

# Návrh a validácia člnkového zrážkomera s využitím technológie 3D tlače

Ing. Adam Brziak, Slovenská technická univerzita v Bratislave, stavebná fakulta

## Abstract

Accurate measurements of atmospheric precipitation play an important role in solving a large variety of water management problems. The relatively low spatial and temporal resolution of the Slovak national monitoring network puts significant constraints on its use in small-scale studies, where a high spatial and temporal resolution is a must. Until quite recently, the high cost of the commercial devices that have to be deployed to fill in the gaps in the space and time domains was very often the main factor restricting the focus of both scientific research and commercial applications of larger scales. The first decades of the 21st century brought about massive advancements in the field of low-cost electronics, sensors, and rapid prototyping techniques. Moreover, a number of open source software solutions came into existence that provide ready-to-use tools to store, analyse and transfer data. This inspired a large community of scientists and makers to build their own prototypes of measuring instruments or dataloggers, often for a fraction of the cost of the commercial devices that comply with their specific needs.

This study presents the process of the development and calibration of a low-cost rain gauge for measuring atmospheric precipitation. The prototype was designed as a two-chamber tipping-bucket rain gauge around the Arduino open-source electronics platform. The advent of 3D printing enabled the rapid prototyping of the mechanical parts of the rain gauge, which are made of a durable ABS thermoplastic material. The study also presents the process of rain gauge calibration, with both volumetric and dynamic calibration procedures used. The rain gauge was set to a resolution of 0.5 mm with a standard deviation of  $\pm 0.01$  mm. The results of the dynamic calibration also showed that the behaviour of the rain gauge complies with that of the commercial devices.

The low cost and precision of this type of instrumentation makes it ideal for applications in which there is a high risk of its being damaged or even lost. In addition, the open-source aspect of the project, its low cost, and relatively minor requirements for its construction make it a good candidate for use in citizen-science partnerships, which are becoming very popular mainly due to their popularization benefits.

**Kľúčové slová:** 3D print, tipping-bucket rain gauge, Arduino, open source electronics

## Úvod

---

V súčasnosti je dostupné veľké množstvo meracích prístrojov na meranie tekutých atmosférických zrážok. Prístroje pracujú na rôznych princípoch, niektoré z týchto prístrojov sú automatizované a dokážu dlhodobo zaznamenávať namerané dáta, a to v ľubovoľnom časovom kroku. Patria sem hlavne váhové zrážkomery, preklápacie zrážkomery, alebo ombrografy. Niektoré typy zrážkomerov umožňujú dáta odosielať diaľkovo, alebo pozorovateľ fyzicky stiahne dáta z hardvérovej pamäte prístroja.

V našej práci sme sa zamerali na výrobu preklápacieho zrážkomera, ktorý je schopný samostatne merať úhrny tekutých atmosférických zrážok, ich intenzitu a všetko zaznamenávať na úložisko. Snahou je svojpomocne vyrobiť a nakalibrovať lacný, funkčný prototyp, ktorý bude možné osadiť a použiť v teréne. Pre porovnanie bol v laboratórnych podmienkach otestovaný aj komerčný zrážkomer.

Návrh a samotná výroba prototypu boli vykonané, za pomoci využitia technológie 3D modelovania v softvérovom prostredí AutoCad a následnej výroby za využitia 3D tlače. 3D tlač v poslednej dobe zaznamenala veľký rozmach (Hoskins, 2013), pričom každým rokom sa 3D tlačiarne stávajú cenovo dostupnejšími a umožňujú tlačiť objekty v stále lepšej a lepšej kvalite. V hydrológii a v iných vedných disciplínach sa 3D tlačiarne využívajú najmä na rýchle prototypovanie a výrobu lacných súčiastok použiteľných pri návrhu a výrobe zariadení, ktoré by bolo možné využiť v praxi alebo pri rôznych vedeckých experimentoch.

Všetky elektronické súčiastky, ako aj programovanie zrážkomera boli vytvorené za pomoci „open source“ (voľne šíriteľnej) elektroniky Arduino. Open source elektronika nám ponúka široké spektrum platforiem, softvérov využiteľných na programovanie a výrobu rôznych prototypov zariadení. Výhodou „open source“ elektroniky je jej nízka cena a voľne dostupný kódovací jazyk.

Novinkou v oblasti využitia open source elektroniky vo výskume je vznik tzv. inteligentných laboratórií (v angl. smart-labs), v rámci ktorých je automatizovaná obsluha štandardných meracích zariadení a prístrojov. Tie sú navyše pripojené na internet pomocou IoT zariadení (skratka z angl. „Internet of Things“) (Perkel, 2017), ktoré umožňujú sledovať a riadiť experimenty v reálnom čase, a to buď priamo prostredníctvom internetového prehliadača, alebo pomocou aplikácie v inteligentnom telefóne. Za pomoci open source elektroniky čoraz častejšie vznikajú takzvané „smart-labs“ („chytré laboratóriá“), sú to automatizované laboratóriá, ktoré počas meraní rôznymi dostupnými senzormi dokážu automaticky zaznamenávať a ukladať namerané dáta. Tento proces šetrí čas pozorovateľa meraní a uľahčuje prácu s údajmi. „Smart-labs“ môžu byť riadené bez fyzickej prítomnosti pozorovateľa v laboratóriu a umožňujú nám jednoduchý prístup ku nameraným údajom (Perkel, 2017).

## 1 Meranie atmosférických zrážok

---

Meranie atmosférických zrážok je základnou úlohou v meteorológii a klimatológii. Meranie úhrnu zrážok na zemskom povrchu je primárnym zdrojom údajov potrebných na riešenie mnohých úloh v hydrológii, meteorológii, klimatológii, biológii, ale aj agronómii či vodnom hospodárstve (Ptáček, 2012). Slovenský hydrometeorologický ústav (SHMÚ) okrem iného zabezpečuje monitoring vodných stavov, hladín podzemných vôd, zrážok, výšok snehovej pokrývky, rýchlosti a smeru vetra.

Atmosférické zrážky vznikajú kondenzáciou alebo sublimáciou vodnej pary v atmosfére. Zrážky poznáme vertikálne, ktoré v dôsledku gravitácie vypadávajú z oblakov (hmiel) v kvapalnom alebo tuhom skupenstve. Patria sem dážď, sneh, krúpy. Horizontálne zachytené, sa vytvárajú v atmosfére v dôsledku horizontálneho prúdenia a zachytávajú sa na prekážkach. Patria sem zrážky z hmly a zrnitá námraza. Horizontálne usadené, vznikajú v dôsledku sublimácie resp. kondenzácie vodnej pary na povrchoch predmetov. Patria sem napr.: horizontálne zrážky z rosy, srieň, osuheľ, šedý mráz, inovať. Meranie atmosférickej vody sa týka zrážok padajúcich k zemi t.j. vertikálnych zrážok. Pri výskyte zrážok pozorujeme najmä, čas výskytu a dobu trvania, množstvo a intenzitu zrážok.

Množstvo (úhrn) zrážok zväčša vyjadrujeme výškou stĺpca vody, najčastejšie v milimetroch. Najbežnejším princípom merania úhrnu tekutých atmosférických zrážok je určenie objemu spadnutých zrážok na známu plochu zrážkomera. Tento vzťah možno vyjadriť ako:

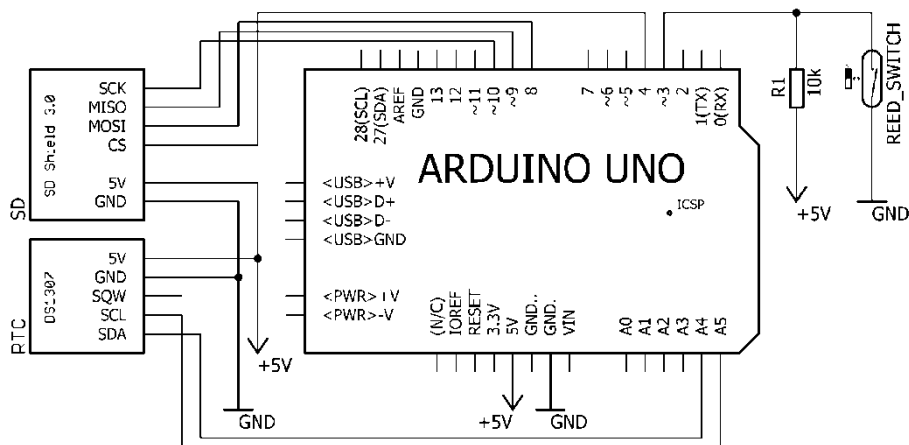
$$Z = V/S \quad (1)$$

kde:  $Z$  – množstvo zrážok [mm]  
 $V$  – objem spadnutých zrážok [mm<sup>3</sup>]  
 $S$  – záchytná plocha zrážkomera [mm<sup>2</sup>]

## 2 Návrh a kalibrácia preklápacieho zrážkomera

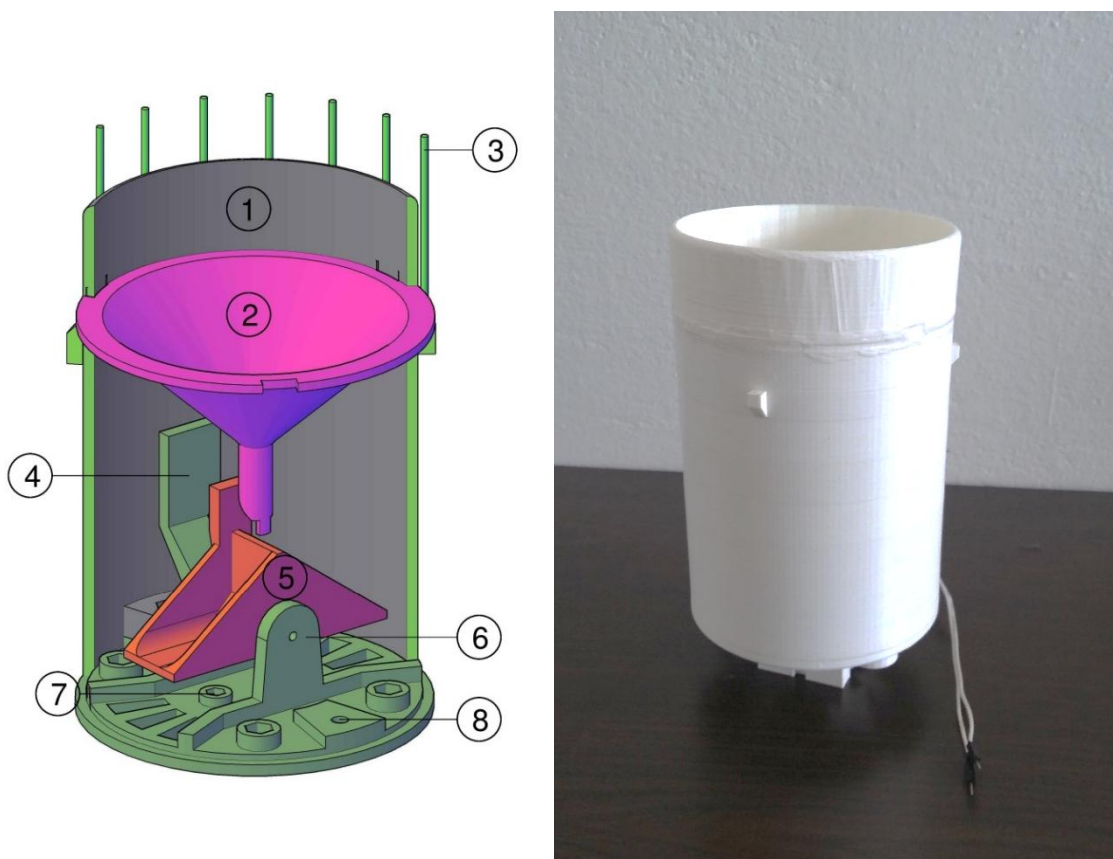
Zrážkomer bol navrhnutý ako preklápací, s dvojitým člnkom. Je to relatívne jednoduchý systém merania zrážok. Výhodou takejto konštrukcie je, že preklápací zrážkomer je možné inštalovať aj v odľahlejších oblastiach, pričom zrážkomer zaznamenáva a ukladá zaznamenané dáta na pamäťové médium. Nevýhodou sú chyby meraní vzniknuté pri extrémne vysokých úhrnoch zrážok, alebo pri drobnom mrholení, kedy vznikajú straty výparom (Humphrey, 1997).

Elektronika stanice využíva platformu Arduino, čo umožňuje jednoduché zapojenie jej komponentov, ktoré sú dodávané vo forme modulov, alebo tzv. štítov (Obr. 1). Výhodou je aj jednoduchý programovací jazyk a veľké množstvo voľne dostupných výukových materiálov. Ako riadiaca jednotka bola vybraná základná doska Arduino Uno R3, ktorá patrí medzi najrozšírenejšie dosky Arduino. K riadiacej jednotke boli pomocou jednoduchých konektorov pripojené ďalšie štyri komponenty, a to bez potreby spájkovania. Senzor zrážkomera tvorí jednoduchý magnetický spínač, ktorý zaznamená preklopenie vždy, keď sa člnok preklopí z jednej polohy do druhej. Mikroprocesor používa časový modul, ktorý zaznamenáva preklopenia v reálnom čase a taktiež modul, umožňujúci využiť SD kartu ako úložisko nameraných údajov. Posledným komponentom bol 10 kΩ uhlíkový rezistor, slúžiaci ako „pull-up“ rezistor pre zabránenie chybových zopnutí spínača.



Obr.1: Schéma zapojenia zrážkomera.

Mechanické časti zrážkomera, sú vyrobené za pomoci 3D tlače. V rámci práce bol pre tlač jednotlivých komponentov využitý biely termoplastický materiál ABS. Tento materiál sa vyznačuje vysokou pevnosťou a odolnosťou voči UV žiareniu. Preklápací člnok bol navrhnutý s otočnou osou situovanou pod jeho ťažiskom. To zabezpečuje nerovnovážny stav, pri ktorom je vždy jedna komôrka situovaná pod zberným lievikom. Preklápací člnok má konzolu, na ktorej je umiestnený magnet slúžiaci na spínanie magnetického spínača. Na podstave zrážkomera je umiestnená ďalšia konzola, na ktorej je umiestnený magnetický spínač. Vždy keď sa člnok preklopí z jednej strany na druhú, magnet prejde okolo spínača a zrážkomer zaznamená jedno preklopenie. 3D model navrhnutého dvojkomorového zrážkomera je zobrazený na (Obr.2).



Obr.2: Navrhnutý dvojkomorový preklápací zrážkomer: vľavo - 3D model, vpravo - hotový prototyp. Časti zrážkomera: 1) obal zrážkomera, 2) lievnik, 3) bodce proti sadaniu vtáctva, 4) konzola držiaca magnetický spínač, 5) dvojkomorový člnok s konzolou držiacou magnet, 6) podstava s konzolami na uchytienie člnka, 7) otvor na kalibračnú skrutku, 8) otvor na skrutku spájajúcu obal s podstavou.

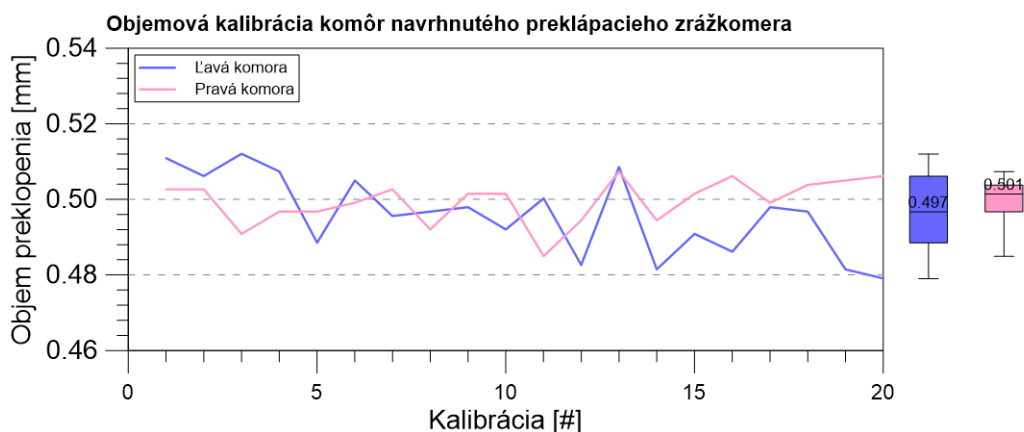
Kalibrácia zrážkomera spočívala v určení objemu vody, potrebného na jedno preklopenie člnka zrážkomera. Pri objemovej kalibrácii zrážkomera, bol zistený objem vody potrebný na jedno preklopenie člnka, prepočítaný na úhrn zrážky v mm. Našou snahou bolo nakalibrovať obidve komory zrážkomera pomocou kalibračných skrutiek tak, aby bol pre obidve komory preklápacieho člnka potrebný rovnaký objem vody na jedno preklopenie.

### Objemová kalibrácia zrážkomera

Objemová kalibrácia prebehla v laboratórnych podmienkach. Vybavenie potrebné na objemovú kalibráciu je: laboratórna strička, laboratórna váha s presnosťou na 0,01 g a teplomer.

Postup pri kalibrácii bol nasledovný. V prvom kroku bola laboratórna strička, naplnená čistou vodou, odvážená na presných laboratórnych váhach. Hmotnosť stričky s vodou bola zaznamenaná ako hmotnosť na začiatku kalibrácie. V ďalšom kroku bola postupným kvapkaním malého množstva vody plnená komora zrážkomera až do momentu preklopenia člnka a jej vyprázdnenia. Pri plnení komory zrážkomera bolo dbané na to, aby bola voda kvapkaná z rovnakej výšky v akej sa nachádza vyústenie zberného lievika. Po preklopení člnka zrážkomera bola strička opätovne odvážená, pričom bola zaznamenaná jej hmotnosť ako hmotnosť na konci kalibrácie. Z rozdielu váh na začiatku a na konci kalibrácie bola stanovená hmotnosť vody potrebnej na preklopenie člnka z jednej polohy do druhej. Pred samotnou objemovou kalibráciou bola zaznamenaná aj teplota vody, ktorá bola stanovená na hodnotu 22°C. Objemová hmotnosť vody pri tejto teplote je 997,7 kg/m<sup>3</sup> (Bafrcová a kol. 2000) Jednoduchým prepočtom nameranej váhy vody potrebnej na preklopenie člnka zrážkomera a prislúchajúcej objemovej hmotnosti pri danej teplote bolo možné stanoviť objem vody potrebný na preklopenie v mililitroch. Samotná objemová kalibrácia navrhovaného zrážkomera pozostávala z postupného nastavovania jeho dvoch kalibračných skrutiek až do momentu dosiahnutia rovnakého

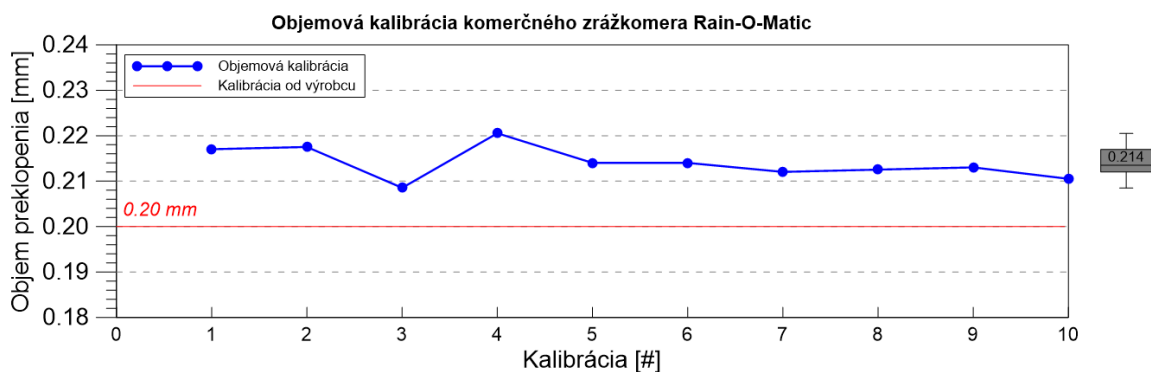
objemu potrebného na preklopenie člnka zrážkomera pri plnení oboch jeho komôr. Navyše, pomocou kalibračných skrutiek bol nastavený tento objem tak, aby jedno preklopenie zodpovedalo zrážke o veľkosti 0,5 mm (cca 4,2 ml). Po nastavení kalibračných skrutiek do finálnej polohy, bola objemová kalibrácia zopakovaná dvadsaťkrát pre obe komory člnka. Výsledky kalibrácie sú zobrazené na (Obr. 3). Priemerná hodnota zrážky potrebnej na preklopenie člnka zrážkomera pri plnení jeho ľavej komory je 0,496 mm ( $\pm 0,01$  mm). Obdobné výsledky boli dosiahnuté pri plnení pravej komory s výškou zrážky zodpovedajúcou 0,499 mm ( $\pm 0,006$  mm).



Obr.3: Výsledky objemovej kalibrácie navrhnutého dvojkomorového preklápacieho zrážkomera. Krabicové grafy v pravej časti obrázka reprezentujú rozptyl a medián hodnôt objemu vody potrebnej na jedno preklopenie oboch komôr zrážkomera.

Rovnakým spôsobom bolo otestované aj deklarované rozlíšenie komerčného zrážkomera Rain-O-Matic Professional. Produktový list zrážkomera udáva, že množstvo vody potrebného na preklopenie člnka zodpovedá zrážke 0,2 mm (pri ploche zberného valca 200 cm<sup>2</sup> to zodpovedá objemu 4 ml). Priemerná hodnota objemu vody potrebnej na jedno preklopenie člnka pri objemovej kalibrácii komerčného zrážkomera bola 4,28 ml, čo v prepočte na výšku zrážky predstavuje 0,214 mm. Výsledky testovania komerčného zrážkomera sú zobrazené na (Obr. 4).

Z tejto kalibrácie nám vychádza, že oproti certifikovanej kalibrácii zrážkomer nadhodnocuje zrážky o 7%. Nie je to však chyba kalibrácie výrobcu, ten totiž do softvéru zrážkomera zahŕňa aj čas preklopenia člnka v milisekundách a vplyv intenzity zrážky, ktorá dopadá na zbernú plochu zrážkomera. Táto chyba je zahrnutá do údajov uložených v pamäti komerčného zrážkomera a je softvérovou automaticky korigovaná vo výsledkoch. Z toho dôvodu je dôležité vykonať aj dynamickú kalibráciu nami navrhnutého zrážkomera.



Obr. 4: Výsledky objemovej kalibrácie komerčného zrážkomera.



## Dynamická kalibrácia zrážkomera

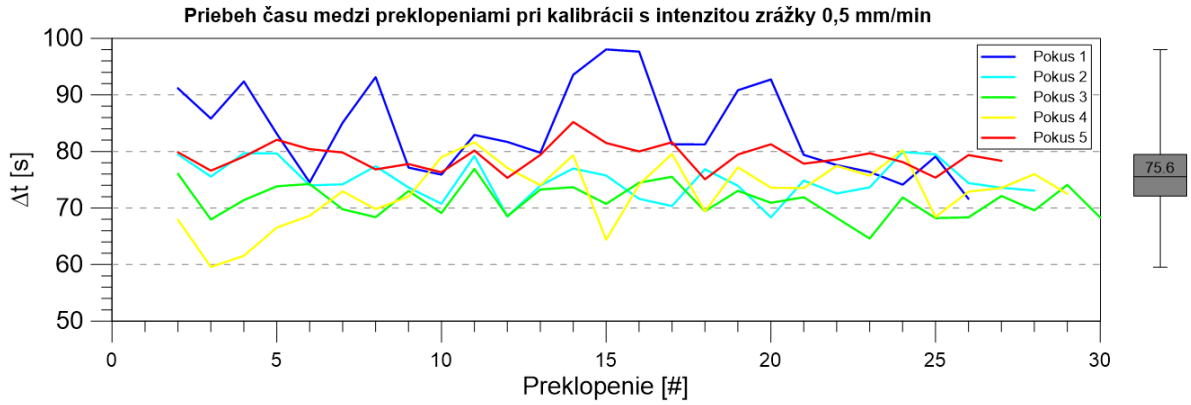
Základnou kalibráciou, bola objemová kalibrácia, v rámci ktorej bol stanovený objem vody potrebný na jedno preklopenie člnka. V prípade osadenia zrážkomera do terénu je však potrebné zohľadniť aj vplyv intenzity zrážky na percentuálnu chybu jej merania. Väčšie hodnoty intenzity dažďa môžu spôsobiť väčšie percentuálne straty vody. Pri nižších intenzitách zas naopak môže dôjsť k tomu, že v člnku ostane voda, čo pri ďalšej zrážke môže spôsobiť nepresnosť pri prvom preklopení a teda následné skreslenie nameranej intenzity (Shedekar a kol., 2016). Cieľom dynamickej kalibrácie bolo zistiť odchýlku medzi objemom vody potrebnej na jedno preklopenie, ktorý sme určili objemovou kalibráciou a objemom vody ktorý reálne člnok preklopí, pri zmene intenzity ktorou voda dopadá do zrážkomera.

Dynamická kalibrácia prebehla v laboratórnych podmienkach. Základná zostava pozostávala zo zrážkomera, peristaltickej pumpy, hardvéru Arduino, nádoby na vodu, stojanu a počítača cez ktorý bola kalibrácia regulovaná. Základná zostava je zobrazená na (Obr. 5). Kalibrácia prebehla tak, že peristaltická pumpa bola nastavená na simulovanie dažďa s intenzitami v rozmedzí 0,5 až 3,5 mm/min s krokom 0,5 mm/min. Pumpa prečerpávala známy objem vody 150 ml pre intenzity 0,5 až 2 mm/min a 250 ml pre intenzity 2,5 až 3,5 mm/min. Voda bola prečerpávaná priamo do zberného lievika zrážkomera, ktorý zaznamenával preklopenia, časový krok medzi preklopeniami a výšku zrážky od začiatku kalibrácie.

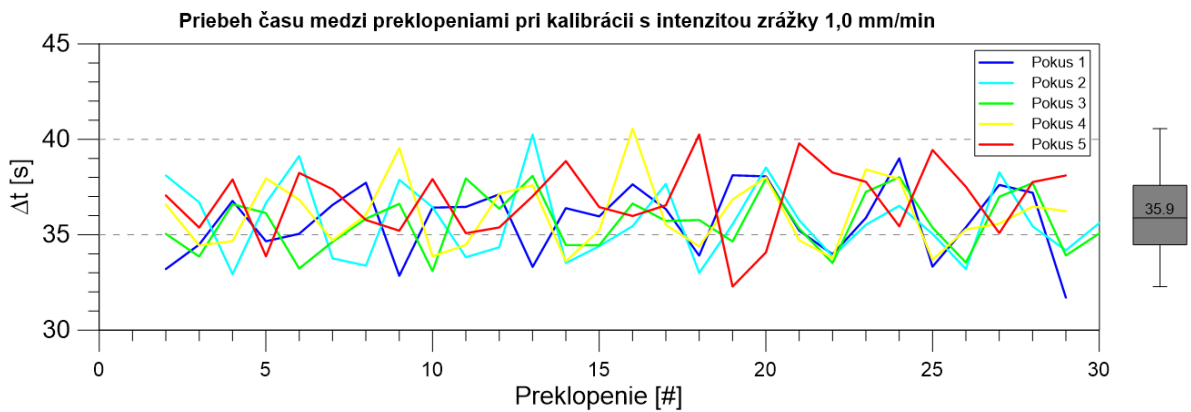


Obr. 2: Priebeh a aparatúra dynamickej kalibrácie.

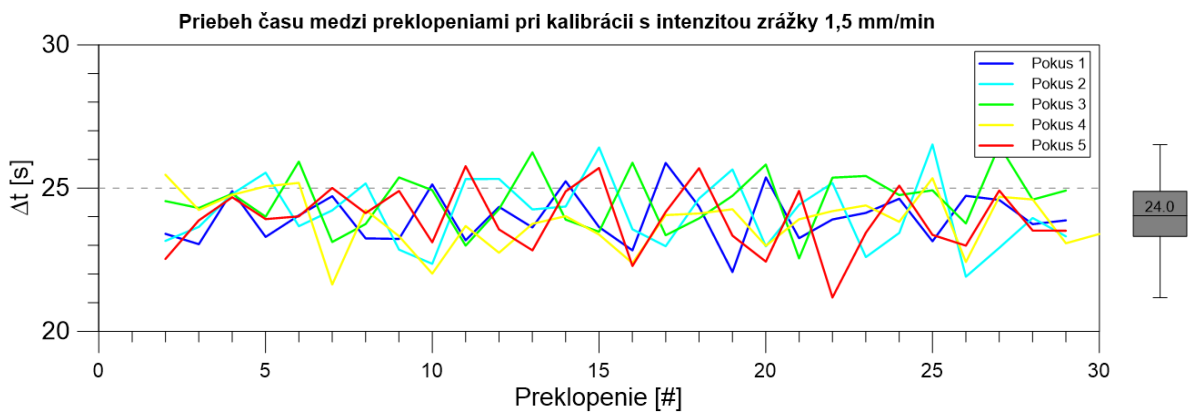
Pre každú intenzitu bolo vykonaných päť na sebe nezávislých meraní. Ako prvý bol vyhodnotený čas medzi preklopeniami. Tento ukazovateľ hovorí o tom, či je pumpa schopná dodávať konštantný prietok zodpovedajúci zvolenej intenzite dažďa. Po vyhodnotení sme zistili, že pri nižších intenzitách, hlavne pri intenzite 0,5 mm/min (Obr. 6), bol časový rozptyl medzi preklopeniami pomerne veľký. To naznačuje, že pumpa pri malej intenzite nedodáva konštantný prietok, čo môže byť spôsobené slabým pritlačením hadičky pumpy o stenu prístroja. Pri vyšších intenzitách začali hodnoty času medzi dvomi preklopeniami oscilovať okolo jednej strednej hodnoty, pričom čím väčšia bola intenzita dažďa, tým menší rozptyl bol zaznamenaný (Obr. 6-12). Krabicové grafy zobrazené v pravej časti grafických výstupov zobrazujú rozptyl nameraných hodnôt.



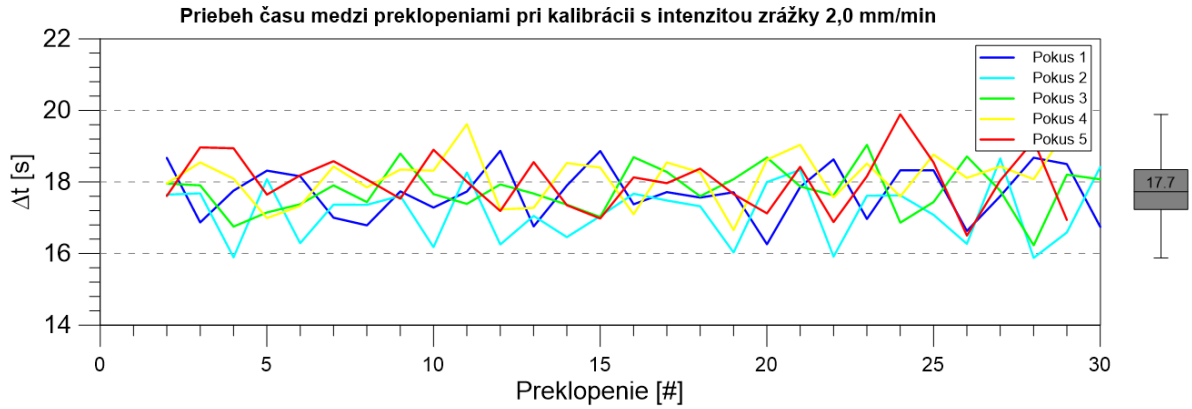
Obr. 6: Priebeh času medzi preklopeniami pri intenzite 0,5 mm/min



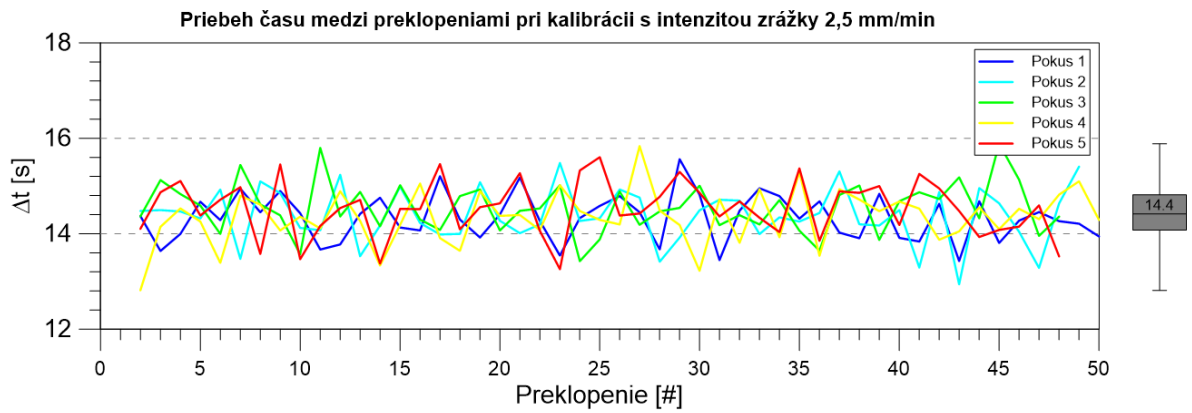
Obr. 7: Priebeh času medzi preklopeniami pri intenzite 1,0 mm/min.



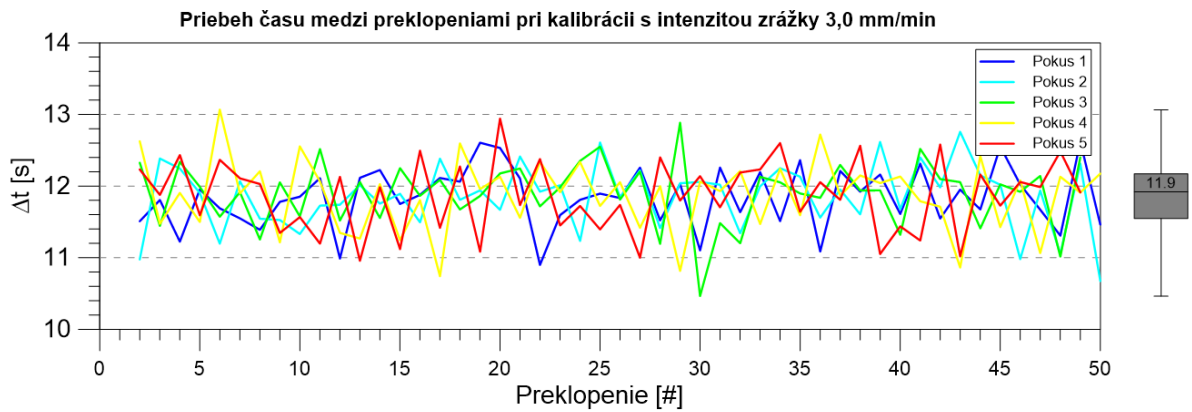
Obr. 8: Priebeh času medzi preklopeniami pri intenzite 1,5 mm/min.



Obr. 9: Priebeh času medzi preklopeniami pri intenzite 2,0 mm/min.

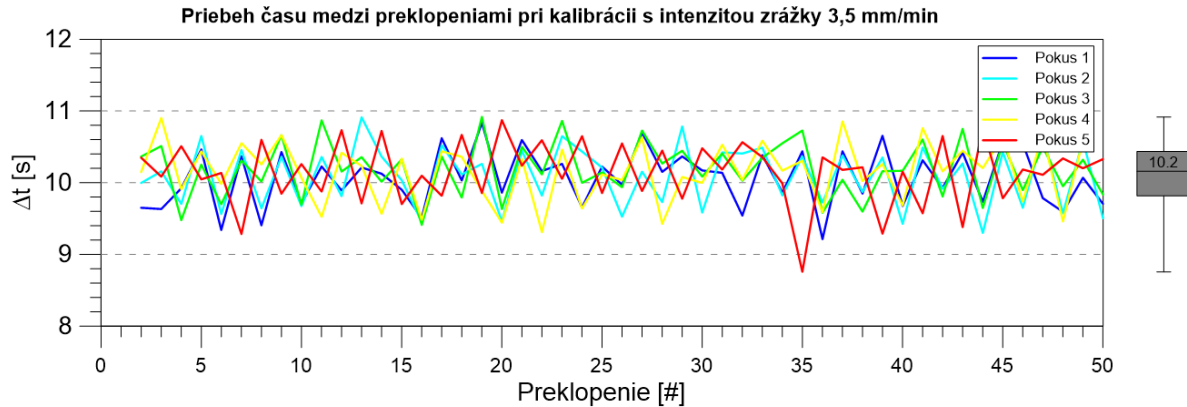


Obr. 10: Priebeh času medzi preklopeniami pri intenzite 2,5 mm/min.



Obr. 11: Priebeh času medzi preklopeniami pri intenzite 3,0 mm/min.





Obr. 12: Priebeh času medzi preklopeniami pri intenzite 3,5 mm/min.

Ďalším skúmaným parametrom bol vplyv intenzity dažďa na percentuálnu chybu zrážkomera. Percentuálna chyba bola vypočítaná podľa nasledovného vzťahu:

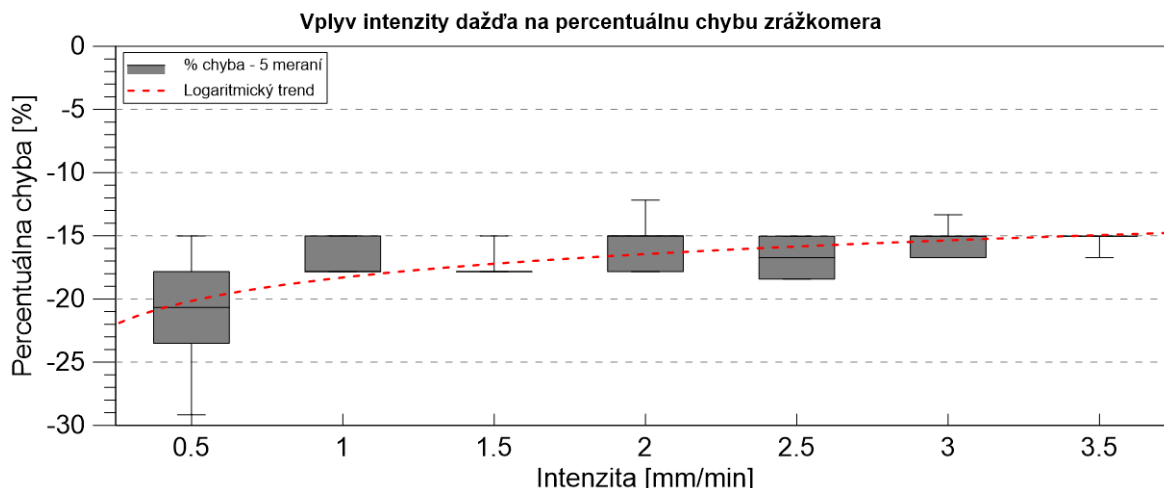
$$\%_{chyba} = \frac{Z_{mer} - Z_{pump}}{Z_{pump}} \cdot 100 \quad (2)$$

kde:  $\%_{chyba}$  – percentuálna chyba [mm]  
 $Z_{mer}$  – meraný úhrn [mm]  
 $Z_{pump}$  – skutočný prečerpaný úhrn [mm]

Meraný úhrn zrážky predstavuje úhrn, ktorý bol pri kalibrácii nameraný zrážkomerom, ako zrážka ktorá prepadla cez zrážkomer. Skutočný úhrn zrážky predstavuje prietok dodávaný peristaltickou pumpou.

Výsledky naznačujú, že nami navrhnutý zrážkomer podhodnocuje hodnoty intenzít dažďa, ktoré sú do neho dodávané pomocou peristaltickej pumpy. Pri najmenšej intenzite 0,5 mm/min, bola priemerná percentuálna chyba -21,2 %. Pri ostatných intenzitách už odchýlka oscilovala okolo priemernej hodnoty -16,2 %. Výsledky dynamickej kalibrácie sú zobrazené na (Obr. 13) formou krabicových grafov. Tie zobrazujú závislosť medzi intenzitou zrážky a percentuálnou chybou merania. Táto závislosť predstavuje logaritmický trend.

Napriek tomu, že nami navrhnutý zrážkomer podhodnocuje intenzity dažďa, tak podobné výsledky dosiahol vo svojej práci aj (Shedekar a kol. 2016), ktorý pracoval na dynamickej kalibrácii, troch rôznych komerčných zrážkomerov. Pri všetkých troch zrážkomeroch došlo k podhodnocovaniu a väčšiemu rozptylu nameraných údajov pri nižších intenzitách (Shedekar a kol., 2016).

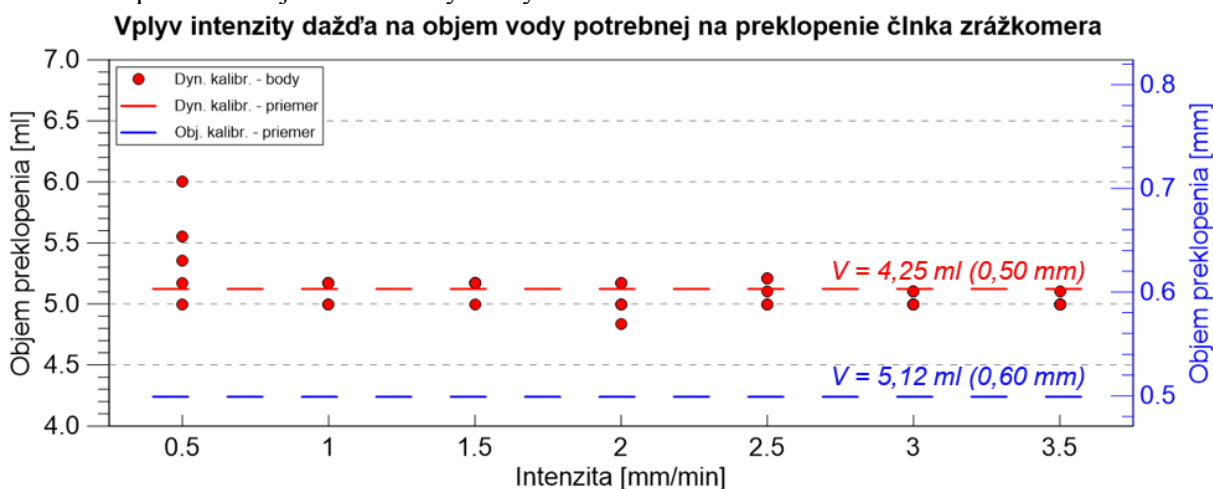


Obr. 13: Vplyv intenzity dažďa na percentuálnu chybu zrážkomera.

V našom prípade môže byť časť chyby spôsobená napr. nižším rozlíšením komôr člnka zrážkomera alebo nevyrovnaným výkonom peristaltickej pumpy (hlavne pri menších intenzitách). Lepšie výsledky by mohli byť dosiahnuté úpravou pumpy, a to napríklad použitím hadičky menšieho priemeru vo vnútri pumpy, alebo nakalibrovaním pumpy na vyššie otáčky, pričom pumpa pracuje optimálne pri napätí 12 V a jemu zodpovedajúcemu počtu otáčok za minútu 42,5.

Pri vytváraní výsledného kódu, na ktorý bude zrážkomer naprogramovaný, treba vziať do úvahy jeho podhodnocovanie a pri korigovaní výsledkov, zakomponovať výslednú chybu zistenú pri dynamickej kalibrácii zrážkomera.

Ako posledná bola vyhodnotená závislosť intenzity dažďa od vypočítaného objemu vody potrebného na preklopenie člnka zrážkomera. V prvom kroku bol zo známeho objemu vody, ktorú peristaltická pumpa prečerpala do zrážkomera a známeho počtu preklopení člnka zrážkomera, vyjadrený objem vody potrebný na jedno preklopenie člnka. Výsledný objem potrebný na jedno preklopenie sme dali do závislosti s intenzitou. Táto závislosť nám opäť ukázala veľký rozptyl pri najmenšej intenzite 0,5 mm. Pri vyšších intenzitách, už objem vody potrebný na jedno preklopenie člnka osciloval okolo priemernej hodnoty. Na (Obr. 14) je vyznačená priemerná hodnota objemu vody potrebného na jedno preklopenie, vypočítaná pomocou objemovej kalibrácie, aj dynamickej kalibrácie. Pri objemovej kalibrácii vyšla priemerná hodnota 4,25 ml čo predstavuje 0,50 mm zrážky a pri dynamickej kalibrácii 5,12 ml čo predstavuje 0,60 mm zrážky. Tento rozdiel je spôsobený tým, že zrážkomer podhodnocuje namerané výsledky.



Obr. 14: Vplyv intenzity dažďa na odhadovaný objem vody potrebný na preklopenie člnka zrážkomera.

## Záver

---

Cieľom našej práce bolo vytvoriť funkčný prototyp člnkového zrážkomera, schopný zaznamenávať úhrny zrážok. Toto všetko za pomoci 3D modelovania, 3D tlače a ovládania pomocou open source elektroniky Arduino. Pri kalibrácii zrážkomera, sme zistili že zrážkomer podhodnocuje namerané údaje v priemere o 16%. Výsledky dynamickej kalibrácie ukázali, že čas medzi jednotlivými preklopeniami člnka zrážkomera mal minimálny rozptyl čo znamená, že použitá peristaltická pumpa dodávala konštantný prietok. Podhodnocovanie údajov zrážkomerom môže byť spôsobené nižším rozlíšením kvality komôrok preklápacieho člnka, náhodnými chybami v kalibrácii alebo aj chybou ktorú mohla spôsobiť peristaltická pumpa. Na podhodnocovanie nameraných zrážok zrážkomerom, však určite vplýva najväčšou mierou intenzita, pri ktorej voda vteká do zrážkomera.

Menšie intenzity dosahovali väčší rozptyl medzi nameranými hodnotami. Peristaltická pumpa totiž pracuje optimálnejšie vo vyšších otáčkach, táto chyba by sa dala odstrániť výmenou hadičky v peristaltickej pumpe za hadičku s menším priemerom. Takto by mohla pumpa pri rovnakých intenzitách, pracovať vo vyšších otáčkach a dosahovala by presnejšie prietoky.

V dnešnej dobe je na trhu mnoho komerčných zrážkomerov, ktoré sú pre svoju cenu nedostupné pre mnohé výskumné organizácie. V rámci tejto práce sme sa snažili vytvoriť zrážkomer, ktorý bude pracovať v ľubovoľnom časovom kroku, bez nutnosti každodennej fyzickej prítomnosti pozorovateľa. Automatické meranie zrážok, ukladanie, poprípade odosielanie dát priamo do osobného počítača, ušetrí mnoho času a zefektívni prácu hydrológov. Nami navrhnutý prototyp, bol vyhotovený cca za 50 €, v porovnaní s komerčnými zrážkomermi, ktorých obstarávacia cena je rádovo vyššia, sa jeho nízka cena ukazuje ako veľká výhoda. Treba však zobrať do úvahy, že kalibrácia prístroja, výroba modelu, vyhotovenie v 3D tlačiarňi, ako aj vytvorenie riadiaceho kódu open source elektroniky, je časovo náročné.

## Pod'akovanie

Tento článok bol vytvorený realizáciou projektu Tvorba a vývoj environmentálnych technológií pri protipovodňovej ochrane sídiel Malokarpatskej oblasti - prípadová štúdia Modra a ITMS kód projektu 26240220019, na základe podpory operačného programu Výskum a vývoj financovaného z Európskeho fondu regionálneho rozvoja.

## Literatúra

---

Hoskins, S. *3D Printing for artists, designers and makers*. 1st ed. London: Bloomsbury, 2013.143 strán. ISBN 9781408173794.

Humphrey, M.D., Istok J.D., et al., *A New Method for Automated Dynamic Calibration of Tipping-Bucket Rain Gauges*, Department of Civil Engineering, Oregon State University, Corvallis, Oregon 1997, s.: 1513-1519.

Perkel, M. Jeffrey, *The internet of things comes to the lab*, vol. 542, issue 7639, 2017 Nature, s.: 124-126.

Ptáček, T.: Chyby a opravy měření atmosférických srážek, Diplomová práce, katedra fyzické geografie a geoekologie, Univerzita Karlova v Praze, Praha 2012, s. 10 – 11.

Shedekar, S.V., King K.W., Fausey, N.R., Soboyejo, A.B.O., Harmel, R.D., Brown, L.C. *Assessment of measurement errors and dynamic calibration methods for three different tipping bucket rain gauges*, Atmospheric Research, Department of Agricultural and Biological Engineering, The Ohio State University, Ohio 2016, vol. 178-179, s. 445 - 458

Bafrcová, S., Šefčíková M., Vajda M., *Chemické inžinierstvo tabuľky a grafy*, Slovenská technická univerzita v Bratislave, Chemickotechnologická fakulta 2000, s.: 34.