

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

**FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ
ÚSTAV ELEKTROENERGETIKY**

**FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF ELECTRICAL POWER ENGINEERING**

TESTOVÁNÍ IZOLÁTORŮ

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS**

**AUTOR PRÁCE
AUTHOR**

FRANTIŠEK DOVČÍK

BRNO 2013



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH
TECHNOLOGIÍ

ÚSTAV ELEKTROENERGETIKY

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF ELECTRICAL POWER ENGINEERING

TESTOVÁNÍ IZOLÁTORŮ

INSULATOR TESTING

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

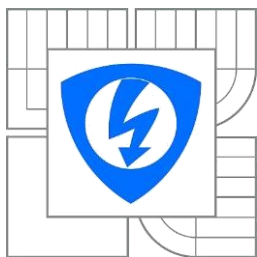
FRANTIŠEK DOVČÍK

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. PETR TOMAN, Ph.D.

BRNO 2014



VYSOKÉ UČENÍ
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií

Ústav elektroenergetiky

Bakalářská práce

bakalářský studijní obor

Silnoproudá elektrotechnika a elektroenergetika

Student: František Dovčík

ID: 146811

Ročník: 3

Akademický rok: 2013/2014

NÁZEV TÉMATU:

Testování izolátorů

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

1. Izolační materiály používané pro izolátory
2. Standardy pro testování izolátorů
3. Sestavení laboratorní úlohy pro testování izolátorů v laboratoři vvn

DOPORUČENÁ LITERATURA:

podle pokynů vedoucího práce

Termín zadání: 10.2.2014

Termín odevzdání: 30.5.2014

Vedoucí práce: doc. Ing. Petr Toman, Ph.D.

Konzultanti bakalářské práce:

doc. Ing. Petr Toman, Ph.D.

Předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

Autor bakalářské práce nesmí při vytváření bakalářské práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být 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.

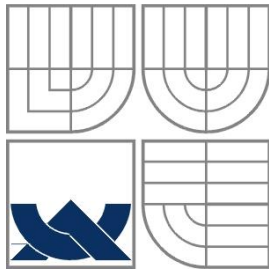
Bibliografická citace práce:

DOVČÍK, F. TESTOVÁNÍ IZOLÁTORŮ. BRNO: VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ, FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ, 2014. 44 s. VEDOUcí SEMESTRÁLNÍ PRÁCE DOC. ING. PETR TOMAN, PH.D..

Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této bakalářské 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.

Ďakujem vedúcemu bakalárskej práce doc. Ing. Petr Toman, Ph.D. za účinnú meto-
dickú, pedagogickú a odbornú pomoc a ďalšie cenné rady pri spracovaní mojej bakalárskej
práce. A tiež sa chcem poďakovať Ing. Michal Krbal za odbornú pomoc v laboratóriu vysokého
napätia.

.....



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ



Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií
Ústav elektroenergetiky

Bakalářská práce

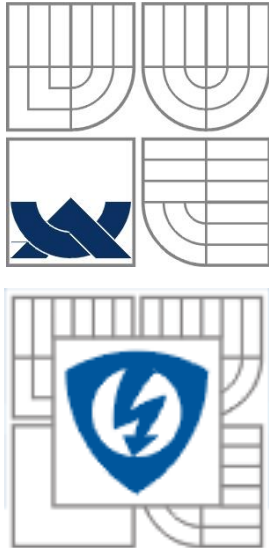
Testování izolátorů

František Dovčík

vedoucí: doc. Ing. Petr Toman, Ph.D.

Ústav elektroenergetiky, FEKT VUT v Brně, 2013

Brno



BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

**Faculty of Electrical Engineering and Communication
Department of Electrical Power Engineering**

Master's Thesis

Testing insulators

by

František Dovčík

Supervisor: doc. Ing. Petr Toman, Ph.D

Brno University of Technology, 2013

Brno

ABSTRAKT

Práca „Testování izolátorů“ sa zaoberá izolátormi a metódami používanými pri ich vysokonapäťovom testovaní. Práca bola vytvorená podľa platných noriem týkajúcich sa testovania, predovšetkým ČSN EN 60060-1, za účelom vytvorenia laboratórnej úlohy v laboratóriu vysokého napätia pre študentov oboru Elektroenergetika na VUT FEKT.

S ohľadom na možnosti laboratória sa práca venuje testovaniu izolátorov atmosférickým impulzným napätím. Zvolená metóda testovania hore-dole je doporučená príslušnými technickými normami pre testovanie izolátorov.

Cieľom tejto práce je oboznámenie študentov s vysokonapäťovým testovaním ako aj izolátormi. Do budúcnosti odporúčam zaradenie laboratórnej úlohy do predmetu Technika vysokých napätí.

KLÍČOVÁ SLOVA: testovanie izolátoru, izolátory, kompozitné izolátory, tyčové izolátory, porcelánové izolátory, sklenené izolátory, rázová charakteristika, atmosférické impulzné napätie, normalizovaný atmosférický impulz

ABSTRACT

The thesis “Testing of Insulators” deals with insulators and methods used for their high-voltage testing. The thesis was formed on the basis of the effective regulations regarding testing, primarily ČSN EN 60060-1, in order to create a laboratory study in a high voltage laboratory for students of the field of study Power Electrical Engineering at VUT FEKT.

With respect to laboratory facilities, the thesis deals with insulator testing by lightning impulse voltage. The chosen *up-and-down* method is recommended by relevant technical regulations for insulator testing.

The objective of this thesis is to acquaint students with high-voltage testing as well as insulators. For future reference, I recommend incorporating this laboratory study into the curriculum of the subject High Voltage Technology.

KEY WORDS:

testing insulators, composite insulator, long rod insulators, ceramic insulators, glass insulators, time lag characteristic, lightning impulse voltage, standardized lightning impulse

OBSAH

ZOZNAM OBRÁZKOV	10
ZOZNAM TABULIEK	11
ZOZNAM SYMBOLOV A SKRATIEK.....	12
1 ÚVOD	13
2 CIELE PRÁCE.....	14
3 IZOLÁTORY	15
3.1 ROZDELENIE IZOLÁTOROV	15
3.1.1 ROZDELENIE Z HEADISKA PROSTREDIA	15
3.1.2 ROZDELENIE IZOLÁTOROV Z HEADISKA POUŽITÉHO MATERIÁLU	15
3.1.3 ROZDELENIE PODĽA KONŠTRUKCIE IZOLÁTORA	15
3.1.4 ROZDELENIE Z HEADISKA PREVEDENIA IZOLÁTORU	15
3.2 TANIEROVÉ IZOLÁTORY	15
3.2.1 KERAMICKÉ TANIEROVÉ IZOLÁTORY	16
3.2.2 TANIEROVÉ SKLENENÉ IZOLÁTORY	16
3.3 TYČOVÉ IZOLÁTORY	17
3.4 KOMPOZITNÉ IZOLÁTORY	18
3.4.1 KONCOVÉ ARMATÚRY	18
3.4.2 TYČ	19
3.4.3 STRIEŠKY	19
3.4.4 VÝHODY KOMPOZITNÝCH IZOLÁTOROV	19
3.4.5 HYDROFÓBIA MATERIÁLU	20
3.5 PROBLEMATIKA ZNEČIŠŤOVANIA IZOLÁTOROV.....	20
3.6 CHARAKTERISTIKY ZÁVESNÝCH TYČOVÝCH IZOLÁTOROV	21
3.7 POROVNANIE KATALÓGOVÝCH VLASTNOSTÍ TYČOVÝCH IZOLÁTOROV PRE VEDENIE 110 kV..	21
4 TESTOVANIE IZOLÁTOROV	22
4.1 TERMÍNY A DEFINÍCIE	22
4.2 ROZDELENIE SKÚŠOK	22
4.3 TYPOVÉ SKÚŠKY IZOLÁTOROV	22
4.3.1 VÝDRŽNÁ SKÚŠKA	23
4.3.2 PRESKOKOVÁ SKÚŠKA	23
4.3.3 JEDNOMINÚTOVÁ SKÚŠKA ZA SUCHA	23
4.3.4 JEDNOMINÚTOVÁ SKÚŠKA ZA DAŽĎA.....	23
4.3.5 SKÚŠKA VIDITEĽNÉHO VÝBOJA	23
4.4 VÝBEROVÉ SKÚŠKY	23
4.4.1 PRAVIDLÁ VÝBERU A POSTUPY VÝBEROVÝCH SKÚŠOK	24
4.4.2 PRESKÚŠAVACÍ POSTUP PRE VÝBEROVÉ SKÚŠKY	24
4.5 KUSOVÉ SKÚŠKY	24
4.6 KOORDINÁCIA ELEKTRICKEJ IZOLÁCIE V SIEŤACH S MENOVIŤM NAPÄTÍM NAD 1 kV.....	24
4.7 POŽIADAVKY NA SKÚŠKY VYSOKÝM NAPÄTÍM	25
4.8 TESTOVANIE IZOLÁTOROVÉHO REŤAZCA.....	26

4.8.1 KOREKCIA NA ATMOSFÉRICKÉ PODMIENKY	26
4.9 SKÚŠKY ATMOSFÉRICKÝM IMPULZNÝM NAPÄTÍM	27
4.9.1 NORMALIZOVANÝ ATMOSFÉRICKÝ IMPULZ.....	27
4.9.2 TOLERANCIE	27
4.9.3 GENEROVANIE SKÚŠOBNÉHO NAPÄTIA	28
4.9.4 MERANIE SKÚŠOBNÉHO NAPÄTIA A URČOVANIE TVARU IMPULZU	28
4.9.5 SKÚŠOBNÉ POSTUPY	28
4.10 SKÚŠKY SPÍNACÍMI IMPULZY ZA DAŽĎA.....	28
4.10.1 NORMALIZOVANÝ SPÍNACÍ IMPULZ	28
4.10.2 SKÚŠOBNÉ POSTUPY	29
4.11 SKÚŠKY STRIEDAVÝM NAPÄTÍM ZA DAŽĎA.....	29
4.12 METÓDY MONTÁŽE.....	30
4.12.1 MONTÁŽNE USPORIADANIE, AK NIE SÚ VYŽADOVANÉ SKÚŠKY SPÍNACÍM IMPULZOM	30
5 LABORATÓRNY NÁVOD.....	32
5.1 ZADANIE	32
5.2 TEORETICKÝ ROZBOR	32
5.2.1 IZOLÁTORY	32
5.2.2 RÁZOVÁ CHARAKTERISTIKA.....	33
5.2.3 METÓDA HORE - DOLE	34
5.2.4 IMPULZNÁ ATMOSFÉRICKÁ SKÚŠKA	34
5.3 POSTUP PRI MERANÍ.....	35
5.3.1 ZÁSADY BEZPEČNOSTI PRI MERANÍ	35
5.3.2 POSTUP – RÁZOVÁ CHARAKTERISTIKA	35
5.3.3 SKÚŠOBNÝ POSTUP HORE – DOLE	38
6 SPRACOVANIE TESTOVANIA	39
6.1 LABORATÓRNE PODMIENKY PRI TESTOVANÍ.....	39
6.2 RÁZOVÁ CHARAKTERISTIKA.....	39
6.2.1 NAMERANÉ HODNOTY	39
6.2.2 PRÍKLAD VÝPOČTU	40
6.2.3 GRAFICKÉ SPRACOVANIE.....	40
6.3 METÓDA HORE-DOLE.....	41
6.3.1 PRÍKLAD VÝPOČTU	41
6.4 ZÁVER.....	42
7 ZÁVER.....	43
POUŽITÁ LITERATÚRA	44

ZOZNAM OBRÁZKOV

<i>Obrázok 1: Tanierový izolátor [3]</i>	16
<i>Obrázok 2: Izolátor: a, závesný, tyčový VZL 50/435 [5]; b, špirálový, série CT-35 [6]</i>	17
<i>Obrázok 3: Časti kompozitného izolátora [7]</i>	18
<i>Obrázok 4: Typický predstavitelia koncových armatúr [7]</i>	19
<i>Obrázok 5: Plný atmosférický impulz [15]</i>	27
<i>Obrázok 6: Normalizovaný spínací impulz [17]</i>	29
<i>Obrázok 7: Montážne usporiadanie pri testovaní [14]</i>	31
<i>Obrázok 8: Rázová charakteristika [18]</i>	33
<i>Obrázok 9: Využitie rázovej charakteristiky [18]</i>	33
<i>Obrázok 10: Nastavenie polarít impulzu</i>	35
<i>Obrázok 11: Nadstavenie napätia</i>	36
<i>Obrázok 12: Ľavá strana programu – výber jednotlivých zmeraných testov</i>	37
<i>Obrázok 13: Pravá strana programu- zvolené merania</i>	38
<i>Obrázok 14: Priebeh testovania metódou hore- dole</i>	41
<i>Obrázok 15: Stav izolátoru po testovaní</i>	42

ZOZNAM TABULIEK

<i>Tabuľka 1: Porovnanie materiálov pre izolátory z hľadiska hydrofilie a hydrofóbie [7]</i>	<i>20</i>
<i>Tabuľka 2: Porovnanie parametrov vybraných izolátorov</i>	<i>21</i>
<i>Tabuľka 3: Určenie veľkosti výberu[1]</i>	<i>24</i>
<i>Tabuľka 4: Normalizované izolačné hladiny [12]</i>	<i>25</i>
<i>Tabuľka 5: Namerané hodnoty, rázová charakteristika</i>	<i>39</i>
<i>Tabuľka 6: Priemer napätí a časov z tabuľky č. 5</i>	<i>40</i>
<i>Tabuľka 7: Metóda hore-dole</i>	<i>41</i>

ZOZNAM SYMBOLOV A SKRATIEK

d_{iz}	priemer striešky spodného izolátora	[mm]
d_{vod}	priemer vodiča	[mm]
hPa	<i>hektopascal</i>	
H_z	dĺžka izolátorového závesu	[mm]
k_i	počet skupín na u	[-]
kV	<i>kilovolt</i>	
m	celkový počet prijatých skupín	[-]
mA	miliampér	
O_1	zdanlivý počiatok vlny	[-]
s	smerodajná odchýlka	[-]
T_1	doba čela vlny	[μs]
T_2	doba poltylu	[μs]
T_{2priem}	priemer časov do preskoku v skupine	[μs]
T_V	doba do vrcholu impulzu	[μs]
u	napätie prijatej skupiny	[kV]
U_{10}	10 % napätie prierazného výboja	[kV]
U_{50}	50 % napätie prierazného výboja	[kV]
U_{priem}	priemer napätí v skupine	[kV]
ΔU	rozdiel napätie medzi dvoma skupinami	[kV]
vvn	veľmi vysoké napätie	
μs	mikrosekunda	

1 ÚVOD

Izolátory slúžia k mechanickému spojeniu a elektrickému oddeleniu dvoch častí o rôznom potenciály. Sú vystavované mechanickému namáhaniu a pôsobeniu atmosférických podmienok, ako je napríklad úder blesku do vedenia a tiež sú vystavované prepätiam v sieti. V prípade ich poškodenia a zlyhania funkcie, môže mať za následok spadnutie vedenia, skrat na vedení, a s tým súvisiace zvýšené riziko pre ľudí ako aj materiálne škody spôsobené nutnou opravou a výpadkom dodávania elektrickej energie. V dnešnej dobe napredujú kompozitné izolátory, ktoré čoraz vo väčšej miere nahrádzajú konvenčné keramické izolátory.

Izolátory sú nenahraditeľnou súčasťou hlavne vonkajšieho vedenia a ich popisu sa venujem v prvej časti. V druhej časti sa venujem štandardom pri skúškach na izolátoroch, a montážnemu usporiadaniu podľa platných noriem. V tretej časti som popísal konkrétnu laboratórnu úlohu ktorá sa venuje impulznej atmosférickej skúške a rázovej charakteristike izolátorov. V nasledujúcej časti je vzorové vypracovanie úlohy a záver merania. V poslednej kapitole je zhrnutá celá moja práca a záver práce.

2 CIELE PRÁCE

Úlohou práce je zostavenie laboratórnej úlohy, ktorá bude pozostávať zo zoznámenia študentov s vysokonapäťovým testovaním a praktickým meraním, konkrétne u testovania izolátorov. Testovanie bude prebiehať v laboratóriu vysokého napätia, vo vedeckovýskumnom parku profesora Lista na Technickej 14, v Brne.

Cieľom práce je laboratórnou úlohou rozšíriť laboratórne merania v predmete “Technika vysokých napätí”. Práca si kladie za cieľ zoznámiť študentov s priebehom vysokonapäťového testovania práve u izolátorov. Testovanie sa riadi podľa platnej normy a skúška atmosférický impulzom je často využívaná a to nielen u izolátorov. Študent si vyskúša priebeh skúšky a posúdi či izolátor vyhovel. V rámci rozšírenia vedomostí študentov je do úlohy pridaná rázová charakteristika ktorá sa využíva v koordinácii izolácie pre správne použitie izolátorov a iskríšť.

3 IZOLÁTORY

Izolátor je elektrotechnická súčiastka, mechanický diel. Izolátory sa vyrábajú z elektricky nevodivých materiálov (izolantov), slúžia k mechanickému uchyteniu a vzájomnému elektrickému oddeleniu predmetov o rozdielnom potenciály. Väčšinou slúžia k mechanickému uchyteniu el. vodiča, bez toho aby pritom došlo k elektrickému spojeniu tohto vodiča s predmetom, ku ktorému je uchytený. Preto máme nároky na izolátory zo stránky mechanickej pevnosti ako aj elektrickej izolácie.

3.1 Rozdelenie izolátorov

3.1.1 Rozdelenie z hľadiska prostredia

Izolátory sa rozdeľujú z hľadiska prostredia pre ktoré sú určené na:

- Vnútorne
- Vonkajšie

3.1.2 Rozdelenie izolátorov z hľadiska použitého materiálu

Podľa použitého materiálu môžeme rozdeliť izolátory na :

- Sklenené izolátory
- Keramické izolátory
- Izolátory z kompozitných materiálov

3.1.3 Rozdelenie podľa konštrukcie izolátora

Závesné izolátory pre vonkajšie vedenie sa podľa konštrukcie rozdeľujú na dve triedy:

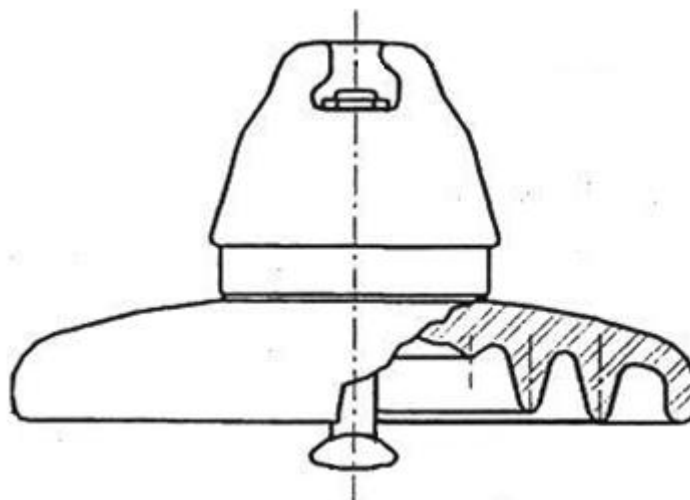
- Trieda A – Izolátor, ktorého najkratšia dĺžka prieražnej dráhy tuhým izolačným materiálom je väčšia alebo rovná polovici najkratšej vzdušnej vzdialenosti (dĺžke oblúku)
- Trieda B – Izolátor, ktorého najkratšia dĺžka prieražnej dráhy izolačného materiálu je menšia ako polovica vzdušnej vzdialenosti (dĺžke oblúku) [1]

3.1.4 Rozdelenie z hľadiska prevedenia izolátoru

- Podperné izolátory (kolíkové, stĺpové)
- Závesné izolátory (tanierové, tyčové)

3.2 Tanierové izolátory

Tanierový izolátor sa skladá na obvode z drieku s tanierom, ktorý tvorí vlastnú izoláciu, ďalej z kovovej čiapky vyhotovenej z pozinkovanej temperovanej liatiny, pritmelenej na hlavu izolátora a zospodu s pritmelenej paličky, ktorá je upevnená v dutine izolátora. V hlave čiapky je dutina - panvička, pre zasunutie paličky ďalšieho izolátora, prípadne závesného oka, takto sa dajú spájať izolátory do reťazcov. Súčasťou izolátora je tiež závlačka, tá zabezpečuje súdržnosť izolátorového reťazca. [2]



Obrázok 1: Tanierový izolátor [3]

Izolátor môže byť vyrobený z porcelánu alebo skla, z vrchu je takýto tanier hladký a tým zabraňuje usádzaniu nečistôt, ktoré zhoršujú jeho izolačné vlastnosti a zospodu je vytvorené tvarovanie ktoré predlžuje prúdovú dráhu zvodu. Na obrázku 1 je znázornený typický tanierový izolátor. [2]

3.2.1 Keramické tanierové izolátory

V minulosti sa skoro pre všetky napäťové úrovne používali keramické tanierové izolátory.

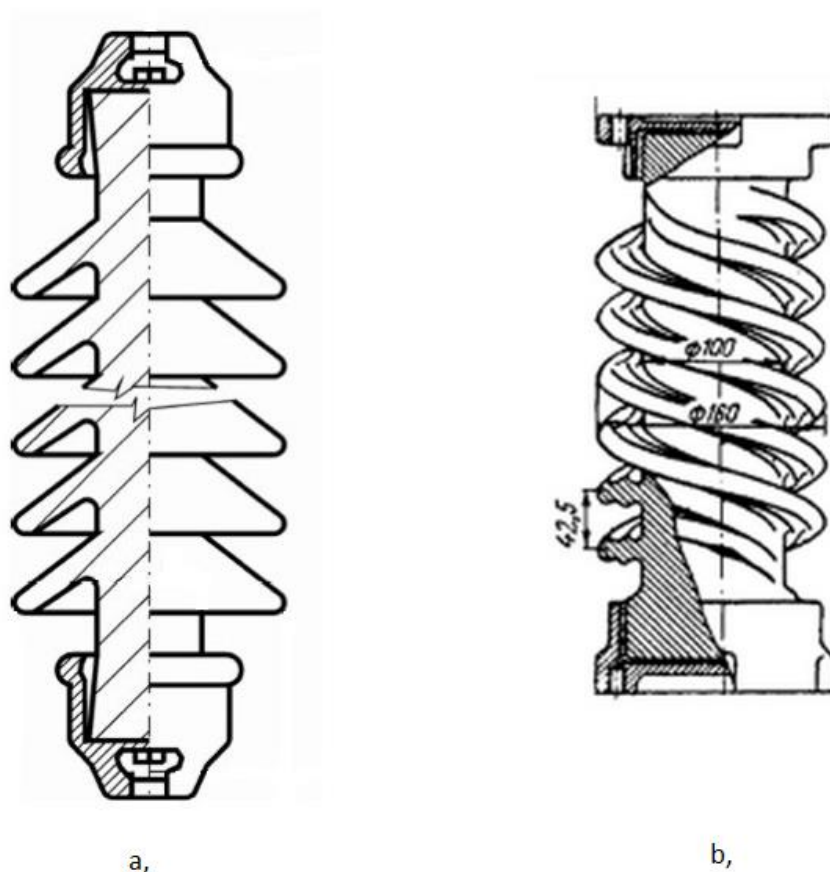
Pre vonkajšie vedenia sa zvyčajne robia izolátory z tvrdého porcelánu známeho pod názvom tiež elektrotechnická keramika, zloženie porcelánu je prevažne z kaolínu (42 – 60 %), kremeňa (12 – 40 %) a zo živca (17 – 27 %). Suroviny sa rozomelú a zmiešavajú sa s vodou na cesto, vzniknutá hmota sa nechá dlhší čas odležať. Po vyformovaní požadovaných tvarov, ktoré sa pozvoľna sušia a potom sa vypaľujú pri 900 °C, následne sa namáčajú v glazúre a vypaľujú 30-45 hodín pri teplote 1350 – 1450 °C. Pálením a sušením sa zmenší pôvodný tvar o 17 – 25 %. Na pálenie sa používajú pece kruhové, tunelové alebo elektrické. [4]

3.2.2 Tanierové sklenené izolátory

Pre vonkajšie vedenia sa využívajú tiež izolátory vyrobené zo skla. Výhoda skla je oproti porcelánu tá, že sklo nepotrebuje dlhé vypaľovanie. Sklo je však krehkejšie ako tvrdý porcelán, vyskytujú sa vnútorné napätia ktoré spôsobujú že pri náraze pukne celý izolátor. Aby sa izolátory zbavili vnútorného pnutia, vyrábajú sa z boritého skla (pirexu), ktoré sa temperuje, využíva sa toho hlavne u vyšších napätí (22 kV a vyššie). [4]

3.3 Tyčové izolátory

Ďalším druhom používaných izolátorov sú izolátory tyčové, nazývané tiež plnojádrové. Pri tyčových plnojádrových izolátoroch rozlišujeme dva druhy a to izolátory so špirálovitou strieškou a izolátory tyčové. Vyrábajú sa z tvrdého porcelánu kde sa ich výroba stotožňuje s postupom výroby u tanierových izolátorov, so zvýšeným dôrazom na pevnosť, pretože sú viac namáhané. Tvar má podobu tyče so strieškami a na oboch koncoch sú opatrené čiapkami z pozinkovanej liatiny poprípade okami, vidlicami. [4]



Obrázok 2: Izolátor: a, závesný, tyčový VZL 50/435 [5]; b, špirálový, série CT-35 [6]

Sú odolnejšie proti preskoku, pričom je porcelán mechanicky namáhaný ťahom. Ich výhoda oproti tanierovým izolátorom spočíva v kratšej stavebnej dĺžke, pretože medzi strieškami nie sú žiadne vodivé časti, ktoré by zmenšovali izolačnú schopnosť reťazca, ako pri reťazcoch izolátorov. Tyčové izolátory z porcelánu sú však citlivejšie na poškodenie, hlavne atmosférickými výbojmi a preto sa montujú s opaľujúcimi armatúrami. Pri poškodení izolátora môže dôjsť k spadnutiu vodiča na zem alebo na konzolu a k jeho prepáleniu, pričom u tanierových izolátoroch sa zvyčajne odrazí iba porcelánový tanier takže palička zostáva zachytená v hlave izolátora a vodič nespadne (pri tanierových izolátoroch stačí vymeniť iba poškodený diel pričom do výmeny je vedenie schopné prevádzky s poškodeným jedným alebo viacerými tanierovými izolátormi). [4]

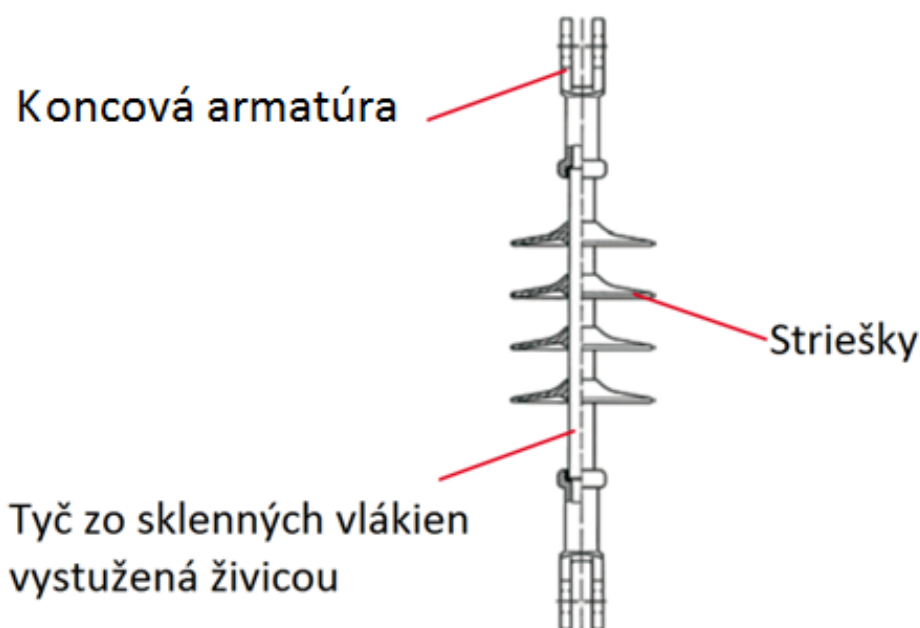
Výška izolátora závisí od počtu striešok a tie od napätia pre ktoré sa izolátor vyrába. Väčší priemer striešok majú izolátory pre vonkajšie použitie. Tyčové izolátory sa vyrábajú do napätia zvyčajne 110 kV a pre vyššie napätia sa spájajú do reťazcov. Konce porcelánového tyčového

izolátora majú tvar zrezaného kužeľa ku ktorému je stmelená kovová armatúra. Od pevnosti použitého materiálu a od priemeru chrbtovej časti závisí mechanická pevnosť izolátora. [4]

Malé tyčové podperné izolátory sa vyrábajú ako plné, väčšie sa odľahčujú a vyrábajú sa preto ako duté. Dutiny sú vyplnené plynom a hermeticky uzatvorené, aby sa zaručila dostatočná prierezová pevnosť. Pre dosiahnutie dostatočnej prieraznej pevnosti stačí relatívne tenká priečna stena vnútri izolátora. Vytvorené dutiny sú vyplnené suchým plynom a hermeticky uzavreté čo zamedzí vniknutiu vzdušnej vlhkosti do izolátora a vzniku kĺzavých výbojov v jeho vnútri. [2]

3.4 Kompozitné izolátory

Základnou myšlienkou je kombinácia rôznych materiálov, ktoré plnia vo funkcii izolátora rôzne úlohy vid' Obr.3. Koncovky sú zvyčajne vyrobené z kovu ako je napríklad kovaná oceľ alebo hliník. Pre koncovky izolátorov je vysoká miera štandardizácie, ktorá umožňuje jednoduchú výmenu existujúcich konvenčných izolátorových kompozitných riešení. Tyč sa skladá zo sklenených vlákien vystužených živicom popri prípade umelou hmotou, tyč nesie mechanické zaťaženie ktoré môže byť namáhanie ťahom, ohybom a tlakom alebo kombináciou všetkých troch v závislosti na aplikácii. Materiál striešok je rôzny ako aj jeho spôsob výroby, existujú však trendy v dôsledku existujúcich skúsenosti z prevádzky. [7]



Obrázok 3: Časti kompozitného izolátora [7]

3.4.1 Koncové armatúry

Typické koncové armatúry sú znázornené na obrázku 4. Rozmery koncoviek sú normované. Na úrovni 70 kN sa používajú oceloliatinové koncovky a na vyšších úrovniach ako 70 kN sa používajú koncovky z kovanej ocele. Oceľové koncovky sú pozinkované, hrúbka pozinkovania vychádza z príslušnej normy. [7]



Obrázok 4: Typický predstavitelia koncových armatúr [7]

3.4.2 Tyč

Sklenenými vláknami vystužená živicová tyč je dôležitým komponentom kompozitných izolátorov. Obsah vlákien určuje osobitnú pevnosť v ťahu a ohybe. Živica musí byť odolná proti pohlcovaniu vlhkosti a musí mať zanedbateľnú zmenu elektrických a mechanických vlastností. Typicky sa používa epoxidová živica. Tyč sa vyrába o rôznych prieroch v závislosti na aplikácii, pre tyčové izolátory od 14 do 38 mm, pre podperné izolátory od 38 do 90 mm. Vyrobená tyč sa presvecuje či nedošlo k poškodeniu vnútorných väzieb a následne sa skrakuje na požadovanú dĺžku. [7]

3.4.3 Striešky

Elektrickým účelom izolátora je izolácia vysokých napätí proti zemi alebo medzi fázami proti preskoku. Zjednodušene môže dôjsť k preskoku pri prepätí alebo znečistení. Prieskum vypracovaný skupinou CIGRE B2.03 a publikovaný v roku 2000 ukázal že väčšina aplikovaných izolátorov z kompozitných materiálov je vyrábaná zo silikónovej gummy. Dĺžka izolátora určuje doskovú vzdialenosť pri prepätí, tvar striešok a zmáčavosť povrchu striešok sú dominujúce faktory pre vznik znečistenia. [7]

Kompozitné izolátory majú typicky menší prierez ako izolátory porcelánové alebo sklenené, v dôsledku toho musí byť zvýšenie preskokoového výkonu dosiahnuté tvarom striešky a nulovou zmáčavosťou povrchu. [7]

3.4.4 Výhody kompozitných izolátorov

V porovnaní s bežnými izolátormi zo skla alebo porcelánu majú kompozitné materiály radu výhod:

- Sú ľahšie o 80-90 % oproti konvenčným izolátorom
- Hydrofóbie povrchu – povrch odpudzujúci vodu, zabraňuje k vzniku súvislej vrstve vody na povrchu izolátora
- Spoľahlivejšia prevádzka aj v znečistenom prostredí
- Jednoduché na montáž
- Sú nerozbitné
- Bez údržbové [8]

3.4.5 Hydrofóbia materiálu

Vonkajšie izolátory sú vystavené vlhkosti, dažďu, hmle, znečisteniu a námrazám. Na povrchu izolátora môže preto dôjsť k výbojom a tým aj k poškodeniu povrchu. Hydrofóbny povrch tieto javy starnutia potlačuje. Aby bola u týchto izolátorov a polymérov zaručená životnosť minimálne 40 rokov, je nutné toho docieľiť tvarom hydrofóbneho povrchu. [9]

Čiastočné výboje na povrchu, ako aj znečistenie, môžu viesť k strate hydrofóbie. Povrchový materiál by preto nemal byť sám hydrofóbny, ale mal by sa sám regenerovať a hydrofóbiu by mal prenášať na vrstvu znečistenia, čo bolo predmetom výskumu a zistilo sa, že toho dosahujú polydimethylsiloxany (PDMS). Ich mechanizmus spočíva v tom že pri zanesení materiálu znečisťujúcou vrstvou dochádza k difúznemu mechanizmu nízko molekulárnych silikónových komponentov. V tabuľke č. 1 je porovnanie materiálov používaných na izolátory z hľadiska hydrofóbie povrchu (povrch odpudzujúci vodu) a hydrofilie povrchu (povrch interagujúci z vodou). [9]

Tabuľka 1: Porovnanie materiálov pre izolátory z hľadiska hydrofilie a hydrofóbie [7]

Materiál krytu izolátora	Hydrofóbne správanie povrchu			Hydrofilné správanie povrchu		
	nový	starý	znečistený	nový	starý	znečistený
Silikónová guma	áno	áno, po obnove	áno, po prenesení	nie	nie, iba dočasne	nie, iba dočasne
Ostatné polymérové materiály	áno	nie	nie	nie	áno	áno
Sklo/Porcelán	nie	nie	nie	áno	áno	áno

3.5 Problematika znečisťovania izolátorov

Pri znečistení povrchu izolátora a pri šikmom daždi sa objavujú na povrchu izolátora zvodové prúdy ktoré môžu dosahovať veľkosti desiatok až stoviek mA. Následkom týchto skratových prúdov sa vysušajú prúdovodné cesty na ktorých sa objaví takmer celé napätie siete čo spôsobí čiastočné preskoky. Pri zvýšenom výskyte preskokov môže dôjsť až k celkovému preskoku po celej dĺžke reťazca a k vzniku oblúku ktorý svojou veľkou teplotou má za následok pnutie v tanieroch a dochádza k prasknutiu a opáleniu izolátora. Z toho dôvodu sa využívajú ochranné rohy alebo kruhy ktoré odvedú horenie oblúku mimo oblasť povrchu izolátorov. Izolátorové závesy na vedeniach s napätím 110 kV a viac, musia mať ochranné armatúry. [2]

Podľa IEC 815 sa rozlišujú 4 triedy znečistenia:

- I. Ľahké znečistenie - špecifická dĺžka plazivých prúdov 16 mm/kV
- II. Stredné znečistenie - špecifická dĺžka plazivých prúdov 20 mm/kV
- III. Ťažké znečistenie - špecifická dĺžka plazivých prúdov 25 mm/kV
- IV. Veľmi ťažké znečistenie - špecifická dĺžka plazivých prúdov 31 mm/kV [10]

3.6 Charakteristiky závesných tyčových izolátorov

Závesné tyčové izolátory sú charakterizované nasledujúcimi predpísanými charakteristikami:

- Výdržné napätie pri normalizovanom atmosférickom impulze
- Výdržné striedavé napätie priemyslového kmitočtu za dažďa
- Porušujúce mechanické zaťaženie v ťahu
- Maximálna menovitá dĺžka izolátoru
- Maximálny menovitý priemer izolačnej časti
- Minimálna menovitá povrchová cesta
- Normalizované spojenie [\[11\]](#)

3.7 Porovnanie katalógových vlastností tyčových izolátorov pre vedenie 110 kV

V tabuľke 2 je uvedené porovnanie parametrov tyčového kompozitného a keramického izolátora pre vedenie 110 kV. Tabuľka vychádza z katalógových listov firiem Východoslovenská Distribučná a.s. a Liaoning Mec Group co.

Tabuľka 2: Porovnanie parametrov vybraných izolátorov

Parameter / Druh izolátora	Jednotka	Keramický	Kompozitný
Typ	-	LP 75/24 sv	FXBW1-110/70-A
Výrobca	-	VSD a.s., Košice	LIAONING MEC GROUP
Menovité napätie	kV	110	110
Najvyššie napätie systému	kV	123	123
Mechanická porušujúca sila	kN	120	100
Dĺžka izolátora	mm	1325 ± 39	1240 ± 15
Dĺžka izolačnej časti	mm	1156	1020
Veľkosť spojenia	mm	16	16
Menovitá povrchová cesta	mm	3800	3300
Výdržné napätie pri normalizovanom atmosférickom impulze	kV	550	550
Výdržné striedavé napätie priemyselného kmitočtu za dažďa	kV	230	230
Hmotnosť	kg	41	5.1

Keďže izolačné vzdialenosti, výdržné skúšky a koncovky sú normalizované, katalógové vlastnosti keramických a kompozitných izolátorov sa líšia práve v hmotnosti, pričom kompozitný izolátor je podstatne ľahší ako keramický.

4 TESTOVANIE IZOLÁTOROV

Táto časť sa venuje prehľadom používaných skúšok vysokým napätím.

4.1 Termíny a definície

Izolátorový reťazec – jeden alebo viac spojených závesných izolátorov pre zaistenie nutnej opory vodičov vonkajšieho vedenia, izolátory sú namáhané hlavne na ťah.

Preskok – výboj pozdĺž povrchu izolátora a tiež porušujúci výboj vzduchu u izolátoru.

Prieraz – prierazný výboj ku ktorému dôjde skrz pevné dielektrikum.

Výdržné napätie atmosférického impulzu – napätie atmosférického impulzu, ktoré izolátor vydrží za sucha pri predpísaných podmienkach skúšky.

50% preskocové napätie atmosférického impulzu – hodnota napätia atmosférického impulzu, ktorá má pri predpísaných podmienkach skúšky 50% pravdepodobnosť, že spôsobí preskok na izolátore za sucha. Bežne sa označuje U_{50} .

Výdržné striedavé napätie za dažďa – napätie priemyslového kmitočtu, ktoré izolátor vydrží za dažďa, pri predpísaných podmienkach.

Povrchová cesta – najkratšia vzdialenosť alebo súčet najkratších vzdialeností pozdĺž izolačnej časti izolátoru medzi ktorými je normálne prevádzkové napätie.

4.2 Rozdelenie skúšok

Skúšky izolátorov je možné rozdeliť do troch skupín vzhľadom k počtu testovaných kusov:

- Typové skúšky
- Výberové skúšky
- Kusové skúšky

Všeobecne skúšky z hľadiska použitého napätia je možné rozdeliť do troch skupín:

- Skúšky jednosmerným napätím
- Skúšky striedavým napätím
- Skúšky impulzným napätím (atmosférickým, spínacím)

4.3 Typové skúšky izolátorov

Typové skúšky slúžia k overeniu hlavných charakteristík izolátorov, ktoré závisia hlavne na konštrukcii. Vykonávajú sa spravidla na malom počte izolátorov a iba raz pre novú konštrukciu alebo výrobný proces izolátoru a potom sú dodatočne opakované iba tie skúšky, ktoré sa vzťahujú k týmto charakteristikám. Navyše nie je potrebné vykonávať elektrické, mechanické a tepelné typové skúšky na izolátoroch novej konštrukcie, ak je k dispozícii platný skúšobný certifikát na izolátor ekvivalentný konštrukcie a rovnakého výrobného procesu. Výsledky typových skúšok sú certifikované skúšobným certifikátom prijatým odberateľom alebo skúšobným certifikátom potvrdeným kvalifikovanou organizáciou. [1]

U mechanických skúšok je certifikát platný desať rokov od doby vydania a u elektrických typových skúšok nie je časové obmedzenie. [1]

Skúšobný certifikát o typových skúškach zostáva platný pokiaľ nedôjde k výrazným rozdielom medzi výsledkami typových skúšok a následných odpovedajúcich výberových skúšok. [\[1\]](#)

Typ izolátoru je elektrický definovaný vzdialenosťou preskoku, povrchovou cestou, sklonom striešky, priemerom striešky a vzdialenosťou striešok. [\[12\]](#)

4.3.1 Výdržná skúška

Izolátor by mal byť pri teste namontovaný tak aby simuloval podmienky pri používaní. Použije sa normalizovaný atmosférický impulz 1,2/50 určeného napätia (s korekciou na atmosférické podmienky). Pri skúške by nemalo dôjsť k preskoku ani prierazu. Skúška sa opakuje päťkrát pre každú polaritu. [\[13\]](#)

4.3.2 Preskoková skúška

Použije sa normalizovaný atmosférický impulz 1,2/50, napätie sa postupne zvyšuje na 50% preskokového napätia. Skúška sa vykonáva pri oboch polaritách. Nemalo by dôjsť k prierazu izolácie počas skúšania. [\[13\]](#)

4.3.3 Jednominútová skúška za sucha

Izolátor musí byť počas testovania suchý a čistý, namontovaný ako je ustanovené a testuje sa pri predpísanom napätí (prepočítanom na okolité podmienky), ktoré by sa malo postupne vyvrcholiť (pri sieťovej frekvencii) a malo by byť udržané podobu jednej minúty. Počas skúšky nesmie dôjsť k prierazu ani preskoku na izolátore.

Preskoková skúška za sucha: Napätie by sa malo potom zvyšovať, až kým nepríde k preskoku. Postup sa opakuje desaťkrát a nemôže pritom dôjsť k poškodeniu izolátora. [\[13\]](#)

4.3.4 Jednominútová skúška za dažďa

Izolátor je v priebehu skúšky vystavený umelému dažďu ktorý je napájaný zo zdroja pri teplote 10°C okolitej teploty okolia izolátora. Dážď sa strieka pod uhol 45° na izolátor pri predpísanej rýchlosti 3 mm/min. Odpor vody by mal mať predpísanú hodnotu. Predpísané napätie sa udržuje po dobu jednej minúty.

Preskoková skúška za dažďa: Napätie sa potom postupne zvyšuje, až kým nedôjde k preskoku. Skúška sa opakuje desaťkrát pričom nesmie dôjsť k poškodeniu izolátora. [\[13\]](#)

4.3.5 Skúška viditeľného výboja

Táto skúška sa vykonáva po tom čo sa v skúšobnej miestnosti zhasne a pri priloženom špecifikovanom skúšobnom napätí po dobu päť minút, nemali by sa objaviť žiadne viditeľné známky koróny. [\[13\]](#)

4.4 Výberové skúšky

Výberové skúšky sa vykonávajú pre overenie charakteristík izolátoru, ktoré sa môžu meniť výrobným procesom a kvalitou materiálov komponentov izolátorov. Výberové skúšky sa používajú ako preberajúce skúšky na vzorku izolátoru náhodne vybraných z dávky, ktorá vyhovela požiadavkám príslušných kusových skúšok. [\[1\]](#)

4.4.1 Pravidlá výberu a postupy výberových skúšok

Pre výberové skúšky sa používajú dva výbery E1 a E2. Veľkosť týchto výberov je určená podľa tabuľky č.2. Ak ide o dávku pozostávajúcu z viac ako 10 000 izolátorov, musí byť rozdelená na optimálne množstvo rovnakých dávok obsahujúcich medzi 2 000 a 10 000 izolátorov. Výsledky skúšok musia byť oddelené pre každú dávku. Izolátory sa z dávky vyberajú náhodne. Izolátory, na ktorých boli vykonávané výberové skúšky, ktoré môžu pôsobiť na jeho mechanické alebo elektrické charakteristiky, nesmú byť použité v prevádzke. [1]

Tabuľka 3: Určenie veľkosti výberu [1]

veľkosť dávky (N)	Veľkosť výberu	
	E1	E2
$N \leq 300$	dohodou	
$300 < N \leq 2000$	4	3
$2000 < N \leq 5000$	8	4
$5000 < N \leq 10000$	12	6

4.4.2 Preskúšavací postup pre výberové skúšky

Pokiaľ je stanovené v preberacích kritériách, použije sa pre výberové skúšky nasledujúci postup:

Pokiaľ iba jeden izolátor alebo kovová časť nevyhovie požiadavkám výberových skúšok, musí byť preskúšaný nový výber rovný dvojnásobku pôvodného množstva vzorkou. Preskúšanie musí zahrňovať skúšky, v ktorých izolátor nevyhoviel a týmto skúškam musia predchádzať všetky skúšky, u ktorých sa dá predpokladať, že majú vplyv na výsledky pôvodnej skúšky. [1]

Pokiaľ nevyhovujú požiadavkám výberových skúšok dva a viac izolátorov alebo kovových častí, alebo sa vyskytne porucha pri preskúšaní, celá dávka sa považuje za nevyhovujúcu požiadavkám tejto časti príslušnej normy a musí byť výrobcom vyradená. [1]

4.5 Kusové skúšky

Kusové skúšky sú určené k vyradeniu nevyhovujúcich kusov a vykonávajú sa behom výrobného procesu, Kusové skúšky sa vykonávajú na každom izolátore. Kusové skúšky vykonáva zväčša výrobca, keďže sa vykonávajú počas výrobného procesu. [1]

4.6 Koordinácia elektrickej izolácie v sieťach s menovitým napätím nad 1 kV

Izolácia sa delí na samostatne sa obnovujúcu (plynné a kvapalné látky) a na samostatne sa neobnovujúcu (pevné látky), pre izolátory sa uvažuje izolácia vzdušná teda samočinne sa obnovujúca izoláciou a podľa toho sa volí aj metóda skúšky. [2]

Druh skúšok pre overenie elektrickej pevnosti sa riadi podľa kategórie napätia a môžu byť tiež závislé na druhu a typu izolátora. Rozlišujú sa tri kategórie najvyšších napätí:

- Kategória A – pre 1 – 52 kV
- Kategória B – pre 52 – 300 kV
- Kategória C – nad 300 kV

Pre kategóriu A a B sa obvykle vykonávajú skúšky krátkodobým výdržným napätím, atmosférickým impulzom a dlhodobým striedavým napätím. Pre kategóriu C sa obvykle vykonávajú skúšky atmosférickým a spínacím impulzom a skúška dlhodobým striedavým napätím. Izolačná hladina je určená u zariadení s najvyšším napätím do 300 kV menovitým výdržným napätím pri atmosférickom impulze a krátkodobým výdržným napätím striedavým. A izolačná hladina u zariadení s najvyšším napätím do 300 kV je určená menovitým výdržným napätím pri atmosférickom a spínacím impulze. [2]

Norma ČSN EN 60071-1 ed. 2 udáva normalizované izolačné hladiny, ktoré sú tiež dodržiavané výrobcami izolátorov. Doporučené hodnoty sú zobrazené v tabuľke č. 4.

Tabuľka 4: Normalizované izolačné hladiny [12]

Najvyššie napätie pre zariadenie U_m kV (efektívna hodnota)	Normalizované krátkodobé menovité výdržné striedavé napätie sieťového kmitočtu [kV] (efektívna hodnota)	Normalizované menovité výdržné prepätie pri atmosférickom impulze [kV] (vrcholová hodnota)
3,6	10	40
7,2	20	60
12	28	95
17,5	38	95
24	50	145
36	70	170
52	95	250
75,5	140	325
100	185	450
123	230	550
145	275	650
170	325	750
245	460	1050

4.7 Požiadavky na skúšky vysokým napätím

Obecné požiadavky na skúšky vysokým napätím:

- Skúšky atmosférickým impulzným napätím a striedavým napätím priemyslového kmitočtu sa musia vykonávať podľa požiadaviek IEC 60-1.
- Atmosférické impulzné napätia musia byť vyjadrené ich predpokladanými vrcholovými hodnotami a striedavé napätie musí byť vyjadrené ako vrcholová hodnota delená $\sqrt{2}$
- Pokiaľ sa skúšobné atmosférické podmienky pri skúške líšia od štandardných hodnôt, je potrebné použiť korekčné faktory
- Pred začiatkom vysokonapäťových skúšok musí byť izolátor čistý a suchý.

- e) Musí byť uskutočnené špeciálne opatrenie pre zabránenie kondenzácie na povrchu izolátoru, obzvlášť pri vysokej relatívnej vlhkosti. Napríklad izolátor musí byť umiestnený v mieste skúšky pri teplote okolia po dostatočne dlhú dobu pre skúškou, než dôjde k tepelnej rovnováhe.
Okrem odsúhlasenia medzi odberateľom a výrobcom sa skúšky za sucha musia vykonávať pri relatívnej vlhkosti nepresahujúcej 85 %.
- f) Časový interval medzi následnými priloženými napätiami musí byť dostatočný, aby sa minimalizoval účinok predchádzajúceho priloženého napätia preskokovej alebo výdržnej skúšky. [11]

4.8 Testovanie izolátorového reťazca

Izolátorový reťazec alebo záves je charakterizovaný jednou z týchto elektrických hodnôt:

- Predpísané výdržné napätie pri atmosférickom impulze za sucha
- Predpísané výdržné napätie pri spínacom impulze za dažďa
- Predpísané výdržné striedavé napätie za dažďa

Tieto charakteristiky ako funkcie najvyššieho napätia pre zariadenie musia byť určené s odkazom na IEC 71-1.

Preskokové a výdržné napätie izolátora pri podmienkach v prevádzke sa môže líšiť od preskokového a výdržného napätia izolátora pri normalizovaných podmienkach. Tento jav sa môže prejaviť u skúškach atmosférickým impulzom, hlavne pre výrazne vysoké napätie zariadenia, ale účinok okolitých podmienok a usporiadaní izolátorov a pripojených kovových častí je omnoho väčší pri spínacom impulze, toto má za následok rozdielne rozloženie elektrického poľa pri normalizovanom usporiadaní a v prevádzke. [14]

Výdržné napätie izolátorového reťazca alebo závesu pri spínacom impulze nie je nutná presná charakteristická hodnota, pretože je do značnej miery určená štruktúrou stožiaru a rozložením poľa, ktoré závisí na tvare a relatívnej polohe všetkých kovových častí. Z toho dôvodu overenie predpísaného výdržného napätia pri spínacom impulze je obecné požadované s montážnym usporiadaním, ktoré čo najviac napodobňuje podmienky v prevádzke. [14]

4.8.1 Korekcia na atmosférické podmienky

Referenčnú atmosféru stanovuje norma IEC 60-1, podľa tejto normy sa určujú aj korekčné faktory. Ak sa atmosférické podmienky líšia od referenčných v dobe skúšky, potom je potrebné vypočítať korekčné faktory na hustotu vzduchu k_1 a na vlhkosť k_2 a určiť ich súčin $K = k_1 * k_2$.

Skúšobné napätie je potom korigované:

- Výdržné napätia (impulzné a striedavé priemyslového kmitočtu)

Priložené skúšobné napätie = K x predpísané výdržné napätie

- Preskokové napätia (impulzné a striedavé priemyslového kmitočtu)

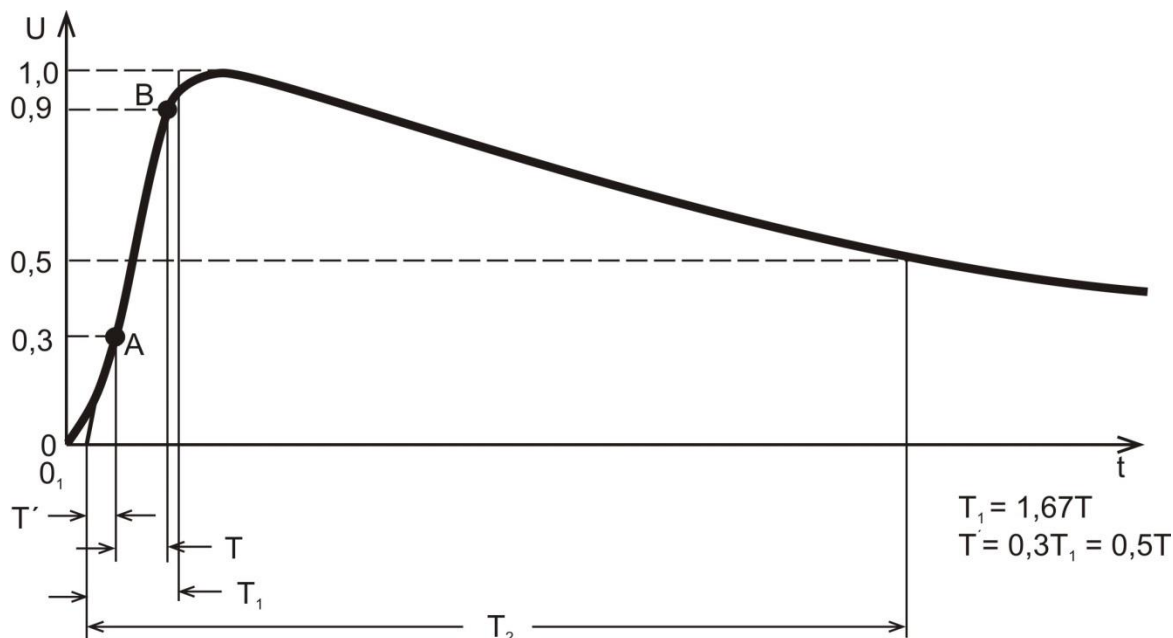
$$\text{Zaznamenané preskokové napätie} = \frac{\text{Merané preskokové napätie}}{K}$$

Pri skúškach za dažďa sa nepoužíva korekcia na vlhkosť, potom $k_2 = 1$, $K = k_1$. [14]

4.9 Skúšky atmosférickým impulzným napätím

4.9.1 Normalizovaný atmosférický impulz

Normalizovaný atmosférický impulz napätia je hladký plný atmosférický impulz napätia, ktorý má dobu čela $1,2 \mu\text{s}$ a dobu poltylu $50 \mu\text{s}$, je popísaný ako impulz $1,2/50$. [15]



Obrázok 5: Plný atmosférický impulz [15]

Doba čela vlny T_1 je časový interval medzi zdanlivým počiatkom O_1 (pre záznamy majúce lineárnu časovú stupnicu, je daný priesečníkom priamky preloženej referenčnými bodmi A a B v čele impulzu s časovou osou) a bodom, kde priamka prechádzajúca 30%-nou až 90%-nou hodnotou amplitúdy vlny sa pretne s dotyčnicou vo vrchole. Doba čela T_1 atmosférického impulzu je zdanlivý parameter definovaný ako 1,67 násobok intervalu T medzi dobami odpovedajúcimi hodnotám napätia 30% a 90% vrcholovej hodnoty (body A a B, obrázok 5). Doba poltylu T_2 je časový interval medzi zdanlivým počiatkom vlny O_1 a okamihom, kedy napätie v tyle pokleslo na 50% vrcholovej hodnoty. [15]

4.9.2 Tolerancie

Ak nie je stanovené inou príslušnou technickou komisiou, akceptujú sa rozdiely medzi stanovenými hodnotami pre normalizovaný impulz a tými hodnotami ktoré sú vypočítané z krivky skúšobného napätia:

- Hodnota skúšobného napätia: $\pm 3 \%$
- Doba čela: $\pm 30 \%$
- Doba pol tylu: $\pm 20 \%$

Ak nie je stanovené príslušnou technickou komisiou inak, relatívna veľkosť prekmitu nesmie prekročiť 10% . [15]

4.9.3 Generovanie skúšobného napätia

Impulz je obyčajne vytvorený impulzným generátorom, ktorý je v podstate tvorený určitým počtom kondenzátorov, ktoré sú paralelne nabíjané zdrojom jednosmerného napätia a potom v sériovom zapojení vybíjané do obvodu zahrnujúceho skúšaný objekt. [15]

4.9.4 Meranie skúšobného napätia a určovanie tvaru impulzu

Meranie hodnôt skúšobného napätia, časových parametrov a prekmitu alebo oscilácie skúšobného napätia musí byť vykonávané schválenými meracími systémami. Meranie na musí vykonávať zo skúšobným objektom v obvode, obecné sa musí tvar impulzu kontrolovať u každého testovaného objektu. Pokiaľ sa skúša niekoľko objektov rovnakej konštrukcie a veľkosti za rovnakých podmienok, tvar skúšobného napätia sa overuje len raz. [15]

4.9.5 Skúšobné postupy

Izolátor sa musí skúšať pri použití impulzov oboch polarít, kladných aj záporných. Ak je však známe ktorá z polarít je nepriaznivejšia, bude dávať nižšie výdržné hodnoty, je postačujúce skúšať s touto polaritou. [14]

Normálny postup pre určenie výdržného napätia izolátorových reťazcov alebo závesov pri atmosférickom impulze za sucha je jeho výpočet z 50% preskokovej hladiny, určené metódou hore-dole popísané v IEC 60-1. [14]

Pokiaľ sa jedná o veľmi dlhý izolátorový reťazec alebo záves, kde je dĺžka viac určená odolnosťou znečistenia ako odolnosťou proti impulzu napätia, je nutné použiť postup s 15 impulzmi kedy sa prikladajú impulzy na stanovenej hladine výdržného napätia. [14]

Izolátory pri týchto skúškach sa nesmú poškodiť, pričom slabé stopy na povrchu izolačnej časti alebo odštipnutie cementu alebo iného materiálu použitého pre spojenie je dovolené. [14]

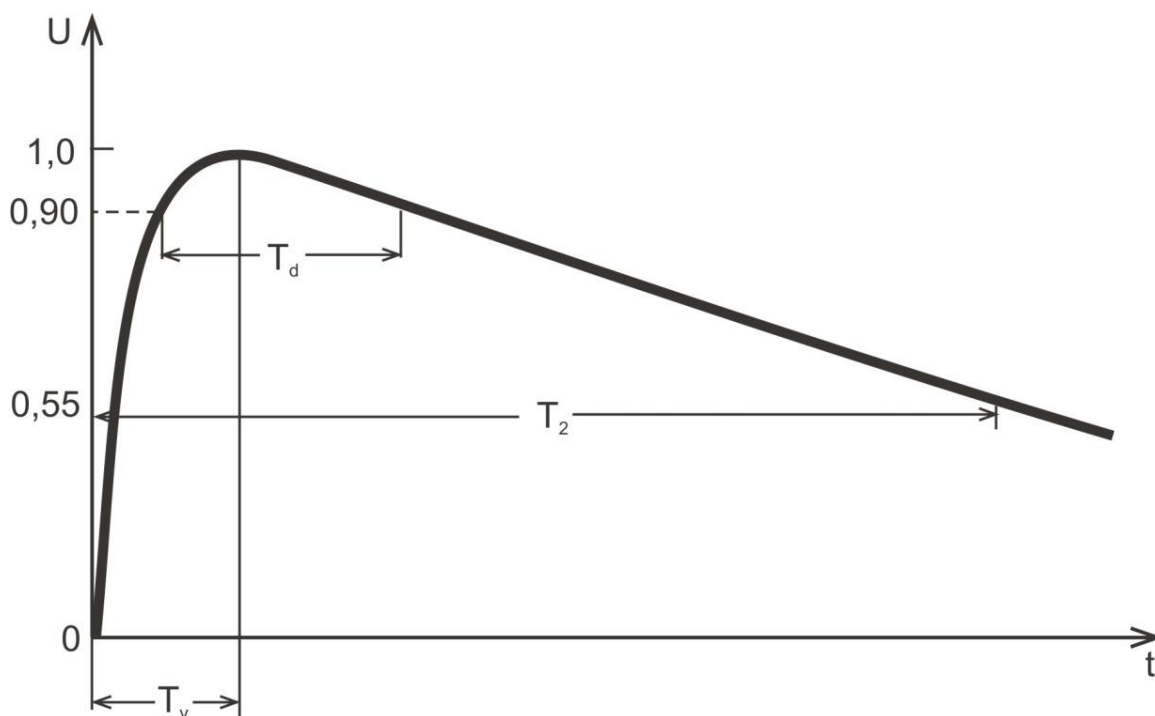
4.10 Skúšky spínacími impulzmi za dažďa

4.10.1 Normalizovaný spínací impulz

Normalizovaný spínací impulz je plný spínací impulz s dobou do vrcholu impulzu $T_v=250 \mu s$ a dobou pol tylu $T_2=2500 \mu s$. Značí sa ako impulz 250/2500. Dovolené tolerancie medzi určenými a zaznamenanými hodnotami a hodnotami pre normalizovaný spínací impulz:

- Vrcholová hodnota: $\pm 3 \%$
- Doba do vrcholu: $\pm 20 \%$
- Doba pol tylu: $\pm 60 \%$

Spínacie impulzy sa zvyčajne vytvárajú konvenčným impulzným generátorom. [16]



Obrázok 6: Normalizovaný spínací impulz [17]

4.10.2 Skúšobné postupy

Charakteristiky umelého dažďa a postup skúšky musia byť v súlade s IEC 60-1. Normálny postup pre určenie výdržného napätia izolátorových reťazcov alebo závesov pri atmosférickom impulze za sucha je jeho výpočet z 50% preskokovej hladiny, určené metódou hore-dole popísané v IEC 60-1. [14]

V niektorých prípadoch sa môžu vyskytnúť problémy s použitím 50% preskokového postupu, pretože napríklad dochádza k preskokom inde, než na izolátorovom reťazci alebo pre veľké rozmery izolátorového závesu je potreba k preskokom extrémne napätie. V týchto prípadoch sa po odsúhlasení môže použiť výdržná metóda s 15 impulzmi. [14]

Izolátory pri týchto skúškach sa nesmú poškodiť, pričom slabé stopy na povrchu izolačnej časti alebo odštipnutie cementu alebo iného materiálu použitého pre spojenie je dovolené. [14]

4.11 Skúšky striedavým napätím za dažďa

Skúšky, skúšobný obvod a parametre dažďa sa musia zhodovať s požiadavkami uvedenými v norme IEC 60-1. Skúšobné napätie musí byť predpísané výdržné napätie priemyslového kmitočtu prepočítané na atmosférické podmienky v dobe počas skúšky. Skúšobné napätie sa udržiava na tejto hodnote po dobu jednej minúty. V priebehu tejto skúšky nesmie dôjsť k preskoku ani prierazu. [14]

Pre poskytnutie informácii môže sa určiť preskokové napätie za dažďa postupným zvyšovaním napätia z hodnoty 75 % výdržného striedavého napätia za dažďa s rýchlosťou nárastu asi 2 % tohto napätia za sekundu. Preskokové napätie je dané aritmetickým priemerom po sebe idúcich hodnôt odčítania a hodnota po korekcii na normalizované atmosférické podmienky sa neuvažuje. [14]

4.12 Metódy montáže

Montážne usporiadanie pre elektrické skúšky izolátorových reťazcov alebo izolátorových závesov závisí na tom, či sú požadované skúšky spínacím impulzom alebo majú napodobňovať podmienky v prevádzke. [\[14\]](#)

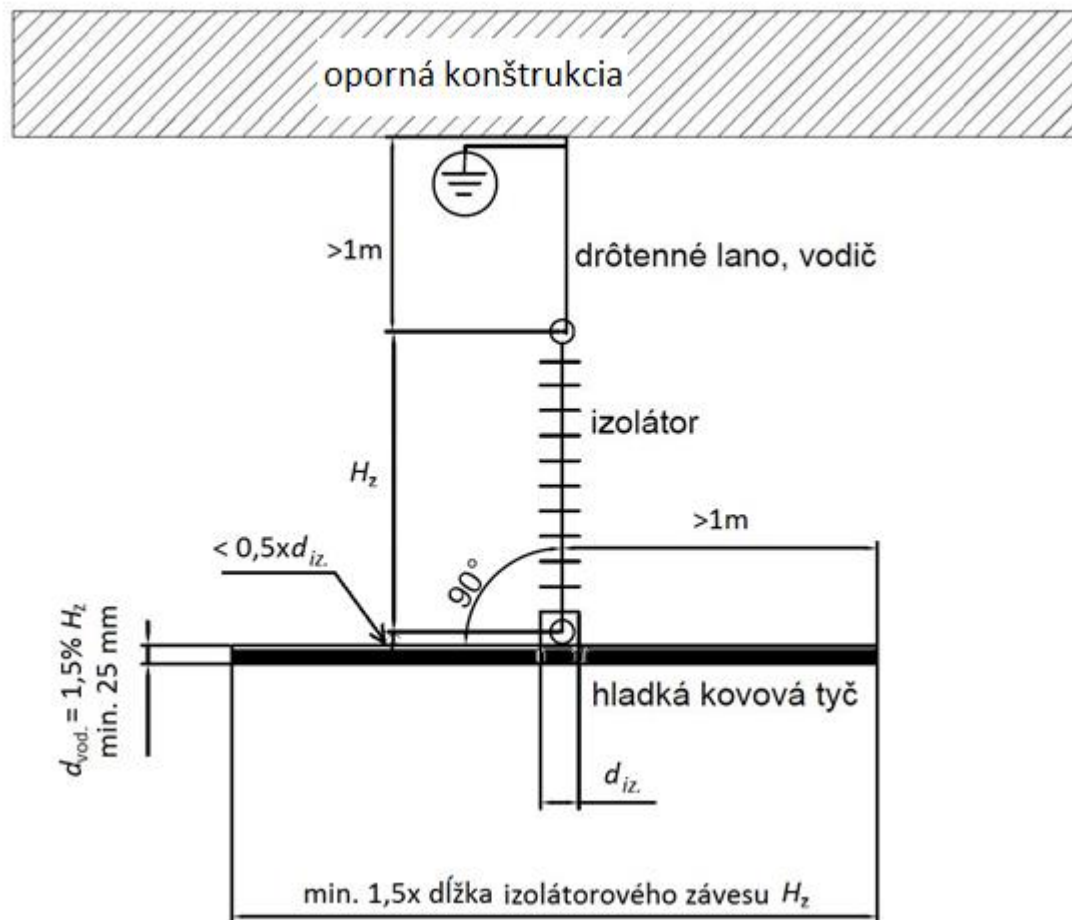
4.12.1 Montážne usporiadanie, ak nie sú vyžadované skúšky spínacím impulzom

Izolátorový reťazec alebo záves sa musí zavesiť zvislo pomocou uzemneného drôteného lana alebo iného obdobného vodiča z opornej konštrukcie. Vzďialenosť medzi vrchným bodom kovovej časti izolátora nemôže byť menšia ako 1 meter. Žiadne iné predmety nemôžu byť bližšie ako 1 meter alebo 1,5 násobok dĺžky izolátorového závesu, do úvahy sa berie dlhší rozmer z týchto dvoch. [\[14\]](#)

Kus vodiča v tvare rovnej, hladkej, kovovej tyče alebo trubky sa musí upevniť na najspodnejšiu časť nesnímateľné armatúry izolátorového závesu tak, aby držal vodorovne a vzdialenosť od spodnej striedky porcelánovej alebo sklenenej časti k hornému povrchu vodiča musí byť čo najkratšia, ale nie väčšia ako 0,5 násobok priemeru spodného izolátora. [\[14\]](#)

Priemer vodiča musí byť okolo 1,5% dĺžky izolátorového závesu s minimom 25 mm a dĺžka vodiča musí byť najmenej 1,5 násobok dĺžky izolátorového závesu a musí presahovať najmenej 1 meter na obe strany od vertikálnej osy. Musí sa venovať pozornosť tomu, aby nedochádzalo k preskokom z koncov vodičov. Skúšobné napätie sa priloží medzi vodič a zem. [\[14\]](#)

Na obrázku 7 je znázornený náčrt montážneho usporiadania, ak nie sú vyžadované skúšky spínacím impulzom.



Obrázok 7: Montážne usporiadanie pri testovaní [14]

kde:

H_z je dĺžka izolátorového závesu

$d_{iz.}$ je priemer striešky spodného izolátora

$d_{vod.}$ je priemer vodiča

5 LABORATÓRNY NÁVOD

Názov úlohy: Testovanie izolátoru – atmosférickým impulzom

Ciele úlohy: Laboratórna úloha je zameraná na overenie izolačnej hladiny izolátoru, pričom sa študent oboznámi z postupom pri testovaní atmosférickým impulzom.

5.1 Zadanie

- Pre daný izolátor zvoliť podľa tabuľky 4 normalizované menovité výdržné prepätie pri atmosférickom impulze, čo bude východisková hodnota pri voľbe hodnoty napätia pri začiatku testovania.
- Pre kladnú polaritu atmosférického impulzu otestujte izolátor, postupom pre získanie rázovej charakteristiky.
- Otestujte izolátor na stanovenej hladine výdržného napätia, postupom hore-dole, podľa normy ČSN EN 60060-1.
- Namerané hodnoty uložte pomocou Reportu z merania priamo v programe a spracujte.
- Vypracujete rázovú charakteristiku.
- Z nameraných hodnôt, štatisticky vyhodnoťte U_{10} .
- Podľa výsledkov merania určite či daný izolátor vyhovel, pre danú napäťovú úroveň.

5.2 Teoretický rozbor

Elektrická pevnosť – je daná najnižším napätím, ktoré za určitých okolností spôsobia prieraz alebo preskok. Závisí na rozmeroch a izolačnom materiálu predmetu, na tvare el. pola a na časovom priebehu elektrického namáhania. Pri prekročení elektrickej pevnosti nastáva prieraz alebo preskok.

Prieraz – úplný výboj v izolante pevného skupenstva, kde dochádza k trvalému poškodeniu, zhoršeniu izolačných vlastností.

Preskok – úplný výboj v plynnom alebo kvapalnom izolante, kde zhoršenie izolačných vlastností je prechodné a je nasledovane regeneráciou izolantu a obnovením jeho elektrickej pevnosti.

U izolátora je izolačným médiom vzduch, preto na izolátore nastáva preskok a testy sa dajú opakovať a štatisticky vyhodnocovať.

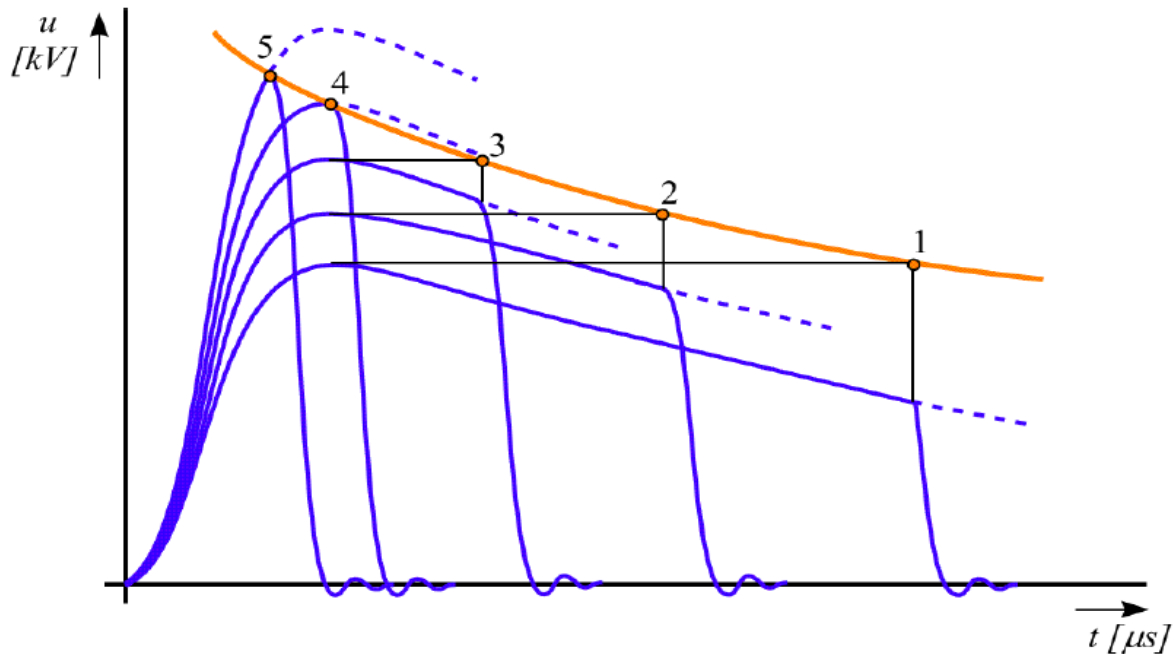
Koordinácia izolácie je tvorená prostredníctvom rázových charakteristík pre jednotlivé izolačné systémy (svodiče prepätia, izolátory).

5.2.1 Izolátory

[Vid' kapitola 3.](#)

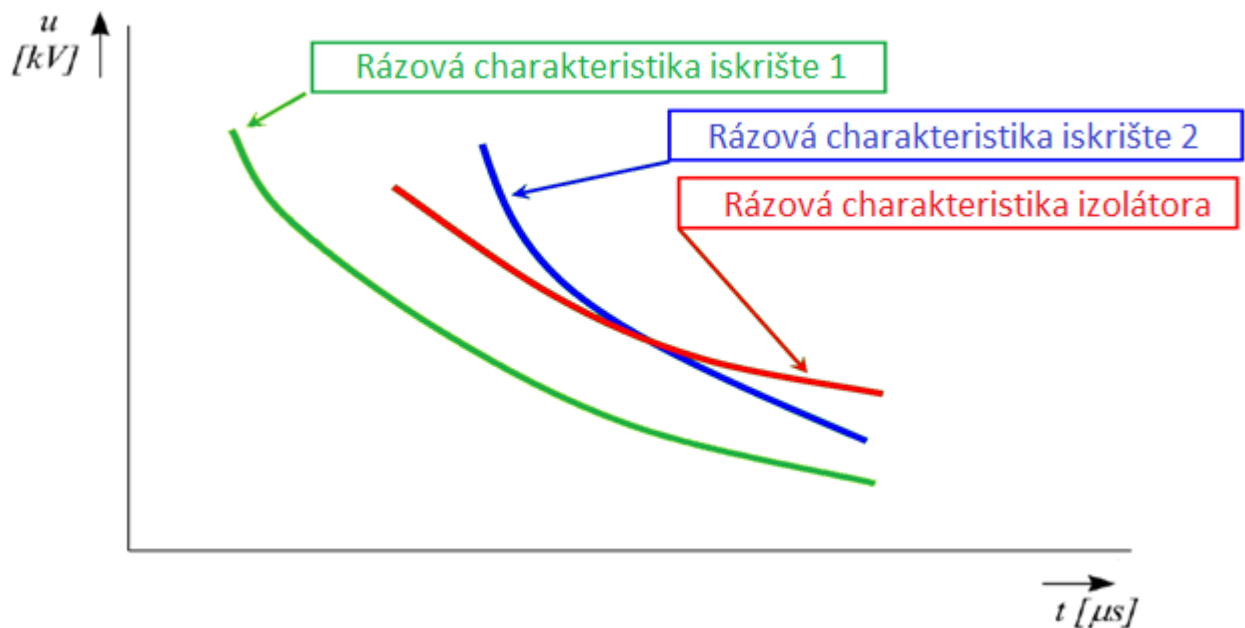
5.2.2 Rázová charakteristika

Rázová charakteristika je závislosť doby do prierazu na najvyššej hodnote napätia rázovej vlny do okamžiku prierazu alebo preskoku.



Obrázok 8: Rázová charakteristika [18]

- 1., 2., 3., rázová vlna – prieraz za vrcholom, bod rázovej charakteristiky je priesečník vrcholu a okamžiku prierazu.
- 4., rázová vlna – prieraz na vrchole, okamžik prierazu je bod rázovej charakteristiky
- 5., prieraz pred vrcholom, okamžik prierazu je bod rázovej charakteristiky



Obrázok 9: Využitie rázovej charakteristiky [18]

Rázová charakteristika sa využíva pri koordinácii izolácie. Na obrázku 9 je znázornené využitie rázovej charakteristiky. Iskrište 1 a izolátor nemajú spoločný priesečník, preskok na izolátore nenastane. Iskrište 2 a izolátor majú spoločný priesečník, od tohto priesečníku vľavo teda keď hodnota napätia bude vyššia ako v spoločnom bode, nastane preskok na izolátore. V prípade nižšej hodnoty napätia než ako je v spoločnom bode preskok na izolátore nenastane ale nastane na iskrišti 2. [18]

5.2.3 Metóda hore - dole

V prípade samočinné sa obnovujúcej izolácie je možné vyhodnotiť 10% napätia prierazného výboja U_{10} použitím štatistických skúšobných postupov použitých v kapitole [5.2](#)

Tieto metódy umožňujú buď priamo vyhodnotiť U_{10} a U_{50} alebo nepriamo vyhodnotiť U_{10} . Pre druhý prípad sa U_{10} odvodzuje z hodnoty U_{50} podľa vzťahu:

$$U_{10} = U_{50} * (1 - 1,3s) \text{ (kV;kV,-)}. \quad (5.1)$$

Kde s je smerodajná odchýlka, pri skúškach vzdušnej izolácie za sucha, ak nie je zahrnutá žiadna iná izolácia, je možné použiť jednotkové hodnoty $s = 0,03$.

Objekt sa považuje za vyhovujúci pokiaľ hodnota U_{10} nie je vyššia ako stanovené výdržné impulzné napätie.

5.2.4 Impulzná atmosférická skúška

[Vid' kapitola 4.9.](#)

5.3 Postup pri meraní

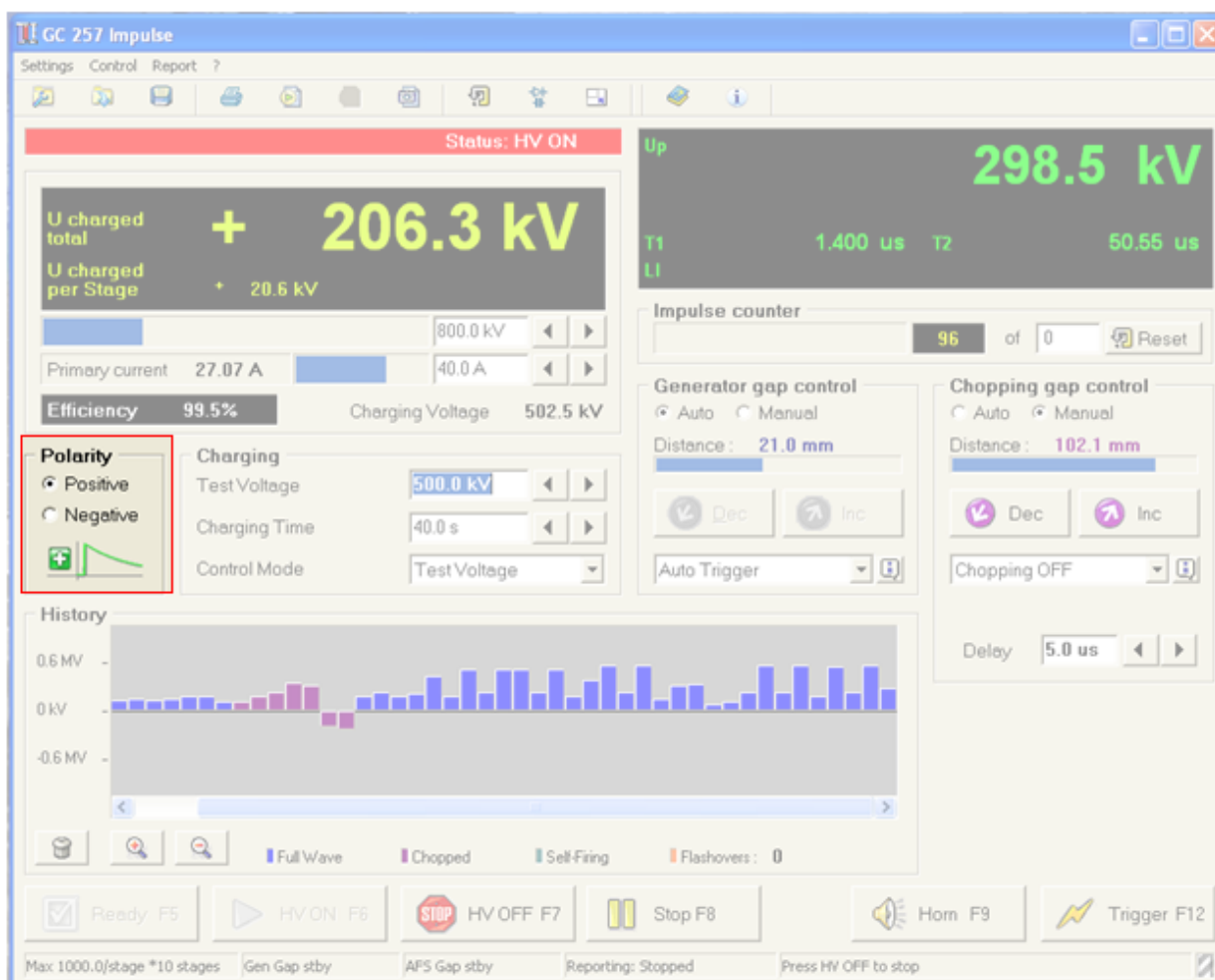
5.3.1 Zásady bezpečnosti pri meraní

- Počas testovania sa zdržiavať v miestnosti na to určenej
- Chrániť si sluch, dvere od testovacej miestnosti zavrieť na doraz
- Pri kontrolovaní stavu izolátoru, nedotýkať sa generátoru, hlavne častí na ktorých by sa mohlo objaviť napätie, napr. kondenzátory
- Pracovať v sprievode vyučujúceho
- Dbáť pokynov vyučujúceho

Pred akoukoľvek manipuláciou na rázovom generátore je nutné najskôr pomocou skratovacej tyče vyskratovať všetky kapacity RC, na ktorých by mohol aj po vypnutí a spustení zostať nebezpečný zostatkový náboj.

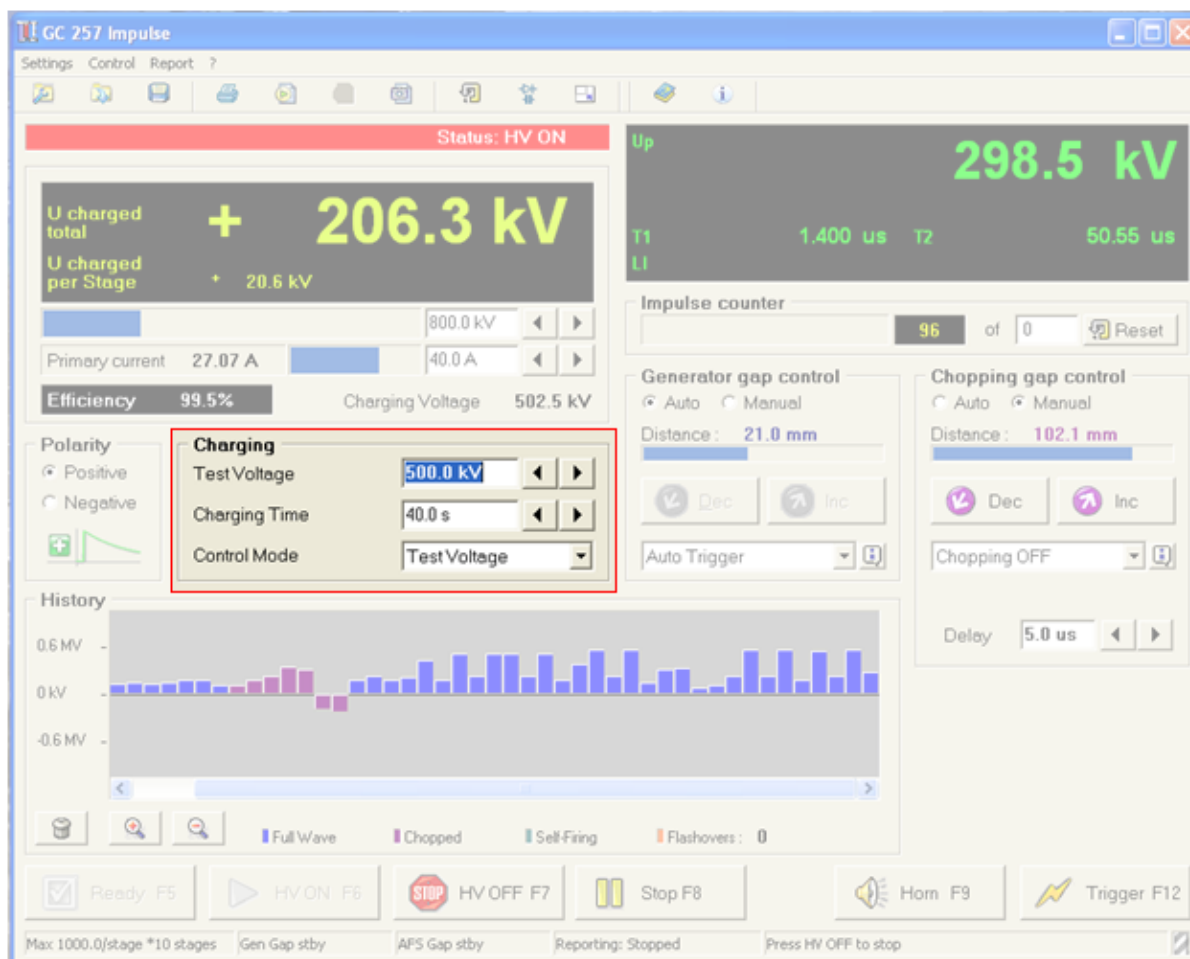
5.3.2 Postup – rázová charakteristika

1. Pred meraním očistiť izolátor.
2. Spustiť program na testovanie atmosférickým impulzom.
3. Nastaviť polaritu impulzu na kladnú – positive



Obrázok 10: Nastavenie polaritu impulzu

4. Pred prvým testovaním, je nutné, nechať skontrolovať nastavenia vyučujúcim. Ďalej sa bude meniť iba veľkosť napätia.
5. Voľba požadovanej veľkosť napätia pri teste.



Obrázok 11: Nastavenie napätia

Pri prvej skupine impulzov sa volí hodnota napätia z tabuľky 4, pre daný izolátor (izolátor pre vedenie 110 kV => najvyššie napätie pre zariadenie je 123 kV => normalizované menovité výdržné prepätie pri atmosférickom impulze je 550 kV) .

Pri preskoku na izolátore, ktorý nastane v tyle impulzu sa volí na danej úrovni napätia 5 impulzov (bežne sa volí 20 impulzov, pri väčšom počte impulzov, by bolo meranie presnejšie avšak časovo náročnejšie).

Ak nastane preskok pri prvej sérii impulzov v tyle impulzu, ďalšia séria impulzov sa volí na vyššej napät'ovej úrovni o ΔU , až kým preskok nastane v čele alebo vrchole impulzu. Vtedy bude postačujúci jeden impulz na skupinu a napätie ďalej nezvyšujeme.

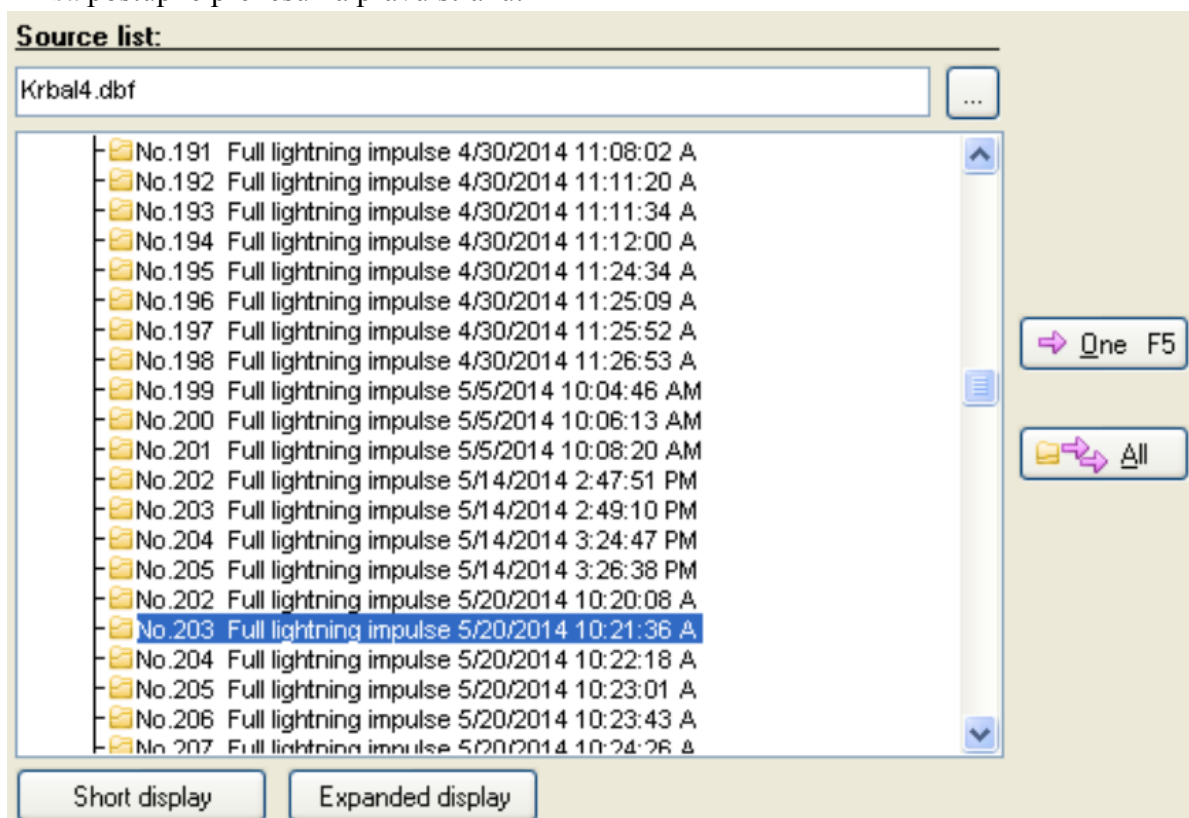
Ďalej pokračujte od tabuľkovej hodnoty napätia smerom nadol, v prípade že v skupine impulzov na novej napät'ovej úrovni nenastane preskok na izolátore, meranie končí.

V prípade že pri prvom nastavenom napätí podľa tabuľky č. 4 preskok nenastal, volí sa vyššia napät'ová úroveň o ΔU , až kým preskok nastane, po jednom impulze na úroveň napätia, ďalej sa obdobne pokračuje ako u postupu vyššie, napätie zvyšujeme kým nenastane preskok v čele alebo vrchole impulzu po piatich impulzoch na skupinu. Ďalej sa vrátíme k najvyššej hodnote napätia pri ktorej preskok nenastal a na danej úrovni

napätia priložíme ďalších impulzy pokým nenastane preskok (obdobne platí max. 5 impulzov na skupinu). V prípade že žiaden z piatich impulzov nebude viesť na preskok na izolátore, meranie rázovej charakteristiky končí.

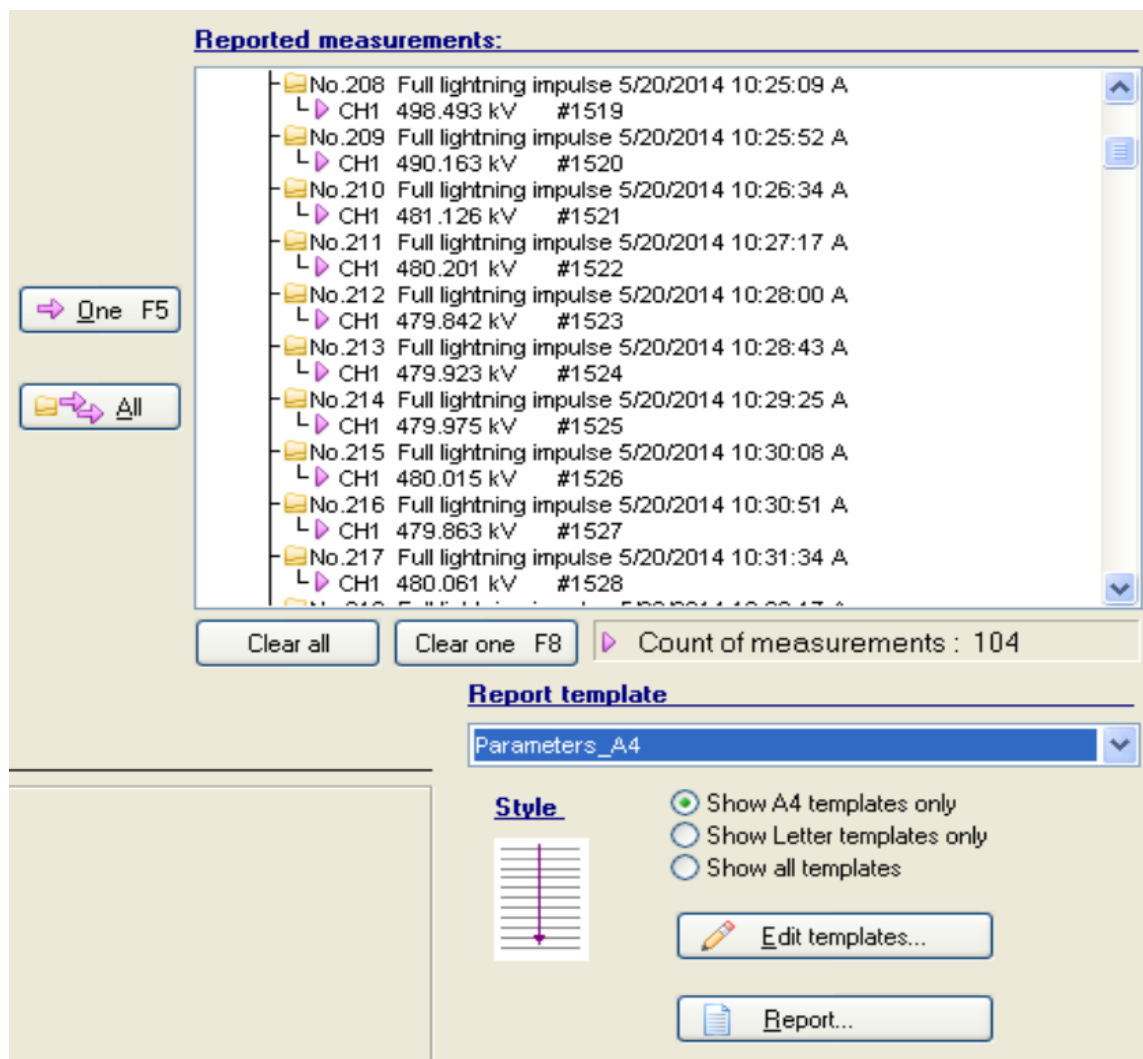
Rozdiel medzi napäťovými úrovňami by mal byť v rozmedzí $\Delta U=(0,01 \text{ až } 0,03)*U_{50}$ t.j. pre izolátor na 110kV voľte $\Delta U=10 \text{ kV}$.

- Po skončení merania je potrebné hodnoty uložiť pomocou Reportu nasledovne. V lište programu kliknúť na kolónku „Report“. Z ľavej strany sa zvolia testy ktoré patria k aktuálnemu meraniu a pomocou klávesy F5 alebo tlačidla „One F5“ v strede programu sa postupne prenesú na pravú stranu.



Obrázok 12: Ľavá strana programu – výber jednotlivých zmeraných testov

V kolónke „Report template“ sa zvolí možnosť „Parameters_A4“.



Obrázok 13: Pravá strana programu- zvolené merania

7. Pri vypracovaní rázovej charakteristiky, sa každý bod charakteristiky určí z rázov v skupine. Pre každú úroveň napätia, je teda potrebné z impulzov useknutých v tyle určiť strednú hodnotu napätia a strednú hodnotu trvania useknutého impulzu.

5.3.3 Skúšobný postup hore – dole

Skúšobný postup s $n = 7$ impulzmi na skupinu a aspoň 8 platnými skupinami:

1. Pri prvom impulze sa volí hodnotu napätia z tabuľky č. 4, pre daný izolátor, prípadne sa vychádza z merania rázovej charakteristiky.
2. Ak nastane preskok počas 1-7 impulzu v skupine, zníži sa napätie o hodnotu ΔU . Napätie sa znižuje hneď ako nastane preskok. Ak preskok nenastane počas tejto skupiny, priložte ďalšie impulzy na úrovni napätia vyššej o ΔU a postup opakujte. Vid' obrázok 14.
3. Meranie končí až počet platných skupín bude rovný 8, t.j. bude 8 skupín po 7 impulzov pri ktorých nenastal preskok (Z časových dôvodov a nepreťažovania zariadenia pre laboratórne účely, bude postačujúci počet platných skupín 6).
4. Po skončení merania hodnoty je potrebné uložiť pomocou „Reportu“ obdobne ako u predchádzajúceho postupu v bode 6.
5. Po uložení hodnôt na USB kľúč, je potrebné na záver merania skontrolovať stav izolátoru po testovaní. Izolátor sa nesmie poškodiť, slabé stopy alebo odštipnutie je dovolené.

6 SPRACOVANIE TESTOVANIA

6.1 Laboratórne podmienky pri testovaní

Teplota: 19,7 °C

Tlak: 1011 hPa

Relatívna vlhkosť: 61 %

6.2 Rázová charakteristika

6.2.1 Namerané hodnoty

V tabuľke 5 sú zobrazené namerané hodnoty napätia a doby do useknutia pri impulzoch, ktoré viedli k preskoku na izolátore.

Tabuľka 5: Namerané hodnoty, rázová charakteristika

Napätie skupiny [kV]	Napätie U [kV]	Doba do preskoku T_2 [μ s]
490	488,54	15,43
490	490,16	13,35
500	498,49	13,60
500	500,61	13,32
500	498,70	12,91
500	498,71	11,28
500	498,45	15,62
500	499,05	13,54
510	509,01	10,64
510	508,13	11,38
510	510,00	9,87
510	509,91	11,22
510	510,06	10,39
510	509,98	11,73
510	510,04	8,80
520	519,75	9,51
520	520,07	9,71
520	520,24	10,53
520	519,76	9,48
520	520,23	10,05
530	529,44	8,92
530	530,09	6,42
530	530,11	7,82
530	529,61	7,35
530	529,91	8,19
540	540,04	8,00
540	540,21	6,88
540	539,62	6,67
540	540,24	7,04
540	540,36	6,53

Tabuľka 6: Priemer napätí a časov z tabuľky č. 5

Napätová skupina [kV]	Napätie U_{priem} [kV]	Doba do preskoku T_{2priem} [μ s]
490	489,35	14,39
500	499,00	13,38
510	509,59	10,58
520	520,01	9,86
530	529,83	7,74
540	540,09	7,02

6.2.2 Príklad výpočtu

Príklad výpočtu je uvedený pre prvý riadok tabuľky.

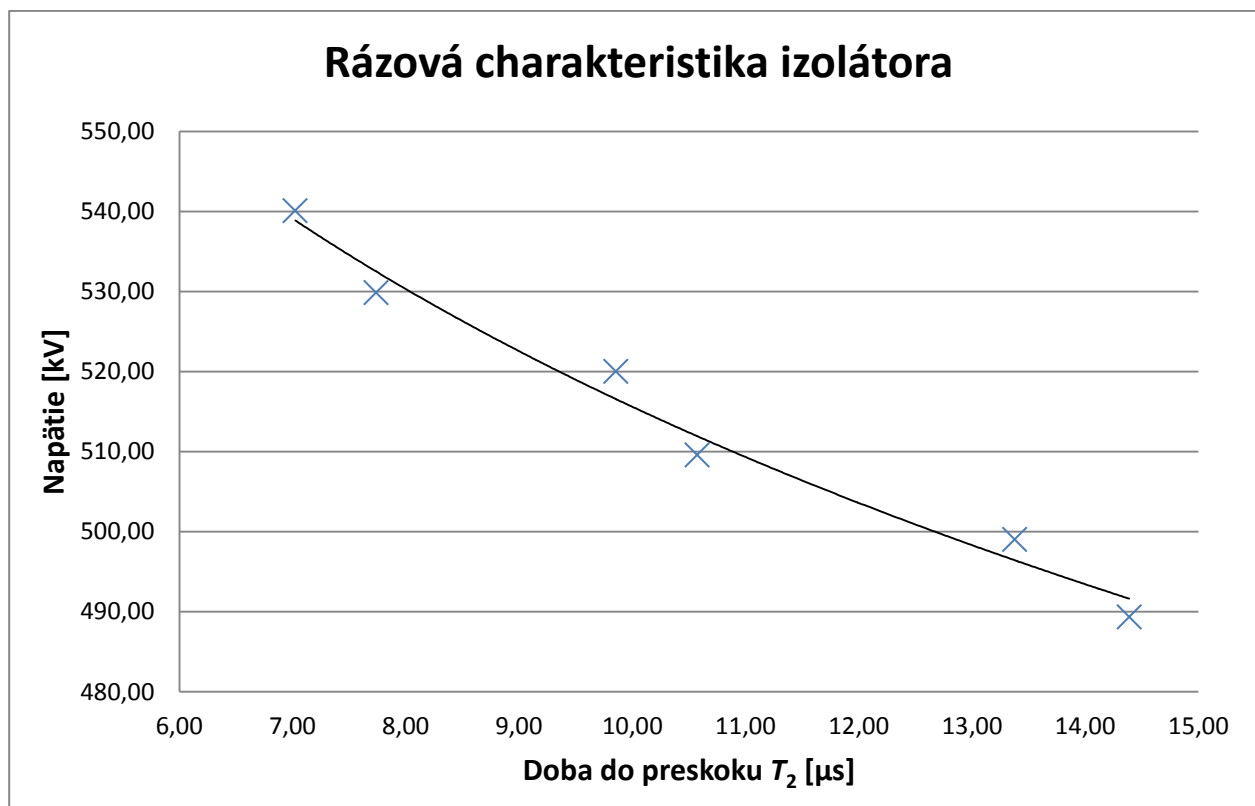
$$U_{priem} = \frac{1}{n} * \sum U = \frac{1}{2} * (488,54 + 490,16) * 10^3 = 489,35 \text{ kV}$$

$$T_{2priem} = \frac{1}{n} * \sum T_2 = \frac{1}{2} * (15,43 + 13,35) * 10^{-6} = 14,39 \mu\text{s}$$

Kde n je počet napätí v skupine, $\sum U$ je súčet napätí v skupine a $\sum T_2$ je súčet časov do preskoku

6.2.3 Grafické spracovanie

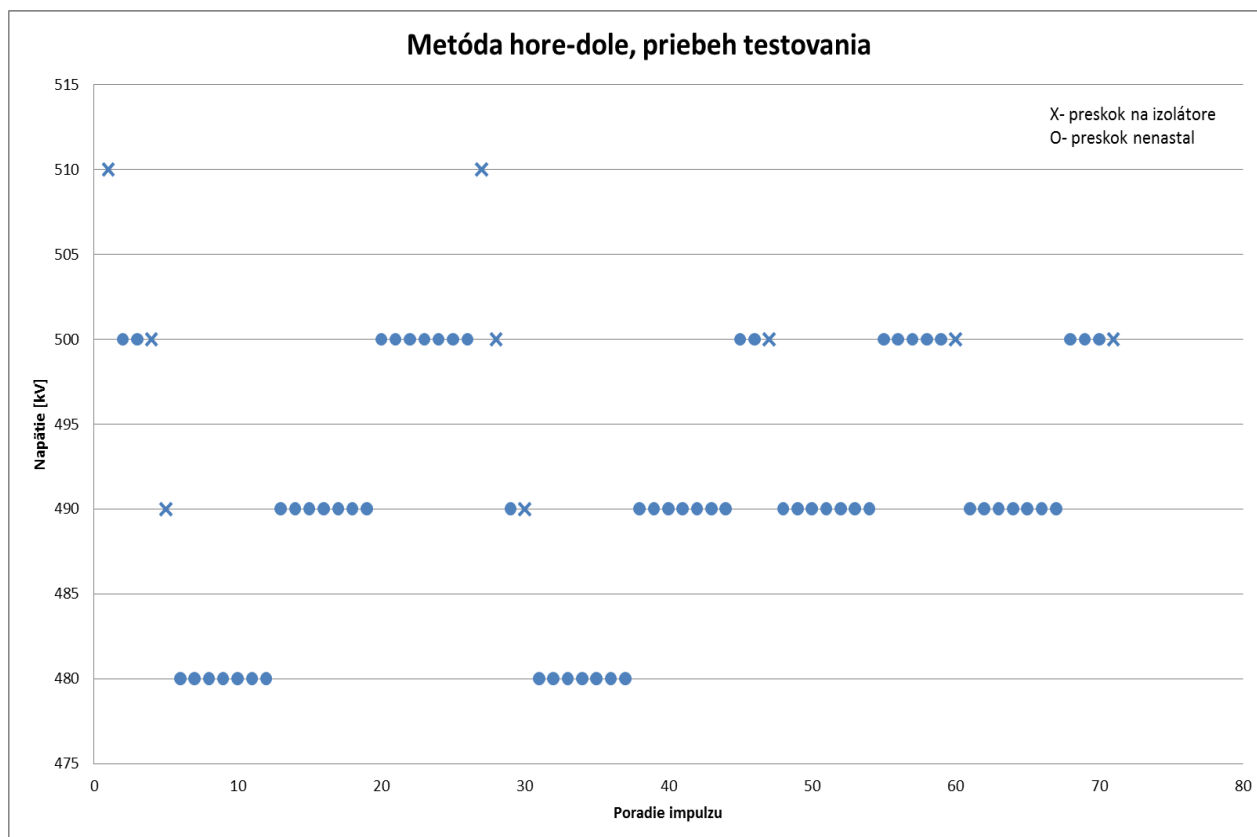
V grafe 1 je znázornená zmeraná rázová charakteristika izolátora. Použité hodnoty sú z tabuľky 6.



Graf 1: Rázová charakteristika izolátora

6.3 Metóda hore-dole

V Prílohe A je znázornený priebeh testovania izolátora, krížik znamená že nastal preskok na izolátore a krúžok znamená že preskok na izolátore nenastal.



Obrázok 14: Priebeh testovania metódou hore- dole

V tabuľke č. 5 je zobrazený výpočet prierného napätia U_{10} . Táto tabuľka sa viaže k obrázku č. 10.

Tabuľka 7: Metóda hore-dole

Napätie u prijatých skupín [kV]	510	500	490	480
Počet k_i skupín na u	2	6	6	2
Celkový počet m prijatých skupín	16			
Výraz $k_i * u$	1020	3000	2940	960
Pravdepodobnosť prierného napätia p [%]	10			
U_{10} [kV]	495			

6.3.1 Príklad výpočtu

$$m = \sum k_i = 2 + 6 + 6 + 2 = 16$$

$$U_{10} = \frac{1}{m} \sum k_i * u = \frac{1}{16} * (1020 + 3000 + 2940 + 960) = 495 \text{ kV}$$

6.4 Záver

Pre vypracovanie rázovej charakteristiky a pre určenie prierného napätia bola použitá kladná polarita impulzného napätia, pretože pre dané konštrukčné riešenie je kladná polarita nepriaznivejšia a dáva menšie hodnoty prierného napätia. Otestovanie známej nepriaznivejšej polarita je postačujúce.

Pre daný kompozitný izolátor z nameraných časov do preskoku na izolátore je zhotovená rázová charakteristiku, ktorá je znázornená v grafe č. 1. Rázová charakteristika sa využíva v koordinácii izolácie v elektrotechnike. Bežne sa rázová charakteristika vypracováva z väčšieho počtu impulzov na skupinu aby výsledná charakteristika bola presnejšia. Pre laboratórne účely z hľadiska pochopenia problematiky, je zvolený postačujúci menší počet impulzov.

Pre daný kompozitný izolátor bola pomocou skúšobného postupu hore-dole so siedmymi impulzmi na skupinu určená hodnota 10% prierného napätia $U_{10} = 495$ kV. Izolátor sa považuje za nevyhovujúci pre vedenie 110 kV pretože hodnota U_{10} je menšia ako stanovené výdržné impulzné napätie podľa normy ČSN EN 60071-1 ed. 2. Avšak pre vedenie ktorého najvyššie napätie v sieti je 100 kV by izolátor vyhovoval. Tento skúšobný postup hore-dole je doporučený pre testovanie izolátorov. Pre laboratórne účely by sa počet platných skupín z časových dôvodov mohol znížiť z minimálneho počtu 8, avšak nemal by klesnúť pod 6. Na obrázku č. 14 je znázornený priebeh testovania, obdobne by mal vyzeráť aj priebeh laboratórnej úlohy.

Na izolátore sa po testovaní objavili stopy opálenia vid' obrázok 15, chyby na konštrukcii ani vážnejšie škody na izolátore neboli odhalené. V prípade ich odhalenia by izolátor pri testovaní neuspel.



Obrázok 15: Stav izolátoru po testovaní

7 ZÁVER

Izolátory sú dôležitou súčasťou prenosového vedenia, v dnešnej dobe kompozitné izolátory nahrádzajú konvenčné keramické izolátory, vďaka ich lepšej manipulácii a podstatne nižšej hmotnosti. V súčasnosti sa pre testovanie izolátorov s izolačnou hladinou do 300 kV používajú skúšky atmosférickým impulzným napätím za sucha, krátkodobým výdržným napätím za dažďa a dlhodobým striedavým napätím. V laboratóriu vysokého napätia zatiaľ nie je nainštalovaný sprchový systém ktorý by umožňoval skúšky za dažďa a preto sa realizujú skúšky za sucha. Montážne usporiadanie pre testovanie by malo znázorňovať reálne montážne usporiadanie v praxi, avšak pre použitie žeriavu ktorý sa nachádza v laboratóriu je potrebné aby obsluha žeriavu mala žeriavnicky preukaz. Do budúca sa plánuje s inštaláciou a využitím sprchového systému ako aj so školením a doplnením obsluhy o žeriavnicky preukaz. V súčasnej dobe je izolátor pri testovaní provizórne uchytený na podpernej konštrukcii, toto montážne usporiadanie môže mať vplyv na výsledky testovania. V rámci vysvetlenia problematiky študentom je toto montážne usporiadanie postačujúce.

Celkový čas potrebný pre zmeranie laboratórnej úlohy v plnom rozsahu s oboznámením o bezpečnosti a zoznámením sa s laboratóriom vysokého napätia je približne 3 hodiny. Pri rozdelení študentov do dvoch skupín je možné rázovú charakteristiku z časových dôvodov vynechať, prípadne jej venovať zvlášť meranie pri ktorom by bolo možné počet impulzov zvýšiť na požadovaný počet 20 na skupinu a tým aj meranie spresniť.

POUŽITÁ LITERATÚRA

- [1] ČSN IEC 383-1. *Izolátory pro venkovní vedení se jmenovitým napětím nad 1000 V. Část 1: Keramické nebo skleněné izolátory pro soustavy se střídavým napětím. Definice, zkušební metody a přejímací kritéria*. Praha: Český normalizační institut, 1996.
- [2] MACH, Veleslav. *Technika vysokého napětí*. 2., přeprac. vyd. Ostrava: VŠB - Technická univerzita, 2006, 111 s. ISBN 80-248-1161-8.
- [3] Izolátory porcelánové talířové pro trolejové vedení. [online]. [cit. 21.4.2014]. Dostupné z: <<http://donetsk.all.biz/cs/izolatory-porcelanove-talirove-pro-trolejove-g258234#show0>>.
- [4] FECKO, Štefan, Ladislav VARGA a Ján ŽIARAN. *Elektrické siete: vonkajšie silové vedenia*. 1. vyd. Bratislava: Slovenská vysoká škola technická, 1990, 237 s.
- [5] Izolátor VZL 50/435. [online]. [cit. 21.4. 2014]. Dostupné z: <http://eshop.prolan.cz/index.php?id_product=62&controller=product&id_lang=7>.
- [6] Izolátory se spirálovou stříškou. [online]. [cit. 21.4. 2014]. Dostupné z: <http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id_document=26898>.
- [7] Leading Innovations in Silicone Rubber Technology. [online]. [cit. 21.4. 2014]. Dostupné z: <http://www.pfisterer.com/download_download_cz/d_8826.pdf>.
- [8] MARSTEEL. Kompozitné izolátory. [online]. [cit. 21.4. 2014]. Dostupné z: <http://www.marsteel.sk/index.php?option=com_content&task=view&id=65&Itemid=68>.
- [9] KUBÍN, Miroslav. *Energetika perspektivy-strategie-inovace*. Jihomoravská energetika,a.s.,2004,540 s.
- [10] KUBÍN, Miroslav. *Přenosy elektrické energie ČR v kontextu evropského vývoje*. Praha: ČEPS, 2004, 567 s.
- [11] ČSN EN 61466-1. *Kompozitní závěsné izolátory pro venkovní vedení se jmenovitým napětím vyšším než 1 kV - Část 1: Normalizované třídy pevnosti a koncové armatury*. Praha: Český normalizační institut, 1998.
- [12] ČSN EN 61952 ed. 2. *Izolátory pro venkovní vedení - Kompozitní podpěrné izolátory pro vedení se jmenovitým střídavým napětím vyšším než 1 000 V - Definice, zkušební metody a přejímací kritéria*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2009.
- [13] J., L. *High Voltage Testing* [online]. [cit. 21.4. 2014]. Dostupné z: <http://www.elect.mrt.ac.lk/HV_Chap9.pdf>.
- [14] ČSN EN 60383-2. *Izolátory pro venkovní vedení se jmenovitým napětím nad 1000 V. Část 2: Izolátorové řetězce a izolátorové závěsy pro soustavy se střídavým napětím. Definice, zkušební metody a přejímací kritéria*. Praha: Český normalizační institut, 1996.
- [15] ČSN EN 60060-1. *Technika zkoušek vysokým napětím - Část 1: Obecné definice a požadavky na zkoušky*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2011.
- [16] VEVERKA, Antonín. *Technika vysokých napětí*. Praha: SNTL/ALFA, 1982.
- [17] BLAŽEK, V.,SKALA, P. *Vysoká napětí a elektrické přístroje. Část I: Vysoké napětí*. Brno: VUT v Brně, FEKT, 2003. 1 (s.)
- [18] ORSÁGOVÁ, J. *Rozvodná zařízení - přednáška II*. [online]. [cit. 21.4. 2014]. Dostupné z: <<https://www.vutbr.cz/elearning/mod/resource/view.php?id=247524>>.