



FAKULTA
STROJNÍ
ČVUT V PRAZE

Ústav konstruování a částí strojů

Návrh srážkoměru ERGS 2500

Rain Gauge ERGS 2500 design

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

2017

Jan KREJČÍ

Studijní program: B2342 TEORETICKÝ ZÁKLAD STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

Studijní obor: 2301R000 Studijní program je bezoborový

Vedoucí práce: Ing. Jan Kanaval, Ph.D.



Prohlášení

Prohlašuji, že jsem svou práci vypracoval samostatně pod dohledem svého vedoucího, použil jsem pouze podklady (literaturu, SW atd.) uvedené v příloženém seznamu a postup při zpracování a dalším nakládání s prací je v souladu se zákonem č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) v platném znění.

V dne

podpis:



Poděkování

Děkuji panu Ing. Janu Kanavalovi, Ph.D., vedoucímu mé bakalářské práce, za vedení, zájem, připomínky a čas, který mi věnoval. Dále bych chtěl poděkovat Aleši Sirůčkovi, který mne na problematiku měření dešťových srážek navedl. Vojtěchu Merglovi, jenž se na tomto projektu podílí od samého začátku a Štěpánu Hrnčířovi, který po softwarové stránce oživoval první verzi srážkoměru. Mé poděkování patří také mému otci, v jehož dílně byla první verze vyrobena.

Abstrakt

Bakalářská práce pojednává o návrhu zařízení určenému k měření dešťových srážek nazvaného ERGS 2500. Teoretickou část práce tvoří rešerše současné problematiky detekce dešťových srážek, dále práce popisuje výrobu a funkčnost prvního prototypu zařízení. Hlavním cílem bylo zhodnotit funkčnost první verze a na základě těchto poznatků a znalostí nabytých při studiu na Fakultě strojní ČVUT v Praze navrhnout optimalizovanou verzi zařízení a zpracovat její výkresovou a 3D dokumentaci.

Abstract

The topic of the bachelor's thesis is designing the equipment for measuring precipitation called ERGS 2500. The theoretical part of the thesis is comprised of research of the current issue of precipitation detection and subsequent design and production of the first prototype based on measuring with the use of strain gauge. The main objective was to evaluate the functionality of the first model and then to design an optimized version of the device and create drawings and 3D modelling based on knowledge gained during the study at the Faculty of Mechanical Engineering at CTU in Prague.



Obsah

1. Úvod.....	6
2. Teoretická příprava a první verze.....	6
2.1. Měření dešťových srážek.....	6
2.1.1. Mapy srážkových úhrnů.....	9
2.2. Druhy srážkoměrů.....	10
2.2.1. Odměrný válec.....	10
2.2.2. Člunkový srážkoměr.....	11
2.2.3. Ombrograf.....	12
2.2.4. Váhový srážkoměr.....	13
MRW500.....	14
2.3. Návrh první verze.....	15
2.3.1. ERGS 2500 verze 1.....	15
3. ERGS 2500 verze 2.....	19
3.1. Princip měření.....	19
3.2. Materiál.....	22
3.3. Konstrukce.....	23
Povrchová úprava.....	25
3.4. Vybavení a ovládání zařízení.....	25
3.4.1. Tenzometrický snímač.....	25
3.4.2. Solenoidový ventil.....	26
3.4.3. Temperování zařízení.....	26
3.4.4. Simulace měření.....	27
3.5. Odolnost konstrukce v silných povětrnostních podmínkách [25].....	30
3.5.1. Výpočet ohybu stojny srážkoměru [27].....	32
3.5.2. Výpočet obvodového koutového svaru [26].....	34
3.5.3. Pevnostní výpočet šroubů určených k upevnění srážkoměru [26], [28], [29].....	36
Působení montážního předpětí.....	36
Působení větru na namáhání šroubů [26].....	37
Řešení tuhosti šroubového spoje.....	39
Kontrola výsledného napětí ve šroubu a výpočet bezpečnosti.....	41
Kontrola tlaku v závitu a pod maticí.....	41
4. Závěr.....	42
Seznam použitých symbolů.....	44
Seznam použité literatury.....	45
Seznam obrázků.....	48
Seznam tabulek.....	48
Seznam příloh.....	48

1. Úvod

Jako téma této bakalářské práce byl zvolen vlastní projekt, jehož řešení započalo v průběhu mého studia na Gymnáziu Havlíčkův Brod. Nejdříve bylo zjištěno, jaké parametry jsou při měření srážek relevantní, co je třeba dodržet a samozřejmě jaké možnosti řešení nabízí trh. Uskutečnily se konzultace s meteorology ve dvou objektech Českého hydrometeorologického ústavu a byly zjištěny úskalí a nedostatky současných výrobků. Na základě zjištěných poznatků byl navržen vlastní systém. Hlavními očekávanými vlastnostmi finálního produktu byly jednoduchost, bezobslužnost, přesnost a možnost získávat data v reálném čase.

Po dokončení a oživení prototypu se projekt úspěšně zúčastnil Středoškolské odborné činnosti a Expo science Amavet, kde obdržel ocenění Americké meteorologické společnosti. Při prezentacích průběhem času a při testování došlo k specifikaci nedokonalostí prototypového řešení. Následně již se základními znalostmi konstruování, technologie a dalších strojírenských oborů byla navržena druhá verze, optimalizovaná pro snadnou výrobu, jednoduchou údržbu a nízké ekonomické nároky.

2. Teoretická příprava a první verze

2.1. Měření dešťových srážek

Srážky v hydrometeorologii znamenají jakýkoli produkt kondenzace vodní páry v atmosféře. Hlavní formou tohoto jevu je déšť, popřípadě sníh a kroupy. Množství spadných srážek se udává v milimetrech. Spadne-li na 1 m^2 ($10\,000 \text{ cm}^2$) vodorovné záchytné plochy množství vody 1000 cm^3 , je to srážka o výšce 1 mm. Záchytná plocha srážkoměru je 500 cm^2 , čili $1/20 \text{ m}^2$, to znamená, že k zachycení srážky o výšce 1 mm srážkoměrem postačí, aby spadla $1/20$ litru vody = $50 \text{ cm}^3 \approx 50 \text{ g}$. Srážky pod 0,1 mm se považují dle Českého hydrometeorologického institutu za neměřitelné. Mezinárodní

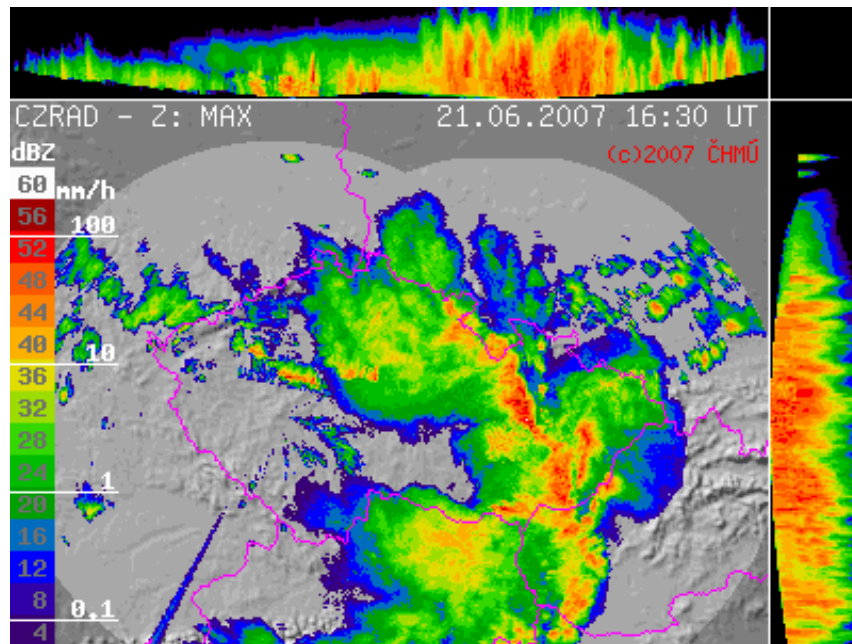
pravidla hovoří o neměřitelných srážkách v hodnotě pod 0,005 palce, což odpovídá hodnotě 0,127 mm. [1] V tabulce 1 je rozdělení srážek dle intenzity.

Tabulka 1: Rozdělení úhrnu srážek dle intenzity [2]

intenzita	déšť (mm/h resp. kg/m ² /h)	sněžení (cm/h)
velmi slabá	neměřitelné množství	jednotlivé vločky, které nepokrývají celý exponovaný povrch bez ohledu na délku trvání jevu
slabá	0,1 – 2,5	< 0,5 : neovlivňuje dohlednost
mírná	2,6 – 8	0,6 – 4 : dohlednost mírně zhoršená
silná	8 – 40	> 4 : dohlednost zhoršená na 500 m
velmi silná	> 40	krátkodobé intenzivní sněhové přeháňky – dohlednost pod 500 m

Každý rok spadne celosvětově přibližně 505 000 krychlových kilometrů vody. Tato skutečnost nás ovlivňuje téměř každý den. Důvodů, proč dešťové, případně sněhové srážky měřit a zaznamenávat, je mnoho. Primárním důvodem je předpověď počasí. Této aplikaci bude podrobněji věnována pozornost v následující kapitole. Okamžitá informace o aktuálních srážkách je velmi důležitá pro povodí řek. Včasný zásah, regulace vodních cest, či jiná rychlá opatření zabrání mnohým povodňovým následkům a škodám. Dalšími odvětvími, kde je důležité znát včasný a přesný údaj o úhrnu srážek důležité znát, je letectví a zemědělství. Větší i střední města pak využívají data ze srážkoměrů pro včasnou reakci při povodňových situacích. Od chvíle, kdy do srážkoměru umístěným na střeše domu začnou padat srážky, do doby, než je na čističce odpadních vod pod městem zjištěn havarijní nárůst přitékající vody, uběhne spousta času, během kterého lze předejít plným kanálům, zatopeným sklepům a dalším škodám. Výše uvedená tabulka Českého hydrometeorologického ústavu rozdělení srážek dle intenzity má číselně definované meze. Publikace *Meteorology: The Atmosphere and The Science of Weather* uvádí, že v případě běžných přeháňek jde nejčastěji o množství desetin až jednotek milimetrů. Hodnoty (20 – 30) mm představují již dost silné, zpravidla bouřkové lijáky 100 mm spadlých srážek nebo více se dosahuje v extrémních přívalových lijácích s katastrofálními následky. U srážek trvalejšího charakteru představuje například

(30 – 50) mm spadlých srážek za den již velmi významné množství. Hodnoty kolem 100 mm za den zpravidla vedou k povodňovým událostem, opakují-li se po více dnů za sebou, jde o mimořádné události s katastrofami velkého rozsahu. Roční množství spadlých na území České Republiky se v průměru pohybuje od hodnot pod 500 mm v nejsušších oblastech až k množství přesahujícím 1300 mm. [1], [2], [3]



Obrázek 1: Grafické zobrazení dat z meteorologických radarů [3]

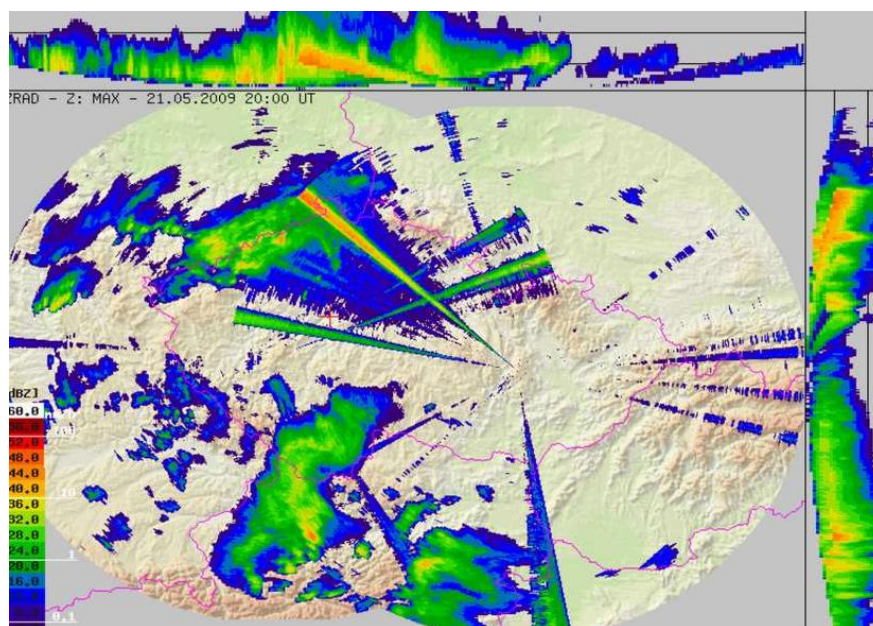
2.1.1. Mapy srážkových úhrnů

Předpověď počasí, hlavně deště, vychází z map srážkových úhrnů, které vznikají jako kombinace údajů z meteorologických radiolokátorů radarové sítě Českého hydrometeorologického ústavu a z dostupných měření srážkoměrů.

Tato metodika tvoří plošný odhad z radarů, který je lokálně upřesňován srážkoměry. Výstupní kvalita srážkoměrných měření je dána i hustotou stanic. V případě, že alespoň jeden z radarů měří méně než 80 % daného časového intervalu, (např. z důvodů poruchy systému, nebo servisních prací) nahrazuje se tato kombinace výpočtem využívajícím pouze srážkoměrné údaje.

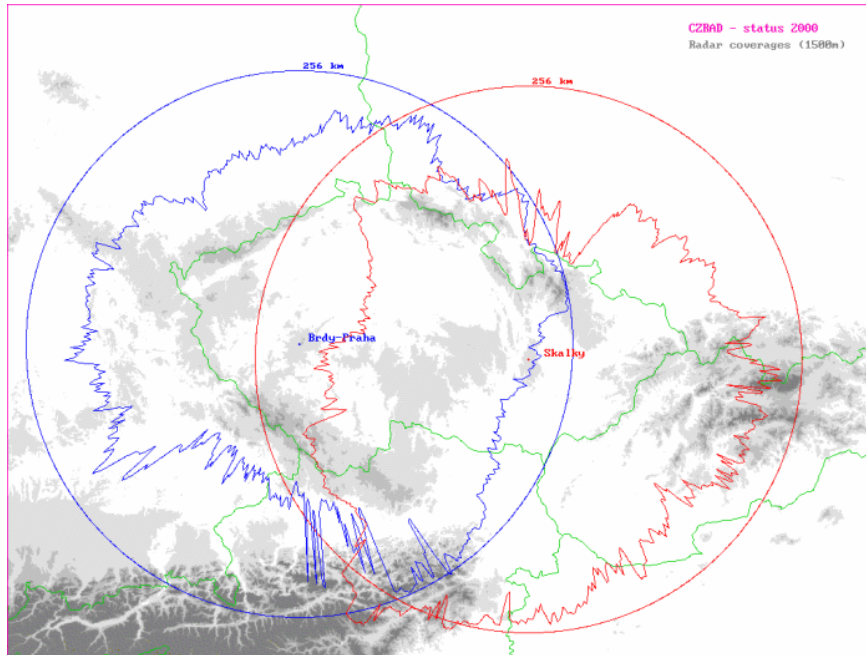
Bylo zjištěno, že kombinace radarových odhadů se srážkoměrnými měřeními poskytuje nejpřesnější dostupný plošný odhad srážek. Nicméně i v tomto případě se mohou vyskytnout závažné odchylky, které jsou dány objektivně danými nepřesnostmi radarových i srážkoměrných měření. U srážkoměrů je navíc problematická reprezentativnost pro okolí (byly zaznamenány případy, kdy byl rozdíl denních srážkových úhrnů ve vzdálenosti dvou kilometrů až 90 mm).

Radarová měření jsou navíc rušena některými provozovateli vysílačů, což se projevuje radiálními „paprsky“. Tyto paprsky se sice z větší části eliminují, ale odhad srážek z rušených oblastí je pochopitelně méně kvalitní. [4]



Obrázek 2: Názorné zobrazení rušení radarového signálu bezdrátovými sítěmi [3]

Na obrázku 3 je zobrazen dosah dvou meteorologických radarů, které se v České Republice nacházejí. V roce 2015 byly oba dva naše radary, v Brdech u Prahy a v Skalkách u Protivanova, vyměněny. Radary na území ČR využívají frekvencí na 5 645 MHz a 5 635 MHz. [5]



Obrázek 2: Pokrytí meteorologickými radary na území ČR [5]

2.2. Druhy srážkoměrů

2.2.1. Odměrný válec

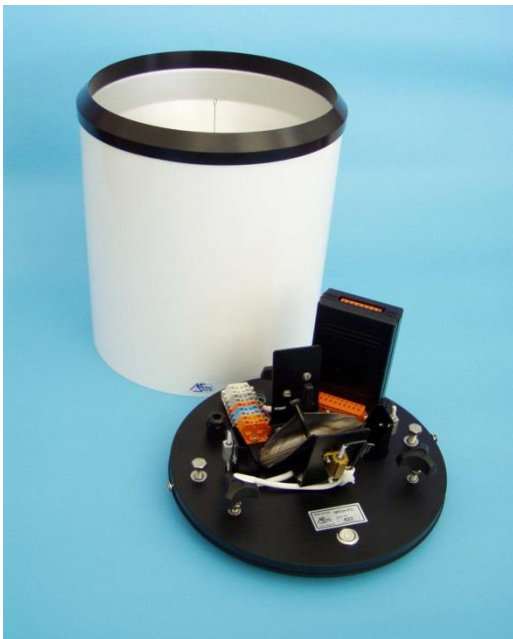
Srážkoměr s cenou okolo 100 Kč je používán na orientační měření. Na průhledné stěně je ryska, na které je vyobrazena stupnice. Záchytný prostor je velmi malý, proto nelze uvažovat o příliš přesném měření. Používají ho především amatérští meteorologové, či zahrádkáři, pro přibližnou představu o spadných srážkách.



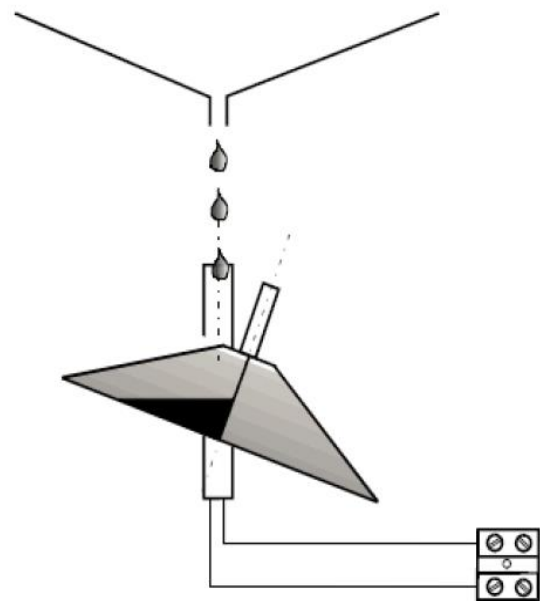
Obrázek 3: Odměrný srážkoměr [6]

2.2.2. Člunkový srážkoměr

U člunkového srážkoměru srážky padají na kuželovitou záchytnou plochu. Z ústí trychtýře pak voda padá na člunkový mechanismus, viz obrázek 8. Po spadení vody o určité hmotnosti se člunek překlápí, což je počítadlem zaznamenáno jako jeden puls. Přepočtem je pak stanoveno spadené množství. Cenová hladina zařízení je (10 000 - 30 000) Kč v závislosti na výrobci a dodatečném příslušenství. Tento systém je nejrozšířenější způsob měření dešťových srážek. Vzhledem k principu založeným na mechanickém překlápění člunku není srážkoměr obzvláště při vyšších úhrnech, či poryvech větru příliš přesný. To může mít za následek ovlivnění meteorologických výstrah, či předpovědí samotných. [7]



Obrázek 4: Člunkový srážkoměr MR3HFC [7]



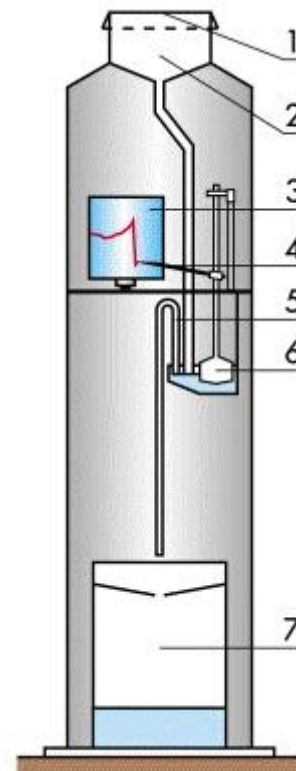
Obrázek 5: Princip člunkového srážkoměru [7]

2.2.3. Ombrograf

Ombrograf je dříve používané zařízení sloužící pro registraci kapalných srážek během letního (bezmrazového) období. Příklad se skládá z části přijímací, měřicí a registrační. Přijímací část se zachytnou plochou 250 cm² má dno ve tvaru nálevky, z níž stéká voda do válcovité nádoby zvané plováková komora. V komoře (měřicí část) je umístěn dutý plovák, v horní opatřený svislým táhlem, které prochází otvorem ve víku komory. Přitékající voda zvedá plovák, takže táhlo stoupá. Stoupá-li voda v komoře, stoupá současně i v násosce až k jejímu ohbí. Následně se plováková komora vyprázdní a plovák klesne ke dnu. Z násosky vyteče voda do konvice umístěné na dně ombrografu. Registrační část přístroje je konstruována obdobně jako u jiných, samo zapisujících přístrojů: hodinový mechanismus otáčí širokým válcem (bubnem), na němž je navinut papírový pásek s natištěnou sítí.



Obrázek 7: Ombrograf [8]



Obrázek 6: Schéma ombrografu [9]

2.2.4. Váhový srážkoměr

Výrobou váhových srážkoměrů se zabývá 5 společností na světě. Měření vždy spočívá v hmotnostním vyhodnocení spadených srážek. Používají se dva odlišné systémy měření. V prvním případě je pod záchytnou plochou umístěna velká válcová nádoba, která je položena na váze. V momentě, kdy se srážkoměr naplní, musí přijít obsluha a nádobu vylít, což považuji za obrovský nedostatek. Jeden z výrobců používá na vypouštění podobný systém jako výše uvedený ombrograf.

Až na jeden, žádný z výrobců neřeší vylévání vody, tedy bezobslužnost přístroje a žádný z nich neřeší zamezení vstupu nežádoucích předmětů do měřícího ústrojí. Nehledě na drobné nečistoty musíme počítat s tím, že při nepříznivých venkovních podmínkách mohou do útrobu spadnout listy i ulomené větévky. Pokud není zamezeno pohybu okolních osob, může kdokoliv do srážkoměru další předměty vhodit.



Obrázek 9: Finský produkt Vaisala VRG1 [10]



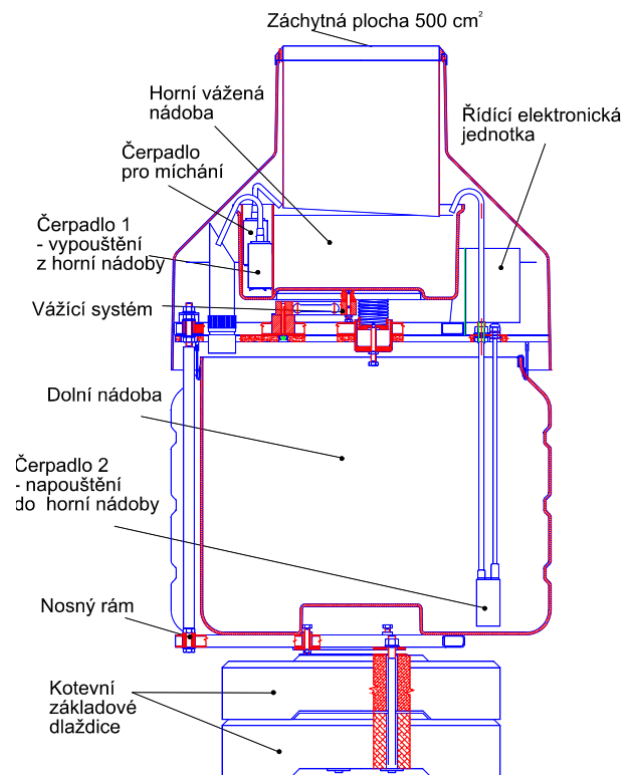
Obrázek 8: Umístění zásobní nádoby na siloměrech – Geonor T200B (Norsko) [11]

MRW500

Jiným případem je tuzemská firma Meteoservis s výrobkem MRW500. Srážky padají přímo do vážené nádoby, ve které se nachází roztok vody a nemrznoucí kapaliny Fridex. Roztok je promícháván míchacím čerpadlem. Po naplnění sběrné nádoby je obsah přečerpán do zásobní nádoby umístěné pod ní. Z této nádoby je malé množství roztoku vody a nemrznoucí kapaliny přečerpáno zpět do horní měřicí nádoby kvůli zamrznání. Zařízení obsahuje tolik nemrznoucí kapaliny, aby i při maximální kapacitě srážkoměru byla směs vody a nemrznoucí kapaliny dostatečně koncentrovaná, a bylo tím zabráněno zamrznání. Po naplnění spodní nádoby je třeba celý srážkoměr vyprázdnit. Srážkoměr je plastové konstrukce vyztužené třemi tyčemi.



Obrázek 10: Srážkoměr MRW500 [12]



Obrázek 11: Schéma zařízení MRW500 [12]

2.3. Návrh první verze

Na základě provedené rešerše současného trhu bylo započato s návrhem prvního řešení. Myšlenek jak množství srážek měřit bylo zpočátku více. Mimo jiné bylo zvažováno i měření množství vody na principu měření elektrického odporu, či použití speciálně upraveného kapacitního čidla. Možnost použití pohyblivého mechanismu, jako je tomu u člunkových srážkoměrů, byla vyloučena jako jedna z prvních. Ostatní možnosti ovšem svými výhodami převážila možnost určení množství spadných srážek pomocí měření hmotnosti. Zaměřil jsem se proto na technické nedostatky váhových srážkoměrů, které již jsou na trhu dostupné.

Základní parametry pro správné určení jsou záchytný prostor kruhového průřezu 500 cm^2 a vzdálenost záchytné plochy od povrchu 1 m. Minimální rozlišení přístroje je 0,1 mm. Pokud měly být srážky měřeny pomocí váhy, je základním parametrem přesnost vážícího zařízení. 0,1 mm dešťových srážek odpovídá 5 g při stanovené záchytné ploše 500 cm^2 . Při použití kvalitního tenzometru s příslušným převodníkem signálu není požadované rozlišení problém.

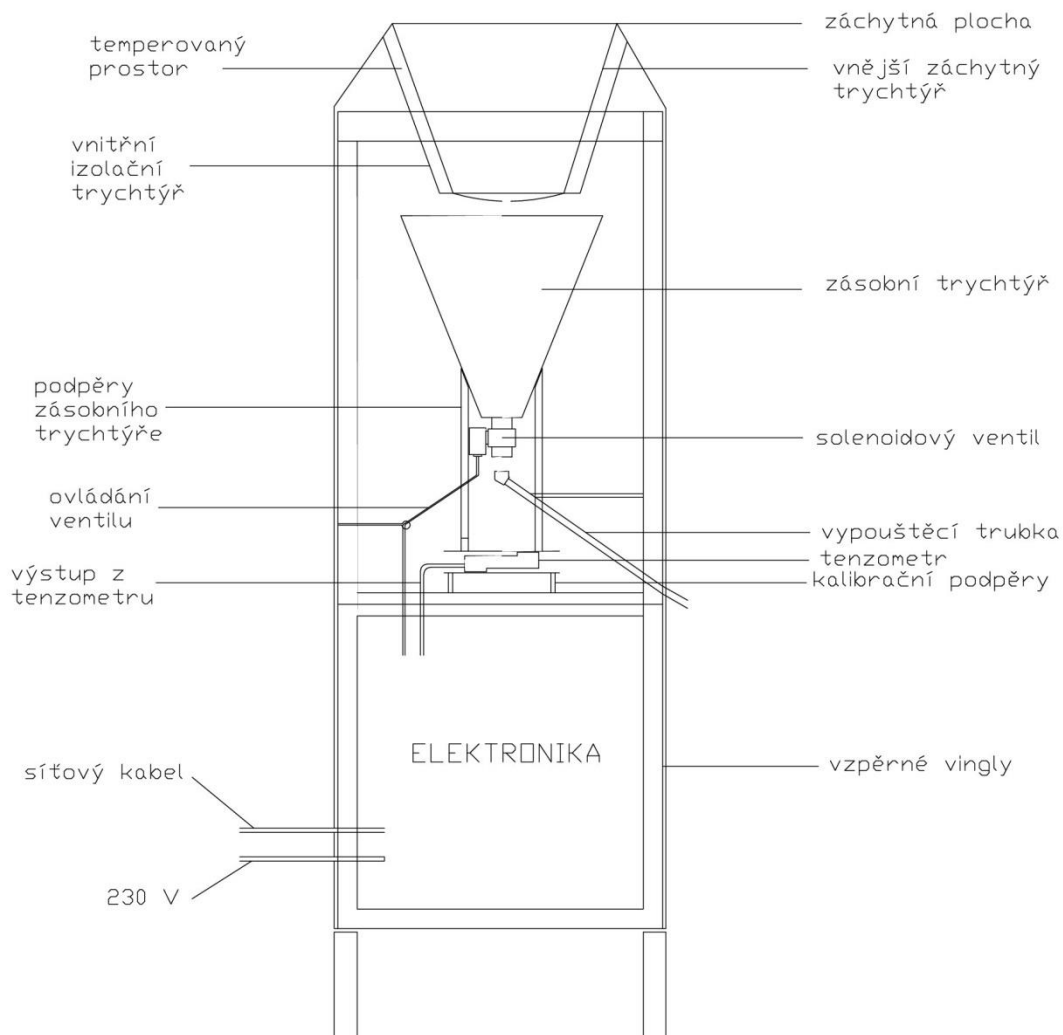
Záměr byl navrhnout a vyrobit zařízení, které bude schopné zimního provozu. Tedy zařízení musí být temperováno. Vzhledem k tomu, že se ve srážkoměru nachází citlivá váha, musí být navrhnout a vyroben tak, aby odolal nepříznivým vlivům okolního prostředí, aniž by bylo ovlivněno vyhodnocování spadených srážek. Z důvodu materiálových vlastností, dostupnosti a ceny je tělo srážkoměru vyrobeno z korozi-vzdorné oceli 1.4301 dle DIN (17 240 dle ČSN).

2.3.1. ERGS 2500 verze 1

Jedním z požadavků na zařízení je zamezit vniknutí nežádoucích předmětů jako jsou listy a hmyz. Srážky spadnou na záchytný trychtýř, který má průřez horního ústí 500 cm^2 , tedy průměr 225 mm. Dolní ústí má průměr 10 mm. Srážky následně stékají do sběrného trychtýře, který je ukončen solenoidovým ventilem. Tato sestava stojí na tenzometrickém snímači, který je umístěn na aretačních šroubech zajišťujících vodorovnost. Tenzometr je

napojen na vyhodnocovací jednotku TorreyWii, která v časových intervalech zasílá hmotnostní údaj do PLC. Hodnota je pak nahrávána na web.

Komunikace byla v případě první verze zajištěno ethernetovým kabelem. Kvůli potřebě zimního provozu je přístroj temperován. Pro roztání sněhových vloček je na vnitřní straně horního trychtýře umístěn topný kabel. Vzhledem k omezenému rozpočtu na první verzi bylo temperování vnitřního prostoru vyřešeno použitím dvou čirých 60 W žárovek. Z vnitřní strany vnějšího pláště byla umístěna polystyrenová izolace kvůli tepleným úsporám.



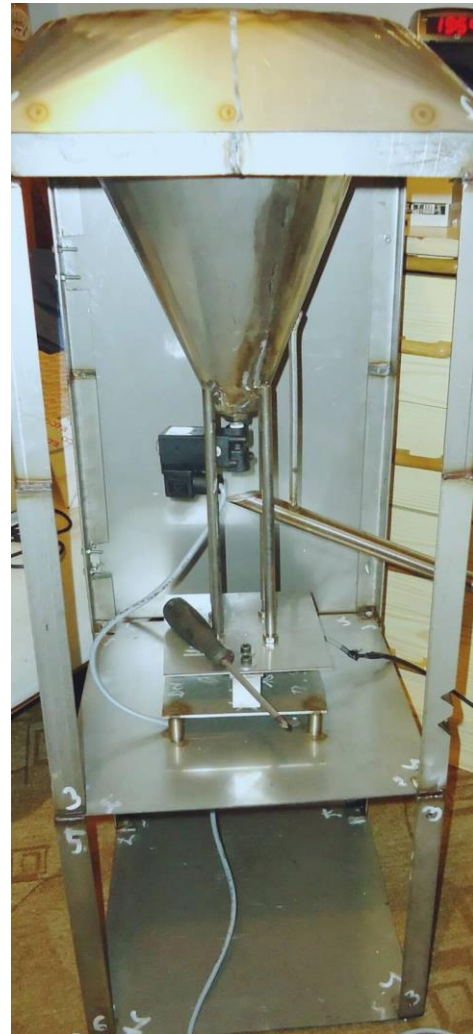
Obrázek 4: Náčrt první verze ERGS 2500 [autor]

Srážky tedy stečou přes horní záchytný trychtýř do trychtýře zásobního. Zde se srážky akumulují a jsou odečítány přírůstky hmotnosti. Při stanoveném naplnění zásobního trychtýře je otevřen solenoidový ventil a voda odtokovou trubkou vyteče mimo tělo srážkoměru. Ventil je uzavřen a měření pokračuje opět s prázdnou nádobou.

Na obrázku 13 je schématické vyobrazení první verze ERGS 2500. Dvě ocelové desky tvoří základnu spodní a horní části srážkoměru. Ve spodní části je umístěna veškerá elektroinstalace, v horní pak měřící zařízení s vytápěním. Konstrukce stojí na čtyřech L- profilech umístěných v rozích. Ústí srážkoměru bylo konstrukčně vyřešeno ocelovým dílem, který přechází z čtvercového průřezu těla srážkoměru na kruhový průřez záchytné plochy. Plášť srážkoměru byl vytvořen z pozinkovaného ocelového plechu.



Obrázek 12: Vnější pohled [autor]



Obrázek 13: Rám přístroje a měřící sestava [autor]

Návrh a stavba první verze proběhla v době studia autora na gymnáziu a tedy bez znalostí a zkušeností s tvorbou technické dokumentace a konstrukčních postupů. Sestavování samotného přístroje probíhalo v autodílně a kovárně otce autora, kde bylo dostupné potřebné strojové a nástrojové vybavení.



Obrázek 16: Záchytný trychtýř s ventilem [autor]



Obrázek 15: Pohled na záchytnou plochu srážkoměru [autor]



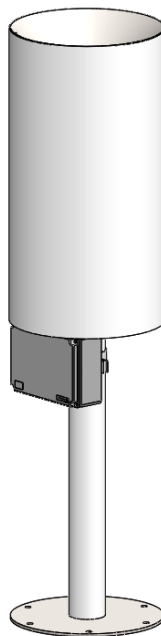
Obrázek 14: Indikátor Torrey Wi [13]



Obrázek 17: MikroPLC Shark [30]

3. ERGS 2500 verze 2

Po několika prezentacích prvního verze srážkoměru ERGS 2500 byly nashromážděny zpětné vazby, připomínky i nápady pro návrh verze druhé. První zásadní změnou byl samotný systém vážení vody. Jednou z primárních myšlenek bylo, aby přístroj měřil s co nejvyšší možnou přesností a hlavně aby změřil všechny spadené srážky. V první verzi tomu tak nebylo. Po naplnění zásobní nádoby se otevřel ventil, voda se vypouští, ale i se srážkami, které do přístroje právě padají. Toto má za následek nezanedbatelnou chybu. Dalším důvodem pro změnu systému byl požadavek udržovat ve srážkoměru jen nejmenší nutné množství vody, kvůli vypařování.

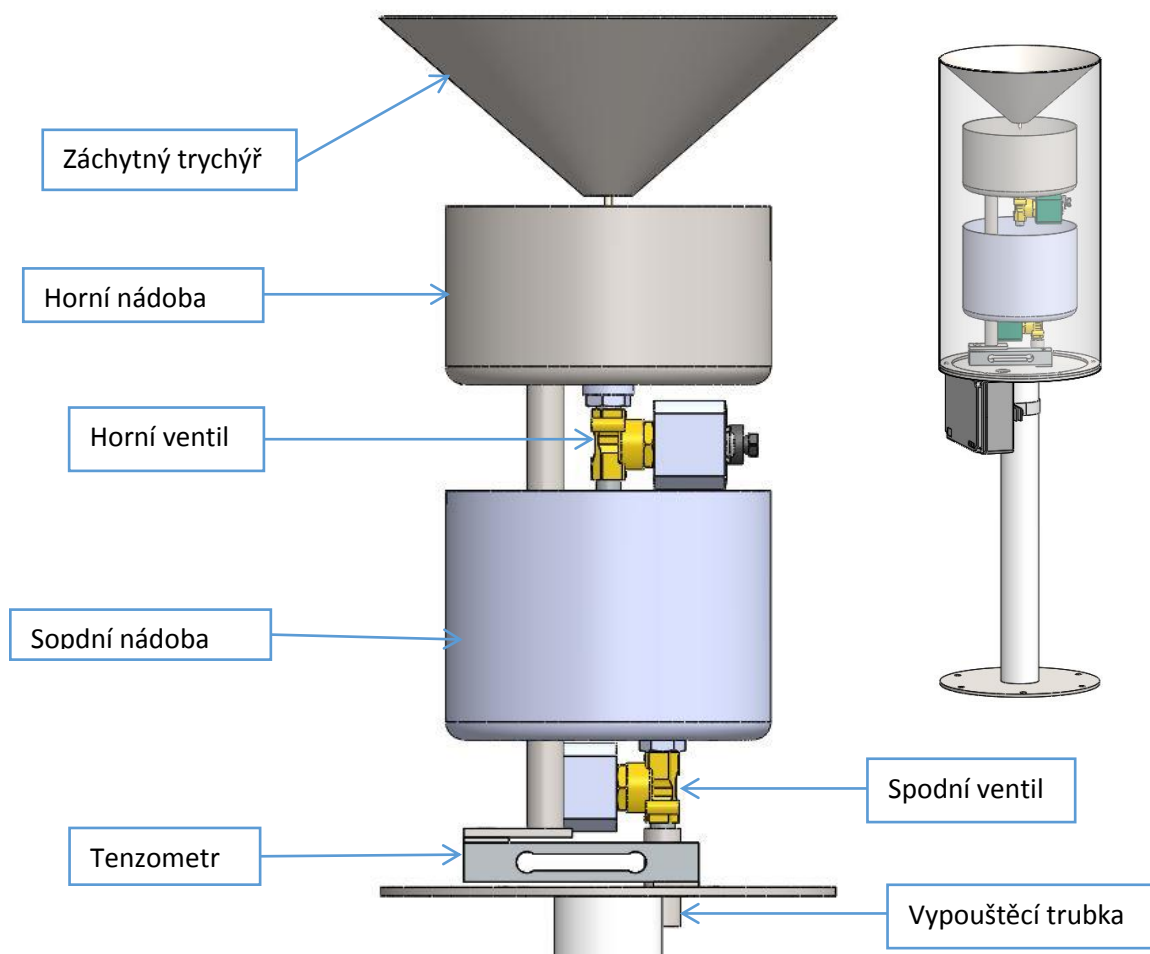


Obrázek 18: Srážkoměr ERGS 2500 - 2. verze [autor]

3.1. Princip měření

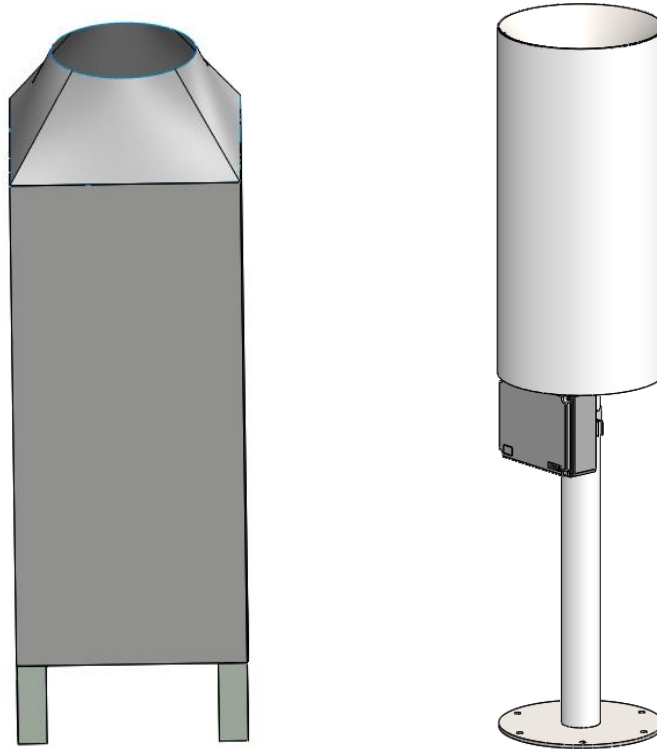
Byl navržen systém dvou nádob umístěných pod sebou. Obě nádoby jsou zakončeny solenoidovým ventilem a obě jsou umístěny na jednom tenzometru. Srážky spadnou na kuželovitou záchytnou plochu a stečou do první zásobní nádoby pod ní. Zde jsou srážky akumulovány. Hmotnost je průběžně zaznamenávána. Po otevření ventilu horní nádoby přetečou akumulované srážky do druhé záchytné nádoby. Ústí první zásobní nádoby je umístěno přesně pod ústím záchytného trychtýře. Srážky tedy v době otevření horního ventilu stékají přímo do druhé zásobní nádoby.

Měření probíhá následovně - spodní i horní ventil je uzavřen, hodnota tenzometru je vynulována. Srážky se akumulují v horní nádobě. Přírůstky průběžně sledujeme v časovém intervalu 30 sekund. Po překročení hmotnosti 700 g se otevře ventil horní nádoby. Voda přetéká do nádoby pod ní včetně srážek, které právě padají do srážkoměru. Po vypuštění je ventil uzavřen. Ve spodní nádobě je tedy v tu chvíli všechna voda z horní nádoby i voda, která přitékala v době vypouštění horní nádoby. Následně vypustíme spodní nádobu. V tu chvíli se v horní nádobě již akumulují další srážky. Po vypuštění spodní nádoby mimo tělo srážkoměru, přičteme změřenou hodnotu srážek k předchozí hodnotě. Následně se opět čeká na naplnění horní nádoby. Celý proces se dále cyklicky opakuje.



Obrázek 19: Vnitřní ústrojí [autor]

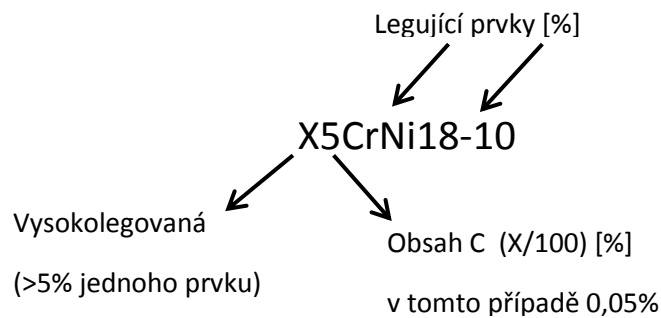
Další výraznou změnu prodělal tvar podstavy a těla srážkoměru. První verze měla čtvercový půdorys, což bylo praktické pro výrobu prvního kusu, který byl složen z více smontovatelných částí. Ve vrchní části přístroje je díl, který přechází z čtvercového průřezu na kruhový. Tento díl je náročný na výrobu a také velmi drahý. Tělo druhé verze je tedy válcové. Aby se ještě více minimalizovaly náklady na výrobu, má tělo srážkoměru průřez o stejném průměru jako záchytná plocha. Tvoří tak jednotlivý válec. Ten je umístěný na kruhové trubce upevněné dole na kruhové podstavě.



Obrázek 20: Porovnání vnějšího vzhledu první a druhé verze srážkoměru [autor]

3.2. Materiál

Tělo srážkoměru je celé vyrobeno z nerezové oceli 1.4301 DIN (17 240 ČSN), což je základní nerezavějící austenitická ocel označovaná také X5CrNi18-10. Z tohoto označení lze vyčíst určité údaje o materiálu. Tato ocel je vysokolegovaná, obsahuje 0,05% uhlíku, 18% chromu a 10% niklu.



Ocel se vyznačuje vynikající odolností proti korozi v prostředích voda a ovzduší bez koncentrace chloridů nebo anorganických kyselin a solí. Svařitelnost je zaručena. Odolnost proti korozi lze zvýšit povrchovým leštěním. Ocel je použitelná do provozní teploty až 350 °C. Obrobitelnost je ztížená, proto je nutno obrábět velmi ostrými nástroji z vysoce legovaných rychlořezných ocelí nebo nástroji vyrobeným ze slinutých karbidů. Tato skutečnost není pro výrobu tohoto srážkoměru příliš relevantní, neboť je téměř celý tvořen plechovými díly. Tvařitelnost tažením a ohýbáním je naopak velmi dobrá. Ocel má velmi dobré mechanické vlastnosti i při extrémně nízkých teplotách. Použití nachází v průmyslu potravinářském, farmaceutickém, kosmetickém, dále pak ve fasádní a bytové architektuře. Pro použití v chemickém průmyslu není vhodná, odolává jen některým málo koncentrovaným kyselinám. Ve venkovním prostředí vzdoruje povrchové korozi jen v tom případě, že nánosy chemických zplodin (prach a soli) jsou pravidelně s povrchu oplachovány dešťovými srážkami. Tato nejvíce používaná nerezová ocel je označovaná spotřebitelskými názvy jako potravinářská. Vyhovuje odběratelům hlavně poměrem cena / dobrá korozivzdornost v méně chemicky náročných prostředích.

Pro svařování konstrukce je doporučena jako vhodná technologie metoda GTAW za použití drátu G 19 9 L. Metoda GTAW (Gas Tungsten Arc Welding) se provádí stejnosměrným proudem se směsným plynem Ar+H₂. Tloušťka svaru se pohybuje od 0,5 do 4 mm. [14], [15]

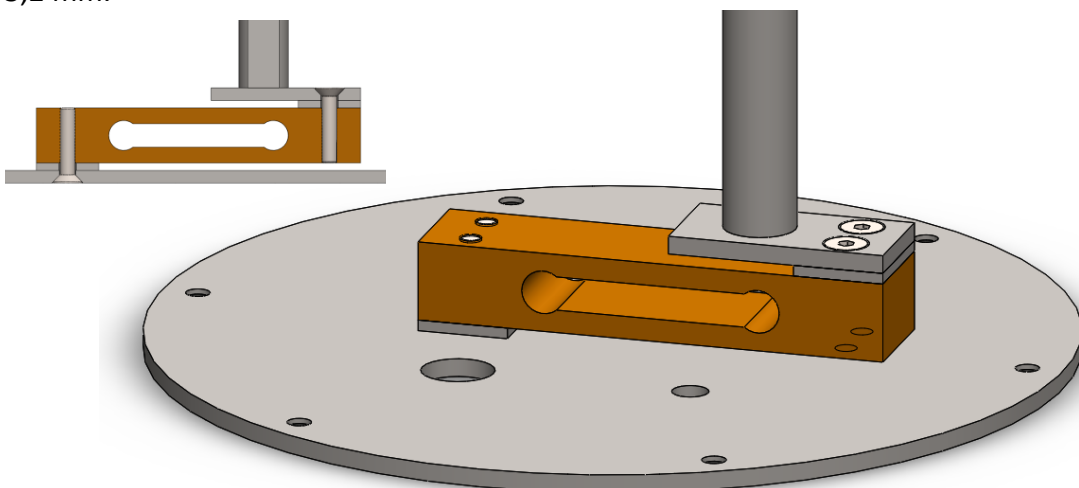
3.3. Konstrukce

V následující kapitole budou v závorkách uváděny odkazy na čísla výkresů.

Podstavná deska srážkoměru (č.v. 02-0010) je vyrobena z nerezového plechu 1.4301 (stejně jako ostatní plechové části srážkoměru) tloušťky 5 mm. Pro upevnění k podkladové ploše, je do plechu vyřezáno 6 kruhových otvorů o průměru 10 mm. Pro šroubový spoj byl navrhnout nerezový závrtný šroub DIN 938 M8x30 A2. K plechu je soustředně obvodovým koutovým svarem přivařena stojna srážkoměru (č.v. 02-0020) vyrobená z nerezové trubky o vnějším průměru 60,3 mm a síle stěny 4 mm. Na druhý konec trubky je stejným typem svaru přivařena základna.

Základna je vyrobena také z plechu o tloušťce 5 mm stejně jako podstavná deska. Na výrobu je tak třeba méně druhů polotovarů. V kruhovém poli je umístěno 6 děr se zahloubením pro šroub M6 se zápusťnou hlavou a vnitřním šestihranem dle DIN 7991. Další 2 průchozí díry se závitem M6 slouží k upevnění tenzometrického snímače. Do díry o průměru 20 mm je oboustranným koutovým svarem upevněna odtoková trubice sloužící pro odvod spadených srážek mimo tělo přístroje.

Tenzometrický snímač je na základně upevněn dvěma šrouby a podložen distanční podložkou. Ta je i na opačné straně snímače, kde je takto vypořádána a upevněna deska tenzometru (č.v. 02-0050). K desce je dle výkresové dokumentace přivařena stojna měřící soustavy (č.v. 02-0060) vyrobená z trubky o vnějším průměru 20 mm a tloušťce stěny 3,2 mm.



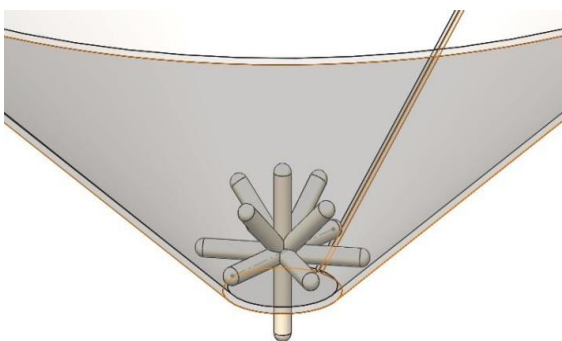
Obrázek 21: Umístění tenzometru na základně [autor]

Ke stojně měřicí soustavě jsou připevněny záchytné nádoby. Spodní nádoba má průchozí díru, je tedy nasunuta na trubku a následně přivařena. Horní nádoba průchozí není a konec trubky je tak přivařen ke dnu nádoby. Obě nádoby mají vyříznuto ústí, do kterého je vložena odtoková propojka (č.v. 02-0090). Na vnějším průměru této propojky je trubkový závit G 1/4". Propojka je k nádobě upevněna pomocí matice G 1/4" DIN 431B/A4.

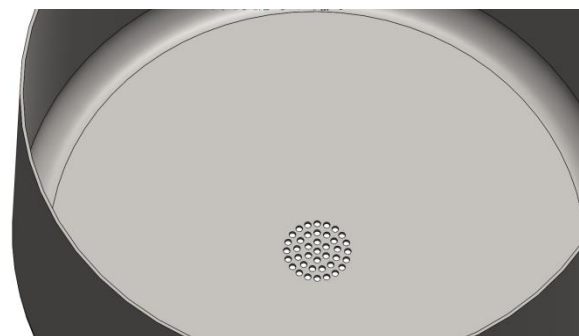
Na odtokovou propojku je našroubován solenoidový ventil. Stejný způsob upevnění ventilu je i na spodní nádobě.

Plášť (č.v. 02-0140) přístroje tvoří nerezový plech tloušťky 1,5 mm. Ten je stočen a následně svařen svarem typu I. K plášti je koutovým svarem svařena kruhová příruba (č.v. 02-0130). V přírubě tvaru kruhového mezikruží jsou vystruženy závity M6 na kružnici o stejném průměru jako na základně (č.v. 02-0030). Oba díly jsou pak spojeny šesti nerezovými šrouby M6 x 10 DIN 7991 A2. K opačnému konci pláště je přivařen záchytný trychtýř (č.v. 02-0100). Přístroj je tedy navržen tak, že tvoří uzavřený obal s jedním vtokovým a jedním výtokovým otvorem. V případě nutnosti servisního zásahu je třeba odmontovat 6 šroubů umístěných ze spodní strany základny a následně sejmut svařenec kruhové příruby, pláště a záchytného trychtýře.

V záchytném trychtýři je volně umístěn díl z 11 dílů kulatiny průměru 4 mm dle výkresu 02-170. Tento díl nazvaný ježek brání vniknutí větších objektů, například listů do srážkoměru. V případě, že by v ústí trychtýře bylo síto, může podle zkušeností z testování první verze dojít k zaslepení vtokového otvoru, čemuž díl navrhnutého tvaru zabrání (obrázek 20). Menší předměty i tak spadnou do těla srážkoměru, kde je vniknutí do ventilu zabráněno sítím tvořeným dírami o průměru 2 mm.



Obrázek 23: Umístění ježka v záchytném trychtýři
[autor]



Obrázek 22: Detail horní nádoby – síto proti vniknutí menších částí do ventilu [autor]

Další aspekt byl vypořádán při testování první verze zařízení. Na sítu, které je složeno z velkého množství jednotlivých drátků, ulpívají srážky vlivem adhezních sil. V době, kdy kontinuálně prší, to problém nezpůsobuje. Ovšem v době, kdy pršet začíná, způsobí srážky ulpělé na sítu drobnou časovou prodlevu. Tvar ježka umožňuje vodě stékat a soustředit se do jednoho bodu.

Povrchová úprava

V nerezové oceli je ve významné míře zastoupen chrom, který reaguje s kyslíkem a na povrchu materiálu vzniká ochranný film oxidu chromitého. Ten tvoří pasivní vrstvu, která brání oceli v korozi. Sváření ovšem způsobuje akcelerovanou oxidaci ve svaru a jeho okolí, která způsobuje viditelnou barevnou změnu a hlavně porušení pasivační vrstvy. Po svaření se doporučuje úprava povrchu spojená s jeho chemickým ošetřením – mořením.

Mořením obnovíme pasivační vrstvu a získáme jednolitý vzhled. Pro dosažení lesklého povrchu a zvýšení korozivzdornosti je doporučeno provést elektrolytické leštění.

3.4. Vybavení a ovládání zařízení

3.4.1. Tenzometrický snímač



Obrázek 24: Tenzometrický snímač Zemic L6D/6kg C5 [16]

Pro detekci hmotnosti spadlých srážek je vytipován tenzometrický snímač Zemic L6D/6kg C5. Tento typ měří do 6 kg, prázdná sestava umístěna na senzoru má 2 308 g (maximální možné množství vody o hmotnosti 1,8 kg). Snímač je přesnosti C5, což u tohoto výrobce značí 5000 dílků v rámci celého rozsahu. Případná vlhkost uvnitř srážkoměru nemá na funkci vliv. Technický list uvádí IP65, což značí úplnou ochranu proti prachu a odolnost před tryskající vodou. Cena snímače se pohybuje okolo 1 000 Kč.

3.4.2. Solenoidový ventil

Nádoby jsou vypuštěny solenoidovými ventily Asco typ E262K212S1N00F8. Ventil má světlost 7,1 mm a šroubení G 1/4". Cívka napájena 24 V stejnosměrného napětí. Krytí je také IP65. Ventil byl zapůjčen distributorem a byla experimentálně změřena doba potřebná pro vypuštění záchytných nádob s tímto ventilem. Příklad, že se ventil zavřel dříve, než je vypuštěna jedna z nádob, způsobí nesprávné změření spadených srážek. Spodní (větší) nádoba má objem 1,25 dm³. Voda je však vypouštěna jakmile překročí 80% objemu nádob. Tímto ventilem proteče 1,7 dm³ za 1 minutu. Pro vypuštění je pak vyhrazeno právě 60 sekund, což tvoří časovou rezervu 36%.



Obrázek 25: Solenoidový ventil Asco E262K21S21N00F8 s cívkou a konektorem E10058 [17]

3.4.3. Temperování zařízení

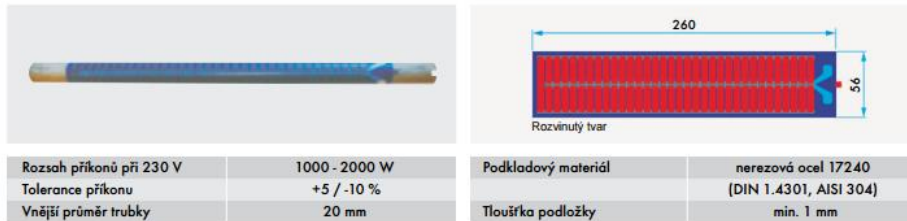
Kvůli tuhým srážkám a celému období, kdy venkovní teploty klesají pod bod mrazu, je třeba zařízení temperovat. Výchřev zajišťují topné folie. Jedna z folií je nalepena na záchytném trychtýři z vnitřní strany přístroje. Temperuje tak přímo stěnu záchytného trychtýře a zajišťuje roztání tuhých srážek. Druhá folie je umístěna na základně zařízení a vytápí tedy spodní část přístroje. Obě topné folie jsou připojeny ke stejnému termostatu nastavenému na 4°C. Tímto technickým řešením se například zabývá společnost Backer Elektro CZ a.s.

UKÁZKY MOŽNÝCH ŘEŠENÍ TOPNÝCH ELEMENTŮ Nestandardní výroba - speciální dodací podmínky

Topný element č. 7



Topný element č. 8



Obrázek 26 : Výřez z katalogu Backer elektro [24]

3.4.4. Simulace měření

Tento srážkoměr je dimenzován na maximální hodinový úhrn 300 mm/hod, což znamená, že za hodinu spadne na jeden metr čtvereční vodní sloupec o výšce 300 mm.

$$0,3 \text{ m} \cdot 1 \text{ m} \cdot 1 \text{ m} = 0,3 \text{ m}^3$$

0,3 m³ srážek tedy odpovídá hmotnosti 300 kg na plochu 10 000 cm². Tento srážkoměr má záchytnou plochu 500 cm².

$$\frac{10000 \text{ cm}^2}{500 \text{ cm}^2} = 20 \quad ; \quad \frac{300 \text{ kg}}{20} = 15 \text{ kg}$$

Z výše uvedeného výpočtu vyplývá, že může dojít k situaci, kdy musí být zařízení schopno změřit a vypustit 15 kg vodních srážek za hodinu. Měřená hmotnost je detekována po 30 sekundách.

15 kg ≈ 15 000 g srážek → $15000 \text{ g} / \frac{60 \text{ minut}}{0,5 \text{ minut}} = 125 \text{ g} \approx 125 \text{ ml}$; tedy vypouštěcí i vypouštěcí cyklus musí vypustit až 125 ml vody, která je v nádobě a teoreticky dalších až 125 g, které během doby vypouštění případnou. Dohromady to činí 250 ml. Toto je opravdu extrémní případ, kde uvažujeme horní hranici, na kterou byl systém navržen.

Tabulka 2 níže zobrazuje, jak jsou jednotlivé přírůstky srážek zaznamenávány a za jakých podmínek se voda přepouští, případně vypouští.

Měření začíná za stavu uzavření obou ventilů a nulové hodnoty na tenzometru, kdy po 30 vteřinách nebylo detekováno žádné množství srážek. V druhém intervalu, tedy v čase 0:30 – 1:00 připadne 10 g vody \approx 0,2 mm vodních srážek. Takto se pokračuje, dokud hmotnost nepřekročí 700 g, což je v tabulce řádek 9. Horní ventil se otevírá a voda přetéká do spodní nádoby (i s vodou, která do srážkoměru přitéká). Tento stav trvá jednu minutu. Následně je horní ventil uzavřen. Tabulka vyjadřuje extrémní možnost, a to, že za jednu minutu přiteklo do srážkoměru 250 ml dalších srážek. Spodní nádoba se tak dostává přes svůj povolený limit 1000 ml (řádek 11). To má za následek otevření spodního ventilu a voda je vypuštěna mimo tělo srážkoměru. Po vypuštění – 1 minutě, je ventil uzavřen. Hmotnost v době otevření spodního ventilu se přičte k hodnotě po uzavření. Dle tabulky 3 - při otevření spodního ventilu je hmotnost 950 g, tedy 19 mm srážek. Během 12. a 13. intervalu připadlo 250 g vody, což je 5 mm srážek. Dohromady tedy spadlo 19 mm srážek v čase 6:30.

Tabulka 2: Simulace měření [autor]

INTERVAL	ČAS (min:sec)	DETEKOVANÁ HMOTNOST (g)	PŘÍRŮSTEK HMOTNOSTI (g)	HORNÍ VENTIL uzavřen 0 otevřen 1	SPODNÍ VENTIL uzavřen 0 otevřen 1	HMOTNOST V HORNÍ NÁDOBĚ (g)	HMOTNOST V DOLNÍ NÁDOBĚ (g)	SRÁŽKY ZA HODINU (mm)
1	0:30	0	0	0	0	0	0	0
2	1:00	10	10	0	0	10	0	0,2
3	1:30	30	20	0	0	30	0	0,6
4	2:00	150	120	0	0	100	0	3
5	2:30	250	100	0	0	350	0	5
6	3:00	350	100	0	0	400	0	7
7	3:30	475	125	0	0	650	0	9,5
8	4:00	575	100	0	0	585	0	11,5
9	4:30	700	125	1	0	700	0	14
10	5:00	x	x	1	0	0	x	x
11	5:30	950	250	0	1	x	960	19
12	6:00	x	x	0	1	x	x	x
13	6:30	250	250	0	0	250	0	24
14	7:00	350	100	0	0	350	0	26
15	7:30	450	100	0	0	450	0	28

Výše uvedená tabulka je sestavena tak, aby ukazovala zaručitelnost měření i za velmi extrémních podmínek. Horní hranice 300 mm/hod byla zvolena na základě dotazu k ČHMÚ, ke kterému se vyjádřila paní RNDr. Lenka Crhová:

„Pro představu Vám mohu uvést maximální zaznamenané hodnoty hodinových úhrnů srážek na území ČR. Maximální hodinový úhrn srážek na území ČR dle Atlasu podnebí Česka, kde jsou zpracována data za období 1961-2010, byl zaznamenán ve Vyšším Brodě dne 23. 6. 1966 a činí 98 mm. Tento úhrn byl překonán letos v květnu na stanici Žáry, kde za 1 hodinu spadlo 129,3 mm srážek. V článku „Největší historická průtrž mračen (25.–26.) května 1872 v Českých zemích s následnými povodněmi v povodí Berounky a vznikem Mladotického hrazeného jezera“ udávají hodinový úhrn srážek až 237 mm asi za 1 hodinu v Mladoticích“

Z uvedeného je patrné, že i u nás mohou nastat velmi vysoké intenzity srážek přesahující i hodnotu 200 mm za hodinu. Avšak takto vysoká intenzita je opravdu velice výjimečná. Pro srovnání, v jakých hodnotách srážkoměr pracuje v našich zeměpisných podmínkách, je níže uvedena tabulka, která zobrazuje měsíční součty i celkový roční úhrn srážek na území České republiky v roce 2002, kdy většinu území ČR postihly povodňové události.

Územní srážky v roce 2002

Vysvětlivky:

S = úhrn srážek [mm]

N = dlouhodobý srážkový normál 1961-1990 [mm]

% = úhrn srážek v % normálu 1961-1990

Kraj		Měsíc												Rok
		1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.	
Česká republika	S	26	70	42	34	53	92	87	177	63	90	72	51	866
	N	42	38	40	47	74	84	79	78	52	42	49	48	674
	%	62	184	105	72	72	110	110	227	121	214	147	106	128

Obrázek 27: Územní srážky v roce 2002 [18]

Vezmeme tedy nadprůměrný rok 2002, spadlo celkem 866 mm vodních srážek.

$866 \cdot 50 = 43300 \text{ dm}^3$ Na jeden metr čtverečný spadne za rok celkem $43\,300 \text{ dm}^3$ vody. Záchytná plocha srážkoměru je 20x menší, za jeden rok tedy „proteče“ zařízením 2165 dm^3 vodních srážek. Menší nádoba se přepouští při překročení objemu 700 ml. $\frac{2165}{0,7} = 3092$ cyklů za rok. Ventil s elektromagnetickou cívkou má životnost v řádech milionů cyklů, těch ovšem bude o 1460 víc. Ze zařízení bude kvůli vypařování a vlhkosti

vypouštěna voda se stejnou logikou, jako když jsou nádoby plny. Pokud systém nezaznamená změnu po dobu 6-ti hodin, vypustí vodu mimo tělo zařízení.

3.5. Odolnost konstrukce v silných povětrnostních podmínkách [25]

Zařízení bude v provozu často zatěžováno nepříznivým počasím, především silný vítr bude namáhat kritická místa konstrukce. Nejvíce namáhané budou svary, především mezi stojnou srážkoměru a podstavnu deskou a dále stojna srážkoměru na ohyb.

K odhadu rychlosti větru slouží Beaufortova stupnice. Má 12 stupňů a poslední, který je popsán jako orkán se silnými ničivými účinky, je od rychlosti větru 32,7 m/s. V minulosti byly ovšem naměřeny i hodnoty více než dvojnásobné. Uvažujeme maximální rychlost větru 80 m/s. Odpor podstavné trubky zanedbáme.

Pro výpočet odporové síly F_x použijeme následující vztah:

$$F_x = c_x \cdot A \cdot \rho \cdot \frac{v_x^2}{2} \quad (1)$$

c_x - odporový součinitel [1]

A - průřez plochy kolmé ke směru větru [m^2]

ρ - hustota vzduchu [$kg \cdot m^{-3}$]

v_x^2 - rychlost vzduchu [$m \cdot s^{-1}$]

Z obrázku 28 je zřejmé, že odporový součinitel c_x nabývá různých hodnot v závislosti na Reynoldsově čísle Re . Reynoldsovo číslo je bezrozměrný parametr určující charakter proudění. Určí se dle následujícího vztahu.

$$Re = \frac{\rho \cdot v \cdot l}{\mu} \quad (2)$$

ρ - hustota vzduchu [$kg \cdot m^{-3}$]

l - rozměr překážky ve směru kolmém ke směru proudu [m]

μ - kinematická viskozita vzduchu při 0°C [$m^2 \cdot s^{-1}$]

$$\rho = 1,27 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$$

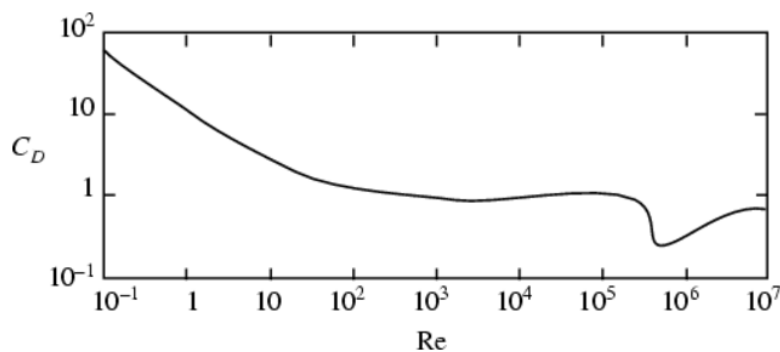
$$v = 80 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

$$l = 0,25 \text{ m (průměr válce)}$$

$$\mu = 1,33 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$$

$$Re = \frac{\rho \cdot v \cdot l}{\mu} = \frac{1,27 \cdot 80 \cdot 0,25}{1,3 \cdot 10^{-5}} = 1\,939\,849 \cong 1,9 \cdot 10^6 \quad (3)$$

$$Re \cong 1,9 \cdot 10^6 \Rightarrow c_x \cong 0,5 \quad (4)$$



Obrázek 28: Součinitel odporu válce c_D při různých hodnotách Re [27]

$$\rho = 1,27 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$$

$$A = 0,5 \cdot 0,25 = 0,125 \text{ m}^2 \quad (\text{výška} \cdot \text{šířka válce})$$

$$c_x = 0,5$$

$$v = 80 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

$$F_x = c_x \cdot A \cdot \rho \cdot \frac{v^2}{2} = 0,5 \cdot 0,125 \cdot 1,27 \cdot \frac{80^2}{2} = 254 \text{ N} \quad (5)$$

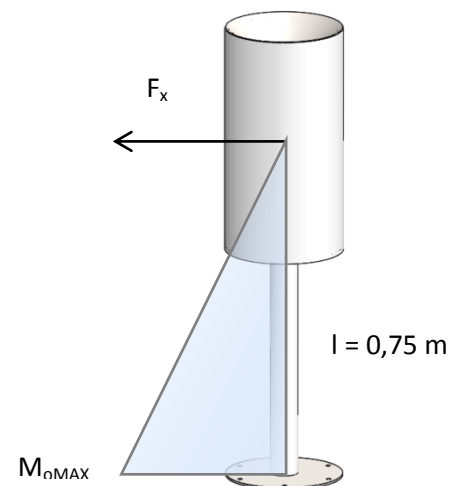
Působíště této síly uvažujeme prostředek vrchní části srážkoměru, jak je zobrazeno na obrázku 29.

Síla F_x způsobuje na rameni $l = 0,75 \text{ m}$ následující

ohybový moment:

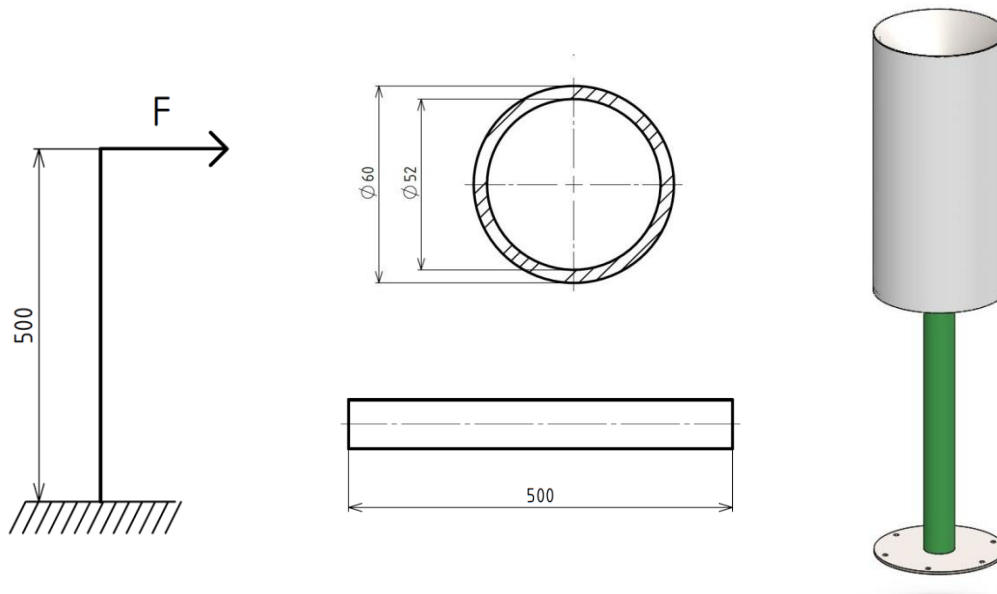
$$M_o(x) = F \cdot x \quad (6)$$

$$F \cdot l = 254 \cdot 0,75 = 190,5 \text{ N} \cdot \text{m} \quad (7)$$



Obrázek 29: Působení síly způsobené větrem

3.5.1. Výpočet ohybu stojny srážkoměru [27]



Obrázek 30: Modelová situace pro výpočet ohybu stojny [autor]

Díl tvoří trubka délky 500 mm z nerezové oceli 1.4301, má modul pružnosti v tahu $E = 200\,000\text{ N} \cdot \text{mm}^{-1}$ a je vyrobena z polotovaru TR KR 60 x 2. V dolní části je přivařena koutovým svarem k podstavě pro zjištění o kolik milimetrů. Výpočtem posuvu volného konce trubky ověříme, zda není namáhání takové, aby vodorovný posuv volného konce ovlivnil funkčnost měřícího ústrojí.

Posun konce trubky ve směru x spočítáme pomocí Schwedlerovy věty:

$$\frac{dM_o(x)}{dx} = +T(x) \quad (8)$$

$$q(x) = 0 \quad (9)$$

$$T(x) = \int 0 dx = -0x + c_1 \quad (10)$$

$$M_o(x) = \int (-0x + c_1) dx = -0 \frac{x^2}{2} + c_1 x + c_2 \quad (11)$$

Z případu můžeme určit 2 okrajové podmínky:

$$1. \quad M_o(0) = 0 \quad (12)$$

$$2. \quad T(0) = -F \quad (13)$$

Z okrajových podmínek určíme integrační konstanty:

$$M_o(0) = 0 \rightarrow c_1 \cdot 0 + c_2 \Rightarrow c_2 = 0 \quad (14)$$

$$T(0) = -F \rightarrow -F = c_1 \Rightarrow c_1 = -F \quad (15)$$

$$T(x) = -F \quad (16)$$

$$M_o(x) = -F \cdot x \quad (17)$$

K Výpočtu posuvu byla využita Bernoulliho diferenciální rovnicí průhybové čáry:

$$v''(x) = -\frac{M_o(x)}{E \cdot J} \quad (18)$$

$$v''(x) = \frac{F \cdot x}{E \cdot J} \quad (19)$$

$$v'(x) = \frac{F \cdot x^2}{2 \cdot E \cdot J} + c_3 \quad (20)$$

$$v'(l) = 0 \quad (21)$$

$$v(l) = 0 \quad (22)$$

$$v'(l) = \frac{F \cdot l^2}{2 \cdot E \cdot J} + c_3 = 0 \rightarrow c_3 = -\frac{F \cdot l^2}{2 \cdot E \cdot J} \quad (23)$$

$$v(l) = \frac{F \cdot l^3}{6 \cdot E \cdot J} - \frac{F \cdot l^2}{2 \cdot E \cdot J} l + c_4 = 0 \rightarrow c_4 = \frac{F \cdot l^3}{3 \cdot E \cdot J} \quad (24)$$

$$v(x) = \frac{F \cdot x^3}{6 \cdot E \cdot J} + \frac{F \cdot l^2}{2 \cdot E \cdot J} x + \frac{F \cdot l^3}{3 \cdot E \cdot J} \quad (25)$$

$$v(0) = \frac{F \cdot l^3}{3 \cdot E \cdot J} \quad (26)$$

Určením síly větru působící na srážkoměr byl vypočítán maximální ohybový moment

$$M_o_{MAX} = 190,5 \text{ N} \cdot \text{m}$$

Síla působící na volný konec podstavné trubky tedy bude:

$$F = \frac{M_o_{MAX}}{l} = \frac{190,5}{0,5} = 381 \text{ N} \quad (27)$$

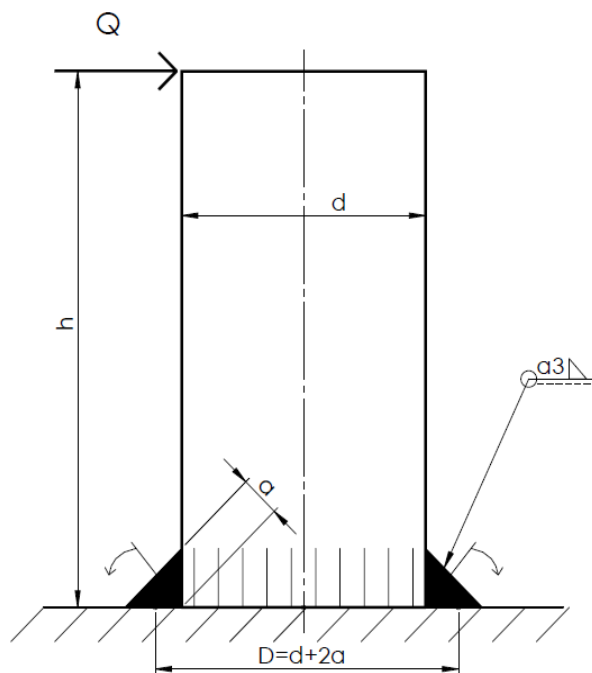
$$E = 200\,000 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-2}$$

$$J_{z(\text{mezikruží})} = \frac{\pi}{64} (D^4 - d^4) = \frac{\pi}{64} (60^4 - 52^4) = 2\,774\,264 \text{ mm}^4 \quad (28)$$

$$v(0) = \frac{F \cdot l^3}{3 \cdot E \cdot J_z} = \frac{381 \cdot 500^3}{3 \cdot 200000 \cdot 2774264} = 0,028 \text{ mm} \quad (29)$$

Posuv volného konce trubky o 0,028 mm je pro funkci srážkoměru zanedbatelný, trubka je tedy dostačující. Kritičtější může být ovšem opačný konec trubky, který je obvodovým koutovým svarem přivařen ke kruhové podstavě.

3.5.2. Výpočet obvodového koutového svaru [26]



Obrázek 31: Nákres upevnění stojny srážkoměru k podstavě desce obvodovým koutovým svarem [autor]

V případě zatěžování znázorněném na obrázku 30 bude svar namáhaný na ohyb τ_o a na smyk τ_s . Tyto dvě složky namáhání jsou k sobě navzájem kolmé.

Byl navržen obvodový koutový svar a3, což je vzhledem k tloušťce stěny trubky 4 mm a síle podstavě desky 5 mm konstrukčně adekvátní.

$$D = d + 2a = 60 + 2 \cdot 3 = 66 \text{ mm} \quad (30)$$

$$\tau_o = \frac{M_o}{W_o} = \frac{Q \cdot h}{\frac{\pi \cdot D^3}{32} \left[1 - \left(\frac{d}{D} \right)^4 \right]} \quad (31)$$

$$\tau_o = \frac{381 \cdot 500}{\frac{\pi \cdot 66^3}{32} \left[1 - \left(\frac{60}{66} \right)^4 \right]} = 21,292 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-2} \quad (32)$$

$$\tau_s = \frac{Q}{S} = \frac{Q}{\frac{\pi}{4} (D^2 - d^2)} \quad (33)$$

$$\tau_s = \frac{381}{\frac{\pi}{4} (66^2 - 60^2)} = 0,642 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-2} \quad (34)$$

Výsledné napětí získáme z následujícího vztahu:

$$\tau_V = \sqrt{\left(\frac{\tau_o}{\alpha_{\tau \perp}} \right)^2 + \left(\frac{\tau_s}{\alpha_{\tau \perp}} \right)^2} \quad (35)$$

$$\tau_V = \sqrt{\left(\frac{21,292}{0,75} \right)^2 + \left(\frac{0,642}{0,75} \right)^2} = 28,4 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-2} \quad (36)$$

$$\tau_V \leq \sigma_D \quad \sigma_D = \frac{R_{p0,2}}{k_{min}} \quad (37)$$

$$k_{min} = 2 \quad R_{p0,2(1.4301)} = 220 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-2} \quad (38)$$

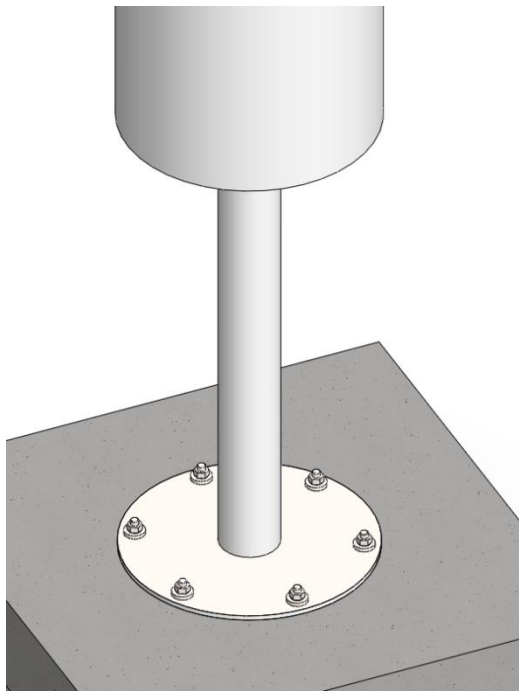
$$\sigma_D = \frac{220}{2} = 110 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-2} \quad (39)$$

$$28,4 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-2} \leq 110 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-2} \quad (40)$$

Z uvedeného výpočtu je zřejmé, že navržený svar je vyhovující.

3.5.3. Pevnostní výpočet šroubů určených k upevnění srážkoměru [26], [28], [29]

Pro upevnění srážkoměru k podstavě slouží 6 závrtných nerezových šroubů DIN 938 M8x20 A2-80. Na straně podstavy je doporučeno použít chemickou kotvu, na opačném konci je spoj zajištěn nerezovými maticemi DIN 934 M8 A2-80 a nerezovými podložkami DIN 7349 8 A2-80.



Obrázek 32: Upevnění srážkoměru k podkladu [autor]

Působení montážního předpětí

Vzhledem k tomu, že se jedná o předepjatá šroubový spoj, je třeba z následujícího vztahu určit, jaká osová síla Q_o na šroub působí.

$$M_U = M_Z + M_{TM} = Q_o \cdot \frac{d_2}{2} \cdot \operatorname{tg}(\gamma + \varphi') + Q_o \cdot f_{TM} \cdot \rho_{TM} \quad (41)$$

M_U - utahovací moment na klíči

M_Z - moment v závitě

M_{TM} - třecí moment pod maticí

$$M_U = Q_o \cdot \left[\left(\frac{d_2}{2} \cdot \operatorname{tg}(\gamma + \varphi') \right) + (f_{TM} \cdot \rho_{TM}) \right] \quad (42)$$

$$Q_o = \frac{M_U}{\left[\left(\frac{d_2}{2} \cdot \operatorname{tg}(\gamma + \varphi') \right) + (f_{TM} \cdot \rho_{TM}) \right]} \quad (43)$$

Šroub pevnostní třídy 80 velikosti M8 má doporučený utahovací moment $M_U = 24,5 \text{ N}\cdot\text{m}$.

Střední průměr závitu M8 - $d_2 = 7,188 \text{ mm}$, rozteč $P = 1,25$

Úhel stoupání šroubovice: $\gamma = \operatorname{arctg} \frac{P}{\pi \cdot d_2} = \operatorname{arctg} \frac{1,25}{\pi \cdot 7,188} = 3,17$

Součinitel smykového tření pod maticí: $f_M = 0,35$

Součinitel smykového tření v závitu: $f = 0,26$

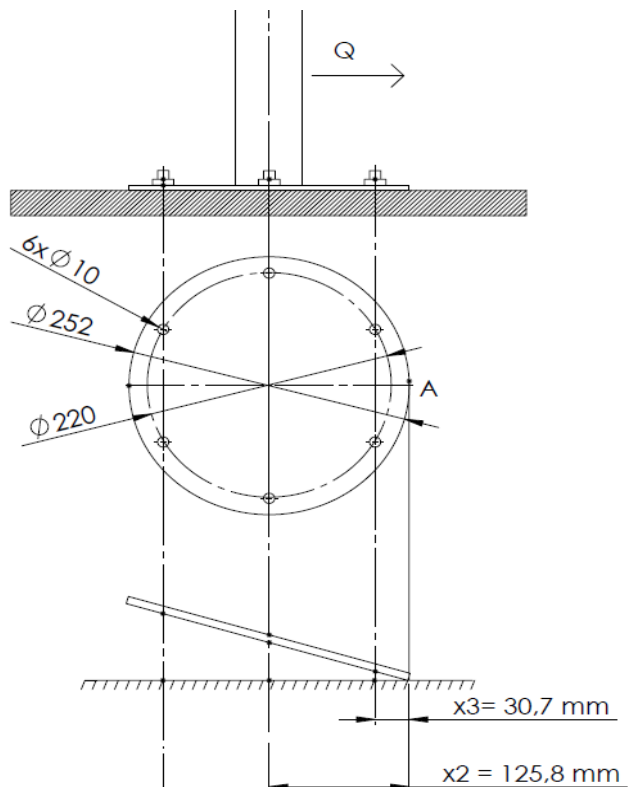
Třecí úhel v závitu: $\operatorname{tg} \varphi' = \frac{f}{\cos \beta_{norm}} = \frac{0,26}{\cos 30^\circ} = 0,3 \rightarrow \varphi' = 16,7$

Třecí součinitel pod maticí: $\rho_{TM} \cong 0,75 \cdot d_2 = 0,75 \cdot 7,188 \cong 5,4 \text{ mm}$

$$Q_o = \frac{24500}{\left[\left(\frac{7,188}{2} \cdot \operatorname{tg}(3,17 + 16,7) \right) + (0,35 \cdot 5,4) \right]} = 7682,9 \text{ N} \quad (44)$$

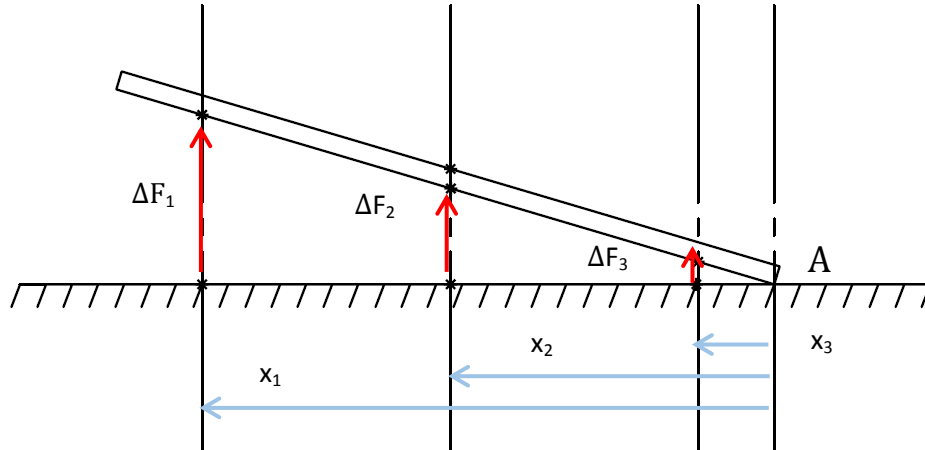
Působení větru na namáhání šroubů [26]

Pro výpočet byla zvolena modelová situace, kdy je podstavná deska uvažována za absolutně tuhou, a šroubové spoje jsou namáhány od vnější síly Q . Deska se tak má tendenci otáčet okolo bodu A na obrázku 32. Nejvíce budou namáhány šrouby, které jsou od bodu A nejvzdálenější. U těchto šroubů bude docházet k největším deformacím.



Obrázek 33 : Namáhání šroubových spojů

Využitím podobnosti trojúhelníků zřetelných z obrázku 33 sestavíme rovnici, ze které jednotlivé síly následně vyjádříme. Na všech 3 pozicích drží spoj vždy dva šrouby, jednotlivé momenty se tedy musí vynásobit 2 krát.



Obrázek 34: Přídavné silové působení na šrouby od ohybu [autor]

$$\frac{\Delta F_1}{x_1} = \frac{\Delta F_2}{x_2} \rightarrow \Delta F_1 = \frac{\Delta F_2}{x_2} \cdot x_1 \quad (45)$$

$$\frac{\Delta F_3}{x_3} = \frac{\Delta F_2}{x_2} \rightarrow \Delta F_3 = \frac{\Delta F_2}{x_2} \cdot x_3 \quad (46)$$

$$M_0 = 2 \cdot \Delta F_1 \cdot x_1 + 2 \cdot \Delta F_2 \cdot x_2 + 2 \cdot \Delta F_3 \cdot x_3 \quad (47)$$

$$M_0 = 2 \cdot \frac{\Delta F_2}{x_2} \cdot x_1^2 + 2 \cdot \Delta F_2 \cdot x_2 + 2 \cdot \frac{\Delta F_2}{x_2} \cdot x_3^2 = 2 \cdot \Delta F_2 \left(\frac{x_1^2}{x_2} + x_2 + \frac{x_3^2}{x_2} \right) \quad (48)$$

$$\Delta F_2 = \frac{M_0}{2 \cdot \left(\frac{x_1^2}{x_2} + x_2 + \frac{x_3^2}{x_2} \right)} \quad (49)$$

$$M_0 = 195 \text{ N} \cdot \text{m}$$

$$x_1 = 0,221 \text{ m}$$

$$x_2 = 0,125 \text{ m}$$

$$x_3 = 0,030 \text{ m}$$

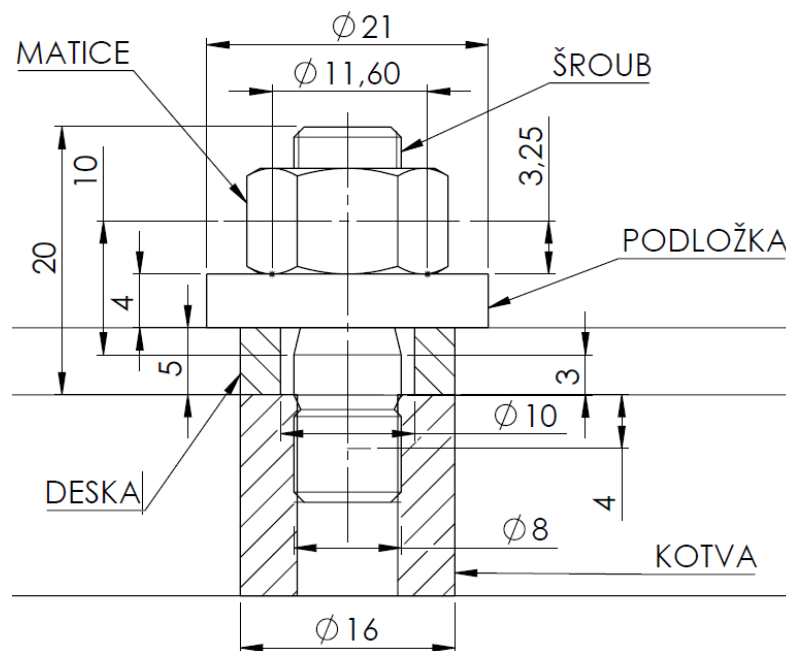
$$\Delta F_2 = \frac{195}{2 \cdot \left(\frac{0,221^2}{0,125} + 0,125 + \frac{0,030^2}{0,125} \right)} = 237,6 \text{ N} \quad (50)$$

$$\Delta F_3 = \frac{\Delta F_2}{x_2} \cdot x_3 = \frac{237,6}{0,125} \cdot 0,030 = 57 \text{ N} \quad (51)$$

$$\Delta F_1 = \frac{\Delta F_2}{x_2} \cdot x_1 = \frac{237,6}{0,125} \cdot 0,221 = 420 \text{ N} = \Delta F_1 \quad (52)$$

Dle předpokladu vyšlo, že největší síla (420 N) působí na šrouby nejvíce vzdálené od bodu otáčení podstavné desky.

Řešení tuhosti šroubového spoje



Obrázek 35: Nákres šroubového spoje

Tabulka 3: Rolišení přitěžovaných a odlehčovaných součástí

ČÁSTI	Q_0	Vstup vnější síly ΔF_i od ohybu	PŘITĚŽOVANÉ – 1 ODLEHČOVANÉ – 2
ŠROUB (Š)	+	+	1
KOTVA (K)	-	-	1
DESKA (D)	-	+	2
PODLOŽKA (P)	-	-	1
MATICE (M)	-	-	1

Přetěžované součásti:

$$\text{Tuhost matice: } C_M = \frac{E \cdot S_M}{l_M} = \frac{200000 \cdot \frac{\pi}{4} \cdot 11,6^2}{3,25} = 65 \cdot 10^5 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-1} \quad (53)$$

$$\text{Tuhost podložky: } C_P = \frac{E \cdot S_P}{l_P} = \frac{200000 \cdot \frac{\pi}{4} \cdot (21^2 - 8^2)}{4} = 148 \cdot 10^5 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-1} \quad (54)$$

$$\text{Tuhost kotvy: } C_K = \frac{E \cdot S_K}{l_K} = \frac{200000 \cdot \frac{\pi}{4} \cdot (16^2 - 7,188^2)}{4} = 80 \cdot 10^5 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-1} \quad (55)$$

$$\text{Tuhost šroubu: } \frac{1}{C_S} = \frac{1}{C_{ZK}} + \frac{1}{C_{HL}} + \frac{1}{C_{ZM}} \quad (56)$$

$$\frac{1}{C_S} = \frac{1}{\frac{200000 \cdot \frac{\pi}{4} \cdot 7,188^2}{4}} + \frac{1}{\frac{200000 \cdot \frac{\pi}{4} \cdot 8^2}{3}} + \frac{1}{\frac{200000 \cdot \frac{\pi}{4} \cdot 7,188}{8,3}} = \frac{1}{5,5 \cdot 10^5} \quad (57)$$

$$\text{Tuhost přetěžovaných částí: } \frac{1}{C_1} = \frac{1}{C_S} + \frac{1}{C_P} + \frac{1}{C_K} + \frac{1}{C_M} \quad (58)$$

$$\frac{1}{C_1} = \frac{1}{5,5 \cdot 10^5} + \frac{1}{148 \cdot 10^5} + \frac{1}{80 \cdot 10^5} + \frac{1}{65 \cdot 10^5}$$

$$C_1 = 4,620 \cdot 10^5 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-1} \quad (59)$$

Odlehčované části:

Tuhost desky:

$$C_D = \frac{E \cdot S_D}{l_D} = \frac{200000 \cdot \frac{\pi}{4} \cdot (16^2 - 8^2)}{5} = 60,3 \cdot 10^5 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-1} \quad (60)$$

$$C_D = C_2 = 60,3 \cdot 10^5 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-1}$$

Vzhledem k tomu, že nejnižší tuhost ze sestavy zobrazené na obrázku 35 má šroub, vtaňují se další výpočty pouze ke šroubu.

Výpočet složky F_1 od síly ΔF_1 , jejíž přírůstek se projeví ve výsledné síle na šroub.

$$F_1 = \frac{C_1}{C_1 + C_2} \cdot \Delta F_1 = \frac{4,620 \cdot 10^5}{4,620 \cdot 10^5 + 60,3 \cdot 10^5} \cdot 420 \text{ N} = 29,90 \text{ N} \quad (61)$$

Kontrola výsledného napětí ve šroubu a výpočet bezpečnosti

$$Q_1 = F_1 + Q_0 = 29,90 + 7682,9 = 7712,8 \text{ N} \quad (62)$$

Výsledná síla působící na šroub je 7712,8 N.

$$d_3 = 6,466 \text{ mm}$$

$$R_{p\ 0,2} \text{ (pro pevnostní třídu 80)} = 600 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-2}$$

$$\sigma_{Q_1} = \frac{4 \cdot Q_1}{\pi \cdot d_3^2} = \frac{4 \cdot 7712,8}{\pi \cdot 6,466^2} = 234,89 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-2} \quad (63)$$

$$M_z = Q_0 \cdot \frac{d_2}{2} \cdot \text{tg}(\gamma + \varphi') = 7682,9 \cdot \frac{7,188}{2} \cdot \text{tg}(3,17^\circ + 16,7^\circ) = 9979,18 \text{ N} \cdot \text{mm} \quad (64)$$

$$\tau = \frac{16 \cdot M_z}{\pi \cdot d_3^3} = \frac{16 \cdot 9979,18}{\pi \cdot 6,466^3} = 188 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-2} \quad (65)$$

$$k_\sigma = \frac{R_{p\ 0,2}}{\sigma_{Red}} = \frac{R_{p\ 0,2}}{\sqrt{\sigma_{Q_0}^2 + 3 \cdot \tau^2}} = \frac{600}{\sqrt{234,89^2 + 3 \cdot 188^2}} = 1,5 \geq 1,2 \rightarrow \text{vyhovuje} \quad (66)$$

Kontrola tlaku v závitu a pod maticí

$$P = 1,25 \text{ mm} \quad m = 6,25 \text{ mm}$$

$$d_a = 8,75 \text{ mm} \quad d_w = 11,6 \text{ mm}$$

$$H_1 = 0,541 \cdot P = 0,541 \cdot 1,25 = 0,676$$

Dovolené tlaky:

$$p_{z_D} = 150 \text{ MPa} \quad p_{M_D} = 600 \text{ MPa}$$

$$p_z = \frac{Q_1}{\pi \cdot d_2 \cdot H_1 \cdot \frac{m}{p}} \leq p_{z_D} \Rightarrow p_z = \frac{7712,8}{\pi \cdot 7,188 \cdot 0,676 \cdot \frac{6,25}{1,25}} = 101,05 \text{ MPa} \quad (67)$$

$$p_M = \frac{Q_1}{\frac{\pi(D^2 - d^2)}{4}} \leq p_{M_D} \Rightarrow p_M = \frac{7712,8}{\frac{\pi(11,6^2 - 8,75^2)}{4}} = 169 \text{ MPa} \quad (68)$$

$$p_z \leq p_{z_D} \rightarrow \text{vyhovuje}$$

$$p_M \leq p_{M_D} \rightarrow \text{vyhovuje}$$

4. Závěr

V úvodu této práce byla zpracována rešerše na důvody měření dešťových srážek, metody detekce a způsoby vyhodnocování. Následně byly zhodnoceny možnosti současného trhu. Ze sofistikovanějších řešení byly převzaty jednotlivé výhody a zakomponovány do vlastního řešení.

První fází vývoje konečného produktu bylo navrhnutí a následná výroba první verze srážkoměru ERGS 2500. Samotný název ERGS je zkratkou názvu Electronic Rain Gauge System. V čísle 2500 se skrývají 2 významy: 2 – počet záchytných nádob (u první verze byl počítán i záchytný trychtýř); 500 – obsah záchytné plochy 500 cm² stanovený Českým hydrometeorologickým institutem. Po kompletaci konstrukce byla první verze osazena všemi potřebnými komponenty, aby mohl být přístroj uveden do testovacího provozu.

Další část této práce pojednává o návrhu druhé verze tohoto přístroje. Způsob detekce pomocí tenzometru a vypouštění pomocí solenoidových ventilů bylo ponecháno. Nejpodstatnější změna proběhla ve způsobu, jakým se srážky vyhodnocují. Přidáním druhé zásobní nádoby umístěné na jednom tenzometrickém snímači zajistíme detekování všech spadných srážek. U první verze se tomu v době vypouštění vody mimo tělo zařízení nedělo. Kapitola 3.4.4 obsahuje modelovou situaci způsobu vyhodnocení srážek při maximální možné intenzitě srážek do 300 mm/hod.

Většina konstrukčních myšlenek byla zformována na základě prostudování nevýhod současných výrobků a zkušeností z výroby a testovacího provozu první verze srážkoměru. Předně: volný přístup do zásobních nádob, který má také za následek neefektivní temperování celého zařízení, nutnost vyprázdnění zařízení po naplnění zásobních nádob a přesnost samotného měření a vyhodnocování srážek (zejména oproti člunkovým srážkoměrům). Viditelnou změnou je tvar srážkoměru. Návrh probíhal tak, aby všechny části zařízení byly jednoduché na výrobu i kompletaci. V případě první verze se příliš nehledělo ani na mohutnost zařízení. Majoritním materiálem zařízení byla z důvodu dobré dostupnosti, ceny a korozní odolnosti zvolena nerezová ocel 1.4301 dle DIN (17 240 ČSN). Zařízení obsahuje dva dvoucestné solenoidové ventily ASCO a jeden tenzometrický snímač Zemic. Oba prvky byly pro toto použití vyzkoušeny.

Práce dále obsahuje kontrolní výpočty, kterými jsme zjistili možnosti použití konstrukce v extrémních podmínkách. Výchozím parametrem pro tyto výpočty byla rychlost proudícího vzduchu s maximální hodnotou 80 m·s⁻¹. Nejprve byl zjištěn průhyb

stojny srážkoměru a následně byl zkontrolován obvodový koutový svar, kterým je stojna přivařena k podstavné desce. V závěru práce je zkontrolován šroubový spoj složený ze závrtného šroubu, podložky, matice, podstavní desky a kotvy. Pomocí šesti těchto šroubových spojů je zařízení upevněno na stanoviště.

Součástí práce je kompletní výkresová a 3D dokumentace vytvořená v programu SolidWorks. Dalším možným krokem pro finalizaci produktu je navrhnutí elektroinstalace zařízení, propojení komponent uvnitř srážkoměru s rozvaděčem a naprogramování řídicího PLC.

Seznam použitých symbolů

F_x	[N]	odporová síla proudícího plynu
c_x	[1]	odporový součinitel
A	[m ²]	obsah plochy
ρ	[kg·m ⁻³]	hustota vzduchu
v_x	[m·s ⁻¹]	rychlost proudícího vzduchu
Re	[1]	Reynoldsovo číslo
μ	[m ² ·s ⁻¹]	kinematická viskozita
M_o	[N·m]	ohybový moment
E	[N·mm ⁻²]	modul pružnosti v tahu
J_z	[mm ⁴]	moment setrvačnosti
W_o	[mm ³]	průřezový modul
τ	[N·mm ⁻²]	smykové napětí
Q	[N]	síla působící na konec podstavy
k_σ	[1]	součinitel bezpečnosti v tahu
$R_{p\ 0,2}$	[N·mm ⁻²]	smluvní mez kluzu
ΔF_1	[N]	síla od proudění větru
F_1	[N]	složka síly ΔF_1
C	[N·mm ⁻¹]	tuhost
d_2	[mm]	střední průměr závitu
Q_1	[N]	výsledná síla na šroub
l_D	[mm]	výška desky
C_1	[N·mm ⁻¹]	tuhost přitěžovaných součástí
C_2	[N·mm ⁻¹]	tuhost odlehčovaných součástí
P	[mm]	rozteč
d_a	[mm]	malý průměr matice
d_w	[mm]	dosedací průměr matice
m	[mm]	výška matice
p_{zD}	[MPa]	dovolený tlak v závitu
p_{mD}	[MPa]	dovolený tlak pod maticí

Seznam použité literatury

- [1] POSPÍCHAL, Jaroslav, 1995. *Technické kreslení*. Vyd. 3., přeprac. Praha: Vydavatelství ČVUT. ISBN 80-010-3214-0.
- [2] LEINVEBER, Jiří a Pavel VÁVRA, 2011. *Strojnické tabulky: pomocná učebnice pro školy technického zaměření*. 5., upr. vyd. Úvaly: Albra. ISBN 978-80-7361-081-4.
- [3] UHLÍŘ, Pavel. *Meteorologie*. 2. zcela přeprac. vyd. Praha: Státní pedagogické nakladatelství, 1958.
- [4] BEDNÁŘ, Jan. *Meteorologie*. Praha: Portál, 2003. ISBN 80-7178-653-5.
- [5] MORAN, Joseph M. a Michael D. MORGAN. *Meteorology: the atmosphere and the science of weather*. 2nd ed. London: Collier Macmillan, c1989. ISBN 0-02-383330-0.
- [6] *Srážky* [online], 2017. Praha: Wikipedia [cit. 2017-06-08]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Sr%C3%A1%C5%BEky>
- [7] *Srážky na území ČR* [online], 2007. Praha: Český hydrometeorologický ústav [cit. 2017-06-08]. Dostupné z: http://hydro.chmi.cz/hpps/main_rain.php
- [8] *Informace o srážkových mapách* [online], 2011. Praha: Milan Šálek [cit. 2017-03-08]. Dostupné z: http://hydro.chmi.cz/hpps/hpps_srzinfo.php
- [9] *Radarová síť CZRAD* [online]. Praha: ČHMÚ, 2011 [cit. 2017-03-13]. Dostupné z: http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/meteo/rad/info_czrad/
- [10] *Dešťový srážkoměr*. In: E-přístroje [online]. Třebíč: I & CS spol. s r.o. [cit. 2017-06 11]. Dostupné z: <http://www.e-pristroje.cz/meteostanice-srazkomery.html>
- [11] *Srážkoměr MR3H-FC* [online], 1. Vodňany: METEOSERVIS v.o.s. [cit. 2017 06 11]. Dostupné z: [http://www.meteoservis.cz/fotky/fotos/_c_128MR2\(H\)_2015_ces2.pdf](http://www.meteoservis.cz/fotky/fotos/_c_128MR2(H)_2015_ces2.pdf)
- [12] *Ombrograf*, 2008. In: Flickr [online]. Plzeň: Martin S. [cit. 2017-06-11]. Dostupné z: <https://www.flickr.com/photos/7620187@N07/2371978998>
- [13] *Ombrograf*, In: Leporelo [online]. Praha: Československá akademie věd [cit. 2017-06-11]. Dostupné z: <https://leporelo.info/ombrograf>

- [14] *Vaisala VRG1* [online], 2010. Helsinki: Vaisala Oyj [cit. 2017-06-11]. Dostupné z: [http://www.vaisala.com/Vaisala%20Documents/User%20Guides%20and%20Quick%20Ref%20Guides/Hydromet%20Data%20Collection%20Platform%20Users%20Gui de%20Vol%203%20M210933EN-C.pdf](http://www.vaisala.com/Vaisala%20Documents/User%20Guides%20and%20Quick%20Ref%20Guides/Hydromet%20Data%20Collection%20Platform%20Users%20Guide%20Vol%203%20M210933EN-C.pdf)
- [15] *Geonor T200B* [online], 2010. Oslo: TW M Reklamebyrå [cit. 2017-06-11]. Dostupné z: <http://www.geonor.com/brochures/t-200b-series-all-weather.pdf>
- [16] *MRW500* [online], Vodňany: METEOSERVIS v.o.s [cit. 2017-06-11]. Dostupné z: http://www.meteoservis.cz/fotky/fotos/_c_134MRW500_2015_2.pdf
- [17] *Torrey Wi* [online], Brno: ZEMAN Váhy s.r.o [cit. 2017-06-11]. Dostupné z: https://www.vahy-pokladny-systemy.cz/usecontent/0.39296200_1479749994.pdf
- [18] *Nerezové konstrukce* [online], Praha: Prof. Ing. Josef Macháček, DrSc. [cit. 2017-06-11]. Dostupné z: <http://people.fsv.cvut.cz/~machacek/prednaskyNerez/Nerez-2.pdf>
- [19] *Korozivzdorné oceli v potravinářském a nápojářském průmyslu* [online], 2008. Luxemburg: Euro Inox [cit. 2017-06-11]. ISBN 978-2-87997-191-9. Dostupné z: http://www.worldstainless.org/Files/issf/non-image-files/PDF/Euro_Inox/StSt_in_FoodandBeverage_CZ.pdf
- [20] *Type L6D Load Cell* [online], Etten-Leur: Zemic Europe B.V. [cit. 2017-06-11]. Dostupné z: https://www.zemic europe.com/media/Documentation/L6D_Datasheet.pdf
- [21] *Solenoid valves* [online], Asco Joucomatic - Numatics [cit. 2017-06-11]. Dostupné z: <http://media.oem.se/Archive/FilesArchive/110777.pdf>
- [22] ÚZEMNÍ SRÁŽKY: Územní srážky v roce 2002 [online], 2003. Praha: ČHMÚ [cit. 2017-05-28]. Dostupné z: <http://portal.chmi.cz/historicka-data/pocasi/uzemni-srazky#>
- [23] *Cylinder Drag*, 2007. In: *Wolfram Research* [online]. Eric W. Weisstein [cit. 2017-06-13]. Dostupné z: <http://scienceworld.wolfram.com/physics/CylinderDrag.html>
- [24] *Elektrická topná tělesa* [online], 2011. Hlinsko: Michael Dvořák [cit. 2017-06-19]. Dostupné z: https://www.backer- elektro.cz/sites/default/files/docs/katalog_backer_elektro_cz.pdf



- [25] JEŽEK, Jan, Blanka VÁRADIOVÁ a Josef ADAMEC. *Mechanika tekutin*. 3. přeprac. vyd. Praha: ČVUT, 2000. ISBN 80-01-01615-3.
- [26] ŠVEC, Vladimír. *Části a mechanismy strojů: Příklady*. Praha: Ediční středisko Českého vysokého učení technického, 1991.
- [27] MICHALEC, Jiří. *Pružnost a pevnost II*. Praha: ČVUT, 1994. ISBN 80-01-01087-2
- [28] *Šroubový katalog* [online], reca spol. [cit. 2017-06-19]. Dostupné z: http://www.reca.cz/fileadmin/user_upload/cz.reca.com/cz/Documents/Sroubovy_katalog/technicke_info_2.pdf
- [29] *Technické informace, Spojovací technika* [online], 2017. Zug: Bossard [cit. 2017-06-19]. Dostupné z: https://shop.bossard.com/index.cfm?app_action=file_open&app_fileID=20435&app_ContentMenuItemID=11624
- [30] *IPLC510 DDC REGULÁTOR MINIPLC SHARK* [online], 2013. Domat control systems [cit. 2017-06-16]. Dostupné z: <http://products.domat-int.com/cs/procesni-stanice/17-ddc-regulator-mini plc-shark-4-porty-displej.html>

Seznam obrázků

Obrázek 1: Grafické zobrazení dat z meteorologických radarů [3]	8
Obrázek 2: Názorné zobrazení rušení radarového signálu bezdrátovými sítěmi [3]	9
Obrázek 3: Odměrný srážkoměr [6]	10
Obrázek 4: Člunkový srážkoměr MR3HFC [7]	11
Obrázek 5: Princip člunkového srážkoměru [7]	11
Obrázek 6: Schéma ombrografu [9].....	12
Obrázek 7: Ombrograf [8].....	12
Obrázek 8: Umístění zásobní nádoby na siloměrech – Geonor T200B (Norsko) [11].....	13
Obrázek 9:Finský produkt Vaisala VRG1 [10]	13
Obrázek 10: Srážkoměr MRW500 [12]	14
Obrázek 11: Schéma zařízení MRW500 [12]	14
Obrázek 12: Vnější pohled [autor].....	17
Obrázek 13: Rám přístroje a měřicí sestava [autor]	17
Obrázek 14: Indikátor Torrey Wi [13]	18
Obrázek 15: Pohled na zachytnou plochu srážkoměru [autor]	18
Obrázek 16: Zachytný trychtýř s ventilem [autor].....	18
Obrázek 17: MikroPLC Shark [30]	18
Obrázek 18: Srážkoměr ERGS 2500 - 2. verze [autor].....	19
Obrázek 19: Vnitřní ústrojí [autor]	20
Obrázek 20: Porovnání vnějšího vzhledu první a druhé verze srážkoměru [autor].....	21
Obrázek 21: Umístění tenzometru na základně [autor]	23
Obrázek 22: Detail horní nádoby – síto proti vniknutí menších částí do ventilu [autor].....	24
Obrázek 23: Umístění ježka v zachytném trychtýři [autor]	24
Obrázek 24: Tenzometrický snímač Zemic L6D/6kg C5 [16].....	25
Obrázek 25: Solenoidový ventil Asco E262K21S21N00F8 s cívkou a konektorem E10058 [17]	26
Obrázek 26 : Výřez z katalogu Backer elektro [24]	27
Obrázek 27: Územní srážky v roce 2002 [18].....	29
Obrázek 28: Součinitel odporu válce c_D při různých hodnotách Re [27]	31
Obrázek 29: Působení síly způsobené větrem	31
Obrázek 30: Modelová situace pro výpočet ohybu stojny [autor]	32
Obrázek 31: Nákres upevnění stojny srážkoměru k podstavě desce obvodovým koutovým svarem [autor].....	34
Obrázek 32: Upevnění srážkoměru k podkladu [autor].....	36
Obrázek 33 : Namáhání šroubových spojů	37
Obrázek 34: Přídavné silové působení na šrouby od ohybu [autor].....	38
Obrázek 35:Nákres šroubového spoje.....	39

Seznam tabulek

Tabulka 1: Rozdělení úhrnu srážek dle intenzity [2].....	7
Tabulka 2: Simulace měření [autor]	28
Tabulka 3: Rolišení přitěžovaných a odlehčovaných součástí	39

Seznam příloh

2D výkresová dokumentace

CD obsahující tuto práci ve formátu .pdf a 3D dokumentaci