

TVORBA MODELU RELIÉFU A PRIEČNYCH PROFILOV DNA VODNEJ NÁDRŽE KOLÍŇANY

Jakub FUSKA, Emília MICÁKOVÁ¹

¹*Katedra Krajinného inžinierstva, FZKI, SPU v Nitre*



ABSTRACT

In Slovakia, there are about 200 small water reservoirs that have various purposes, such as flood protection, fish production accumulation of the water for irrigation purposes or leisure. One of the most important for these purposes is the amount of the accumulated water, which depends on the topography and shape of the reservoir bottom.

Topography of the bottom of the small water reservoir depends on the natural processes and also on the anthropogenic activities. Siltation of the reservoir with the eroded material is the most important natural process. Next natural process that forms the shape of the reservoir bottom is the effect of the flowing water, which takes action mostly and most significantly during the larger discharges of the flood events or during the snowmelt in the watershed of reservoir, when the dynamic effects of the flowing water leads to displacement of the bottom sediments in the water reservoir or removal of the sediment out of the reservoir. The most important anthropogenic activities that affect the shape of the reservoir bottom are the processes of cleaning and maintenance of the reservoir and also processes of filling and emptying of the reservoir.

This paper deals with the methodology of the actual water volume calculation. This method is based on the GIS application and method of the reservoir bottom TIN model. TIN model is created of the points at the reservoir bottom that are in x,y,z coordinate format. Points are collected with the non-contact measurement of GPS and sonar. Data processing was done in Leica Geo Office 7, MS Excel 2010 and ArcGIS 9.3.

Results of the paper is the description of the data collection and data processing for the TIN model creation and calculation of the actual water volume in small water reservoir in Kolíňany, which is used for the irrigation and fish production purposes.

Key words: small water reservoir TIN model digital terrain model of the water reservoir

ÚVOD

STN 73 6824 definuje malé vodné nádrže (MVN) ako také vodné nádrže, ktoré spĺňajú minimálne jedno z týchto kritérií:

- Objem nádrže do 2 mil. m³ (objem stanovený po hladinu ovládateľného priestoru)
- Hĺbka nádrže do 9m (po maximálnu hladinu, neuvažujú sa väčšie hĺbky v mieste pôvodného koryta)
- Storočný prietok (Q₁₀₀) do 60 m³ · s⁻¹

Primárnou vodohospodárskou funkciou je zvyšovanie akumuláčného a retenčného potenciálu územia. V prevažnej miere boli tieto nádrže budované pre podporu rastlinnej výroby – zabezpečenie vlahovej potreby pestovaných rastlín. Na vodných tokoch bolo postavených približne 200 takýchto vodných nádrží, pričom plnili aj funkcie krajínovorné, protipovodňové, zásobné, rybochovné, rekreačné, protipožiarne, ochranné a protipovodňové. (Kollár, 2002)

Závlahové nádrže plnia v slovenských podmienkach viaceré funkcie, hovoríme teda väčšinou o viacúčelových nádržiach. Okrem funkcie akumuláčnej plnia závlahové nádrže aj funkcie ostatné, ako je zachytávanie povodňovej vlny, chov rýb a zabezpečenie minimálneho prietoku v koryte toku pod nádržou. (Jurík et al., 2011)

Bálintová, et al. (2005) uvádza zanášanie vodných nádrží sedimentmi ako jeden z vodohospodárskych problémov malých vodných nádrží. Zanášanie je dôsledkom erózných procesov v povodí vodných tokov. Kvalita sedimentov má významný vplyv na kvalitu vody, ale aj na ich ďalšie využitie.

Monitorovanie reliéfu dna vodných nádrží uvádza Holubová (1998) ako sériu základných metód pre pozorovanie zanášania vodných nádrží. Tento monitoring je riešený pomocou stabilizovania koncových bodov priečných profilov, zamerania nádrže v sústave priečných profilov, a systematického zameriavania nádrží. Pri zameriavaní profilov sa meria hĺbka sondovaním kontaktným (pomocou sondovacích tyčí, kalibrovaného lana alebo pásma s závažím a podložkou, digitálnymi hĺbkomerami) alebo bezkontaktné (ultrazvukové meranie – k meraniu sa využívajú prístroje, ktoré pracujú na princípe odrazu a registrácie ultrazvukových vln od dna nádrže).

MATERIÁL A METÓDY

Sledovaná vodná nádrž

Metóda stanovenia aktuálneho objemu vodnej nádrže bola demonštrovaná na vodnej nádrži v Kolíňanoch, okres Nitra. Táto vodná nádrž bola vybudovaná pre účely závlah. V súčasnosti okrem svojej primárnej funkcie slúži aj na rybochovné účely a ako recipient čistiarne odpadových vôd v obci Kolíňany. Charakteristiky vodnej nádrže sú uvedené v tabuľke č. 1.

Povodie	Plocha povodia [km ²]	Plocha nádrže [ha]	Objem nádrže [m ³]
Nitra	17	13	106 000

Tabuľka č. 1: Základné charakteristiky vodnej nádrže v Kolíňanoch (Pariláková et al., 2005)

Prístrojové vybavenie

Zber údajov bol vykonaný počas plavby raftovým motorovým člnom, na ktorom bola osadená zostava meracích prístrojov tvorených GPS prijímačom a sonarom. Použitý bol GPS prijímač Leica 1200+ osadený na výtyčke, ktorá bola uchytaná na oceľovej konzole pripevnenej k zrkadlu člna. Sonar bol použitý Garmin GPSmap 421s (200kHz sonda s meracím lúčom $14^{\circ}/45^{\circ}$) s chartplotterom. GPS prijímač zaznamenával súradnice X,Y v súradnicovom systéme S-JTSK a nadmorskú výšku – súradnicu Z vo výškopisnom systéme Baltský po vyrovnaní. Sonar zasielal údaje cez káblové prepojenie do GPS prijímača, kde údaje sonarového merania boli uložené pre jednotlivé body ako poznámka.

Prepojenie oboch zariadení bolo zabezpečené pomocou káblového prepojenia NMEA, ktoré kategorizuje ASCII dátový tok vo formáte vety delenej bodkou na základe informácie zahrnutej v jednotlivého informačného kódu. (Thota, 2006)

Zber údajov

Údaje boli tvorené x,y,z súradnicami bodov zaznamenaných pomocou GPS prijímača a hĺbky zameranej pomocou sonaru. Hĺbka bola uložená pre každý zaznamenaný bod v prijímači GPS ako poznámka. Zber údajov sa vykonal pomocou automatického záznamu s definovanou vzdialenosťou medzi bodmi počas plavby vykonávanej v trasách rovnobežných s osou hrádze s presne definovanou vzdialenosťou medzi profilmi. Jednotlivé trasy boli zobrazené ako sústava vodiacich čiar zobrazených v GPS prijímači počas plavby. Vytvorené boli v prostredí softvéru Leica Geo Office 7 a uložená ako mapový podklad v GPS prijímači, ktorý slúžil ako navigačná mapa počas plavby a zberu údajov. Počas zberu údajov asistovali aj dvaja študenti Fakulty záhradníctva a krajinného inžinierstva, ktorí budú merané údaje využívať pri vypracovaní svojich diplomových prác.

Merania boli vykonané počas dvoch dní:

- a. 5.7.2013 – jedno meranie:
 - zaznamenaných bolo celkovo 4411 bodov
 - automatický záznam bodov so vzdialenosťou 1m medzi bodmi
 - vzdialenosť 20m medzi jednotlivými líniami, prvá línia prechádzala približne 10m pred hrádzou
 - nadmorská výška hladiny bola zameraná na úrovni 179,564m n. m. meraním GPS, zamerané boli dva body pri vstupnej rampe z betónových panelov umiestnenej na východnej strane hrádze
- b. 17.7.2013 - dve merania
 - zaznamenaných bolo celkovo 4404 bodov (prvé meranie 2046 bodov a druhé meranie 2358 bodov)
 - automatický záznam bodov so vzdialenosťou 2m medzi bodmi
 - vzdialenosť 10m medzi jednotlivými líniami, pričom prvá línia prvého merania prechádzala približne 10m pred hrádzou a prvá línia druhého merania prechádzala približne 15m pred hrádzou
 - prvé meranie v tento deň bolo vykonané v dvoch výškach uloženia meracej zostavy na člne, pretože prvé – nižšie uloženie zostavy bolo nevyhovujúce v plytších častiach

nádrže, nakoľko sonar pracuje korektne až od hĺbky približne 300-400mm. Pri hĺbkach menších ako 300-400mm sonar zaznamenáva nesprávne hĺbky v hodnotách 750-1300mm.

Spracovanie meraných údajov

Spracovanie údajov je riešené pomocou tabuľkového editora a GIS softvéru. Grešová (2011) uvádza GIS - Geografické informačné systémy, ako nástroj pre zabezpečenie informácií vzťahnutých k územi. GIS teda sprostredkuje prepojenie grafických a textovo-numerických údajov o objektoch a zároveň umožňuje zobrazenie, popis a analýzy javov a procesov v sledovanom území.

Merané dáta boli z pamäťovej karty prevzaté do softvéru Leica Geo Office 7, odkiaľ boli exportované do softvéru MS Excel pre ďalšie spracovanie pozostávajúce z odstránenie bodov s chýbajúcim údajom merania hĺbky vo formáte NMEA vety. Ďalší krok bol výpočet nadmorskej výška bodu na dne vodnej nádrže. Princíp tohto výpočtu popisuje obrázok č. 1 a rovnica č. 1.

$$Z(\text{bottom}) = Z(\text{GPS}) + H(\text{mount}) - D(\text{sonar}) \quad [1]$$

kde

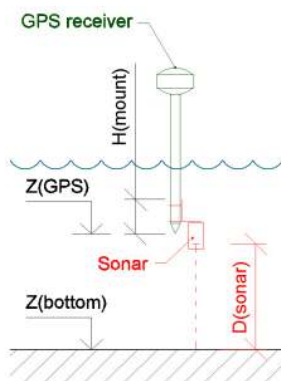
Z(bottom) – nadmorská výška dna [m n. m.]

Z(GPS) – nadmorská výška meraná pomocou GPS [m n. m.]

H(mount) – výška sonaru nad hrotom výtyčky GPS prijímača [m]

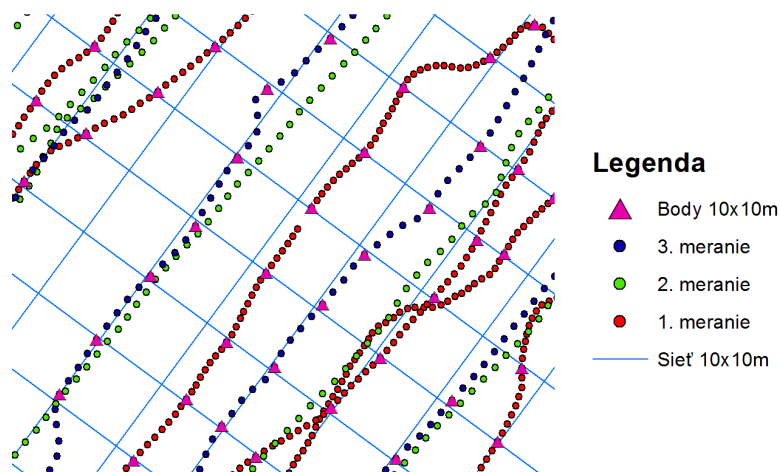
D(sonar) – hĺbka meraná sonarom [m]

Pozn.: Výška sonaru nad výtyčky GPS prijímača pri všetkých meraniach bola 0,13m



Obrázok 1 Schéma merania a výpočtu nadmorskej výšky dna

Takto spracované údaje boli uložené v textovom súbore a načítané v programe ArcGIS 9.3 ako XY dáta, ku ktorým bol priradený aj atribút Z popisujúci nadmorskú výšku každého bodu. Vznikli tri témy bodov ležiacich na dne vodnej nádrže Koliňany. Na vytvorenie TIN modelu bola použitá len časť bodov usporiadaná do štvorcovej siete s rozmerom 10m x 10m. Táto sieť bola vytvorená ako téma s čiarovou kresbou tak, že strany štvorca boli rovnobežné, resp. kolmé na os zemnej hrádze vodnej nádrže. Následne bola štvorcová sieť použitá pri manuálnej selekcii zameraných bodov tak, že vybrané boli body, ktoré sa nachádzali čo najbližšie k vrcholom štvorcov, ako je zobrazené na príklade na obrázku č. 2.



Obrázok 2 Výber bodov pre tvorbu TIN modelu

Z ortofotomapy boli vytýčené tri polygóny – jeden polygón pre obvod nádrže a dva polygóny pre ostrovčeky. Tieto polygóny reprezentovali nadmorskú výšku hladiny a bola im priradená nadmorská výška 179,564m n. m. Z týchto polygónov boli vytvorené ďalšie polygóny reprezentujúce priebeh dna po obvodě vodnej nádrže, resp. po obvodě ostrovčekov. Tieto polygóny boli vytvorené funkciou „Buffer“ vo vzdialenosti 0,1m a pridelená im bola nadmorská výška 179,214m n. m., ktorá bola určená pozorovaním na východnom brehu nádrže, nakoľko ostatné brehy a ostrovčeky boli pre pozorovania, resp. merania neprístupné (strmý terén a vysoká brehová vegetácia). Podobne bola určená aj výška terénu ostrovčekov v nádrži, ktorá bola odhadnutá na 750mm nad hladinou vody. Zozbierané body na dne a body obvodu nádrže a ostrovčekov sú zobrazené na ortofotomape na obrázku č. 3.



Obrázok 3 Body použité pre tvorbu TIN modelu

Tvorba TIN modelu dna vodnej nádrže

TIN model (Triangulated irregular network – nepravidelná trojuholníková sieť) je 3D reprezentácia modelovaného povrchu. Je to vektorový model, ktorý je tvorený sériou vstupných bodov, ktoré sú navzájom spojené do nepravidelnej trojuholníkovej siete rešpektujúcej pravidlá Delaunayovej triangulácie. (Longley at al., 2005)

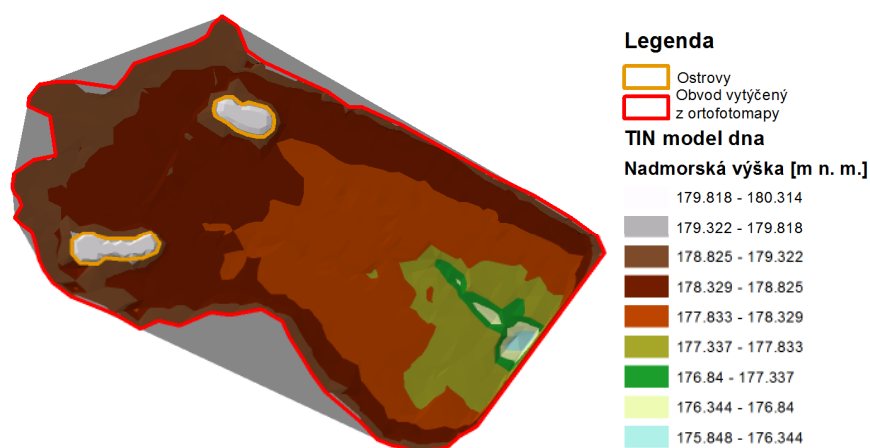
Delaunayova triangulácia je proces tvorby sústavy trojuholníkov, ktoré splňujú nasledovné kritériá:

- Vrchol žiadneho trojuholníka neleží v kruhu opísanom okolo iného trojuholníka
- Modelovaný povrch je spojitý
- Trojuholníky sa navzájom nesmú prekrývať
(Hlásny, 2005)

TIN model bol vytvorený v softvéri ArcGIS 9.3, kde vstupnými údajmi pre tvorbu TIN modelu boli dve témy:

- body v štvorcovej sieti 10 x 10m
- body obvodu vodnej nádrže a obvodu ostrovčekov a body terénu ostrovčekov nad vodnou hladinou vody

Vytvorený TIN model, spolu s témou opisujúcou obvod nádrže a ostrovčekov je zobrazený na obrázku č. 4



Obrázok 4 TIN model dna vodnej nádrže Kolíňany

Vytvorený model a téma polygónu s obvodom vodnej nádrže boli následne využité ako vstup pre nástroj 3D analýzy „Polygon Volume“, ktorý vypočíta objem a plochu medzi polygónom (obvod nádrže) a povrchom terénu vo formáte TIN (TIN model dna vodnej nádrže).

TIN model je tvorený dnom vodnej nádrže, ale aj ostrovčekmi, ktorých povrch sa nachádza, a teda je aj modelovaný nad hladinou vody, preto sa využila voľba výpočtu objemu pod referenčnou rovinou obvodu vodnej nádrže.

VÝSLEDKY A DISKUSIA

Predkladaná práca sa zaoberá možnosťou využitia bezkontaktného merania GPS a sonaru pre tvorbu TIN modelu dna malej vodnej nádrže pre potreby stanovenia aktuálneho objemu vody v malej vodnej nádrži. Pracovný postup, ktorý bol popísaný v práci, je možné zhrnúť do nasledovných bodov:

1. Vytvorenie zostavy GPS prijímača a sonaru
2. Príprava vodiacich línií použitých neskôr pre potreby navigácie počas plavby a zberu údajov
3. Import a spracovanie meraných údajov:
 - a. Vylúčenie bodov s chýbajúcim meraním hĺbky
 - b. Výpočet nadmorskej výšky bodov dna MVN z merania nadmorskej výšky GPS a sonaru
 - c. Import meraných bodov do GIS softvéru a vytvorenie témy meraných bodov usporiadaných do štvorcovej siete pomocou manuálneho výberu zo všetkých meraných bodov
4. Vytvorenie témy polygónu obvodu hladiny vodnej nádrže zameraním bodov na obvode hladiny vodnej nádrže alebo vytýčením obvodu MVN z ortofotomapy
5. Vytvorenie témy obvodu hladiny ostrovov v prípade ich výskytu vo vodnej nádrži zameraním bodov hladiny na obvode ostrovov alebo vytýčením z ortofotomapy
6. Vytvorenie témy bodov na dne obvodu vodnej nádrže zameraním
7. Vytvorenie témy bodov popisujúcich priebeh terénu ostrovov nad vodnou hladinou
8. Vytvorenie TIN modelu zo zameraných bodov dna, bodov priebehu hladiny na obvode nádrže a ostrovov, bodov priebehu dna na obvode nádrže a ostrovov a bodov terénu ostrovov nad vodnou hladinou
9. Výpočet objemu vodnej nádrže nástrojom „Polygon Volume“ z vytvoreného TIN modelu a polygónu obvodu hladiny vodnej nádrže

Predkladanou metódou bol vypočítaný objem vodnej nádrž v Koliňanoch v objeme 105780 m³ pri aktuálnej nadmorskej výšky hladiny vody 179,564m n. m. Plocha vodnej nádrže bola vypočítaná v hodnote 9,2ha.

Zber údajov bezkontaktným meraním GPS a sonaru a následné spracovanie údajov v prostredí GIS do výstupu vo formáte TIN umožní okrem popísaného použitia pre stanovenie aktuálneho objemu vody v nádrži aj tvorbu pozdĺžnych alebo priečných profilov dna vodnej nádrže, ktoré v porovnaní s rastrovým modelom ponúkajú realistickejšie zobrazenie priebehu dna, resp. sklonových pomerov v zvolenej trase profilu. Použitie tejto metódy umožní zhodnotiť aktuálny objem zadržanej vody, ktorý v závislosti od priebehu erózných a sedimentačných procesov v povodí, resp. vo vodnej nádrži, môže byť odlišný od objemu vypočítanom pri vodohospodárskom riešení vodnej nádrže. Pre viacúčelové nádrže uvádza Čistý (2005) vzťah výpočtu objemu definovaný rovnicou [2.].

$$Q(0) = Q(Z) + Q(V) - Q(N) - Z \quad [2]$$

kde:

Q(0) - objem zásobného priestoru nádrže

Q(Z) – riešenie potreby vody pre závlahy

Q(V) - vodoprávne zabezpečený prietok

Q(N) - nadlepšenie pri sezónnych prácach

Z– straty

V prípade vodnej nádrže Kolíňany sa výraznejšia zmena objemu vodnej nádrže oproti údajom z dostupných materiálov nepreukázala. Je však nutné podotknúť, že projektová dokumentácia k tejto vodnej nádrži nie je k dispozícii a z dostupných materiálov nie je jasné, či sa pri objeme nádrže jedná o objem aktuálny v období publikovania (rok 2005), alebo objem projektovaný. Nie je preto možné jednoznačne prehlásiť, či z hľadiska objemu zadržanej vody požadovaného projektovou dokumentáciou, resp. vodohospodárskym riešením, táto vodná nádrž spĺňa požiadavky projektu.

Výsledky merania a výpočet objemu však poskytujú údaj o aktuálnom objeme zadržanej vody, ktorý je pre užívateľa vodnej nádrže použiteľný pre posúdenie jeho aktuálnych aktivít vyžadujúcich odber vody pre potreby závlah alebo rybochovné účely.

SÚHRN

Priebeh dna malej vodnej nádrže je formovaný najmä procesmi zanášania a akumulácie erodovaným materiálom. Mapovanie bezkontaktným meraním pomocou GPS prijímača a sonaru poskytuje vstupné údaje vo forme bodov so súradnicami x,y,z využiteľné pre tvorbu TIN modelu v prostredí GIS, a následne stanoviť aktuálny objem akumulovanej vody.

Využitím tejto metódy bol vypočítaný objem sledovanej vodnej nádrži v Kolíňanoch na 105780m³. Predkladaná práca poskytuje presný popis metódy zberu a spracovania údajov, ktorý môže byť použitý na podobných vodných nádržiach ako pracovný postup a metodika mapovania priebehu reliéfu dna malej vodnej nádrže do podoby TIN modelu využiteľného pre potreby výpočtu aktuálneho objemu zadržanej vody.

Kľúčové slová: malá vodná nádrž, TIN model, DMR dna vodnej nádrže

LITERATÚRA

BÁLINTOVÁ, M., KOVALÍKOVÁ, N. 2005. Potenciálne využitie dnových sedimentov pre poľnohospodárske účely. In Sedimenty vodných tokov a nádrží : Zborník prednášok. - 1. Bratislava: Výskumný ústav vodného hospodárstva, 2005, ISBN 80 – 89062 – 41 – 5

ČISTÝ, M. 2005. Rybníky a malé vodné nádrže II. Bratislava: STU v Bratislave. 2005. 96 s. ISBN 80-227-2294-4

GREŠOVÁ, L. STREĎANSKÝ, J. 2011. Veterná erózia v krajine: súčasné trendy, metódy a spôsoby výpočtov. Nitra : SPU v Nitre, 2011, ISBN 978-80-552-0572-4

GREŠOVÁ, L., STREĎANSKÝ, J., NOVOTNÁ, B. Wind erosion impact on soil water. On line zborník. In: DIPCON 2010 : 14th international conference, September 12-17, 2010, Beaupré, Quebec, Canada. Beaupré : International water association, 2010.

HLÁSNY, T. 2007. Geografické informačné systémy – Priestorové analýzy. Zvolen: Zephyros & Národné lesnícke centrum – Lesnícky výskumný ústav Zvolen. 160 p. ISBN 978-80-8093-029-5

HOLUBOVÁ, K. 1998. Problémy systematického sledovania eróznio-sedimentačných procesov v oblasti vodných diel. Bratislava: Výskumný ústav vodného hospodárstva. 1998. ISBN 80-85697-75-0

JURÍK, Ľ. PIERZGALSKI, E. HUBÁČKOVÁ, V. 2011. Vodné stavby v krajine. Malé vodné nádrže. Nitra: SPU v Nitre. 2011. 168 s. ISBN 978-80-552-0623-3

KOLLÁR, A. et al. 2002. Generel ochrany a racionálneho využívania vôd. II. Vydanie. Bratislava: Infopress. 2002. ISBN 8085402548

LONGLEY, P. A., GOODCHILD, M. F., MAGUIRE, D. J., RHIND, D. W. Geographical Information Systems and Science. 2nd Edition. Chichester: John Wiley & Sons. 2005. ISBN 0-470-87000-1

PARILÁKOVÁ, K. KLIMENT, M. TÓTH, T. LAZOR, P. 2005. Sedimenty viacúčelových malých vodných nádrží v poľnohospodárskej krajine. In: Bioklimatologie súčasnosti a budúcnosti. Lednice na Moravě : Česká bioklimatologická spoločnosť. 2005. ISBN 80-86690-31-08.

STN 73 6824 1978: Malé vodné nádrže

THOTA, CH. 2006. Programming MapPoint in .NET. Sebastopol: O`Reily Media. 2006. 376s. ISBN 978-0-596-00906-9

PodĎakovanie

Práca vznikla s podporou grantového projektu VEGA č. 1/0027/12 „Vývoj a validácia metódy nepriameho stanovenia antropogénnej imisnej záťaže“.

Kontaktná adresa

Ing. Jakub Fuska, PhD., Slovenská poľnohospodárska univerzita v Nitre, Fakulta záhradníctva a krajinného inžinierstva, Katedra krajinného inžinierstva, e-mail: fuska.jakub@gmail.com