Celkovým cieľom smernice bolo dosiahnuť, aby sa do roku 2020 z obnoviteľných zdrojov energie vyrábalo 20 % energie na celkovej energetickej spotrebe EÚ a aby podiel biopalív na celkovej spotrebe palív v doprave bol minimálne 10 % s podmienkou, že tento cieľ majú dosiahnuť všetky členské štáty nákladovo efektívnym spôsobom (bližšie preambula smernice 2009/28/ES, bod 9 – 13). Uvedené ciele však boli stanovené bez toho, aby bola vopred preskúmaná ich udržateľnosť. Z vyjadrenia Európskej rady na jej zasadnutí v roku 2008 vyplýva, že v čase zavádzania týchto cieľov neboli známe dôsledky výroby biopalív na poľnohospodárske a potravinárske výrobky ani environmentálne a sociálne dôsledky výroby a spotreby biopalív (preambula smernice 2009/28/ES, bod 13). Preto tento krok EÚ nemožno vnímať pozitívne, prijatie takto závažných opatrení pre všetky členské štáty mala predchádzať dôsledná vedecká analýza vplyvov, ktorá by bola vždy nákladovo efektívnejšia než odstraňovanie následkov vedecky nepodložených politických rozhodnutí. K podobným záverom dospel aj autorský kolektív Cadillo-Benalcazar et al. (2021), podľa ktorého zodpovedný proces tvorby politík by nemal byť založený na spájaní cieľov s naratívmi obhajoby, ale by sa mal zamerať na súlad medzi týmito naratívmi (t. j. problémy, ktoré treba riešiť) a normatívnymi naratívmi (t. j. identifikáciou toho, čo by sa malo urobiť) na základe hodnoverných vysvetlení.

Smernica 2009/28/ES prakticky prevzala legálnu definíciu biomasy z predchádzajúcej smernice, pričom spresnila, že zvyšky z poľnohospodárstva môžu byť iba biologického pôvodu a tiež *expressis verbis* spresnila, že za príbuzné odvetvia sa považuje aj rybné hospodárstvo a akvakultúra (čl. 2 písm. e) smernice 2009/28/ES). Smernica rozlišuje biopalivá vyrobené z poľnohospodárskych komodít pestovaných na ornej pôde, ako napr. cukrová repa, pšenica, kukurica, repka olejná, slnečnica, sója) a biopalivá vyrobené z odpadu, poľnohospodárskeho odpadu (napr. slama, drevný odpad) a drevín pestovaných na tento účel.

Uvedená smernica bola niekoľkokrát podstatne zmenená, preto európsky zákonodarca pristúpil k prepracovaniu smernice, výsledkom čoho bolo prijatie novej smernice Európskeho parlamentu a Rady (EÚ) 2018/2001 o podpore využívania energie z obnoviteľných zdrojov. Smernica po prvýkrát vychádza z právneho základu primárneho práva, ktorým je článok 194 ZFEÚ týkajúci sa energetickej politiky EÚ. Nová smernica zvyšuje podiel obnoviteľných zdrojov energie na celkovej energetickej spotrebe EÚ z pôvodných 20 % na 32 % bez toho, aby aspoň preambula smernice vysvetlila, resp. odkázala na príslušný dokument, ktorý by zdôvodnil zvolenú 32%-nú úroveň. Preambula smernice odkazuje na oznámenia Komisie z 22. januára 2014 s názvom Rámec politík v oblasti klímy a energetiky na obdobie rokov 2020 až 2030, ktoré stanovuje rámec budúcich politík Únie v oblasti energetiky a klímy, a v ktorom Komisia navrhla zvýšiť podiel energie z obnoviteľných zdrojov spotrebovanej v EÚ na 27%. Európska rada síce schválila tento návrh, ale s pripomienkou, že členské štáty si majú stanoviť ambicioznejšie ciele. Európsky parlament v uzneseniach z 5.2.2014 zdôraznil, že *v súvislosti s Parížskou dohodou a nedávnym znížením nákladov na technológie energie z obnoviteľných*

zdrojov je žiaduce podstatne zvýšiť ambície (bod 6 preambuly smernice 2018/2001). Z uvedeného vyplýva, že stanoveniu uvádzaných limitov nepredchádzala žiadna vedecká alebo odborná analýza s ohľadom na environmentálne a sociálne dopady.

Podľa dokumentu Komisie zo 17. septembra 2020 (Ambicióznejšie klimatické ciele pre Európu na rok 2030) by podiel energie z obnoviteľných zdrojov musel narásť do roku 2030 na 40 %, aby sa podarilo dosiahnuť cieľ Únie v oblasti zníženia emisií skleníkových plynov. Preto Komisia navrhla zdvojnásobiť podiel energie z obnoviteľných zdrojov tak, aby dosiahol aspoň 40%. Tento návrh sa pretavil v roku 2023 do novely smernice 2018/2001 (smernica Európskeho parlamentu a Rady (EÚ) 2023/2413), ktorá upravila minimálne limity podielu obnoviteľných zdrojov energie na 42,5 % do roku 2030 na celkovej spotrebe energie v EÚ s dodatočným odporúčaným 2,5% navýšením pre členské štáty na dosiahnutie cieľa 45 %.

Nová smernica 2018/2001 obsahuje legálne definície pojmov energia z obnoviteľných zdrojov a biomasa, ktoré sa v zásade nelíšia od legálnych definícií v predchádzajúcich smerniciach. Definícia energie z obnoviteľných zdrojov na rozdiel od predchádzajúcich definícií rozlišuje „slnečnú tepelnú a fotovoltaickú slnečnú energiu,“ „energiu z okolia“⁴ a „inú energiu oceánu.“⁵ A novela smernice z roku 2003 doplnila tento výpočet o osmotickú energiu.⁶ Legálna definícia biomasy sa prakticky nezmenila s výnimkou priemyselného a komunálneho odpadu, ktorý bol doplnený o podmienku biologického pôvodu, čím sa z definície biomasy vylúčil odpad, ktorý síce biologicky rozložiteľný bol, ale nebol biologického pôvodu (napr. papier, kartón, prírodné textílie, spracované drevo).⁷

Smernica 2018/2001/EÚ zaviedla súbor pravidiel pre používanie obnoviteľných zdrojov na výrobu elektriny, na vykurovanie a chladenie a v doprave v EÚ, ktorých ciele korešpondujú s cieľmi predchádzajúcich smerníc zameraných na boj proti zmene klímy, ochranu životného prostredia a znižovanie energetickej závislosti EÚ. Tieto pravidlá zahŕňajú finančnú podporu elektriny z obnoviteľných zdrojov, pravidiel dodávok elektrickej energie z obnoviteľných zdrojov do siete, pravidiel umožňujúce spotrebiteľom vyrábať si vlastnú elektrinu z obnoviteľných zdrojov, pravidiel pre zrýchlené postupy udeľovania povolení pre projekty v oblasti obnoviteľných zdrojov energie a pravidiel na podporu a využívanie biomasy na výrobu energie so zadanými kritériami udržateľnosti a úspor emisií skleníkových plynov.

Kritériá udržateľnosti pre biopalivá, biokvapaliny a palivá z biomasy

Smernica 2018/2001/EÚ upravuje v článku 29 kritériá udržateľnosti a úspory emisií skleníkových plynov pre biopalivá, biokvapaliny a palivá z biomasy.

Európsky zákonodarcia zakazuje zohľadniť na účely započítania podielu energie z obnoviteľných zdrojov v členských štátoch a na účely poskytnutia finančnej podpory tie biopalivá, biokvapaliny a palivá z biomasy vyrobené z poľnohospodárskej biomasy, ak sú vyrobené

⁴ prirodzene sa vyskytujúca tepelná energia a energia akumulovaná v prostredí s obmedzenými hranicami, ktorá môže byť uložená v okolitom vzduchu okrem odvetrávaného vzduchu alebo v povrchovej či odpadovej vode (čl. 2 bod 2 smernice 2018/2001/EÚ)

⁵ Napr. termálna energia oceánov, energia oceánskych prúdov alebo osmotická energia.

⁶ energia, ktorá vznikne v dôsledku rozdielu v koncentrácii soli medzi dvoma tekutinami, ako je napríklad sladká a slaná voda (čl. 2 bod 44b smernice 2018/2001/EÚ)

⁷ Zelená kniha o nakladaní s biologickým odpadom v Európskej únii {SEK(2008) 2936} /* KOM/2008/0811, Brusel, 3.12.2008

- zo surovín získaných z pôdy s vysokou biologickou rozmanitosťou, konkrétne pôdy, ako sú pralesy, lesy a iné zalesnené plochy s prirodzene sa vyskytujúcimi druhmi alebo s vysokou biologickou rozmanitosťou, chránené oblasti prírody a oblasti určené na ochranu vzácnych a ohrozených ekosystémov, trávne porasty s vysokou biologickou rozmanitosťou s výmerou nad jeden hektár, ak ide o prirodzené alebo poloprirodzené trávne porasty a vresoviská;

- zo surovín získaných z pôdy s vysokými zásobami uhlíka, ako sú mokrade, súvislo zalesnené oblasti s plochou nad jeden hektár a stromami vyššími ako 5 metrov a s pokryvom koruny viac ako 30% a pôda s výmerou nad jeden hektár so stromami vyššími ako 5 metrov a s pokryvom koruny od 10% do 30 %;

- zo surovín získaných z pôdy, ktorá bola rašeliniskom, pokiaľ sa nepreukáže, že nedochádza k odvodňovaniu danej plochy;

Biopalivá, biokvapaliny a palivá z biomasy vyrobené z lesnej biomasy musia na účely podpory a započítania spĺňať tieto kritériá:

- ťažba biomasy je v súlade s vnútroštátnymi právnymi predpismi, pričom les sa v oblasti ťažby musí obnovovať;

- chránia sa oblasti ochrany prírody vrátane mokradí, trávnych porastov, vresovísk a rašelinísk s cieľom zachovať biodiverzitu a zabrániť zničeniu biotopov;

- ťažba sa vykonáva s ohľadom na zachovanie kvality pôdy a biodiverzity v súlade so zásadami udržateľného obhospodarovania lesov;

- ťažbou sa zachováva alebo zlepšuje dlhodobá produkčná kapacita lesa;

- ťažba sa nevykonáva v oblastiach ako sú mokrade, rašeliniská, vresoviská, pralesy, lesy a iné zalesnené plochy s prirodzene sa vyskytujúcimi druhmi alebo s vysokou biologickou rozmanitosťou s vyhlásením zariadení vyrábajúcich kvapaliny a palivá z lesnej biomasy, že lesná biomasa nepochádza z týchto pozemkov.

Uvedené podmienky spresňujú (najmä spôsoby preukazovania ich naplnenia) vykonávacie akty Komisie, konkrétne vykonávacie nariadenie Komisie (EÚ) 2022/2448 o stanovení prevádzkových usmernení pre dôkazy na preukázanie súladu s kritériami udržateľnosti pre lesnú biomasu stanovenými v článku 29 smernice Európskeho parlamentu a Rady (EÚ) 2018/2001 a vykonávacie nariadenie Komisie (EÚ) 2022/996 o pravidlách overovania kritérií udržateľnosti a úspor emisií skleníkových plynov a kritérií nízkeho rizika nepriamej zmeny využívania pôdy.

Európska únia sa uvedenou právnou úpravou snaží nájsť optimálne riešenie medzi záujmami, akým je dosahovanie ambiciózných cieľov v oblasti využívania obnoviteľných zdrojov energie na jednej strane a znižovania negatívnych vplyvov pri dosahovaní týchto cieľov na životné prostredie na strane druhej (Melykh, Jha, 2016). Kritériá udržateľnosti sú však prednostne orientované iba na environmentálne vplyvy a opomínajú sociálne dopady, ako sú práva k pozemkom, dostupnosť pracovných príležitostí a dostupnosť potravín (Van Dam, 2014).

3. Vnútroštátna právna úprava SR obnoviteľných zdrojov energie a pestovania energetických rýchloraštúcich rastlín

Nakoľko európsky zákonodarca využil ako nástroj právnej regulácie smernice, je potrebné tieto právne akty transponovať do vnútroštátnych právnych poriadkov členských štátov. Smernica 2018/2001/ES bola transponovaná na Slovensku do viacerých právnych predpisov, najmä zákonov o energetike (zákon č. 657/2004 Z. z. o tepelnej energetike, zákon č. 555/2005 Z. z. o energetickej hospodárnosti budov a o zmene a doplnení niektorých zákonov, zákon č. 251/2012 Z. z. o energetike a o zmene a doplnení niektorých zákonov, zákon č. 321/2014 Z. z. o energetickej efektívnosti a o zmene a doplnení niektorých zákonov, zákon č. 309/2009 Z. z. o podpore obnoviteľných zdrojov energie a vysoko účinnej kombinovanej výroby a o zmene a doplnení niektorých zákonov spolu s vykonávacími predpismi) a zákonov týkajúcich sa životného prostredia (napr. zákon č. 326/2005 Z. z. o lesoch, zákon č. 79/2015 Z. z. o odpadoch a o zmene a doplnení niektorých zákonov). Podmienkami pestovania energetických rýchloraštúcich rastlín sa slovenský zákonodarca zaoberal v ust. § 18a) zákone č. 220/2004 Z. z. o ochrane a využívaní poľnohospodárskej pôdy a o zmene zákona č. 245/2003 Z. z. o integrovanej prevencii a kontrole znečisťovania životného prostredia a o zmene a doplnení niektorých zákonov (ďalej len zákon o ochrane pôdy).

3.1 Obnoviteľné zdroje energie a biomasa na výrobu elektriny a tepla

Zákon č. 309/2009 Z. z. o podpore obnoviteľných zdrojov energie a vysoko účinnej kombinovanej výroby a o zmene a doplnení niektorých zákonov (ďalej len zákon o obnoviteľných zdrojoch energie alebo zákon č. 309/2009 Z. z.) predstavuje spolu s vykonávacou vyhláškou Ministerstva hospodárstva SR č. 373/2011 Z. z.⁸ právny nástroj na podporu výroby energie z obnoviteľných zdrojov, ktorý slúži na dosiahnutie cieľov smernice 2018/2001 a jej právnych predchodcov. Tento zákon je *lex specialis* vo vzťahu k ostatným zákonom o energetike, najmä k zákonu č. 251/2012 Z. z. a zákonu č. 657/2004 Z. z. uvedených vyššie, čo znamená, že odpovede na otázky neupravené v tomto právnom predpise treba hľadať v týchto zákonoch vystupujúcich ako *lex generalis* k zákonu o obnoviteľných zdrojoch energie.

Zákon o obnoviteľných zdrojoch energie upravuje:

- (1) spôsob a podmienky podpory výroby biometánu, elektriny z obnoviteľných zdrojov energie alebo vysokou účinnou kombinovanou výrobou (t.j. výrobou, ktorá zabezpečí úsporu primárnej energie; legálnu definíciu obsahuje ust. § 2 ods. 2 písm. g) až j) zákona o obnoviteľných zdrojoch energie).
- (2) práva a povinnosti výrobcov elektriny (z obnoviteľných zdrojov, kombinovanou a vysoko účinnou kombinovanou výrobou), biometánu a tepla z paliva vyrobeného z biomasy. Tento posledný bod bol pridaný zákonom č. 363/2022 Z. z., ktorým sa novelizoval zatiaľ posledný raz zákon o obnoviteľných zdrojoch energie. Podľa dôvodovej správy k zákonu sa „rozširuje predmet úpravy zákona aj o ustanovenie práv a povinností výrobcov tepla z biomasy. Ide o rozšírenie povinnosti dodržiavať kritériá trvalej udržateľnosti pri využívaní biomasy aj na výrobcov tepla, ktorí nevyrábajú súčasne elektrinu.“

⁸ Vyhláška Ministerstva hospodárstva SR č. 373/2011 Z. z., ktorou sa vykonávajú niektoré ustanovenia zákona č. 309/2009 Z. z. o podpore obnoviteľných zdrojov energie a vysoko účinnej kombinovanej výroby.

- (3) práva a povinnosti ďalších účastníkov trhu s elektrinou a plynom; uvedené vymedzenie však nepokrýva úplne všetkých účastníkov trhu, netýka sa napr. práv a povinností prevádzkovateľov prepravnej siete či zásobníkov (Ferencz et al., 2020).
- (4) práva a povinnosti právnických a fyzických osôb, ktoré uvádzajú na trh pohonné látky a iné energetické produkty používané na dopravné účely doplnené zákonom č. 492/2010 Z. z. ako prvou novelou zákona o obnoviteľných zdrojoch energie (§ 14a až 14c, § 14 f zákona o obnoviteľných zdrojoch energie upravujú referenčné hodnoty, t.j. minimálny energetický obsah pohonných látok vrátane pokročilých biopalív, podmienky vydania potvrdenia o udržateľnosti, overovanie povinnosti znižovania emisií skleníkových plynov v doprave prostredníctvom správy zasielanej SHMÚ).

Posledná novela zákona o obnoviteľných zdrojoch energie zosúladiť legálne definície niektorých pojmov vrátane pojmu energia z obnoviteľných zdrojov a biomasa s legálnymi definíciami smernice 2018/2001. Legálna definícia biomasy je totožná s dikciou biomasy v smernici 2018/2001. V legálnej definícii obnoviteľných zdrojov energie, v ich taxatívnom výpočte, absentuje osmotická energia, ktorú zaviedla až smernica 2023/2413 ako druhá novela smernice 2018/2001. Túto smernicu je potrebné transponovať do 21.5.2025, preto možno v najbližšom období očakávať ďalšiu novelu zákona o obnoviteľných zdrojoch energie.

Ako už bolo spomenuté vyššie, zatiaľ posledná novela zákona o obnoviteľných zdrojoch energie doplnila predmet zákona o práva a povinnosti výrobcov tepla z paliva vyrobeného z biomasy (čl. I § 1 písm. b) bod 5 zákona č. 309/2009 Z. z.). Túto problematiku upravuje lomené ust. § 14i zákona o obnoviteľných zdrojoch energie ako povinnosti výrobcu tepla biomasy spolu s povinnosťami výrobcu elektriny z biomasy, ktoré podľa legálnej definície je jedným z obnoviteľných zdrojov energie. Predmetné ustanovenie žiada od výrobcov, aby sa palivá z biomasy efektívne pretransformovali „na elektrinu a teplo s cieľom maximalizovať energetickú bezpečnosť a úspory emisií skleníkových plynov, ako aj obmedziť emisie látok znečisťujúcich ovzdušie a znížiť tlak na obmedzené zdroje biomasy“ (dôvodová správa k zákonu č. 363/2022 Z. z.). Na tieto účely je výrobca povinný vykonať bilanciu spotreby biokvapaliny a palív z biomasy za predchádzajúci kalendárny rok a zverejniť na svojom webovom sídle informácie o geografickom pôvode a druhu biomasy použitej na ich výrobu za každého dodávateľa paliva (§ 14i zákona č. 309/2009 Z. z.).

Kritériá udržateľnosti a úspor emisií skleníkových plynov pre biopalivá, biokvapaliny a palivá z biomasy upravené v § 14h zákona o obnoviteľných zdrojoch energie sú výsledkom transpozície smernice 2018/2001/EÚ. Harmonizácia týchto kritérií zabezpečuje fungovanie vnútorného trhu s energiou a tým uľahčuje obchod medzi členskými štátmi s vyhovujúcimi biopalivami a biokvapalinami (z dôvodovej správy k zákonu č. 363/2022 Z. z.). Výšku požadovaných úspor emisií skleníkových plynov ako aj kritériá udržateľnosti týkajúce sa využívania pôdy a lesného hospodárstva upravuje vyhláška Ministerstva životného prostredia SR č. 271/2011 Z. z. v znení neskorších noviel.

Kritériá udržateľnosti musia spĺňať zariadenia na výrobu elektriny a/alebo tepla *s celkovým menovitým tepelným príkonom aspoň 20 MW, ak sa používajú tuhé palivá z biomasy, alebo 2 MW, ak sa používajú plynné palivá z biomasy* (§ 14h ods. 2 zákona č. 309/2009 Z. z.) a ostatné zariadenia na výrobu elektriny a/alebo tepla, ak je splnenie týchto kritérií podmienkou

poskytnutia dotácie na ich výstavbu, rekonštrukciu alebo modernizáciu z mechanizmu plánu obnovy⁹ alebo z fondov EÚ¹⁰ (§ 14h ods. 3 zákona č. 309/2009 Z. z.).

Spĺnenie kritérií udržateľnosti podľa § 14h zákona č. 309/2009 Z. z. preukazuje výrobca biopaliva, biokvapaliny alebo palív z biomasy (ďalej len biopalivá) potvrdením o udržateľnosti získaným od dodávateľa palív z biomasy, ktoré je povinný archivovať päť rokov spolu s vyhláseniami pestovateľa alebo dodávateľa biomasy¹¹, ak na ich základe vydal potvrdenie o udržateľnosti. Náležitosti vyhlásenia pestovateľa alebo dodávateľa biomasy upravuje vyhláška Ministerstva pôdohospodárstva a rozvoja vidieka SR č. 397/2023 Z. z. a vzor vyhlásenia je zverejnený na webovom sídle ministerstva. V potvrdení o udržateľnosti sa uvedie aj výška úspor emisií skleníkových plynov (§ 14h ods. 4 zákona č. 309/2009 Z. z.). Právo vydať takéto potvrdenie má iba ten výrobca, ktorý (1) podlieha dohľadu, ktorý vykonáva fyzická alebo právnická osoba odborne spôsobilá overovať výpočet emisií skleníkových plynov, alebo ktorý podlieha dobrovoľnému certifikačnému systému; (2) používa systém hmotnostnej bilancie (§ 6 vyhlášky MŽP SR č. 271/2011 Z. z.); a (3) uchováva prílohu potvrdenia o udržateľnosti (t. j. vyhlásenia pestovateľov alebo dodávateľov biomasy) aspoň päť rokov.

Ak sú biopalivá vyrábané z biomasy pochádzajúcej z poľnohospodárskej pôdy, kritériá udržateľnosti spĺňajú len vtedy, ak sú v súlade s ochranou kvality pôdy a pôdneho organického uhlíka v zmysle zákona č. 220/2004 Z. z. o ochrane a využívaní poľnohospodárskej pôdy (napr. ust. § 7 o zásadách bilancie pôdnej organickej hmoty).

Ak sú biopalivá vyrábané z lesnej biomasy, spĺňajú kritériá udržateľnosti, za predpokladu, že má dodávateľ lesnej biomasy hospodárske opatrenie odsúhlasené orgánom štátnej správy lesného hospodárstva alebo schválený program starostlivosti o lesy podľa § 40 ods. 1 zákona č. 326/2005 Z. z. o lesoch, t. j. zber a ťažba biomasy v lesoch sa uskutočňuje udržateľným spôsobom, ak je zaistená obnova lesa, drevná surovina pochádza len z lesov, v ktorých zber a ťažba prebiehajú v súlade so zásadami udržateľného obhospodarovania lesov, ktorých dodržiavanie zabezpečuje hospodárske opatrenie odsúhlasené orgánom štátnej správy lesného hospodárstva alebo schválený program starostlivosti o lesy.

Každá osoba zapojená do životného cyklu výroby biopaliva z biomasy a to od pestovania alebo vzniku suroviny po jej dodanie na trh v Slovenskej republike, je povinná podľa § 14i ods. 14 zákona č. 309/2009 Z. z. (1) *poskytovať svojmu odberateľovi presné, úplné a pravdivé informácie o pôvode biomasy alebo suroviny*, (2) *viest' evidenciu o hmotnostnej bilancii a pohybe biomasy alebo suroviny a uchovávať ju najmenej päť rokov*, (3) *poskytnúť informácie nevyhnutné na preukázanie plnenia kritérií trvalej udržateľnosti na žiadosť oprávnených subjektov*. Sú nimi Slovenská obchodná inšpekcia, Slovenská lesnícko-drevárska inšpekcia, Ministerstvo pôdohospodárstva a rozvoja vidieka SR, Finančné riaditeľstvo SR, Slovenský hydrometeorologický ústav a Ministerstvo životného prostredia SR.

⁹ Zákon č. 368/2021 Z. z. o mechanizme na podporu obnovy a odolnosti a o zmene a doplnení niektorých zákonov v znení neskorších predpisov

¹⁰ napr. zákon č. 292/2014 Z. z. o príspevku poskytovanom z európskych štrukturálnych a investičných fondov a o zmene a doplnení niektorých zákonov v znení neskorších predpisov, zákon č. 121/2022 Z. z. o príspevkoch z fondov Európskej únie a o zmene a doplnení niektorých zákonov.

¹¹ Vzhľadom k tomu, že povinnosť preukazovania úspor emisií skleníkových plynov pre palivá z biomasy sa vyžaduje pre zariadenia uvedené do prevádzky po 1. januári 2021, ustanovuje sa aj možnosť pre staršie zariadenia preukázať spĺnenie kritérií trvalej udržateľnosti len vyhlásením pestovateľa alebo dodávateľa biomasy (§ 14i ods. 4 zákona č. 309/2009 Z. z. a dôvodová správa k zákonu č. 363/2022 Z. z.).

Zákon o obnoviteľných zdrojoch energie (§ 14i ods. 16) ukladá Ministerstvu pôdohospodárstva a rozvoja vidieka SR povinnosť určiť príspevkovú organizáciu, ktorá spravuje a aktualizuje databázu území, na ktorých vypestovaná biomasa spĺňa kritériá udržateľnosti. Podľa vyhlášky Ministerstva pôdohospodárstva a rozvoja vidieka SR č. 295/2011 Z. z. bol touto organizáciou Výskumný ústav pôdoznanectva a ochrany pôdy v Bratislave. Táto vyhláška bola zrušená vyhláškou Ministerstva pôdohospodárstva a rozvoja vidieka SR č. 397/2023 Z. z., podľa návrhu ktorej malo byť touto organizáciou Národné poľnohospodárske a potravinárske centrum. Aktuálne znenie tejto vyhlášky neobsahuje ustanovenie o určení príspevkovej organizácie s uvedenou úlohou. Príslušné ministerstvo však vydalo 12.10.20223 rozhodnutie o určení tejto príspevkovej organizácie, ktorou sa stalo Národné poľnohospodárske a potravinárske centrum,¹² ktorej súčasťou sa stal aj pôvodný Výskumný ústav pôdoznanectva a ochrany pôdy, ktorý zanikol splynutím do tejto novej štátnej príspevkovej organizácie. Taktiež novelou zákona o obnoviteľných zdrojoch energie z roku 2022 zaniklo oprávnenie ministerstva na vydávanie všeobecne záväzného predpisu na určenie predmetnej príspevkovej organizácie a nahradilo sa novou právomocou ministerstva určiť príspevkovú organizáciu na tento účel, ministerstvo splnilo túto úlohu vydaním rozhodnutia.

3.2 Pestovanie energetických rýchlorastúcich rastlín (drevín) na poľnohospodárskej pôde

Zásady a postup pri zakladaní porastu rýchlorastúcich drevín na poľnohospodárskej pôde upravuje zákon č. 220/2004 Z. z. o ochrane a využívaní poľnohospodárskej pôdy a o zmene zákona č. 245/2003 Z. z. o integrovanej prevencii a kontrole znečisťovania životného prostredia a o zmene a doplnení niektorých zákonov (ďalej len zákon č. 220/2004 Z. z.) v ust. § 18a, ktoré zaviedol zákon č. 57/2013 Z. z. Do prijatia tejto novely bolo potrebné na založenie porastu rýchlorastúcich drevín na poľnohospodárskej pôde žiadať o odňatie tejto pôdy z poľnohospodárskeho pôdneho fondu podľa ust. § 17 zákona č. 220/2004 Z. z. Dovtedajšie znenie zákona neupravovalo osobitne problematiku pestovania rýchlorastúcich drevín. Novela z roku 2013 umožnila zakladanie porastov rýchlorastúcich drevín síce bez konania o odňatí pôdy, ale zaviedla osobitný postup zakladania týchto porastov. Tieto porasty však nemožno zakladať na akejkoľvek poľnohospodárskej pôde, ale iba na poľnohospodárskej pôde, ktorá:

- je zaradená podľa kódu bonitovanej pôdno-ekologickej jednotky (ďalej len BPEJ) do piatej až deviatej kvalitatívnej skupiny;
- je kontaminovaná rizikovými látkami, o ktorej orgán ochrany poľnohospodárskej pôdy rozhodol, že pozemok je kontaminovaný rizikovými látkami ohrozujúcimi zdravie alebo život ľudí a zvierat a že poľnohospodárske plodiny sa nesmú používať na výrobu potravín, krmív ani sa nesmú používať v potravinovom reťazci (§ 8 ods. 5 zákona č. 220/2004 Z. z.).
- je zaradená podľa kódu bonitovanej pôdno-ekologickej jednotky do tretej alebo štvrtej skupiny kvality, ak sa poľnohospodárska pôda nachádza v záplavovom území, je zamokrená alebo je vystavená veternej erózii.

¹² Rozhodnutie o určení príspevkovej organizácie ako príspevkovej organizácie, ktorá spravuje a aktualizuje databázu území podľa § 14h ods. 16 zákona č. 309/2009 Z. z. v znení zákona č. 363/2022 Z. z. In: Vestník Ministerstva pôdohospodárstva a rozvoja vidieka SR zo 16. októbra 2023, ročník LV, čiastka 25, č. 68.

Porast rýchlorastúcej dreviny nemožno založiť na pozemkoch, ktoré sa nachádzajú v treťom až piatom stupni územnej ochrany prírody a krajiny (§ 14 – 16 zákona č. 543/2002 Z. z. o ochrane prírody a krajiny).

Okrem toho ust. § 18a ods. 1 zákona č. 220/2004 Z. z. definuje rýchlorastúcu drevinu na poľnohospodárskej pôde ako *porast rýchlorastúcej dreviny na produkciu drevnej biomasy na ploche väčšej ako 1 000 m² najviac na 20 rokov*. Zákon však neuvádza konkrétne druhy rýchlorastúcich drevín, pokiaľ však zakladateľ porastu má záujem o využívanie finančných zdrojov EÚ, musí plniť aj požiadavky nariadenia vlády SR č. 435/2022 Z. z., ktorým sa ustanovujú požiadavky na udržiavanie poľnohospodárskej plochy, aktívneho poľnohospodára a kondicionality. Podľa § 2 písm. b) tohto nariadenia sa pestovaním rýchlorastúcich drevín rozumie *pestovanie drevín, ktorých zoznam a maximálny cyklus zberu je uvedený v prílohe č. 1, pri ktorom sa dodržiava minimálne určený počet 1 600 ks na hektár*. Príloha č. 1 obsahuje 17 druhov rýchlorastúcich drevín a ich krížencov (napr. rodu vŕba, topol, jaseň, jelša, hrab, gaštan, čerešňa, breza) s maximálnym cyklom zberu od 5 do 10 rokov (modus je 8 rokov). Z nich iba tri nie sú v zozname pôvodných stromovitých drevín Slovenska¹³ a to Gaštan jedlý (*Castanea sativa*), Jelša zelená (*Alnus viridis*) a Vŕba košíkarská (*Salix viminalis*). Na pestovanie nepôvodných druhov rastlín sa vyžaduje súhlas orgánu ochrany prírody a krajiny podľa § 7 zákona č. 543/2002 Z. z. o ochrane prírody a krajiny s výnimkou tých nepôvodných druhov, ktoré sú uvedené v prílohe č. 2 vyhlášky MŽP SR č. 170/2021 Z. z. Teda súhlas orgánu štátnej správy nie je potrebný na pestovanie Gaštana jedlého uvedeného v bode 1 prílohy č. 2 tejto vyhlášky. V prípade, že sa pestovateľ rozhodne pre druh *Alnus viridis* alebo *Salix viminalis*, potrebuje súhlas orgánu ochrany prírody a krajiny, t. j. okresného úradu v sídle kraja (§ 67 zákona č. 543/2002 Z. z.). Súhlas tohto orgánu sa vyžaduje vždy, ak ide o výsadbu a pestovanie alebo len o pestovanie nepôvodných druhov rastlín za hranicami zastavaného územia obce. V zastavanom území obce sa tento súhlas vyžaduje iba vtedy, ak ide o výmeru väčšiu ako 1 000 m². Príslušný okresný úrad v sídle kraja môže vydať takýto súhlas iba vtedy, ak takéto konanie nebude mať preukázateľne nepriaznivý vplyv na pôvodné druhy rastlín alebo prírodné biotopy, preto súčasťou súhlasu môže byť aj určenie podmienok regulácie výsadby a pestovania alebo len pestovania nepôvodných druhov rastlín. Ak príslušný orgán súhlas nevydá, vydá o tom rozhodnutie, v ktorom môže nariadiť aj likvidáciu nepôvodných druhov rastlín, najmä ak sa nedá eliminovať nepriaznivý účinok na pôvodné druhy a prírodné biotopy určením podmienok regulácie ich výsadby a/alebo pestovania.

Potom ako žiadateľ dostane súhlas od okresného úradu v sídle kraja, ak bol potrebný, požiada o registráciu do registra plôch rýchlorastúcich drevín na príslušnom okresnom úrade (pozemkový a lesný odbor). Vzor žiadosti obsahuje príloha č. 1 Metodického usmernenia Ministerstva pôdohospodárstva a rozvoja vidieka SR.¹⁴ K žiadosti sa prikladá: (1) list vlastníctva, resp. iný doklad preukazujúci vlastníctva, ak list vlastníctva nie je založený, napr. kópia z pozemkovej alebo zo železničnej knihy); (2) doklad preukazujúci nájomný vzťah k pozemku; (3) súhlas vlastníka s využívaním pozemku na účely pestovania rýchlorastúcich drevín, ak to nevyplýva z nájomnej zmluvy, resp. inej zmluvy, napr. zmluve o výpožičke; (4) základné identifikačné údaje o ploche navrhovanej na výsadbu rýchlorastúcich drevín (napr.

¹³ https://www.sopsr.sk/files/zoznam_stromov.pdf

¹⁴ Metodické usmernenie číslo: 1893/2013-430 k posudzovaniu návrhov založenia porastu rýchlorastúcich drevín na poľnohospodárskej pôde

kópia katastrálnej mapy, resp. aj geometrický plán, ak sa delia parcely. Zákon ďalšie prílohy nevyžaduje, ale metodické usmernenie ministerstva obsahuje aj požiadavku na (5) vyjadrenie orgánu ochrany prírody a krajiny a (6) potvrdenie o BPEJ. Okrem toho metodické usmernenie vyžaduje aj prehľadnú tabuľku o ploche porastu rýchlorastúcich drevín na poľnohospodárskej pôde (príloha č. 3 usmernenia), ktorá obsahuje číslo parcely, druh pozemku, výmeru, vlastníka, číslo skupiny kvality BPEJ, výmera podľa skupiny kvality BPEJ.

Zápis do registra rýchlorastúcich drevín oznámi okresný úrad príslušnej obci a dotknutým orgánom štátnej správy, napr. orgánu ochrany prírody a krajiny, orgánom štátnej správy a kontroly nad vinohradníctvom a vinárstvom, orgánom štátnej správy lesného hospodárstva, orgány štátnej správy na úseku územného plánovania a stavebného poriadku. Okresný úrad vydá žiadateľovi osvedčenie o registrácii plochy porastu rýchlorastúcej dreviny (príloha č 2 metodického usmernenia). *Osvedčenie obsahuje registračné číslo na každú samostatnú plochu porastu rýchlorastúcej dreviny, dátum založenia a ukončenia pestovania rýchlorastúcich drevín, výmeru plôch navrhovaných na založenie porastu na podklade identifikačných údajov katastra, povinnosť vykonania spätnej rekultivácie poľnohospodárskej pôdy najneskôr v priebehu posledného roku pestovania rýchlorastúcich drevín a povinnosť zabezpečiť ochranu okolitej poľnohospodárskej pôdy pred samonáletom z plochy porastu rýchlorastúcich drevín (§18a ods. 5 zákona č. 220/2004 Z. z.).* Vydané osvedčenie zasiela na centrálnu evidenciu pôdnej služby,¹⁵ ktorá vedie a aktualizuje centrálny register plôch porastov rýchlorastúcich drevín.

3.3 Pestovanie energetických rýchlorastúcich rastlín na lesnej pôde

Zákon č. 326/2005 Z. z. o lesoch nepoužíva pojmy ako sú rýchlorastúce dreviny či porast rýchlorastúcich drevín. Medzi legálnymi definíciami v ust. § 2 nájdeme pojmy energetický porast a lesná plantáž. Energetický porast je *lesný porast s maximálnou produkčnou funkciou spravidla v priebehu prvých 15 rokov, z ktorej úžitky sa využívajú najmä na výrobu energie* (§ 2 písm. s) zákona č. 326/2005 Z. z.). Energetický porast je jedným z druhov lesných porastov, t. j. *súbor rastúcich stromovitých drevín, krovitých drevín alebo ich zmesí na lesných pozemkoch* (§ 2 písm. b) zákona č. 326/2005 Z. z.), ktorého produkčná funkcia (t.j. funkcia, ktorej výsledkom sú *úžitky z lesov spravidla materiállovej povahy*¹⁶) nie je spravidla dlhšia ako 15 rokov,¹⁷ a ktorého produkty sa využívajú v prevažnej miere na výrobu energie. Ako vyplýva z dikcie ustanovenia časť produktov energetických porastov je možné výnimočne využívať aj na iné účely ako je výroba energie. Okrem energetických porastov definuje zákon o lesoch aj lesnú plantáž. Lesnou plantážou je *lesný porast tvorený jedným druhom alebo dvomi druhmi drevín s pravidelným rozstupom a rovnakým vekom, s maximálnou produkčnou funkciou, z ktorej úžitky sa využívajú na priemyselné použitie; nachádzajú sa spravidla na stanovištiach s vysokým produkčným potenciálom* (§ 2 písm. t) zákona o lesoch).

Energetické porasty a lesné plantáže patria do kategórie hospodárskych lesov (§ 15 ods. 2 zákona o lesoch), ktorých účelom je *produkcia dreva a ostatných lesných produktov pri*

¹⁵ Súčasť Výskumného ústavu pôdoznalectva a ochrany pôdy, ktorý v súčasnosti patrí pod Národné poľnohospodárske a potravinárske centrum

¹⁶ Ust. § 2 písm. g) zákona č. 326/2005 Z. z. o lesoch

¹⁷ Ust. § 18a ods. 1 zákona č. 220/2004 Z. z. predpokladá založenie porastu rýchlorastúcich drevín najviac na 20 rokov.

súčasnom zabezpečovaní mimoprodukčných funkcií lesov (§ 15 ods. 1 zákona o lesoch). Práve tu zákon o lesoch umožňuje aj holorubný hospodársky spôsob, ktorý sa uskutočňuje ťažbou s jednorazovým vyťažením obnovovaného lesného porastu alebo jeho časti tam, kde sa prirodzená obnova porastu ukázala ako nevhodná alebo ju nemožno dosiahnuť efektívne predchádzajúcimi spôsobmi (§ 18 ods. 1 písm. d) zákona o lesoch). Na uplatnenie tohto hospodárskeho spôsobu je potrebné mať vypracovaný program starostlivosti o lesy alebo projekt starostlivosti o lesný pozemok (§ 18 ods. 2 zákona o lesoch). Program starostlivosti o lesy (ďalej len „program starostlivosti“) je nástrojom štátu na zabezpečenie trvalo udržateľného hospodárenia v lesoch; nie je nástrojom na usporiadanie vlastníctva k pozemkom ani určenie obhospodarovateľov lesa (§ 40 ods. 1 zákona o lesoch).

Aj v tomto prípade platí, že pri výsadbe a pestovaní alebo len pri pestovaní nepôvodných druhov rastlín sa vyžaduje súhlas orgánu ochrany životného prostredia, ktorý je v tomto prípade súčasťou záväzného stanoviska orgánu ochrany prírody a krajiny, ktoré vydáva na účely schvaľovania alebo zmeny programu starostlivosti o lesy (§ 7 ods. 5 a § 9 ods. 1 zákona č. 543/2002 Z. z.).

Zakladanie energetických porastov a lesných plantáží je podľa zákona č. 138/2010 Z. z. o lesnom reprodukčnom materiáli tzv. iným lesníckym účelom (§ 2 písm. z) zákona č. 138/2010 Z. z.). Lesný reprodukčný materiál slúži na obnovu lesa, zalesňovanie a iné lesnícke účely, kam patrí aj pestovanie energetických drevín, ale rovnako sa môže použiť aj na iné ako lesnícke účely, príp. je určený na vývoz (§ 11 zákona č. 138/2010 Z. z.). Požiadavky na lesný reprodukčný materiál sú v tomto prípade menej prísne ako na materiál slúžiaci na obnovu lesa alebo zalesňovanie. *Na iné lesnícke účely možno použiť lesný reprodukčný materiál, ktorý pochádza alebo bol dopestovaný z materiálu pochádzajúceho zo zdrojov podľa § 6 ods. 1 (§ 14 ods. 2 zákona č. 138/2010 Z. z.), ktorými sú semenný zdroj,¹⁸ lesný porast,¹⁹ výberový strom,²⁰ semenný sad,²¹ klon,²² zmes klonov²³ a multiklonálna varieta,²⁴ génová základňa,²⁵ semenný porast,²⁶ klonový archív²⁷, archív potomstiev, matečnica alebo hlavová škôlka, banka semien*

¹⁸ stromy alebo porasty lesných drevín mimo lesných pozemkov, z ktorých sa zbiera semeno alebo semenná surovina (§ 2 písm. c) zákona č. 138/2010 Z. z.)

¹⁹ súbor rastúcich stromovitých drevín, krovitých drevín alebo ich zmesí na lesných pozemkoch (§ 2 písm. b) zákona o lesoch)

²⁰ strom uznaný na získavanie potomstva riadeným alebo otvoreným opelením jedného identifikovaného rodiča používaného ako samičia rastlina peľom jedného rodiča alebo množstva identifikovaných alebo neidentifikovaných rodičov (§2 písm. f) zákona č. 138/2010 Z. z.)

²¹ uznaná účelová výsadba klonov alebo potomstiev výberových stromov; semenný sad je založený a obhospodarovaný tak, aby sa vylúčilo alebo obmedzilo oplodnenie cudzím peľom (§ 2 písm. e) zákona č. 138/2010 Z. z.)

²² geneticky identické potomstvo jedného východiskového jedinca (§ 2 písm. g) zákona č. 138/2010 Z. z.)

²³ klony toho istého druhu lesnej dreviny alebo ich medzidruhových hybridov (§ 2 písm. h) zákona č. 138/2010 Z. z.)

²⁴ zmes klonov po otestovaní vyznačujúca sa rovnakými stanovištnými nárokmi a rastovými vlastnosťami (§ 2 písm. i) zákona č. 138/2010 Z. z.)

²⁵ lesné porasty chránené na účely zachovania genetických zdrojov lesných drevín v mieste ich pôvodu (§ 2 písm. j) zákona č. 138/2010 Z. z.)

²⁶ špeciálna výsadba slúžiaca na zachovanie genofondu lesných drevín mimoriadnej biologickej a hospodárskej hodnoty (§2 písm. m) zákona č. 138/2010 Z. z.)

²⁷ porast lesných drevín slúžiaci na uchovávanie a využitie genofondu jedincov lesných drevín mimoriadnej biologickej a hospodárskej hodnoty (§ 2 písm. k) zákona č. 138/2010 Z. z.)

lesných drevín.²⁸ Z toho vyplýva, že tento materiál nemusí pochádzať z uznaných zdrojov, t. j. zo zdrojov uznaných Národným lesníckym centrom (§ 8 zákona č. 138/2010 Z. z.) na rozdiel od materiálu na obnovu lesa alebo zalesňovanie (§ 14 ods. 1 a ods. 2 zákona č. 138/2010 Z. z.). Ak však materiál pochádza z obchodnej výmeny alebo z dovozu (§ 15 a 16 zákona č. 138/2010 Z. z.), je potrebný súhlas Národného lesníckeho centra bez ohľadu na lesnícku činnosť, na ktorú bude materiál použitý.

Napokon do úvahy prichádza aj postup podľa zákona č. 24/2006 Z. z. o posudzovaní vplyvov na životné prostredie a o zmene a doplnení niektorých zákonov, ktorý sa vyžaduje v prípade:

- a) odlesňovania a prvého zalesňovania na účely zmeny na iný typ využitia krajiny (od 5-10 ha – zisťovacie konanie;²⁹ od 10 ha povinné hodnotenie³⁰);
- b) využitia neobrábaných alebo poloprirodných oblastí na intenzívne poľnohospodárske účely bez ohľadu na veľkosť výmery.

Pojem poloprirodné oblasti nemá jednotnú definíciu v EÚ, spravidla ide o územie, v ktorom došlo k istým zásahom človekom, ale ktoré si zachovalo veľa prírodných prvkov. Podobne ako zákona aj smernica Európskeho parlamentu a Rady 2011/92/EÚ z 13. decembra 2011 o posudzovaní vplyvov určitých verejných a súkromných projektov na životné prostredie ponecháva priestor na voľnú úvahu, čo možno považovať za poloprirodné oblasti. Hlavný dôraz pri definovaní poloprirodných oblastí by sa mal klásť na identifikáciu tých oblastí, ktoré odrážajú prírodné podmienky, a kde existuje nejaká vnútorná ochrana prírody alebo iné environmentálne hodnoty, ku strate ktorých by došlo v prípade realizácie posudzovaných činností (Interpretácia definícií kategórií projektov. Prílohy I a II. Smernice EIA).

ZÁVER

Problematica využívania obnoviteľných zdrojov energie je čoraz aktuálnejšia nielen vo vede, ale aj na politickej scéne. Politické zámery sa pretavujú do právnych predpisov častokrát bez dôkladnej vedeckej analýzy dopadov právnej regulácie na spoločnosť. Cieľom článku je zmapovať právne predpisy EÚ a Slovenska vo veci pestovania rýchlorastúcich energetických rastlín a poskytnúť na jednom mieste stručný prehľad tých právnych noriem, ktoré sa venujú tejto problematike, resp. s ňou úzko súvisia. Právo EÚ nerieši priamo otázky týkajúce sa výsadby a pestovania energetických rýchlorastúcich rastlín, ale má vytvorený legislatívny rámec v primárnom aj sekundárnom práve pre výrobu energie z obnoviteľných zdrojov. Lisabonská zmluva v roku 2009 začlenila energetiku ako samostatnú vnútornú politiku EÚ do čl. 194 ZFEU. V sekundárnom práve EU predstavuje smernica Európskeho parlamentu a Rady (EÚ) 2018/2001 o podpore využívania energie z obnoviteľných zdrojov spolu s jej vykonávacími nariadeniami (nariadenie 2022/2448 a nariadenie 2022/996) základný právny predpis, ktorý zavádza spoločné pravidlá využívania energie z obnoviteľných zdrojov

²⁸ súbor oddielov semien určených na dočasné uchovanie ohrozených genetických zdrojov „ex situ“ pre tie dreviny, ktorých semená sa dajú dlhodobo skladovať (§ 2 písm. l) zákona č. 138/2010 Z. z.)

²⁹ § 29 zisťovacie konanie, účelom ktorého je zistiť, či sa predmet konania bude posudzovať podľa tohto zákona a príloha č. 10 k zákonu č. 24/2006 Z. z. Kritériá pre zisťovacie konanie.

³⁰ § 18 a nasl. zákona č. 24/2006 Z. z.

v členských štátoch EÚ. Predstavuje už tretiu generáciu smerníc od roku 2000 venujúcich sa tejto problematike. Nakoľko európsky zákonodarca zvolil ako nástroj právnej regulácie smernice, je potrebná ich transpozícia do vnútroštátneho práva členských štátov. Na Slovensku bola uvedená smernica transponovaná do zákonov týkajúcich sa energetiky a životného prostredia. Medzi najdôležitejšie patrí zákon č. 309/2009 Z. z. o podpore obnoviteľných zdrojov energie a vysoko účinnej kombinovanej výroby a o zmene a doplnení niektorých zákonov, ktorý upravuje spôsoby a podmienky podpory výroby energie z obnoviteľných zdrojov, a ktorého zatiaľ posledná novela z roku 2022 zaradila do tejto kategórie aj výrobu tepla z biomasy a rozšírila tak povinnosť dodržiavať kritériá udržateľnosti aj na výrobcov tepla z biomasy. K zákonu patria aktuálne tri vykonávacie vyhlášky ministerstiev (vyhláška MH SR, ktorá upravuje spôsob výpočtu podielu energie z obnoviteľných zdrojov a spôsob výpočtu národného cieľa; vyhláška MŽP SR o kritériách udržateľnosti a vyhláška MPaRV SR o náležitostiach vyhláseniach pestovateľa a dodávateľa biomasy). Biomasu na energetické účely možno pestovať na poľnohospodárskej a lesnej pôde. Pestovanie na poľnohospodárskej pôde upravuje zákon č. 220/2004 Z. z. o ochrane a využívaní poľnohospodárskej pôdy, ktorý v ust. § 18a stanovuje, na ktorých poľnohospodárskych pôdach je možné založiť porast rýchlorastúcich drevín a postup žiadateľa o registráciu plôch rýchlorastúcich drevín. Ak ide o nepôvodné druhy rýchlorastúcich drevín s výnimkou tých, ktoré sú uvedené vo vyhláške MŽP SR č. 171/2021 Z. z., potrebuje žiadateľ aj súhlas orgánu ochrany prírody a krajiny podľa zákona č. 543/2002 Z. z. o ochrane prírody a krajiny. Pestovanie biomasy na lesnej pôde upravuje zákon č. 326/2005 Z. z. o lesoch a zákon č. 138/2010 Z. z. o lesnom reprodukčnom materiáli. Legislatívny rámec dotvára zákon č. 24/2006 Z. z. o posudzovaní vplyvov na životné prostredie a o zmene a doplnení niektorých zákonov, ktorý vyžaduje posúdenie vplyvu na životné prostredie, ak sa porast rýchlorastúcich rastlín zakladá na neobrábaných alebo poloprirodných územiach alebo ak dochádza k odlesňovaniu a následne k prvému zalesňovaniu na účely zmeny na iný typ využitia krajiny. Legislatívny rámec pestovania energetických rýchlorastúcich rastlín tvorí množstvo právnych predpisov rôznej právnej sily s využitím rôznych nástrojov právnej regulácie na úrovni EÚ aj vo vnútroštátnom práve. Ich zmapovanie si vyžaduje poznatky nielen z práva, ale i ďalších vedných oblastí, ako je napr. poľnohospodárstvo, lesníctvo, životné prostredie, udržateľný rozvoj, energetika a pod. Preto hlbší výskum legislatívneho rámca energetických rýchlorastúcich rastlín si vyžaduje interdisciplinárny prístup.

SÚHRN

Využívanie biomasy v podobe rýchlorastúcich rastlín na výrobu energie je súčasťou energetickej politiky EÚ, ktorej právny základ predstavuje čl. 194 ZFEÚ. Uvedený článok v kontexte s čl. 11 ZFEÚ rešpektuje a presadzuje požiadavky ochrany životného prostredia s ohľadom na udržateľný rozvoj. Biomasa na výrobu energie predstavuje jeden z obnoviteľných zdrojov energie nevyhnutných na dosiahnutie energetickej efektívnosti a úsporu energie. Podľa primárneho práva EÚ je úlohou členských štátov určiť si strategické ciele týkajúce sa štruktúry zdrojov energie, štruktúry zásobovania štátu energiou ako aj podmienky pre využívanie svojich energetických zdrojov, čo len dokazuje veľký význam tejto kompetencie pre členské štáty. Prvé sekundárne právne predpisy EÚ o obnoviteľných zdrojoch energie vznikli až po novom miléniu v roku 2001 a 2003 ako reakcia na Kjótsky protokol v kontexte prijatých záväzkov vo vzťahu

ku klimatickým zmenám. Nová smernica v roku 2009 zaviedla spoločné pravidlá využívania energie z obnoviteľných zdrojov pre členské štáty. Z dostupných politických dokumentov a preambúl právnych predpisov vyplýva, že zavádzaniu týchto cieľov a pravidiel nepredchádzali dôkladné vedecké analýzy vplyvu najmä na poľnohospodárstvo a potravinárstvo, a ani neboli vyhodnotené environmentálne a sociálne dôsledky. Domnievame sa, že vedecká analýza vplyvov je lacnejší variant ako odstraňovanie následkov vedecky nepodložených rozhodnutí. Zatiaľ poslednou smernicou o obnoviteľných zdrojoch energie je smernica z roku 2018, ktorou sa zaviedla povinnosť zvýšiť podiel energie z obnoviteľných zdrojov na celkovej energetickej spotrebe z pôvodných 20 % na 32%, pričom opätovne absentovalo akékoľvek zdôvodnenie stanovenej výšky tohto podielu. Napokon novela smernice z roku 2023 zvýšila tento podiel na 45% s odôvodnením, že je to nevyhnutné na dosiahnutie cieľa EÚ v oblasti skleníkových plynov. Úspory emisií skleníkových plynov majú zabezpečiť aj kritériá udržateľnosti definované v čl. 29 smernice 2018/2001/EÚ, a ktoré sú spresnené vo vykonávacích nariadeniach Komisie 2022/2448 pre lesnú biomasu a 2022/996 pre využívanie pôdy. Smernica 2018/2001/EÚ bola transponovaná do vnútroštátneho práva členských štátov vrátane Slovenska, najmä do zákonov o energetike a životnom prostredí. Na Slovensku medzi najdôležitejšie patrí zákon č. 309/2009 Z. z. o podpore obnoviteľných zdrojov energie a vysoko účinnej kombinovanej výroby a o zmene a doplnení niektorých zákonov spolu s vykonávacími vyhláškami, ktorý sa aktuálne vzťahuje aj na výrobcov tepla z biomasy. Možno očakávať v blízke dobe ďalšiu novelizáciu tohto zákona v dôsledku transpozície smernice 2023/2413/EÚ (novela smernice 2018/2001/EÚ), ktorá dopĺňa do taxatívneho výpočtu obnoviteľných zdrojov energie aj osmotickú energiu. Výrobca tepla z biomasy je povinný preukazovať plnenie kritérií udržateľnosti potvrdením získaným od dodávateľa palív z biomasy. Zavedenie a dodržiavanie kritérií udržateľnosti zabezpečuje fungovanie vnútorného trhu s energiou a uľahčuje obchod medzi členskými štátmi. V prípade pestovania biomasy na poľnohospodárskej pôde je potrebné rešpektovať aj zákon č. 220/2004 Z. z. o ochrane a využívaní poľnohospodárskej pôdy. Ak je pestovaná biomasa na lesnej pôde, výrobca biomasy postupuje podľa zákona č. 326/2005 Z. z. o lesoch a zákona č. 138/2010 Z. z. o lesnom reprodukčnom materiáli. Okrem toho je potrebné vziať do úvahy zákon č. 543/2002 Z. z. o ochrane prírody a krajiny, podľa ktorého sa od štátneho orgánu ochrany prírody a krajiny vyžaduje súhlas na pestovanie takých druhov rýchlorastúcich rastlín, ktoré sú nepôvodné a nie sú ani uvedené v prílohe č. 2 vyhlášky MŽP SR č. 170/2021 Z. z. Zákon č. 326/2005 Z. z. o lesoch na rozdiel od zákona č. 220/2004 Z. z. o ochrane a využívaní poľnohospodárskej pôdy nepoužíva pojem porast rýchlorastúcich rastlín alebo drevín, ale pojem energetický porast a lesná plantáž. V tomto prípade sa súhlas orgánu ochrany prírody a krajiny pri pestovaní nepôvodných druhov udeľuje ako súčasť záväzného stanoviska na účely schvaľovania programu starostlivosti o lesy. Ak sa na zakladanie energetických porastov alebo lesných plantáží použije lesný reprodukčný materiál z dovozu alebo obchodnej výmeny, vyžaduje sa aj súhlas Národného lesníckeho centra. Legislatívny rámec dotvára zákon č. 24/2006 Z. z. o posudzovaní vplyvov na životné prostredie a o zmene a doplnení niektorých zákonov, ktorý vyžaduje posúdenie vplyvu na životné prostredie, ak sa porast rýchlorastúcich rastlín zakladá na neobrábaných alebo poloprírodných územiach alebo ak dochádza k odlesňovaniu a následne k prvému zalesňovaniu na účely zmeny na iný typ využitia krajiny. Legislatívny rámec pestovania energetických rýchlorastúcich rastlín tvorí množstvo právnych predpisov rôznej právnej sily s využitím rôznych nástrojov právnej

regulácie na úrovni EÚ aj vo vnútroštátnom práve. Ich zmapovanie si vyžaduje poznatky nielen z práva, ale i ďalších vedných oblastí, ako je napr. poľnohospodárstvo, lesníctvo, krajinné inžinierstvo, životné prostredie, udržateľný rozvoj alebo energetika. Preto hlbší výskum legislatívneho rámca energetických rýchlorastúcich rastlín si vyžaduje interdisciplinárny prístup.

Kľúčové slová: legislatíva EU, energetika, obnoviteľné zdroje energie, rýchlo rastúce dreviny, pestovanie na poľnohospodárskej pôde

POĎAKOVANIE

Tento článok vychádza vďaka podpore Agentúry na podporu výskumu a vývoja na základe zmluvy č. APVV-20-0076 "Odpady a výstavba - modelovanie efektívnosti alternatívnych možností spolupráce medzi správnymi orgánmi a projektu Horizont Europa č. 101081307 EUROPE-LAND: Towards Sustainable Land-use Strategies in the Context of Climate Change and Biodiversity Challenges in Europe.

ZOZNAM POUŽITEJ LITERATÚRY

1. ALAEJOS, J.; TAPIAS, R.; LÓPEZ, F.; ROMERO, D.; RUIZ, F.; FERNÁNDEZ, M. 2023. Biomass Production and Quality of Twelve Fast-Growing Tree Taxa in Short Rotation under Mediterranean Climate. In: Forests 2023, vol. 14, 1156. <https://doi.org/10.3390/f14061156>
2. CADILLO-BENALCAZAR, J. J., BUKKENS, S.G.F, RIPA, M., GIAMPIETRO, M. 2021. Why does the European Union produce biofuels? Examining consistency and plausibility in prevailing narratives with quantitative storytelling. In: Energy Research & Social Science, 2021, vol. 71,1, 101810. ISSN 2214-6296. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2020.101810>.
3. CAMIA A., GIUNTOLI, J., JONSSON, R., ROBERT, N., CAZZANIGA, N.E., JASINEVIČIUS, G., AVITABILE, V., GRASSI, G., BARREDO, J.I., MUBAREKA, S. 2021. The use of woody biomass for energy purposes in the EU, EUR 30548 EN, Publications Office of the European Union, Luxembourg, 2021. ISBN 978-92-76-27867-2, doi:10.2760/831621, JRC122719 <<https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/7120db75-6118-11eb-8146-01aa75ed71a1/language-en/format-PDF/source-228484245>>
4. CARPITA, N. C., SAGE, R. F. 2015. Plants and bionergy. In: Journal of Experimental Botany, 2015, vol. 66, no. 14, pp. 4093–4095. <https://doi.org/10.1093/jxb/erv311>
5. D'ADAMO, I.; GASTALDI, M.; MORONE, P.; ROSA, P.; SASSANELLI, C.; SETTEMBRE-BLUNDO, D.; SHEN, Y. 2022. Bioeconomy of Sustainability: Drivers, Opportunities and Policy Implications. In: Sustainability, 2022, 14, 200. <https://www.mdpi.com/2071-1050/14/1/200>
6. Dôvodová správa k zákonu č. 363/2022 Z. z., ktorým sa mení a dopĺňa zákon č. 309/2009 Z. z. o podpore obnoviteľných zdrojov energie a vysoko účinnej kombinovanej výroby a o zmene a doplnení niektorých zákonov v znení neskorších predpisov a ktorým sa menia a dopĺňajú niektoré zákony. [online]. [cit. 2024-05-18]. Dostupné na internete: <<https://www.nrsr.sk/web/Default.aspx?sid=zakony/zakon&MasterID=8739>>

7. Európska komisia. 1997. Biela kniha o obnoviteľných zdrojoch energie. COM(97) 599 final, Brussels, 26.11.1997. [online]. [cit. 2024-05-18]. Dostupné na internete: <https://europa.eu/documents/comm/white_papers/pdf/com97_599_en.pdf >
8. Európska komisia. 2008. Zelená kniha o nakladaní s biologickým odpadom v Európskej únii. SEC(2008) 2936 {COM(2008) 811 final}, Brusel, 3.12.2008. [online]. [cit. 2024-05-18]. Dostupné na internete: <<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:52008SC2936>>
9. EURÓPSKA KOMISIA. 2017. Sustainable and optimal use of biomass for energy in the EU beyond 2020. Final report. 198 s. <https://energy.ec.europa.eu/publications/sustainable-and-optimal-use-biomass-energy-eu-beyond-2020_en>
10. FERENCZ, V. – PETROVIČ, J. – BALOG, B. – NOVÁK, J. – FRANCZEL, M. 2020. Zákon o podpore obnoviteľných zdrojov energie a vysoko účinnej kombinovanej výroby. Praktický komentár. Bratislava: Wolters Kluwer, 2020. 285 s. ISBN 978-80-571-0097-3
11. FERNÁNDEZ, M.; ALAEJOS, J.; ANDIVIA, E.; MADEJÓN, P.; DÍAZ, M.; TAPIAS, R. 2020. Short rotation coppice of leguminous tree *Leucaena* spp. improves soil fertility while producing high biomass yields in Mediterranean environment. In: *Ind. Crop. Prod.* 2020, vol. 157, 112911. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2020.112911>
12. GARG, J., BARNWAL, P.P., SUMAN, J., RAKSHIT, A. 2023. Bioenergy Crops. In: Rakshit, A., Biswas, A., Sarkar, D., Meena, V.S., Datta, R. (eds) *Handbook of Energy Management in Agriculture*. Springer, Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-19-7736-7_23-1
13. GILJAM, R.A. 2016. Towards a holistic approach in eu biomass regulation. In: *J. Environ. Law* 2016, vol. 28, s. 95–124. <https://doi.org/10.1093/jel/eqv025>
14. Interpretácia definícií kategórií projektov. Prílohy I a II. Smernice EIA. [online]. [cit. 2024-05-18]. Dostupné na internete: <<https://www.enviroportal.sk/dokument/f/interpretacia-definicii-kategorii-projektov-prilohy-i-a-ii-smernice-eia>>
15. LYMTSIOULIS, P – ZIAKA, Z.- VASILEIADIS, S. 2018. Fast Growing Cultivated Trees for Energy Production and other Essential – Chemical Uses. In: *International Journal of Emerging Technology and Advanced ENgineering*, 2018, vol. 8, no. 10. ISSN 2250-2459
16. Ministerstvo pôdohospodárstva a rozvoja vidieka SR. 2013. Metodické usmernenie číslo: 1893/2013-430 k posudzovaniu návrhov založenia porastu rýchlorastúcich drevín na poľnohospodárskej pôde. [online]. [cit. 2024-05-18]. Dostupné na internete: <<https://www.mpsr.sk/metodicke-usmernenie-mprv-sr-c-1893-2013-430/111---7758/>>
17. MELYKH, K. – JHA, S. 2016. Regulation of biomass production in eu from global socioeconomic perspective. In: *IJONESS* 2016, vol. 4, no. 2, s. 71-77 doi: 10.5604/01.3001.0010.3907
18. Rezolúcia Rady z 8.6.1998 o obnoviteľných zdrojoch energie (Ú. v. ES C 198, 24.6.1998, s. 1)
19. Rozhodnutie Rady z 25. apríla 2002, ktoré sa týka schválenia Kjótskeho protokolu k Rámcovému dohovoru Organizácie Spojených národov o klimatických zmenách a spoločnom plnení záväzkov z neho vyplývajúcich v mene Európskeho spoločenstva (Ú. v. ES L 130, 15.5.2002, s. 1 – 3)
20. Rozhodnutie o určení príspevkovej organizácie ako príspevkovej organizácie, ktorá spravuje a aktualizuje databázu území podľa § 14h ods. 16 zákona č. 309/2009 Z. z. v znení

- zákona č. 363/2022 Z. z. In: Vestník Ministerstva pôdohospodárstva a rozvoja vidieka SR zo 16.októbra 2023, ročník LV, čiastka 25, č. 68.
21. SCHUH, B. et al. 2020. Research for AGRI Committee – The challenge of land abandonment after 2020 and options for mitigating measures, European Parliament, Policy Department for Structural and Cohesion Policies, Brussels [online]. [cit. 2024-05-18]. Dostupné na internete: <[https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/STUD/2020/652238/IPOL_STU\(2020\)652238_EN.pdf](https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/STUD/2020/652238/IPOL_STU(2020)652238_EN.pdf)>
22. SHARIF A., BHATTACHARYA M., AFSHAN S., SHAHBAZ M. 2021. Disaggregated renewable energy sources in mitigating CO2 emissions: new evidence from the USA using quantile regressions. In: Environ. Sci. Pollut. Control Ser. 3, s. 23–36. doi: 10.1007/s11356-021-13829-2
23. SYLLOVÁ, J. – PÍTROVÁ, L. – PALDUSOVÁ, H. et al. 2010. *Lisabonská smlouva. Komentář*. Praha: C.H.Beck, 2010. 1299 s. ISBN 978-80-7400-339-4.
24. Štátna ochrana prírody SR. Zoznam pôvodných stromovitých druhov drevín Slovenska. [online]. [cit. 2024-05-18]. Dostupné na internete: <https://www.sopsr.sk/files/zoznam_stromov.pdf>
25. TAYLOR, G. et al. 2019. Sustainable bioenergy for climate mitigation: developing drought-tolerant trees and grasses. In: Annals of Botany, vol. 124, no. 4, s. 513–520, <https://doi.org/10.1093/aob/mcz146>
26. VAN DAM, J. 2014. Sustainable biomass production and use. Lessons learned from the Netherlands Programme Sustainable Biomass (NPSB) 2009- 2013. Netherlands Enterprise Agency. 2014. 175 s. [online]. [cit. 2024-05-18]. Dostupné na internete: <<https://www.etipbioenergy.eu/images/netherlands-sustainable-biomass.pdf>>
27. VERHEYEN, K. et al. 2016. Contributions of a global network of tree diversity experiments to sustainable forest plantations. In: Ambio, 2016, vol. 45, s. 29- 41.

Kontaktná adresa: Ivana Vačková, Ing., Slovenská poľnohospodárska univerzita v Nitre, Fakulta európskych štúdií a regionálneho rozvoja, Ústav udržateľného regionálneho a miestneho rozvoja, Tr. A. Hlinku 2, 949 76 Nitra, e-mail: xvackova@uniag.sk

**VERTIKÁLNA DISTRIBÚCIA NADZEMNEJ BIOMASY
ENERGETICKEJ TRÁVY *ARUNDO DONAX*
V ÔSMOM VEGETAČNOM ROKU**

**VERTICAL DISTRIBUTION OF ABOVEGROUND BIOMASS
OF ENERGY GRASS *ARUNDO DONAX*
IN EIGHTH VEGETATIVE YEAR**

ŽANETA PAUKOVÁ*, MARTIN PRČÍK

Slovenská poľnohospodárska univerzita v Nitre / Slovak University of Agriculture in Nitra

*Korešpondenčný autor / Corresponding author

ABSTRACT

Production and vertical distribution of aboveground biomass of bioenergy grass of giant reed (*Arundo donax* L., *Poaceae*) was estimated by harvest method in the Kolinany village near the town Nitra (western Slovakia) in eighth vegetative year. The biomass of the plants were stratified on 0.30 m long segments. Three size groups: dominant, subdominant and suppressed stalks we characterized individually. Leaves of dominant stalks were concentrated in upper third of plants. Leaves of subdominant stalks were concentrated in upper half of plants and suppressed stalks in lower half of plants. Stalks of all size groups weren't produce generative organs. In aboveground biomass prevail biomass of stems from 64-75 % and leaves from 25-36 %. Production of biomass at the end of the eighth growing season was 32.06 t.ha⁻¹ with average density stalks of clump 39. The water content in the stems was determined to be 58.40 %. The mean dry biomass of a dominant by size hierarchy stalk was average 1.96 kg, subdominant 0.29 kg and suppressed 0.014 kg. The vertical distribution of *A. donax* is typical for dense stands 2 to 4 meters high.

Key words: production of biomass, vertical distribution, energy plant, *Arundo donax*

ÚVOD

Základné procesy celého ekosystému ako sú tok energie, obeh vody, živín a tvorba pôdnych horizontov určuje priestorová štruktúra spoločenstva rastlín, ktorú sledujeme obyčajne vo vertikálnej a horizontálnej rovine. Vo vertikálnej rovine sledujeme usporiadanie nadzemných a podzemných častí rastlín, t. j. ich stratifikáciu (rozvrstvenie do vrstiev). Pre kvantitatívne vyjadrenie stratifikácie fytocenózy sa v súčasnej dobe stále používajú rôzne charakteristiky. Z nich je najdôležitejšie stanovenie vertikálnej distribúcie nadzemnej biomasy rastlinných populácií do jednotlivých vrstiev (Slavíková, 1986). Vertikálnou distribúciou nadzemnej biomasy na území Slovenska zaoberali práce týkajúce sa spontánnej vegetácie (Eliáš, 1983), inváznych druhov rastlín (Pauková, 2003) a iné, avšak máme nedostatok publikovaných informácií o trávach určených na energetické účely s výnimkou publikácie Pauková, Jureková (2019). Na poľnohospodárskej pôde sa kvôli rýchlemu rastu a schopnosti

tvoriť mohutnú biomasu pestuje viacero druhov tráv. Jednou z nich je aj trsteník obyčajný (*Arundo donax* L.), trvácá výbežkatá tráva naturalizovaná v oblastiach okolo Stredozemného mora, kde rastie spontánne a je hojne rozšírená (Nazli et al., 2018). Dosahuje výšku 4 a viac m a tvorí mohutnú biomasu (Barbosa et al., 2015; Gubišová, 2016; Fiorentino et al., 2017).

V príspevku sa zaoberáme výsledkami štúdie energetickej trávy *Arundo donax* pestovanej v podmienkach západného Slovenska z hľadiska produkcie a vertikálnej distribúcie nadzemnej biomasy v ôsmom roku po výsadbe.

MATERIÁL A METÓDY

Vymedzenie záujmového územia. Výskum sme uskutočnili na poľnej pokusnej báze Vysokoškolského poľnohospodárskeho podniku (VPP) Slovenskej poľnohospodárskej univerzity v Nitre (SPU) v Koliňanoch. Lokalita sa nachádza na Podunajskej nížine na západnom Slovensku, 13 km od Nitry (48° 21' 20" S, 18° 12' 23" V). Patrí do katastrálneho územia obce Koliňany. Hlavná pôdna jednotka je fluvizem glejová, podľa zrnitosti patrí k stredne ťažkým pôdam. Z hľadiska expozície je to rovina bez prejavu plošnej erózie (0° až 1°). Pôdy sú hlboké (60 cm a viac) bez skeletu (Demo, 2013).

Klimatické podmienky. Záujmová oblasť patrí do teplého, veľmi suchého, nížinného klimatického regiónu.

Organizácia pokusov. V roku 2016 sme založili poľný pokus výsadbou druhu *A. donax*. Pokusné stanovište bolo v roku výsadby (2016) neobhospodarované. Herbicídy sa neaplikovali. Pred založením pokusu bolo aplikované priemyselné hnojivá (dusík v dávke 100 kg.ha⁻¹, draslík 60 kg.ha⁻¹ a fosfor 30 kg.ha⁻¹). Na jar bola pokusná plocha pripravená na výsadbu kyprením do hĺbky 20 cm. Sadenice boli pripravené v Arundo Celluloz farming kft. Hungaria, technológiou *in vitro*. Pred výsadbou boli rastliny aklimatizované v skleníku Botanickej záhrady SPU v Nitre. Celkovo bolo na výskumnej ploche o veľkosti 200 m² vysadených 200 sadeníc.

Rastlinný materiál. *Arundo donax* (trsteník obyčajný) patrí medzi najmohutnejšie trvácce druhy tráv z čeľade *Poaceae*. Trsteník obyčajný je trvalá tráva pochádzajúca pravdepodobne z Indie alebo Prednej a Strednej Ázie, naturalizovaná v oblastiach okolo Stredozemného mora, kde rastie spontánne a je hojne rozšírená najmä v teplých oblastiach sveta. Trsteník obyčajný bol úmyselne prenesený do Európy v minulom storočí ako okrasná rastlina pestovaná prevažne v záhradách a parkoch (Antal, 2018; Pauková et al., 2022).

Ekologická charakteristika. V optimálnych podmienkach dorastá do výšky 10 m, v našich klimatických podmienkach do 4-5 m. Po bambuse ide o najmohutnejšiu trávku sveta. Rastlina má mohutnú koreňovú sústavu s hľuzovito zhrubnutým podzemkom (rizómom). Nadzemnú časť rastliny tvoria hladké duté stebľa s priemerom 1-3 cm. Steblá sú pevné, vzpriamené a po celej dĺžke rozdelené nodusmi (uzlami), z ktorých môžu vyrastať sekundárne stebľa. Listy sú rovné, sivo-zelené, dlhé 50-70 cm, široké približne 3 cm a rovnobežnou žilnatinou, špicato zakončené. Rastliny kvitnú nepravidelne (nie všetky a v každom roku) v priebehu októbra až novembra. Súkvetím je metlina. Semená, ktoré sú schopné klíčiť sa tvoria len ojedinele a majú krátku dobu klíčivosti, z tohto dôvodu sa rastliny rozmnožujú výhradne vegetatívne (Gubišová, 2016). Ideálne podmienky pre rast vytvárajú pobrežné spoločenstvá na miernych svahoch s dobre odvodnenými pôdami, vysokým obsahom živín v pôde, slnečné stanovište a vysoké teploty. *A. donax* je hygrofyt, ktorý rastie najmä pozdĺž jazier, potokov a na lokalitách

s vysokou hladinou podzemnej vody. Aj keď zvyčajne rastie vo vlhkých oblastiach, nepotrebuje stály prísun vody a môže rásť na suchších miestach, dokonca i pri cestách. *Arundo* toleruje nízke teploty v čase dormancie v priebehu zimy, ale je náchylný na poškodenie neskorým mrazom po začatí rastu na jar (Gubišová, 2016; Pauková, Jureková, 2017; Pauková et al., 2022). Väčšiu pozornosť si vyžaduje zaradenie druhu *A. donax* do zoznamu „100 najnebezpečnejších inváznych druhov sveta“ (Pauková, 2021).

Charakteristika sledovaných trsov. Na konci vegetačného obdobia v ôsmom roku po výsadbe sme v desiatich vybraných trsoch zisťovali priemernú hustotu stebiel metódou sčítania, priemernú výšku stebiel (m) meranú od povrchu pôdy až po apikálnu časť, priemernú hrúbku stebľa na báze (mm) digitálnym posuvným meradlom Stainless Hardened a priemerný počet internódií stebľa priamym počítaním. Zo získaných údajov o skúmaných morfológických znakoch sme v programe MS Excel 2013 vypočítali aritmetický priemer ($\bar{x}$).

Stanovenie biomasy trsov. Deštrukčnou metódou sme odobrali 10 náhodne vybraných celých trsov na konci vegetačného obdobia ôsmeho roku pestovania (marec 2024). Na stebľách sme sledovali nasledujúce kvantitatívne morfológické znaky: výška stebiel, hrúbka stebľa na báze, počet internódií, počet bočných konárov a počet súkvetí. Stanovili sme zberovú (čerstvú) hmotnosť (F_w) 10 odobratých trsov (kg). Na tento účel boli použité váhy KERN ABT 120-5DM. Po vysušení pri teplote 80°C až do konštantnej hmotnosti v laboratóriu aplikovanej ekológie vo výskumnom centre AgroBioTech v Nitre sme stanovili suchú hmotnosť (D_w), percento straty vody a vypočítali produkciu v $t \cdot ha^{-1}$. Percento suchej hmoty (DMC) a obsahu vody (WC) nadzemných orgánov rastlín bolo vypočítané zo vzťahu:

$$DMC = \frac{F_w}{D_w} \cdot 100 [\%]$$

Stanovenie vertikálnej distribúcie nadzemnej biomasy rastlín. Steblá sme vo zvislej rovine posekali na 0,30 m úseky (u dominantných stebiel priemerne na 8 úsekov, u subdominantných na 6 úsekov a u potlačených na 2 úseky). Vzorky sme sušili jednotlivo pri teplote 80 °C až do konštantnej hmotnosti v sušičke v laboratóriu aplikovanej ekológie vo výskumnom centre AgroBioTech v Nitre. Hodnoty čerstvej a suchej hmotnosti biomasy uvádzame v kg. Výsledky prezentujeme pre tri veľkostné skupiny stebiel: dominantné, subdominantné a potlačené stebľá (obr. 1). Na demonštráciu vertikálnej distribúcie sme vybrali po jednom stebli z každej veľkostnej skupiny. Pri porovnaníach uvádzame relatívne hodnoty (%).



Obr. 1 Steblá *Arundo donax* - dominantné (vľavo), subdominantné (v strede) a potlačené (vpravo) v laboratóriu ABT SPU v Nitre

VÝSLEDKY A DISKUSIA

1. Charakteristika sledovaných stebiel

Na konci ôsmeho vegetačného obdobia sme zaznamenali priemerne 39 stebiel v jednom trse, z toho 25 dominantných, 10 subdominantných a 4 potlačené. Vybrané populačno-biologické charakteristiky sledovaných stebiel *A. donax* uvádzame v tabuľke 1.

Tab. 1 Vybrané populačno-biologické charakteristiky stebiel *Arundo donax*

	priemerná výška (m)	priemerná hrúbka stebľa na báze (mm)	priemerný počet internódií na 1 stebľa
Dominantné steblo	2,95	25	18
Subdominantné steblo	1,90	12	12
Potlačené steblo	0,71	4	5

2. Nadzemná biomasa porastu

Najvyššie množstvo vytvorenej biomasy *A. donax* sme zaznamenali v ôsmom roku po výsadbe (rok 2023, zber v marci 2024), kedy dosiahla priemerná suchá nadzemná biomasa 32,06 t.ha⁻¹ (tab. 2). Na základe nameraných údajov sme zistili obsah vody 58,40 % a obsah suchej hmoty 41,60 %. Nazli et al. (2018), ktorí sledovali tvorbu biomasy *A. donax* v prírodných podmienkach Turecka, zistili počas troch rokov tvorbu biomasy pri *A. donax* v rozmedzí od 12,9-36,8 t.ha⁻¹. Giudice et al. (2017) pri skúmaní pobrežnej vegetácie *A. donax* v Taliansku

zaznamenali produkciu biomasy po viacerých vegetačných obdobiach 43,4 t.ha⁻¹. Dokonca Tomas et al. (2020) uvádzajú zo Španielska produkciu biomasy v treťom vegetačnom roku až 54 t.ha⁻¹.

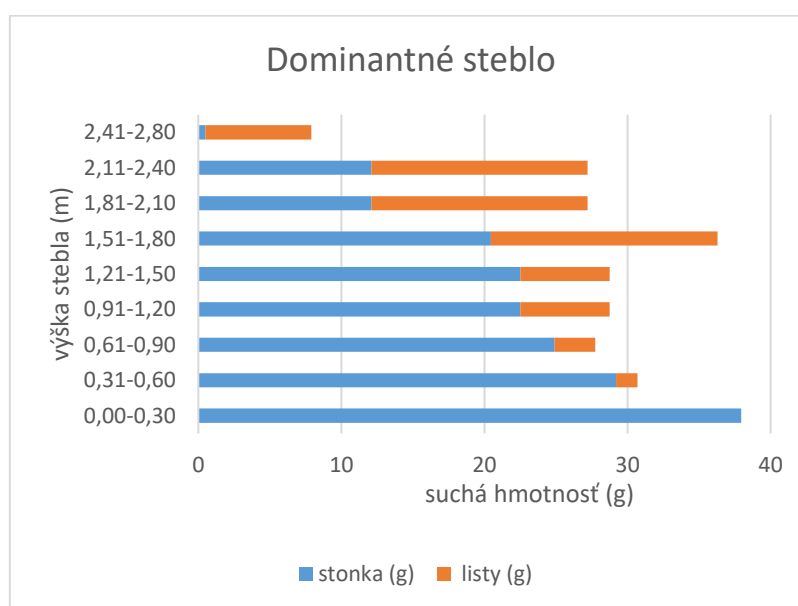
Tab. 2 Produkcia suchej nadzemnej biomasy *Arundo donax* (t.ha⁻¹) pestovaného na výskumnej báze v obci Kolíňany pri Nitre

	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2024
Suchá nadzemná biomasa (t.ha ⁻¹)	1,30	12,05	27,72	28,99	26,61	28,81	32,06

3. Vertikálna distribúcia nadzemných častí rastlín

Z nášho výskumu vyplynulo, že koncom ôsmeho vegetačného obdobia po výsadbe v nadzemnej biomase výrazne prevládala biomasa stebiel (64-75 %), nižšie zastúpenie pripadalo na biomasu listov (25-36 %).

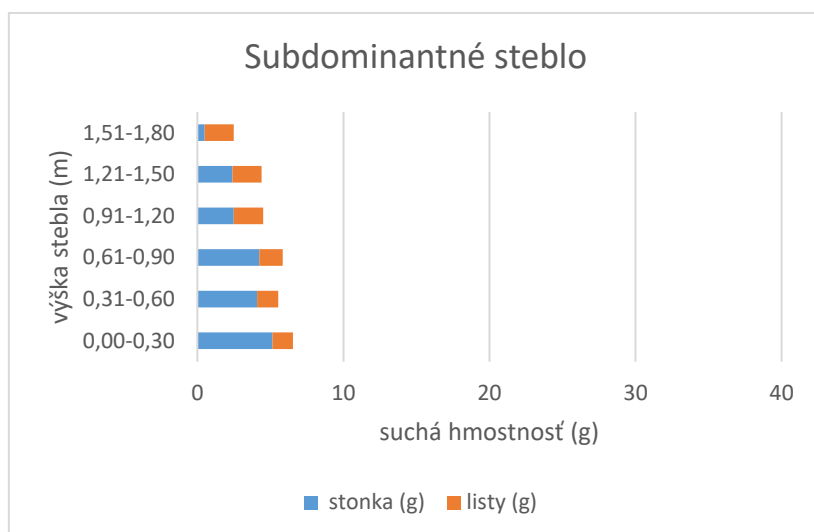
Dominantné steblá *A. donax* dosiahli priemernú výšku 2,95 m s priemerným počtom internódií 18. Dochádzalo k tvorbe bočných konárov, generatívne orgány sa netvorili. Suchá biomasa jedného dominantného stbla varírovala v rozpätí od 1,46-2,36 kg. Celková produkcia biomasy dominantných stebiel sa na jednu vrstvu (0,3 m) pohybovala od 3,5 po 16,9% (obr. 2). Listy boli koncentrované v hornej tretine stbla, čo korešponduje s výsledkami výskumu *A. donax* Paukovej, Jurekovej (2019) na rovnakej lokalite v druhom vegetačnom roku.



Obr. 2 Vertikálna distribúcia suchej biomasy dominantného stbla v trse *Arundo donax*

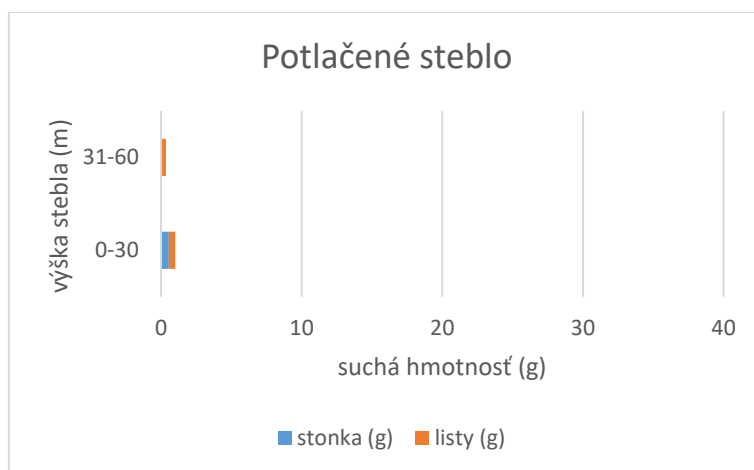
Subdominantné steblá v porovnaní s dominantnými boli o 36 % nižšie, s priemernou výškou 1,90 m a priemerným počtom internódií 12. Suchá biomasa jedného subdominantného stbla dosiahla hodnoty od 0,19-0,31 kg. Listy boli koncentrované najmä v hornej polovici stbla (60% zo všetkých listov), tieto výsledky korešpondujú s výsledkami výskumu *A. donax* Paukovej, Jurekovej (2019) na rovnakej lokalite v druhom vegetačnom roku. K tvorbe bočných

konárov a súkvetí nedochádzalo. Vertikálna distribúcia na jednotlivých vrstvách subdominantných stebiel varíovala v rozsahu od 8,6-22,6 % (obr. 3).



Obr. 3 Vertikálna distribúcia suchej biomasy subdominantného stebľa v trse *Arundo donax*

Potlačené stebľa dosiahli priemernú výšku 0,71 m, priemerný počet internódií bol 5 a suchá biomasa varíovala od 0,005-0,018 kg (obr. 4). Rastliny sa nerozkonárovali a netvorili kvety. U potlačených stebiel sme v ôsmom vegetačnom roku zaznamenali prevahu listov v dolnej polovici stebiel, naopak Pauková, Jureková (2019) v druhom vegetačnom roku zistili koncentráciu listov v hornej tretine stebiel.



Obr. 4 Vertikálna distribúcia suchej biomasy potlačeného stebľa v trse *Arundo donax*

ZÁVER

Produkcia nadzemnej biomasy *Arundo donax* sledovaných trsov na lokalite západného Slovenska dosiahla v ôsmej vegetačnej sezóne po výsadbe hodnotu 32,06 t.ha⁻¹. Na základe analýzy vertikálnej distribúcie porastov bola suchá biomasa listov dominantných stebiel sústredená najmä v hornej tretine stebľa, u subdominantných v hornej polovici stebľa a u potlačených stebiel v dolnej polovici. Sledované stebľa zo všetkých kategórií v ôsmom vegetačnom roku netvorili generatívne orgány. Bočné konáre tvorili iba dominantné stebľa v trse.

SÚHRN

Trvaca tráva vhodná na energetické účely *Arundo donax* L. (trsteník obyčajný) z čeľade *Poaceae* bola pestovaná v poľných podmienkach západného Slovenska. Porasty boli založené na výskumnej báze v obci Kolíňany pri Nitre v roku 2016. Celkovo bolo vysadených 200 sadeníc na ploche 200 m². Na konci ôsmeho vegetačného obdobia roka 2023 bol sledovaný počet stebiel v trse, výška trsov, hrúbka stonky na báze, počet internódií a bočných konárov, tvorba súkvetí, suchá hmotnosť nadzemnej biomasy a jej vertikálna distribúcia. Na konci ôsmeho vegetačného obdobia po výsadbe bola zistená priemerná hustota 39 stebiel v trse. Sledované stebľa zo všetkých kategórií netvorili generatívne orgány, rozkonárovanie sme zistili iba u dominantných stebiel. Vertikálna distribúcia je typická pre husté trávnaté porasty vysoké 2 až 4 metra. Obsah vody v stebľoch sme stanovili na 58,40 %. Produkcia biomasy sledovaných trsov dosiahla v ôsmom roku po výsadbe hodnotu 32,06 t.ha⁻¹.

Kľúčové slová: produkcia biomasy, vertikálna distribúcia, energetické rastliny, *Arundo donax*

ZOZNAM POUŽITEJ LITERATÚRY

1. ANTAL, G. 2018. Giant reed (*Arundo donax* L.) from ornamental plant to dedicated bioenergy species: review of economic prospects of biomass production and utilization. In *International Journal of Horticultural Science*. vol. 24, 2018, p. 39-46.
2. BARBOSA, B. – BOLÉO, S. – SIDELLA, S. – COSTA, J. – DUARTE, M. P. – MENDES, B. – COSENTINO, S. L. – FERNANDO, A. L. 2015. Phytoremediation of heavy metal – contaminated soils using the perennial energy crops *Miscanthus* spp. and *Arundo donax* L. In *Bioenergy Research*., vol. 8, iss. 4, 2015, p. 1500-1511.
3. DEMO, M. – HÚSKA, D. – JUREKOVÁ, Z. – MIKLÓS, N. 2013. *Ozdobnica čínska (Miscanthus sinensis A.) ako zdroj biomasy pre energetické účely – pestovateľské účely*. SPU: Nitra, ISBN 978-80-552-0978-4.
4. ELIÁŠ, P. 1983. Produkčný potenciál spontánnej vegetácie v kultúrnej krajine. In *Produkčný potenciál rastlín a cesty jeho realizácie* (zborník), Nitra, 1983, s. 84-92.
5. FIORENTINO, N. – VENTORINO, V. – ROCCO, C. – CENVINZO, V. – AGRELLI, D. – GIOIA, D. – DI MOLA, I. – ADAMO, P. – PEPE, O. – FAGNANO, M. 2017. Giant reed growth end effects on soil biological fertility in assisted phytoremediation of an industrial polluted soil. In *Science of the Total Environment*. vol. 575, 2017, p. 1375-1383.

6. GIUDICE, A. – ASSIRELLI, A. – GALLUCCI, F. – BELLACIMA, R. – PARI, L. – SANTANGELO, E. 2017. Production of energy feedstock from the riparian vegetation of *Arundo donax* (L.): Suitability of the chopping systems. In *Ecological Engineering*, vol. 102, 2017, p. 459-467.
7. GUBIŠOVÁ, M. 2016. *Množenie Arundo donax v in vitro kultúre*. Metodická príručka. Národné poľnohospodárske a potravinárske centrum, Piešťany : VÚRV, 2016, 15 s.
8. PAUKOVÁ, Ž. – JUREKOVÁ, Z. 2017. Rast a tvorba biomasy sadeníc *Arundo donax* na juhozápadnom Slovensku. In *Fast-growing Trees and Plants Growing for Energy Purposes*. ISBN 978-80-552-1738-3.
9. PAUKOVÁ, Ž. – JUREKOVÁ, Z. 2019. Vertikálna distribúcia nadzemnej biomasy energetickej trávy *Arundo donax* v druhom roku po výsadbe. In *Fast-growing trees and plants grown for energy purposes*. Nitra : Slovak University of Agriculture. ISBN 978-80-552-2058-1.
10. PAUKOVÁ, Ž. – PRČÍK, M. – WÓJCIK-GRONT, E. 2022. *Produkcia biomasy a dynamika rastu energetickej trávy Arundo donax*. 1. vyd. Praha : Verbum, 2022, 87 s. ISBN 978-80-87800-26-3.
11. PAUKOVÁ, Ž. 2021. *Biotické invázie: vysokoškolská učebnica*. 1. vyd., Praha : Verbum, 2021, 145 s. ISBN 978-80-87800-87-4.
12. SLAVÍKOVÁ, J. 1986. *Ekologie rostlin*. Praha : Státní pedagogické nakladatelství, 358 s.
13. TOMAS, J. – MATEU, J. – GIL, J. – BOIRA, H. – LIORENS, L. 2020. *Arundo micrantha* Lam. as an alternative to *Arundo donax* L. as energy crop in saline soils irrigated with treated urban wastewaters. In *Plant Biosystems*. vol. 154, iss. 4, 2020, p. 560-567.

Kontaktná adresa: Žaneta Pauková, doc. Ing., PhD., Slovenská poľnohospodárska univerzita v Nitre, Fakulta európskych štúdií a regionálneho rozvoja, Ústav udržateľného regionálneho a miestneho rozvoja, Tr. A. Hlinku 2, 949 76 Nitra, zaneta.paukova@uniag.sk

IMPLEMENTÁCIA PRESNÉHO POĽNOHOSPODÁRSTVA V PODMIENKACH KRAJÍN EÚ

IMPLEMENTATION OF PRECISION AGRICULTURE IN THE CONDITIONS OF EU COUNTRIES

JAROMÍR PLIEŠOVSKÝ*

Slovenská poľnohospodárska univerzita v Nitre / Slovak University of Agriculture in Nitra

*Korešpondenčný autor / Corresponding author

ABSTRACT

Innovation plays an important role in promoting sustainable development in both emerging economies and the developed world. However, every innovation is the result of a complex set of relationships within the system. Within agricultural innovation, different actors such as (individuals, organizations and businesses) bring new products, processes and structures for socio-economic use. Precision agriculture encompasses a set of technologies that combine sensors, information systems, improved machinery and informed management to optimize production by accounting for variability and uncertainty within agricultural systems. Although the rate of adoption of these innovations is not high in the conditions of EU countries, more and more attention is being paid to it. The aim of this article is to point out the importance of innovations in the agricultural sector, while as an example we present the concept of precision agriculture, the development of which will ensure the efficiency of the overall production in this sector in the future with regard to sustainability.

Key words: innovative agriculture, sustainable innovation, precision agriculture

ÚVOD

V ekonomickej teórii sú inovácie jedným z kľúčových nástrojov pre rast spoločnosti, vstup na nové trhy a dlhodobú udržateľnosť (Ploll et al., 2022). Poháňané rastúcou konkurenciou na globálnych trhoch a bezprecedentným záujmom o postupy udržateľnosti sa farmári snažia implementovať pokročilejšie postupy udržateľnosti (Liu et al., 2018), snažiac sa udržať vysokú hodnotu produktov a služieb prostredníctvom rýchlych a nepretržitých inovácií (Müller et al., 2018). Poľnohospodárske subjekty však často čelia zámeru inovovať s neistotou a obavami, pretože sú konfrontovaní s množstvom nepriaznivých faktorov, akými sú nedostatok finančných zdrojov (Quintero et al., 2022), náklady na inovácie, ktoré sú príliš vysoké, nedostatok kvalifikovaného personálu na riadenie inovácií vo firme, nedostatok vedomostí o inováciách, nedostatok dôvery v inovácie či nízky záujem o inovácie a dlhodobé výsledky (Wang et al., 2022). Presné poľnohospodárstvo, o ktorom sa v literatúre ukazuje, že prispieva k zvýšeniu kvality produktov a trvalo udržateľnému hospodáreniu s pôdou, je informačný

a technologický systém, ktorý vedie k transformácii a pokroku v poľnohospodárstve prostredníctvom nástupu internetu vecí, diaľkového snímania, globálnych systémov určovania polohy a leteckého fotografovania, čo umožňuje farmárom ľahšie monitorovať zdravie plodín a nutričné nedostatky (Mishra, 2022).

Literatúra sa zhoduje na skúmaní inovačných procesov prostredníctvom systémových prístupov, ktoré kulminujú v perspektívach poľnohospodárskych poznatkov a inovačných systémov (Klerkx et al. 2012). Systémové pohľady nahradili individuálne pohľady sieťami a sklonom k obojstrannosti na zvýšenie inovačnej schopnosti farmárov (Turner et al. 2017). Systémové prístupy navrhujú komplexnejší scenár, ktorý si vyžaduje novú víziu inovácie. Ako sa uvádza v správe SCAR (EU SCAR 2012): „Inovácie nezahŕňajú len technický alebo technologický rozmer. Taktiež a čoraz viac zahŕňa stratégiu, marketing, organizáciu, manažment a dizajn. Poľnohospodári nemusia nevyhnutne používať alebo vyvíjať „nové“ technológie: ich novinky vznikajú ako výsledok rôznych spôsobov myslenia a rôznych spôsobov vykonávania vecí a pri opätovnom kombinovaní rôznych poznatkov inovatívnym spôsobom. Inovácia je riešenie problémov a prijímanie príležitostí ako reakcia na interné a externé faktory. Každá inovácia sa vyznačuje kombináciou technických, ekonomických, organizačných a sociálnych zložiek“.

Blackmore (1994) opisuje presné poľnohospodárstvo ako manažérsku prax, ktorá umožňuje farmárom presnejšie pochopiť a kontrolovať, čo sa deje na ich farmách. Môže sa použiť v špecifickom manažmente na sledovanie časovej a priestorovej variability pôdy a plodín (Pierce a Nowak 1999) alebo pri chove hospodárskych zvierat na skrining fyziologických, reprodukčných a produkčných parametrov zvierat, ako aj vplyv operácií na životné prostredie („Precízny chov dobytka“) (Berckmans 2015). Ako uviedla Snemovňa reprezentantov USA (1997), presné poľnohospodárstvo je „integrováný farmársky systém založený na informáciách a produkcii, ktorý je navrhnutý tak, aby zvyšoval dlhodobú efektívnosť produkcie, produktivitu a ziskovosť celej farmy a zároveň minimalizoval neúmyselné dopady na divoká zver a životné prostredie“. Na základe tejto definície Európsky parlament identifikuje presné poľnohospodárstvo ako systém riadenia „celej farmy“, ktorý sa vzťahuje nielen na systémy pestovania plodín, ale na celý sektor poľnohospodárstva, aby sa znížili vplyvy na životné prostredie prostredníctvom využívania informačných technológií (Európsky parlament 2014).

Tieto nové technológie ponúkajú ekonomické a environmentálne výhody, keďže aplikácia založená na potrebách umožňuje minimalizáciu vstupov a zlepšenie úžitkovosti plodín alebo zvierat (Banhazi et al., 2012). Používanie veľkých údajov zozbieraných zo zvierat a pôdy na poskytovanie prediktívnej analýzy záujmov na farme na podporu rozhodovania v poľnohospodárstve je čoraz bežnejšie (Wolfert et al. 2017).

V precíznom poľnohospodárstve sa údaje o jednotlivých poliach a plodinách zhromažďujú pozorovaním, meraním a snímaním pomocou rôznych druhov senzorov, monitorov výnosov a pôdy a nástrojov diaľkového snímania, ako sú snímky z dronov, posádok, lietadiel alebo satelitov (Monteiro et al., 2021). „Snímanie“ je teda základným manažérskym nástrojom precízneho poľnohospodárstva (Hundal, 2023), ktorý sleduje podrobné informácie a poskytuje údaje o klimatických podmienkach, pôdných podmienkach, požiadavkách na hnojivá, dostupnosti vody, stresoch zo škodcov a chorôb a ďalších parametroch poľa (Monteiro et al., 2021). V presnom poľnohospodárstve sa používa celý rad snímačov. Parametre biomasy sú

dôležité pri rozhodovaní o monitorovaní hnojenia a starostlivosti o plodiny. Senzory hmotnostného prietoku a obsahu vlhkosti sú súčasťou monitorov výnosov spolu s prijímačom diferenciálneho globálneho polohovacieho systému (DGPS). Správne kalibrované monitory výnosov môžu generovať presné informácie v reálnom čase pre rozhodovanie, ako napríklad oblasti s nedostatočnou výkonnosťou, čo vedie k návrhom hnojenia plodín špecifickým pre dané miesto (Hundal, 2023). Presný chov dobytka využíva senzory a monitorovaciu technológiu na zhromažďovanie údajov o zdraví a dobrých životných podmienkach zvierat, čo umožňuje farmárom prijímať informované rozhodnutia o krmive, odpade a iných vstupoch so zlepšenou účinnosťou a produktivitou. Snímače polohy Colter kombinované s ultrazvukovými snímačmi povrchu pôdy sa používajú v dynamických systémoch kontroly hĺbky Colter (Monteiro et al., 2021).

Technológie diaľkového snímania, ako sú drony, posádky, lietadlá, satelity a ďalšie pozemné senzory, sa používajú na zber údajov o plodinách a pôdných podmienkach (Monteiro et al., 2021). Diaľkové snímame podporuje identifikáciu priestorových vzorcov podpisov rastlín, ktoré sa zhodujú s pôdnymi charakteristikami, ako aj so stresom spôsobeným škodcami alebo chorobami (Haneklaus et al., 2016). Snímky sú jedným druhom údajov z diaľkového prieskumu, ktoré môžu odhaliť pravdivosť základov. Predtým sa lietadlá nepoužívali len na mnohé operácie s poľnohospodárskymi snímkami, ktoré generujú údaje, ale aj na činnosti spojené s postrekom chemickými látkami alebo hnojivami. Okrem toho sú satelitné snímky dostupné pre manažment farmy už mnoho rokov. Napríklad satelity US-LANDSAT boli na tento účel dostupné v roku 1970 (McFadden, 2023). Bezpilotné lietadlá (UAV) vybavené technológiou globálneho navigačného satelitného systému (GNSS) sa nedávno použili na mapovanie, zhromažďovanie obrazových údajov, prieskum pôdy, postrek plodín a monitorovanie hospodárskych zvierat (Monteiro et al., 2021). Geokódované vzorkovanie je nevyhnutnou súčasťou presného poľnohospodárstva a pozemného overovania, keď sa priestorové obrazy používajú na rozhodovanie. Diaľkové snímame v reálnom čase a nákladovo efektívne, ako je LASSIE (stacionárne pozorovacie inštrumentálne vybavenie v nízkej nadmorskej výške), sú kľúčové v presnom poľnohospodárstve, pretože umožňujú nepretržité a automatické prekódovanie snímok plodín a pôdy v reálnom čase s referenciou GIS. Tieto informácie môžu byť použité na prijímanie informovaných rozhodnutí o pridelovaní zdrojov manažmentu plodín (Monteiro et al., 2021).

AI a robotika zohrávajú kľúčovú úlohu pri pomoci alebo nahradení manuálnych zásahov v poľnohospodárskom sektore, ktorý pokrýva veľký aplikačný panel. Na jednej strane hrá robotika kľúčovú úlohu v poľnohospodárskej výrobe a riadení, takže roboty vykonávajú niekoľko operácií autonómne, ako je odstraňovanie buriny, zavlažovanie alebo riadenie jednotlivých rastlín. Zhang et al. (2020) poskytli podrobný súhrn najmodernejších robotických uchopovačov, uchopovacích a senzorových riadiacich metód, ako aj ich aplikácií v robotických poľnohospodárskych úlohách. V porovnaní s priemyselným uchopovaním stúpajú vyššie požiadavky na uchopovanie v poľnohospodárstve, pretože väčšina potravinárskych a poľnohospodárskych produktov je vždy krehká, ľahko sa poškodí alebo pomliaždi, príliš a/alebo šmykne. Na druhej strane sa v poľnohospodárstve zavádzajú drony na monitorovanie zdravotného stavu plodín, monitorovanie zavlažovacích zariadení či identifikáciu buriny. Roshanianfard et al. (2020) opísali rôzne aspekty autonómnych poľnohospodárskych vozidiel, ktoré boli vyvinuté na Hokkaidskej univerzite. Postupy vývoja a charakteristiky každého

bezpilotného lietadla (UAV) boli porovnané a prediskutované. Prípadové štúdie navrhnutých autonómnych vozidiel a vývojový proces boli prezentované ako praktické prípady a reprezentatívne vývojové výzvy. V posledných rokoch EÚ aktívne vykonávala výskumné a vývojové aktivity súvisiace s aplikáciou AI na digitalizáciu poľnohospodárstva. Napríklad Bacco et al. (2019) poskytol prehľad najnovších výskumných aktivít s dvoma hlavnými príspevkami: prehľad relevantných výskumných projektov nedávno financovaných EÚ v oblasti presného poľnohospodárstva; prehľad vedeckých prác, ktoré navrhujú riešenia na jeho implementáciu (Haneklaus et al., 2016).

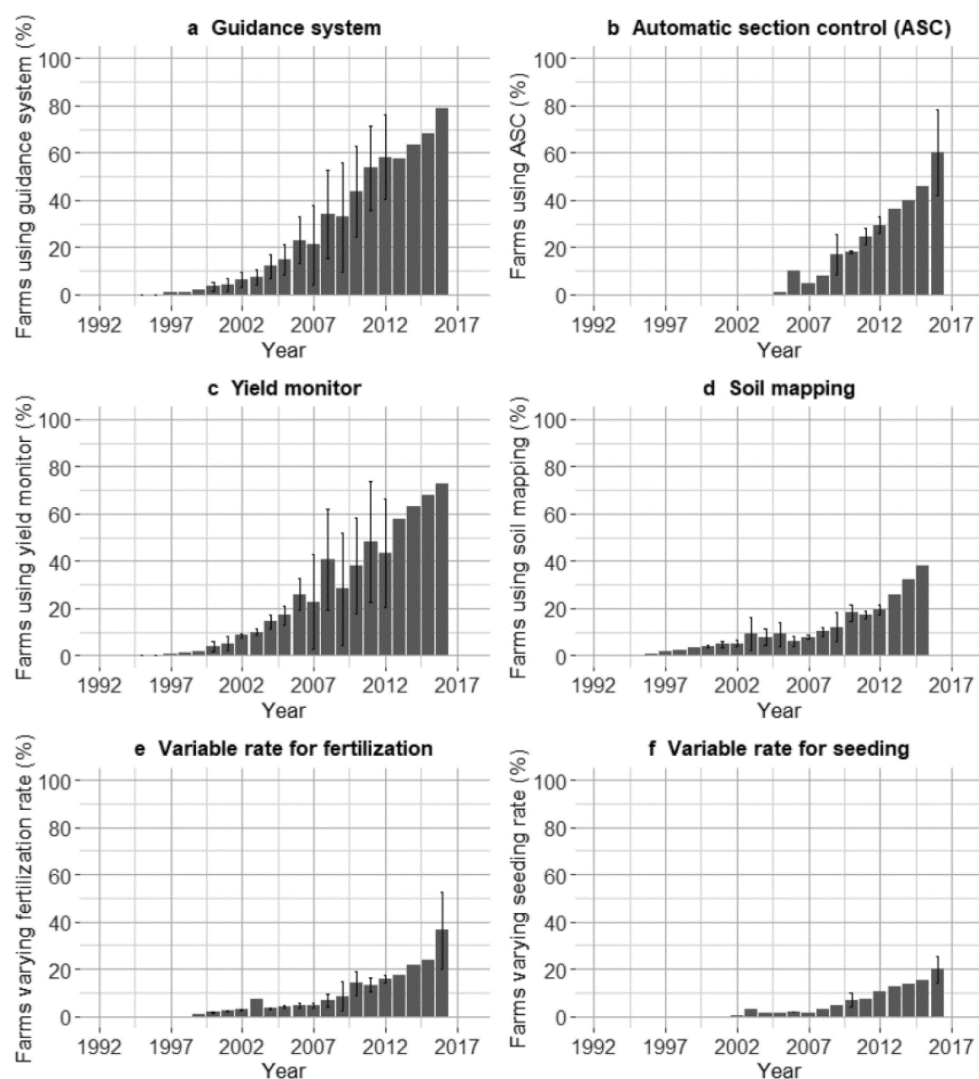
MATERIÁL A METÓDY

Článok bol spracovaný metódou vedeckej abstrakcie, pričom vymedzujeme presné poľnohospodárstvo ako jeden z viacerých spôsobov vytvárania inovácií. Keďže výraz presné či precízne poľnohospodárstvo nemá priamu definíciu, v článku sme použili údaje pochádzajúce zo sekundárnych zdrojov od rôznych autorov, ktorí sa danou tematikou zaoberali a zároveň údajmi z portálu Stáleho výboru pre poľnohospodársky výskum (SCAR), Mordor Intelligence, správy z Európskeho parlamentu (Precision agriculture: An opportunity for EU farmers – potential support with the CAP 2014-2020) z roku 2014, vedeckého časopisu Journal of Agriculture and Food Research či iných. V článku bola použitá aj metóda komparácie, kde sme porovnávali predpokladaný vývoj presného poľnohospodárstva na trhu vyjadrený v miliónoch dolárov v období rokov 2022-2032, či podiel európskych krajín využívajúcich presné poľnohospodárstvo na trhu. Rovnako rozoberáme vplyv rôznych autonómnych technológií na spresnenie a zjednodušenie práce farmárov, pričom sme rozobrali aj momentálny stav a zavádzanie týchto technológií v podmienkach EÚ.

VÝSLEDKY A DISKUSIA

V súčasnosti existujú vážne obavy týkajúce sa dlhodobého vplyvu zásob pôdy a vody, pretože sa už nepovažujú za nevyčerpatel'né alebo bohaté zdroje. Tu bolo pozorované, že presné poľnohospodárstvo môže často pomôcť maximalizovať tieto a iné zdroje s cieľom minimalizovať straty a odpad. Okrem toho môže presné poľnohospodárstvo zvýšiť úrodu plodín, ako aj znížiť variabilitu a vstupné náklady.

Presné poľnohospodárstvo výrazne pomáha farmárom, ktorí potrebujú optimalizovať svoje zdroje. K dnešnému dňu však miera jeho prijatia zostáva pod očakávaniami (McConnell, 2019). Obrázok 1 ukazuje mieru prijatia šiestich technológií presného poľnohospodárstva na farmách s poľnými plodinami v rozvinutých krajinách. Podľa týchto výsledkov bolo mapovanie pôdy prvou technológiou, ktorá sa objavila v roku 1996, po ňom nasledovali navigačné systémy (asistované alebo automatické navádzanie) a monitor výnosov v roku 1997. Aplikácia s premenlivou dávkou začala okolo roku 2000 (1999 pre hnojenie s premenlivou dávkou, 2002 pre siatie s variabilnou dávkou). Automatické riadenie sekcií bolo poslednou technológiou, ktorá sa objavila v roku 2005.



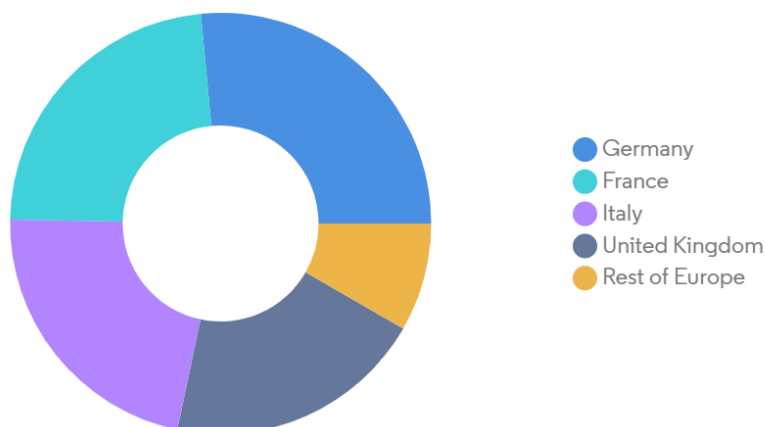
Obr. 1 Miera prijímania technológií presného poľnohospodárstva v období rokov 1992-2017 (zdroj: Mordorintelligence.com)

Jedným z dôvodov je, že počiatočné investície potrebné na implementáciu technológií a postupov presného poľnohospodárstva sú značné a že ide o dlhodobú investíciu. Okrem toho zložitosť nových technológií, ktoré sa používajú v presnom poľnohospodárstve, implikuje vyšší stupeň vzdelávacích zručností pre ich správne osvojenie a riadenie (Pathak et al., 2019), ktoré sa u každého jednotlivca líšia a môžu tak ovplyvniť vhodnú implementáciu. Na trhu sa ponúka množstvo technologických riešení, ktoré plnia odlišné funkcie a dajú sa navzájom kombinovať. Od farmárov sa však vyžaduje, aby mali minimálne znalosti, aby mohli vhodne vybrať tie správne kombinácie spomedzi dostupných technológií (Higgins et al., 2017).

Koncepcia presného poľnohospodárstva sa v Európskej únii presadila ako „konceptia manažmentu poľnohospodárstva založená na pozorovaní, meraní a reagovaní na inter- a vnútropoľnú variabilitu v plodinách alebo v aspektoch chovu zvierat“ (Európsky parlament, 2016). Presné poľnohospodárstvo prináša zmenu vo využívaní pôdy tým, že podporuje „stratégie riadenia celej farmy s využitím informačných technológií, zdôrazňujúc potenciálne zlepšenia výroby pri súčasnom znižovaní vplyvov na životné prostredie“. Yost et al. (2017) zjednodušil túto definíciu a opísal presné poľnohospodárstvo ako „súbor informačných

technológií, ktoré sa zameriavajú na vytváranie okamžitých výhod tým, že sú si vedomí životného prostredia“.

V súčasnosti sa presné poľnohospodárstvo čoraz viac používa v celej Európe. Najvyšší podiel na trhu majú krajiny ako Nemecko, Francúzsko, Taliansko či Spojené kráľovstvo, kde ako zobrazuje obrázok 2 majú výrazne vyšší podiel oproti ostatným krajinám Európy. Výskyt presného poľnohospodárstva však stále zostáva relatívne nízky, najmä medzi malými farmami vo vidieckych okrajových oblastiach, čo môže brániť rýchlejšiemu prechodu na udržateľnejšie poľnohospodárske systémy (Blasch et al., 2022).



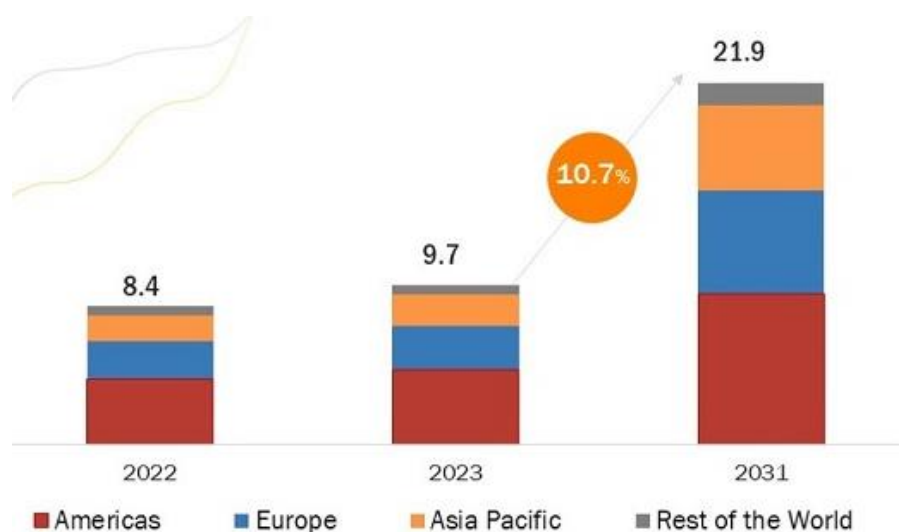
Obr. 2 Podiel využívania presného poľnohospodárstva v rámci európskeho trhu v roku 2021 (zdroj: *A Bibliometric Review of the Use of Unmanned Aerial Vehicles in Precision Agriculture and Precision Viticulture for Sensing Applications*, vol. 14, no. 7)

Vedci zdôraznili rôzne premenné, ako sú sociálno-ekonomické charakteristiky farmárov (veľkosť, zloženie rodiny a úroveň vzdelania), psychologické a inštitucionálne premenné, ktoré môžu brániť alebo vytvárať vnímanú zložitosť, a teda ovplyvňovať potenciál na prijatie technológie (Long et al., 2016). Evolúcia teoretického rámca skúmala dynamickú povahu procesov osvojenia a čoraz viac zdôrazňovala úlohu informačných atribútov a procesov učenia, ktoré sa vyskytujú od uvedomenia si inovácií ďalej (Klerkx et al., 2009). Konkrétne, best-fit prístupy spustené na začiatku 21. storočia predpokladajú systematické nahradenie lineárnych modelov prenosu inovácií interaktívnymi modelmi založenými na systémových perspektívach (Birner et al. 2009). Základom systémových prístupov založených na poľnohospodárskych znalostných a inovačných systémoch (AKIS) je vytvorenie nových organizačných opatrení schopných stimulovať prenos znalostí.

Tab. 1 Počet startupov zameraných na presné poľnohospodárstvo v rámci krajín V4
(zdroj: *Journal of Agriculture and Food Research*, Volume 15, Marec 2024)

Krajina	Celková plocha bez vodných tokov (1000 km ²)	Pomer poľnohospodárskej pôdy v % z celkovej plochy (2020)	Pomer ornej pôdy v % z celkovej plochy (2020)	Pomer trvalej ornej pôdy v % z celkovej plochy (2020)	Počet AgriTech startupov zahŕňajúc rastlinnú a živočíšnu výrobu (2020)
Poľsko	304	47.24	35.67	1.1	67
Česká republika	77.25	45.65	32.18	0.6	27
Slovensko	48.08	39.2	28.0	0.4	25
Maďarsko	91.26	53.7	44.0	1.7	63

V tabuľke 1 môžeme vidieť porovnanie počtu AgriTech startupov v krajinách V4 – Slovenska, Česka, Poľska a Maďarska. Krajiny V4 v tejto štatistike zaostávajú za západnejšími európskymi krajinami, no to spôsobuje aj nižšia rozloha, a to celková aj rozloha poľnohospodárskej pôdy. Z vybraných krajín má najvyšší pomer startupov v prepočte na rozlohu Maďarsko s celkovým počtom 63 startupov, no v porovnaní so západnými krajinami, kde tieto startupy počítame v stovkách majú krajiny V4 veľký potenciál na rozvoj v tomto smere.

**Obr. 3 Prognóza vývoja presného poľnohospodárstva na svete** (zdroj: *Precision farming market na marketsandmarkets.com*)

Pomer presného poľnohospodárstva má už dnes na trhu rastúci charakter, čomu vo veľkej miere napomáha rozsiahly výskum a vývoj nových technológií, postupov či procesov. Tomu nasvedčuje aj obrázok 3, kde vidíme aktuálny stav na trhu v porovnaní s prognózou do roku 2031, kde sa očakáva nárast tržieb firiem zameraným na presné poľnohospodárstvo o 10,7 % z 9,7 miliarda dolárov na 21.9 miliarda v priebehu najbližších 8 rokov. No napriek tomu, keď sa pozrieme na súčasnú mieru prijímania technológií umelej inteligencie v poľnohospodárskom sektore, tá stále nie je vysoká vzhľadom na odlišné faktory, medzi ktorými zohráva dôležitú úlohu nedostatok vedomostí o ich skutočnom využití. Preto sa niekoľko štúdií zameralo na identifikáciu hlavných technológií AI používaných v presnom poľnohospodárstve, ako aj na

zdokumentované implementácie. Liakos et al. (2018) predložili komplexný prehľad výskumu venovaného aplikáciám strojového učenia v systémoch poľnohospodárskej výroby. Kľúčové oblasti použitia boli kategorizované na hospodárenie s plodinami, vodné hospodárstvo a hospodárenie s pôdou. Dospeli k záveru, že je nepopierateľné, že poľnohospodárstvo bude ťažiť z technológií strojového učenia, ktoré umožnia, aby sa systémy riadenia fariem vyvinuli na systémy na podporu rozhodovania v reálnom čase vďaka aplikácii algoritmov AI. Okrem toho Van Klompenburg, Kassahun a Catal (2020) vykonali systematický prehľad literatúry (SLR) o algoritmoch a funkciách strojového učenia používaných v štúdiách predikcie výnosov plodín. Výsledky ukazujú, že nemožno vyvodit' žiadny konkrétny záver o tom, aký je najlepší model, ale jasne ukazujú, že niektoré modely strojového učenia, ako napríklad náhodný les, neurónové siete, lineárna regresia a strom zvyšujúci gradient, sa používajú viac ako ostatné. Okrem toho Noon et al. (2020) predložili veľký prehľad o aplikácii techník hlbokého učenia na identifikáciu stresu listov rastlín. Skúmané techniky boli rozdelené na zeleninu, ovocie a iné plodiny na základe typu stresu, veľkosti súboru údajov, veľkosti tréningu/testu a použitej hlbokkej siete. Zistilo sa niekoľko medzier vo výskume, ako je detekcia a klasifikácia všetkých úrovní závažnosti stresu na zistenie nákazlivých chorôb alebo zovšeobecnenie algoritmov na rôzne plodiny.

SÚHRN

Presné poľnohospodárstvo predstavuje dôležitý nástroj v súčasnom poľnohospodárskom sektore, ktorý môže významne prispieť k optimalizácii využívania pôdy a vody, minimalizácii straty a odpadu, zvýšeniu úrody plodín a zníženiu nákladov. Napriek svojim potenciálnym výhodám však stále čelí výzvam, ktoré bránia jeho širokej adopcii.

Jednou z hlavných prekážok je vysoká počiatočná investícia a zložitosť nových technológií, ktoré si vyžadujú vysokú úroveň vzdelania a zručností pre ich riadne využitie. Okrem toho existujú sociálne, ekonomické a psychologické faktory, ktoré ovplyvňujú prijímanie nových technológií farmármi.

V Európskej únii sa presné poľnohospodárstvo stáva čoraz bežnejším, najmä v krajinách ako Nemecko, Francúzsko, Taliansko a Spojené kráľovstvo. Avšak, malé farmy vo vidieckych oblastiach stále zaostávajú, čo môže spomaliť prechod na udržateľnejšie poľnohospodárske systémy.

Výskum a vývoj nových technológií, procesov a postupov sú kľúčové pre ďalší rozvoj presného poľnohospodárstva. Prognózy ukazujú rastúci trh a potenciálne príležitosti pre firmy zamerané na presné poľnohospodárstvo. Avšak, ďalší výskum a investície sú nevyhnutné na preskúmanie a zdokonalenie aplikácií umelej inteligencie a strojového učenia v poľnohospodárstve s cieľom zlepšiť rozhodovacie procesy a výnosy plodín.

Napriek súčasným výzvam a prekážkam, presné poľnohospodárstvo zostáva jedným z kľúčových faktorov pre budúcnosť udržateľnej a efektívnej poľnohospodárskej produkcie. Je nevyhnutné pokračovať v podpore a rozvoji tohto sektora s cieľom zabezpečiť dlhodobú udržateľnosť a konkurencieschopnosť európskeho poľnohospodárstva.

Kľúčové slová: inovatívne poľnohospodárstvo, udržateľné inovácie, presné poľnohospodárstvo

ZOZNAM POUŽITEJ LITERATÚRY

1. BACCO, Manlio et al. 2019. The Digitisation of Agriculture: a Survey of Research Activities on Smart Farming. [online]. In Array, vol. 3-4. ISSN 25900056. Dostupné na: <https://doi.org/10.1016/j.array.2019.100009>
2. BANHAZI, Thomas M., et al. 2012. Precision Livestock Farming: Precision feeding technologies and sustainable livestock production [online]. In International Journal of Agricultural and Biological Engineering, vol. 5, pp. 54-61. Dostupné na: <https://doi.org/10.3965/j.ijabe.20120504.006>
3. BERCKMANS, Daniel. 2015. Smart farming for Europe: value creation through precision livestock farming. Online. In: HALACHMI, Ilan (ed.). Precision livestock farming applications. Brill | Wageningen Academic. s. 25-36. ISBN 9789086868155. Dostupné z: https://doi.org/10.3920/978-90-8686-815-5_1.2
4. BIRNER, Regina, et al. 2009. From best practice to best fit: A framework for designing and analyzing pluralistic agricultural advisory services worldwide [online]. In Journal of agricultural education and extension, vol.15, pp. 341-355. Dostupné na: <https://doi.org/10.1080/13892240903309595>
5. BLACKMORE, Simon.1994. Precision farming: an introduction [online]. In Outlook on agriculture, vol. 23, pp. 275-280. Dostupné na: <https://doi.org/10.1177/003072709402300407>
6. BLASCH, Julia, et al. 2022. Farmer preferences for adopting precision farming technologies: a case study from Italy [online]. In European Review of Agricultural Economics, vol. 49, pp. 33-81. Dostupné na: <https://doi.org/10.1093/erae/jbaa031>
7. EU SCAR. 2012. Agricultural knowledge and innovation systems in transition – a reflection paper, Brussels [online]. ISBN 978-92-79-22252-8. 121 s. Dostupné na: https://scar-europe.org/images/AKIS/Documents/AKIS_reflection_paper.pdf
8. EURÓPSKY PARLAMENT. 2016. Precision agriculture and the future of farming in Europe. Scientific Foresight Study (STOA) [online]. ISBN 978-92-846-0475-3. 42 s. Dostupné na: <https://doi.org/10.2861/020809>
9. GUERIN, LJ - GUERIN, TF. 1994. Constraints to the adoption of innovations in agricultural research and environmental management: a review [online]. In Australian Journal of Experimental Agriculture, vol. 34. ISSN 0816-1089. Dostupné na: <https://doi.org/10.1071/EA9940549>
10. HANEKLAUS, Silvia - LILIENTHAL, Holger; SCHNUG, Ewald. 2016. 25 years Precision Agriculture in Germany—a retrospective [online]. In 13th International Conference on Precision Agriculture. Dostupné na: https://www.researchgate.net/profile/Ewald-Schnug/publication/305317531_25_years_Precision_Agriculture_in_Germany_-_a_retrospective/links/578cd1be08ae254b1de86207/25-years-Precision-Agriculture-in-Germany-a-retrospective.pdf
11. HUNDAL, Gaganpreet Singh, et al. 2023. Exploring Barriers to the Adoption of Internet of Things-Based Precision Agriculture Practices [online]. In Agriculture, vol. 13, ISSN 2077-0472. Dostupné na: <https://doi.org/10.3390/agriculture13010163>
12. ISGIN, Tamer, et al. 2008. Using count data models to determine the factors affecting farmers' quantity decisions of precision farming technology adoption [online].

- In Computers and electronics in agriculture, vol. 62, pp. 231-242. Dostupné na: <https://doi.org/10.1016/j.compag.2008.01.004>
13. KIM, Yunseop et al. 2008. Remote sensing and control of an irrigation system using a distributed wireless sensor network [online]. In IEEE transactions on instrumentation and measurement, vol 57., pp. 1379-1387.
 14. KLERKX, Laurens; VAN MIERLO, Barbara a LEEUWIS, Cees. 2012. Evolution of systems approaches to agricultural innovation: concepts, analysis and interventions. [online]. In Farming Systems Research into the 21st Century: The New Dynamic. Dordrecht: Springer Netherlands, pp. 457-483. ISBN 978-94-007-4502-5. Dostupné na: https://doi.org/10.1007/978-94-007-4503-2_20.
 15. KUTTER, Thomas, et al. 2011. The role of communication and co-operation in the adoption of precision farming. [online]. In Precision Agriculture, vol. 12, pp. 2-17. ISSN 1385-2256. Dostupné na: <https://doi.org/10.1007/s11119-009-9150-0>. [cit. 2024-04-16].
 16. LEZOCHE, Mario, et al. 2020. Agri-food 4.0: A survey of the supply chains and technologies for the future agriculture [online]. In Computers in industry vol. 117, pp. 103-187. Dostupné na: <https://doi.org/10.1016/j.compind.2020.103187>
 17. LIAKOS, Konstantinos et al. 2018. Machine learning in agriculture: A review [online]. In Sensors, vol. 18. Dostupné na: <https://doi.org/10.3390/s18082674>
 18. LIU, Tingting et al. 2018. Factors influencing farmers' adoption of best management practices: A review and synthesis [online]. In Sustainability vol. 10. Dostupné na: <https://doi.org/10.3390/su10020432>
 19. LONG, Thomas B.; BLOK, Vincent; CONINX, Ingrid. 2016. Barriers to the adoption and diffusion of technological innovations for climate-smart agriculture in Europe: evidence from the Netherlands, France, Switzerland and Italy [online]. In Journal of cleaner production, vol. 112, pp. 9-21. Dostupné na: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.06.044>
 20. MCFADDEN, Jonathan - NJUKI, Eric - GRIFFIN, Terry. 2023. Precision Agriculture in the Digital Era: Recent Adoption on U.S. Farms. [online]. In US Department of Agriculture, Economic Research Service 248. Dostupné na: <https://www.ers.usda.gov/webdocs/publications/105894/eib-248.pdf>
 21. MISHRA, Shakti. 2022. Emerging Technologies: principles and applications in precision agriculture. In: data science in agriculture and natural resource management [online]. Springer, Singapore, pp 31–53. Dostupné na: https://doi.org/10.1007/978-981-16-5847-1_2
 22. MONTEIRO, António; SANTOS, Sérgio; GONÇALVES, Pedro. 2021. Precision agriculture for crop and livestock farming—Brief review [online]. In Animals, vol. 11. Dostupné na: <https://doi.org/10.3390/ani11082345>
 23. MULLER, Julian – Marius et al. 2018. Fortune favors the prepared: How SMEs approach business model innovations in Industry 4.0 [online]. In Technological Forecast Social Change vol. 132, pp. 2–17. Dostupné na: <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2017.12.019>
 24. NOON, Serosh Karim. 2020. Use of deep learning techniques for identification of plant leaf stresses: A review [online]. In Sustainable Computing: Informatics and Systems, vol. 28. ISSN 22105379. Dostupné na: <https://doi.org/10.1016/j.suscom.2020.100443>
 25. PAUSTIAN, Margit a THEUVSEN, Ludwig. 2017. Adoption of precision agriculture technologies by German crop farmers. [online]. In Precision Agriculture, vol. 18, pp. 701-716. ISSN 1385-2256. Dostupné z: <https://doi.org/10.1007/s11119-016-9482-5>

26. PIERCE, Francis J. - NOWAK, Peter. 1999. Aspects of Precision Agriculture. [online]. In *Advances in Agronomy*, vol. 67, pp. 1-85. ISBN 9780120007677. Dostupné na: [https://doi.org/10.1016/S0065-2113\(08\)60513-1](https://doi.org/10.1016/S0065-2113(08)60513-1)
27. PLOLL, Ursula. 2022. Sustainable Innovations: A Qualitative Study on Farmers' Perceptions Driving the Diffusion of Beneficial Soil Microbes in Germany and the UK. [online]. In *Sustainability*, vol. 14. Dostupné na: <https://doi.org/10.3390/su14105749>
28. QUINTERO, Santiago. 2022. Analysis of the Specialization Patterns of an Agricultural Innovation System: A Case Study on the Banana Production Chain (Colombia) [online]. In *Sustainability*, vol. 14. Dostupné na: <https://doi.org/10.3390/su14148550>
29. ROGERS, Everett M.; SINGHAL, Arvind; QUINLAN, Margaret M. 2014. Diffusion of innovations. [online]. In: *An integrated approach to communication theory and research*. Routledge. pp. 432-448. Dostupné na: <https://doi.org/10.4324/9780203887011>
30. ROSHANIANFARD, Ali et al. 2020. A review of autonomous agricultural vehicles (The experience of Hokkaido University) [online]. In *Journal of Terramechanics*, vol. 91, pp. 155-183. ISSN 00224898. Dostupné na: <https://doi.org/10.1016/j.jterra.2020.06.006>
31. RYAN, Bryce; GROSS, Neal C. 1943. The diffusion of hybrid seed corn in two Iowa communities. In *Rural sociology*, vol. 8.
32. SCHNEBELIN, Éléonore. 2022. Linking the diversity of ecologisation models to farmers' digital use profiles [online]. In *Ecological Economics*, vol. 196. ISSN 09218009. Dostupné na: <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2022.107422>
33. SINGH, Abhaya Pal et al. 2022. A Bibliometric Review of the Use of Unmanned Aerial Vehicles in Precision Agriculture and Precision Viticulture for Sensing Applications [online]. In *Remote Sensing*, vol. 14, no. 7. Dostupné na: <https://doi.org/10.3390/rs14071604>
34. TURNER, James A. et al. 2017. Unpacking systemic innovation capacity as strategic ambidexterity: How projects dynamically configure capabilities for agricultural innovation. [online]. In *Land Use Policy*, vol. 68, s. 503-523. ISSN 02648377. Dostupné na: <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2017.07.054>
35. VAN KLOMPENBURG, Thomas; KASSAHUN, Ayalew; CATAL, Cagatay. 2020. Crop yield prediction using machine learning: A systematic literature review [online]. In *Computers and Electronics in Agriculture*, vol. 177. Dostupné na: <https://doi.org/10.1016/j.compag.2020.105709>
36. VECCHIO, Yari et al. 2020. Adoption of precision farming tools: A context-related analysis. [online]. In *Land Use Policy*, vol. 94. ISSN 02648377. Dostupné na: <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2020.104481>
37. WANG, Yang. 2022. Analysis of Micro Value Flows in the Value Chain of Eco-Innovation in Agricultural Products [online]. In *Sustainability*, vol. 14. Dostupné na: <https://doi.org/10.3390/su14137971>
38. WELTER, Friederike. 2011 Contextualizing Entrepreneurship—Conceptual Challenges and Ways Forward. [online]. In *Entrepreneurship Theory and Practice*. Vol. 35, pp. 165-184. ISSN 1042-2587. Dostupné na: <https://doi.org/10.1111/j.1540-6520.2010.00427.x>
39. WETENGERE, Kitojo. 2011 Socio-economic factors critical for intensification of fish farming technology. A case of selected villages in Morogoro and Dar es Salaam regions,

- Tanzania [online]. In Aquaculture International, vol. 19, pp. 33-49. ISSN 0967-6120. Dostupné na: <https://doi.org/10.1007/s10499-010-9339-2>
40. WOLFERT, Sjaak, et al. 2017. Big data in smart farming—a review [online]. In Agricultural systems, vol. 153, pp. 69-80. Dostupné na: <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2017.01.023>
41. YOST, Matt et al. 2017. Long-term impact of a precision agriculture system on grain crop production [online]. In Precision agriculture, vol. 18, pp. 823-842. Dostupné na: <https://doi.org/10.1007/s11119-016-9490-5>
42. ZHANG, Baohua et al. 2020. State-of-the-art robotic grippers, grasping and control strategies, as well as their applications in agricultural robots: A review [online]. In Computers and Electronics in Agriculture, vol. 177. ISSN 01681699. Dostupné na: <https://doi.org/10.1016/j.compag.2020.105694>

Kontaktná adresa: Jaromír Pliešovský, Ing., Slovenská poľnohospodárska univerzita v Nitre, Fakulta európskych štúdií a regionálneho rozvoja, Ústav európskych politík a verejnej správy, Tr. A. Hlinku 2, 949 76 Nitra, +421 37 641 5601, e-mail: xpliesovsky@uniag.sk

POTENCIÁL VYUŽITIA PÔDY PRE PESTOVANIE RÝCHLORASTÚCICH RASTLÍN AKO FAKTOR UDRŽATEĽNÉHO ROZVOJA REGIÓNOV SLOVENSKA

THE POTENTIAL OF LAND USE FOR THE CULTIVATION OF FAST- GROWING PLANTS AS A FACTOR IN THE SUSTAINABLE DEVELOPMENT OF THE REGIONS OF SLOVAKIA

MARTIN PRČÍK*, VLADIMÍR KIŠŠ

Slovenská poľnohospodárska univerzita v Nitre / Slovak University of Agriculture in Nitra

*Korešpondenčný autor / Corresponding author

ABSTRACT

The basic idea of the visions and strategies that legislated the sustainable development of Slovakia's regions is to focus on key areas of development: protection and development of resources, their sustainable use and development of communities. An important aspect of development is also the strengthening of the economic sustainability of the communities of municipalities and regions, which also contributes to the diversification of the use of the agricultural land fund. Diversification of agricultural production in practice provides the opportunity to actively manage land directly in individual regions. The aspect of increasing the economic self-sufficiency and social status of the population in these regions is also significant. One of the possibilities of sustainably using the land for the benefit of rural communities and meeting their needs is the cultivation of fast-growing plants for the cyclically recurring production of biomass. Currently, this biomass is primarily used for energy purposes, but as practice has shown, the use of biomass has a much broader framework. The largest share of land suitable for growing fast-growing plants is located in the Žilina, Prešov and Banská Bystrica regions. The lowest share is in the Bratislava, Trnava and Nitra regions. The real area of registered areas of fast-growing plants in the regions of Slovakia is 351.7 ha (0.03 % of the total possible land area). From a socio-economic point of view, it is most appropriate for biomass to be processed in the given region, e.g. for pellets, chips and wood briquettes, which have a higher added value than unprocessed raw biomass (e.g. in the form of firewood). The establishment and operation of enterprises dealing with renewable energy sources creates economic potential in rural areas and supports their sustainable development.

Key words: regional development, sustainable development, diversification of agriculture, fast-growing plants

ÚVOD

Slovensko je krajina úspešne a udržateľne sa rozvíjajúcich regiónov odolných voči globálnym ekonomickým výkyvom, poskytujúcich kvalitné a bezpečné prostredie pre zdravý a plnohodnotný život obyvateľov, pre rozvoj podnikateľských aktivít, domáceho a zahraničného kapitálu a atraktívnych pre návštevníkov a turistický ruch. Dôležitým cieľom

Národnej stratégie regionálneho a územného rozvoja Slovenskej republiky do roku 2030 je podpora udržateľného dynamického rozvoja komunit a modernej inovačne orientovanej ekonomiky v regiónoch Slovenska v prospech zlepšenia životných podmienok ich obyvateľov, kvality ich sídelného prostredia, vytvorenia podmienok pre využitie ľudských, ekonomických a prírodných zdrojov, ich rozvoj a ochrana.

Keďže významná časť poľnohospodárskych pôd na Slovensku sa nachádza v oblastiach, pre intenzívne využívanie nevhodných, v roku 2009 bola načrtnutá potreba venovať zvýšenú pozornosť aj pestovaniu priemyselných a energetických rastlín (Dlhodobá stratégia využitia poľnohospodárskych a nepoľnohospodárskych plodín na priemyselné účely, 2009). Ako komplexný prvotný materiál na úrovni Slovenska preferoval zavedenie takýchto plodín do sústavy hospodárenia na pôde. Stratégia vychádzala z predpokladu, že cieľené pestovanie energetických rýchlorastúcich rastlín má nesporne veľkú budúcnosť. Prognózy tvrdili, že nepotravinová produkcia pestovaná na poľnohospodárskych pôdach sa stane tak dôležitou obchodnou komoditou, akou sú bežné potravinárske výrobky.

Kološta a Flaška (2016) uvádzajú, že z ťažiskového hľadiska slovenského poľnohospodárstva je potrebné biomasu považovať za významný prostriedok umožňujúci zvýšenie konkurencieschopnosti produktov agrárneho sektora, pričom synergicky rieši dôležité oblasti národného hospodárstva, ako je napríklad znižovanie nezamestnanosti, revitalizácia vidieka v kontexte rozvoja vidieckych oblastí, udržateľný rozvoj či zvyšovanie kvality životného prostredia.

V zmysle Stratégie biodiverzity na ochranu a obnovu ekosystémov a biodiverzity v poľnohospodárstve, lesníctve a vodnom prostredí (Komisia, 2020) by mali inovatívne poľnohospodárske postupy pôsobiť proti klimatickej zmene, chrániť prírodné prostredie a neznižovať biodiverzitu (Böll-Stiftung, 2020).

Ide o tzv. poľnohospodársku biologizáciu a aplikáciu udržateľného poľnohospodárstva, ktoré bude spojené s produkciou vysokokvalitných tovarov a služieb v dlhodobom horizonte, pri čom bude prihliadať na špecifickú ekonomickú a sociálnu štruktúru spôsobom, že bude zachovaná báza obnoviteľných a neobnoviteľných zdrojov (Porvaz et al., 2015; Rosa et al., 2022).

Rozvoj regiónov Slovenska je definovaný aj v dokumente Slovensko 2030 (2020). Poslaním dokumentu je nielen premietnuť a konkretizovať priority Agendy 2030 a Európskej zelenej dohody v špecifických podmienkach Slovenska, ale zároveň ako integrovaná rozvojová stratégia rámcovať verejné politiky štátu a rozvojové politiky územných samospráv s cieľom zabezpečiť ich koordináciu, synergiu, stabilitu a efektívnejšie využívanie verejných zdrojov. Vízia a stratégia definuje priority a ciele rozvoja Slovenska v troch integrovaných rozvojových programoch pokrývajúcich kľúčové oblasti rozvoja: ochrana a rozvoj zdrojov, ich udržateľné využívanie a rozvoj komunit. Tieto programy sú chápané ako prierezové, integrujúce problematiku rôznych rezortov a rôznych úrovní štátnej správy a územnej samosprávy. Reagujú na hlavné výzvy nielen na národnej úrovni, ale berú do úvahy špecifiká regiónov Slovenska. Dôležitým aspektom rozvoja regiónov Slovenska v zmysle dokumentu je posilnenie ekonomickej udržateľnosti komunit obcí a regiónov, k čomu prispeje aj diverzifikácia využívania poľnohospodárskeho pôdneho fondu.

V zmysle zákona č. 200/2022 Z. z. o územnom plánovaní je v §5, odsek v) verejným záujmom záujem vyjadrený územnoplánovacou dokumentáciou, ktorý prináša najmä prospech

verejnosti so zreteľom na udržateľný územný rozvoj, ktorý zabezpečuje územnú súdržnosť, sociálnu súdržnosť a nediskrimináciu, záujem detí a sociálne vylúčených alebo ohrozených spoločenských skupín, územný systém ekologickej stability, ekologickú konektivitu, rozvoj dopravnej infraštruktúry, technickej infraštruktúry a zelenej infraštruktúry, zachovanie hodnôt krajiny a kultúrneho dedičstva, ochrana a efektívne využívanie prírodných zdrojov a iných daností územia, ochranu prírody, ochranu vôd a zachovanie biodiverzity, ochranu životného prostredia, ochranu verejného zdravia, obranu štátu, bezpečnosť štátu, civilnú ochranu, ochranu pred požiarom a zohľadňuje podmienky meniacej sa klímy a adaptívnej schopnosti. Z uvedeného vyplýva, že diverzifikácia poľnohospodárstva je jedným z riešení, ako reagovať na zmenu klímy a prinášať úžitok verejnosti.

Diverzifikácia využitia poľnohospodárskych pôd v zmysle Stratégie hospodárskej politiky Slovenskej republiky do roku 2030 (2018) prispieva k udržaniu ekologickej stability a zároveň ponúka možnosti zvyšovania ekonomickej sily vidieka a sociálneho statusu vidieckych komunít. Zvyšovanie celkovej kvality života je dôležitým ukazovateľom v hodnotení stupňa pokroku v rozvoji jednotlivých regiónov Slovenska. Hospodársky rast z pohľadu konkurencieschopnosti a udržateľnosti v časti regionálny rozvoj definuje ako jeden z dôležitých faktorov využitia potenciálu pôdohospodárstva. V časti životné prostredie sa zameriava na zelené hospodárstvo, obehovú ekonomiku, biodiverzitu a využívanie a ochranu prírodných zdrojov. Nový charakter hospodárskeho rozvoja SR, ktorý podporí rozvoj regiónov je determinovaný piatimi kľúčovými oblasťami, z ktorých práve oblasti: Ekologická efektívnosť hospodárstva a regionálny rozvoj apelujú na rozvoj v zmysle ekologicky efektívneho hospodárstva postaveného na zdrojovej a energetickej efektívnosti s prepojením na vyvážený regionálny rozvoj s inováčnym pôdohospodárstvom zabezpečujúcim zamestnanosť v regiónoch.

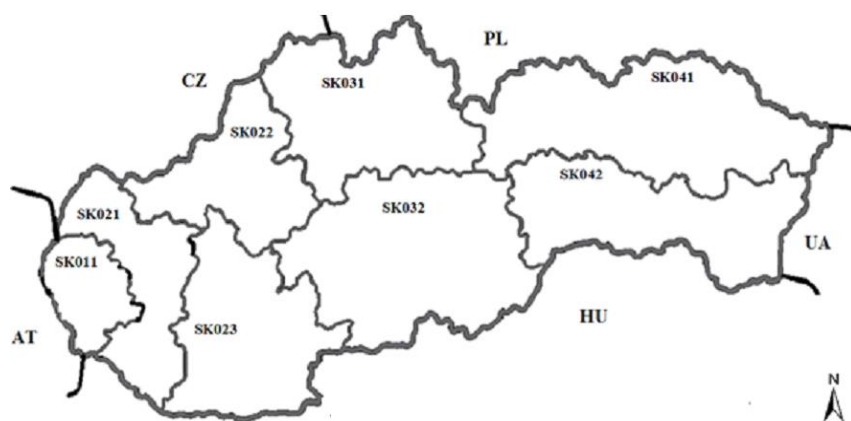
Diverzifikácia poľnohospodárskej výroby v praxi poskytuje možnosť aktívne obhospodarovvať pôdny fond priamo v jednotlivých regiónoch. Významný je aj aspekt zvyšovania ekonomickej sebestačnosti a sociálneho statusu obyvateľstva v týchto regiónoch (Prehľad faktov o Programe rozvoja vidieka na Slovensku na obdobie rokov 2014 – 2022, 2023).

Jednou z možností ako udržateľne využívať krajinu v prospech vidieckych komunít a napĺňania ich potrieb je pestovanie energetických rýchlorastúcich rastlín pre cyklicky sa opakujúcu produkciu biomasy. V súčasnosti sa prioritne táto biomasa zhodnocuje energeticky, no ako ukázala prax, využitie biomasy je omnoho širšie (Kanianska et al., 2016; Gielen et al., 2019).

Cieľom predloženého príspevku je identifikácia pôd vhodných pre pestovanie rýchlorastúcich energetických rastlín, ako súčasť zásobovacej ekosystémovej služby agroekosystémov (prírodného kapitálu) a spracovaný prehľad vhodných pôd na úrovni jednotlivých regiónov Slovenska. Využitím potenciálu pôd na zabezpečenie lokálneho obnoviteľného zdroja je možné prepojiť udržateľnosť rozvoja vidieka z hľadiska socio-ekonomického so zachovaním aktuálnej úrovne kvality života vidieckych komunít a životného prostredia.

MATERIÁL A METÓDY

Z celkovej rozlohy Slovenska (4 903 500 ha) zaberá poľnohospodárska pôda 2 401 693 ha, čo predstavuje 49,16 %. Pre analýzu vhodnosti pestovania rýchlorastúcich rastlín na úrovni regiónov Slovenska bolo použité rozdelenie plochy Slovenska na základe NUTS 3 (*Nomenclature of Territorial Units for Statistics*). Na základe použitia tejto metodiky bolo územie Slovenska rozdelené na 8 regiónov (rešpektujúcich regionalizáciu na základe VÚC - 8 krajov) (obrázok 1).



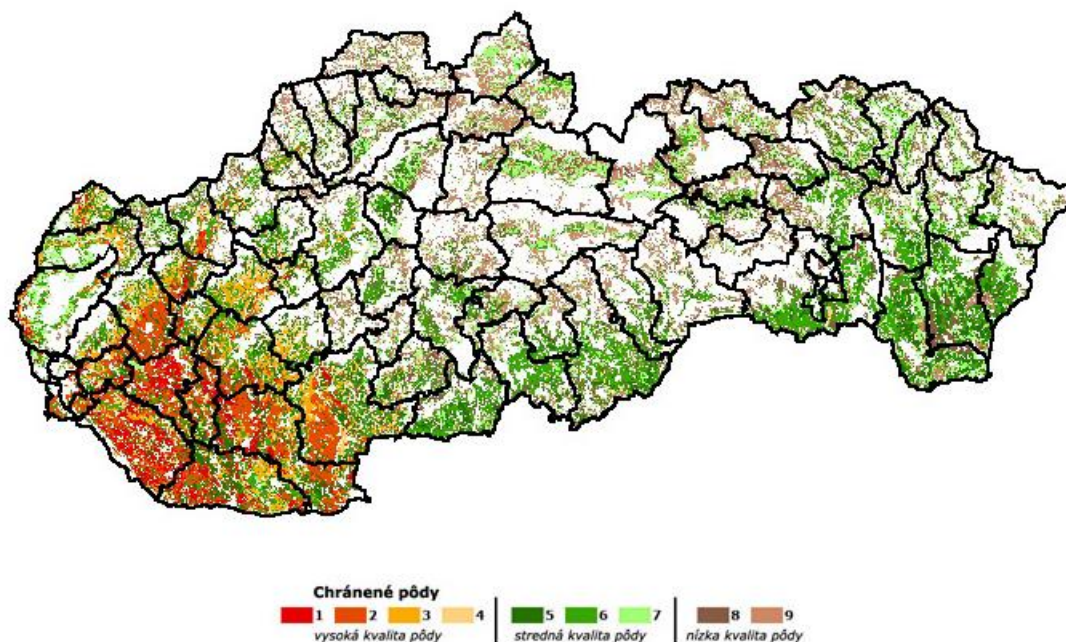
Obr. 1 **Regióny Slovenska na základe NUTS 3**

Legenda: SK011 – Bratislava, SK021 – Trnava, SK022 – Trenčín, SK023 – Nitra, SK032 – Banská Bystrica, SK031 – Žilina, SK042 – Košice, SK041 – Prešov, AT – Rakúsko, HU – Maďarsko, UA – Ukrajina, PL – Poľsko, CZ – Česká republika

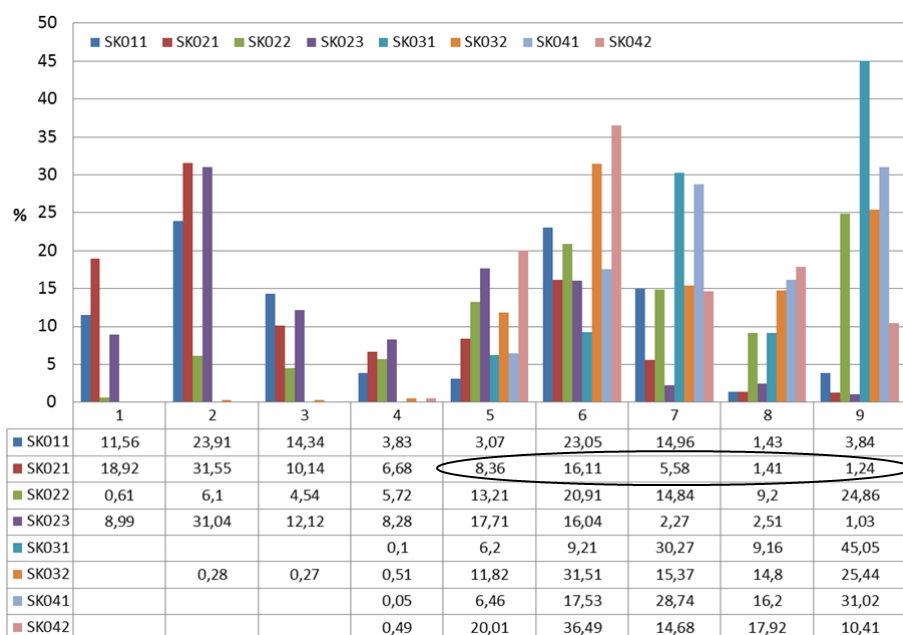
Pôdny faktor bol vyjadrený ako výmera poľnohospodárskej pôdy vhodnej na pestovanie rýchlorastúcich rastlín. Údaje boli spracované podľa databázy Výskumného ústavu pôdoznanectva a ochrany pôdy SR k 31.12. 2019 (ostatná aktualizácia). Výmery o registrovaných plochách porastov energetických rýchlorastúcich rastlín pestovaných na poľnohospodárskej pôde sú spracované podľa databáz z jednotlivých regiónov Slovenska k 1.9.2019 (ostatná aktualizácia).

VÝSLEDKY A DISKUSIA

Podľa zákona č. 220/2004 Z. z. o ochrane a využívaní poľnohospodárskej pôdy sú všetky poľnohospodárske pôdy podľa príslušnosti do BPEJ zaradené do 9. skupín kvality pôdy. Najkvalitnejšie patria do 1. skupiny a najmenej kvalitné do 9. skupiny. Pre pestovanie energetických rýchlorastúcich rastlín v podmienkach Slovenska sú vhodné pôdy zaradené do 5. až 9. skupiny kvality pôdy. Prvé 4 skupiny sú chránené podľa §12 zákona a možno ich dočasne alebo trvale použiť na nepoľnohospodárske účely iba v nevyhnutných prípadoch, ak nie je možné alternatívne riešenie (obrázok 2).



Obr. 2 Zastúpenie stupňov kvality poľnohospodárskych pôd v krajoch SR k 17.12. 2019
zdroj: VUPOP Bratislava, aktualizované 2019



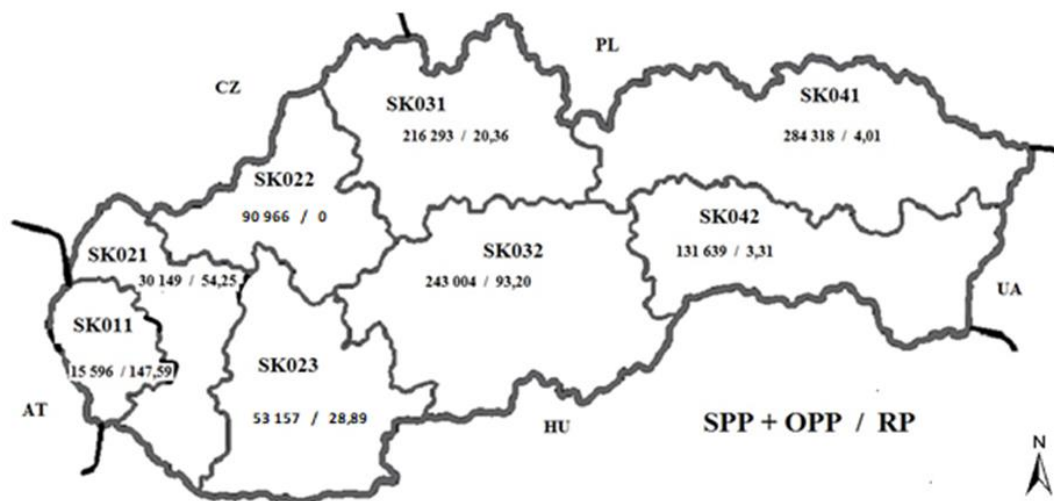
Legenda: SK011 – Bratislavský kraj, SK021 – Trnavský kraj, SK022 – Trenčiansky kraj, SK023 – Nitriansky kraj, SK031 – Žilinský kraj, SK032 – Banskobystrický kraj, SK041 – Prešovský kraj, SK042 – Košický kraj

Obr. 3 Výmera jednotlivých skupín kvality pôdy (1 až 9) na úrovni regiónov Slovenska
zdroj: VUPOP Bratislava, aktualizované 2019

Ako je možné vidieť na obrázku 3, výmera skupiny kvality pôd 5 až 9 je zastúpená na úrovni všetkých regiónov Slovenskej republiky. Najvyšší potenciál v pestovaní energetických rýchlorastúcich rastlín vzhľadom ku konkrétnym výmerám pôd na úrovni regiónov je v Prešovskom (99,95 %), Žilinskom (99,89 %), Košickom (99,51 %), Banskobystrickom (98,94 %) a Trenčianskom regióne (83,02 %). K regiónom s výmerou skupiny kvality pôd 5 až 9 pod

50 % z celkovej výmery poľnohospodárskej pôdy patrí Bratislavský (46,35 %), Nitriansky (39,56 %) a Trnavský (32,7 %) región.

Pestovanie rýchlorastúcich rastlín v regiónoch Slovenska je možné na sekundárnej a ostatnej pôde. Primárny pôdny fond je viazaný na zabezpečenie potravinovej sebestačnosti krajiny. Regionálne rozdiely vo výmerách pôd vhodných na pestovanie rýchlorastúcich energetických rastlín dokumentuje obrázok 4.



Legenda: SPP – sekundárna poľnohospodárska pôda; OPL – ostatná poľnohospodárska pôda; RP – registrovaná pôda rýchlorastúcich rastlín na poľnohospodárskej pôde; SK011 – Bratislava, SK021 – Trnava, SK022 – Trenčín, SK023 – Nitra, SK031 – Žilina, SK032 – Banská Bystrica, SK041 – Prešov, SK042 – Košice

Obr. 4 Výmera poľnohospodárskej pôdy vhodnej na pestovanie energetických rýchlorastúcich rastlín a reálna výmera registrovaných plôch energetických rýchlorastúcich rastlín vyjadrená v hektároch v regiónoch Slovenska

zdroj: VUPOP Bratislava, aktualizované 2019

Ako je z obrázku 4 zrejmé, najväčší podiel výmery vhodných pôd pre pestovanie energetických rýchlorastúcich rastlín je lokalizovaný v Žilinskom, Prešovskom a Banskobystrickom kraji. Najnižší podiel je v Bratislavskom, Trnavskom a Nitrianskom kraji. Reálna výmera registrovaných plôch rýchlorastúcich rastlín v regiónoch Slovenska predstavuje 351,7 ha (0,03% z celkovej novej výmery pôd). Najväčšie výmery v súčasnosti pestovaných plantáží energetických rýchlorastúcich rastlín sú v Bratislavskom, Banskobystrickom, Trnavskom a Nitrianskom kraji. Ide o menšie plochy, ktoré zabezpečujú produkciu biomasy pre lokálne energetické zhodnotenie.

Zo sociálno-ekonomického hľadiska je najvhodnejšie, aby sa v danom regióne biomasa aj spracovávala napr. na pelety, štiepku a drevné brikety, ktoré majú vyššiu pridanú hodnotu ako nespracovaná surová biomasa (napr. vo forme palivového dreva) (Makovníková et al., 2019). Ako príklad autori uvádzajú rok 2020, kedy podľa cenníka ŠP Lesy SR a s. BIOPEL sa energetické drevo ihličnaté pohybovalo v cenách približne 20,4 eur.t⁻¹, energetické drevo listnaté 25,2 eur.t⁻¹, cena drevnej štiepy cca 54 eur.t⁻¹ (Lesy SR), cena drevných peliet okolo 40 eur.t⁻¹, cena vysušenej drevnej štiepy 85 eur.t⁻¹ (BIOPEL). Týmto spôsobom je možné

vytvoriť väčšiu ponuku pracovných miest, ako pre kvalifikovaných, tak aj pre nízko kvalifikovaných pracovníkov.

Zakladanie a prevádzka podnikov zaoberajúcich sa obnoviteľnými zdrojmi energie vytvára ekonomický potenciál vo vidieckych oblastiach a podporuje ich udržateľný rozvoj. (Chodkowska-Miszczuk et al., 2017).

ZÁVER

Prepojenie energetického sektora s hospodárskou štruktúrou regiónov je kvôli klimatickej zmene diskutovanou témou. Vedecká komunita dáva do pozornosti nevyhnutnosť zmeny energetickej základne čo najskôr, nakoľko existuje reálna hrozba prekročenia limitu zvratu, kedy ľudstvo nebude schopné ovplyvniť zmenu klímy. V príspevku sme ponúkli informácie o potenciály pôd, ktoré sú vhodné na pestovanie a produkciu cyklicky sa obnovujúcej biomasy na iné ako primárne využitie). Výmera skupiny kvality pôd 5 až 9 je zastúpená na úrovni všetkých regiónov Slovenskej republiky. Najvyšší potenciál v pestovaní energetických rastlín vzhľadom ku konkrétnym výmerám pôd na úrovni regiónov je v Prešovskom (99,95 %), Žilinskom (99,89 %), Košickom (99,51 %), Banskobystrickom (98,94 %) a Trenčianskom regióne (83,02 %). K regiónom s výmerou skupiny kvality pôd 5 až 9 pod 50 % z celkovej výmery poľnohospodárskej pôdy patrí Bratislavský (46,35 %), Nitriansky (39,56 %) a Trnavský (32,7 %) región. Využitie takýchto pôd umožňuje vo vidieckych oblastiach prispievať k udržateľnému rozvoju a ponúka možnosti ako zvýšiť množstvo pracovných miest pri zachovaní, alebo zvýšení diverzity a ekologickej stability životného prostredia vidieckych komunít. Na základe uvedenej analýzy potenciálu pôd vidíme, že regióny Slovenska sa môžu rozvíjať aj pomocou postupného využívania pôd vhodných na cieľné pestovanie energetických rýchlorastúcich rastlín určených napr. na výrobu peliet či brikiet.

SÚHRN

Základnou myšlienkou vízií a stratégií, ktoré legislatívne ukotvili udržateľný rozvoj regiónov Slovenska je zameranie sa na kľúčové oblasti rozvoja: ochrana a rozvoj zdrojov, ich udržateľné využívanie a rozvoj komunít. Dôležitým aspektom rozvoja je tiež posilnenie ekonomickej udržateľnosti komunít obcí a regiónov, k čomu prispieva aj diverzifikácia využívania poľnohospodárskeho pôdneho fondu. Diverzifikácia poľnohospodárskej výroby v praxi poskytuje možnosť aktívne obhospodarovat' pôdny fond priamo v jednotlivých regiónoch. Významný je aj aspekt zvyšovania ekonomickej sebestačnosti a sociálneho statusu obyvateľstva v týchto regiónoch. Jednou z možností ako udržateľne využívať krajinu v prospech vidieckych komunít a napĺňania ich potrieb je pestovanie rýchlorastúcich rastlín pre cyklicky sa opakujúcu produkciu biomasy. V súčasnosti sa prioritne táto biomasa zhodnocuje energeticky, no ako ukázala prax, využitie biomasy má omnoho širší rámec. Najväčší podiel výmery vhodných pôd pre pestovanie rýchlorastúcich rastlín je lokalizovaný v Žilinskom, Prešovskom a Banskobystrickom kraji. Najnižší podiel je v Bratislavskom, Trnavskom a Nitrianskom kraji. Reálna výmera registrovaných plôch rýchlorastúcich rastlín v regiónoch Slovenska predstavuje 351,7 ha (0,03% z celkovej novej výmery pôd). Zo sociálno-

ekonomického hľadiska je najvhodnejšie, aby sa v danom regióne biomasa aj spracovávala napr. na pelety, štiepku a drevné brikety, ktoré majú vyššiu pridanú hodnotu ako nespracovaná surová biomasa (napr. vo forme palivového dreva). Zakladanie a prevádzka podnikov zaoberajúcich sa obnoviteľnými zdrojmi energie vytvára ekonomický potenciál vo vidieckych oblastiach a podporuje ich udržateľný rozvoj.

Kľúčové slová: regionálny rozvoj, udržateľný rozvoj, diverzifikácia poľnohospodárstva, rýchlorastúce rastliny

POĎAKOVANIE

Táto publikácia vznikla vďaka podpore projektu Visegrad Grants ID #22310328. This study was supported by the project Visegrad Grants ID #22310328.

Táto publikácia vznikla vďaka podpore projektu Vedeckej grantovej agentúry VEGA 1/0559/23. This study was supported by the Science Grant Agency under the contract No. VEGA 1/0559/23.

ZOZNAM POUŽITEJ LITERATÚRY

1. BÖLL-STIFTUNG, H. 2020. Jahresbericht 2020. [online]. [cit.: 2024-04-26]. Dostupné na: <https://www.boell.de/de/2021/09/02/jahresbericht-2020-der-heinrich-boell-stiftung>
2. Dlhodobá stratégia využitia poľnohospodárskych a nepoľnohospodárskych plodín na priemyselné účely. 2009. [online]. [cit.: 2024-04-27]. Dostupné na: <https://old.enviroportal.sk/uploads/report/8064.pdf>
3. GIELEN, D. – BOSHELL, F. – SAYGIN, D. et al. 2019. The role of renewable energy in the global energy transformation. In *Energy Strategy Reviews*, vol. 24, 2019, pp. 38-50. ISSN 2211-467X
4. CHODKOWSKA-MISZCZUK, J. – WESOŁOWSKA, M. – DOBROWOLSKI, J. et al. 2017. Energy enterprises and the creation of economic potential of rural areas. In *XX. mezinárodní kolokvium o regionálních vědách*. Sborník příspěvků. Brno : Masarykova univerzita. DOI 10.5817/CZ.MUNI.P210-8587-2017-122
5. KANIANSKA, R. – JAĎUĎOVÁ, J. – MAKOVNÍKOVÁ, J. et al. 2016. *Ekosystémové služby*. Banská Bystrica : Belianum, Vydavateľstvo UMB v Banskej Bystrici, 2016. 244 s. ISBN 978-80-557-1129-4
6. KOLOŠTA, S. – FLAŠKA, F. 2016. Biomass local production systems and their managing : alternative to rural development in Slovakia. In *Folia oeconomica*, vol. 2, no. 320, pp. 23-40. ISSN 2353-7663
7. MAKOVNÍKOVÁ, J. – PÁLKA, B. – KOLOŠTA, S. et al. 2019. Potenciál pre pestovanie energetických plodín – obnoviteľných zdrojov energie vo vybraných regiónoch Slovenska. In *XXIII. mezinárodní kolokvium o regionálních vědách*. Sborník příspěvků. Brno : Masarykova univerzita. DOI: 10.5817/CZ.MUNI.P210-9610-2020-68
8. Národná stratégia regionálneho a územného rozvoja Slovenskej republiky do roku 2030. Vstupná správa. 2017. Bratislava : Úrad vlády SR. Sekcia regionálneho rozvoja.
9. PORVAZ, P.- GADUŠ, J. – TÓTH, Š. et al. 2015. *Alternatívne využitie ozdobnice čínskej*. Michalovce : NPPC Lužianky, VÚA Michalovce. 83 s. ISBN 978-80-971644-5-4

10. Prehľad faktov o Programe rozvoja vidieka na Slovensku na obdobie rokov 2014 – 2022. 2023. [online]. [cit.: 2024-04-26]. Dostupné na: https://agriculture.ec.europa.eu/document/download/79a6a69a-c484-4a22-ad68-47ef2763033a_sk?filename=rdp-factsheet-slovakia_sk.pdf
11. ROSA, A. – DUDEK, M. – SIEMIŃSKI, P. et al. 2022. *Biologizácia – kľúč k trvalo udržateľnému poľnohospodárstvu*. Varšava : IRWIR PAN. ISBN 978-83-89900-68-5 (online)
12. Slovensko 2030. 2020. [online]. [cit.: 2024-04-27]. Dostupné na: <https://mirri.gov.sk/wp-content/uploads/2021/01/SLOVENSKO-2030.pdf>
13. Stratégia biodiverzity na ochranu a obnovu ekosystémov a biodiverzity v poľnohospodárstve, lesníctve a vodnom prostredí. Komisia, 2020. [online]. [cit.: 2024-04-27]. Dostupné na: <https://www.consilium.europa.eu/sk/policies/biodiversity/2019-12-19-council-adopts-conclusions-on-biodiversity/>
14. Stratégia hospodárskej politiky Slovenskej republiky do roku 2030. 2018. [online]. [cit.: 2024-04-27]. Dostupné na: <https://www.mhsr.sk/inovacie/strategie-a-politiky/testy-strategia-hospodarskej-politiky>
15. Zákon č. 200/2022 Z. z. o územnom plánovaní
16. Zákon č. 220/2004 Z.z. o ochrane a využívaní poľnohospodárskej pôdy

Kontaktná adresa: Martin Prčík, doc. Ing., PhD., Slovenská poľnohospodárska univerzita v Nitre, Fakulta európskych štúdií a regionálneho rozvoja, Ústav práva a udržateľného rozvoja, Katedra udržateľného rozvoja, Tr. A. Hlinku 2, 949 76 Nitra, +421 37 641 5628, e-mail: martin.prcik@uniag.sk

PLANTÁŽE RÝCHLORASTÚCICH DREVÍN V KULTÚRNEJ KRAJINE

PLANTATIONS OF FAST-GROWING TREES IN THE CULTURAL LANDSCAPE

MARTIN PRČÍK*, VLADIMÍR KIŠŠ, ŽANETA PAUKOVÁ

Slovenská poľnohospodárska univerzita v Nitre / Slovak University of Agriculture in Nitra

*Korešpondenčný autor / Corresponding author

ABSTRACT

The diversification of agriculture towards the production of biomass forced a social order for the identification of suitable sites, especially for the purpose of targeted cultivation of fast-growing trees (FGT). The conditions for growing specific types of trees and soil protection (elimination of encroachment) for primary food production are considered. The technology of purposefully grown biomass in the cultural landscape represents the establishment of FGT stands, which are primarily intended for energy use. The model FGT was poplar (*Populus* sp.) and its four varieties originating from the Italian breeding program (Monviso, Pegaso, AF-2, Sirio). The research activities were aimed at identifying the socio-economic, environmental, and ecological aspects of FGT cultivation and the cumulative biomass production of the monitored poplar varieties, always at the end of the three-year cultivation cycle. From the point of view of optimal land use, marginal soils, places economically unprofitable for conventional agricultural crops and soils contaminated by human activity, less fertile but not barren soils with sufficient temperature and sufficient moisture are recommended for FGT cultivation. Planting, care, protection, harvesting and subsequent processing and transport of production can bring long-term jobs. The advantage is the fact that income and the fuel obtained in this way remain with regional farmers and entrepreneurs, directly or indirectly linked in the entire logistics chain. The production of biomass by the FGT system exceeds the production of biomass grown by conventional forestry. The yield at the end of the 1st three year (2010 to 2012) cultivation cycle (potential average yield for varieties and accumulated over three years) was 77.54 t.ha⁻¹, at the end of the 2nd cycle (2013 to 2015) 135.14 t. ha⁻¹, at the end of the 3rd cycle (2016 to 2018) 156.5 t.ha⁻¹ and at the end of the 4th cycle (2019 to 2021) 108.5 t.ha⁻¹. Biomass harvesting at the end of the 5th three year growing cycle will take place in 02/2025 or 03/2025 depending on climatic conditions. The gradual reduction of the total (cumulative) production of biomass confirms the results of research carried out in this area. The standard length of growing fast-growing trees on one site is 18 (max. 21) years.

Key words: cultural landscape, production capacity, fast-growing trees, *Populus* sp.

ÚVOD

Kontinuálne štúdium krajiny a jej jednotlivých štruktúr, nám ako spoločnosti dáva možnosť aktívne túto krajinu využívať. Na druhej strane, je dôležité akceptovať potrebu ochrany krajiny a chápanie jej limitov, ktoré vo svojej prirodzenej podstate krajina má. Vzhľadom k tomu, že ide o heterogénnu časť zemského povrchu, ktorá je zložená

z rôznorodých ekosystémov, ktoré sa navzájom ovplyvňujú a dopĺňajú, je veľmi dôležité uplatňovať akékoľvek zásahy človeka, teda socio-ekonomické aktivity v krajine tak, aby bol výsledný efekt pozitívny pre človeka, no zároveň nemal negatívne dôsledky na jednotlivé krajinné štruktúry (Rusnák, Korec, 2020).

Z komplexného hľadiska krajinu charakterizovali Falt'an et al. (2018) ako jav, ktorý nemožno dostatočne opísať len krajinnoekologickým obsahom a vnímaným obrazom. Existuje totiž aj duchovná spätosť človeka s krajinou, to, čo je mimo vnímania zmyslami a prejavuje sa vo vzťahu človeka k prírode.

Uplatňovanie a rešpektovanie prírodných zákonitostí, prirodzeného toku energie v ekosystémoch, ako aj legislatívnych opatrení, podporuje napĺňanie cieľov udržateľného rozvoja a celkovej udržateľnosti krajiny. Rešpektovanie prirodzených limitov pomáha udržiavať ekologickú stabilitu krajiny. Iba ekologicky stabilná krajina môže poskytnúť dostatočné množstvo energie a umožní využiť svoj potenciál v plnej výške (Rosales, 2017).

Miera plnenia iných ako produkčných funkcií krajiny, teda mimoprodukčných, neekonomických, je nepriamo úmerná intenzite produkčného využitia územia (Haase et al., 2018).

Jednou z možností ako využiť krajinu v prospech človeka a v prospech napĺňania jeho potrieb je pestovanie rýchlorastúcich drevín pre cyklicky sa opakujúcu produkciu biomasy. V súčasnosti sa prioritne táto biomasa zhodnocuje energeticky, no ako ukázala prax, využitie biomasy je omnoho širšie (Kanianska et al., 2016; Gielen et al., 2019).

Diverzifikácia poľnohospodárskej výroby v praxi poskytuje možnosť aktívne obhospodarováť pôdny fond priamo v jednotlivých regiónoch. Významný je aj aspekt zvyšovania ekonomickej sebestačnosti a sociálneho statusu obyvateľstva v týchto regiónoch (Prehľad faktov o Programe rozvoja vidieka na Slovensku na obdobie rokov 2014 – 2022, 2023).

Cieľom predloženého príspevku je identifikácia vybraných socio-ekonomických, environmentálnych a ekologických aspektov pestovania rýchlorastúcich drevín a analýza vybranej ekosystémovej služby plantáže rýchlorastúcich drevín (*Populus*, sp.), konkrétne zásobovacej ekosystémovej služby na úrovni obnoviteľných prírodných materiálov, dendromasy zo stromov v plantážach v trojročnom (krátkom) rotačnom cykle.

MATERIÁL A METÓDY

Výskumné aktivity zamerané na identifikáciu vybraných socio-ekonomických, environmentálnych a ekologických aspektov pestovania rýchlorastúcich drevín sa uskutočnila na základe použitia metód analýzy, syntézy a vedeckej abstrakcie (Steinerová, 2011), pričom vo výsledkoch sú uvádzané konkrétne aspekty s uvedením informačného zdroja.

Výskumné aktivity zamerané na zásobovaciu ekosystémovú službu plantáže rýchlorastúcich drevín (kumulatívna produkciu biomasy u sledovaných odrôd topola (*Populus* sp.), vždy na konci trojročného pestovateľského cyklu) sa realizovali na pozemku Vysokoškolského poľnohospodárskeho podniku SPU v Nitre, s.r.o., v Koliňanoch, na vzorkovnici talianskych odrôd topola.

jeden púčik (1). V druhom prípade sa odrezky zasadili do pôdy tak, aby neprevyšovali povrch pôdy (2). Celé odrezky boli v pôde. Spon použitý pri výsadbe odrezkov bol nasledovný: v riadku boli odrezky vo vzdialenosti 0,75 m, vzdialenosť medzi riadkami bola 1,0 m a medzi dvojriadkami 2,0 m. Opakovania boli od seba vzdialené riadkom so šírkou 3 m. Pri takomto sponne výsadby je možné vysadiť na ploche 1 ha 8889 jedincov.

Charakteristika talianskych odrôd topoľa

MONVISO: (*Populus deltoides* × *P. trichocarpa*) × *P. nigra*) je kontrolovaný hybrid samičieho pohlavia.

AF-2: (*P. deltoides* × *P. nigra*) je kontrolovaný hybrid samičieho pohlavia.

SIRIO: (*P. deltoides* × [*P. deltoides* × *P. nigra*]) je kontrolovaný hybrid samčieho pohlavia.

PEGASO: (*Populus deltoides* × *P. trichocarpa*) × *P. nigra*) je kontrolovaný hybrid samčieho pohlavia (Sixto et al., 2014).

Úroda jednotlivých odrôd topoľa bola hodnotená na konci prvého (2012), druhého (2015), tretieho (2018) a štvrtého (2021) trojročného pestovateľského cyklu. Bola zisťovaná čerstvá hmotnosť (F_w) odobratej biomasy jedincov pomocou digitálnej závesnej váhy značky KERN (typ. CH 50 K 50, max. 50 kg, d = 50 g) uvádzaná v kg. jedinec⁻¹. Z každej odrody boli pripravené vzorky na určenie podielu sušiny a na prepočet čerstvej hmotnosti (v kg.jedinec⁻¹) na teoretickú (suchú hmotu D_w) v t.ha⁻¹. Odobratá vzorka bola vysušená v laboratórnych podmienkach Výskumného centra AgroBioTech SPU v Nitre, v sušičke pri teplote 105 °C. Vysušená biomasa bola odvážená na laboratórnych váhach značky KERN (EMB 2000-O). Zo získaných údajov bol vypočítaný percentuálny obsah suchej hmoty v dendromase na základe rozdielu medzi čerstvou a suchou biomasou.

Stanovená D_w bola vypočítaná podľa vzťahu:

$$\%D_w = (D_w / F_w) \cdot 100 \text{ (} D_w \text{ je hmotnosť sušiny, } F_w \text{ je čerstvá hmotnosť)}$$

$$\% \text{ obsahu vody} = 100 - \% (D_w).$$

VÝSLEDKY A DISKUSIA

Identifikácia vybraných socio-ekonomických, environmentálnych a ekologických aspektov plantáží rýchlorastúcich drevín v kultúrnej krajine

Nárast pozitívneho vnímania ekosystémových služieb pre ľudské zdravie a pohodu naznačuje zmenu orientácie hodnôt obyvateľstva marginálnych oblastí a postupné spoliehanie sa na niektoré významné ekosystémové služby (Crossman et al., 2013).

Zaujímavou možnosťou sa javí využívanie odpadových vôd a kalov na zvýšenie produkcie biomasy vďaka dodávke vody a živín, čo zároveň znižuje vstupné náklady na hnojenie (Riddell-Black et al., 2008).

Ďalšou možnosťou pestovania rýchlorastúcich drevín (najčastejšie topoľov) je napr. v Anglicku zavedenie spôsobu nazývaného „*silvorable agroforestry*“. Tento spôsob aj v súčasnosti poukazuje na prínosy vzájomného pestovania topoľov na produkciu dreva a poľnohospodárskych plodín z hľadiska ekonomického a environmentálneho aspektu (Honfy et al., 2023).

Z hľadiska optimálneho využitia pôdy sa na pestovanie odporúčajú najmä marginálne pôdy, miesta ekonomicky nerentabilné pre konvenčné poľnohospodárske plodiny a pôdy kontaminované ľudskou činnosťou, menej úrodné, ale nie neúrodné pôdy s dostatočnou teplotou a dostatkom vlhky (Abreu et al., 2022).

Podľa Schwarcz et al. (2021) je výber vhodného miesta, založeného na znalosti ekologických požiadaviek pestovaného druhu, hlavným predpokladom ich úspešného pestovania. Spôsob pestovania má byť taký, aby bolo možné dosiahnuť vysokú produkciu biomasy za podmienky zachovania kvality pôdy a zabezpečenia uzavretého kolobehu živín.

V porovnaní s konvenčne pestovanými poľnohospodárskymi plodinami majú rýchlorastúce dreviny oveľa pozitívnejší vplyv na krajinu. Zabraňujú erózii pôdy, znižujú vyplavovanie pesticídov a hnojív, zvyšujú biologickú diverzitu, aj keď môže byť otázne, aký vplyv budú mať nepôvodné druhy v danej krajine (Robinson, 2018).

Beniak, Fehér (2013) sa v práci zaoberali analýzou biologickej rozmanitosti spontánnej vegetácie v porastoch rýchlorastúcich drevín rodov vŕba (*Salix*, sp.) a topoľ (*Populus*, sp.) za účelom zistenia zmien dynamiky biodiverzity. V priebežných výsledkoch výskumu zo skorého jarného aspektu v bylinnom podrade pozorovali prítomnosť jarných druhov bylín burinného typu. Najväčšiu pokryvnosť zaznamenali pre archeofyty, neofyty a apofyty, napr. *Elytrigia repens* (pýr plazivý), *Aster novi-belgi* agg. (astra novobelgická) a *Geum urbanum* (kuklík mestský).

Rýchlorastúce dreviny sú prínosom aj pre zvieratá žijúce vo voľnej prírode, poskytujú im vhodné prostredie a sú zdrojom potravy pre mnohé organizmy. Napríklad v spojení s vŕbami a topoľmi žije približne 450 druhov hmyzu (Demo et al., 2013).

Prínosy a dopady pestovania rýchlorastúcich drevín v konkrétnych oblastiach boli riešené formou hodnotenia životného cyklu (LCA) (Chiarabaglio, 2020).

Produkcia biomasy systémom rýchlorastúcich drevín prevyšuje produkciu biomasy pestovanú konvenčným spôsobom lesného hospodárstva. Úroda suchej biomasy v závislosti od podmienok prostredia a odrody sa udáva v rozmedzí od 4 do 11 t.ha⁻¹ (Aylott et al., 2008).

Veľmi významným aspektom rýchlorastúcich drevín je ich schopnosť udržiavať cyklus živín. Podľa Foellner (2008) pre široké zavádzanie plantáží rýchlorastúcich drevín musí byť zaručená udržateľnosť produkcie biomasy počas celej životnosti. Jedným dôležitým hľadiskom plantáží rýchlorastúcich drevín je, že ide o multifunkčné systémy, ktoré slúžia na dopestovanie obnoviteľného zdroja energie a zároveň môžu slúžiť aj ako alternatívne čistiare pre odpadové vody a kaly.

Výsledky experimentov rýchlorastúcich drevín (konkrétne drevín rodu *Salix*, sp. a *Populus*, sp.) indikujú, že je možné ich pestovanie na skládkach odpadu (Ahirwal et al., 2020) za predpokladu správneho hospodárenia a napriek tomu, že ide o chudobné pôdy, je možné dosahovať ekonomicky výhodné úrody biomasy (Martin, Stephens, 2006a; 2006b).

Zakladanie porastov, starostlivosť, ochrana, zber a následné spracovanie a doprava produkcie môžu priniesť dlhodobé pracovné miesta. Výhodou je fakt, že príjmy a týmto spôsobom získané palivo ostávajú u regionálnych poľnohospodárov a podnikateľov, priamo alebo nepriamo naviazaných v celom logistickom reťazci. Aj týmto spôsobom je možné prispieť k zastaveniu tzv. vyľudňovania vidieka v niektorých regiónoch Slovenska (Prčík, Kotrla, 2015).

Rozsiahly posun od „konvenčných“ kultúrnych plodín smerom k plantážam rýchlorastúcich drevín môže mať podľa Weih, Dimitriou (2012) dopad na rad environmentálnych otázok. Zavádzanie týchto rastlín (McEvan et al., 2020) pre bio-energetické účely vo veľkej miere má zmysel iba vtedy, ak preukáže zníženie negatívnych vplyvov na životné prostredie, najmä v porovnaní s inými alternatívami zdrojmi redukujúcimi využitie fosílnych zdrojov energie.

Produkcia biomasy ako vybraná ekosystémová služba plantáže rýchlorastúcich drevín (*Populus* sp.), konkrétne zásobovacia ekosystémová služba na úrovni obnoviteľných prírodných materiálov – dendromasa zo stromov na plantážach

Podľa Porvaz (2018) je pestovanie rýchlorastúcich drevín ekonomicky efektívne, ak ročná produkcia biomasy dosahuje minimálne 12 t.ha⁻¹. Sledované talianske odrody topoľa, z hľadiska produkcie dendromasy predstavujú vhodný biologický materiál, ktorý v pôdnoekologických podmienkach južného Slovenska dosahuje ekonomicky efektívnu a vyrovnanú úrodu biomasy, ktorú je možné použiť v energetickom, ale aj mimo energetickom sektore.

V odbornej a vedeckej literatúre evidujeme mnoho prác zameraných na hodnotenie produkčných parametrov rôznych odrôd topoľa a veľmi často sú porovnávané s produkciou vrb. Napr. Trnka (2009) sledoval produkčné parametre u šesťročného porastu vírby a topoľa. Niemczyk et al. (2016) sa zaoberali produkčnou schopnosťou vybraných odrôd topoľa v krátkej rotácii v Poľsku. Vplyv účinku kultivaru a dĺžky rotácie (5 vs. 10 rokov) na produkciu biomasy a udržateľnosť bioenergetickej plantáže topoľa v Poľsku sledovala Niemczyk (2021).

Böhlenius et al. (2023) sledovali produkčnú schopnosť vybraných odrôd topoľa v dlhej rotácii v podmienkach Švédska. Salehi et al. (2022) skúmali produkciu topoľa čierneho *Populus nigra* L. počas piatich rotácií.

Bergante (2022) vo svojich výskumoch prehodnocuje tradičné spôsoby pestovania topoľa a smeruje svoje poznatky k uplatňovaniu udržateľnejších modelov pestovania (vysokohustotný, polycyklický a agrolesnícky), ktoré sú schopné zvýšiť produkciu prostredníctvom udržateľnejšej a odolnejšej kultivácie v podmienkach Talianska.

Tab. 1 Kumulatívna produkcia biomasy talianskych odrôd topoľa na konci prvého až štvrtého trojročného pestovateľského cyklu (t.ha⁻¹)

odrody	1. cyklus 2010 - 2012	2. cyklus 2013 - 2015	3. cyklus 2016 - 2018	4. cyklus 2019 - 2021
Monviso	87,16	89,70	254,70	142,20
Pegaso	76,90	67,13	159,08	109,10
AF-2	67,42	197,84	148,44	90,10
Sirio	78,69	185,87	113,80	92,70
priemer za odrody	77,54	135,14	156,50	108,50

Výsledky dosiahnuté na výskumnej báze v Kolíňanoch (tabuľka 1) potvrdzujú, že do procesu tvorby dendromasy vstupuje mnoho faktorov, či už pôdne, príp. klimatické. Taktiež je dôležité poukázať na vhodnosť dĺžky pestovateľského cyklu pri konkrétnych pestovaných druhoch, resp. odrodách. V našich pokusoch sa potvrdila vhodnosť trojročného pestovateľského cyklu, kedy všetky sledované odrody, pozitívne reagovali na rez a tvorba

nadzemnej biomasy už v prvom roku predstavovala v priemere 22 % z celkovej kumulatívnej produkcie.

ZÁVER

Analýza socio-ekonomických, environmentálnych a ekologických aspektov pestovania rýchlorastúcich drevín poukázala na ich prínos v kultúrnej krajine. Je množstvo ďalších aspektov, na ktoré z dôvodu rozsahu nebolo možné poukázať. S určitosťou však môžeme definovať prínos v oblasti udržania pracovných príležitostí v regiónoch Slovenska, ako aj fakt, že je možné zabezpečiť doplnkový obnoviteľný zdroj priamo v lokálnych (miestnych) podmienkach. Týmto je možné prispieť k eliminácii postupného vyľudňovania vidieckych oblastí v jednotlivých regiónoch. Produkcia biomasy systémom rýchlorastúcich drevín prevyšuje produkciu biomasy pestovanú konvenčným spôsobom lesného hospodárstva. Úroda na konci prvého (roky 2010 až 2012) 3 ročného pestovateľského cyklu (potenciálna priemerná úroda za odrody a kumulovaná za tri roky) predstavovala úroveň 77,54 t.ha⁻¹, na konci druhého (roky 2013 až 2015) 135,14 t.ha⁻¹, na konci tretieho (roky 2016 až 2018) 156,5 t.ha⁻¹ a na konci štvrtého 3 ročného pestovateľského cyklu (roky 2019 až 2021) 108,5 t.ha⁻¹. Zber biomasy na konci piateho 3 ročného pestovateľského cyklu sa uskutoční v 02, resp. 03/2025 v závislosti od klimatických podmienok. Postupné znižovanie celkovej (kumulovanej) tvorby biomasy potvrdzuje výsledky výskumov uskutočňovaných v tejto oblasti. Štandardná dĺžka pestovania rýchlorastúcich drevín na jednom stanovišti predstavuje 18 (max. 21) rokov.

SÚHRN

Diverzifikácia poľnohospodárstva smerujúca k produkcii biomasy si vynútila spoločenskú objednávku pre identifikáciu vhodných stanovišť, najmä pre účely cieľeného pestovania tzv. rýchlorastúcich drevín (RRD). Ide o zohľadnenie podmienok pestovania konkrétnych druhov drevín a ochranu pôdy (eliminácia záberu) pre primárnu produkciu potravín. Technológia cielene pestovanej biomasy v kultúrnej krajine predstavuje zakladanie porastov RRD, ktoré sú prioritne určené pre energetické využitie. Modelovou RRD bol topol (*Populus* sp.) a jeho štyri odrody pochádzajúce z talianskeho šľachtiteľského programu (Monviso, Pegaso, AF-2, Sirio). Výskumné aktivity boli zamerané na identifikáciu socio-ekonomických, environmentálnych a ekologických aspektov pestovania RRD a kumulatívnu produkciu biomasy u sledovaných odrôd topola a to vždy na konci trojročného pestovateľského cyklu. Z hľadiska optimálneho využitia pôdy sa na pestovanie RRD odporúčajú najmä tzv. marginálne pôdy, miesta ekonomicky nerentabilné pre konvenčné poľnohospodárske plodiny a pôdy kontaminované ľudskou činnosťou, menej úrodné, ale nie neúrodné pôdy s dostatočnou teplotou a dostatkom vlahy. Zakladanie porastov, starostlivosť, ochrana, zber a následné spracovanie a doprava produkcie môžu priniesť dlhodobé pracovné miesta. Výhodou je fakt, že príjmy a týmto spôsobom získané palivo ostávajú u regionálnych poľnohospodárov a podnikateľov, priamo či nepriamo naviazaných v celom logistickom reťazci.

Kľúčové slová: kultúrna krajina, produkčná schopnosť, rýchlorastúce dreviny, *Populus* sp.

POĎAKOVANIE

Táto publikácia vznikla vďaka podpore projektu Visegrad Grants ID #22310328. This study was supported by the project Visegrad Grants ID #22310328.

Táto publikácia vznikla vďaka podpore projektu Vedeckej grantovej agentúry VEGA 1/0559/23. This study was supported by the Science Grant Agency under the contract No. VEGA 1/0559/23.

ZOZNAM POUŽITEJ LITERATÚRY

1. ABREU, M. – SILVA, L. – RIBEIRO, B. et al. 2022. Low Indirect Land Use Change (ILUC) Energy Crops to Bioenergy and Biofuels – A Review. In *Energies*, vol 15, 2022, no. 12. 4384 p. <https://doi.org/10.3390/en15124348>
2. AHIRWAL, J. – KUMAR, A. – KUMAR MAITY, S. 2020. Effect of Fast-growing Trees on Soil Properties and Carbon Storage in an Afforested Coal Mine Land (India). In *Minerals*, vol. 10, 2020, no. 10, 840 p. <https://doi.org/10.3390/min10100840>
3. AYLOTT, M. J. – CASELA, E. – TUBBY, I. et al. 2008. Yield and spatial supply of bioenergy poplar and willow short rotation coppice in the UK. In *New Phytologist*, vol. 178, 2008, no. 2, pp. 358-370. ISSN 1469-8137
4. BENIAK, M. – FEHÉR, A. 2013. Hodnotenie dynamiky biodiverzity spontánnej vegetácie v plantážach *Salix* a *Populus* v jarnom aspekte [elektronický zdroj]. In *Rýchlorastúce dreviny a byliny pestované na energetické účely v podmienkach Slovenska*. Nitra : SPU, 2013, s. 5. ISBN 978-80-552-1098-8
5. BERGANTE, S. 2022. Poplar tree for innovative plantation models. In *Annal of Silvicultural Research*, vol. 47, 2022, no. 1, pp. 48-53. <https://journals-crea.4science.it/index.php/asr>
6. BÖHLENIUS, H. – ÖHMAN, M. – GRANBERG, F. et al. (2023). Biomass production and fuel characteristics from long rotation poplar plantations. In *Biomass and Bioenergy*, vol. 178, 2023, pp. 1-9. ISSN 0961-9534
7. CROSSMAN, N. D. – BURKHARD, B. – NEDKOV, S. et al. 2013. A blueprint for mapping and modelling ecosystem services. In *Ecosystems Services*, vol.5, 2013, no. 4, pp. 4-14. ISSN 2212-0416
8. DEMO, M. – HÚSKA, D. – TÓTHOVÁ, M. 2013. *Vrba (Salix L.) ako zdroj biomasy pre energetické účely. Pestovateľské technológie*. Nitra : SPU, 2013, 60 s. ISBN 978-80-552-1021-6
9. FALŤAN, V. – OŤAHEL, J. – GÁBOR, M. et al. 2018. *Metódy výskumu krajinnej pokrývky*. Bratislava : UK, 2018, 123 s. ISBN 978-80-223-4441-8
10. FOELLNER, S. 2008. *Rychle rostoucí dřeviny – Metodika bezpečné aplikace odpadních vod a kalů pro zvýšení efektivity produkce dřevní biomasy na plantážích rychle rostoucích dřevin*. České združení pro biomasu – CZ – Biom.
11. GIELEN, D. – BOSHELL, F. – SAYGIN, D. et al. 2019. The role of renewable energy in the global energy transformation. In *Energy Strategy Reviews*, vol. 24, 2019, pp. 38-50. ISSN 2211-467X
12. HAASE, P. – TONKIN, J.D. – STOLL, S. et al. 2018. The next generation of site-based long-term ecological monitoring: Linking essential biodiversity variables and ecosystem

- integrity. In *Science of The Total Environment*, vol. 613-614, 2018, pp. 1376-1384. ISSN 0048-9697
13. HONFY, V. – PÖDÖR, Z. – KESERŰ, Z. et al. 2023. The Effect of Tree Spacing on Yields of Alley Cropping Systems – A Case Study from Hungary. In *Plants*, vol. 12, 2023, no. 3, 595 p. <https://doi.org/10.3390/plants12030595>
 14. CHIARABAGLIO, P. M. – DEIDDA, A. – BERGANTE, S. et al. 2020. Life Cycle Assesment (LCA): new poplar clones allow an anvironmentally sustainable cultivation. In *Annals of Silvicultural Research*, vol. 45, 2020, no. 1, pp. 76-82. ISSN 2284-354X
 15. KANIANSKA, R. – JAĎUĎOVÁ, J. – MAKOVNÍKOVÁ, J. et al. 2016. *Ekosystémové služby*. Banská Bystrica : Belianum, Vydavateľstvo UMB v Banskej Bystrici, 2016. 244 s. ISBN 978-80-557-1129-4
 16. MARTIN, P. J. – STEPHENS, W. 2006a. Willow growth in response to nutrients and moisture on a clay landfill cap soil. I. Growth and biomass production. In *Bioresource Technology*, vol. 97, 2006, pp. 437-448. ISSN 0960-8524
 17. MARTIN, P. J. – STEPHENS, W. 2006b. Willow growth in response to nutrients and moisture on a clay landfill cap soil. II. Water use. In *Bioresource technology*, vol. 97, 2006, pp. 449-458. ISSN 0960-8524
 18. McEVAN, A. – MARCHI, E. – SPINELLI, R. et al. 2020. Past, present and future of industrial plantation forestry and implication on future timber harvesting technology. In *J. For. Res.*, vol. 31, 2020, no. 2, pp. 339-351. <https://doi.org/10.1007/s11676-019-01019-3>
 19. NIEMCZYK, M. 2021. The effects of cultivar nad rotation lenght (5 vs. 10 years) on biomass production and sustainability of poplar (*Populus* spp.) bioenergy plantation. In *GCB-BIOENERGY*, vol. 13, 2021, iss.6, pp. 999-1014. <https://doi.org/10.1111/gcbb.12827>
 20. NIEMCZYK, M. – WOJDA, T. – KALISZEWSKI, A. 2016. Biomass productivity of selected poplar (*Populus* spp.) cultivars in short rotations in northern Poland. In *N.Z. j. of For. Sci.*, vol. 46, 2016, no. 22, pp. 565-579. <https://doi.org/10.1186/s40490-016-0077-8>
 21. PORVAZ, P. 2018. Súčasný stav pestovania energetických rastlín na Slovensku. [online]. [cit. 2024-01-22]. Dostupné na: <http://www.agroporadenstvo.sk/rastlinna-vyroba-energeticke-rastliny?article=1131>
 22. PRČÍK, M. – KOTRLA, M. 2015. Targeted cultivation of the energy plants in conditions of the slovak regions. In *Scientific Papers Series Management, Economic Engineering in Agriculture and Rural Development*, vol. 15, 2015, iss. 1, pp. 236-271. ISSN 2284-7995
 23. Prehľad faktov o Programe rozvoja vidieka na Slovensku na obdobie rokov 2014 – 2022. 2023. [online]. [cit. 2024-01-18]. Dostupné na: chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://agriculture.ec.europa.eu/system/files/2023-05/rdp-factsheet-slovakia_sk.pdf
 24. RIDDEL-BLACK, D. – AGBASIERE, N. – BRIERE de l'ISLE, B. 2008. *Potential Long term Effects of a Water RENEW System – synopsis*. 2008. 96 p. ISBN 978-1-898920-62-5
 25. ROBINSON, G. M. 2018. New frontiers in agricultural geography: transformations, food security, land grabs and climate change. In *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles*, vol. 78, 2018, pp. 1–48. ISSN 0212-9426
 26. ROSALES, N. 2017. How can an ecological perspective be used to enrich cities planning and management? In *Brazilian Journal of Urban Management*, vol. 9, 2017, no. 2, pp. 314-326. ISSN 2175-3369

27. RUSNÁK, J. – KOREC, P. 2020. *Teórie regionálneho rozvoja a výskum regiónov*. Bratislava : UK, 2020, 211 s. ISBN 978-80-223-5059-4
28. SALEHI, A. – CALAGARI, M. – AHMADLOO, F. et al. 2022. Productivity of *Populus nigra* L. in two different soil over five rotation. In *Acta Ecologica Sinica*, vol. 42, 2022, iss. 4, pp. 332-337. <https://doi.org/10.1016/j.chnaes.2022.02.002>
29. SCHWARCZ, J. – SCHNABEL, F. – BAUHUS, J. 2021. A conceptual framework and experimental design for analysing the relationship between biodiversity and ecosystem functioning (BEF) in agroforestry systems. In *Basic and Applied Ecology*, vol. 55, 2021, pp. 133-151. <https://doi.org/10.1016/j.baae.2021.05.002>
30. STEINEROVÁ, J. 2011. Metodologické problémy výskumov v informačnej vede. In *Prolnflow*, vol. 3, 2011, iss. 1, pp. 4-18. ISSN 1804-2406
31. TRNKA, M. 2009. Zkušenosti s pěstováním rychle rostoucích dřevin v mikroregionu Bystřice u P. In *Biom.cz* [online]. [cit. 2024-01-22]. ISSN 1801-2655. Dostupné na: <https://biom.cz/cz/odborne-clanky/zkusenosti-s-pestovanim-rychle-rostoucich-drevin-v-mikroregionu-bystrice-n-p>
32. WEIH, M. – DIMITRIOU, I. 2012. Environmental impacts of short rotation coppice (SRC) grown for biomass on agricultural land. In *BioEnergy Research*, vol. 5, 2012, no. 3, pp 535-536. ISSN 1939-1234

Kontaktná adresa: Martin Prčík, doc. Ing., PhD., Slovenská poľnohospodárska univerzita v Nitre, Fakulta európskych štúdií a regionálneho rozvoja, Ústav práva a udržateľného rozvoja, Katedra udržateľného rozvoja, Tr. A. Hlinku 2, 949 76 Nitra, +421 37 641 5628, e-mail: martin.prcik@uniag.sk

ODHAD HRÚBKY $D_{1,3}$ POMOCOOU INOVATÝVNYCH TECHNOLOGIÍ BLÍZKEHO DOSAHU V PLANTÁŽACH PAULOWNIE

DIAMETER AT BREAST HEIGHT ESTIMATION BY INNOVATIVE CLOSE-RANGE TECHNOLOGIES OF FAST-GROWING TREES PLANTATIONS

MICHAL SKLADAN, JOZEF VYBOŠŤOK, JULIÁNA CHUDÁ, MARTIN LIESKOVSKÝ, MILOŠ GEJDOŠ

Technická Univerzita vo Zvolene / Technical University in Zvolen

*Korešpondenčný autor / Corresponding author

ABSTRACT

The accurate measurement of Diameter at Breast Height (DBH) is a crucial, it is dendrometric parameter, which exhibits a high correlation with various other tree characteristics, including biomass, volume, and height, etc. Traditional measurement techniques involve the use of callipers or diameter tape. However, recent advancements in technology, such as photogrammetry, terrestrial laser scanning (TLS), and mobile laser scanning (MLS), have gained prominence. This study investigates the utilization of MLS (Stonex X120 GO), iPhone LiDAR scanning (iPhone 13 Pro MAX), and terrestrial photogrammetry (iPhone 13 Pro MAX) for DBH estimation. Each technology presents its distinct limitations and constraints. In this context, MLS is primarily high-cost device as compared to iPhone LiDAR, whereas iPhone LiDAR comes with a limitation to not able to scan in higher range, resulting it is not suitable for the capturing dendrometric parameters, such as tree height and canopy characteristics. Moreover, Terrestrial photogrammetry is constrained by the time and expertise required for data collection and processing. The primary objective of this study is to evaluate the selected technologies in terms of DBH estimation accuracy, user-friendliness, data collection and processing time, and cost. The experiment was conducted within a plantation of hybrid *Pulownia elongata* × *fortunei* (*Paulownia cotevisa*) in southwestern Slovakia. Two approaches, namely, collective and individual were employed for data collection and evaluation. The first, termed the "collective approach," covered all trees within the three research plots (154 trees in total) using all selected technologies but only MLS and iPhone LiDAR scanning provides satisfactory results. The second approach, the "individual approach," involved selecting a representative sample of 33 trees from the research plots, each of which was individually assessed by all selected technologies. DBH estimation for all technologies was facilitated using a freely accessible Python tool named 3DFin (3D Forest Inventory) integrated as a plug-in in CloudCompare software. Accuracy was evaluated using Root Mean Square Error (RMSE) and relative RMSE (rRMSE). The stonex MLS individual approach provided most accurate DBH estimation, with an RMSE of 0.01 cm and rRMSE of 0.03%. Conversely, the iPhone LiDAR with individual approach performed the least accurate results, with an RMSE of 1.14 cm and rRMSE of 4.59%.

This study demonstrates that all investigated technologies offer sufficient accuracy for DBH estimation. MLS technology emerges as the most accurate and least time-consuming option, capable of capturing other dendrometric parameters like tree height, volume, and crown characteristics, although at a higher cost. If DBH estimation with the highest accuracy is not required and of other dendrometric parameters apart of DBH are not needed, terrestrial photogrammetry and iPhone LiDAR scanning appear to be affordable alternative to TLS or MLS.

Key words: Mobile laser scanning, iPhone, terrestrial photogrammetry, fast growing trees plantation, Paulownia.

ÚVOD

V súčasnosti, v čase energetickej a klimatickej krízy, je otázka zakladania a pestovania plantáží rýchlorastúcich drevín (RRD) veľmi aktuálna. Ich pestovaním sa zvyšuje energetická bezpečnosť a poskytujú lokálny zdroj nízko-uhlíkového obnoviteľného paliva. Výroba energie z obnoviteľných zdrojov, ktorých súčasťou sú aj plantáže RRD, ponúka alternatívu k fosílnym palivám, ich pestovaním sa znižujú emisie skleníkových plynov a pomáhajú pri hospodárskom rozvoji vidieckych komunít (Lindegaard et al. 2016). Na účely efektívneho pestovania plantáží RRD je okrem určenia vhodnej plochy na ich založenie potrebné venovať pozornosť monitorovaniu produkčných charakteristík.

Nedeštruktívne metódy odhadu množstva biomasy zohrávajú dôležitú úlohu, buď pre prípravu vhodnej logistiky zberu, alebo pre rozhodovanie o čase zberu, keďže dobre zvládnutá logistika šetrí čas a peniaze (Sramek et al. 2023). Bežne používané metódy odhadu množstva biomasy sú založené na meraní dendrometrických parametrov, ako je výška stromu a priemer stromu v prsnej výške $D_{1,3}$ nazývaný aj DBH (z angl. *Diameter at the Breast Height*), tieto dva parametre sú najdôležitejšími priamo merateľnými parametrami pri inventarizácii lesa, pretože umožňujú odvodiť ďalšie parametre, ako je objem dreva, biomasa, množstvo nahromadeného uhlíka atď. (Balenović et al. 2021; Chen et al. 2019)

Tradičnými metódami merania DBH sú obvodometer a priemerka tieto metódy merania DBH sú však veľmi prácne a časovo náročné najmä pri meraní veľkých plôch (Cabo et al. 2018; Chen et al. 2019).

Moderné technológie sa javia ako vhodnou alternatívou k tradičným metódam merania DBH. Za posledné dve desaťročia sa dosiahol obrovský pokrok v technológiách na podrobné modelovanie objektov v trojrozmernom (3D) priestore. Pomocou rôznych typov laserových skenerov je možné vytvárať modely vo vysokom detaile s vysokou priestorovou presnosťou (Liang et al. 2022). Alternatívou k laserovému skenovaniu je fotogrametria, ktorá tiež v posledných rokoch zaznamenala výrazný pokrok. V súčasnosti je k dispozícii vysoko výkonná výpočtová technika, ktorá v spojení s vyvinutými algoritmami poskytuje možnosť vytvárať 3D objekty s presnosťou blížiacou sa presnosti laserového skenovania (Mokroš et al. 2018a).

Princíp laserového skenovania LiDAR (z angl. *Light detection and ranging*) je založený na používaní aktívnych typov senzorov, ktoré emitujú laserový lúč a po jeho odraze od objektov záujmu ho prijímajú a odovzadujú polohu odrazu. V odhadovanej polohe odrazu sa vytvorí bod.

Súhrn všetkých vytvorených bodov sa nazýva mračno bodov, ktoré je základným objektom na ďalšiu analýzu a extrakciu parametrov objektu. Na základe mobility možno laserové skenovanie rozdeliť na statické laserové skenovanie (označované aj jednoducho ako terestrické laserové skenovanie TLS), alebo mobilné laserové skenovanie (MLS) (Hyypä et al. 2020). TLS skenuje objekty záujmu zo statickej polohy zo statívu (Liang et al. 2022). V porovnaní s inými technológiami vytvára TLS najkvalitnejšie 3D mračná bodov a dokáže poskytnúť najvyššiu presnosť pri odhade DBH, výšky stromov a ďalších dendrometrických parametrov (Liang et al. 2018). Na druhej strane, počiatkové náklady sú pomerne vysoké a zber údajov je časovo náročný, vzhľadom na presnosť a detailnosť môže tiež generovať obrovské množstvo údajov, čo si vyžaduje výkonné výpočtové zdroje a vysokú úložnú kapacitu; preto sa používa najmä na podrobné monitorovanie malých plôch, za jeho najväčšou nevýhodou sa však považuje, že nie všetky stromy na výskumnej ploche sú detegované z dôvodu zakrytia (oklúzie) spôsobeného inými objektmi (napr. stromy, kríky, podrast, konáre atď.) (Kükenbrink et al. 2022; Lindegaard et al. 2016). Oklúzia sa vo všeobecnosti zvyšuje so vzdialenosťou medzi detegovaným stromom a pozíciami skenera. Oklúziu možno minimalizovať použitím väčšieho počtu skenovacích pozícií TLS (Liang et al. 2016; Astrup et al. 2014).

Pomocou MLS možno taktiež zmierniť efekt oklúzie, pretože metóda zberu údajov nie je statická a môže zachytiť objekty záujmu z viacerých perspektív. Skenery sa zvyčajne nosia v ruke, na batohu alebo na rôznych iných platformách pripevnených k rôznym pohyblivým objektom (napr. rôzne vozidlá, traktor atď.). Pri MLS sa najčastejšie na prepojenie jednotlivých skenov využíva technológia SLAM (*z angl. Simultaneous Localization and Mapping*) (Balenović et al. 2021; Bauwens et al. 2016) SLAM určuje polohu a orientáciu zariadenia v lokálnom súradnicovom systéme v konkrétnom časovom okamihu pomocou detegovaných objektov a tiež vytvára mapu okolia (Mokroš et al. 2021). Hlavnou výhodou použitia MLS je rýchly zber údajov bez potreby kalibrácie zariadenia, umiestňovania referenčných gúľ, terčov a statívu (Gollob et al. 2021). V porovnaní s TLS je zariadenie ľahké a ľahko prenosné, čo umožňuje jednoduchý pohyb v členitejšom teréne (Balenović et al. 2021). Na druhej strane má MLS v porovnaní s TLS nižšiu priestorovú presnosť a nižšiu hustotu bodov. Mračná bodov obsahujú viac šumu, čo môže viesť k falošnej detekcii stromov, najmä v hustejších porastoch (Mokroš et al. 2021). Obe technológie (MLS a TLS) sú stále pomerne drahé.

Cenovo dostupnejšou alternatívou k týmto technológiám by mohla byť technológia iPhone LiDAR skenovanie, alebo pozemná fotogrametria (Liang et al. 2022). iPhone so zabudovaným senzorom LiDAR ponúka cenovo výhodnú alternatívu k systémom MLS a TLS. Je však dôležité si uvedomiť, že rozsah snímania týchto zariadení je obmedzený na 5 metrov. Aj keď sa tento dosah javí ako nedostatočný na zachytenie niektorých dendrometrických parametrov, stále sa dá efektívne využiť na odhad, parametrov ako DBH či pozícia stromov (Mokroš et al. 2021; Gollob et al. 2021).

Mračná bodov získané pozemnou fotogrametriou si v poslednom čase získali veľký záujem výskumníkov. Ich výhodou je rýchle a relatívne lacné získavanie parametrov stromov. Základný princíp spočíva v konštrukcii 3D mračna bodov z vysoko prekrývajúcich sa 2D snímok pomocou vhodného algoritmu (Liang et al. 2022).

Pozemná fotogrametria využíva rôzne metódy snímania. Často sa používa „stop and go“ metóda a mobilná metóda. Pri metóde "stop and go" operátor sníma snímky v statickej polohe a potom sa presunie do inej polohy a sníma ďalšie snímky. Druhým prístupom je mobilná

metóda. Operátor drží fotoaparát a počas pohybu automaticky sníma obrázky (režim sériového snímání) (Mokroš et al. 2018b).

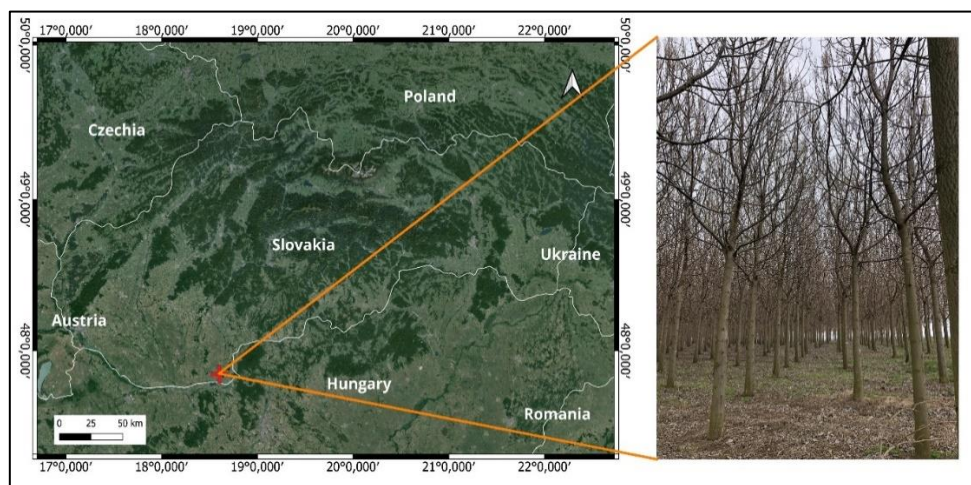
Cieľom tejto štúdie je porovnať presnosť odhadu DBH pomocou troch rôznych technológií: MLS (stoneX x120), iPhone LiDAR (iPhone 13 Max Pro) a pozemnej fotogrametrie (s využitím iPhone 13 Max Pro). Okrem presnosti sa v rámci výskumu skúma aj jednoduchosť použitia týchto technológií, doba potrebná na zber údajov a cena.

MATERIÁL A METÓDY

2.1 Výskumná plocha

Predmetom štúdie je plantáž Paulownie, ktorá sa nachádza na juhozápade Slovenska v katastrálnom území obce Búč (47,79° s. š., 18,45° v. d.) v oblasti Podunajskej nížiny. Plantáž bola založená na jar roku 2015 na rovinatom teréne v nadmorskej výške 108 m n. m. Pôda na skúmanej lokalite je klasifikovaná ako piesočnato-hlinitá černoziem. Priemerná ročná teplota vzduchu na skúmanej lokalite je 10,4 °C, priemerná mesačná teplota v najteplejšom mesiaci (júl) je 20,8 °C a v najchladnejšom mesiaci (január) -1,1 °C. Priemerný ročný úhrn zrážok je 540 mm a je rovnomerne rozložený na jednotlivé ročné obdobia.

Dvesto kontajnerovaných sadeníc hybridu *Paulownia elongata* × *fortunei* (*Paulownia cotevisa*) bolo vysadených do riadkov s rozstupom 4 × 4 m (625 sadeníc.ha⁻¹). Jeden rok po výsadbe boli sadenice zrezané na zem, aby sa získal jeden rovný zdravý kmeň (Pástor et al. 2022).



Obr. 1 Plantáž Paulownie – Búč

2.2 Zber referenčných dát

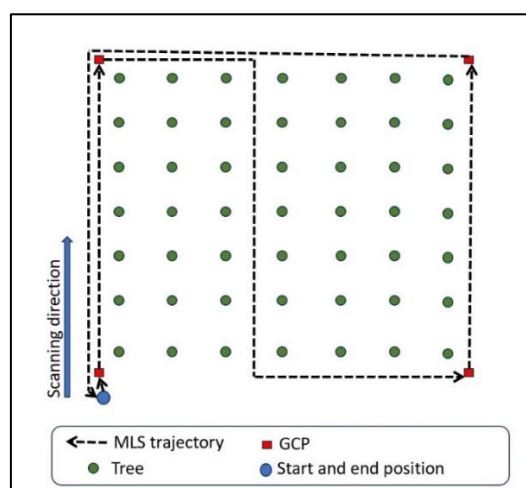
V plantáži boli založené 3 výskumné plochy (A, B, C) s rozmermi 30x30 metrov. Každý roh plochy bol v teréne zabezpečený pomocou geodetickej kotvy (*GCP – z angl. ground control point*). Súradnice týchto bodov sa určili pomocou totálnej stanice Topcon 9000, aby sa umožnilo georeferencovanie a zlepšila priestorová orientácia počas zberu údajov. DBH každého stromu na každej ploche sa merala pomocou obovdometra vo výške 1,3 m nad zemou. Tieto údaje sa použili ako referenčné údaje na porovnanie parametrov získaných z mračien bodov zozbieraných vybranými technológiami.

2.3 Zber údajov pomocou inovatívnych technológií

V štúdií sa na zber údajov použili rôzne zariadenia. Na iPhone LiDAR skenovanie a pozemnú fotogrametriu sa použil iPhone 13 Pro Max a ako MLS sa použil Stonex X120 GO SLAM. Na zber dát sa využili dva odlišné metodické prístupy: kolektívny prístup a individuálny prístup. V rámci kolektívneho prístupu sa zbierali údaje o každom jednom strome v vo výskumných plochách (A, B a C) t.j. celkovo 154 stromov. Naproti tomu individuálny prístup zahŕňal selektívny výber stromov, pri ktorom bol sa vybral každý druhý strom v každom druhom rade. Týmto prístupom sa získala podskupina 33 stromov z ktorých sa zbierali údaje.

2.3.1 Mobilné laserové skenovanie

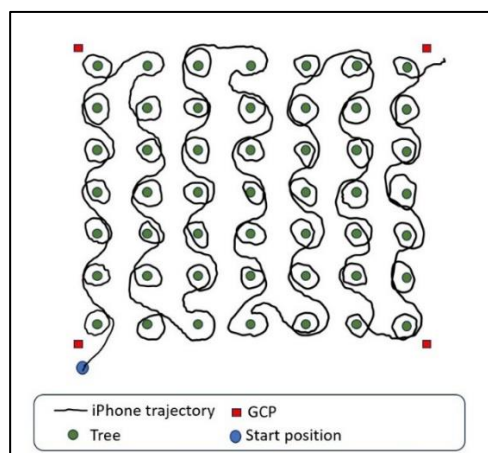
Pri kolektívnom prístupe pre MLS sa použila trajektória, pri ktorej operátor so skenerom neseným v ruke prechádzal po okrajoch a stredom plochy (obr. 2). Počas skenovania sa operátor zastavil pri každom GCP a polohu bodu zaznamenal do pamäte zariadenia. Inicializácia skenera pred začatím každého skenovania trvala 1 minútu. Samotné skenovanie trvalo približne 4 minúty. Pri individuálnom prístupe sa použilo jedno skenovanie pre jeden strom, po inicializácii skenera operátor chodil so skenerom v ruke okolo stromu.



Obr. 2 Trajektória MLS skenovania

2.3.2 iPhone LiDAR skenovanie

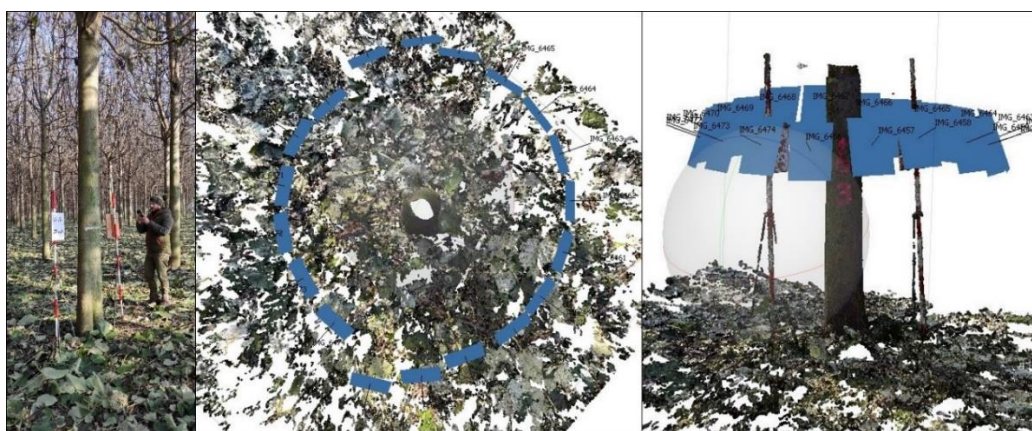
Pri iPhon LiDAR skenovaní bola použitá mobilná aplikácia 3D Scanner od spoločnosti Laan Labs. Táto aplikácia umožňuje skenovanie 3D objektov v reálnom čase, zaznamenáva polohu, poskytuje údaje o polohe, rozmeroch objektu a ďalšie. Trajektóriu skenovania pre kolektívny prístup bolo potrebné prispôbiť maximálnemu dosahu zariadenia, ktorý je 5 metrov. Na obrázku 3. je znázornená trajektória skenovania. Operátor so zariadením v ruke prechádzal pozdĺž riadkov, pričom prešiel okolo každého jedného stromu. Podobne ako v prípade MLS sa pri individuálnom prístupe vykonal jeden sken pre každý strom samostatne.



Obr. 3 Trajektória iPhone LiDAR skenovania

2.3.3 Pozemná fotogrametria

Mobilný telefón iPhone 13 pro Max sa používal aj pri zbere snímok pre pozemnú fotogrametriu, ktorá sa úspešne použila len pre individuálny prístup. Pred začatím fotografovania sa vedľa stromu umiestnili fotogrametrické terče vygenerované programom Agisoft Metashape Professional 2.0.3, vo fáze postprocesingu sa tieto terče použili na úpravu mierky. Použila sa fotogrametrická metóda „stop and go“, operátor sa pohyboval okolo stromu, pričom pri každom kroku urobil snímku stromu, kým sa kruh neuzavrel. Pre každý jednotlivý strom sa urobilo 18 až 24 fotografií. Na obrázku 4. je znázornený postup zberu fotografií.



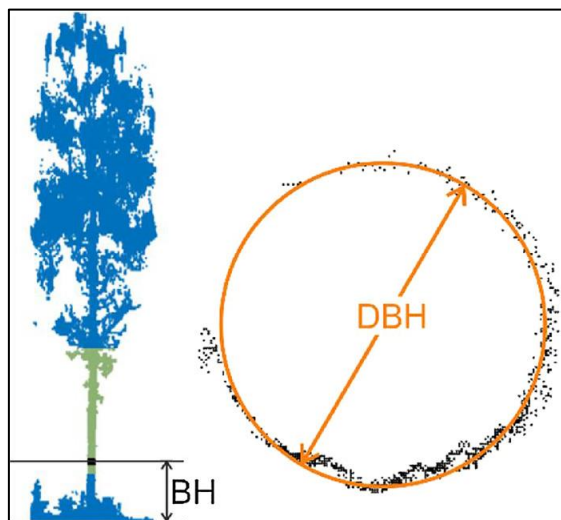
Obr. 4 Pozemná fotogrametria. Pozície snímaných fotografií

2.4 Tvorba bodových mračien a extrakcia DBH

Na získanie mračien bodov z MLS bolo potrebné spracovať surové údaje pomocou softvéru Gopost, ktorý poskytol výrobca skenera. Tento softvér umožňuje vytvárať farebné mračná bodov a umožňuje nahráť súradnice GCP, čo uľahčuje georeferencovanie mračien bodov. V prípade skenovania pomocou iPhoneu tento krok odpadá a mračno bodov možno exportovať priamo z mobilného zariadenia. Na vytvorenie mračna bodov z fotografií pre pozemnú fotogrametriu bol použitý program Agisoft Metashape Professional 2.0.3. pomocou ktorého bola vytvorená aj mierka pre bodové mračná.

Na odhad DBH sa použil plne automatizovaný a voľne dostupný nástroj v programovacom jazyku Python s názvom 3DFin (3D Forest Inventory) (3DFin 2023). Tento nástroj je

integrovaný ako plug-in do softvéru CloudCompare. Výstupom tohto nástroja je okrem odhadu DBH aj odhad výšky stromov, priestorové súradnice jednotlivých kmeňov, digitálny model terénu a priemery kmeňa v rezoch rozdelených po 20 cm. Nástroj vypočítava priemery priradením kruhu (tzv. circle fitting) na body v priereze vo výške 1,3 m každého kmeňa stromu (obr. 5).



Obr. 5 3DFin – Priradenie kruhu bodov v prsnej výške pre získanie DBH (Cabo et al. 2018)

2.5 Vyhodnotenie presnosti odhadu DBH

Pre každú metódu (MLS, iPhone LiDAR skenovanie a pozemná fotogrametria) a každý prístup (individuálny a kolektívny prístup) sa hodnotila presnosť odhadu DBH. Na porovnanie výsledkov získaných z použitých technológií a referenčných údajov sa vypočítala stredná kvadratická chyba (RMSE), korelačný koeficient (R^2) a relatívna stredná kvadratická chyba (rRMSE). Štatistická analýza sa vykonala v softvéri R. Rovnice použité na hodnotenie DBH:

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (Y_i - \hat{Y})^2}$$

$$rRMSE = \frac{\sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (Y_i - \hat{Y})^2}}{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N Y_i} \times 100$$

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (Y_i - \hat{Y})^2}{\sum_{i=1}^N (Y_i - \bar{Y})^2}$$

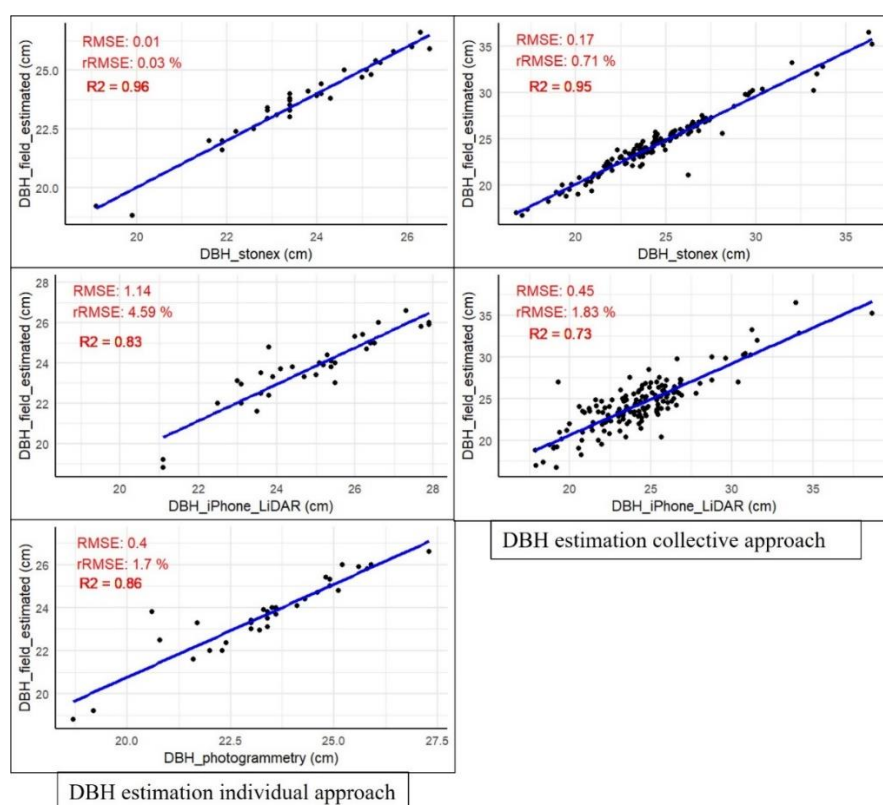
Kde: Y_i i-tá odvodená hodnota (m), $\hat{Y}$ i-tá referenčná hodnota (m), N počet meraní, $\bar{Y}$ aritmetický priemer referenčných hodnôt

VÝSLEDKY

3.1 Odhad DBH

Korelácia medzi referenčnou a odhadovanou DBH bola najvyššia, pri individuálnom prístupe pre MLS ($R^2=0,96$) a najnižšia pri kolektívnom skenovaní iPhone LiDAR ($R^2=0,73$). Druhá najvyššia korelácia sa dosiahla pri kolektívnom prístupe MLS ($R^2=0,95$). Pri individuálnom prístupe fotogrametrie bola ($R^2=0,86$) a pri individuálnom prístupe iPhone LiDAR bola 0,83.

Podľa RMSE a rRMSE z individuálneho prístupu bola najvyššia presnosť dosiahnutá pri technológii MLS 0,01 cm (0,03 %), druhá najpresnejšia bola pozemná fotogrametria 0,4 cm (1,7 %) a najmenej presné bolo skenovanie pomocou iPhone LiDAR 1,14 cm (4,59 %). Pri kolektívnom prístupe bola presnejšia MLS 0,17 cm (0,71 %) a pri iPhone LiDAR sa dosiahla presnosť 0,45 cm (1,83 %). Všetky výsledky sú znázornené na obrázku 6.



Obr. 6 Vyhodnotenie DBH pre skúmané technológie a pre oba prístupy

DISKUSIA

Táto štúdia dokazuje, že všetky skúmané technológie sú použiteľné pri inventarizácii na odvodenie DBH v plantážach Paulownia a iných „stromovo štruktúrovaných“ plantážach RRD. Podľa vedomostí autorov nebola doteraz publikovaná žiadna podobná štúdia, ktorá by hodnotila uvedené technológie na odhad DBH v podmienkach plantáží RRD. Preto sa získané výsledky porovnávali s publikáciami z lesného prostredia.

Mokroš et al. (2021) skúmali nízko-nákladové technológie na inventarizáciu lesa ako alternatívu k TLS. Ich výskum zahŕňal osem zmiešaných lesných plôch s rozmermi 25x25 metrov. S využitím MLS - GeoSLAM ZEB Horizon dosiahli RMSE 6,2 cm, rRMSE 17,63 %

a R2 0,897. Ich výskum zahŕňal aj prototyp zariadenia s názvom „MultiCam“, ktoré sa skladá so štyroch kamier na pozemnú fotogrametriu. S týmto prototypom dosiahli presnosť odhadu DBH RMSE 6,98 cm a rRMSE 22,86 %. Okrem toho ich štúdia zahŕňala aj skenovanie pomocou iPadu LiDAR. (Gollob et al. 2021) skúmali odvodenie dendrometrických parametrov pomocou skenovania iPad LiDAR a MLS - GeoSLAM ZEB Horizon. Ich štúdia zahŕňala 21 kruhových plôch s polomerom 7 metrov, ktoré sa nachádzali v zmiešaných lesoch s rôznou hustotou a druhovým zložením. Dosiahli RMSE 3,64 cm pre odhad DBH pomocou iPadu a pomocou MLS dosiahli RMSE 1,59 cm. (Kükenbrink et al. 2022) tiež uskutočnili odhad DBH pomocou MLS GeoSLAM ZebRevo v zmiešaných lesoch mierneho pásma. V tabuľke 1. je uvedený súhrn výsledkov z publikácií so zameraným sa na vybrané technológie pre odhad DBH v porovnaní s výsledkami tejto štúdie.

Tab. 1 Porovnanie výsledkov s inými štúdiami

Reference	Study area	technology	RMSE (cm)	rRMSE (%)	r ²
(Mokroš et al. 2021)	Mixed temperate forest	MLS	6,2	17,63	0,897
		iPad LiDAR	3,31	10,3	0,973
		MultiCam fotogr.	6,98	22,86	0,799
(Gollob et al. 2021)	Mixed temperate forest	MLS	1,59	-	-
		iPad LiDAR	3,64	-	-
			-	-	-
(Kükenbrink et al. 2022)	Mixed temperature mixed	MLS	2,4	3,7	-
		GoPro fotogr.	3	6,88	-
(Guenther et al. 2024)	Black Spruce and Red Pine	iPad LiDAR	1,5	8,6	-
(Chiappini et al. 2022)	Black Pine Forest plantation	MLS	2,7	10,8	0,747
This study	Homogenous, FGT, Paulownia plantatin	MLS (IA)	0,01	0,03	0,96
		iPhone LiDAR (IA)	1,14	4,59	0,83
		iPhone fotogr. (IA)	0,4	1,7	0,86
		MLS (CA)	0,17	0,71	0,71
		iPhone LiDAR (CA)	0,45	1,83	0,95

Z tabuľky 1 je zrejmé, že najvyššia presnosť odhadu DBH bola dosiahnutá v predkladanej štúdii v rámci plantáže Paulownie. Tento výsledok možno pripísať ideálnym podmienkam plantáže v porovnaní s lesnými výskumnými plochami v iných publikáciách. Plochy v týchto publikáciách sa nachádzali prevažne v prírodnom prostredí s rôznym druhovým a vekovým zložením stromov, rôznou hustotou porastu a hrúbkovými triedami často s podrastom. Naproti tomu plantáže paulownie skúmané v tejto štúdii sú homogénne, rovnakoveké, s rovnomernými vzdialenosťami stromov 4 x 4 metre. Kmene sú takmer pravidelného tvaru, pod korunou, bez

konárov. Chýbajú tenké stromy (najtenší strom má 17 cm). Plantáž sa nachádza na rovine a je bez podrastu. Časť výsledkov získaných v tejto štúdii bola vykonaná na úrovni jednotlivých stromov, čo poskytuje presnejšiu analýzu.

ZÁVER

Táto práca bola zameraná na odhad DBH pomocou vybraných moderných technológií. Z ekonomického hľadiska je najdrahšou použitou technológiou MLS (stonex X120 GO), ktorého cena sa pohybuje od 29000 € do 35000 € aj so softvérom, avšak odhad DBH bol s týmto zariadením najpresnejší. Na iPhone LiDAR skenovanie a pozemnú fotogrametriu sme použili iPhone 13 pro Max. Cena tohto iPhone je zhruba 890 €, zatiaľ čo na spracovanie fotogrametrických údajov sa použil komerčný softvér (Agisoft Metshape Profesional), ktorý pre akademické využitie stojí okolo 800 € a pre komerčné využitie je to okolo 3200 €.

Z časového hľadiska je individuálny prístup pri MLS náročnejší, pretože pred začatím skenovania sa musí prístroj zakaždým inicializovať, čo trvá 1 minútu, samotné skenovanie 1 stromu trvalo približne 20 sekúnd, skenovanie vybraných 33 stromov trvalo 44 minút, čo je o veľa viac času ako pri kolektívnom prístupe, pri ktorom sa jedna výskumná plocha (49 stromov) naskenovala za 4 minúty. Pri individuálnom prístupe sa však dosiahla vyššia presnosť, čo by mohlo byť vhodné napr. na sledovanie prírastku kmeňa stromu v krátkom časovom období.

Pri pozemnej fotogrametrii bola presnosť vyššia ako pri skenovaní pomocou iPhoneu LiDAR. Avšak fotogrametria sa javí ako neefektívna s časového hľadiska a náročnosti spracovania dát. Odhad DBH pomocou iPhone LiDAR bol síce najmenej presný so skúmaných technológií, ale dosiahnutá presnosť bola stále dostatočná pre inventarizačné účely, ide o najlacnejšiu so skúmaných technológií a s užívateľského pohľadu aj najjednoduchšiu.

V budúcej štúdii by sa mohli preskúmať odlišné metódy zberu údajov pomocou týchto technológií, prípadne ich použitie v odlišne štruktúrovaných plantážach (napr. výmladkové plantáže), takisto odhad ďalších dendrometrických parametrov a pozorovanie zmien týchto parametrov v čase (monitoring).

POĎAKOVANIE

Táto práca bola podporená Agentúrou na podporu výskumu a vývoja SR na základe zmlúv č. APVV-20-0391 "Monitoring lesných porastov v trojdimenzionálnom priestore a čase pomocou inovatívnych prístupov blízkeho-dosahu" a APVV-22-0001 "Optimalizácia vybraných zdravotných a bezpečnostných rizík pri produkcii a skladovaní lesnej biomasy na energetické účely".

ZOZNAM POUŽITEJ LITERATÚRY

1. ASTRUP, Rasmus, Mark J. DUCEY, Aksel GRANHUS, Tim RITTER a Nikolas VON LÜPKE, 2014. Approaches for estimating stand-level volume using terrestrial laser scanning in a single-scan mode. *Canadian Journal of Forest Research* [online]. 2014, roč. 44, č. 6, s. 666–676. ISSN 0045-5067. Dostupné na: doi:10.1139/cjfr-2013-0535
2. BALENOVIĆ, Ivan, Xinlian LIANG, Luka JURJEVIĆ, Juha HYYPPÄ, Ante SELETKOVIĆ a Antero KUKKO, 2021. Hand-Held Personal Laser Scanning: Current

- Status and Perspectives for Forest Inventory Application. *Croatian journal of forest engineering* [online]. 2021, roč. 42, č. 1, s. 165–183. ISSN 18489672, 18455719. Dostupné na: doi:10.5552/crojfe.2021.858
3. BAUWENS, Sébastien, Harm BARTHOLOMEUS, Kim CALDERS a Philippe LEJEUNE, 2016. Forest Inventory with Terrestrial LiDAR: A Comparison of Static and Hand-Held Mobile Laser Scanning. *Forests* [online]. 2016, roč. 7, č. 6, s. 127. ISSN 1999-4907. Dostupné na: doi:10.3390/f7060127
 4. CABO, Carlos, Celestino ORDÓÑEZ, Carlos A. LÓPEZ-SÁNCHEZ a Julia ARMESTO, 2018. Automatic dendrometry: Tree detection, tree height and diameter estimation using terrestrial laser scanning. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* [online]. 2018, roč. 69, s. 164–174. ISSN 1569-8432. Dostupné na: doi:10.1016/j.jag.2018.01.011
 5. GOLLOB, Christoph, Tim RITTER, Ralf KRASSNITZER, Andreas TOCKNER a Arne NOTHDURFT, 2021. Measurement of Forest Inventory Parameters with Apple iPad Pro and Integrated LiDAR Technology. *Remote Sensing* [online]. 2021, roč. 13, č. 16, s. 3129. ISSN 2072-4292. Dostupné na: doi:10.3390/rs13163129
 6. GUENTHER, Matthew, Muditha K. HEENKENDA, Dave MORRIS a Brigitte LEBLON, 2024. Tree Diameter at Breast Height (DBH) Estimation Using an iPad Pro LiDAR Scanner: A Case Study in Boreal Forests, Ontario, Canada. *Forests* [online]. 2024, roč. 15, č. 1, s. 214. ISSN 1999-4907. Dostupné na: doi:10.3390/f15010214
 7. HYYPPÄ, Eric, Xiaowei YU, Harri KAARTINEN, Teemu HAKALA, Antero KUKKO, Mikko VASTARANTA a Juha HYYPPÄ, 2020. Comparison of backpack, handheld, under-canopy UAV, and above-canopy UAV laser scanning for field reference data collection in boreal forests. *Remote Sensing* [online]. 2020, roč. 12, č. 20, s. 1–31. ISSN 20724292. Dostupné na: doi:10.3390/rs12203327
 8. CHEN, Shilin, Haiyang LIU, Zhongke FENG, Chaoyong SHEN a Panpan CHEN, 2019. Applicability of personal laser scanning in forestry inventory. *PLOS ONE* [online]. 2019, roč. 14, č. 2, s. e0211392. ISSN 1932-6203. Dostupné na: doi:10.1371/journal.pone.0211392
 9. CHIAPPINI, Stefano, Roberto PIERDICCA, Francesco MALANDRA, Enrico TONELLI, Eva Savina MALINVERNI, Carlo URBINATI a Alessandro VITALI, 2022. Comparing Mobile Laser Scanner and manual measurements for dendrometric variables estimation in a black pine (*Pinus nigra* Arn.) plantation. *Computers and Electronics in Agriculture* [online]. 2022, roč. 198, s. 107069. ISSN 0168-1699. Dostupné na: doi:10.1016/j.compag.2022.107069
 10. KÜKENBRINK, Daniel, Mauro MARTY, Ruedi BÖSCH a Christian GINZLER, 2022. Benchmarking laser scanning and terrestrial photogrammetry to extract forest inventory parameters in a complex temperate forest. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* [online]. 2022, roč. 113, s. 102999. ISSN 1569-8432. Dostupné na: doi:10.1016/j.jag.2022.102999
 11. LIANG, Xinlian, Juha HYYPPÄ, Harri KAARTINEN, Matti LEHTOMÄKI, Jiri PYÖRÄLÄ, Norbert PFEIFER, Markus HOLOPAINEN, Gábor BROLLY, Pirotti FRANCESCO, Jan HACKENBERG, Huabing HUANG, Hyun-Woo JO, Masato KATOH, Luxia LIU, Martin MOKROŠ, Jules MOREL, Kenneth OLOFSSON, Jose POVEDA-

- LOPEZ, Jan TROCHTA, Di WANG, Jinhu WANG, Zhouxi XI, Bisheng YANG, Guang ZHENG, Ville KANKARE, Ville LUOMA, Xiaowei YU, Liang CHEN, Mikko VASTARANTA, Ninni SAARINEN a Yunsheng WANG, 2018. International benchmarking of terrestrial laser scanning approaches for forest inventories. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* [online]. 2018, roč. 144, s. 137–179. ISSN 0924-2716. Dostupné na: doi:10.1016/j.isprsjprs.2018.06.021
12. LIANG, Xinlian, Ville KANKARE, Juha HYYPPÄ, Yunsheng WANG, Antero KUKKO, Henrik HAGGRÉN, Xiaowei YU, Harri KAARTINEN, Anttoni JAAKKOLA, Fengying GUAN, Markus HOLOPAINEN a Mikko VASTARANTA, 2016. Terrestrial laser scanning in forest inventories. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* [online]. 2016, roč. 115, Theme issue “State-of-the-art in photogrammetry, remote sensing and spatial information science”, s. 63–77. ISSN 0924-2716. Dostupné na: doi:10.1016/j.isprsjprs.2016.01.006
13. LIANG, Xinlian, Antero KUKKO, Ivan BALENOVIC, Saarinen NINNI, Samuli JUNTILA, Ville KANKARE, Markus HOLOPAINEN, Mokros MARTIN, Peter SUROVY, Harri KAARTINEN, Jurjevic LUKA, Eija HONKAVAARA, Roope NASI, Liu JINGBIN, Markus HOLLAUS, Jiaojiao TIAN, Xiaowei YU, Pan JIE, Cai SHANGSHU, Juho-Pekka VIRTANEN, Yunsheng WANG a Juha HYYPPA, 2022. Close-Range Remote Sensing of Forests: The State of the Art, Challenges, and Opportunities for Systems and Data Acquisitions. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Magazine* [online]. 2022, roč. 2022, s. 2–41. Dostupné na: doi:10.1109/mgrs.2022.3168135
14. LINDEGAARD, Kevin N., Paul W. R. ADAMS, Martin HOLLEY, Annette LAMLEY, Annika HENRIKSSON, Stig LARSSON, Hans-Georg VON ENGELBRECHTEN, Gonzalo ESTEBAN LOPEZ a Marcin PISAREK, 2016. Short rotation plantations policy history in Europe: lessons from the past and recommendations for the future. *Food and Energy Security* [online]. 2016, roč. 5, č. 3, s. 125–152. ISSN 2048-3694. Dostupné na: doi:10.1002/fes3.86
15. MOKROŠ, Martin, Xinlian LIANG, Peter SUROVÝ, Peter VALENT, Juraj ČERNÁVA, František CHUDÝ, Daniel TUNÁK, Šimon SALOŇ a Ján MERGANIČ, 2018a. Evaluation of Close-Range Photogrammetry Image Collection Methods for Estimating Tree Diameters. *ISPRS International Journal of Geo-Information* [online]. 2018, roč. 7, č. 3, s. 93. ISSN 2220-9964. Dostupné na: doi:10.3390/ijgi7030093
16. MOKROŠ, Martin, Xinlian LIANG, Peter SUROVÝ, Peter VALENT, Juraj ČERNÁVA, František CHUDÝ, Daniel TUNÁK, Šimon SALOŇ a Ján MERGANIČ, 2018b. Evaluation of Close-Range Photogrammetry Image Collection Methods for Estimating Tree Diameters. *ISPRS International Journal of Geo-Information* [online]. 2018, roč. 7, č. 3, s. 93. ISSN 2220-9964. Dostupné na: doi:10.3390/ijgi7030093
17. MOKROŠ, Martin, Tomáš MIKITA, Arunima SINGH, Julián TOMAŠTÍK, Juliána CHUDÁ, Piotr WEŻYK, Karel KUŽELKA, Peter SUROVÝ, Martin KLIMÁNEK, Karolina ZIĘBA-KULAWIK, Rogerio BOBROWSKI a Xinlian LIANG, 2021. Novel low-cost mobile mapping systems for forest inventories as terrestrial laser scanning alternatives. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* [online]. 2021, roč. 104, s. 102512. ISSN 1569-8432. Dostupné na: doi:10.1016/j.jag.2021.102512

18. PÁSTOR, Michal, Jaroslav JANKOVIČ, Martin BELKO a Juraj MODRANSKÝ, 2022. Evaluation of selected growth parameters of Paulownia cotevisa plantation in the Danubian Lowland. *Journal of Forest Science* [online]. 2022, roč. 68, č. 4, s. 156–162. ISSN 12124834, 1805935X. Dostupné na: doi:10.17221/155/2021-JFS
19. SRAMEK, Martin, Jan WEGER, Jaroslav BUBENIK, Marie MATOUSKOVA, Klara LENGALOVA a Radim MATULA, 2023. Effective woody biomass estimation in poplar short-rotation coppices-*Populus nigra* x *P. maximowiczii*. *IFOREST-BIOGEOSCIENCES AND FORESTRY* [online]. 2023, roč. 16, s. 202–209. ISSN 1971-7458. Dostupné na: doi:10.103832/ifor4200016

Kontaktná adresa: Michal Skladan, Ing., Technická univerzita vo Zvolene, Ul. T. G. Masaryka 24, 960 01 Zvolen, +421 948 509 078, xskladan.is@tuzvo.sk

POSSIBILITIES OF SOCIAL ENTREPRENEURSHIP IN THE CONTEXT OF LAND USE FOR BIOMASS PRODUCTION

EVA ŽUFFOVÁ, MONIKA GUBÁŇOVÁ, MARTIN PRČÍK, VLADIMÍR KIŠŠ,
DENISA HANÁČKOVÁ, IVANA VAČKOVÁ*

Slovak University of Agriculture in Nitra

*Corresponding author

ABSTRACT

Social entrepreneurship focused on land use for biomass production can be an effective and innovative way to combine social, environmental, and economic goals. This business model uses unused or unproductive land to grow fast-growing plants that can be used to produce biomass. A social enterprise can significantly contribute to the sustainable development of the territory, support the employment of citizens, increase the quality of life of citizens, as well as contribute to their social inclusion and much more. The aim of the contribution is to identify the intentions of social entrepreneurship, analyse and evaluate land usable for this business purpose, select crops suitable for biomass, as well as financial mechanisms supporting the given type of business. According to Act no. 220/2004 Coll. for the cultivation of fast-growing plants in the conditions of Slovakia, soils classified in the 5th to 9th soil quality groups are suitable. These soil categories are represented in all regions of Slovakia. The regions with the highest percentage of land of the 5th to 9th groups from the total area of agricultural land include Prešov region (99.95% – 376,665 ha), Žilina region (99.89% – 238,031.9 ha), Košice region (99.51% – 329,339 ha), Banská Bystrica region (98.94% – 402,212.9 ha) and Trenčín region (83.02% – 149,495.8 ha). Regions with an area of the 5th to 9th soil quality group below 50% of the total area of agricultural land include Bratislava region (46.35% – 41,860.7 ha), Nitra region (39.6% – 183,198.4 ha) and Trnava region (32.7% – 93,553 ha). From the point of view of biomass production, an important aspect is the availability of raw materials, as well as the conditions of sustainability of the affected natural resources in connection with increasing the more efficient land use and inputs, while respecting the capacities for ensuring food production. The diversity of biomass also means its territorial dispersion, which enables its cultivation at the regional level (all regions of the Slovak Republic). Utilizing the potential of agricultural land through municipal social entrepreneurship is one of the options for mitigating disparities in the level of development and quality of life of the residents of the affected municipalities.

Key words:

social entrepreneurship, social inclusion, land, biomass production, fast-growing plants

INTRODUCTION

Social entrepreneurship is currently on the rise and attracting more and more people. The basic principle of social entrepreneurship is the implementation of socially beneficial activities using economic tools. It is a business whose main goal is above all to achieve positive social impacts, which makes this form of business meaningful not only for the company, but also for

the employees and the entrepreneur himself. Social entrepreneurship brings an ethical dimension and principle of solidarity to business. Several authors speak of social entrepreneurship as a form of "business for the 21st century" (Sociálna ekonomika, 2024).

Social enterprises have the potential to change entire industries, therefore investors should also support the development of social enterprises and their ability to influence society to a greater extent (World Economic Forum, 2021).

Definitions of the term social entrepreneurship can be found in various forms, but they all agree on three basic aspects of social entrepreneurship. Social entrepreneurship – that is, a social enterprise performs an economic activity (business/economic dimension of social entrepreneurship) in order to achieve a social or societal goal (social/societal dimension), while the organizational and ownership structure is built to reflect the mission of the organization (dimension of redistribution of possible profit and of participatory business management (Poláčková, 2020). A social enterprise should be independent, competitive and sustainable. Its main goal is not to maximize profits, but to contribute to solving social and societal problems. Social entrepreneurship plays a key role in improving people's employment and social integration from marginalized and vulnerable groups (Sociálna ekonomika, 2024). It can be concluded that social enterprises were one of the responses to the solution of social problems that prevail in society. In layman's terms, a social enterprise is a company with a social mission, but it creates its own income to maintain and achieve its social mission (Armstrong – Grobbelaar, 2022).

A social enterprise is a specific type of business, as it is determined by its purpose and differs from a regular enterprise in several aspects. Act no. 112/2018 Coll. on the social economy and social enterprises defines the term social enterprise and its characteristics as follows: it performs economic activity consistently, independently, in its own name, on its own responsibility; the main goal is achieving a measurable positive social impact; the goods or services it produces, supplies, provides or distributes, or the method of their production or provision contributes to achieving a positive social impact; if it makes a profit, it uses more than 50 % of the after-tax profit to achieve the main objective; involves interested persons in managing its economic activity (Zákon č. 112/2018 Z. z.).

One of the key characteristics of a social enterprise is achieving a positive social impact, which is defined in the law as "fulfilment of public or community interest". A common feature of fulfilling a public or community interest is the provision of a socially beneficial service, which is understood as: provision of health care; provision of social assistance and humanitarian care; creation, development, protection, restoration and presentation of spiritual and cultural values; protection of human rights and fundamental freedoms; education, upbringing and development of physical culture; research, development, scientific and technical services and information services; creating and protecting the environment and protecting the health of the population; services to support regional development and employment; ensuring housing, management, maintenance and renovation of the housing stock; providing financial resources to social economy entities for the performance of a socially beneficial service (Zákon č. 112/2018 Z. z.).

Such social interest seeks to create some kind of social value that will directly and positively affect people's lives (Davies and Doherty, 2018).

In the field of management, the social enterprise emphasizes the solution of various social problems. The field of employment is also specific for a social enterprise as it focuses on supporting disadvantaged and vulnerable persons (Hanáčková et al, 2023).

The development of the social economy and social entrepreneurship in Slovakia was largely supported by the international context and initiatives coming "from above", according to Placek, this is how it is stated by several sources (Placek et al., 2021). A significant external stimulus was the influence of the European Social Fund, which significantly influences the development trends of the social economy and social entrepreneurship in the country.

Currently, in Slovakia, pursuant to Act no. 112/2018 Coll. 554 registered (data are as of June 2023) social enterprises. Of them, 537 have the character of an integration enterprise, i.e. it achieves its social impact by employing disadvantaged or vulnerable persons and 17 is a general registered enterprise, i.e. it is oriented towards community interest or provides a socially beneficial service. Over the past four years, the number of registered social enterprises has increased tenfold (Strečanský – Strečanská, 2023). In 2024, the number of registered enterprises increased by 13 (Ministerstvo práce, sociálnych vecí a rodiny, 2024)

Municipalities play an important role in social entrepreneurship. The involvement of local government in social entrepreneurship is relatively significant in Slovakia. Unlike other countries, however, it is mainly limited to the implementation and operation of social enterprises where the local or regional self-government is the founder or majority owner. Social entrepreneurship often starts at the local level and many businesses stay within their municipality or district. The most common form of social enterprise is municipal social enterprises, which are often created as a tool for solving the practical needs of municipalities or are created directly for the purpose of solving problems, such as unemployment in the local environment. (Poláčková, 2020).

Financial support is one of the three main pillars of support for the social economy and social enterprises in Slovakia, while its approach fundamentally contributes to the sustainability of these enterprises. It can be provided directly or indirectly by various tools. Direct financial support is divided into two forms: investment (for example, loans or conditional grants) and compensatory (for example, subsidies). This type of support is adapted to different types of social economy entities. Indirect instruments include, for example, tax credits or reserved contracts. Registered social enterprises, especially those with an integrative character, have the greatest opportunities to use these instruments of financial support (Chmelová, 2020).

Diversification of the use of agricultural lands in accordance with the Strategy of the Economic Policy of the Slovak Republic until 2030 (2018) offers municipalities additional opportunities to use their competences in the social area and thereby ensure a higher level of well-being (in terms of sustainable development and quality of life) for the residents of the municipality. Through these activities, the municipality contributes to maintaining ecological stability and at the same time offers opportunities to increase the economic strength of the countryside and the social status of rural communities. Increasing the overall quality of life is an important indicator in assessing the degree of progress in the development of individual regions of Slovakia. Economic growth from the point of view of competitiveness and sustainability in the regional development section defines the utilization of the potential of agriculture as one of the important factors. In the environment section, it focuses on the green economy, circular economy, biodiversity and the use and protection of natural resources. The

new character of the economic development of the Slovak Republic, which will support the development of the regions, is determined by five key areas, of which the areas: Ecological efficiency of the economy and regional development call for development in the sense of an ecologically efficient economy built on resource and energy efficiency with a connection to balanced regional development with innovative agriculture ensuring employment in the regions.

Diversification of agricultural production in practice provides the opportunity to actively manage the soil fund directly in individual regions. The aspect of increasing the economic self-sufficiency and social status of the population in these regions is also significant (Prehľad faktov o Programe rozvoja vidieka na Slovensku na obdobie rokov 2014 – 2022, 2023).

MATERIAL AND METHODS

The main goal of the presented contribution is to analyse the possibilities of social entrepreneurship, as a form of business that uses unproductive land fund for the production of "energy" biomass. At the same time, the goal is to evaluate the soil fund suitable for this type of business, to offer specific fast-growing trees, suitable for cultivation in the conditions of the SR regions.

In the article, we defined the term social enterprise, its purpose, and the role played by self-government in more detail. We also present examples of functioning social enterprises that direct their business intent towards agricultural activities.

When processing the issue, we rely on the opinions of several authors, professional literature, Act no. 112/2018 Coll. on social economy and social enterprises, evaluation reports of the The Ministry of Labour, Social Affairs and Family of the Slovak Republic.

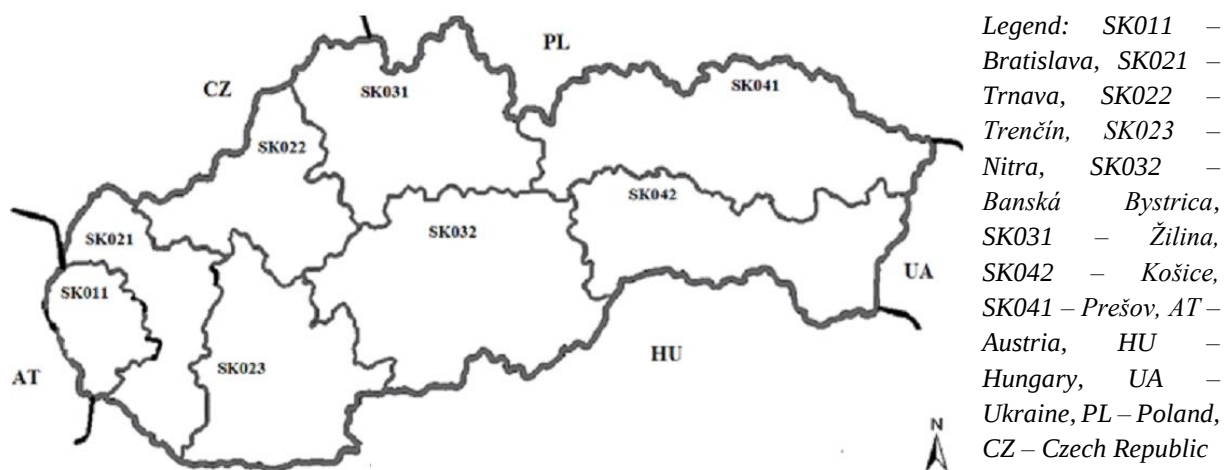


Fig. 1 Regionalization of Slovakia based on NUTS 3

Data were processed based on the standardized classification of territorial units in Slovakia, specifically NUTS 3 (Nomenclature of Territorial Units for Statistics) (Figure 1). The soil factor was expressed as the area of agricultural land suitable for growing fast-growing plants. The data were processed according to the database of the Soil Science and Conservation Research Institute (SSCRI) as of 31.12.2019 (update). Measurements of the registered areas of

stands of energetic fast-growing plants grown on agricultural land are processed according to databases from individual regions of Slovakia as of 1.9.2019 (update).

As an example, we have given a tree of the poplar genus (*Populus sp.*), which belongs to the soft-leaved trees and in our climatic conditions ranks among the important fast-growing energy trees. In the case of poplars, bred clones are mainly represented, because with intensive cultivation, they achieve several times higher and faster wood production than other naturally widespread trees in Slovakia (Petráš, Mecko, 2005). Forest stands of poplar clones have a spatial representation of approximately only 0.6 % in the whole of Slovakia. In lowland and especially floodplain areas of Slovakia, they are the main tree species with dominant economic importance (Kotrla, Prčík, 2010). Cultivation of fast-growing energy poplar on agricultural land is an alternative, especially in non-forested areas of Slovakia, on soils with lower value (5-9 degree of quality of agricultural soils) and high groundwater level (Prčík, 2020).

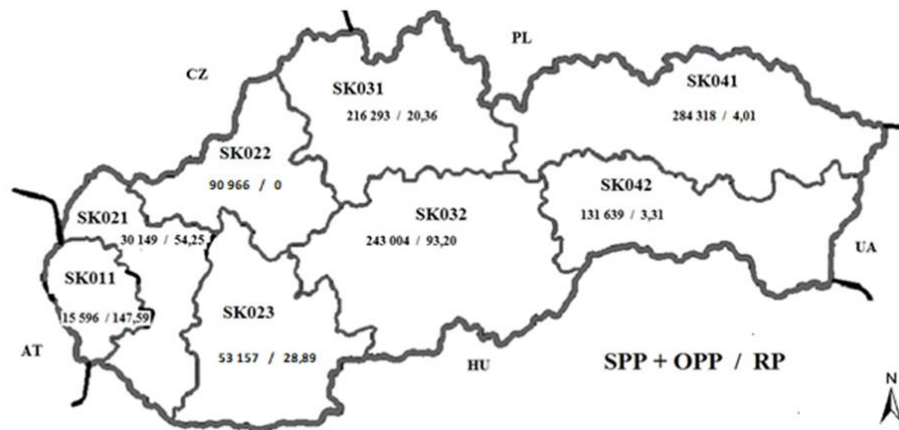
RESULTS AND DISCUSSION

The social economy, as a socially beneficial area in solving social problems and unemployment, is consolidating its position in many EU countries in traditional sectors, such as agriculture, services, social services, retail, traditional crafts, but also in banking and insurance. In Slovakia, too, one can find several positive examples of social enterprises whose socially beneficial service focuses on the field of agriculture.

One of the possibilities for using the potential of land for social entrepreneurship is in the area of securing local renewable energy sources, specifically biomass. According to Act no. 220/2004 Coll. on the protection and use of agricultural land, all agricultural land is classified in the 9 soil quality groups according to the certified soil ecological units (BPEJ). The best quality belongs to the 1st group and the least quality to the 9th group. For the cultivation of energetic fast-growing plants in the conditions of Slovakia, soils classified in the 5th to 9th soil quality groups are suitable. The first 4 groups are protected according to §12 of the law and can be temporarily or permanently used for non-agricultural purposes only in necessary cases, if no alternative solution is possible.

The area of 5th to 9th soil quality group is represented at the level of all regions of the Slovak Republic. The highest potential in the cultivation of energetic fast-growing plants in relation to specific land areas at the regional level is in Prešov region (99.95 %), Žilina region (99.89 %), Košice region (99.51 %), Banská Bystrica region (98.94 %) and Trenčín region (83.02 %). Regions with an area of soil quality group 5 to 9 below 50 % of the total area of agricultural land include the Bratislava region (46.35 %), Nitra region (39.56 %) and Trnava region (32.70 %) (VUPOP Bratislava, updated 2019) .

Cultivation of fast-growing plants in the regions of Slovakia is possible on secondary and other soil. The primary land fund is tied to ensuring the country's food self-sufficiency. Figure 2 shows the regional differences in the area of land suitable for growing fast-growing energy plants.



Legend: SPP – secondary agricultural land; OPL – other agricultural land; RP – registered soil for fast-growing plants on agricultural land; SK011 – Bratislava, SK021 – Trnava, SK022 – Trenčín, SK023 – Nitra, SK031 – Žilina, SK032 – Banská Bystrica, SK041 – Prešov, SK042 – Košice

Fig. 2 The area of agricultural land in the regions of Slovakia, suitable for growing energetic fast-growing plants and the real area of registered areas of energy fast-growing plants expressed in hectares in the regions of Slovakia

Source: VUPOP Bratislava, updated 2019

Planting, care, protection, harvesting and subsequent processing and transport of production can bring long-term jobs. The advantage is the fact that income and the fuel obtained in this way remain with regional farmers and entrepreneurs, directly or indirectly linked in the entire logistics chain. In this way, it is possible to contribute to stopping the so-called depopulation of the countryside in some regions of Slovakia (Prčík, Kotrla, 2015).

From a socio-economic point of view, it is most appropriate for biomass to be processed in the given region, e.g., for pellets, chips and wood briquettes, which have a higher added value than unprocessed raw biomass (e.g., in the form of firewood) (Makovníková et al., 2019).

As a model tree, grown specifically for energy purposes in the conditions of the regions of Slovakia, we present the poplar (*Populus sp.*), which we studied as part of the scientific work. In the professional and scientific literature, we record many works focused on the evaluation of the production parameters of various varieties of poplar, e.g., Trnka (2009), Niemczyk et al. (2016), Niemczyk (2021), Bergante (2022) and Böhlenius et al. (2023).

Tab. 1 Biomass production of Italian poplar varieties at the end of the first to fourth three-year growing cycle (cumulative) (t.ha⁻¹)

Varieties	1. cycle 2010 - 2012	2. cycle 2013 - 2015	3. cycle 2016 - 2018	4. cycle 2019 – 2021
Monviso	87,16	89,70	254,70	142,20
Pegaso	76,90	67,13	159,08	109,10
AF-2	67,42	197,84	148,44	90,10
Sirio	78,69	185,87	113,80	92,70
Average per varieties	77,54	135,14	156,50	108,50

The results achieved on the research base in Koliňany (table 1) confirm that many factors enter into the process of dendromass formation, whether soil or climatic. It is also important to point out the suitability of the length of the cultivation cycle for specific cultivated species, or varieties. In our experiments, the appropriateness of the three-year growing cycle was confirmed, when all monitored varieties responded positively to cutting and the formation of above-ground biomass already in the first year represented an average of 22 % of the total cumulative production.

According to Porvaz (2018), the cultivation of fast-growing trees is economically efficient if the annual biomass production reaches at least 12 t.ha⁻¹, which was confirmed in our conditions.

Several studies have already been developed in Slovakia, which deal with the use of local renewable resources, specifically biomass, for energy purposes. For example, a study entitled Analysis of the possibilities of using renewable energy sources in the Polish-Slovak border 2007-2013 focused on the application, processing and use of biomass in public buildings and at the same time offered the possibility of using the potential of the soil in selected locations. Another strategy that was developed under the auspices of the Košice self-governing region was the Rural Development Strategy of the Medzibodrožie subregion from 2009, which, like the above-mentioned strategy, offers opportunities to cycle the use of local biomass in selected municipalities. Also, on the example of these two strategies, it is possible to think about the municipality as a business entity, which at the level of the so-called social enterprise will ensure the continuity of biomass production, by means of targeted cultivation of fast-growing plants. By using the potential of the territory, the human factor, taking into account economic opportunities and business support, it is possible to increase the diversification of the use of agricultural land, at the same time to use and strengthen human capital directly at the level of self-government, ensuring a higher quality of life for the inhabitants of the village, and by implementing current environmental technologies to ensure protection and quality environment.

Another possibility and example of how it is possible to use the agricultural land fund in the framework of social entrepreneurship is the social enterprise *Tradície Kysúc, s. r. o.*, whose main business is the purchase of sheep's milk from regional primary producers, its processing into cheese products and the provision of services for the promotion of these products. In the company store, they offer their own products, as well as craft products from local producers. The company also organizes social and cultural events and workshops that present traditional sheep farming in Kysuce and the cultural traditions of the region. The company strives to create, develop, protect, but also restore spiritual and cultural values. Through the aforementioned workshops, children are informed about sheep farming, production and processing of sheep's milk, thereby contributing to their education and upbringing. By supporting sheep breeding, they also indirectly contribute to the protection of the environment and the health of the population. By employing disadvantaged citizens, they in turn support regional development and increase employment.

Services in the field of primary agricultural production, services in the vineyard, green work, and gardening services are provided by another social enterprise, *AGRO SOCIÁLNY PODNIK s.r.o.* Its main purpose is to support the social inclusion of marginalized groups of the population, especially from the ranks of disadvantaged people. The company focuses on

providing short-term work in gardens, during construction, in the vineyard or assistance with municipal and municipal works. With its activities, it has a favourable effect on the social development of the territory.

CONCLUSION

The essence of social enterprises lies in a unique combination of business skills and the desire to contribute to the social good. These businesses are designed to create value not only for their owners and employees, but also for the wider community. They focus on solving social problems such as poverty, unemployment or environmental problems, while ensuring financial sustainability and growth.

Social enterprises are unique in many ways because they bring innovative solutions that are often tailored to the specific needs of local communities. For example, they can provide employment for disadvantaged groups, offer products and services accessible to low-income groups, or reduce the impact on the environment. With the help of social enterprises, it can be shown that business can be not only profitable, but also a powerful tool for social change. They create positive examples and inspire others to get involved for the benefit of society and the environment. They also contribute to the improvement of the economic situation and improvement of the social status of residents in the regions.

Increasing the economic self-sufficiency and social status of the population in the regions of Slovakia is an important aspect of sustainable development and ensuring the well-being of the population. One of the possibilities of sustainably using the land for the benefit of rural communities and meeting their needs is the cultivation of fast-growing plants for the cyclically recurring production of biomass. Currently, this biomass is primarily used for energy purposes, but as practice has shown, the use of biomass has a much broader framework. The largest share of land suitable for growing fast-growing plants is located in the Žilina, Prešov and Banská Bystrica regions. The lowest share is in the Bratislava, Trnava and Nitra regions. The real area of registered areas of fast-growing plants in the regions of Slovakia is 351.7 ha (0.03 % of the total possible area of land). From a socio-economic point of view, it is most appropriate for biomass to be processed in the given region, e.g., for pellets, chips and wood briquettes, which have a higher added value than unprocessed raw biomass (e.g., in the form of firewood). The establishment and operation of businesses dealing with renewable energy sources creates economic potential in rural areas and supports their sustainable development.

Local and regional governments in Slovakia should perceive their role not only as operators of social enterprises, but also as creators of supporting conditions, builders of the local ecosystem and main supporters of social enterprises in their territory. It is essential that social enterprises are supported locally. This support should be provided by the local government.

SUMMARY

Sociálne podnikanie zamerané na využívanie pôdneho fondu pre tvorbu biomasy môže byť efektívnym a inovatívnym spôsobom, ako skombinovať sociálne, environmentálne,

a ekonomické ciele. Tento model podnikania využíva nevyužívané alebo neproduktívne pôdy na pestovanie rýchlorastúcich rastlín, ktoré môžu slúžiť na produkciu biomasy. Sociálny podnik môže významným spôsobom prispieť k udržateľnému rozvoju územia, podporiť zamestnanosť občanov, zvýšiť kvalitu života občanov, ako aj prispieť k ich sociálnemu začleneniu a mnohé ďalšie. Cieľom príspevku je identifikovať zámery sociálneho podnikania, analyzovať a hodnotiť pôdny fond využiteľný pre tento účel podnikania, vybrať plodiny vhodné na biomasu, ako aj finančné mechanizmy podporujúce daný typ podnikania. V zmysle zákona č. 220/2004 Z. z. sú pre pestovanie rýchlorastúcich rastlín v podmienkach Slovenska vhodné tie pôdy, ktoré sú zaradené do 5. až 9. skupiny kvality pôdy. Zastúpenie týchto pôd evidujeme vo všetkých krajoch Slovenska. Ku krajom s najvyšším percentuálnym podielom pôdy 5. až 9. skupiny z celkovej výmery poľnohospodárskej pôdy patria Prešovský (99,95 % – 376 665 ha), Žilinský (99,89 % – 238 031,9 ha), Košický (99,51 % – 329 339 ha), Banskobystrický (98,94 % – 402 212,9 ha) a Trenčiansky kraj (83,02 % – 149 495,8 ha). Ku krajom s výmerou skupiny kvality pôdy 5 až 9 pod 50 % z celkovej výmery poľnohospodárskej pôdy patrí Bratislavský (46,35 % – 41 860,7 ha), Nitriansky (39,6 % – 183 198,4 ha) a Trnavský kraj (32,7 % – 93 553 ha). Z pohľadu produkcie biomasy je významný aspekt dostupnosť suroviny, ako aj podmienky udržateľnosti dotknutých prírodných zdrojov vo väzbe na zvyšovanie účinnejšieho využívania pôdy a vstupov, pri rešpektovaní kapacít pre zabezpečenie produkcie potravín. Rôznorodosť biomasy znamená do veľkej miery aj jej územnú rozptýlenosť, čo umožňuje jej pestovanie na regionálnej úrovni (na úrovni všetkých krajov SR). Využitie potenciálu poľnohospodárskych pôd prostredníctvom obecného sociálneho podnikania je jednou z možností, ako zmierňovať disparity úrovne rozvoja a kvality života obyvateľov dotknutých samospráv.

REFERENCES

1. AGRO SOCIÁLNY PODNIK, 2024. Náš cieľ. Online. Dostupné na: <https://www.agrosp.sk/>.
2. AMSTRONG, R. M.; GROBBELLAR, S., S., 2022. *Sustainable business models for social enterprises in developing countries: a conceptual framework*, Management Review Quarterly (2023) 73:787–840 Online. Dostupné na: <https://doi.org/10.1007/s11301-022-00260-1>.
3. Analýza možností využitia obnoviteľných zdrojov energie v poľsko-slovenskom prihraničí. Odborná expertíza pre uplatnenie, spracovanie a využívanie biomasy vo verejných budovách. 2006. Vypracované v rámci Programu cezhraničnej spolupráce Poľsko – Slovenský republika 2007-2013. [online]. [cit. 2024-07-31]. Dostupné na: <https://www.ekocentrum.sk/wordpress/wp-content/uploads/Biomasa.pdf>
4. BERGANTE, S. 2022. Poplar tree for innovative plantation models. In *Annal of Silvicultural Research*, vol. 47, 2022, no. 1, pp. 48-53. <https://journals-crea.4science.it/index.php/asr>
5. BÖHLENIUS, H. – ÖHMAN, M. – GRANBERG, F. et al. (2023). Biomass production and fuel characteristics from long rotation poplar plantations. In *Biomass and Bioenergy*, vol. 178, 2023, pp. 1-9. ISSN 0961-9534
6. DAVIES, I., A.; DOHERTY, B.; 2018. Balancing a hybrid business model: the search for equilibrium at Cafédirect. *Journal of Business Ethics* (2019) 157:1043–1066

- <https://doi.org/10.1007/s10551-018-3960-9>. Online. Dostupné na: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10551-018-3960-9>.
7. HANÁČKOVÁ, D.; ŽUFFOVÁ, E., 2023. Legislatívne konotácie sociálneho podnikania. *Mladí vedci 2023*. Bratislava: Paneurópska vysoká škola, 2023, s. 75-84. ISBN 978-80-8275-015-0.
 8. CHMELOVÁ, M., 2020. Finančná podpora sociálnych podnikov – formy a možnosti. Podnikajte.sk. Online. Dostupné na: <https://www.podnikajte.sk/financie-na-podnikanie/podpora-socialnych-podnikov>.
 9. KOTRLA, M. – PRČÍK, M. 2010. Lužné lesy v dolnom toku Váhu a návrh ich obnovy. Nitra: Slovenská poľnohospodárska univerzita. 98 s. ISBN 978-80-552-0444-4.
 10. MAKOVNÍKOVÁ, J. – PÁLKA, B. – KOLOŠTA, S. et al. 2019. Potenciál pre pestovanie energetických plodín – obnoviteľných zdrojov energie vo vybraných regiónoch Slovenska. In *XXIII. mezinárodní kolokvium o regionálních vědách*. Sborník příspěvků. Brno: Masarykova univerzita. DOI: 10.5817/CZ.MUNI.P210-9610-2020-68
 11. MINISTERSTVO PRÁCE, SOCIÁLNYCH VEC RODINY, 2024. *Sociálna ekonomika, sociálne podniky, rodinné podniky*. Online. Dostupné na: <https://www.employment.gov.sk/sk/praca-zamestnanost/socialna-ekonomika/>
 12. MINISTERSTVO PRÁCE, SOCIÁLNYCH VECÍ A RODINY, 2024. *Register SE - Registrované sociálne podniky*. Online. Dostupné na: <https://registre.socialnaekonomika.gov.sk/registrovane-sp?druhSocialnehoPodniku=verejnoprospe%C5%A1n%C3%BD%20%E2%80%93%20integro%C4%8Dn%C3%BD%20podnik&pageNr=1>
 13. NIEMCZYK, M. – WOJDA, T. – KALISZEWSKI, A. 2016. Biomass productivity of selected poplar (*Populus* spp.) cultivars in short rotations in northern Poland. In *N.Z. j. of For. Sci.*, vol. 46, 2016, no. 22, pp. 565-579. <https://doi.org/10.1186/s40490-016-0077-8>
 14. NIEMCZYK, M. 2021. The effects of cultivar nad rotation lenght (5 vs. 10 years) on biomass production and sustainability of poplar (*Populus* spp.) bioenergy plantation. In *GCB-BIOENERGY*, vol. 13, 2021, iss.6, pp. 999-1014. <https://doi.org/10.1111/gcbb.12827>
 15. PETRÁŠ, R. - MECKO, J. 2005. Rastové tabuľky topoľových klonov. Bratislava: Slovak Academic Press. 135 p. ISBN 80-88908-22-1.
 16. PLAČEK, M. et al., 2021. The evolutionary trajectory of social enterprises in the Czech Republic and Slovakia. *Public Management Review*, 23(5), 775-794. Online. Dostupné na: <https://doi.org/10.1080/14719037.2020.1865440>
 17. POLAČKOVÁ, Z., 2020. Kontext a výzvy sociálneho podnikania. *Implementačná agentúra Ministerstva práce, sociálnych vecí a rodiny Slovenskej republiky*, ISBN 978-80-89837-58-8. Online. Dostupné na: <https://socialnaekonomika.sk/wp-content/uploads/2021/02/Kontext-a-vyzvy-socialneho-podnikania-na-Slovensku.pdf?csrt=14236554795447316722>
 18. PORVAZ, P. 2018. Súčasný stav pestovania energetických rastlín na Slovensku. [online]. [cit. 2024-01-22]. Dostupné na: <http://www.agroporadenstvo.sk/rastlinna-vyroba>
 19. PRČÍK, M. – KOTRLA, M. 2015. Targeted cultivation of the energy plants in conditions of the slovak regions. In *Scientific Papers Series Management, Economic Engineering in Agriculture and Rural Development*, vol. 15, 2015, iss. 1, pp. 236-271. ISSN 2284-7995

20. PRČÍK, M. 2020. Plantáže rýchlorastúcich rastlín v krajine: habilitačná práca. Nitra: Slovenska poľnohospodárska univerzita. 129 s.
21. Prehľad faktov o Programe rozvoja vidieka na Slovensku na obdobie rokov 2014 – 2022. 2023. [online]. [cit.: 2024-07-30]. Dostupné na: https://agriculture.ec.europa.eu/document/download/79a6a69a-c484-4a22-ad68-47ef2763033a_sk?filename=rdp-factsheet-slovakia_sk.pdf
22. SOCIÁLNA EKONOMIKA NA SLOVENSKU, 2024. *Čo je sociálne podnikanie*. Online. Dostupné na: <https://socialnaekonomika.sk/co-je-socialne-podnikanie/index.html>.
23. Stratégia hospodárskej politiky Slovenskej republiky do roku 2030. 2018. [online]. [cit.: 2024-07-30]. Dostupné na: <https://www.mhsr.sk/inovacie/strategie-a-politiky/testy-strategia-hospodarskej-politiky>
24. Stratégia rozvoja vidieka subregiónu Medzibodrožie. 2009. Košický samosprávny kraj. [online]. [cit.: 2024-07-31]. Dostupné na: https://web.vucke.sk/files/dokumenty/pub/regionalny_rozvoj/phsr/strategia_rozvoja_vidieka_subregionu_medzibodrozie.pdf
25. STREČANSKÝ, B.; STREČANSKÁ, A., 2023. *Sociálne podnikanie na Slovensku ako vynárajúce sa organizačné pole. Spájanie odlišného*. Slovenská chránená dielňa s. r. o., r. s. p. ISBN: 978-80-89837-93-9. Online. Dostupné na: <https://www.employment.gov.sk/files/sk/praca-zamestnanost/socialna-ekonomika-socialne-podniky-rodinne-podniky/narodny-projekt-institut-socialnej-ekonomiky/zaverecna-publikacia-np-ise-i.pdf>.
26. TRADÍCIE KYSÚC, 2024. Online. Dostupné na: <https://www.tradiciekysuc.sk/#top>
27. TRNKA, M. 2009. Zkušenosti s pěstováním rychle rostoucích dřevin v mikroregionu Bystřice u P. In Biom.cz [online]. [cit. 2019-07-02]. ISSN 1801-2655. Dostupné na: <https://biom.cz/cz/odborne-clanky/zkusenosti-s-pestovanim-rychlerostoucich-drevin-v-mikroregionu-bystrice-n-p>
28. VUPOP Bratislava, aktualizované 2019. [online]. [cit. 2024-07-30]. ISSN 1801-2655. Dostupné na: http://www.podnemapy.sk/portal/verejnost/rr_dreviny/rr_dreviny.aspx
29. WORD ECONOMIC FORUM, 2021. *Social enterprises can change entire industries. This is how*. Online. Dostupné na: <https://www.weforum.org/agenda/2021/01/social-enterprises-can-have-a-big-impact/>.
30. Zákon č. 112/2018 Z. z. o sociálnej ekonomike a sociálnych podnikoch a o zmene a doplnení niektorých zákonov.
31. Zákon č. 220/2004 Z.z. o ochrane a využívaní poľnohospodárskej pôdy a o zmene zákona č. 245/2003 Z.z. o integrovanej prevencii a kontrole znečisťovania životného prostredia a o zmene a doplnení niektorých zákonov

Contact address: Ivana Vačková, Ing., Slovak University of Agriculture in Nitra, Faculty of European Studies and Regional Development, Institute of Sustainable Regional and Local Development, Tr. A. Hlinku 2, 949 76 Nitra, e-mail: xvackova@uniag.sk

Title: Fast-growing trees and plants grown for energy purposes:
Theory and good practices of growing and energy use of
biomass
Peer-reviewed International Scientific Conference
Proceedings, September 5 – 6th 2024 in Nitra, Slovakia

Copyediting & Proofreading: Vladimír Kišš, Martin Prčík

Publisher: Slovak University of Agriculture in Nitra

Year of publication: 2024

Edition: 1st

Form of publication: online

Number of pages: 102

No edited at the Publishing House of SUA in Nitra.

ISBN 978-80-552-2789-4

DOI: <https://doi.org/10.15414/2024.9788055227894>