



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

## FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

## ÚSTAV ELEKTROENERGETIKY

DEPARTMENT OF ELECTRICAL POWER ENGINEERING

## NAPĚŤOVÉ ZKOUŠKY ZA MOKRA

VOLTAGE TESTS UNDER WET CONDITION

### DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

### AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Michal Vondrák

### VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Michal Krbal, Ph.D.

BRNO 2017

# Diplomová práce

magisterský navazující studijní obor **Elektroenergetika**  
Ústav elektroenergetiky

**Student:** Bc. Michal Vondrák

**ID:** 146997

**Ročník:** 2

**Akademický rok:** 2016/17

**NÁZEV TÉMATU:**

## Napětové zkoušky za mokra

**POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:**

1. Rešerše literatury, požadavky na zkoušky vyplývající z platných norem, články IEEE a již vypracované závěrečné práce
2. Požadavky na vodu pro provedení zkoušky a její úpravy
3. Návrh laboratorního pracoviště pro kombinované zkoušky za mokra
4. Realizace systému trysek a ověření jejich činnosti v laboratorních podmínkách

**DOPORUČENÁ LITERATURA:**

podle pokynů vedoucího práce

**Termín zadání:** 6.2.2017

**Termín odevzdání:** 22.5.2017

**Vedoucí práce:** Ing. Michal Krbal, Ph.D.

**Konzultant:**

**doc. Ing. Petr Toman, Ph.D.**  
*předseda oborové rady*

Bibliografická citace práce:

VONDRÁK, M. *Napětové zkoušky za mokra*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2017. 46 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Michal Krbal, Ph.D..

Zde bych rád poděkoval svému vedoucímu mé diplomové práce **Ing. Michalu Krbalovi, Ph.D.** za odborné vedení po celou dobu tvorby mé práce. Tato pomoc pro mě byla neocenitelným přínosem. Na závěr bych chtěl poděkovat svým rodičům a své přítelkyni za trpělivost a podporu po celou dobu mého studia.

„Prohlašuji, že svou diplomovou práci na téma *Napětové zkoušky za mokra* jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této diplomové práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.“

V Brně dne: 19.05.2017

.....

## **ABSTRAKT**

Cílem této práce je navrhnout sprchový systém pro rozšíření napěťových zkoušek o napěťové zkoušky za mokra. Na úvod je práce zaměřena na důležité požadavky, za kterých lze realizovat napěťové zkoušky za mokra. Tyto požadavky vychází převážně z českých i zahraničních norem. Další část práce je zaměřena na konkrétní návrhy sprchových systémů, které splňují požadavky z norem. Poslední část je zaměřena na dílčí praktické zkoušky. Konkrétně pak na rozbor vlastností dešťové vody, chování dešťových kapek vystupujících z trysky při různých průtocích a natočení trysky, napěťové zkoušce na izolátoru za sucha a při smočení vodou.

**KLÍČOVÁ SLOVA:** Vysoké napětí; napěťové zkoušky; napěťové zkoušky za mokra; kombinované zkoušky; sprchový systém; parametry vody

## **ABSTRACT**

The main objective of presented thesis is to design a shower system in order to extend voltage tests by voltage wet testing. The introduction focuses on important aspects related to voltage wet testing. Such aspects originates mainly from Czech but also foreign standards. Following part of the thesis deals with specific wet testing design proposals, which fulfil the standards requirements. The final part of presented thesis is focused on partial experiments. Namely the analysis of rain water properties, behavior of rain drops exiting the nozzle with varying flow and nozzle angle, wet test on insulator in dry and wet conditions.

**KEY WORDS:** High voltage, voltage tests, voltage tests under wet condition, combine tests, shower system, water properties

**OBSAH**

<b>SEZNAM OBRÁZKŮ.....</b>	<b>8</b>
<b>SEZNAM TABULEK .....</b>	<b>9</b>
<b>SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK.....</b>	<b>10</b>
<b>1 ÚVOD.....</b>	<b>11</b>
<b>2 NAPĚŤOVÉ ZKOUŠKY.....</b>	<b>12</b>
<b>2.1 ÚVOD DO PROBLEMATIKY NAPĚŤOVÝCH ZKOUŠEK .....</b>	<b>12</b>
<b>2.2 DRUHY NAPĚŤOVÉHO ZKOUŠENÍ .....</b>	<b>12</b>
2.2.1 ZKOUŠKY STRÍDAVÝM NAPĚTÍM.....	12
2.2.2 NAPĚŤOVÉ ZKOUŠKY STEJNOSMĚRNÝM NAPĚTÍM.....	14
2.2.3 ZKOUŠKY IMPULSNÍM NAPĚTÍM.....	15
<b>3 ZKOUŠENÉ OBJEKTY.....</b>	<b>18</b>
<b>3.1 IZOLÁTORY .....</b>	<b>18</b>
<b>3.2 SVODIČE PŘEPĚTÍ.....</b>	<b>19</b>
<b>3.3 DALŠÍ ENERGETICKÉ ZAŘÍZENÍ .....</b>	<b>20</b>
<b>4 NAPĚŤOVÉ ZKOUŠKY ZA MOKRA .....</b>	<b>21</b>
<b>4.1 PARAMETRY VODY.....</b>	<b>21</b>
4.1.1 MĚRNÁ ELEKTRICKÁ VODIVOST:.....	22
<b>4.2 TRYSKY .....</b>	<b>23</b>
4.2.1 PARAMETRY TRYSEK .....	23
4.2.2 VOLBA A POČET TRYSEK.....	24
<b>4.3 POŽADAVKY NA PRŮBĚH ZKOUŠKY .....</b>	<b>25</b>
<b>4.4 ATMOSFÉRICKÉ KOREKCE .....</b>	<b>25</b>
4.4.1 KOREKČNÍ ČINITEL NA HUSTOTU VZDUCHU .....	25
<b>5 NÁVRH KONSTRUKCE.....</b>	<b>27</b>
<b>5.1 PARAMETRY KONSTRUKCE A ROZLOŽENÍ TRYSEK .....</b>	<b>27</b>
5.1.1 VÝPOČET VÝSTUPNÍ RYCHLOSTI A DRÁHY LETU VODY.....	27
5.1.2 ROZLOŽENÍ TRYSEK .....	29
5.1.3 NÁVRH UCHYCENÍ SPRCHOVÉHO RÁMU A SPRCHOVÉ CLONY .....	30
5.1.4 NÁVRH SYSTÉMU S VYUŽITÍM BARELU VYSOKO NAD PODLAHOU .....	30
<b>5.2 NÁVRHY ÚPRAV ROZLOŽENÍ TRYSEK .....</b>	<b>32</b>
5.2.1 ROZLOŽENÍ TRYSEK PRO VYSOKÉ OBJEKTY .....	32
5.2.2 ROZLOŽENÍ TRYSEK PRO OBJEMNÉ OBJEKTY.....	33
5.2.3 ROZLOŽENÍ TRYSEK S KRUHOVOU KONSTRUKCÍ.....	34
5.2.4 NÁVRH KRUHOVÉ KONSTRUKCE S MOŽNOSTÍ ZMĚNY POLOH TRYSEK.....	35
<b>6 PRAKTICKÉ MĚŘENÍ .....</b>	<b>36</b>
<b>6.1 MĚŘENÍ VLASTNOSTÍ DEŠTĚ .....</b>	<b>36</b>
<b>6.2 VLASTNOSTI TRYSEK PŘI RŮZNÝCH PODMÍNKÁCH .....</b>	<b>37</b>
6.2.1 POPIS MĚŘICÍHO PRACOVÍŠTĚ .....	37
6.2.2 STANOVENÍ POUŽITELNÉ HOMOGENNÍ OBLASTI.....	39

---

6.2.3 STANOVENÍ PRŮMĚRNÉ RYCHLOSTI KAPEK.....	41
6.2.4 STANOVENÍ PRŮMĚRNÉ VELIKOSTI KAPEK .....	42
<b>6.3 NAPĚŤOVÁ ZKOUŠKA IZOLÁTORU .....</b>	<b>43</b>
<b>7 ZÁVĚR.....</b>	<b>44</b>
<b>POUŽITÁ LITERATURA .....</b>	<b>46</b>

**SEZNAM OBRÁZKŮ**

<i>Obr. 1 Princip funkce reverzní osmózy [8].</i>	23
<i>Obr. 2 Simulace proudu trysky s rozptylem 15° s uvažováním gravitace.</i>	28
<i>Obr. 3 Návrhy rozmístění trysek a sprchového systému</i>	29
<i>Obr. 4 Návrh konstrukce s využitím barelu.</i>	31
<i>Obr. 5 Návrh rozložení trysek pro zkoušky na vysoké objekty. (půdorys a bokorys)</i>	32
<i>Obr. 6 Návrh rozložení trysek pro objemné objekty s tryskami s rozptylem 45° (bokorys).</i>	33
<i>Obr. 7 Návrh kruhového uspořádání trysek (půdorys).</i>	34
<i>Obr. 8 Návrh kruhové konstrukce s možnými použitelnými materiály [12, 13, 14, 15]</i>	35
<i>Obr. 9 Měřicí pracoviště pro možnosti focení rozptylu, velikosti a rychlosti kapek.</i>	38
<i>Obr. 10 Ukázka z měření pro nevyhovující homogenní oblast.</i>	39
<i>Obr. 11 Ukázka z měření pro vyhovující homogenní oblast</i>	40
<i>Obr. 12 Ukázka stanovení dráhy kapky. A - obkreslená kapka, B – transponování obkreslené kapky z bodu A na měřítko.</i>	42
<i>Obr. 13 Ukázka z napěťové zkoušky na izolátoru při výboji za sucha.</i>	43



**SEZNAM TABULEK**

<i>Tab. 1 Hodnoty normalizovaného zkušebního napětí pro krátkodobé zkoušky [1].</i>	<i>14</i>
<i>Tab. 2 Hodnoty normalizovaného zkušebního napětí při atmosférickém impulsu [1].</i>	<i>16</i>
<i>Tab. 3 Parametry vody pro normalizovaný postup napěťových zkoušek za mokra [2, 7].</i>	<i>21</i>
<i>Tab. 4 Parametry použitých trysek pro sprchový systém [10].</i>	<i>24</i>
<i>Tab. 5 Hodnoty exponentů <math>m</math>, pro korekci na hustotu vzduchu [2].</i>	<i>26</i>
<i>Tab. 6 Možnosti umístění velikosti objektu pro jeho plné zadešťování.</i>	<i>29</i>
<i>Tab. 7 Hodnoty tlaků v různých stavech vody v barelu.</i>	<i>31</i>
<i>Tab. 8 Měření vlastností dešťů a porovnávaných vzorků vody.</i>	<i>36</i>
<i>Tab. 9 Doporučená kruhová homogenní plocha s průměrem v metrech.</i>	<i>40</i>
<i>Tab. 10 Průměrná rychlost kapek stanovená v homogenní oblasti v metrech za sekundu.</i>	<i>41</i>
<i>Tab. 11 Průměrná velikost kapek stanovená v homogenní oblasti v milimetrech</i>	<i>42</i>
<i>Tab. 12 Průměrné přeskokové napětí na trakčním izolátoru 25 kV</i>	<i>43</i>

## SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK

$\alpha$	úhel proudu vody z trysky	°
$\delta$	úhel rozstříku	°
$\delta$	relativní hustota vzduchu	
$\rho$	hustota vody	kg/m <sup>3</sup>
$d$	nominální průměr	mm
$g$	gravitační zrychlení	m/s <sup>2</sup>
$h$	výška od země k barelu	m
$h_t$	výška od země k tryskám	m
$h_b$	výška barelu	m
$k$	korekční činitel	
$k_h$	korekční činitel na hustotu vzduchu	
$L$	dráha	m
$m$	exponent pro korekci na hustotu vzduchu	
$p$	tlak	hPa
$Q$	průtok	l/min
$r$	nominální poloměr	mm
$S$	plocha	m <sup>2</sup>
$\check{s}_b$	šířka barelu	m
$t$	čas	s
$t_z$	čas vytékání barelu	min
$U$	napětí	V
$V$	objem	l
$v$	rychlost	m/s
$v_x$	rychlost v ose x	m/s
$v_y$	rychlost v ose y	m/s

# 1 ÚVOD

V dnešní době, kdy je energetika v rozvoji, je nutné provozovat bezpečnou a spolehlivou elektrizační soustavu. Elektrizační soustava obsahuje spoustu zařízení, které slouží ke správnému přenosu elektrické energie. Tyto zařízení jsou ve většině případů uloženy ve venkovních prostorech. Je tedy nutné tyto zařízení testovat a provádět na nich různé simulační zkoušky představující reálné klimatické podmínky. Tato práce je zaměřena na napěťové zkoušky za mokra. Jedná se o simulaci deště na různých zařízeních ve venkovních prostorech.

Teoretická část práce se nejprve zabývá obecně problematikou napěťového zkoušení, převážně pak vysokonapěťového zkoušení. V úvodu jsou popsány základní typy zkoušení a to stejnosměrné, střídavé a impulsní. V další části jsou uvedené příklady nejčastějších testovaných zařízení a typy zkoušek na nich prováděné.

Další část teoretické práce se pak zabývá již samotnými napěťovými zkouškami za mokra. Nejprve používanou vodou při testování, která musí splňovat určité parametry. Mezi tyto požadované parametry patří mimo jiné i elektrická vodivost. Proto se část práce zaměří i na úpravu vody. Mezi důležité patří i volba trysek pro správnou simulaci deště, a tak další část se zaměřuje na vhodný typ a počet trysek pro co možná nejlepší simulaci deště.

Samotnou konstrukci sprchového systému je možné provést několika možnými způsoby. Je nutné provozovat napěťové zkoušky za mokra při podmínkách, za kterých nehrozí žádné nebezpečí při testování. Proto prvořadně je nutné, aby se voda vyskytovala pouze v mokré zóně oddělené sprchovým závěsem nebo jinou zábranou. Pro tyto podmínky jsou v další části práce navrženy různé typy konstrukcí.

Závěrečná část této diplomové práce se zabývá praktickou částí, a to konkrétně dílčími zkouškami a měřeními, které pomohou při celé realizaci sprchového systému. Mezi provedené analýzy patří záchyt dešťových kapek a následné zkoumání jejich vlastností s výsledným porovnáním s požadovanými parametry při zkouškách. Dále pak rozbor vody vystupující z trysky při různých průtocích a nastavení různého úhlu trysky. Zde se provede analýza na velikost kapiček, na rychlost kapiček a homogenitu celkového tryskání vody. Na úplný závěr je provedena částečná napěťová zkouška za mokra, která má za úkol simulovat důležitost těchto zkoušek v praxi.

## 2 NAPĚŤOVÉ ZKOUŠKY

Tato práce se bude zabývat převážně napět'ovými zkouškami za mokra. Nejprve je nutné se zaměřit na to, proč se provádí napět'ové zkoušky, jakým způsobem se měří a co se měří. Proto je první část této diplomové práce věnována napět'ovým zkouškám obecně. Dále se práce bude věnovat zkouškám za mokra. První část této diplomové práce je proto věnována napět'ovým zkouškám obecně.

### 2.1 Úvod do problematiky napět'ových zkoušek

V dnešní době je nutné provozovat kvalitní, spolehlivou, bezpečnou, přenosovou a distribuční síť. Z ekonomického i technického hlediska je proto výhodné provozovat elektrizační soustavu na vysokých napět'ových hladinách. Tyto hladiny jsou navrženy podle norem, aby splňovali technické parametry. Hlavně pak schopnost přenést požadovaný výkon při minimálních ztrátách. Pro splnění těchto požadavků se musí vhodně zvolit průřez, který potom hraje významnou roli v ceně vedení.

V minulosti bylo nutno začít provádět napět'ové zkoušky, aby bylo vedené spolehlivé a bezpečné. Dále bylo obecně nutné zkoušení izolace elektrických přístrojů a zařízení spojené s vysokým napětím. Mezi nejčastější patří měření izolátorů, odpojovačů, vypínačů, zkratovačů, rozváděčů, transformátorů nebo například měření přípojníc.

Vysokonapět'ové zkoušky jsou tedy velmi specifický a náročný obor. Jelikož se při zkoušení libovolného zařízení pohybuje napětí v jednotkách až stovkách kilovoltů, musí být zkušebny kvalitně vybaveny. V roce 1996 pak vznikla Asociace zkušeben vysokého napětí (AZVN), která by měla dbát na dodržování českých a mezinárodních norem spojených v oblastní vysokonapět'ových zkoušek.

### 2.2 Druhy napět'ového zkoušení

Napět'ové zkoušky se provádí třemi různými způsoby:

- střídavým napětím,
- stejnosměrným napětím,
- impulsním napětím.

Tyto typy zkoušek je možné provozovat při různých podmínkách. Nejčastěji však za sucha. Další možností jsou zkoušky za mokra. Těmto zkouškám bude práce věnována později. Posledním případem jsou zkoušky při umělém znečištění.

#### 2.2.1 Zkoušky střídavým napětím

Tento typ zkoušení patří mezi velice rozšířené, a to z důvodu, že prakticky celá elektrizační soustava v Evropě je provozována střídavou přenosovou a distribuční soustavou o kmitočtu 50 Hz. Střídavé zkoušky jsou pak popsány v normách. Tyto požadavky z norem je nutné dodržovat, aby byla provedená zkouška relevantní a správná.

Aby se jednalo o zkoušky střídavým napětím, je nutné, aby se kmitočet pohyboval v rozsahu 45 – 65 Hz. Tvar vlny musí mít sinusový průběh, kde odchylka rozdílu mezi kladnou a zápornou půlperiodou nesmí přesáhnout 2 %. Pokud je poměr vrcholové hodnoty napětí a hodnoty efektivní roven  $\sqrt{2}$  s povolenou odchylkou  $\pm 5\%$ , potom je možné předpokládat, že výsledek zkoušky není ovlivněn chybou sinusového průběhu. Pokud se jedná o krátkodobou výdržnou zkoušku (minutová výdržná zkouška) nepřesahující 60 s., musí být hladina zkušební napětí s maximální odchylkou  $\pm 1\%$  po celou dobu zkoušení. Pokud se jedná o dlouhodobé zkoušky přesahující 60 s., potom musí odchylka splňovat rozmezí  $\pm 3\%$  po celou dobu zkoušení.

Zdroj zkušebních napětí by měl být schopný za všech podmínek (zkoušky za sucha, mokra, umělého znečištění) pokrýt přechodové jevy tak, aby poklesy napětí nebyly větší než 20 %. Pro splnění této podmínky se používá většinou zvyšovací transformátor, nebo je možné využít sériový či paralelní rezonanční obvod.

Mezi další obecné požadavky při zkouškách střídavým napětím patří stabilita obvodu. Napětí zkušební obvodu musí být stabilní, aby nedocházelo k ovlivňování díky proměnlivým svodovým proudům. Jestliže bude v obvodu docházet k neprůrazným výbojům, nesmí být napětí sníženo tak, aby bylo měření zkoušeného prvku výrazně ovlivněno při měření průrazného napětí (výboje). Za dostatečnou celkovou kapacitu objektu, který je zkoušen, se považuje rozmezí 0,5 – 1 nF. Při dielektrických zkouškách nad 100 kV je potřeba zajistit systém s jmenovitým proudem minimálně o 1 A nižší a systém se zkratovou impedancí menší než 20 %. Pokud se nepřetržitě vyskytují předvýboje nebo u zkoušek za mokra. Jestliže se nepřetržitě vyskytují výboje, je vhodné měřit poklesy napětí s rychlejší odezvou, aby se tyto poklesy vešly do povoleného rozptylu.

### 2.2.1.1 Zkoušky výdržným střídavým napětím

Jedná se o zkoušku, kde na zkoumaný objekt nejprve přiložíme napětí o dostatečně nízké hodnotě, abychom vyloučili vliv přepětí. Následně se napětí postupně zvyšuje rozumným krokem, aby se dalo odečítat z měřících přístrojů, zároveň ale dostatečně rychle z důvodu namáhání zkoušeného objektu. Obecně se bere hodnota nárůstu 2 % zkušební napětí za sekundu, pokud je hodnota vyšší než 75 % zkušební napětí, to zaručuje splnění těchto podmínek. Pro ukončení zkoušení daného objektu je nutné ukončit zkoušku postupným snižováním napětí, nikoliv však náhlým odpojením. Pokud náhle objekt odpojíme, mohlo by dojít ke vzniku spínacích přechodových přepětí. Tyto přepětí by mohli poškodit zkoumaný objekt nebo zkreslit výsledky zkoušek. Jak již bylo zmíněno dříve výdržnou zkoušku lze rozdělit na dva druhy:

- krátkodobá výdržná zkouška (minutová výdržná zkouška),
- dlouhodobá výdržná zkouška.

Krátkodobá výdržná zkouška je prováděna napětím o velikosti 2 až 2,5 násobku, než dovolená maximální napět'ová hladina daného objektu. Za objekt, který splňuje podmínky zkoušky se považuje ten, u kterého nedojde k průrazu ani přeskočení, a jeho funkce nebyla jinak ovlivněna. Během krátkodobé zkoušky je pro správný výsledek potřeba zajistit zdroj se zpětnou vazbou, která zaručí regulaci napětí. Toto napětí se pak neodchyluje o více jak 3 % od hodnoty, která je zadaná. V následující tabulce jsou shrnuty normalizované hodnoty napětí pro krátkodobé zkoušky:

Tab. 1 Hodnoty normalizovaného zkušebního napětí pro krátkodobé zkoušky [1].

Nejvyšší napětí pro zařízení – jmenovité hodnoty [kV]	Zkušební napětí – efektivní hodnota [kV]
6,3	20
10	28
22	50
35	70
110	230
220	360; 395; 460
400	850; 950; 1050
750	1300; 1425; 1550

Dlouhodobé výdržné zkoušky střídavým napětím slouží ke zjištění chování zařízení při dlouhodobém přepětí. Dlouhodobá přepětí se vyskytují převážně u kabelových vedení, proto se tato zkouška provádí nejčastěji na kabelech. Dlouhodobé zkoušky se provádí v různých časových intervalech. Nejčastěji pak po dobu 15, 60, 240 minut nebo 24 hodin. U těchto zkoušek je většinou voleno nižší napětí, než u zkoušek krátkodobých, to vychází především z norem.

### 2.2.1.2 Průrazné zkoušky střídavým napětím

U těchto zkoušek je na zkoušeném objektu za úkol zvyšovat napětí tak dlouho, dokud nedojde k průrazu zkoušeného objektu, nebo například celého konstrukčního materiálu. Napětí je zvyšováno od dostatečně nízké hladiny, aby byla zkouška relevantní. Až nastane průraz je potřeba zapsat hodnotu napětí, při které k tomuto průrazu došlo. Tato hodnota se rovná průraznému napětí. Pro správné stanovení je potřeba měření několikrát opakovat a hodnotu průrazného napětí následně zprůměrovat. Při zkoumání rozměrných objektů je možné zkoušku provádět s přirozenou vzduchovou izolací. Pokud ale zkoumáme rozměrově malé objekty, je potřeba tyto předměty ponořit do izolačního média. Izolačním médiem může být například minerální olej nebo silikonový olej.

### 2.2.2 Napět'ové zkoušky stejnosměrným napětím

Napět'ové zkoušky stejnosměrným napětím patří prozatím v dnešní době mezi nejméně používané. Je to z důvodu, že většina elektrizačních soustav je provozována jako střídavá. V dnešní době je však intenzivně rozvíjena myšlenka provozovat dlouhé přenosy energie po stejnosměrných vedeních. Tato varianta je vhodná pro přenos velkých výkonů na dlouhé vzdálenosti. Proto do budoucna bude nutné se více zabývat napět'ovými zkouškami stejnosměrným napětím. Do těchto zkoušek lze také zařadit měření částečných výbojů. Mezi základní typy měření střídavým napětím patří:

- výdržná zkouška stejnosměrným napětím,
- průrazná zkouška stejnosměrným napětím.

### 2.2.2.1 Výdržná zkouška stejnosměrným napětím

Podobně jako u výdržné zkoušky střídavým napětím se postupuje i u výdržné zkoušky stejnosměrným napětím. Napětí je taktéž plynule zvyšováno od dostatečně nízké hladiny, aby se zamezilo vzniku přepětí na zkoušeném objektu. Stejným způsobem jako u střídavé zkoušky výdržným napětím je pak řešena strmost nárůstu napětí a to 2 % napětí nad hodnotou 75 %, jako je podrobněji popsáno u výdržné zkoušky střídavým napětím. Napětí se na zkoušeném objektu drží tak dlouho, aby bylo dosaženo předem dané časové zkoušky. Zkoušky výdržným napětím se provádí nejčastěji jako minutové nebo patnáctiminutové zkoušky obou polarit. K úspěšné zkoušce zkoumaného objektu dochází, když nedojde během testu k přeskoku, průrazu nebo k jinému poškození funkce objektu.

Vlivem stejnosměrného namáhání dielektrika dochází k natáčení dipólů. Zkušební napětí je poté nutné vybit z celého obvodu přes vhodný odpor, nebo zemnicí soustavu. Při testování kondenzátorů je potřeba dbát na to, že může dojít po čase k částečnému obnovení náboje a tím pádem i vzniku nebezpečného náboje. Provádí se proto trvalé zkratování obou elektrod a galvanické spojení se stíněním nebo obalem.

### 2.2.2.2 Průrazná zkouška stejnosměrným napětím

I u průrazné zkoušky stejnosměrným napětím se postupuje podobně jako u průrazné zkoušky střídavým napětím. Napětí je přiloženo na zkoušený objekt s dostatečně nízkým napětím a je postupně zvyšováno. Při přeskoku je odečteno průrazné napětí a zkouška je opakována nejméně 5krát. Z výsledných hodnot se aritmeticky určí výsledné průrazné napětí na zkoušeném objektu. Do výsledku zkoušky je potřeba uvádět i minimální průraznou hodnotu napětí.

### 2.2.3 Zkoušky impulsním napětím

Impulsní zkoušky patří mezi nejčastěji prováděné. Jsou prováděny pomocí rázového generátoru napětí. Ten se skládá s paralelně nabíjených kondenzátorů. Následně v sériovém zapojení vybíjeny do obvodu. Impulsní zkouškou se simulují přechodné děje vzniklé úderem blesku v blízkosti, nebo přímo na zkoušený objekt.

Průběh napětí je charakterizován strmým nárůstem napětí a poté postupně klesajícím průběhem. Významným popisem impulsního průběhu je doba čela. To je doba mezi 30 % a 90 % nárůstu impulsního napětí. Další významná hodnota je doba půltýlu. To je doba mezi zdánlivým počátkem impulsu a velikosti napětí, kdy dojde k poklesu napětí na 50 %. Podle normy ČSN EN 60060-1 je dán normalizovaný impuls napětí. Impuls musí mít hladký průběh s dobou čela 1,2  $\mu$ s a dobu půltýlu 50  $\mu$ s. To odpovídá popisu impulsu jako 1,2/50  $\mu$ s. Normalizovaný impuls musí splňovat dané parametry, je dovolena určitá tolerance a to:

- hodnota zkušební napětí  $\pm 3$  %,
- doba čela  $\pm 30$  %,
- doba půltýlu  $\pm 20$  %,
- relativní velikost překmitu nesmí překročit 10 %.

Impulsní zkoušky se provádí i jiným tvarem impulsu, jako například zkoušky normalizovaným useknutým impulsem, který je useknutý pomocí jiskřiště mezi 2 a 5  $\mu$ s. Další možností je použít

zvláštní impuls napětí, kde se mohou využít oscilační impulsy, které umožní kratší dobu čela nebo činitele využití generátoru většímu než 1. Mezi základní typy impulsní zkoušky napětí patří:

- výdržná zkouška impulsním napětím,
- průrazná a přeskoková zkouška impulsním napětím.

### 2.2.3.1 Výdržná zkouška impulsním napětím

Mezi základní typy při výdržných zkouškách impulsním napětím patří:

- atmosférický impuls 1,2/50  $\mu$ s,
- spínací impuls 250/2500  $\mu$ s.

Maximální hodnota napětí při zkoušce dosahuje několikanásobku maximálního provozního napětí, jako je uvedeno v Tab. 2. Hodnoty v Tab. 2 jsou uvedeny pro testy průchodek a izolátorů. Pro testy kabelů, transformátorů, spínacích a uzemňovacích prvků se používá většinou ještě vyšší napětí než v Tab. 2 a jsou prováděny většinou ve spojení s jinou zkouškou, jako je například mechanická nebo klimatická zkouška.

Tab. 2 Hodnoty normalizovaného zkušebního napětí při atmosférickém impulsu [1].

Nejvyšší napětí pro zařízení - jmenovité hodnoty [kV]	Zkušební napětí - vrcholová hodnota [kV]
6,3	40; 60
10	60; 75; 95
22	95; 125; 145
35	145; 170
110	550
220	850; 950; 1050
400	1175; 1300; 1425
750	1800; 1950; 2100

Při zkoušení odpojovačů, měřících transformátorů a kabelů je doporučeno provádět testování v počtu 10 kladných a 10 záporných impulsů. Při žádném z testovacích impulsů nesmí za žádných okolností dojít k přeskoku. Daný objekt by zkouškou neprošel. Pokud se testuje izolátor je doporučeno provádět 10 až 15 testovacích impulsů. Zkoušky výdržným impulsním napětím jsou rozděleny do čtyř postupů a to A, B, C a D. Každý postup je charakterizován podle normy ČSN EN 60060-1 něčím jiným. Liší se převážně počtem zkoušek, počtu přeskoků atd.

### 2.2.3.2 Průrazná zkouška impulsním napětím

Podobně jako u střídavých a stejnosměrných zkoušek průrazným napětím je prováděna i impulsní průrazná zkouška. Zkoušku je nutné opakovat minimálně třikrát, jelikož je ale přeskok při těchto zkouškách více nahodilý, udává se do výsledného protokolu pravděpodobnost



v procentech, že dojde k přeskoku na daném objektu. Většinou pak 10, 50 a 90% pravděpodobnost přeskoku.

V následující kapitole bude stručně uvedeno, na jakých předmětech se provádí napět'ové zkoušky, které jsou uvedené v předchozí kapitole [1, 2].

## 3 ZKOUŠENÉ OBJEKTY

Elektrizační soustava obsahuje spousty objektů a prvků, které zařizují správný a hlavně bezpečný přenos elektrické energie. Aby dané zařízení či objekt splňoval tyto základní požadavky, je potřeba jeho správnou funkci otestovat. Proto veškeré objekty se podrobují různým zkouškám ve speciálních měřicích střediscích. V této kapitole budou uvedeny nejzákladnější typy zkoušek pro elektrizační soustavu dále typy, pro které bude realizován sprchový systém pro zkoušky za mokra. Mezi nejčastěji měřený objekt patří jednoznačně izolátor, který je popsán detailněji.

### 3.1 Izolátory

Izolátory jsou používány převážně na připojení elektrického kabelu ke konstrukci stožáru u venkovního vedení. Izolují vedení od uzemněných částí (kostry stožáru) a musí být mechanicky pevné pro udržení vodičů. Při nesprávné funkci izolátoru by mohlo dojít k přeskoku či průrazu. Nebezpečné napětí by se dostalo na stožár a tedy i na místa přístupné laikům. Proto jsou zkoušky na izolátorech prováděny na denním pořádku.

#### Základní dělení:

1) Podle použitého materiálu:

- kompozitní,
- keramické,
- skleněné.

2) Podle typu použití:

- závěsné,
- kotevní,
- podpěrné.

3) Podle místa uložení:

- venkovní,
- vnitřní.

Pro venkovní využití je potřeba provádět i zkoušky za mokra. Tyto zkoušky se provádí pomocí sprchového systému, kde je simulován déšť. Tento systém má chemicky upravenou vodu s předepsanými parametry, jako je teplota, velikost a směr kapek a jiné. Zkouškám za mokra se podrobněji bude tato práce zabývat později.

#### Výdržná zkouška střídavým napětím:

Při výdržné zkoušce, nejčastěji pak minutové výdržné zkoušce, je na izolátor přivedeno střídavé napětí většinou o velikosti podle *Tab. 1*. Hodnota napětí se během testování nesmí změnit o více než 3 % a během testu nesmí dojít k průrazu ani přeskoku.

**Impulsní výdržná zkouška:**

Testování izolátorů impulsní zkouškou je prováděno většinou pomocí 10 nebo 15 zkušebních impulsů záporné a kladné polarity několikanásobku jmenovitého napětí. Pokud při žádném z impulsů nedojde k přeskoku, je zkouška izolátoru prohlášena za úspěšnou. Pro testování impulsní zkoušky venkovních izolátorů je z pravidla použito vyšší napětí než pro izolátory pro vnitřní využití. Při venkovních podmínkách je vedení vystaveno nebezpečí úderu blesku při nepříznivých atmosférických podmínkách. Tento druh zkoušky lze pak provádět i za podmínek za mokra.

**Rázová charakteristika:**

Rázová charakteristika se stanovuje pro různé napěťové hladiny, kdy dojde k přeskoku. Zaznamenává se poté čas, kdy došlo k přeskoku. Z charakteristiky je zřejmé, že s rostoucím napětím se zkracuje čas vzniku přeskoku.

**Pravděpodobnost přeskoků:**

Stanovuje se metodou nahoru-dolů. Z pravidla se stanovuje napětí, při kterém dojde k 10, 50, 90% pravděpodobnosti přeskoku na izolátoru. Na daný izolátor je přiváděno impulsní normalizované napětí. Poté se provádí opakovaně zkouška. Pokud nedojde k přeskoku, zkouška se opakuje. Pokud však dojde k přeskoku, napětí se sníží o 5 nebo 10 kV. Z normy je dané změřit skupinu po 7 impulsech s 8 platnými skupinami. Platná skupina je tehdy, když na jedné napěťové hladině máme v řadě 7 impulsů bez přeskoků, potom se napětí zvýší o úroveň. Po naměření 8 platných skupin se provede výpočet. Výsledkem je hodnota napětí, při kterém dojde k přeskoku s danou procentuální pravděpodobností [3].

## 3.2 Svodiče přepětí

Svodiče přepětí slouží k ochraně elektrických zařízení. Svodičům přepětí se také říká přepěťová ochrana zařízení. Chrání před účinky krátkodobých přepětí. Krátkodobé přepětí je většinou způsobeno bleskem nebo spínání/vypínání velkého odběratele elektrické energie. Svodiče přepětí se většinou instalují kaskádně na určité napěťové hladiny. Jako svodiče přepětí se nejčastěji používají:

- ochranná jiskřiště,
- bleskojistky,
- omezovače přepětí (materiál ZnO).

**Zkouška pro určení zapalovacího napětí:**

Tato zkouška se provádí pomocí atmosférického impulsu a má za úkol stanovit hodnotu napětí, při které dojde k aktivaci bleskojistky. Napětí je postupně zvětšováno do doby, kdy dojde k aktivaci bleskojistky. Tato hodnota je pak považována za hodnotu zapalovacího napětí. Přesnější měření se dá provést s použitím bočnicku. Tato zkouška se dá provést jak při testování za sucha tak při napěťové zkoušce za mokra.

**Minutová výdržná zkouška:**

Minutová výdržná zkouška je prováděna klasicky podle normy ČSN EN 60060-1. Hodnoty napětí jsou dány v *Tab. 2*. Postup je prováděn stejně, jak je popsáno v kapitole 2.2.1.1 [1, 4, 5].

**3.3 Další energetické zařízení**

Pro přenos a distribuci elektrické energie je potřeba spousta zařízení a objektů, které slouží k bezpečnému fungování. Popsat tedy podrobně zkoušení u všech zařízení používaných při venkovním přenosu a distribuci elektrické energie by vydalo na samotnou práci. Nejčastěji se provádí zkoušky na izolátorech, proto jsou zde popsány podrobně. Následně pro ukázkou jsou popsány svodiče přepětí. Zkoušení ostatních energetických zařízení by probíhalo podobně. Většinou by se dala naměřit výdržná zkouška střídavým napětím, impulsní výdržná zkouška, rázová charakteristika, minutová výdržná zkouška a další. Jednotlivé zkoušky se upraví s ohledem na zkoušené zařízení. Mezi další energetická zařízení a objekty, které mohou být zkoušené, patří například:

- průchodky u transformátorů,
- kabelové průchodky,
- úsečníky,
- reaktory na stožárech,
- odpojovače,
- vedení,
- menší transformátory,
- odpínače,
- vypínače aj.

Celkově se dá říct, že napěťová zkouška za mokra se dá provádět na všech menších vysokonapěťových zařízeních, které se vejdou do sprchového systému. A zároveň takové zařízení, u kterých se dá zkoušet jejich izolační schopnost.

## 4 NAPĚŤOVÉ ZKOUŠKY ZA MOKRA

V této kapitole se zaměříme na teoretickou část problematiky u zkoušek za mokra. Podle normy jsou dané požadavky na provádění zkoušek za mokra, na ty se v následující části zaměříme. Obecně není-li stanoveno jinak, měli by se zkušební postupy napět'ových zkoušek za mokra shodovat se zkouškami za sucha. Napět'ové zkoušky za mokra mají simulovat reálný stav v přírodě, převážně pak dešť. Je nutné, aby parametry vody ve zkušebně se přibližovaly vlastnostem reálného deště. Dále je důležité zaměřit se na konstrukci sprchového systému, uzemnění a jiné.

### 4.1 Parametry vody

Voda hraje při napět'ových zkouškách za mokra významnou roli. Proto je důležité, aby voda splňovala předem dané vlastnosti. Pro normalizované zkoušky za mokra jsou dané základní vlastnosti, které jsou shrnuty v *Tab. 3*. Intenzitu ostříkování zajistí speciální trysky, kterým se tato práce ještě bude podrobněji zabývat. Teplota vody a měrná elektrická vodivost se musí měřit co nejbližně testovanému vzorku. Pokud se však parametry vody významně nezmění po dobu, než dopadnou na zkoušený objekt, je možné měření provést i jinde. Například v zásobníku vody. Na zkoušený objekt je nutné přivést dešť 15 minut před samotnou zkouškou, proto je nutné mít v zásobě dostatečné množství odpovídající vody. Během 15 minutového intervalu zkrápění by nemělo dojít k přerušení. Pro zadešťování je možné použít i neupravenou vodu, avšak minimálně 2 minuty před samotnou zkouškou je nutné zkrápění provádět pomocí upravené vody s parametry podle *Tab. 3*. Voda by měla být homogenní na celém zkoušeném objektu. Intenzita obou složek deště se měří dělenou sběrnou nádobou s otvorem 100 až 750 cm<sup>2</sup>.

*Tab. 3 Parametry vody pro normalizovaný postup napět'ových zkoušek za mokra [2, 7].*

Parametry deště	Rozsah
Průměrné intenzita všech měření:	
vertikální složka [mm/min]	1 až 2
horizontální složka [mm/min]	1 až 2
Meze pro jednotlivá měření pro každou složku [mm/min]	± 0,5
Teplota vody [°C]	teplota okolí ± 15°C
Měrná elektrická vodivost vody [μS/cm]	100 ± 15

### 4.1.1 Měrná elektrická vodivost:

Měrná elektrická vodivost je dána obsahem všech vodivých sloučenin obsažených ve vodě. Mezi hlavní parametry ovlivňující vodivost vody patří kyseliny, zásady a jejich soli, převážně soli vápníku a hořčíku. Čím vyšší je obsah těchto solí rozpuštěných ve vodě, tím je elektrická vodivost vody více rostoucí. Měrná elektrická vodivost je závislá na teplotě, proto je nutné namíchání zásoby vody provádět již při teplotě, při které bude objekt zkrápěn. Tedy teplota laboratorního prostředí. Ve většině případů vznikají dešťové mraky odpařováním vody ze zemského povrchu, vzniká tedy destilovaná voda. Jelikož se v atmosféře nachází spousta drobných částic a různých chemických látek, je destilovaná voda znečištěna a zvyšuje se tím i měrná elektrická vodivost deště. Z tohoto důvodu se obtížně stanovuje průměrná měrná elektrická vodivost deště, protože každý déšť je jiný a silně závisí na aktuálním stavu znečištění atmosféry, kterou prochází. Měrná elektrická vodivost se nezkoumá u jednotlivých srážek, ale norma stanovila průměrnou hodnotu, která je  $100 \mu\text{S/cm}$ . Voda ve vodovodu mívá stovky  $\mu\text{S/cm}$  a výrazně se liší podle různých zdrojů. Proto změříme vodu v daném místě pomocí měřiče elektrické vodivosti a namícháme s destilovanou vodou, která má přibližně  $20 \mu\text{S/cm}$  na požadovanou hodnotu okolo  $100 \mu\text{S/cm}$  [2, 7].

#### Reverzní osmóza:

Další možností pro výrobu požadované vody je využití reverzní osmózy. Tento proces spočívá v tom, že přes membránu projde pouze rozpouštědlo (voda) bez jakéhokoliv znečištění, protože póry v membráně jsou o velikostech pouze 0,0005 mikronů. Přívodní voda musí dosahovat vyššího tlaku ze strany obyčejné vody z běžného řádu. Tím je dosaženo obrácené přirozené osmózy (reverzní osmóza). Membrána, na kterou působí vnější tlak vody, nepropustí rozpuštěné soli a nízkomolekulární složky. Tato nepropuštěná voda je potom odvedena do odpadních vod. Reverzní osmóza dokáže odstranit částice o velikosti jednotlivých iontů. Měrná elektrická vodivost výstupní upravené vody bývá obvykle 5 – 10  $\mu\text{S/cm}$ .

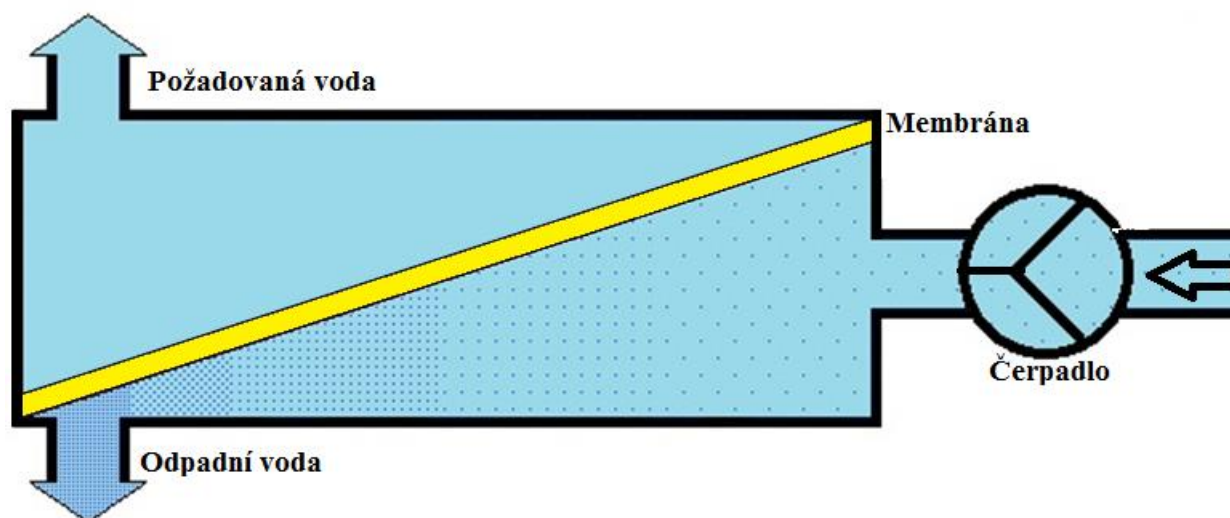
Mezi hlavní nevýhody patří nutnost dosahovat potřebných tlaků přívodní vody pro správnou funkci membrány. Tento tlak je dosažen pomocí čerpadla, který je v naší laboratorní zkušebně k dispozici. Potřebný tlak závisí na koncentraci roztoku. U mořské vody se používá okolo 5-7 MPa u vod sladkovodních pod 1 MPa. O membránu je nutné dobře pečovat, aby její následné použití zaručilo její správný proces. Membrána by neměla vyschnout. Je tedy vhodné při delším nepoužívání membránu ponořit do ochranného roztoku. Před prvním použitím je nutno membránu propláchnout alespoň jednu hodinu. Membránu poškozují i chlór, je tedy nutné při použití pitné vody z řádu použít speciálního filtru.

Výhodou naopak je, že díky výrobě požadované vody přes membránu nemusí sprchový systém obsahovat akumulární nádrž. Další výhodou je dosažení potřebného tlaku pro trysky pomocí čerpadla, které je v reverzní osmóze zahrnuto.

Výstupní vodivost upravené vody bývá malá okolo jednotek až desítek mikrosiemens na centimetr. Naše upravená voda pro zadešťování by měla mít okolo  $100 \mu\text{S/cm}$ , proto je nutné vodu ještě upravit. Požadovanou vodu z reverzní osmózy dopravíme do nádoby, kterou máme k dispozici v laboratoři. Jedná se o nádrž s objemem 500 litrů. Při naplnění nádrže dostatečným množstvím požadované vody s nízkou vodivostí je zapotřebí tuto vodu naředit s neupravenou vodou z řádu. Přilívání neupravené vody průběžně měříme pomocí vhodného konduktometru na požadovanou hodnotu. Množství neupravené vody pro dosažení požadované hodnoty je malé,

protože voda z řádu má několikanásobně vyšší vodivost. Na vodivosti se projeví i veškeré nečistoty, se kterými přijde do styku upravená voda po reverzní osmóze. Z tohoto důvodu je dobré mít všechny komponenty, které přijdou do styku s upravenou vodou v co možná nejčistším stavu. Následná doprava vody do trysek z nádrže je zajištěna pomocí dalšího čerpadla. Regulace tlaku pro trysky se upraví s ohledem na možnosti plynulé regulace čerpadla nebo pomocí vhodné regulační jednotky.

Vodu po výstupu z reverzní osmózy je potřeba dále upravovat. Z tohoto důvodu i tento způsob úpravy elektrické vodivosti vody potřebuje akumulaci nádrž. Z nutnosti použití akumulaci nádrže odpadá jedna z výhod popsaná již dříve [9].



Obr. 1 Princip funkce reverzní osmózy [8].

## 4.2 Trysky

### 4.2.1 Parametry trysek

Použití vhodných trysek je nezbytně nutné pro co nejlepší simulaci deště. Norma nestanovuje, jaké trysky musí být použity. Může být tedy libovolné i jejich uspořádání, musí ovšem splňovat parametry uvedené v Tab. 3. Trysky by bylo možné nahradit i výtokovými trubicemi. Trysky mají ale výhodu nastavitelných kapek s průměrem od 0,5 do 7 mm. Tento rozptyl je dostačující a pokryje celou škálu velikosti kapek při dešti. Déšť nastává s kapkami od 0,5 mm, pokud jsou totiž menší, jedná se o mrholení. Maximálně pak dosahují kapky deště 7 mm, nejčastěji se ale velikost kapek pohybuje mezi 1 a 2 mm. U trysek je navíc výhoda, že dokážou dosáhnout vysoké intenzity deště, a to i přes 100 mm/hod. Nevýhodou trysek je potřeba, aby potrubí mělo dostatečný přetlak, kterého je dosaženo čerpadlem nebo umístěním zásobní nádrže do výšky. Pro dosažení požadavků z Tab. 3 o průměrné intenzitě vertikální a horizontální složky je vhodné trysky umístit tak, aby kapky vycházeli pod úhlem 45° (polovina mezi horizontální a vertikální polohou) [6].

### 4.2.2 Volba a počet trysek

Vzhledem na možnosti naší laboratoře byly ze široké škály různých typů trysek zvoleny trysky od firmy FullJet s úzkým rozstřikem. Tyto trysky mají dostatečné schopnosti a parametry, které splňují požadavky na sprchový systém podle norem. Trysky mají unikátní vířivou konstrukci, která v kombinaci s velkým průtokem zajistí kontrolu rozstřiku a rovnoměrnou distribuci. Výhodou je rychlá a snadná instalace koncových trysek bez použití nástrojů. Tyto použité trysky mají možnost vyměňovat koncové trysky a tím i parametry ostřikování bez nutnosti výměny těla trysek.

Při úvaze nad počtem použitých trysek je nutné dbát ohled na požadavky podle *Tab. 3*, a to hlavně na homogenní rozptyl ostřikování. Už na první zamyšlení je zřejmé, že s jednou tryskou není možné zkoušený objekt rovnoměrně ostřikovat po celém jeho obvodu. Pokud použijeme dvě trysky a zkoušený objekt umístíme mezi ně, pořád nedosáhneme po celém obvodu zkoušeného objektu rovnoměrné ostřikování. Při úvaze tří trysek do trojúhelníkového rozložení a umístění zkoušeného objektu mezi trysky dosáhneme relativně homogenního ostřikování. Přidáním další trysky bude dosaženo ještě lepší homogenity a proto doporučuji použít právě čtyři trysky.

Pro rovnoměrné ostřikování budou tedy použity čtyři mosazné trysky FullJet s úzkým rozstřikováním 15°. Trysky s takto malým rozstřikováním jsou zvoleny z toho důvodu, aby zkoušený objekt byl rovnoměrně ostřikován z větší vzdálenosti. Kdyby se použili trysky s rozstřikováním například 45° musel by se zkoušený objekt přiblížit k tryskám pro rovnoměrné ostřikování a nebyla by splněna bezpečná vzdálenost. Mohlo by dojít k přeskočení elektrického výboje na trysky. V

*Tab. 4* lze vidět parametry trysek. Nejdůležitější jsou hodnoty průtoku při určitém tlaku. Tento průtok platí pro jednu trysku, v našem případě bude čtyřnásobný pro naše trysky.

Použití více jak čtyř trysek by zaručovalo kvalitnější homogenní ostřikování, avšak přidáváním dalších trysek nedosáhneme výrazně vyšší homogenity ostřikování. Vzhledem na cenu trysek a složitosti konstrukce přidáváním dalších trysek není potřeba použít více jak čtyři trysky. Pro základní napěťové zkoušky za mokra je postačující použití čtyř trysek a to i s ohledem na spotřebu upravené vody. Při více tryskách by totiž voda v barelu docházela mnohem rychleji [10].

*Tab. 4 Parametry použitých trysek pro sprchový systém [10]*

Vstupní přípoj ["]	Velikost trysky	Nom. prům. vrtání [mm]	Průtok při uvedeném tlaku v barech [l/min]										Úhel rozstřiku [°]		
			0,7	1,5	2	3	4	6	7	10	15	20	0,7	3	7
1/8	1507	1,6	1,3	2	2,3	2,8	3,2	3,9	4,2	5	6,2	7,1	13	15	15



### 4.3 Požadavky na průběh zkoušky

V této části budou uvedeny požadavky a doporučení vycházející z norem na zkvalitnění výsledků měření. Pokud bude průběh měření postupovat s těmito doporučeními, výsledky poté budou přesnější a celkový rozptyl výsledků bude menší.

Pokud zkoušený objekt má výškové rozměry od 1 do 3 metrů, je nutné provádět zkoušku ve všech částech (horní, střední a spodní). Potom každá z měřících zón musí pokrývat pouze jednu třetinu výšky zkoušeného objektu.

U zkoušených objektů u kterých rozměry přesahují 3 metry výšky se musí počet zón zvětšit tak, aby byla pokryta celá výška zkoušeného objektu bez překrývání. Pokud zkoušený objekt má velké rozměry v horizontálním směru, musí se podobně přizpůsobit postupy jako u svislých rozměrů.

Pro zlepšení rozptylu výsledků je vhodné před samotným zkoušením daný objekt očistit před samotným ostříkáváním. Vhodné použití povrchového aktivního detergentu (chemická látka určená k čištění).

Další požadavky jsou již zmíněné parametry deště při zkouškách za mokra podle Tab. 3 [2, 7].

### 4.4 Atmosférické korekce

Atmosférické korekce při zkouškách za mokra se podle normy [2] a [7] provádí stejně jako při zkouškách za sucha. Výjimkou je korekce na vlhkost vzduchu, která se při zkouškách za mokra neprovádí. Pro základní korekce se tedy vychází ze dvou atmosférických parametrů:

- teplota 20 °C,
- absolutní tlak 1013 hPa.

Teplota a tlak by neměly být měřeny s rozšířenou nejistotou větší než 1 °C u teploty a tlak 2 hPa. Korekční činitel upravuje hodnotu změřeného napětí průrazného výboje na hodnotu napětí, která byla naměřena při normalizovaných referenčních atmosférických podmínkách (teplota a tlak). Přepočet na normalizované atmosférické napětí je vidět v následujícím vztahu:

$$U_{norm} = \frac{U}{k}, \quad 4.1$$

kde  $U_{norm}$  je odpovídající normalizované napětí při referenčních podmínkách,  $U$  je hodnota průrazného napětí a  $k$  je korekční činitel.

Je nutné, aby každý protokol o zkoušce obsahoval aktuální atmosférické podmínky při zkoušení daného objektu a použitý korekční činitel.

#### 4.4.1 Korekční činitel na hustotu vzduchu

Hustota vzduchu je závislá na relativní hustotě vzduchu a je dána vztahem:

$$k_h = \delta^m, \quad 4.2$$

kde  $k_h$  je korekční činitel na hustotu vzduchu,  $\delta$  je relativní hustota vzduchu, exponent  $m$  pro korekci na hustotu vzduchu podle Tab. 5.

Relativní hustota vzduchu se vyjádří ze vztahu:

$$\delta = \frac{p}{p_0} \cdot \frac{273+t_0}{273+t}, \quad 4.3$$

kde  $p$  je aktuální tlak při zkoušení,  $p_0$  je normalizovaný tlak 1013 hPa,  $t_0$  je normalizovaná teplota 20 °C a  $t$  je aktuální teplota při zkoušení, která bude odpovídat teplotě vody.

Určení exponentu  $m$ :

Exponent  $m$  je nutné určit pro výpočet korekčního činitele na hustotu vzduchu. Korekční činitele jsou závislé na typu předvýbojů, použije se tedy parametr  $g$ , který tuto skutečnost respektuje:

$$g = \frac{U_{50}}{L \cdot \delta \cdot k \cdot 500}, \quad 4.4$$

kde  $U_{50}$  je hodnota napětí, kdy dojde s 50% pravděpodobností výboje,  $L$  je minimální dráha výboje,  $\delta$  je relativní hustota vzduchu a  $k$  je bezrozměrný parametr určený v závislosti na hustotě vzduchu. Pokud není možné určit hodnotu napětí průrazného výboje  $U_{50}$ , potom se použije 1,1 násobek zkušební napětí  $U_0$  [2, 7].

Tab. 5 Hodnoty exponentů  $m$ , pro korekci na hustotu vzduchu [2].

$g$	$m$
< 0,2	0
0,2 ÷ 1	$g(g-0,2)/0,8$
1 ÷ 1,2	1
1,2 ÷ 2	1
> 2	1

## 5 NÁVRH KONSTRUKCE

V této kapitole budou popsány možnosti konstrukce celého sprchového systému. Nejprve navrhne rozložení trysek a rozměry sprchové komory. Další návrhy se budou zabývat možnostmi získání potřebného tlaku upravené vody pro trysky. První využívá upravenou vodu v barelu vysoko nad podlahou. Další návrh využívá reverzní osmózu. Tento návrh zahrnuje čerpadlo, které dosáhne potřebného tlaku pro trysky.

### 5.1 Parametry konstrukce a rozložení trysek

Mezi důležité patří i konstrukce celého sprchového systému. Pro dodržení požadavku na konstrukci je vhodné použít co nejjednodušší konstrukci. Podle normy je nutné dodržet různé rozměrové předpisy. Minimální vzdálenost okolních předmětů a konstrukce sprchového systému od zkoušeného objektu musí být minimálně 1,5 násobek délky nejkratší možné výbojové cesty. Tím by mělo být zaručeno, aby nedocházelo k výbojům na konstrukci nebo na okolní předměty.

Sběrná nádoba musí být umístěna poblíž zkoušeného objektu. Sběrná nádoba však nesmí zachycovat kapky přímo padající z objektu. Při měření intenzity deště, by se voda směřující do sběrné nádoby měla pohybovat pomalu a v dostatečně velké ploše. Při splnění pomalého a velkoplošného přesunu vody se zamezí nerovnoměrnosti vodního proudu jednotlivých trysek. Takto se zajistí správně naměřená střední hodnota deště. Měřicí zóna musí mít šířku stejnou jako zkoušený objekt a výšku maximálně 1 metr [2, 7].

Z *Tab. 4* použijeme parametry pro naše použité trysky. Pro konkrétní výpočty bude jako základní hodnota použita hodnota tlaku 3 bary. Z této tabulky použijeme tyto parametry pro další výpočet:

- Nominální průměr vrtání 1,6 mm ( $d = 1,6$  mm),
- průtok 2,8 litrů/min při tlaku 3 bary ( $Q = 2,8$  l/min = 0,0467 l/s),
- úhel rozstříku  $15^\circ$  ( $\delta = 15^\circ$ ).

#### 5.1.1 Výpočet výstupní rychlosti a dráhy letu vody

Výstupní rychlost trysky určíme z množství vody protékající daným výstupním otvorem trysky. Pro tento výpočet využijeme vztahu:

$$v = \frac{Q}{S} = \frac{Q}{\pi \cdot r^2} = \frac{0,0467}{\pi \cdot (0,8 \cdot 10^{-3})^2 \cdot 1000} = 23,219 \text{ m/s} . \quad 5.1$$

Nyní lze vypočítat a nasimulovat dráhu letu tryskající vody. Do tohoto výpočtu zahrneme vliv gravitace. Celý výpočet pak vychází z obecné definice pro dráhu v ose x a y:

$$\begin{aligned} x(t) &= v_x \cdot t = v \cdot \sin(\alpha) \cdot t \\ y(t) &= h - v_y \cdot t - \frac{1}{2} \cdot g \cdot t^2 = h - v \cdot \cos(\alpha) \cdot t - \frac{1}{2} \cdot g \cdot t^2 . \end{aligned} \quad 5.2$$

Z těchto obecných definic lze nyní nasimulovat dráhu letu pro známou rychlost, úhel rozstříku a natočení trysky pod úhlem  $45^\circ$ . Takovéto natočení trysek by mělo zaručit splnění podmínek pro intenzitu ostříkávání vertikální a horizontální složky podle *Tab. 3*. Pro výpočet času, za který

jednotlivé kapičky dopadnou na zem, je nutné vypočítat rychlost letu v ose y. Tryska má rozptyl  $15^\circ$  a je pod úhlem natočení  $45^\circ$ , proto vypočítáme rychlost pro spodní ( $\alpha_1=37,5^\circ$ ) a horní ( $\alpha_2=52,5^\circ$ ) hranu proudu vody:

$$v_{y1} = v \cdot \cos(\alpha_1) = 23,219 \cdot \cos(37,5^\circ) = 18,42 \text{ m/s} \quad 5.3$$

$$v_{y2} = v \cdot \cos(\alpha_2) = 23,219 \cdot \cos(52,5^\circ) = 14,13 \text{ m/s.}$$

Výpočet času dopadu vody lze vypočítat z kvadratické rovnice, kde za výsledek použijeme pouze jeden reálný kořen. Volím trysky umístit do výšky 2 metry nad zem ( $h_t = 2 \text{ m}$ ).

$$t_1 = \frac{v_{y1} \pm \sqrt{v_{y1}^2 + 2 \cdot g \cdot h_t}}{-g} = \frac{18,42 \pm \sqrt{18,42^2 + 2 \cdot 9,81 \cdot 2}}{-9,81} = 0,1056 \text{ s} \quad 5.4$$

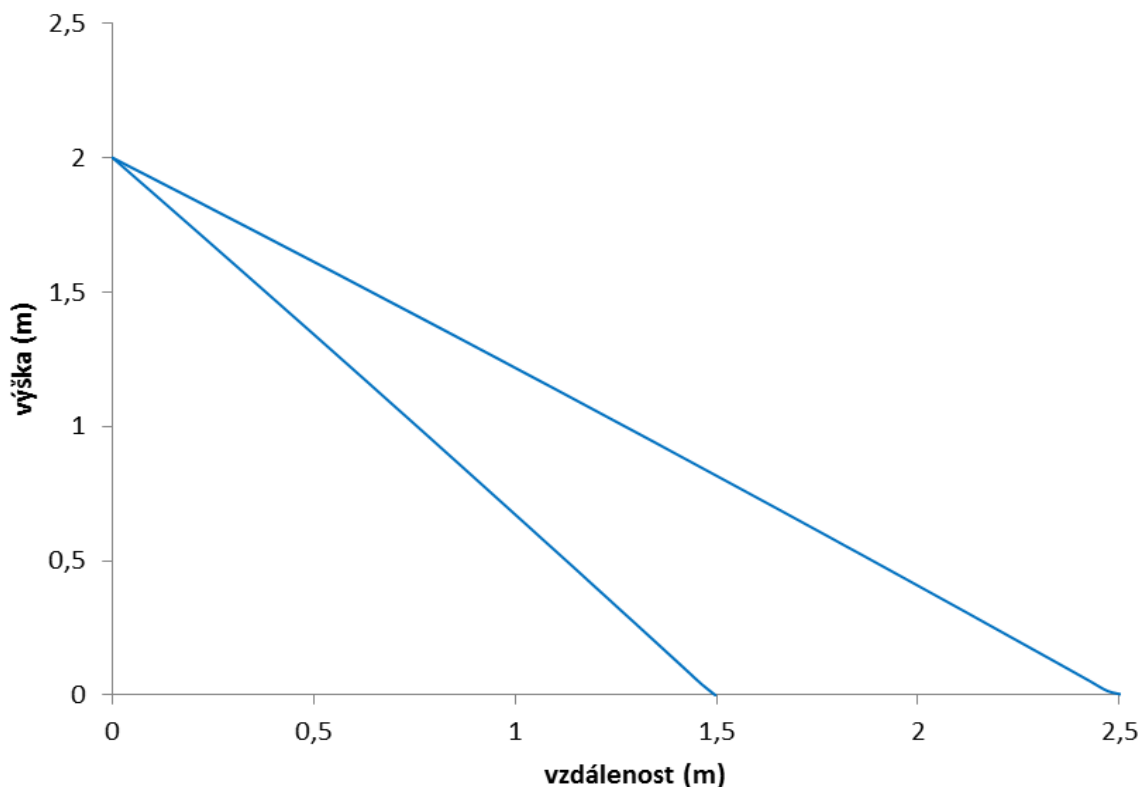
$$t_2 = \frac{v_{y2} \pm \sqrt{v_{y2}^2 + 2 \cdot g \cdot h_t}}{-g} = \frac{14,13 \pm \sqrt{14,13^2 + 2 \cdot 9,81 \cdot 2}}{-9,81} = 0,1352 \text{ s.}$$

Výsledkem této kvadratické rovnice je pouze jeden kořen, jelikož druhý vyšel vždy záporný a nemá smysl s ním dále počítat. Následně lze vypočítat dráhu letu jednotlivých okrajových proudů s uvažováním gravitace:

$$x_1(t_1) = v_{x1} \cdot t_1 = v \cdot \sin(\alpha_1) \cdot t_1 = 23,219 \cdot \sin(37,5) \cdot 0,1056 = 1,493 \text{ m} \quad 5.5$$

$$x_2(t_2) = v_{x2} \cdot t_2 = v \cdot \sin(\alpha_2) \cdot t_2 = 23,219 \cdot \sin(52,5) \cdot 0,1352 = 2,491 \text{ m.}$$

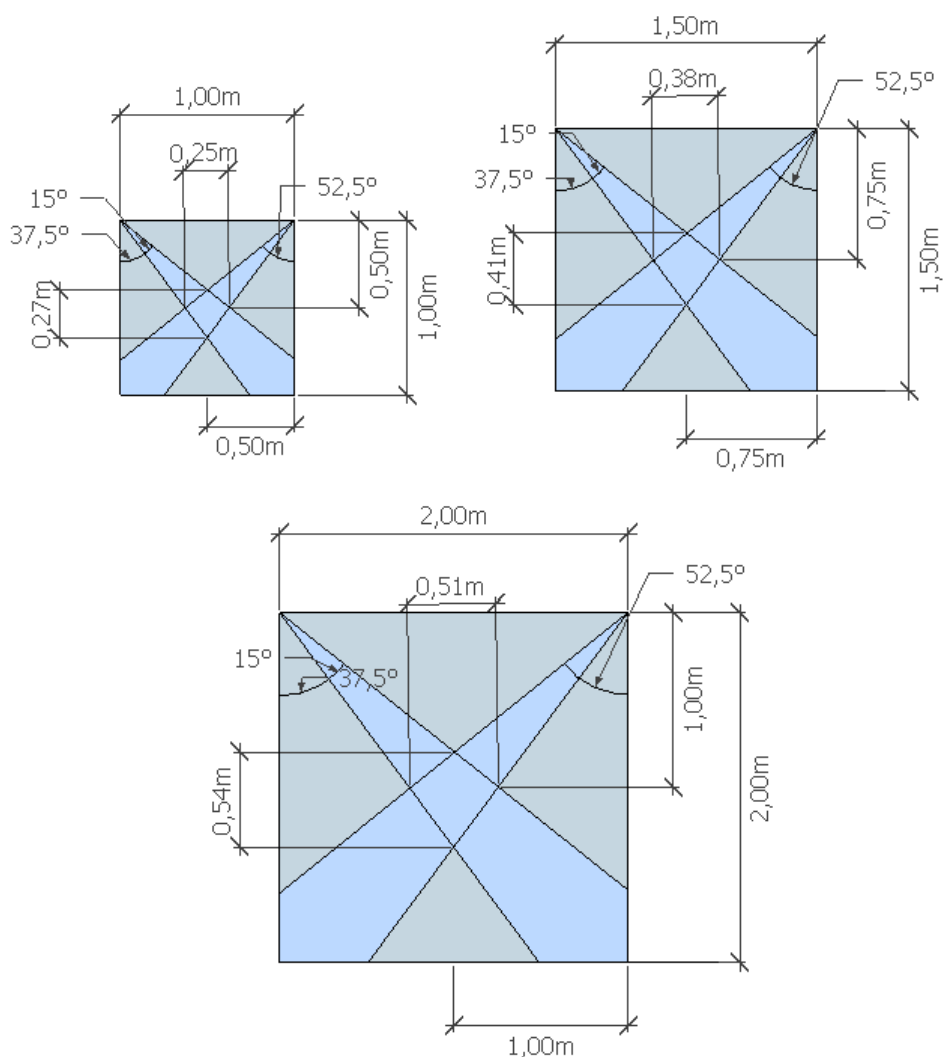
Výsledná simulace, byla provedena v programu excel. Na výstupu z trysky je relativně velká rychlost, a tak se zakřivení vlivem gravitace prakticky neprojeví na krátké vzdálenosti 2 metrů. Z tohoto důvodu nedoporučuji měnit natočení trysek jinak než na  $45^\circ$ .



Obr. 2 Simulace proudu trysky s rozptylem  $15^\circ$  s uvažováním gravitace.

### 5.1.2 Rozložení trysek

V předchozí podkapitole se ověřilo, že gravitace se projeví nepatrně v závislosti na výstupní rychlosti z trysky. Teď je potřeba zaměřit se na to, v jakém rozestupu bude vhodné umístit trysky. Vzhledem na relativně úzký rozstřík trysek  $15^\circ$  bude potřeba trysky od sebe umístit do větších vzdáleností. V programu SketchUp byly vytvořeny tři návrhy rozmístění trysek do čtverce s různými vzdálenostmi od sebe. Tyto návrhy můžeme vidět na *Obr. 3*, a shrnutí velikostí rovnoměrného ostříkovaného prostoru pak v *Tab. 6*. Záleží tedy na tom, jak velký objekt musí být rovnoměrně zadešťován. Pokud nebudeme uvažovat možnost proměnné vzdálenosti trysek, navrhol bych rozložení trysek s největší vzdáleností dvou metrů.



*Obr. 3* Návrhy rozmístění trysek a sprchového systému

*Tab. 6* Možnosti umístění velikosti objektu pro jeho plné zadešťování.

Velikost ostříkování	Rozměry trysek [m]		
	2x2	1,5x1,5	1x1
vodorovně [m]	0,51	0,38	0,25
horizontálně [m]	0,54	0,41	0,27

### 5.1.3 Návrh uchycení sprchového rámu a sprchové clony

Tryskající vodu je potřeba zachytávat, aby nebyla mokrá celá laboratoř. Ohrozila by se tím bezpečnost a to nelze dopustit. Hrozila by možnost uklouznutí, ale především by se zvyšovala vodivost okolních materiálů. Vodu je tedy potřeba pečlivě zachytávat.

V našem návrhu máme dvě možnosti uchycení trysek. První návrh uvažuje zachycení rámu s tryskami pomocí jeřábu, který máme v laboratoři. Konkrétně tedy trubková konstrukce do tvaru čtverce s tryskami uchycená jeřábem. Tato varianta má spoustu výhod a to převážně jednoduché změny polohy trysek a snadné manipulace s umístěním celého sprchového rámu. Menší nevýhodou může být nutnost poddajného přívodu vody z důvodu pohybu jeřábu a menší stabilita.

Náš druhý návrh je vhodný použít po vyladění sprchového nosného rámu na trysky a celkového umístění všech trysek. Uvažujme, že výsledný sprchový rám bude čtvercového tvaru. Pod každý roh by byla umístěná nosná nevodivá tyč. Výhodou je, že celá konstrukce by byla stabilnější a sprchová clona by se dala lépe uchytit. Nevýhodou by mohlo být, že celý systém by se složitěji přenastavil.

Sprchovou clonu navrhuji co možná nejjednodušším způsobem. Pro oba způsoby uchycení sprchového rámu lze snadno použít obyčejný sprchový závěs, který lze uchytit pomocí plastových kroužků na sprchové závěsy. Tento závěs i sprchové kroužky jsou volně dostupné. Takto umístěný sprchový závěs lze rychle odhrnout a je tak možné manipulovat se zkoušeným objektem a následně jej zase rychle zatáhnout.

### 5.1.4 Návrh systému s využitím barelu vysoko nad podlahou

#### 5.1.4.1 Výpočet tlaků

Pro vytvoření dostatečného tlaku v tryskách je potřeba barel vyzvednout do poměrně vysoké výšky, v našem případě se snažíme získat co největší možný tlak. Vzhledem k rozměrům naší laboratoře navrhuji zvednout barel s upravenou vodou do 5 metrů. Následně z těchto známých parametrů:

- rozměry barelu ( $h_b = 0,82$  m,  $š_b = 0,6$  m),
- výška umístění barelu nad podlahu ( $h = 5$  m),

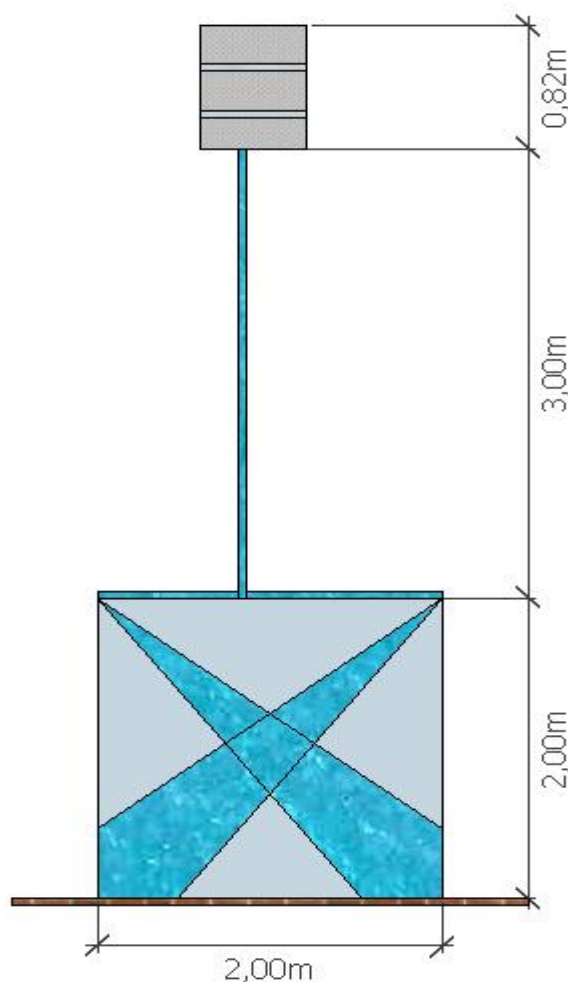
můžeme vypočítat tlaky působící na trysky v různých stavech vody v barelu. Abychom zjistili tlak vody plného barelu, musíme od celkové výšky odečíst výšku umístění trysek a přičíst výšku barelu. Tlak vody pak bude:

$$p = \rho \cdot g \cdot h = 1000 \cdot 9,81 \cdot (5 - 2 + 0,82) = 37474,2 \text{ Pa} = 3,75 \text{ bar.} \quad 5.6$$

Výsledné tlaky pro umístění barelu do výšky 5 metrů nad podlahu jsou uvedeny v *Tab. 7*. Umístěním barelu do výšky 5 metrů nad podlahu, tedy 3 metry nad trysky, dosáhneme potřebného tlaku. Návrh celé konstrukce můžeme vidět na *Obr. 4*, který byl vytvořen v programu SketchUp. Pro možnost regulace tlaku na trysky bude potřeba na přívodní potrubí umístit regulační ventil.

Tab. 7 Hodnoty tlaků v různých stavech vody v barelu.

Stav vody	Tlak (bar)
tlak při plném barelu	3,75
tlak při polovině barelu	3,35
tlak před vyprázdněním barelu	2,94



Obr. 4 Návrh konstrukce s využitím barelu.

#### 5.1.4.2 Výpočet zásoby vody

Jednoduchým výpočtem zjistíme, na jak dlouho nám vystačí zásoba vody v barelu pro naše čtyři trysky v provozu. Barel má zásobu 200 litrů upravené vody. Průtok jedné trysky je 2,8 litrů za minutu při tlaku 3 bary. Musíme tento průtok uvažovat čtyřnásobně, pak je průtok 11,2 litrů za minutu. Výsledný čas zásoby vody pak bude:

$$t_z = \frac{V}{4 \cdot Q} = \frac{200}{4 \cdot 2,8} = 17,85 \text{ min.} \quad 5.7$$

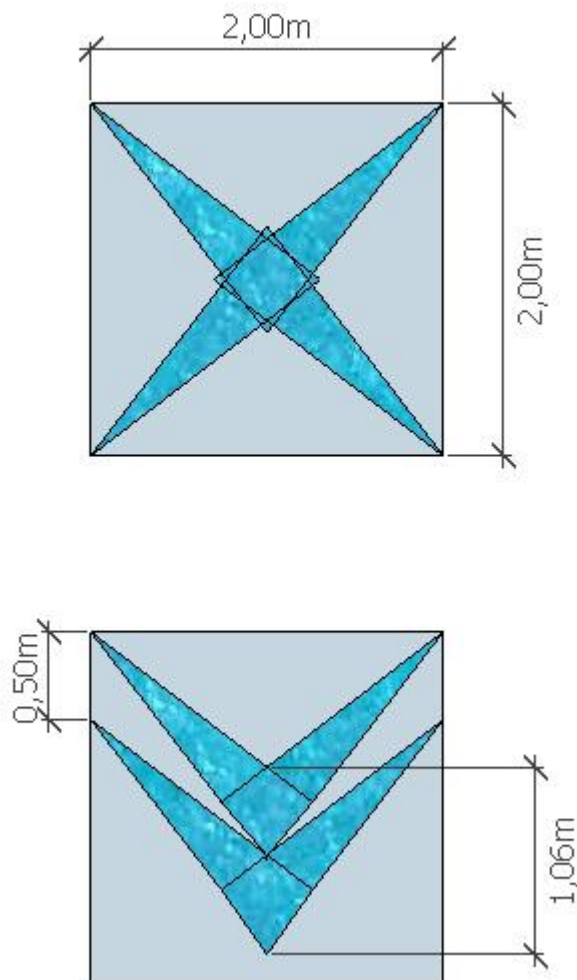
Pokud budeme uvažovat rezervu tak nám barel vydrží přibližně na 15 minut zadešťování.

## 5.2 Návrhy úprav rozložení trysek

V této části práce se budu zabývat možností úpravy rozložení trysek pro různé typy zkoušených objektů. Tyto úpravy budou uvažovány opět s námi dostupnými čtyřmi tryskami, které uvažujeme pro naši laboratoř. Různým rozložením trysek sice sníží homogenitu, ale s ohledem na velikost zkoušeného objektu to bude dostačující. Pokud zkoušený objekt bude širší a vyšší než 50 centimetrů, je potřeba trysky upravit podle následujících úprav.

### 5.2.1 Rozložení trysek pro vysoké objekty

První návrh je vhodný například pro izolátory nebo jiné podobné objekty, které jsou úzké a vysoké. Pro takové předměty navrhuji čtvercové rozložení se dvěma tryskami umístěnými naproti sobě stejně jak u návrhu v podkapitole 5.1.2. Další dvě trysky které jsou umístěné naproti sobě se budou shodně posouvat po přidané tyči ve vertikálním směru. Vertikální tyč umožňuje posunutí ve vertikálním směru o 50 cm, aby bylo zaručeno zadešťování po celé ploše objektu. Tímto rozmístěním můžeme ostříkovat až metr vysoké předměty. Konkrétní návrh můžeme vidět na Obr. 5.

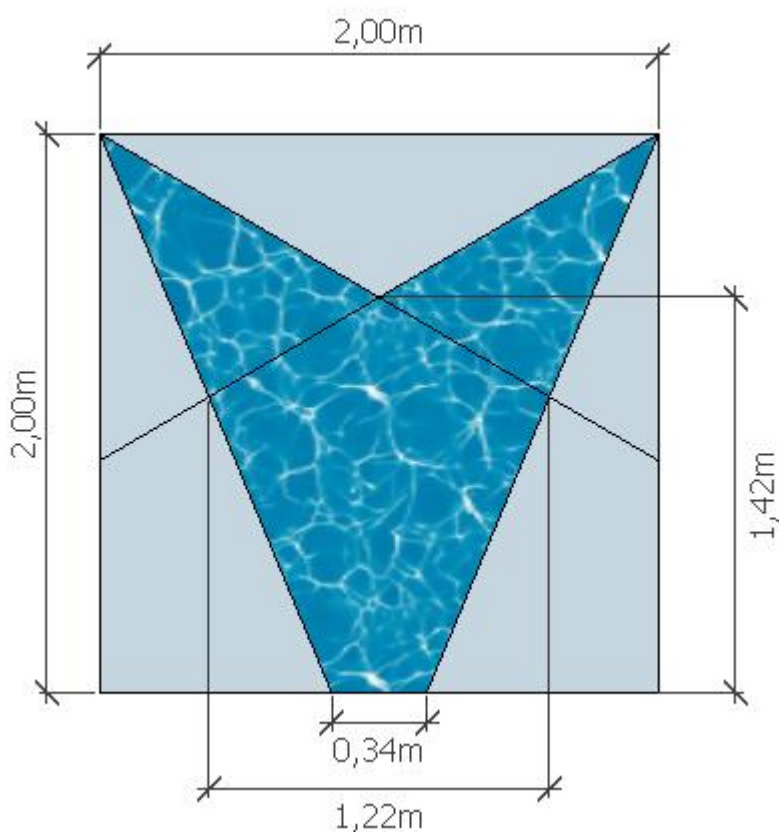


Obr. 5 Návrh rozložení trysek pro zkoušky na vysoké objekty. (půdorys a bokorys)



### 5.2.2 Rozložení trysek pro objemné objekty

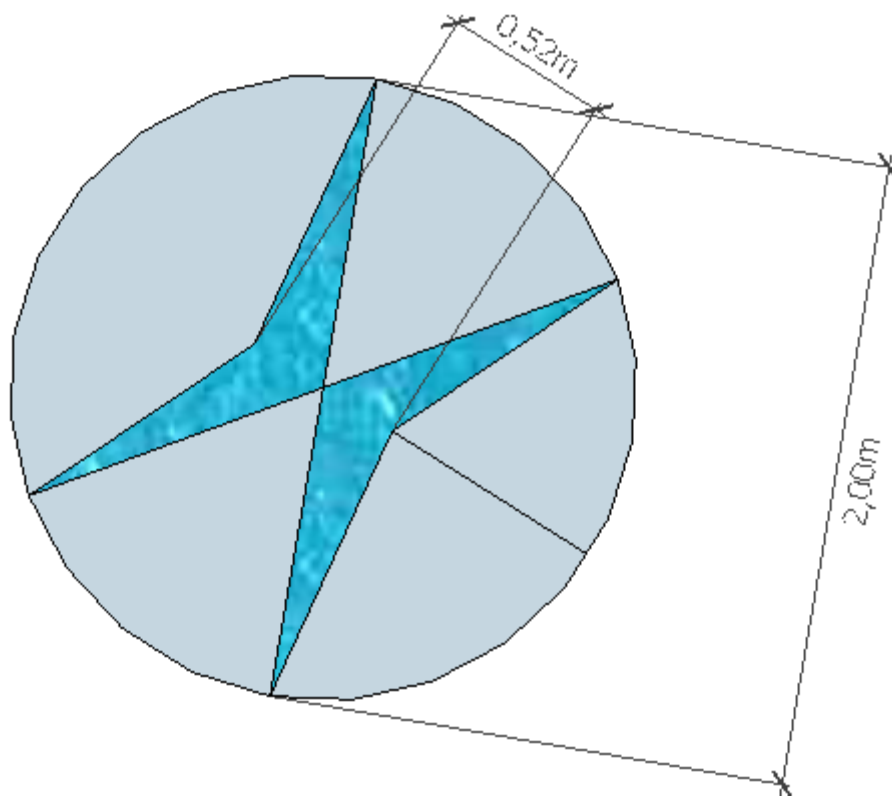
Pokud budeme provádět napěťové zkoušky za mokra na objektech, které přesahují na výšku nebo šířku víc jak půl metru. Potom je potřeba provést některé z následujících úprav. Pokud použijeme stejné trysky s rozstříkáním  $15^\circ$ , museli bychom trysky od sebe ještě více oddálit. Vzhledem k tomu, že sprchový systém je navržen na  $2 \times 2$  metry zvětšování bych nedoporučoval s ohledem na možnosti laboratoře. Výhodou zakoupených trysek FullJet je snadná a rychlá změna koncových trysek. Z tohoto důvodu bych doporučoval zakoupení čtyř koncových hlavice s rozstříkáním s úhlem  $45^\circ$ . Trysky umístíme pod úhlem vystřikování  $45^\circ$  podobně jak u předchozích návrhů. Výsledný návrh vidíme na *Obr. 6*, kde jsou zaznačeny i možné velikosti zkoušeného objektu, na výšku až 1,4 metru a na šířku až do 1,2 metru.



*Obr. 6* Návrh rozložení trysek pro objemné objekty s tryskami s rozptylem  $45^\circ$  (bokorys).

### 5.2.3 Rozložení trysek s kruhovou konstrukcí

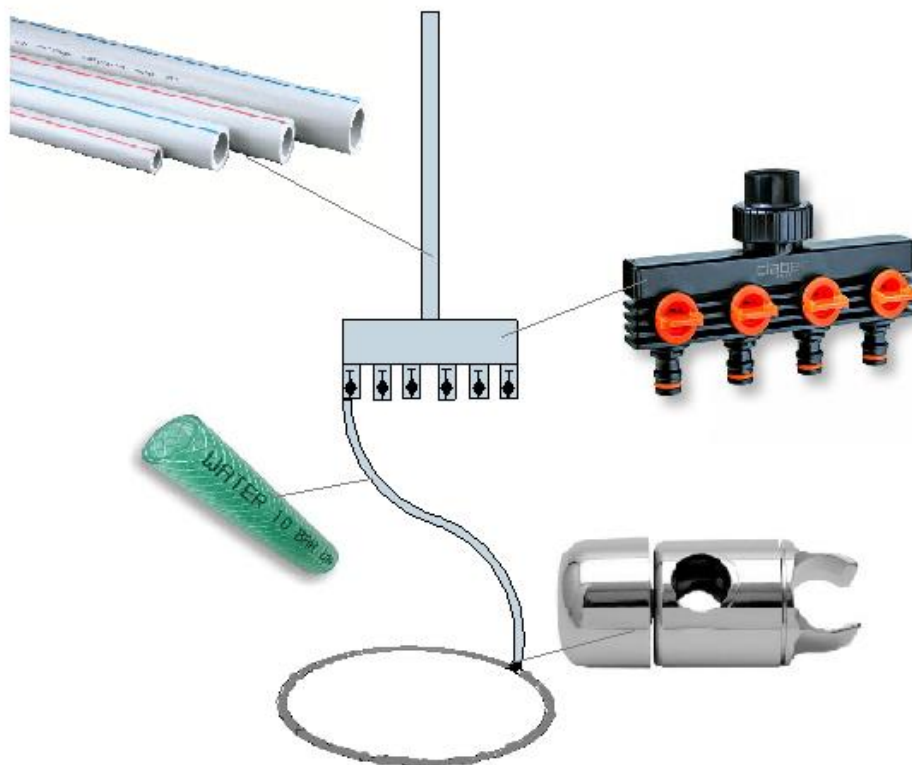
Při použití kruhového nosného rámu pro trysky získáme možnost posouvat trysky různě po celém obvodu kruhu. Tato konstrukce je vhodná například pro zadeš'ování objektů deskového tvaru, jako je například menší fotovoltaický panel. Objekt je po stranách tenký a trysky je tak vhodné umístit blíže k sobě tak, aby byly vždy dvě trysky blízko sebe a druhé dvě trysky umístit naproti. Na *Obr. 7* můžeme vidět toto uspořádání, kde pro základní návrh byla použita kruhová konstrukce o průměru 2 metry. Tuto kruhovou variantu konstrukce lze dále dle potřeby upravovat a měnit. Případně pro homogennější zadeš'ování lze na kruhovou konstrukci přidat další trysky a měnit jejich rozložení.



*Obr. 7 Návrh kruhového uspořádání trysek (půdorys).*

### 5.2.4 Návrh kruhové konstrukce s možností změny poloh trysek

Při uvažování kruhové konstrukce je potřeba se zamyslet nad možností realizace. Výhodou kruhové konstrukce je možnost posunování trysek po celém obvodu kruhu. Je tedy potřeba navrhnout takovou konstrukci, aby umožňovala posun trysek po obvodu a zároveň umožňovala natočení trysky ke zkoušenému objektu. Máme spousty variant jak takovou konstrukci vymyslet a realizovat. Je tedy potřeba detailně uvážit co od toho očekáváme a jak přesné vše musí být. Samozřejmě se vše odvíjí od ceny celé konstrukce a použitých materiálů. Moje úvaha nad celou konstrukcí byla, aby použité materiály byly elektricky nevodivé a cenově dostupné. Materiály elektricky nevodivé volím z toho důvodu, aby neovlivňovali napěťové zkoušky za mokra a nevyskytovalo se na nich elektrické napětí. Použité materiály jsou všechny z plastů. Pro splnění mé druhé podmínky, aby materiály byly cenově dostupné, jsem se dal cestou volit z volně dostupných domácích potřeb. Jedná se tedy o klasické ppr potrubí používané pro rozvody vody, zahradního rozbočovače vody, hadice a sprchového pohyblivého držáku používaného ve sprchách na posuvné tyči. Celý návrh můžeme vidět na *Obr. 8*, kde je vyobrazeno schéma a ke každé části konkrétní obrázek možného použití materiálu. V *Obr. 8* je nakreslen pouze jeden pohyblivý přívod vody pomocí hadice mezi rozbočovačem a kruhovou konstrukcí, ve skutečnosti by tam byl šestkrát. Návrh je realizován pro 1 až 6 trysek, kde na rozbočovači lze jednotlivé vodovodní cesty uzavírat a otvírat. Takto navržená konstrukce bude splňovat požadované podmínky a zároveň je cenově dostupná.



*Obr. 8* Návrh kruhové konstrukce s možnými použitelnými materiály [12, 13, 14, 15].

## 6 PRAKTICKÉ MĚŘENÍ

V rámci praktické části mé diplomové práce se zaměřím na dílčí části, které by následně měli pomoci k celé realizaci sprchového systému v naší laboratoři. Jelikož se jedná o napět'ové zkoušky při vysokém napětí, je nutné dbát převážně na bezpečnost. Proto nebyla prováděna žádná praktická část, u které by hrozilo nebezpečí, dokud nebude navržen a ozkoušen celý sprchový systém. První část praktické části se zaměří na vlastnosti deště.

### 6.1 Měření vlastností deště

Z *Tab. 3* víme, že norma udává měrnou elektrickou vodivost zkoušení okolo  $100 \mu\text{S}/\text{cm}$ . Tato hodnota byla stanovena průměrným měřením měrné elektrické vodivosti dešťů. Pro ověření bylo provedeno první měření, kde byly sbírány vzorky dešťů. Déšť vzniká odpařením vody ze zemského povrchu, dá se tedy říct, že na začátku je déšť bez jakéhokoliv znečištění. Můžeme proto uvažovat na začátku procesu dešťových kapek vodu jako destilovanou. Při začínajícím dešti se začnou uvolňovat z mraku malé kapičky vody, které se postupně slučují a padají k zemskému povrchu. Kapičky vody, které na počátku nejsou znečištěné, postupně prolétávají naší atmosférou a zachycují různé nečistoty v podobě prachu a různých malých částic. Tyto nečistoty následně způsobí zvýšení měrné elektrické vodivosti dopadajícího deště.

Měrnou elektrickou vodivost dokáže ovlivnit jakékoliv znečištění, proto bylo potřeba zachytné nádoby pečlivě očistit. Pro záchyt byli použité skleničky očištěné pomocí kuchyňské myčky na nádobí a následně několikrát propláchnuty destilovanou vodou. Tímto způsobem jsme odstranili zbytky nečistot z vodovodního řádu použité v myčce a mycího přípravku použitého při umývání. I přes pečlivé očištěných nádobek lze celé měření brát jako orientační, jelikož měrná elektrická vodivost je snadno ovlivnitelná. Pro názornou ukázkou jsme do vzorku vody z vodovodního řádu o objemu okolo 100 mililitrů vložili zrnko kuchyňské soli o velikosti přibližně jednoho milimetru. Podle *Tab. 8* má voda ve vodovodním řádu v laboratoři v Brně měrnou elektrickou vodivost  $460 \mu\text{S}/\text{cm}$ , po vložení jednoho zrnka soli vzrostla měrná elektrická vodivost vody na  $790 \mu\text{S}/\text{cm}$ . Z tohoto důvodu bylo potřeba skleničky dokonale očistit.

*Tab. 8 Měření vlastností dešťů a porovnávaných vzorků vody.*

Typ vody	Vodivost [ $\mu\text{S}/\text{cm}$ ]	Jiné částice [ppm]	Kyselost [pH]
Destilovaná	9	5	7,7
Vodovodní	460	240	7,25
Déšť 22. 4	27	13	7,5
Déšť 25. 4	37	12	7,3
Déšť 26. 4	23	11	7,1
Smíšený déšť 27. 4	11	6	6,9
Sněžení 28. 4	6	3	6,8
Déšť 29. 4	13	6	5,8
Průměr dešťů	25	10,5	6,9

Sbírání vzorků bylo prováděno od 22. dubna do 29. dubna v okolí Jihlavy na Vysočině. Toto období pršelo skoro každý den, proto nečistot v ovzduší postupně ubývalo a měrná elektrická vodivost klesala. Průměrná měrná vodivost pouze dešťů bez smíšených srážek byla  $25 \mu\text{S}/\text{cm}$ . Tato hodnota je čtvrtinová než by měla být voda při napěťových zkouškách. Je potřeba ale uvažovat, že například při dešti v letním období, kdy je prašnost o poznání větší, může být měrná elektrická vodivost výrazně vyšší. Zkoušení v laboratořích je tedy prováděno na průměrné hodnotě  $100 \mu\text{S}/\text{cm}$ . Za zmínku stojí i dva odebrané vzorky, první ze dne 27. dubna kdy dešťové kapky doprovázely i sněhové vločky a druhý ze dne 28. dubna kdy pouze sněžilo. Hodnota měrné elektrické vodivosti při sněžení se pohybovala v hodnotách destilované vody.

Dalším měřeným parametrem pomocí laboratorního měřiče měrné elektrické vodivosti vody byl počet dílů či částic různých od vody. Tato hodnota se udává pomocí jednotky ppm (parts per million), což znamená počet částic či dílů z milionu neboli miliontinu celku. Přehled počtu částic různých od vody můžeme vidět v *Tab. 8*, průměrná hodnota těchto částic pro dešťové srážky se pak pohybovala okolo 10,5 ppm.

Posledním měřeným parametrem bylo měření kyselosti vody nasbíraných vzorků. Kyselé deště podle zdroje [11] mohou dosahovat hodnot pH okolo 4 až 3. Přičemž stupnice pH vyjadřuje kyselost nebo zásaditost daného měřeného roztoku. Jedná se o logaritmickou stupnici v rozsahu od 0 do 14, kde hodnoty od 0 do 7 jsou kyselé roztoky a od 7 do 14 jsou zásadité roztoky. Střední hodnota 7 je pro neutrální hodnotu vody. V našem měření se průměrná hodnota pohybovala okolo 6,9 pH, dá se tedy říct, že v našich měřených vzorcích padala prakticky neutrální voda (normální dešť). Může to být způsobeno i krajem Vysočina, která je ve vyšších nadmořských výškách plná lesů a není tu mnoho průmyslových továren. Na kyselost dešťů má totiž vliv spalování fosilních paliv a sopečná činnost, kdy se do ovzduší dostanou znečišťující látky zejména pak oxid siřičitý a oxidy dusíku, které ovlivňují kyselost deště.

## 6.2 Vlastnosti trysek při různých podmínkách

Tato praktická část se zaměří na zkoumání chování dešťových kapek při použití jedné trysky s různým nastavením. Měření mělo původně být provedeno na doporučené trysce FullJet z kapitoly 4. Z technických důvodů nebyla tryska použitelná pro provedení měření, a proto pro měření byla zvolena alternativní náhrada obyčejné zahradní tryska. Toto měření bylo zaměřeno na to, jak se změní velikost kapiček, rychlost kapiček a homogenita s různým průtokem vody, pro tuto simulaci nám postačí obyčejná zahradní tryska. Výsledky tohoto testování by měli být srovnatelné i u trysky FullJet, která bude následně použita.

### 6.2.1 Popis měřicího pracoviště

Měření bylo provedeno ve venkovních prostorách naší laboratoře za pomoci průtokoměru, úchytu trysky s možností nastavení úhlu tryskání a pracovní desky s horizontálním a vertikálním měřítkem. Celé měřicí pracoviště lze vidět na *Obr. 9* i s popisem jednotlivých potřebných pomůcek a přístrojů.



Obr. 9 Měřící pracoviště pro možnosti focení rozptylu, velikosti a rychlosti kapek.

(A – průtokoměr, B – pracovní deska s horizontálním a vertikálním měřítkem, C – uchycení trysky).

Na tomto pracovišti byla provedena analýza kapek pro různé nastavení:

- úhlu trysky,
- otevření trysky,
- různý průtok.

Natočení trysky bylo provedeno pod třemi úhly, první úhel byl  $0^\circ$ , tedy tryska byla nastavena vodorovně s asfaltovým povrchem. Další úhel byl zvolen  $15^\circ$  a  $30^\circ$  odkloněný od vodorovné osy směrem k zemskému povrchu.

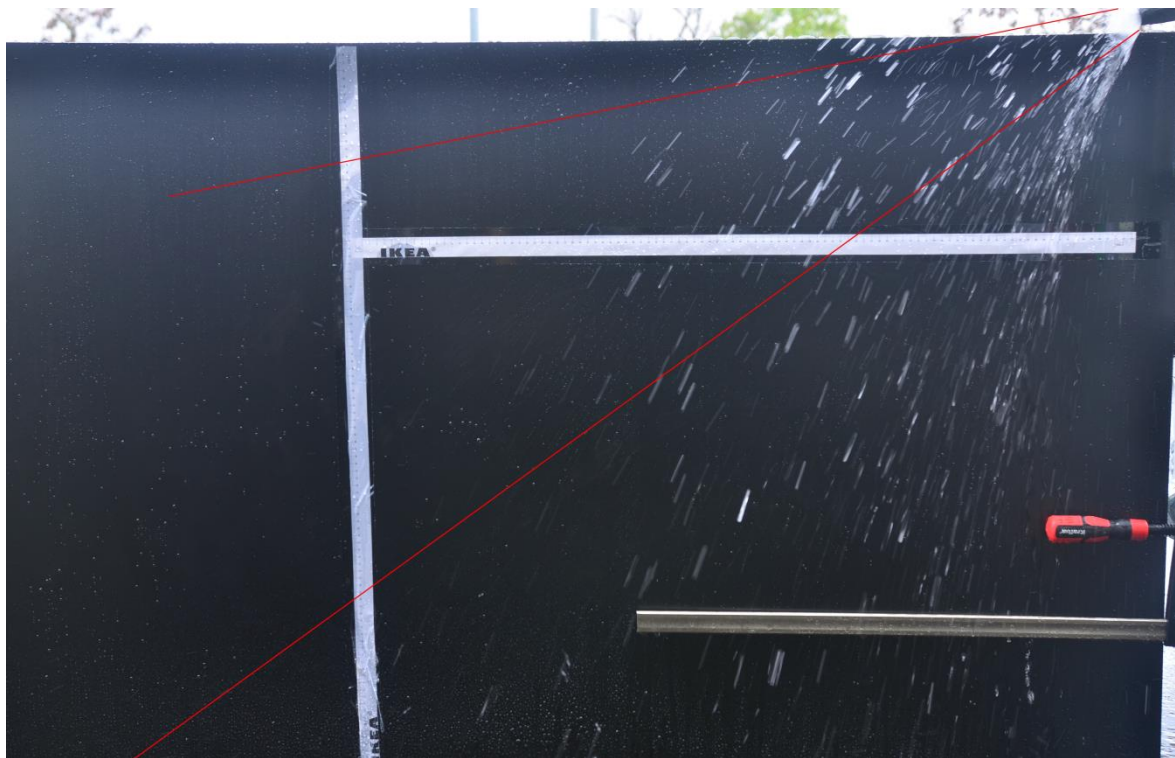
Otevření trysky bylo provedeno pro 8 stupňů otevřenosti trysky. Stupeň nastavení na hodnotu 0 je, když je tryska maximálně přiškrcena s velkým rozptylem. Naopak při stupni 8 je tryska maximálně otevřena a tryska proudí skoro souvislý úzký proud vody.

Poslední změnou v nastavování byl průtok vody, který byl také nastavován na tři různé průtoky. Nastavení stejného průtoku bylo ovšem složité, protože malou změnou otevření umyvadlové baterie se průtok značně lišil. Povedlo se nám nastavit první nejnižší průtok v rozsahu od 3,4 do 3,6 litrů za minutu, další druhý stupeň nastavení v rozsahu od 5,4 do 5,7 litrů za minutu a poslední stupeň nastavení od 8,4 do 9,2 litrů za minutu.

Pro kombinaci různého nastavení podle těchto parametrů bylo pořízeno přes 100 fotografií, které bylo potřeba analyzovat a sestavit výsledky měření.

### 6.2.2 Stanovení použitelné homogenní oblasti

Prvním rozbořem každé fotografie pro různé nastavení bylo stanovení velikosti použitelné oblasti, ve které je množství kapek přibližně homogenní po celé oblasti. Zároveň pro tuto oblast musely kapičky dopadat maximálně v poměru 2:1, jak je dáno normou v *Tab. 3*. Výpočtem byla stanovená výšeč, ve které kapky dopadali v požadovaném poměru. Výšeč byla vypočtena v rozsahu, kdy kapka dopadala pod úhlem mezi  $26,6^\circ$  a  $63,4^\circ$ . Po stanovení výšeče se vyznačila kruhová oblast použitelná pro ostříkování zkoušeného objektu. V některých případech nebyla doporučena žádná použitelná výšeč. Pro názornost vidíme na *Obr. 10*, kde nebyla zvolena žádná doporučena homogenní plocha k ostříku objektu ve výšeči, kde kapky splňují směr dopadu. Tato nevyhovující oblast byla při natočení trysky pod úhlem  $15^\circ$  a průtok 3,6 litrů za minutu při třetím stupni otevření trysky.



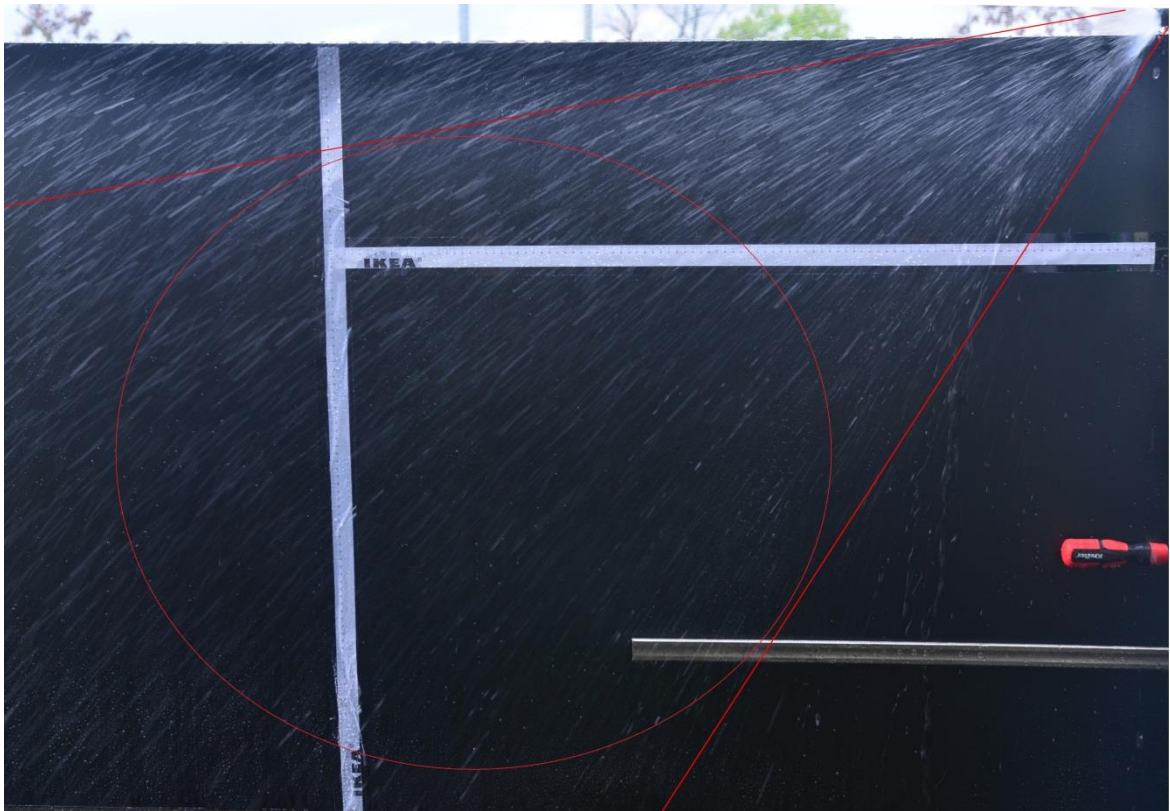
*Obr. 10 Ukázka z měření pro nevyhovující homogenní oblast*

Většinou ale při každém nastavení se našla použitelná oblast, která splňovala všechny potřebné požadavky na homogenitu kapek v oblasti a směr dopadu kapek. Tyto použitelné oblasti byly shrnuty do *Tab. 9*, kde vidíme oblasti při různém nastavení. Z *Tab. 9* je patrné, že s rostoucím otvíráním trysky klesá použitelná homogenní plocha. Je to z důvodu, že při otvírání trysky se zužuje rozptyl stříkající vody.

Tab. 9 Doporučená kruhová homogenní plocha s průměrem v metrech.

Stupeň otevření trysky	Tryska 0°			Tryska 15°			Tryska 30°		
	Průtok [l/min]			Průtok [l/min]			Průtok [l/min]		
	3,4	5,4	8,4	3,6	5,6	8,85	3,6	5,7	9,2
0	0,8	0,9	1	0,6	0,8	0,9	0,6	1,0	0,8
1	0,7	1	0,7	0,6	0,9	0,9	0,6	0,7	0,7
2	0,4	1	0,9	0,5	0,8	0,9	0,4	0,8	0,7
3		1	0,9	0,5	0,8	0,9		0,6	0,7
4			0,9	0,4	0,7	0,9	0,5	0,8	0,7
5	0,5		0,6	0,4	1	0,8	0,4	0,6	0,5
6	0,4	1		0,4	0,4	0,5	0,5	0,3	
7		0,5				0,4			
8						0,3			

Na Obr. 11 je názorná ukázka zvolené homogenní plochy, při natočení trysky pod úhlem 15 ° a průtoku 5,6 litrů za minutu a prvním stupni otevření trysky.



Obr. 11 Ukázka z měření pro vyhovující homogenní oblast



### 6.2.3 Stanovení průměrné rychlosti kapek

Další analýzou, která byla provedena z pořízených fotografií, bylo stanovení průměrné rychlosti tryskajících kapek. Průměrná rychlost byla vždy stanovena pro každý nastavený stav, pro tři různé kapky vybrané z homogenní doporučené oblasti. Rychlost byla vypočtená ze známé dráhy a času. Čas odpovídá času uzávěrky fotoaparátu, tedy době, po kterou byl snímek zachycován. Po většinu doby byla uzávěrka fotoaparátu nastavena na hodnotu 0,01 sekundy. Dráha byla stanovena z fotografie, jak lze vidět z *Obr. 12*, v programu na úpravu fotek byla kapka obkreslena úsečkou do další vrstvy, která pak byla přenesena na měřítko umístěné na pracovní desce. Následně přes jednoduchý vzorec pro výpočet rychlosti z dráhy za čas byli stanoveny tři rychlosti, ze který byl proveden výsledný průměr. I tato analýza je spíše orientační, protože na výsledky má vliv několik nepříznivých aspektů. Mezi které patří například:

- výběr pouze tří kapek z několika seti,
- při velkém průtoku obtížné rozeznat jednotlivé kapky,
- při menších kapkách složité obkreslit přesně kapku a přesně změřit na měřidle,
- problém, aby vybraná kapka tryskala podél desky,
- ovlivnění kapek větrem.

I přes tyto nepříznivé aspekty vychází z celkové analýzy zajímavé data. Jak je vidět z *Tab. 10* nejvyšší rychlosti je dosahováno vždy při nulovém stupni, tedy maximálním přiškrcení trysky. Dále většinou se zvyšujícím otvíráním trysky rychlost kapek nejprve klesá a následně se zase zvyšuje. Při koncovém stavu, kdy je tryska plně otevřená, rychlost nedosahuje znovu maximální rychlosti jako na počátku.

*Tab. 10 Průměrná rychlost kapek stanovená v homogenní oblasti v metrech za sekundu.*

Stupeň otevření trysky	Tryska 0°			Tryska 15°			Tryska 30°		
	Průtok [l/min]			Průtok [l/min]			Průtok [l/min]		
	3,4	5,4	8,4	3,6	5,6	8,85	3,6	5,7	9,2
0	4,70	6,40	10,17	4,50	9,50	11,80	4,07	5,83	8,80
1	4,40	5,60	8,73	4,30	6,13	7,83	4,03	4,70	8,03
2	2,69	5,60	8,83	3,87	4,93	7,97	3,20	4,93	7,43
3		4,85	7,10	3,90	5,47	8,03	2,37	4,77	6,30
4			7,43	3,70	5,87	7,57	2,60	4,40	6,57
5	3,74		8,77	4,67	6,40	6,67	2,90	4,57	5,50
6	3,99	5,19		4,90	6,67	6,13	3,97		
7		5,30				7,73		4,63	
8						8,37			



Obr. 12 Ukázka stanovení dráhy kapky. A - obkreslená kapka, B – transponování obkreslené kapky z bodu A na měřítko.

### 6.2.4 Stanovení průměrné velikosti kapek

Podobným způsobem jako při stanovování dráhy letu kapek, byla provedena i analýza na stanovení průměrné velikosti kapek. Stejně jako v předchozí analýze byla velikost kapek stanovena průměrem ze tří vybraných kapek z homogenní oblasti. Pro velikost kapek se použije šířka letící dráhy kapky, jelikož je to několikanásobně menší rozměr než při stanovování dráhy i přesnost celé analýzy je mnohem nižší. V Tab. 11 můžeme vidět výsledky analýzy, i přes menší přesnost jsou výsledky většinou se stejným charakterem. S postupným otevíráním trysky se velikost jednotlivých kapek mírně snižuje.

Tab. 11 Průměrná velikost kapek stanovená v homogenní oblasti v milimetrech

Stupeň otevření trysky	Tryska s natočením 0°			Tryska s natočením 15°			Tryska s natočením 30°		
	Průtok vody [l/min]			Průtok vody [l/min]			Průtok vody [l/min]		
	3,4	5,4	8,4	3,6	5,6	8,85	3,6	5,7	9,2
0	4,8	6,3	4,8	4,2	4,9	5,8	2,7	3,0	5,0
1	4,4	6,2	5,3	4,0	5,0	5,9	3,2	3,2	4,8
2	4,7	5,6	5,8	3,7	3,7	5,5	3,8	4,3	5,5
3		5,5	6,3	4,3	5,2	5,8	4,0	4,5	5,7
4			5,7	3,8	5,3	5,9	3,3	3,8	5,7
5	3,8		3,2	4,0	4,3	4,3	3,3	4,0	4,7
6	3,7	4,7		4,2	3,3	3,7	3,7		
7		3,4				3,6		3,8	
8						3,6			

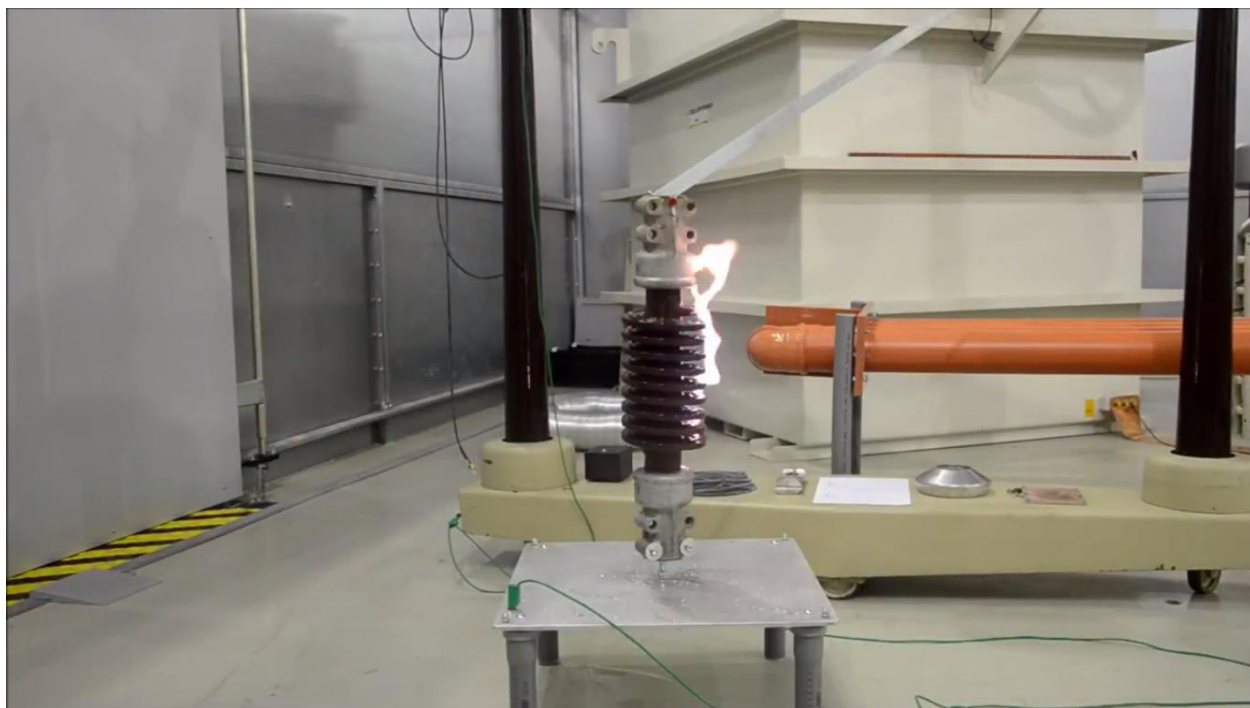
### 6.3 Napěťová zkouška izolátoru

Poslední praktická část této diplomové práce je zaměřená na napěťovou zkoušku na izolátoru za sucha a při smočení. Tato zkouška má potvrdit důležitost provádění napěťových zkoušek za mokra. Výsledkem této části zkoušky by měl být důkaz, že přítomnost vody na izolačních a jiných venkovních zařízeních má velký vliv na její izolační schopnost. Z bezpečnostních důvodů nebylo možné provést zkoušku v plném rozsahu, tedy při ostříkování zkoušeného izolátoru. V laboratoři nelze z bezpečnostních důvodů bez kompletního sprchového systému používat trysku s vodou a venkovní prostory nejsou zabezpečeny proti vstupu laikům. Z těchto důvodů byla provedena částečná napěťová zkouška na izolátoru.

Pro naše měření byl použit trakční izolátor s nominální napěťovou hladinou 25 kV. Tento izolátor byl vystaven nejprve třem zkouškám při zvyšujícím se střídavém napětí do vzniku přeskočků. A následně třem zkouškám, kdy na izolátor bylo manuálně naneseno před zkouškou větší množství vody. Z výsledků je zřejmé, že i při takto částečné napěťové zkoušce za mokra má velký význam realizovat sprchový systém pro tyto zkoušky v naší laboratoři. Průměrné hodnoty, při kterých došlo k přeskočků na izolátoru, za sucha a při smočení můžeme vidět v *Tab. 12*. Hlavním výsledkem této zkoušky je, že i při manuálním smočení bez ostříkování poklesla přeskoková hladina o 17,6 kV. Na *Obr. 13* je vidět fotografie z prováděné napěťové zkoušky.

*Tab. 12 Průměrné přeskokové napětí na trakčním izolátoru 25 kV*

Napětí za sucha [kV]	Napětí za mokra [kV]
125,5	107,9



*Obr. 13 Ukázka z napěťové zkoušky na izolátoru při výboji za sucha.*

## 7 ZÁVĚR

Tato diplomová práce se věnuje napěťovým zkouškám za mokra. Úvod práce se nejprve zabývá obecně problematikou napěťového zkoušení, kde byly popsány metody a typy zkoušení. V další části jsou uvedené příklady nejčastějších testovaných zařízení a typy zkoušek na nich prováděné. Nejčastější provádění napěťových zkoušek za mokra je na izolátorech. Hlavní teoretická část je zaměřena na nejdůležitější informace pro napěťové zkoušky za mokra. Tyto požadavky vychází z platných českých i zahraničních norem. Jedná se o nejdůležitější požadavky, na které je nutné dbát při realizaci sprchového systému v naší laboratoři. Významnou roli v těchto zkouškách má zkušební voda. Tato voda, která je použita při zkoušení musí splňovat určité meze, mezi které patří poměr vertikálního a horizontálního ostřikování, vodivost a teplota vody. Dalšími provedenými analýzami bylo zkoumání požadavků na konstrukci sprchového systému a na použité trysky.

Po shrnutí potřebných informací pro realizaci sprchového systému se další část práce orientuje na samotné návrhy konstrukcí. Před samotnými návrhy konstrukcí bylo potřeba vyřešit několik důležitých věcí. Prvním zkoumaným problémem bylo ovlivňování tryskající vody gravitací. Při malé výstupní rychlosti z trysky by totiž gravitační síla způsobila, že žádné kapky by nebyly v požadovaném poměru ostřikování mezi horizontální a vertikální složkou. Při simulování dráhy letu vody s ovlivněním gravitací se následně stanovilo několik variant s rozložením trysek. S rostoucí vzdáleností trysek od sebe se zvětšuje homogenně ostřikovaná oblast. Poslední důležitou věcí bylo potřeba vyřešit problém s potřebným tlakem pro trysky a možnosti regulace intenzity ostřikování. První metoda zahrnuje tlak vzniklý umístěním zkoušené vody do výšky v barelu a další využívá tlak vzniklého pomocí čerpadla v reverzní osmóze.

Další provedené návrhy konstrukcí jsou navrženy tak, aby sprchový systém dokázal provést napěťovou zkoušku za mokra i při rozměrech zkoušeného zařízení, který je rozměrově odlišný. Proto první návrh je navržen tak, aby v něm bylo možné zkoušet objekty s vyšším rozměrem, další návrh pak byl pro zkoušení objemných objektů. Posledním z návrhů je použití kruhového rámu, po kterém se dají trysky různě posunovat dle potřeby. Tento návrh umožňuje zkoušet různě tvarované objekty. Pro použití kruhového rámu byla následně stanovena možná varianta realizace z volně dostupných materiálů.

Poslední část práce byla zaměřena na praktickou část. Praktická část obsahovala tři analýzy, které úzce souvisejí s tématem. První analýza zahrnuje porovnání elektrické vodivosti používané vody při zkouškách s těmi reálnými dešťovými kapkami. Zachycené dešťové kapky byly změřeny laboratorním přístrojem a porovnány. V daném dešťovém období bylo zjištěno, že elektrická vodivost zachycených kapek je nižší než udává norma pro napěťové zkoušky. Ve druhé analýze bylo provedeno chování vody při různém nastavení trysky. Pomocí fotografií bylo zachyceno tryskání vody pro různé nastavení trysky, které bylo následně analyzováno. Analýza zahrnovala zjištění velikosti oblasti, která je homogenní a použitelná pro zkoušku. Dále velikost a rychlost jednotlivých kapek. Poslední z praktické části bylo provedení částečné kombinované zkoušky na izolátoru 25 kV. Touto zkouškou bylo zjištěno, že při smočení izolátoru vodou poklesne přeskokové napětí. Výsledek tohoto testu poukazuje na důležitost provádění napěťových zkoušek za mokra pro venkovní objekty používané pro přenos a distribuci elektrické energie.

---

Tato diplomová práce shrnuje důležité informace pro realizaci sprchového systému v naší laboratoři. Může tedy sloužit jako návod pro jeho výrobu. V teoretické části jsou popsány podmínky, které je nutné dodržet, aby celý sprchový systém fungoval správně. Následně pro realizaci může sloužit jeden z několika návrhů, které tato práce zahrnuje. Osobně bych doporučoval před sestavením některého z konkrétních návrhů systém postupně dávat dohromady a zkoušet. Doporučuji tedy využít reverzní osmózy v naší laboratoři pro úpravu vody, kterou následně přivést na provizorní sprchový systém, který bude zavěšen na jeřábu. Na jeřáb umístit nosný rám pro trysky a také pro sprchový závěs. Jako sběrnou nádobu zvolit buď odtokové kanály v laboratoři, nebo provizorní bazének, který bude mít nad hladinou desku s povoleným otvorem. Na takto provizorním sprchovém systému vyzkoušet pár testů, které ukáží správný směr, na co je potřeba dbát ohled a postupně zvolit finální verzi sprchového systému pro napět'ové zkoušky za mokra.

## POUŽITÁ LITERATURA

- [1] KRBAL, Michal. *Technika vysokých napětí* [online]. Brno [cit. 2016-12-13].
- [2] ČSN EN 60060-1, *Technika zkoušek vysokým napětím: Obecné definice a požadavky na zkoušky*. 2011.
- [3] ČSN EN 60383-2, *Izolátory pro venkovní vedení se jmenovitým napětím nad 1000 V*. 1996.4
- [4] *Vysokonapěťové zkušebnictví* [online]. [cit. 2016-12-13]. Dostupné z: [https://www.powerwiki.cz/attach/VNZ/VNZ\\_5-Diagnostika\\_izolatoru\\_svodicu\\_prepeti\\_a\\_vykonovych\\_vypinacu.pdf](https://www.powerwiki.cz/attach/VNZ/VNZ_5-Diagnostika_izolatoru_svodicu_prepeti_a_vykonovych_vypinacu.pdf)
- [5] Svodiče | Eaton Elektrotechnika s.r.o.. [online]. Copyright © Eaton Elektrotechnika s.r.o. Všechna práva vyhrazena [cit. 11.05.2017]. Dostupné z: <http://www.eatonelektrotechnika.cz/cz/svodice.html>
- [6] MATULA: *Simulátor deště pro polní experimenty*, Vodohospodářský Časopis, 32, 1984, č. 2, 217 – 227
- [7] *IEEE Standard for High-Voltage Testing Techniques: IEEE Std 4*. New York, 2013.
- [8] Základní funkce a princip reverzní osmózy. *Tzbinfo* [online]. 2016 [cit. 2017-05-11]. Dostupné z: <http://voda.tzb-info.cz/vlastnosti-a-zdroje-vody/14589-zakladni-funkce-a-princip-reverzni-osmozy-ro>
- [9] HÜBNER P., et al. *Úprava vody pro průmyslové účely* [online]. Verze . Praha : VŠCHT Praha, 2006 [cit. 2017-05-11]. P. 069. Dostupné z [www](http://www.vydavatelstvi.vscht.cz/knihy/uid_isbn-80-7080-624-9/pages-pdf/069.html): <[http://vydavatelstvi.vscht.cz/knihy/uid\\_isbn-80-7080-624-9/pages-pdf/069.html](http://vydavatelstvi.vscht.cz/knihy/uid_isbn-80-7080-624-9/pages-pdf/069.html)>. ISBN 80-7080-624-9
- [10] *Sprejové trysky, řízení a analýza stříku a výrobasprejových produktů od specialisty na sprejové technologie, společnosti Spraying Systems*. [online]. Copyright © [cit. 11.05.2017]. Dostupné z: [http://www.spray.cz/cat70cz/pdf/ssco\\_cat70m-cz\\_b.pdf](http://www.spray.cz/cat70cz/pdf/ssco_cat70m-cz_b.pdf)
- [11] Ekopolis. Object moved [online]. Copyright © [cit. 11.05.2017]. Dostupné z: <http://www.ekopolis.cz/ekowiki/udalosti/červené-udalosti/kyselý-děšť.aspx>
- [12] *Železářství Tichý Chrudim* [online]. Dostupné z: [http://www.zelezarstvitichy.cz/wp-content/uploads/2014/05/283\\_9545\\_rw501.jpg](http://www.zelezarstvitichy.cz/wp-content/uploads/2014/05/283_9545_rw501.jpg)
- [13] *Profesionální nářadí do dílen a servisů, vybavení automyček, eshop*, [online]. Copyright ©K [cit. 15.05.2017]. Dostupné z: [http://www.dovavanik.cz/eshop/foto/613/613501\\_o\\_0.jpg](http://www.dovavanik.cz/eshop/foto/613/613501_o_0.jpg)
- [14] *Arhitektura armastatud linna*. [online]. Copyright © [cit. 15.05.2017]. Dostupné z: [http://www.topeni-prodej.cz/fotky15408/fotos/\\_vyr\\_4481pp51---trubky.jpg](http://www.topeni-prodej.cz/fotky15408/fotos/_vyr_4481pp51---trubky.jpg)
- [15] *Koupelny SEN* [online]. Dostupné z: <https://www.koupelny-sen.cz/images/produkty/obr/posuvny-drzak-ke-sprchove-tyci-prumer-18-mm-1-170816062241.jpg>