

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ
KATEDRA ELEKTROENERGETIKY A EKOLOGIE**

DIPLOMOVÁ PRÁCE

**Vysokofrekvenční charakteristika výbojů na
stejnoseměrném napětí**

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

Fakulta elektrotechnická
Akademický rok: 2020/2021

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE (projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Bc. Patrik MASAŘ**
Osobní číslo: **E19N0072P**
Studijní program: **N2612 Elektrotechnika a informatika**
Studijní obor: **Elektroenergetika**
Téma práce: **Vysokofrekvenční charakteristika výbojů na stejnosměrném napětí**
Zadávající katedra: **Katedra elektroenergetiky**

Zásady pro vypracování

1. Popište různé druhy výbojů na vysokém napětí.
2. Navrhněte experiment pro měření vysokofrekvenční charakteristiky výbojů.
3. Realizujte měření podle vašeho návrhu.
4. Analyzujte dosažené výsledky.

Rozsah diplomové práce: **40 – 60 stran**
Rozsah grafických prací: **podle doporučení vedoucího**
Forma zpracování diplomové práce: **tištěná/elektronická**

Seznam doporučené literatury:

1. VEVERKA, Antonín. Technika vysokých napětí: Celost. vysokošk. učebnice. 1. vyd. Praha: SNTL, 1966. 277, [1] s. Řada elektrotechn. literatury

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Miroslav Hromádka, Ph.D.**
Katedra elektroenergetiky

Datum zadání diplomové práce: **9. října 2020**
Termín odevzdání diplomové práce: **27. května 2021**



Prof. Ing. Zdeněk Peroutka, Ph.D.
děkan

L.S.

Doc. Ing. Karel Noháč, Ph.D.
vedoucí katedry

V Plzni dne 9. října 2020

Abstrakt

Předkládaná diplomová práce se zabývá laboratorním měřením vysokofrekvenčních charakteristik korónového výboje na několika modelech stejnosměrného vedení.

Teoretická část diplomové práce pojednává o základních fyzikálních pojmech, které souvisí s výbojovou činností. Jsou zde popsány samostatné a nesamostatné výboje a velká část této kapitoly se věnuje korónovému výboji. Dále jsou zde popsány různé metody pro měření koróny.

V praktické části práce je realizováno měření vysokofrekvenčních charakteristik korónového výboje na navrženém experimentu v laboratoři. Výsledky z měření vysokofrekvenčních charakteristik na různých modelech stejnosměrného vedení jsou následně porovnány mezi sebou a také jsou porovnány s výsledky z měření na střídavém napětí.

Klíčová slova

Korónový výboj, vysokofrekvenční charakteristiky, ionizace, vysokofrekvenční rušení, samostatný výboj, nesamostatný výboj, výboj

Abstract

The expeted diploma thesis deals with laboratory measurement of high-freaquency characteristics from corona discharge on several models of direct current lines.

The theoretical part of diploma thesis deals with basic physical concepts related to developmental activities. The separate and non-independent discharges are described here and a large part of this segment of the work is devoted to the corona discharge. Various methods for measuring the corona are also described here.

In the practical part of the work the measurement of high-frequency characteristics of corona discharge is realized on the proposed experiment in the laboratory. The results from the measurement of high-frequency characteristics in different models of direct current lines are then compared with the results from the measurements on the AC voltage.

Key words

Corona discharge, high frequency charakteristics, ionization, radio-frequency interference, independent discharge, non-independent discharge, discharge

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů uvedených v seznamu, který je součástí této diplomové práce.

Dále prohlašuji, že veškerý software, použitý při řešení této diplomové práce, je legální.

.....
podpis

V Plzni dne 24.5.2021

Bc. Patrik Masař

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu diplomové práce Ing. Miroslavu Hromádkovi, Ph.D. za cenné profesionální rady, vhodné připomínky, ochotu při tvorbě teoretické i praktické části a metodické vedení práce.

Obsah

1	Základní zákonitosti výbojů v plynech	14
1.1	Složení vzduchu	14
1.2	Dielektrické vlastnosti ostatních plynných izolantů	15
1.3	Dielektrikum a izolant	16
1.4	Elektrická vodivost plynných izolantů	17
1.4.1	Nárazová ionizace	18
1.4.2	Fotoionizace	18
1.4.3	Tepelná ionizace	19
1.4.4	Povrchová ionizace	19
1.4.5	Rekombinace a neutralizace nosičů náboje	19
1.5	Elektrická pevnost.....	20
1.5.1	Paschenův zákon.....	21
2	Druhy elektrických výbojů	23
2.1	Nesamostatné výboje	24
2.1.1	Townsendovy výboje.....	24
2.2	Samostatné výboje	26
2.2.1	Podmínka samostatného výboje.....	26
2.2.2	Kanálový výboj.....	27
2.2.3	Obloukový výboj	28
2.2.4	Trsový výboj a sršení	29
2.2.5	Jiskrový výboj.....	30
2.2.6	Koróna	30
2.3	Částečné výboje	36
2.3.1	Ovlivnění elektrické pevnosti částečnými výboji v dutinách dielektrika. ..	36
2.4	Klouzavé výboje	37
2.4.1	Omezení klouzavých výbojů	39
2.5	Kapacitní výboje na izolátorech	40

3	Metody pro měření koróny	41
3.1	Měření vysokofrekvenčních signálů pomocí antén	41
3.2	Měření zvukových projevů korónového výboje	42
3.3	Měření pomocí infračervené kamery a pomocí detektoru UV záření	43
3.4	Metoda zkušební klece a zkušebního vedení	43
4	Současný výzkum korónového výboje	44
4.1	Výkon rádiového rušení svazkových vodičů HVAC ve vysokých nadmořských výškách.....	44
5	Návrh vhodného experimentu pro měření koróny	46
5.1	Model vedení	46
5.2	Použité antény	47
5.3	Měřicí přijímač	49
5.4	Zdroj stejnosměrného napětí.....	49
5.5	Vysokofrekvenční charakteristiky	51
	Závěr	60
	Seznam literatury a informačních zdrojů	62
	Seznam tabulek	67
	Seznam příloh.....	68
	Přílohy.....	72

Úvod

V současné energetice se lze, setkat ze, stejnosměrným vedením převážně v odvětví elektrické trakce. Avšak v oblasti přenosu se stále častěji prosazuje nasazování stejnosměrného vedení, především když je potřeba přenést velké množství energie na velmi velké vzdálenosti. Základní výhodou stejnosměrného vedení oproti střídavému vedení je vyšší stabilita přenosové soustavy, není zapotřebí budovat kompenzační stanice, menší ztráty při přenosu na velké vzdálenosti a při velkých vzdálenostech také nižší cena výstavby. Přes velké výhody stejnosměrného vedení tu jsou však i velké nevýhody a jedna z největších nevýhod je obtížná a drahá změna napětí, jelikož je zapotřebí měničový transformátor. Stejnosměrná vedení se v praxi nejčastěji používají na dlouhá kabelová vedení a na přenos vysokých výkonů na velké vzdálenosti [13].

Velký problém na obou typech vedení může způsobit korónový výboj. Tento výboj vzniká na hrotech, silně zakřivených elektrodách a v místě, kde je silně nehomogenní pole. Podmínkou pro vznik výboje je překročení počátečního napětí koróny. Koróna se projevuje světelně, akusticky i vysokofrekvenčním rušením. Na stejnosměrném vedení lze tento výboj zaznamenat na kladných či záporných elektrodách (kladná a záporná koróna).

Toto téma jsem si zvolil, jelikož mi přijde velice důležité mít povědomí o problémech které způsobují různé výboje, a především tedy korónový výboj na vedeních vysokého napětí. V České republice je pouze střídavé vedení, a proto se zde hovoří převážně o výbojích na střídavém vedení. Stejnosměrná vedení mají ve světě důležité zastoupení, a proto je potřeba se něco dozvědět také o výbojové činnosti na tomto typu vedení.

Předkládaná práce se skládá z pěti hlavních kapitol, přičemž první dvě jsou čistě teoretické, dvě se zabývají praktickým měřením korónového výboje a poslední kapitola je čistě praktická. První dvě kapitoly cílí na to, aby se čtenář seznámil se základními fyzikálními ději, které jsou spjaty s výbojovou činností a s různými druhy výbojů. V druhé kapitole je velký prostor věnován korónovému výboji, který je pro moji práci nejdůležitější a jeho měření se věnuji v praktické části. Cílem třetí kapitoly je popis různých nejvyužívanějších metod pro měření a detekci korónového výboje. Jsou zde popsány i různé druhy detektorů, které byly použity k měření v praktické části. Čtvrtá kapitola zmiňuje současný trend v měření korónového výboje ve světě. Cílem páté kapitoly a také cílem diplomové práce je změřeni vysokofrekvenčních charakteristik

korónového výboje (kladné i záporné koróny) na různých modelech stejnosměrného vedení a porovnání této velikosti mezi jednotlivými modely vedení. Dalším cílem je porovnat velikost rušení mezi střídavým a stejnosměrným vedením.

Seznam symbolů a zkratek

°C	Stupeň Celsia
AC	Střídavý proud
Atd.	A tak dále
d	Vzdálenost elektrod
DC	Stejnoseměrný proud
e	Elementární náboj
E	Intenzita elektrického pole
eV	Elektronvolt
ϵ_r	Permitivita
HVAC	Vysoké střídavé napětí
Hz	Hertz (jednotka frekvence)
I	Elektrický proud
I_n	Přirozený logaritmus
IR	Infračervené záření
J	Proudová hustota
kA	Kiloampér
kV	Kilovolt
M	Metr
mm	Milimetr
Mpa	Megapascal (jednotka tlaku)
Obr.	Obrázek
p	Tlak plynu
Pa	Pascal
Tab.	Tabulka
Tzv.	Takzvaně

U.....	Elektrické napětí
U _p	Průkazné napětí
UV.....	Ultraviolet (ultrafialové záření)
UVH.....	Ultra vysoké napětí
U _z	Zápalné napětí
V.....	Volt
V-A.....	Voltampérová
VF.....	Vysokofrekvenční
VKV.....	Velmi krátké vlny
VVN.....	Velmi vysoké napětí
α	Townsendův ionizační činitel
γ	Townsendův činitel sekundární ionizace
ρ	Měrný odpor
n, n_0, n_1	Počet elektronů

1 Základní zákonitosti výbojů v plynech

Tato kapitola pojednává o základních fyzikálních pojmech, které velmi úzce souvisí s problematikou elektrických výbojů.

1.1 Složení vzduchu

Vzduch, jako izolant, je pro vysokonapěťová zařízení velice významný, ať již sám o sobě nebo v použití s pevnými izolanty. Za normálních podmínek je vzduch tvořen neutrálními atomy nebo molekulami a nevede elektrický proud. Proto se vzduch využívá jako izolant pro venkovní vedení, transformátory a vzduchové kondenzátory.

Vzduch je tvořen směsicí plynů. Největší zastoupení má dusík, po něm následuje kyslík. Další plyny jsou zastoupeny v malém množství (Tab. 1).

Plynná složka	Chemická značka	Obsah složky dle	
		objemu	hmotnosti
		%	%
dusík	N ₂	78,09	75,5
kyslík	O ₂	20,95	23,17
argon	Ar	0,93	1,286
oxid uhličitý	CO ₂	0,03	0,043
neon	Ne	1,8*10 ⁻³	1,2*10 ⁻³
helium	He	5,24*10 ⁻⁵	7*10 ⁻⁵
krypton	Kr	1*10 ⁻⁴	3*10 ⁻⁴
vodík	H ₂	5*10 ⁻⁵	-
xenon	Xe	8*10 ⁻⁶	4*10 ⁻⁴
ozon	O ₃	1*10 ⁻⁶	-

Tab. 1: Složení vzduchu v atmosféře [27].

Z tabulky 1 vyplývá, že můžeme pro zjednodušení uvažovat o tom, že vzduch je v podstatě tvořen pouze z molekul dusíku a kyslíku.

Vzduch ale neobsahuje pouze výše zmíněné molekuly plynů. Vzduch obsahuje také vodu, a to ve formě vodní páry nebo mlhy. Ve vzduchu se také vyskytuje prach buď přírodního původu anebo prach vzniklý lidskou činností.

Z kinetické teorie plynů víme, že ionty jsou v trvalém nepravidelném pohybu.

Po vykonání určité dráhy molekula narazí na jinou molekulu nebo na iont. Složení molekul a iontů ve vzduchu je proměnlivé, a to zejména díky působení rekombinace a ionizace. Ionizační činitele způsobují srážky, díky nimž vznikají volné elektrony a také kladné nebo záporné ionty. Vzduch v atmosféře je vždy částečně ionizován, a to hlavně díky záření, které k nám proudí z kosmu a také díky radioaktivitě zemské kůry [21] [27].

1.2 Dielektrické vlastnosti ostatních plynných izolantů

Plynný izolant charakterizuje tzv. poměrná elektrická pevnost. Poměrná elektrická pevnost je poměr elektrické pevnosti plynu a vzduchu při stejném tlaku a stejné vzdálenosti stejných elektrod. Velikost poměrné elektrické pevnosti jednotlivých plynů udává tabulka (Tab. 2).

Plyn	Poměrná elektrická pevnost
Vodík	0,6 až 0,75
Dusík	1,0
Vzduch	1,0
Kyslík	1,1
Kysličník uhličitý	1,15 až 1,25
Chlór	1,55

Tab. 2: Poměrná elektrická pevnost daných plynů [27].

S tlakem rostoucí přeskokové napětí plynů se dá využít v určitých zařízeních. Tlaky 1,0 až 1,5MPa sebou přináší komplikace způsobené tím, že se dané zařízení musí na tento tlak složitě upravit, což velmi ztěžuje jeho provoz. Významné jsou tedy plyny o velké

poměrné elektrické pevnosti. Většinou se jedná o halogeny, které jsou uvedeny v tabulce 3.

Plyn	Chemická značka	Poměrná elektrická pevnost
Chlorid uhličitý	CCl_4	6,3
Fluorid selenu	SeF_4	4,5
Freon	CCl_2F_2	2,4 až 2,6
Fluorid sírový	SF_6	2,3 až 2,5

Tab. 3: Poměrná elektrická pevnost vybraných halogenů [27].

Nejčastěji využívaným plynem v elektrotechnice je SF_6 . Čistý SF_6 je nehořlavý, inertní a bez zápachu, není jedovatý a nerozkládá se do $800^\circ C$. V porovnání se vzduchem zhasí elektrický oblouk podstatně lépe. Tento plyn se nejvíce využívá v energetice, a to v rozvodnách VVN, které jsou tímto plynem zapouzdřené [27].

1.3 Dielektrikum a izolant

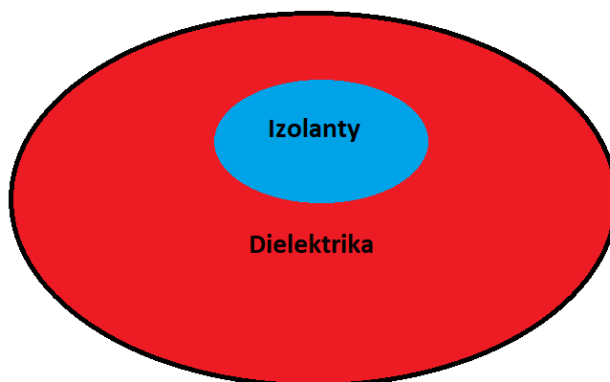
Dielektrikum bývá často zaměňován s izolantem což je samozřejmě chyba. Rozdíl mezi těmito dvěma pojmy si tedy popíšeme.

Dielektrikum je látka, která po vložení do elektrického pole má schopnost polarizace a vytvoří si své vlastní vnitřní elektrické pole, které je opačné polarity. Jako hlavní parametr dielektrika se bere jeho relativní permitivita ϵ_r .

Dielektrika dělíme dle:

- původu
 - organické (plasty, minerální oleje)
 - anorganické (keramika, slída)
- skupenství
 - pevné (plasty, keramika)
 - plynné (vzduch)
 - kapalné (minerální oleje)

Dielektrikum je obecně širší pojem než izolant. Izolant je tedy podmnožinou dielektrika, díky čemuž můžeme říct, že každý izolant je zároveň dielektrikum, ale ne každé dielektrikum je izolant (Obr. 1).



Obr. 1: Dielektrikum a izolant.

Izolant je látka, jejímž hlavním úkolem je izolovat elektricky vodivé těleso. To znamená znemožnit průchod proudu mezi dvěma místy s různým elektrickým potenciálem. Hlavní parametr izolantu je rezistivita (měrný odpor) ρ . Můžeme tedy říct, že izolant je dielektrikum s vysokou rezistivitou. Izolanty lze dělit obdobně jako již výše zmíněná dielektrika [2].

1.4 Elektrická vodivost plyných izolantů

Mezi výborné izolanty řadíme plyny. Tyto plyny se ovšem musí nacházet v oblasti působení slabého elektrického pole a při nízké teplotě. To, že mají plyny tak výborné izolační vlastnosti je způsobeno tím, že je mezi molekulami velká vzdálenost a mezi nimi je slabá vzájemná interakce. To způsobuje malou koncentraci volných nosičů elektrického náboje. Vlivem ionizačních činitel vznikají volné nosiče náboje. V těchto případech jsou ionizační činitel elektrického původu nebo kosmického či radioaktivního záření.

Proces ionizace můžeme tedy definovat jako proces, při kterém se z elektricky neutrálního atomu nebo molekuly stává iont. Elektricky nabitě částice (ionty) nebo elektrony se mohou díky elektrickému poli pohybovat v plynu volně. Atom plynu musí

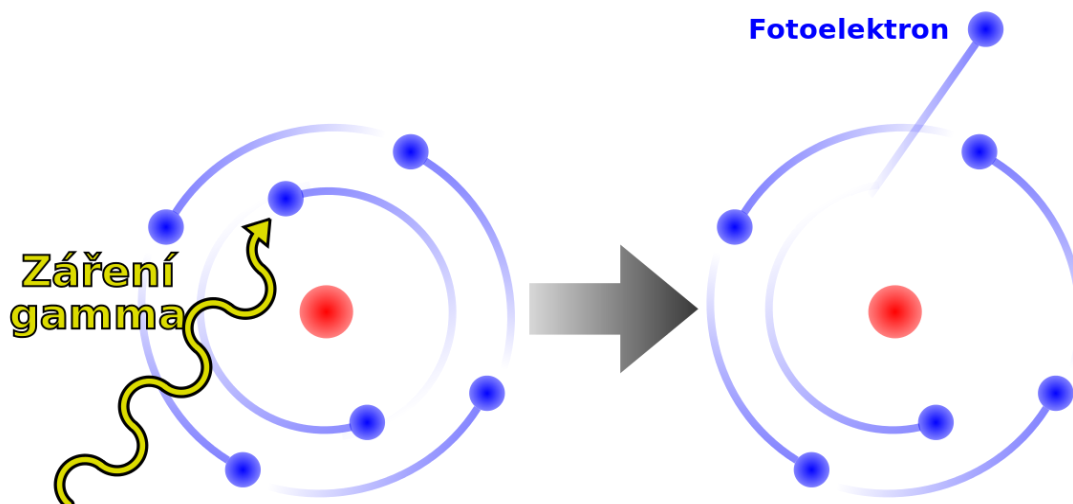
pohltit dostatečně velké množství tzv. ionizační energie, aby následně došlo k samotné ionizaci [2] [14] [22] [27].

1.4.1 Nárazová ionizace

Volný elektron nebo iont, který získal dostatečnou kinetickou energii narazí do neutrální molekuly či atomu a vytvoří kladný iont a nový elektron. Kinetická energie narážející částice musí přesáhnout tzv. ionizační energii, která je vlastně minimální energií. Tu musí mít dopadající částice proto, aby došlo k vytržení elektronu z obalu atomu a k vytvoření kladně nabitého iontu. Ionizační energie se udává v jednotkách eV. Pokud nastane stav, kdy je kinetická energie narážející částice menší než ionizační energie, pak narážející elektron může nabudit jinou molekulu či atom. Proces ionizace může být poté dokončen při nárazu jiného pomalého elektronu. Tento proces se nazývá postupná ionizace. Proces postupné ionizace je významný pouze tehdy, pokud je hustota elektronů velká. Při rozpadu plynu radonu, který je hlavním ionizačním činidlem v atmosférickém vzduchu, vzniká nárazová ionizace. Při přeskoce v plynech je tedy pravděpodobně nejdůležitějším jevem nárazová ionizace [2] [14] [22] [27].

1.4.2 Fotoionizace

Fotoionizace neboli také zářivá ionizace je proces, při kterém dochází k tomu, že neutrální částice pohltí vlivem elektromagnetického záření foton. Jako ionizující elektromagnetické záření můžeme uvést UV záření, rentgenové záření a gama-záření. Tento proces je obdobný jako proces fotoelektrického jevu. Když elektron vstřebá energii, kterou mu předá dopadající elektromagnetické záření, při dostatečně velké frekvenci může elektron dosáhnout dostatečné energie k tomu, aby došlo k uvolnění z vazby obalu atomu. Tento jev je sekundárním procesem při elektrickém výboji [2] [14] [22] [27] [29].



Obr. 2: Příklad fotoionizace [29].

1.4.3 Tepelná ionizace

Tepelná ionizace se objevuje v plynech, které mají vysokou teplotu. Právě zde mohou nastat tyto případy:

- ionizace při srážkách mezi molekulami plynu s velkou kinetickou energií
- fotoionizace tepelným zářením plynu
- ionizace srážkami molekul plynu s elektrony vzniklými při předešlých jevech [27]

1.4.4 Povrchová ionizace

Povrchová ionizace je jev, při kterém se uvolňují nosiče náboje z povrchu elektrod. K výše zmíněnému uvolňování je potřeba dodat tzv. výstupní práci. Výstupní práci je možno dodat několika způsoby. Jedním ze způsobů je ohřívání elektrody, dalším je bombardování povrchu kovu částicemi o dostatečné energii, ozařováním povrchu kovu krátkovlnným zářením nebo působením silného vnějšího pole. Vodivost mezi elektrodami je u povrchové ionizace závislá na materiálu elektrod, nikoliv na použitém plynu jako u výše zmíněných typech ionizace [2] [14] [22] [27].

1.4.5 Rekombinace a neutralizace nosičů náboje

Zatímco důsledkem ionizace dochází k zvyšování počtu volných nosičů náboje, tak následkem rekombinace a neutralizace dochází k jejich snižování.

Neutralizace je děj, při kterém volné nosiče náboje dopadají na opačně polarizovanou elektrodu a tím se neutralizují. Od elektrody se atom vrací jako elektricky neutrální částice.

Rekombinace je jev, který je opačný k ionizaci. K tomuto jevu dochází v situaci, kdy se srazí dvě opačně nabitě částice. Částice si vzájemně vymění náboj a z obou částic se stávají částice elektricky neutrální. Pravděpodobnost že bude docházet k rekombinacím se zvětšuje se snižující se relativní rychlostí částic [2] [14] [22] [27].

1.5 Elektrická pevnost

Elektrická pevnost je základní veličina, která charakterizuje všechny elektroizolační materiály. Elektroizolační materiál od sebe navzájem odděluje dvě místa, která mají rozdílný elektrický potenciál a brání přechodu proudu z jednoho místa do druhého. Pro návrh a konstrukci elektrických zařízení je elektrická pevnost jedním ze stěžejních parametrů. Podle elektrické pevnosti se dimenzuje izolace daného elektrického zařízení.

Elektrická pevnost závisí na vlastnostech elektroizolačního média. Tedy na skupenství, na okolních podmínkách (teplota, vzduch, vlhkost atd.) a také na velikosti elektrického pole, které je k elektroizolačnímu médiu připojeno.

Na elektrických zařízeních se tedy elektrická pevnost posuzuje podle nejmenšího napětí, které při daných vlastnostech a v závislosti na okolních podmínkách způsobí na daném elektrickém zařízení průraz nebo přeskok. Pokud překročí napětí mezi elektrodami danou kritickou mez, dojde k prudkému nárůstu koncentrace a navýšení pohyblivosti volných nosičů náboje. Toto napětí se nazývá průrazné a značíme jej U_p . Rezistivita daného elektroizolačního materiálu prudce klesne, a naopak hodnota konduktivity strmě narůstá. Materiál ztrácí své elektroizolační vlastnosti a dochází k průrazu. Následuje tok proudu, který teče dokonale vodivou cestou mezi elektrodami. Velikost proudu je dána pouze impedancí daného zdroje napájení a přívodu k elektrodám.

O průrazu mluvíme pouze pokud elektrický výboj nastane v pevných izolantech. Když elektrický výboj nastane v jiném než pevném skupenství (plynném, kapalném), hovoříme zde nikoliv o průrazu ale o přeskoku. Přeskok je vlastně průběhem velice podobným průrazu. Největší rozdíl je ten, že při přeskoku je degradace izolantu pouze dočasná. Plyny a kapaliny mají schopnost regenerace.

Proces vzniku elektrického výboje lze popsat ve dvou časových úsecích. V tom prvním dojde k tomu, že prudce klesá rezistivita daného materiálu a narůstá konduktivita, což vede k výboji (přeskoku). V druhém časovém úseku dochází k procesům, které vedou k možným velkým degradačním účinkům izolantu. Tento úsek nastane až po odeznění vlastního výboje. Velikost degradace záleží na druhu materiálu a na velikosti daného zdroje. V místě výboje vzniká oblouk, který způsobuje značnou degradaci. Degradací jsou oba tyto procesy jak pro izolant, tak pro materiál přicházející s obloukem do styku.

Elektrickou pevnost lze zjistit z poměru mezi velikostí průrazného napětí a vzdáleností mezi elektrodami.

$$Ep = \frac{Up}{d} (V \cdot m^{-1}, V, m) \quad (1)$$

Elektrická pevnost po dokončení výpočtu obvykle dosahuje velkých hodnot, proto se elektrická pevnost většinou uvádí v kV na mm. Elektrická pevnost závisí na tvaru elektrod, druhu přiloženého napětí (střídavé, stejnosměrné, impulzní), na době působení, teplotě, tlaku atd. [2] [14] [22] [27].

1.5.1 Paschenův zákon

K elektrické pevnosti plynů je na místě zmínit Paschenův zákon.

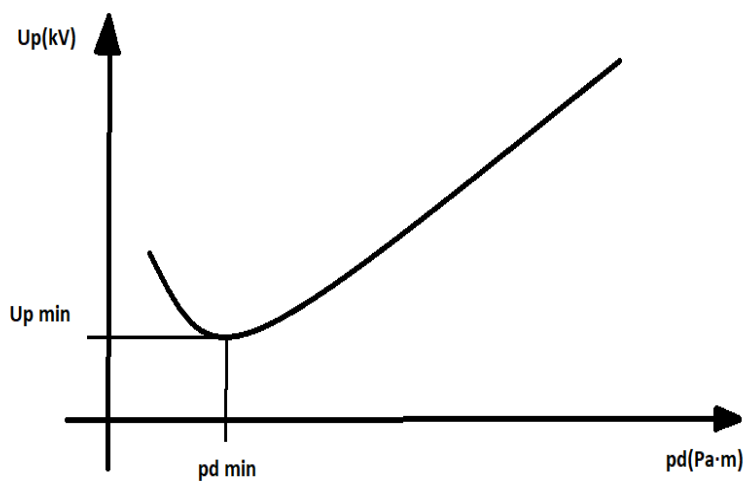
Paschenův zákon nám říká, že velikost přeskokového napětí (Up) v plynu závisí na jeho tlaku. Je to tedy funkce o součinu vzdálenosti elektrod (d) a tlaku plynu (p).

$$Up = f(p \cdot d) \quad (2)$$

Paschenova křivka je grafické znázornění Paschenova zákona. Pomocí křivky charakterizujeme nejvýhodnější podmínky pro přeskok u každého plynného dielektrika. Up_{min} a pd_{min} jsou různé pro každý plyn.

Na obrázku 3 v levé sestupné části křivky (také nazývané oblastí malých tlaků) je oblast, ve které jsou velké volné dráhy elektronů. Díky tomu elektrony nemusejí narazit do žádné molekuly plynu a nemohou tedy přispívat k vytváření dalších nosičů náboje. Pravá vzestupná část křivky (oblast vysokých tlaků) je zase oblastí, ve které jsou volné dráhy elektronů malé. Proto dochází ke srážkám elektronů s neutrálními molekulami plynů moc brzy na to, aby stačily získat potřebnou kinetickou energii pro ionizaci molekul. V obou oblastech jsou podmínky pro ionizaci energeticky velmi nevýhodné.

Nejvýhodnější podmínky pro vznik a udržení výboje v plynném izolantu jsou tedy v oblasti minima Paschenovy křivky [27].



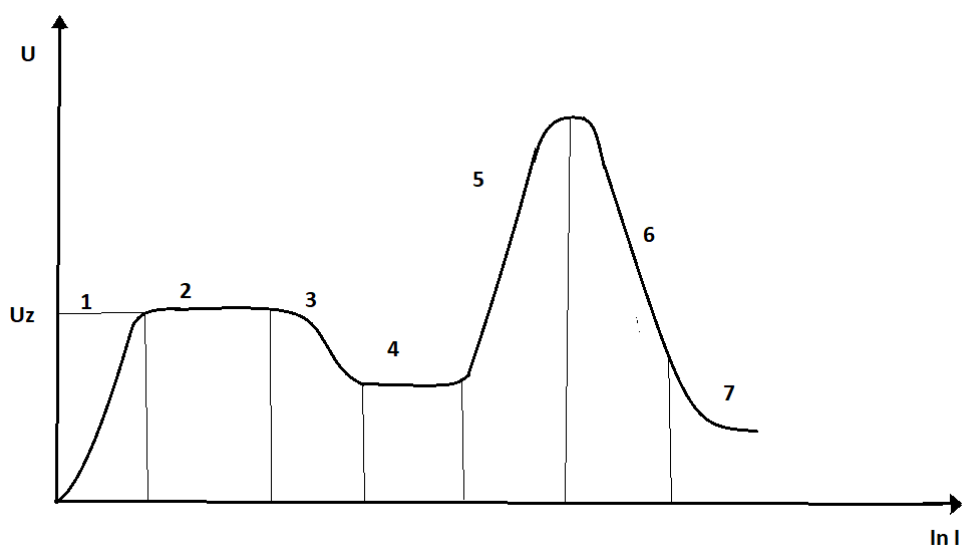
Obr. 3: Paschenova křivka

2 Druhy elektrických výbojů

Z kapitoly 1.1. víme že vzduch je dobrým izolantem. Z kapitoly 1.4. také víme že vzduch je možné ionizovat. Současně s ionizací probíhá v plynu také rekombinace, se kterou jsme se seznámili v kapitole 1.4.

Pokud proces ionizace probíhá ve slabém elektrickém poli a jen za stálého působení vnějšího ionizačního činidla, tak tyto výboje nazýváme nesamostatné. Pokud přestane působit vnější ionizační činidlo, zaniká při tom i výboj a nad ionizací převládne proces rekombinace.

Oproti tomu samostatné elektrické výboje ke svému vzniku a udržení nepotřebují vnější ionizační činidla, ale stačí pouze dosti silné elektrické pole, které vytvoří určitý počet elektronů a iontů. Elektrické pole uvede ionty a elektrony do pohybu, a tím zajistí, že se elektrický proud udrží samostatně. Pokud je plyn v samostatném výboji vysoce ionizovaný tak jej nazýváme plazmou.¹



Obr. 4: V-A Charakteristika elektrického výboje

Na obrázku 4 lze vidět Voltampérovou charakteristiku elektrického výboje, ve které jsou znázorněny jednotlivé fáze výbojů.

¹ Plazma je kvazineutrální ionizovaný plyn, který se tvoří při elektrických výbojích. Plazma je nejrozšířenější forma hmoty ve vesmíru. V plazmatu existují tři druhy částic: neutrální molekuly, kladné a záporné částice.

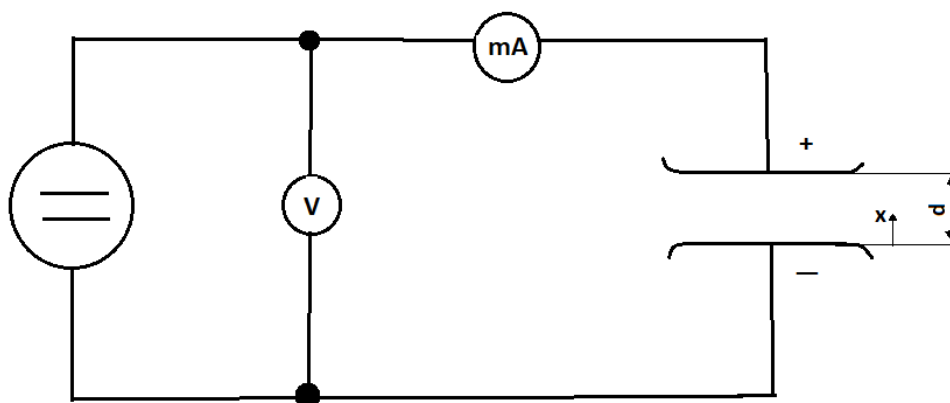
Nesamostatný výboj je vyznačen v oblasti 1. Během tohoto výboje prochází proud o malých hodnotách. Pokud budeme zvětšovat přiložené napětí, dosáhneme hodnoty tzv. zápalného napětí (U_z). Po dosažení této hodnoty vznikne mezi elektrodami pole, které má dostatečnou sílu k tomu, aby mohlo docházet k urychlování elektronů a iontů dopadajících na katodu. Tyto elektrony a ionty uvolňují z katody dosti velký počet elektronů zajišťujících to, že se výboj udrží sám. Nacházíme se tedy v oblasti 2, kde se objevují výboje, které jsou charakteristické svým šuměním, praskáním a sršením. Tyto výboje se nazývají Townsendovy výboje.

Charakteristická oblast pro vznik koróny je v grafu vyznačena jako oblast 3. Oblast 4. vyznačuje normální doutnavý výboj. Při tomto druhu výboje je nízká hustota proudu a energie. Plyn i katoda zůstávají při chladné teplotě. Oblast 5 charakterizuje elektrický výboj, který má relativně vysokou teplotou katody a vyšší proudovou hustotu. Jiskrový výboj, který nalezneme v oblasti 6 se objevuje tehdy, pokud v plynech tečou velké proudy v řádech kA. Tento typ výboje se zapaluje při působení silného elektrického pole o intenzitě cca $E \sim 10^6$ V/m. Jiskrový kanál dosahuje velkých hodnot vodivosti. Pokud dojde k propojení obou elektrod, napětí mezi nimi se sníží na desítky až stovky voltů. Pokud je proudový zdroj dostatečně silný, nacházíme se v oblasti 7 a dojde k vytvoření výboje, který se nazývá obloukový [2] [22] [26].

2.1 Nesamostatné výboje

2.1.1 Townsendovy výboje

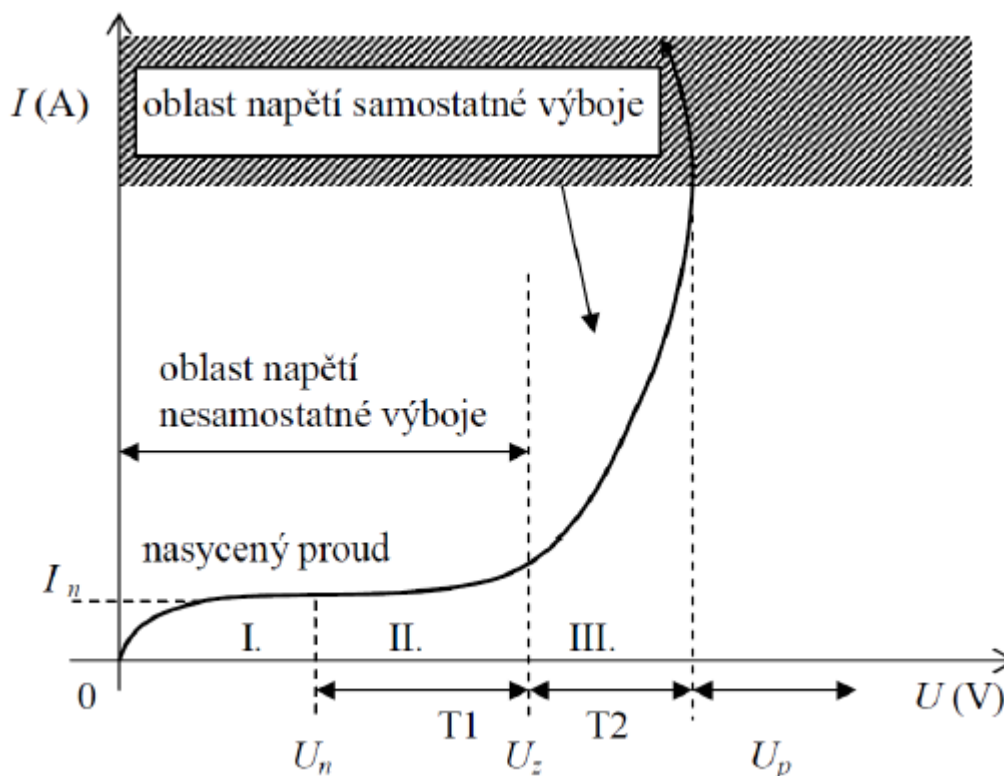
Tento typ výboje je pojmenován podle irského fyzika Johna Sealyho Townsenda který se zabýval výzkumem nesamostatných výbojů.



Obr. 5: Schéma zapojení rovinných elektrod.

Existují rovinné elektrody, jejichž zapojení je znázorněno na obrázku 5. Nacházejí se v plynném prostředí (vzduch) a mezi nimi je homogenní elektrické pole. Proud mezi nimi vede pouze ionizovaný plyn. Uvažujeme-li tedy, že z jedné katody emitují elektrony. Elektrony emitují díky působení vnějšího ionizačního činidla – ozářením povrchu elektrod. Budeme-li zvyšovat napětí, proud dosáhne hodnoty tzv. nasyceného proudu I_n . Jeho dosažením jsou využity všechny ionty, které byly „vytvořeny“ ionizačním činidlem.

Budeme-li napětí dále zvyšovat, bude nárůst proudu nejprve pozvolný (obr. 6 oblast T_1) a poté bude nárůst strmější (obr. 6 oblast T_2). Výboje, které vidíme v této oblasti charakteristiky nazýváme Townsendovy. Elektrické pole způsobí rychlost nosičů náboje. Tato rychlost je oproti tepelné rychlosti velká. Nosič tedy získá dostatečně velkou kinetickou energii na to, aby nárazem uvolnil z neutrální molekuly elektron. „Townsend předpokládal, že pomalé zvětšování proudu v oblasti T_1 vzniká tehdy, když volné elektrony v plynu získávají v elektrickém poli dostatek energie pro nárazovou ionizaci, a rychlé zvětšování proudu v oblasti T_2 Townsend vysvětlil tím, že kladné ionty, vytvořené při srážkách elektronů s neutrálními částicemi, nabývají dosti velkou energii, aby došlo k přídatné ionizaci na katodě. [27]“ O nesamostatných výbojích hovoříme proto, že poté, co přestane působit vnější ionizační činidlo, proud zaniká.



Obr. 6: V-A charakteristika v homogenním elektrickém poli [22].

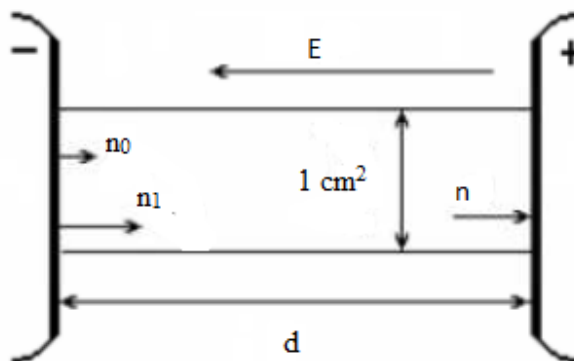
Převážná část Townsendových výbojů se vytvoří za podmínek nízkého tlaku a malé hustoty proudu a vznik buzení atomu není provázen světelným zářením.

Pokud napětí dosáhne kritické hodnoty U_z (zápalné napětí), proud se prudce zvětší a vzniká výboj samostatný [22] [27].

2.2 Samostatné výboje

2.2.1 Podmínka samostatného výboje

V oblasti T2 (na Obrázku 6) experimenty ukazují velkou odchylku od teoretických výsledků, které jsou odvozeny pro oblast T1. Stejně jako v předchozím případě uvažujeme o dvou rovinných elektrodách, které od sebe dělí vzdálenost d (Obrázek 7). Mezi nimi se nachází elektrické pole o intenzitě E . Pole se nachází v plynu o tlaku p .



Obr. 7: Schéma rovinných elektrod pro samostatný výboj [2].

Pokud dosáhneme dostatečně velkého poměru mezi intenzitou elektrického pole a tlakem plynu (E/p), proběhne elektronová ionizace. Za ustálených poměrů lze předpokládat, že n_0 elektronů je emitováno za sekundu z 1 m^2 katody vnějším ionizačním činidlem. Počet elektronů, které dopadnou za sekundu na 1 m^2 katody značíme n . Každý kladný iont uvolní z katody v průměru γ nových elektronů. Počet elektronů, které se uvolní za každou sekundu z 1 m^2 katody bombardováním či ionizačním činidlem značíme n_1 . Počet kladných iontů vznikajících mezi elektrodami v ustáleném stavu za sekundu, je $n - n_1$. Pro elektrony, které vystupují z katody platí:

$$n_1 = n_0 + \gamma(n - n_1) \quad (3)$$

Po úpravě vztahu (3) získáme:

$$n_1 = \frac{n_0 + \gamma n}{1 + \gamma} \quad (4)$$

Dle rovnice $n_a = n_0 e^{\alpha d}$, která nám udává počet elektronů, které doletí na 1 m² anody za jednu sekundu, je tento počet:

$$n = \frac{n_0 + \gamma n}{1 + \gamma} e^{\alpha d} \quad (5)$$

Ze vztahu (5) získáme:

$$n = \frac{n_0 e^{\alpha d}}{1 - \gamma(e^{\alpha d} - 1)} \quad (6)$$

Vynásobíme-li vztah (6) nábojem elektronu dostaneme proudovou hustotu anody:

$$J = \frac{J_0 e^{\alpha d}}{1 - \gamma(e^{\alpha d} - 1)} \quad (7)$$

V rozsahu celého prostoru mezi elektrodami uvažujeme o stejné proudové hustotě. Vztah (7) je významný pouze tehdy, je-li jeho jmenovatel větší než nula.

Na rozhraní katody a plynu probíhají také jiné emisní jevy (fotoionizace atd.) které Townsend nepředpokládal. Tyto jevy jsou zohledněny v ionizačním čísle γ , jež bylo experimentálně zjištěno. S rostoucí intenzitou elektrického pole souběžně roste, dle rovnice (7), i proudová hustota. Výboj zde ale ještě není samostatný, protože pokud by přestalo působit ionizační činidlo, tak by také přestal procházet proud mezi elektrodami. Pokud je intenzita elektrického pole již dostatečně veliká, začne nesamostatný výboj přecházet na výboj samostatný. Přechod je ovšem možný pouze tehdy, pokud je dodržena tato podmínka:

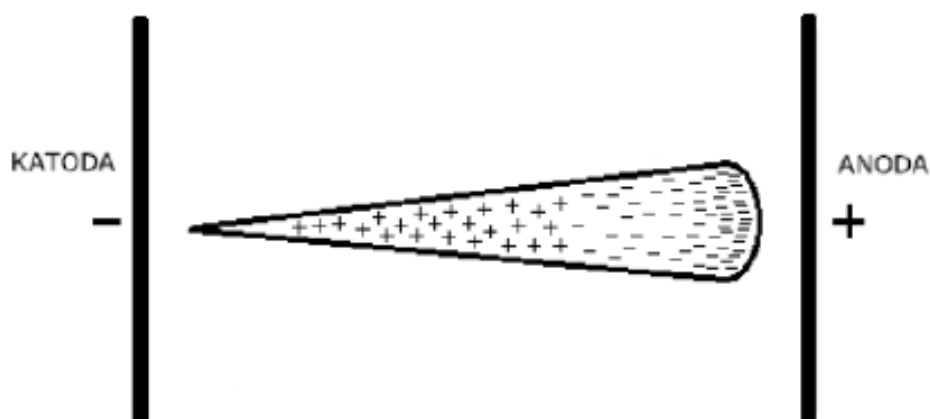
$$\gamma = (e^{\alpha d} - 1) = 1 \quad (8)$$

K udržení proudu poté není potřeba ionizační činidlo. K dosažení samostatného výboje lze využít dva způsoby. První způsob je změnou velikosti elektrod při konstantním napětí nebo změnou velikosti napětí při stálé vzdálenosti mezi elektrodami. Při splnění podmínky (8), neplatí vztah (7) a ustaví se pochody jiného druhu [2] [27].

2.2.2 Kanálový výboj

Teorie elektrického výboje vysvětluje mnoho fyzikálních zákonitostí, které byly vyvolány kladnými ionty na katodě. Nevysvětluje však krátkou dobu výstavby jiskry (cca 10⁻⁷ s) u elektrod, které jsou od sebe navzájem velmi vzdáleny (několik cm) a které jsou v homogenním poli a za atmosférického tlaku. Kladné ionty se pohybují rychlostí zhruba

$10^5 \text{ cm} \cdot \text{s}^{-1}$. Tato rychlost není dostatečná k tomu, aby za dobu výstavby proběhl libovolný kladný iont vzdálenost mezi elektrodami. Díky tomu se hledal nový mechanismus, podle kterého elektronová lavina, která je (zavedená jedním elektronem,) po vytvoření dostatečného prostorového náboje přejde v kanálový výboj. Kanálový výboj se k oběma elektrodám šíří velkou rychlostí. Průběh, kterým se lavina šíří, byl zkoumán badateli při experimentech ve Wilsonově mlžné komoře. Tvar, který byl zjištěn, lze vidět na obrázku 8.



Obr. 8: Tvar laviny [2].

Pokud napětí přesáhne hodnotu podmínky samostatného výboje, vznikne kanálový výboj, který se z čela laviny šíří k anodě a katodě zhruba desetkrát větší rychlostí než lavina původní. Při pokusech bylo vidět z kanálu vycházející tmavomodré světlo, které směřovalo ke katodě. Dochází zde tedy k fotoionizaci. Dle tohoto jevu se v anglicky psaných textech setkáme s pojmenováním „streamer“. V češtině byl přijat název strimér [27].

2.2.3 Obloukový výboj

Pro tento výboj je charakteristické to, že přenáší při malém napětí velké proudy a katoda má velmi vysokou teplotu. Vysoká teplota katody je způsobena tím, že před katodou v katodovém prostoru je vytvořena tenká vrstva o velké elektrické intenzitě. Elektrický náboj přechází k anodě díky pozitivnímu sloupci. Tento sloupec tvoří jakýsi trup oblouku a tvoří jeho převážnou část.

Obloukový výboj se dělí na nízkotlaký a vysokotlaký. Pro nás je důležitější obloukový výboj vysokotlaký.

S vysokotlakým obloukovým výbojem (atmosférický tlak a vyšší) se setkáme ve vysokonapěťových zařízeních mezi kovovými elektrodami. Pokud se elektrody k sobě navzájem přitisknou, jejich konce se rozžhaví a po jejich oddálení od sebe (v řádech milimetrů) způsobí tepelnou ionizaci molekul vzduchu. Daným obvodem prochází velký elektrický proud, díky němuž teplota plazmatu a daných elektrod dosahuje řádově několika tisíc kelvinů. Tento výboj je v praxi nejrozšířenější. Využívá se třeba u vysokotlakých výbojek (sodíkových, rtuťových, xenonových) nebo při svařování kovů obloukem.

Ve vysokonapěťových zařízeních vzniká oblouk mezi kontakty vypínačů při vypínání, v bleskojistkách při odvádění přepětí, při přeskoku ve vzduchu na zařízeních VVN a vn. V těchto případech je oblouk potřeba rychle zhasnout. Oblouk se zhasíná při průchodu nulou [27].

2.2.4 Trsový výboj a sršení

Tento výboj se objevuje u elektrod, které mají mezi sebou silně divergentní elektrické pole. Uspořádání těchto elektrod je tvořeno koulemi, válci či dvěma hroty. Většinu zařízení ve vysokonapěťové technice lze převést na výše zmíněné tvary. U elektrod, které mají zdánlivě dokonale hladký povrch, přebírá prach úlohu hrotů za předpokladu, že nehomogenita pole je malá. Výpočet počátečního napětí samostatného výboje pro dokonale hladké elektrody má tedy pouze informativní význam, a to z důvodu permanentního výskytu prachu na elektrodách. Trsový výboj v drtivé většině případů předchází výboji jiskrovému. Napětí, při kterém k tomu dochází se nazývá napětí jiskry.

Vznik trsového výboje pro dané elektrodové uspořádání probíhá tak, že napětí, které je mezi elektrodami, překročí danou kritickou hodnotu. Kritická hodnota napětí je pro každé uspořádání jiná. Trsový výboj je charakteristický svými modře svítícími paprsky, které tvoří rozvětvený trs. Tento trs končí ve vzduchu nebo na povrchu izolantů a ve většině případů je doprovázen praskáním. Trs se při tomto výboji rychle objeví a rychle také zmizí. Tvar trsu záleží na polaritě. V trsu probíhá silná nárazová ionizace a rekombinace. V okamžiku, kdy výboj přejde do ustáleného stavu už nehovoříme o trsovém výboji nýbrž o sršení [27].

2.2.5 Jiskrový výboj

Jiskra vznikne mezi čistými hladkými elektrodami v homogenním poli nebo poli které je blízké poli homogennímu, pokud napětí mezi elektrodami překročí počáteční napětí samostatného výboje. Vznik jiskry je bez předběžného výboje. V poli nehomogenním vznikne jiskrový výboj z výboje trsového po překročení napětí jiskry (kapitola 2.2.4). Přeskok jiskry je zpravidla doprovázen vznikem zvukové vlny. Zvuková vlna je vnímána u malých výbojů jako slabé prasknutí a u velkých výbojů jako silně ohlušující rána. Jiskrové výboje vznikají při atmosférickém tlaku.



Obr. 9: Jiskrový výboj (Blesk) [1].

Nejznámější jiskrový výboj je blesk (Obrázek 8). Blesk vyrovnává elektrické napětí mezi dvěma mraky nebo mezi mrakem a zemí [10] [27].

2.2.6 Koróna

Neúplný samostatný výboj tvořící se na zakřivených elektrodách, které jsou od sebe poměrně vzdálené, umístěné ve vzduchu nebo v plynech o vyšších tlacích a v místech o silně nehomogenním elektrickém poli, se nazývá koróna.

Vznik koróny je podmíněn tím, že hodnota napětí překročí hodnotu tzv. počátečního napětí koróny². Po dosažení tohoto napětí vznikne v okolí elektrody svítící vrstva. Vznik

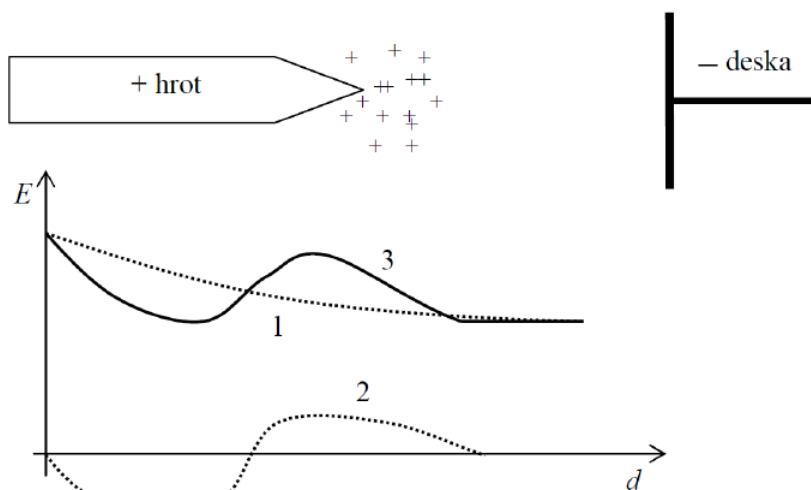
² Počáteční napětí koróny je napětí, při kterém je možno pozorovat vznik korónového výboje.

svítící vrstvy je doprovázen práskáním a šumem. Světelný projev koróny je převážně v ultrafialovém spektru, čehož se dá využít pro její lokalizaci. Pro vlastnosti korónového výboje je důležitý stav povrchu daných elektrod. Na povrchu elektrod mohou být nečistoty a nepatrné nerovnosti, které poté komplikují stanovení počátečního napětí koróny. Počáteční napětí koróny se proto snáze stanovuje v laboratorních podmínkách. Pouze zde lze zajistit dokonale čistý a hladký povrch elektrod a také další parametry, jako vhodný tvar pole, vlhkost, druh a hustotu plynu. Zvyšuje-li se dále napětí, zvyšuje se náhle také proud, který lze změřit měřicími přístroji. Se zvyšujícím se proudem se kolem vodičů vytvoří slabě svítící vrstva, u které lze slyšet šumění a praskání, tedy charakteristické vlastnosti koróny. S rostoucím napětím lze zaznamenat rychlý nárůst proudu i zvyšující se světelnost vrstvy a krátce nato výboj přejde ve výboj trsový a jiskrový [9] [24] [27].

U napětí stejnosměrného lze zaznamenat vznik koróny na elektrodách kladných i záporných. Mechanismus kladné a záporné koróny je odlišný, v obou případech však koróna vzniká při takřka stejné intenzitě elektrického pole na povrchu elektrod. Kladné i záporné elektrody udržují na svém povrchu stálou hodnotu intenzity elektrického pole, která je potřebná k tomu, aby se udržela ionizace. Ve vnější oblasti elektrody nalezneme prostorový náboj, který je stejně polarizován jako k němu příslušná elektroda. Tento prostorový náboj se od elektrod, na kterých probíhá koróna vzdaluje. Je nutno jej trvale doplňovat z oblasti ionizace. Takto vznikne tzv. korónový proud, který způsobuje ztráty energie [2] [27].

2.2.6.1 Kladná koróna

Máme dvě elektrody. Kladný hrot a zápornou desku, ke které je připojeno napětí. Toto napětí je dostatečně vysoké na to, aby v okolí hrotu byla intenzita pole dostatečně velká pro vznik nárazové ionizace (Obrázek 10). Současně se vznikem nárazové ionizace se vytvářejí také volné elektrony a začíná se objevovat nekontrolovatelné lavinové šíření elektronů, které směřuje směrem od desky ke kladnému hrotu. V blízkosti hrotu je vytvořen kladný prostorový náboj. Tento náboj tvoří pomalé kladné ionty, které jsou přitahovány směrem k záporné desce. To způsobí, že v blízkosti hrotu dojde ke zmenšení intenzity pole, ale v mezelektrodovém prostoru dojde k nárůstu intenzity pole (lze vidět na grafu v obrázku 10). Tento proces zabrání vzniku dalších lavin a díky tomu začne výboj uhasínat. Pokud se přiblíží kladné ionty směrem k záporné desce, obnoví se intenzita pole na hodnotu, která je potřebná pro ionizaci. Vzhledem k těmto faktům je korónový výboj pulzního charakteru.



Obr. 10: Průběh kladné koróny [22].

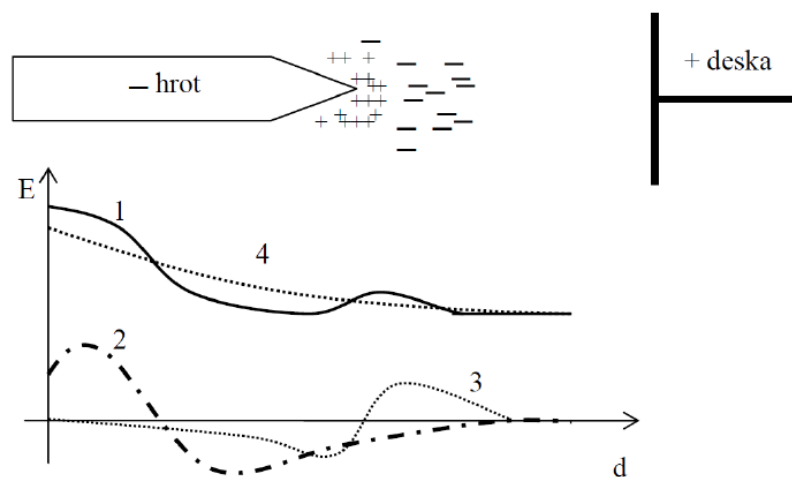
Obrázek 10 je popsán číslicemi které ukazují následující procesy:

1. Rozložení intenzity elektrického pole, kterou vyvolal externí zdroj
2. Rozložení intenzity elektrického pole vyvolaný kladným objemovým nábojem
3. Výsledné rozložení intenzity elektrického pole.

Výše popsáný korónový výboj má pulzní charakteristiku [22] [24].

2.2.6.2 Záporná koróna

V tomto případě máme naopak desku kladnou a hrot záporný (Obrázek 11). Rozložení intenzity elektrického pole je před a do doby vzniku ionizace stejné jako v kapitole 2.2.6.1. Rozdílné však je rozložení náboje, který je mezi elektrodami. Elektrony, které se pohybují od záporného hrotu ke kladné desce jsou velice rychlé. Díky tomu dojde v okolí hrotu ke vzniku kladného prostorového náboje. Elektrony, které se nenachází v oblasti velké intenzity elektrického pole postupně ztratí svou rychlost. Většina takto pomalých elektronů je pohlcena neutrálními molekulami a tímto způsobem se vytvoří záporné ionty. Takto vzniklý záporný prostorový náboj zapříčiní snižování intenzity elektrického pole v blízkosti hrotu. Kladný prostorový náboj, který je v blízkosti hrotu intenzitu elektrického pole zvyšuje. Narůstá-li záporný prostorový náboj, dochází k poklesu intenzity pole v blízkosti hrotu a koróna zaniká. Po dostatečném oddálení záporného prostorového náboje od hrotu dochází k opětovnému obnovení podmínek pro vznik ionizace.



Obr. 11: Průběh záporné koróny [22].

Obrázek 11 je popsán číslicemi, které ukazují následující procesy:

1. Rozložení intenzity elektrického pole, kterou vyvolal externí zdroj
2. Rozložení intenzity elektrického pole vyvolaný kladným objemovým nábojem
3. Rozložení intenzity elektrického pole vyvolaný záporným objemovým nábojem
4. Výsledné rozložení intenzity elektrického pole.

Z Obrázku 11 je patrné, že výboj má v tomto elektrodovém uspořádání stále pulzní charakter. Pulzování probíhá u koróny mnohokrát za vteřinu a tím způsobuje vysokofrekvenční rušení. Toto rušení budu v této práci prakticky měřit [22] [24].

2.2.6.3 Koróna na vodičích venkovních vedení VN a VVN

Koróna způsobuje na dálkovém vedení ztráty elektrické energie a také vyvolává (díky rychlým změnám elektrického pole) v oblastech, kde se vyskytují nerovnosti na vodiči, nežádoucí vysokofrekvenční šum. Na povrchu nebo v blízkosti vodiče se díky tomu objevují výboje. Z těchto míst se poté šíří vysokofrekvenční šum podél vedení a do okolního prostoru. Vysokofrekvenční šum způsobuje rušení rádiového a televizního signálu.

Nepřípustná je koróna také ve vzduchových mezerách u bleskojistek nebo průchodek. A to kvůli tomu, že se při výboji tvoří ozón a kysličníky dusíku, které společně s vlhkostí vytvářejí kyseliny napadající tyto součásti.

Na povrchu organických izolantů je koróna také nežádoucí, protože v dutinách izolantů dochází k částečným výbojům a dochází k degradaci daného izolantu [24] [27].

2.2.6.4 Ztráty korónou na vedení

Mezi ztráty vzniklé během přenosu elektrické energie na venkovním vedení se řadí také ztráty způsobené korónou. Na vodičích, v izolátoru nebo na jeho rozhraní vznikne koróna v nezaplněném prostoru. Na vedení v běžném provozním znečištěném stavu lze zvyšováním napětí pozorovat různá stádia korónového výboje. Přesahuje-li hodnota napětí $0,3U_0$, objevují se na povrchových nečistotách a nerovnostech záporného vodiče malé svítící body. Tento jev se nazývá hrotová koróna. Při hodnotě napětí $0,5U_0$ až $0,6U_0$ se na větších nerovnostech (vodních kapkách, na mastných skvrnách, poškozeném povrchu) kladného vodiče vytvoří trsové výboje, které dosahují délky v řádech desítek centimetrů. Na záporném vodiči se také objeví trsové výboje, avšak tyto výboje nedosahují takové délky jako na kladném vodiči. Při tomto stavu lze slyšet praskání, které nazýváme přechodovou korónou. Po dosažení hodnoty napětí U_0 , což je počáteční hodnota napětí koróny, se vytvoří slabě svítící obal, který s postupným zvyšováním napětí do sebe zahrne trsy a svítící body. Toto nazýváme obalovou korónou.

Pro obalovou korónu je charakteristické to, že na vedení dochází k velkému nárůstu nabíjecího proudu a tím i kapacity daného vedení. Svítící obal je charakterizován tím, že vznikne při počátečním napětí koróny, které je definováno pro ideální podmínky na

vedení (dokonale čisté a hladké vedení). Ztráty na vedení způsobené hrotovou korónou jsou velmi malé, u ztrát přechodovou korónou už dosahují nemalých hodnot a nutno s nimi počítat. Ztráty obalovou korónou jsou velmi velké, a tudíž v praxi nežádoucí a nelze je akceptovat. Korónové ztráty se dělí na dvě složky:

- ztráty ionizační (trsové ztráty)
- ztráty spojené s poklesem iontů v ionizační oblasti unikajících do okolí

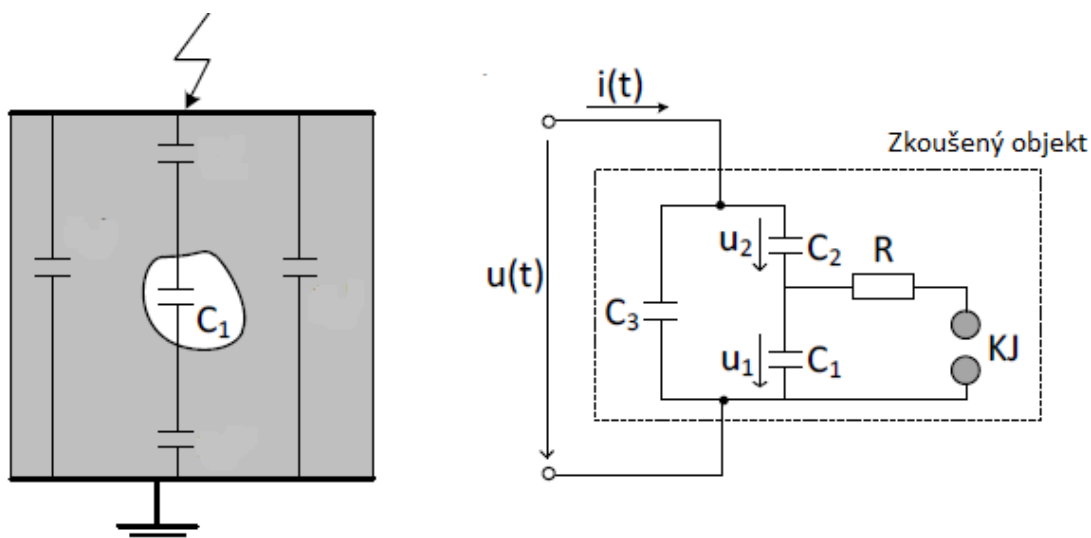
V jedné půlperiodě ionty vykonají dráhu o délce několika centimetrů až desítek decimetrů a v druhé půlperiodě, při změně polarity vodiče, se při svém návratu na povrch vodiče částečně neutralizují a částečně rekombinují ještě ve vzduchu. Uvažujeme-li o ztrátách při stejnosměrném napětí, je tento mechanismus odlišný, protože se ionty nevracejí zpět. Ztráty ionizační jsou mnohonásobně větší než ztráty způsobené pohybem iontů.

Ztráty korónou na vedení jsou velmi ovlivněny stavem vodičů a atmosférickými poměry (roční období, tlak, vlhkost atd.). Stav povrchu vodičů je také velmi ovlivňuje. Ztráty jsou mnohonásobně vyšší, je-li povrch vodiče hrubý či mastný. Stárnutí lan zmenšuje velikost ztrát a zlepšuje stav povrchu. Dojde-li k odpojení daného úseku vedení a po nějaké době k jeho opětovnému zapojení do soustavy, ztráty tohoto vedení vzrostou na takovou hodnotu, jakou měly před začátkem či na začátku procesu stárnutí. Vedení je nutno zatěžovat několik hodin, aby se tyto hodnoty vrátily k hodnotám těsně před odpojením. Chceme-li hodnotu intenzity elektrického pole na povrchu vodiče při provozním napětí udržet pod hodnotou potřebnou pro vznik koróny, je třeba zvětšit průměr vodiče souměrně s napětím. U soustavy o jmenovitém napětí 220 kV se přednostně volí svazkové vodiče. U soustavy o napětí 400 kV je použití svazků zcela nezbytné. Pro výpočet korónových ztrát se využívá několik existujících vzorců (Peterssonův, Peekův) [11] [22] [27].

2.3 Částečné výboje

K částečným výbojům dochází v plynně vyplněných dutinách elektricky namáhaných izolátorů VN a VVN. Dojde-li ke zvyšování napětí na daném izolátoru, objeví se při určité hodnotě napětí v dutinách výboje. Tyto výboje mají charakter drobných jiskrových nebo lavinových výbojů a jedná se tedy o částečné výboje. Nejnižší napětí doprovázející vznik částečných výbojů nazýváme počátečním napětím částečných výbojů [27].

Vyskytuje-li se v dutinách dielektrika kyslík, tak částečné výboje doprovází vznik ozónu. Intenzivní oxidační účinky ozónu způsobují chemickou destrukci materiálu. Tuto destrukci materiálu však způsobují také produkty, které se vytvářejí při rozkladu některých izolantů při výboji. Díky takovým účinkům postupem času dojde k průrazu dielektrika. [27]



Obr. 12: Náhradní schéma dutiny a náhradní kapacitní obvod s dutinou [9].

Na obrázku 12 lze vidět objekt s dutinou a jeho zjednodušené náhradní schéma. Kapacita C_1 značí kapacitu dutiny. Kapacita C_2 je kapacita dielektrika, které je v pořádku. C_3 je kapacita zkoušeného objektu. V nepřesném uvažování odpor R zastupuje odpor kanálu výboje [3] [27].

2.3.1 Ovlivnění elektrické pevnosti částečnými výboji v dutinách dielektrika.

Účinky částečných výbojů v dielektriku mohou být tepelné, elektrické, chemické a erozivní. [27]

2.3.1.1 Tepelné účinky

Následkem výbojů může být tepelná nestabilita, protože dochází k ohřívání dielektrika a s ním spojené klesání napětí tepelného průrazu [27].

2.3.1.2 Elektrické účinky

Dojde-li v dutině k vyvinutí oblouku, je zde určitá pravděpodobnost, že se vytvoří vodivá dráha. Dosahuje-li napětí dostatečných hodnot, může dojít k čistě elektrickému průrazu a v místě průrazu se vodivá dráha postupně šíří dielektrikem [27].

2.3.1.3 Chemické účinky

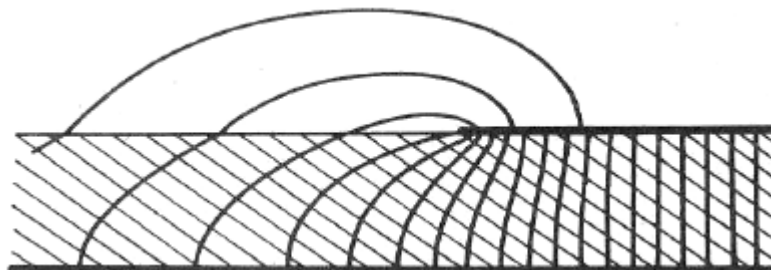
Tyto účinky vznikají, trvá-li elektrické namáhání delší dobu. Pokud tyto účinky způsobí produkty výbojů (ozón, oxid dusíku, vodík atd.), můžeme očekávat již výše zmíněný rozklad izolačního materiálu. Především u organických izolantů (ale i u jiných izolantů) byl zpozorován rozklad materiálu v okolí dutin. Je vysoce pravděpodobné, že produkty rozkladu budou difundovat do pevného dielektrika a vytvoří vodivější oblast nezanedbatelných rozměrů [27].

2.3.1.4 Erozivní účinky

Výboje v dielektriku pravděpodobně vyvolají erozi stěn dutiny. Postupuje-li eroze dále, může se z ní vyvinout čistě mechanický či elektrický průraz [27].

2.4 Klouzavé výboje

Jedná se o povrchový typ výboje, který se v praxi vyskytuje u klouzavých uspořádání. Klouzavé uspořádání lze nalézt například u průchodek, kabelových koncovek, u kondenzátorů, u výstupu vinutí z drážek atd. (Obrázek 13). Vznik klouzavého výboje je podmíněn tím, že velikost střídavého či impulzního napětí mezi elektrodami překročí danou velikost.

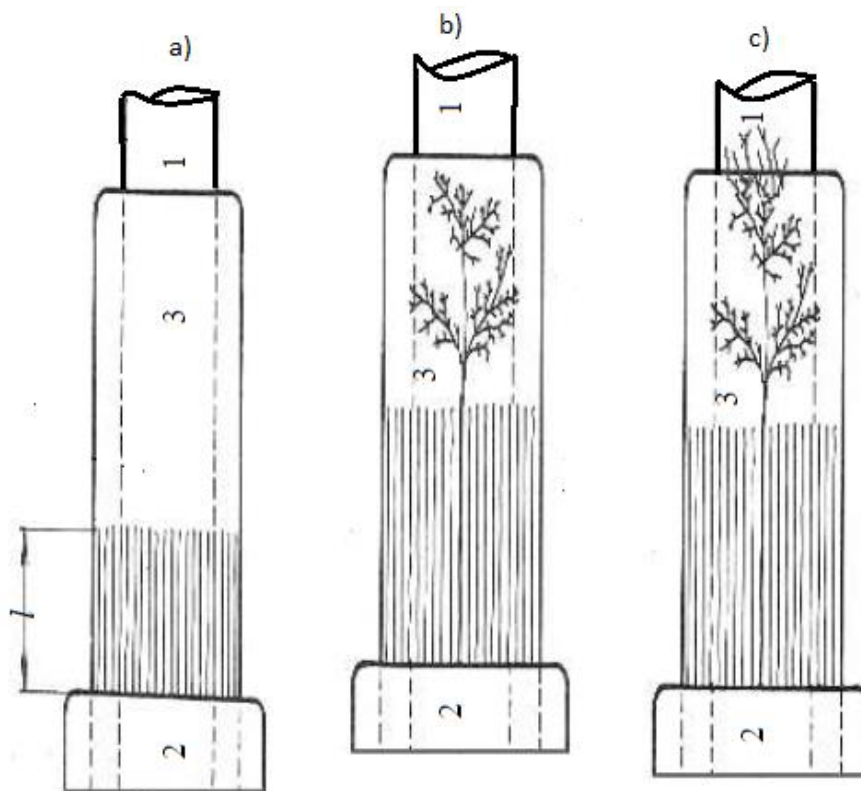


Obr. 13: Klouzavé uspořádání [27].

Na obrázku 14 sledujeme vznik klouzavých výbojů na průchodce ve vzduchu, což je typický případ klouzavého výboje. S rostoucím střídavým napětím mezi svorníkem a objímkou, se právě u objímky vytvoří slabě svítící výbojový prstenec, který je tvořen směsí korónového a trsového výboje. Napětí spojené se vznikem prstence je počáteční napětí koróny U_0 . Roste-li dále napětí, výboj se začne po povrchu izolační trubky prodlužovat a jeho tvar dosáhne podoby drobných slabě světélkujících vláken, přičemž každé vlákno vychází ze světélkujícího bodu na objímce. Toto nazýváme pásovým výbojem (Obrázek 14 a). Můžeme říci, že délka vláken při záporné polaritě je kratší než při polaritě kladné a světelnost je naopak při kladné polaritě menší než při záporné. Délka vláken se ovšem mění u obou případů přímo úměrně s rozdílem přiloženého napětí a počátečního napětí U_0 .

Přesáhne-li přiložené napětí danou kritickou hodnotu, vlákna začnou růst o poznání rychleji a některá z nich se mohou rozvinout celkem daleko. Na svém konci se vlákna rozvětvují ve stvol o modrobílé světélkující barvě. Tento jev nazýváme klouzavými stvoly (Obrázek 14 b). Klouzavé stvoly vznikají při počátečním napětí klouzavých stvolů U_s .

Zvyšuje-li se stále napětí poté klouzavé stvoly přejdou v klouzavé jiskry jejichž délka se rychle zvětšuje po překročení určité hodnoty napětí. Dosáhnou-li jiskry určité velikosti, dojde k přeskočení jiskry na svorník průchodky (Obrázek 14 c) [5] [27].



1-svorník; 2-objímka; 3-izolační trubka

Obr. 14: Druhy klouzavých výbojů na průchodce: a) pásový výboj; b) klouzavý stvol; c) klouzavé jiskry [5] [27].

2.4.1 Omezení klouzavých výbojů

Klouzavé výboje způsobují rychlé a značné zhoršení parametrů daného izolantu a tím snižují i dobu, po kterou je zařízení provozuschopné. Proto jsou tyto výboje v izolačních zařízeních nežádoucí a je tedy snaha o předcházení jejich vzniku. Zabránění vzniku klouzavého výboje se provádí nanesením speciálního polovodičového nátěru na technologické součásti nebo se využívají speciální pásy o určité vodivosti. U průchodek se lze setkat také s použitím různých tvarů žebrování. To se používá k prodloužení dráhy klouzavých výbojů. Tyto tvary tvoří jakousi překážku, která omezuje postup klouzavého výboje po povrchu izolantu [5].

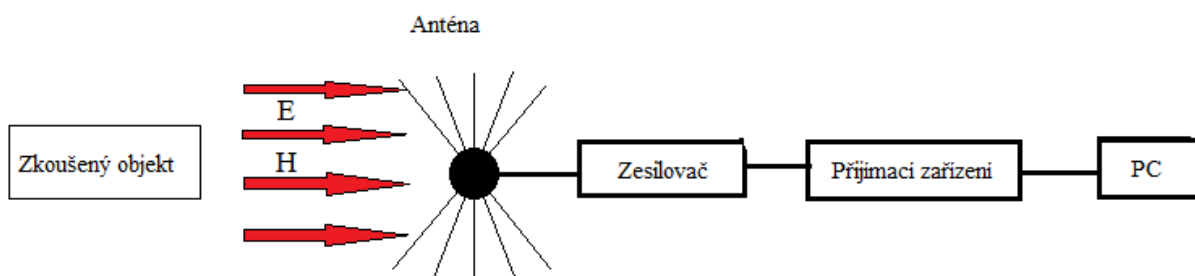
2.5 Kapacitní výboje na izolátorech

Kapacitní výboje vznikají na linkách VN a VVN (nejčastěji 22 kV a 35 kV), kde jsou častým zdrojem rušivých signálů. Tyto výboje upozorňují na možnou závadu na vedení. Mezi ně lze zařadit jiskření na proražených izolátorech, uvolněných či zoxidovaných svorkách, špatně uzemněných předmětech atd. Rušivé spektrum může být až v jednotkách MHz. Projevy rušení začínají od kmitočtu cirká 30MHz. Odrušení daného vedení je spojeno s velkými investicemi na úpravu. Omezení rušení se provádí tak, že se na straně příjmu musí zvolit vhodné umístění přijímací antény, jiný přijímaný signál atd. Místo vzniku kapacitního výboje se dá celkem dobře nalézt pomocí přijímače, který je schopen poslouchat v rozsahu VKV [20].

3 Metody pro měření koróny

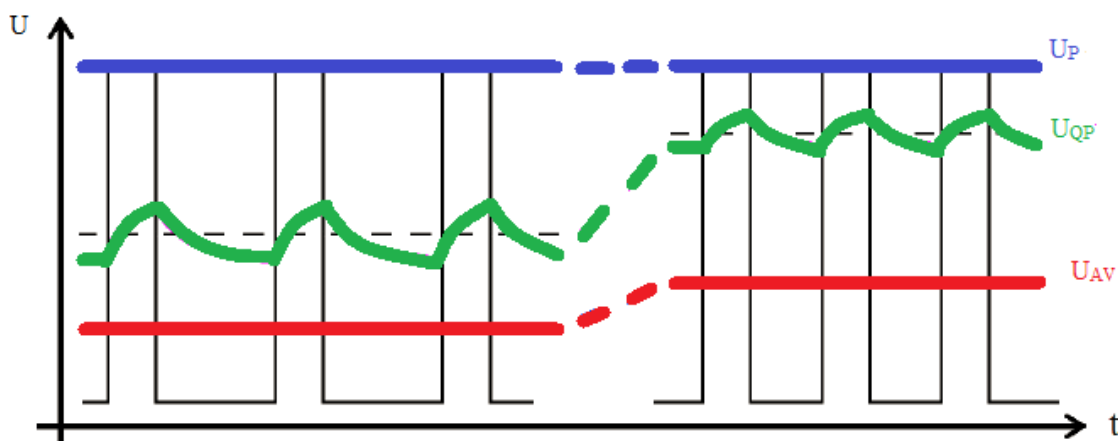
3.1 Měření vysokofrekvenčních signálů pomocí antén

Korónový výboj vyzařuje do okolního prostředí vysokofrekvenční signály. Tyto signály mohou způsobovat rušení, a to i ve velkých vzdálenostech od místa výboje. Antény použité při tomto typu měření toto rušení zachycují a přijímací zařízení, na které jsou antény napojeny, toto rušení vyhodnocuje. Aby byl signál zpracovatelný a zobrazitelný, musí se vhodně zvolit anténa a přijímací zařízení.



Obr. 15: Blokové schéma měření vysokofrekvenčního rušení.

Přijímací zařízení je buď mikrovoltmetr (měřicí přijímač) nebo spektrální analyzátor. Tato zařízení jsou vybavena několika detektory. Jsou to detektory hodnoty špičkové (peakové), kvazišpičkové (quasi-peakové) a střední (average). Viz Obrázek 16. Existují také detektory efektivní hodnoty, které však nemají v technice EMC význam.



Obr. 16: Srovnání různých druhů detektorů na signály s impulzní obdélíkovou obálkou.

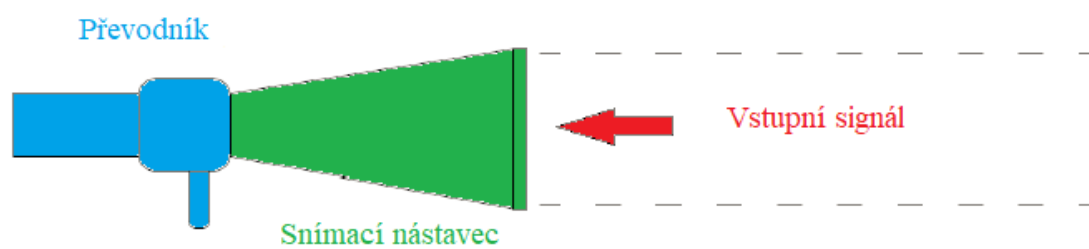
Špičková hodnota je rovna maximální velikosti vstupního napětí. Kvazišpičková hodnota nám udává velikost a četnost vstupních impulzů rušivého napětí. Střední hodnota je rovna aritmetické střední hodnotě obálky vstupního rušivého napětí.

Problémem je měření na otevřeném prostranství, jelikož zde není odstíněno rušení, jež produkují jiné vlivy (např. TV vysílače, rozhlas atd). Je tedy zapotřebí si před vlastním měřením proměřit celkové elektromagnetické pozadí měřicího stanoviště v požadovaném pásmu kmitočtů a uložit jej. Kde měřicí signál přesáhne signál, který vydává pozadí, tam lze určit velikost rušení. Naopak kde rušený signál nepřesáhne signál, který vydává pozadí, tam nelze určit rušivý signál. K zamezení přijímání vnějších rušivých signálů je proto doporučeno provádět tato měření v elektromagneticky stíněných komorách [8] [11] [24].

3.2 Měření zvukových projevů korónového výboje

Rušení způsobené korónovým výbojem v ultrazvukovém pásmu lze detekovat pomocí speciálních ultrazvukových detektorů, viz Obrázek 17. Ultrazvuková sonda odhaluje akustické projevy koróny o vysokých frekvencích a transformuje je na nižší pásma, která jsou pro lidi slyšitelná ve sluchátkách. Zvuk je tedy přiveden do sluchátek a je zde i možnost zobrazení intenzity daného signálu na displeji.

Korónový výboj je specifický svou frekvencí a intenzitou rušení. Zkušený pracovník by měl být schopen toto rušení celkem dobře rozeznat od rušení jiného původu. Pracovník většinou bývá v bezpečné vzdálenosti od zkoušeného objektu, což je jedna z výhod této metody.



Obr. 17: Zařízení sloužící k měření akustických projevů koróny [11].

Tato metoda má své uplatnění jak v laboratořích, tak i ve venkovních podmínkách. Při použití ve venkovních podmínkách je také výhodná v tom, že je zde možnost potlačení běžně slyšitelného zvuku [11] [24] [28].

3.3 Měření pomocí infračervené kamery a pomocí detektoru UV záření

Záření, které vyzařuje korónový výboj, má různé vlnové délky. Proto se lze setkat s různými typy zařízení pro měření tohoto výboje.

Intenzitu IR záření, tedy vyzářeného tepla, měří infračervené kamery. Tento typ detekce je vhodný v případě, pokud výboj dosahuje vyšších intenzit. Při malých intenzitách výboj vyzařuje celkem málo tepla. Tato technologie má ale celkem dost negativ. Hlavním problémem je obtížné rozlišení místa, které skutečně vyzařuje vyšší tepelnou emisi oproti místu, které se tak pouze tváří. Nelehké je také správné určení emisivity, eliminace odrazů atd.

Dražší, ale poměrně účinnější je měření výbojů pomocí detektorů, které detekují UV záření. Koróna vyzařuje mnohonásobně více UV záření než IR, a proto je tento způsob mnohem vhodnější [11] [17] [24] [25].

3.4 Metoda zkušební klece a zkušebního vedení

Toto měření probíhá v kleci (trubce) obklopující část měřeného vedení. Klec je uzemněná přes citlivý ampérmetr nebo wattmetr a detekuje proud korony, ze kterého se následně spočítají ztráty nebo přímo ztráty korunou. Díky tomu, že délka vedení umístěného v kleci je malá, dosahuje tato metoda značné nepřesnosti. Toto vedení, díky své délce, tedy nepředstavuje reálné dlouhé vedení. Vzhledem k této nepřesnosti se tato metoda spíše hodí k použití v laboratorních podmínkách [11] [24].

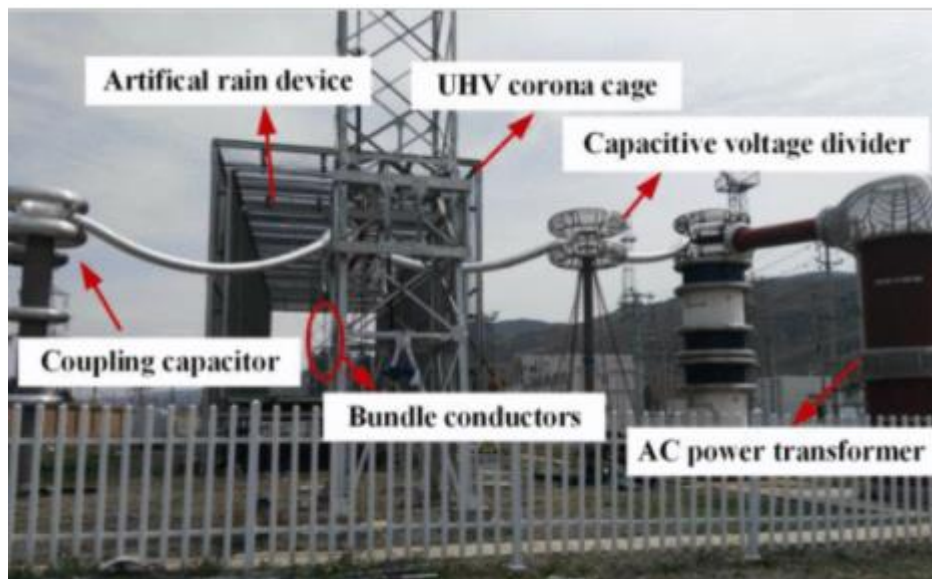
Pro zkoumání koróny se staví také zkušební vedení, která celkem dobře reprezentují reálná vedení. Tato vedení se realizují v různých provedeních (AC, DC) a dosahují různých délek (několik metrů až několik kilometrů). Frekvenční spektrum vysokofrekvenčního šumu u dlouhých přenosových vedení stejnoměrně klesá s rostoucí frekvencí. Toto ale neplatí u krátkých zkušebních vedení. Odraz vysokofrekvenčních proudů a napětí způsobí na konci vedení to, že se ve spektru objevuje zřetelné nehybné vlnění. Charakteristické pro toto spektrum jsou široké poklesy a ostré vrcholky. Podoba těchto poklesů a vrcholků závisí na délce vedení, způsobu zakončení a umístění měřícího bodu [6].

4 Současný výzkum korónového výboje

Nejnovější vědecké publikace zabývající se korónou popisují numerické modely koróny [15], či vliv koróny na přeskoky na povrchu izolátorů [23]. Článek, který mě nejvíce zaujal pro moji práci, pojednává o vlivu nadmořské výšky na rádiové rušení korónového výboje [19].

4.1 Výkon rádiového rušení svazkových vodičů HVAC ve vysokých nadmořských výškách

Tato studie se uskutečnila v Číně, protože v této zemi roste budování HVAC vedení z východu Číny na západ. Na západě se nacházejí mohutné hory, díky nimž se nelze vyhnout stavbě vedení ve velkých nadmořských výškách. Ve vysoké nadmořské výšce je nižší hustota vzduchu a dochází tedy k závažnějšímu korónovému výboji na povrchu vodiče. Rušení způsobené v těchto výškách je mnohonásobně vyšší než na vedeních, které se nacházejí v nižších polohách. V rámci výzkumu byla v roce 2015 postavena UHV korónová klec v nadmořské výšce 2261 m ve městě Xining. Prakticky totožná klec se nachází ve Wu-chanu v nadmořské výšce 23 m.



Obr. 18: UHV korónová klec (Xining) [19].

Měření velikosti rádiového rušení probíhalo v kleci za umělého deště, za použití osmnácti typů hliníkových, ocelí vyztužených svazkových vodičů. Průměr vodičů se pohyboval od 24,2 do 36,24 mm a počet vodičů ve svazku byl od 4 do 12. Experimentální uspořádání se skládalo z útlumového prvku chránícího zdroj napětí před vf rušením, dále z vysokonapěťového vazebního kondenzátoru, měřícího obvodu a přijímače

elektromagnetického rušení za použití quasi – peakového detektoru. Měřil se proud tekoucí klecí při frekvenci 0,5 MHz. Měřili se různé svazkové vodiče a intenzita pole na povrchu těchto vodičů. Při této studii by zjištěn vliv několika proměnných na výkon radiového rušení a na základě experimentálních výsledků byla odvozena excitační funkce radiového rušení pro použití ve vysokých nadmořských výškách.

$$\Gamma = 53,3 - \frac{445,9}{g_{max}} + 57,5 \cdot \lg d - 8,5 \cdot \lg n$$

$$\text{kde: } g_{max} = 8 - 20 \frac{kV}{cm}, n = 4 - 18 \text{ a } d = 2,42 - 3,62 \text{ cm}$$

Srovnání dat získaných ve vysoké nadmořské výšce s daty získanými v nízké nadmořské výšce ověřilo to, že hodnota korekce radiového rušení není konstantní, ale mění se s velikostí svazku a povrchovým elektrickým polem. K návrhu vedení ve vysokých nadmořských výškách by se tedy měl brát zřetel na vliv více proměnných, které zesilují radiové rušení a měly by být snaha o jejich omezení [19].

5 Návrh vhodného experimentu pro měření koróny

Experimentální měření jsem provedl ve VN laboratoři FEL ZČU. Vysokofrekvenční charakteristiky korónového výboje jsem zjišťoval pomocí antén na různých modelech vedení. Měření bylo provedeno na stejnosměrném vedení, a to pro kladnou a zápornou korónu. Vyzařované spektrum bylo vyhodnoceno pomocí analyzátoru signálu a počítače, který je vybaven potřebným softwarem.

5.1 Model vedení

Vlastní měření jsem provedl na pěti modelech vedení, jež bylo už použito pro předchozí diplomové práce. První dva modely jsou jednoduché vodiče o průměru 0,6 mm a 1,6 mm. Zbývající tři modely jsou svazkové vodiče konkrétně tedy dvousvazek, trojsvazek a šestisvazek.



Obr. 19: Model šestisvazkového vedení o průměru vodiče 0,5 mm.

Svazkové vodiče jsou vyrobeny z 0,5 mm tlustého vodiče a mezi jednotlivými vodiči je vzdálenost 1 cm. Délka modelových vedení je 120 cm. Modely jsou upevněny v

izolátorech ve výšce 17 cm nad měděnou deskou. Pro přívod napětí ze stejnosměrného zdroje byl použit trubkový vodič o tloušťce 2,6 cm.

5.2 Použité antény

První anténou použitou v mém experimentu je aktivní smyčková anténa R & S®HFH2-Z2E. Tato širokopásmová anténa měří složky intenzity magnetického pole v širokém frekvenčním rozsahu. V experimentu jsem měřil intenzitu magnetického pole H [dB μ A/m] ve frekvenčním rozsahu 9 kHz až 30 MHz.

Specifikace: R & S®HFH2-Z2E	
Frekvenční rozsah	9 kHz až 30 MHz
Polarizace	Lineární
Jmenovitá impedance	50 Ω
Anténní konektor	N samice (female)

Tab. 4: Technické specifikace smyčkové antény udávané výrobcem.

Pro měření intenzity elektrického pole ve frekvenčním rozsahu 30 až 200 MHz jsem použil bikónickou anténu PMM BC-01. Intenzita elektrického pole E je udaná v jednotce dB μ V/m.

Specifikace: PMM BC-01	
Frekvenční rozsah	30 až 200 MHz
Jmenovitá impedance	50 Ω
Anténní konektor	N samice (female)
Anténní faktor	8/14 dB typ@10 m
Maximální příkon	100 W

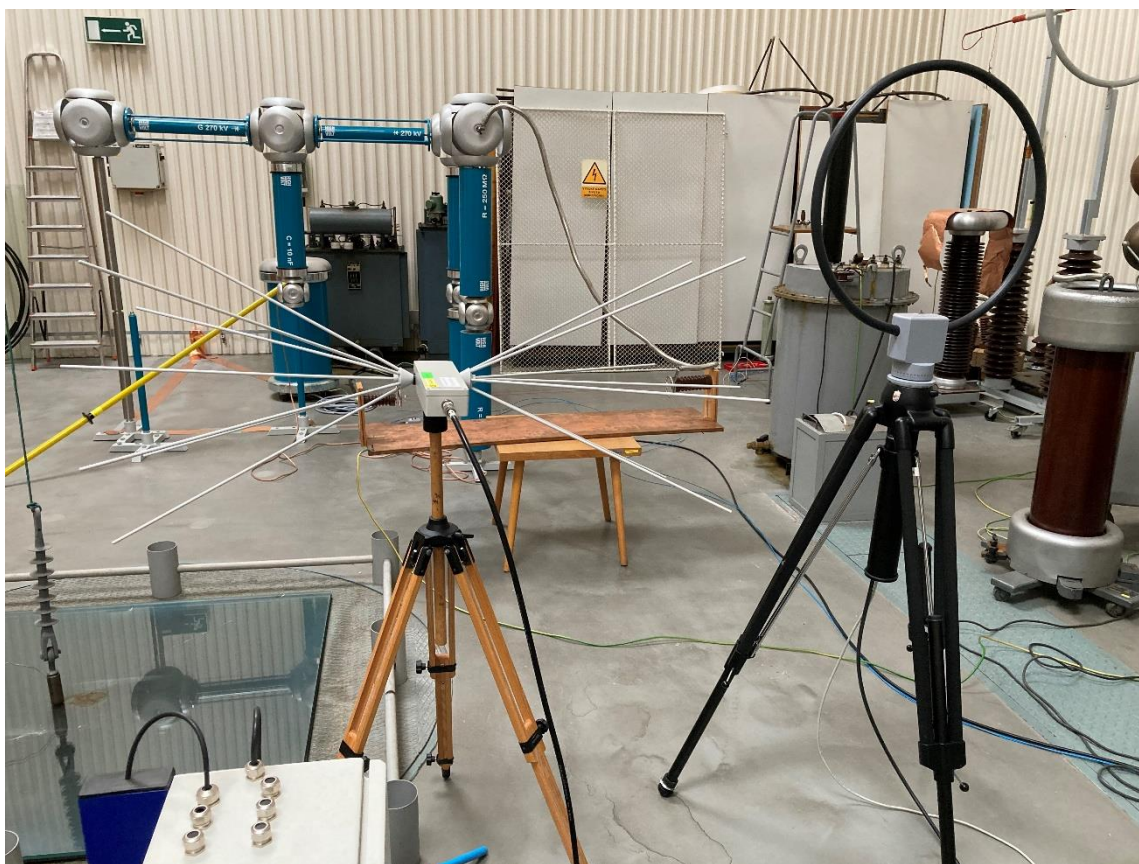
Tab. 5: Technické specifikace bikónické antény udávané výrobcem.

Třetí použitou anténou pro měření elektrického pole je logaritmicke-periodická anténa PMM LP-02. Touto anténou jsem realizoval měření ve frekvenčním rozsahu 200 MHz až 1 GHz.

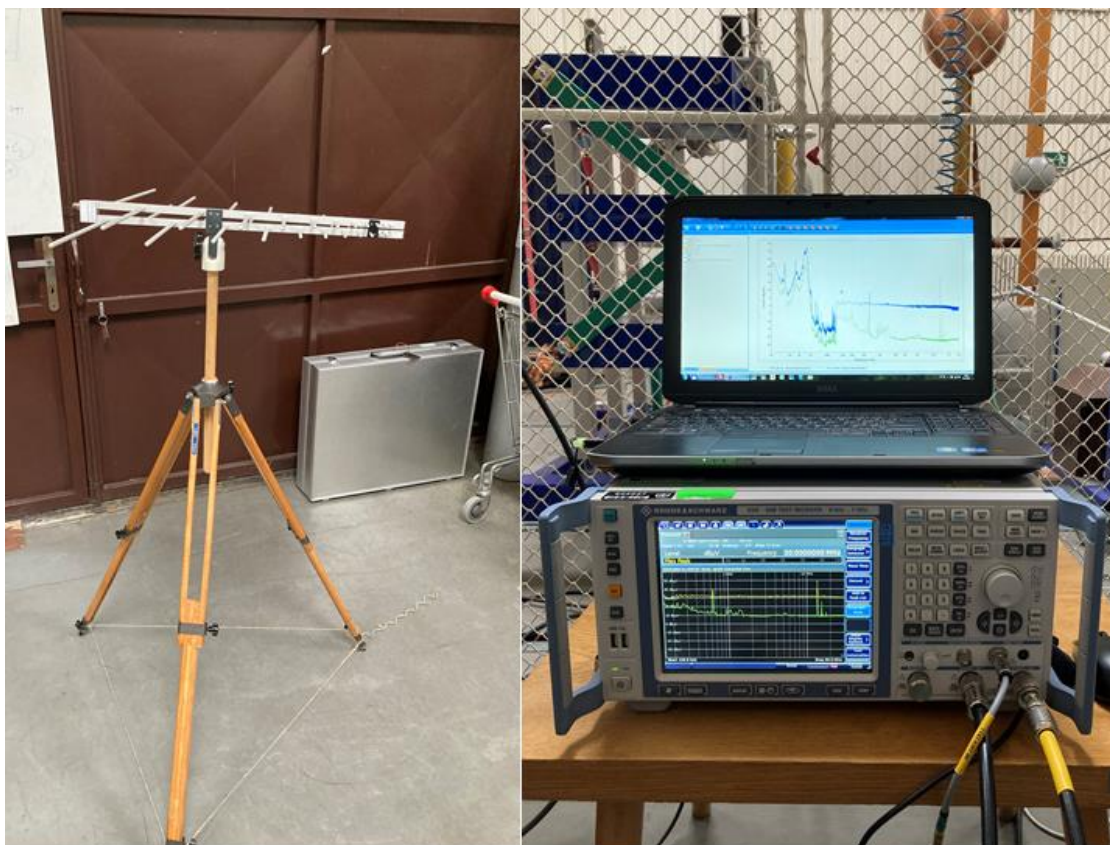
Jak později uvidíte, korónový výboj na mém modelu vedení nevykazoval žádné znatelné rušení v tomto frekvenčním pásmu a z tohoto důvodu byla tato anténa z měření odstraněna.

Specifikace: PMM LP-02	
Frekvenční rozsah	200 MHz až 3 GHz
Jmenovitá impedance	50 Ω
Anténní konektor	N samice (female)
Anténní faktor	13/36 dB typově
Maximální příkon	100 W do 1 GHz 50 W do 3 GHz
Zisk antény	6 dB typově

Tab. 6: Technické specifikace logaritmicko-periodické antény udávané výrobcem.



Obr. 20: Rozestavení antén v našem experimentu. Bikónická anténa umístěna vlevo a vpravo se nachází anténa smyčková.



Obr. 21: Logaritmicko-periodická anténa (vlevo). Měřicí přijímač a počítač s řídicím softwarem (vpravo).

5.3 Měřicí přijímač

Pro měření byl použit testovací přijímač R&S®ESR7 EMI viz Obrázek 20. Frekvenční rozsah tohoto typu přístroje je 9kHz až 7 GHz. Použil jsem detektory špičkové a kvazišpičkové hodnoty. Antény jsou k tomuto přijímači připojeny pomocí koaxiálních kabelů.

5.4 Zdroj stejnosměrného napětí

Jako zdroj stejnosměrného napětí byl použit testovací systém stejnosměrného, střídavého a impulzního napětí od společnosti High Volt GBS (two-stage) viz Obrázek 21. Tento testovací systém je schopný generovat až 13mA/270 kV DC a 50 kV AC.



Obr. 23: Testovací zdroj stejnosměrného napětí High Volt.

Zdrojové napětí bylo měřeno pomocí špičkového AC/DC voltmetru MU 17 od společnosti High Volt viz obrázek 22.

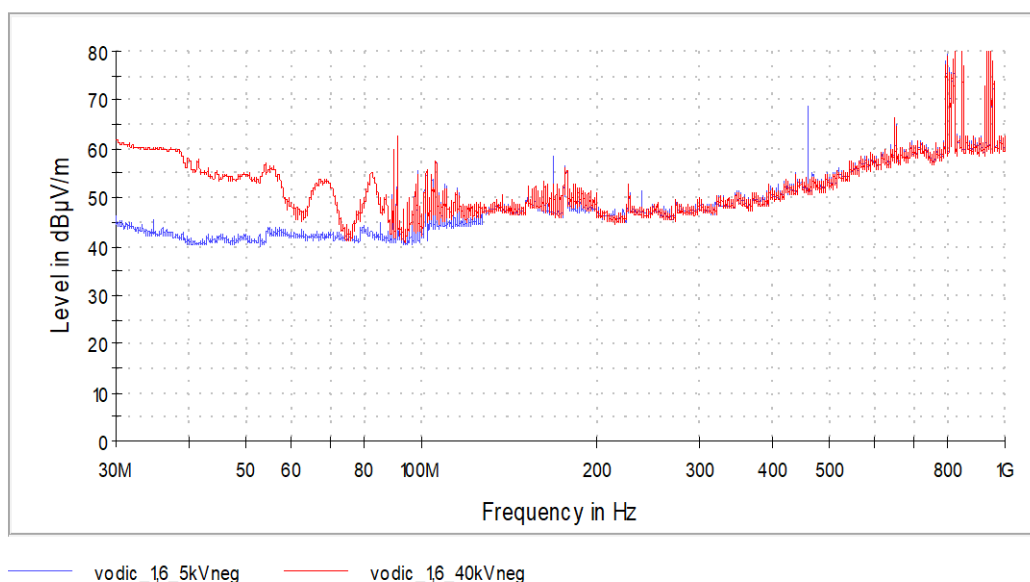


Obr. 22: AC/DC špičkový voltmetr MU17 High Volt.

5.5 Vysokofrekvenční charakteristiky

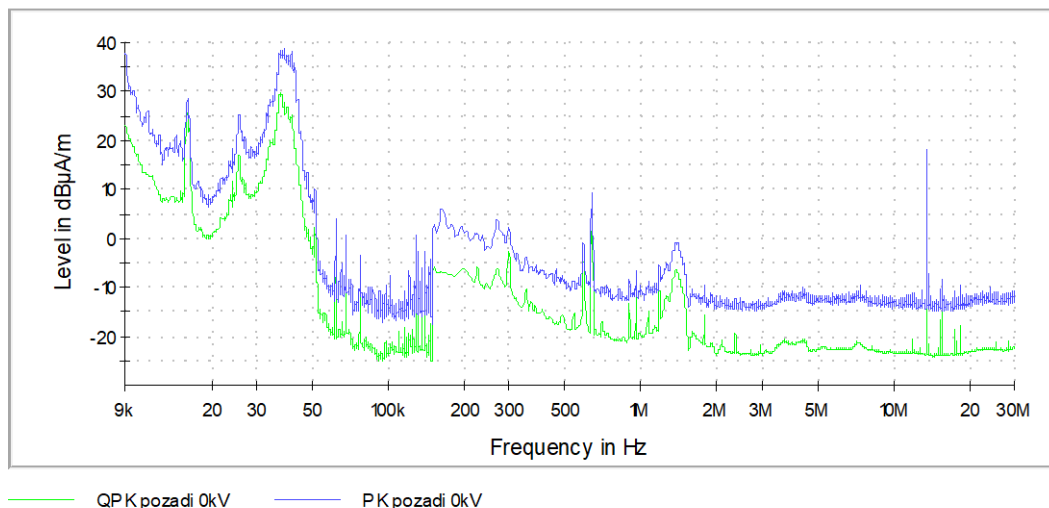
Měření VF charakteristik jsem provedl ve frekvenčním pásmu od 9kHz do 200 MHz, a to na všech pěti modelech vedení (viz přílohy). Vzhledem k obtížnosti určení zapalovacího napětí koróny jsem toto napětí odhadnul dle akustických projevů výboje, které lze slyšet chvíli po zapálení. VF charakteristiky jsem změřil pro kladnou i zápornou korónu.

Na prvním obrázku (Obrázek 24) lze vidět, že způsobené rušení se projevuje primárně ve frekvenčním spektru 30 MHz – 200 MHz. Nad hodnotou 200MHz jsem nebyl schopen určit rušení, které by přesahovalo záznam pozadí. Na základě tohoto poznatku byla (pro lepší výsledky) z měření vyloučena logaritmicke-periodická anténa a měření proběhlo pouze pomocí bikónické antény ve výše zmíněném frekvenčním spektru.

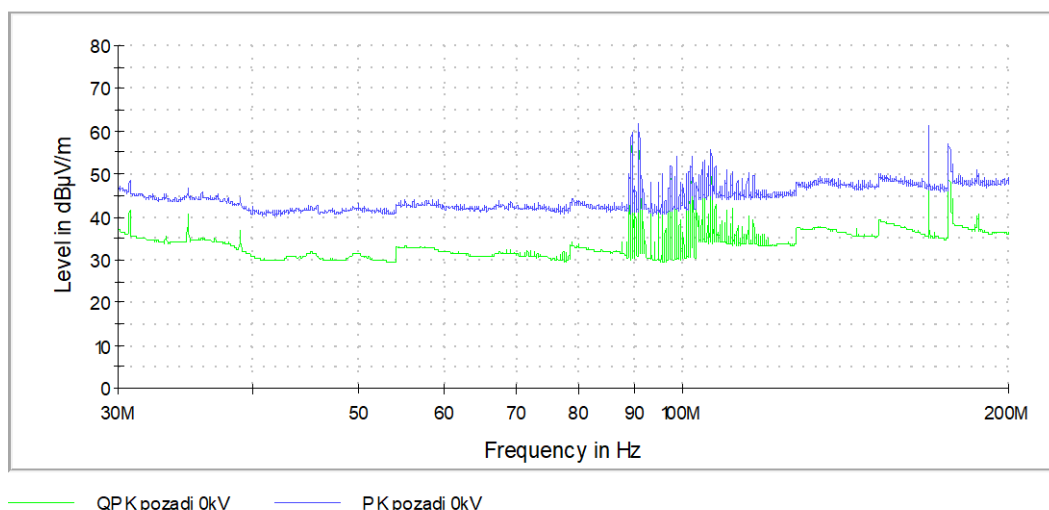


Obr. 24: Porovnání vf rušení před vznikem záporné koróny a po jejím vzniku na jednoduchém vodiči 1,6mm.

Bylo také zapotřebí změřit si frekvenční spektrum pozadí v laboratoři. Toto frekvenční spektrum posloužilo jako referenční hodnota pro identifikaci rušení, které způsobil korónový výboj. Frekvenční spektrum bylo měřeno bez napětí. V našem případě se však pozadí vzhledem k umístění laboratoře a okolnostem při různých měřeních měnilo, což komplikovalo zaznamenávání dat.

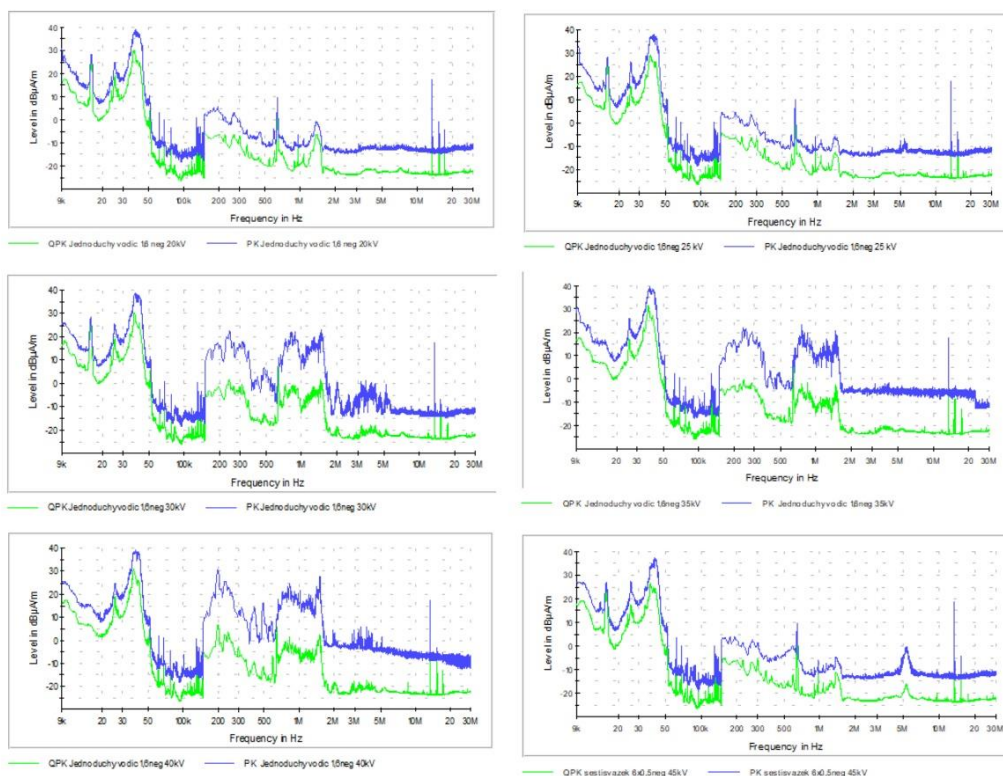


Obr. 25: Frekvenční spektrum pozadí (9 kHz–30 MHz).

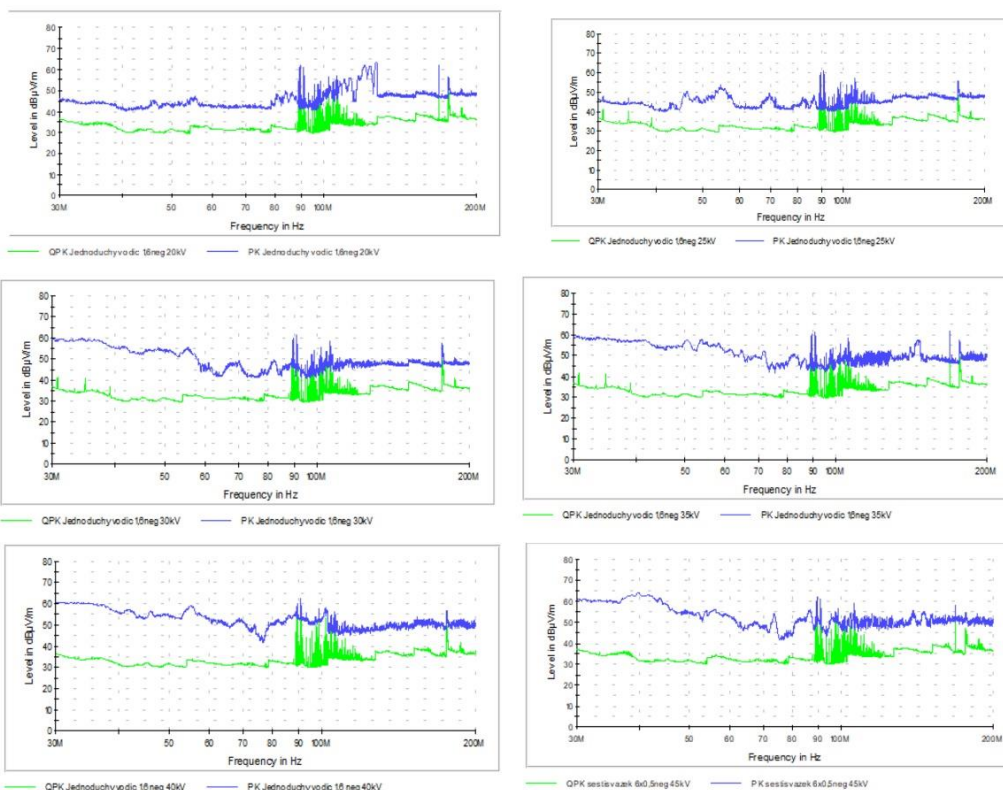


Obr. 26: Frekvenční spektrum pozadí (30 MHz–200 MHz).

Na obrázcích 27 a 28 lze sledovat srovnání quasi-peakového a peakového detektoru na jednoduchém vodiči 1,6 mm při záporné koróně na napěťových hladinách 20, 25, 30, 35 a 40 kV a na šestisvazkovém vodiči (vpravo dole) při nejvyšším měřeném napětí (45kV). Lze vidět, že quasi-peaková křivka takřka kopíruje křivku peakovou s tím rozdílem, že dosahuje nižších hodnot, což je v souladu s fyzikálním principem těchto detektorů, které jsou popsány v kapitole 3.1. Na dalších spektrech uvidíme, že koróna se projevuje převážně na peakovém detektoru, což je způsobeno tím, že koróna má impulzní charakter.



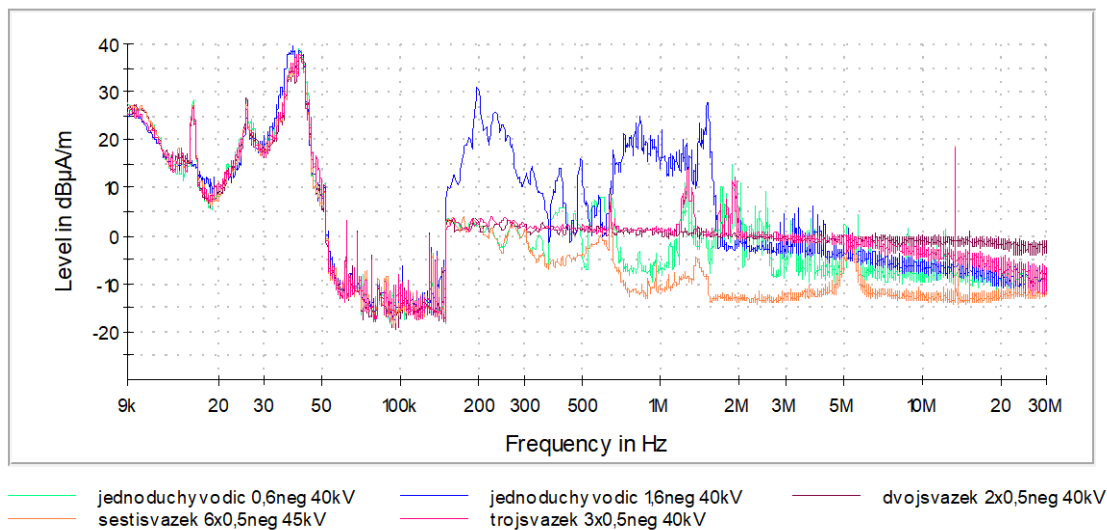
Obr. 27: Srovnání quasi-peakového (zelená) a peakového (modrá) detektoru (9 kHz–30 MHz).



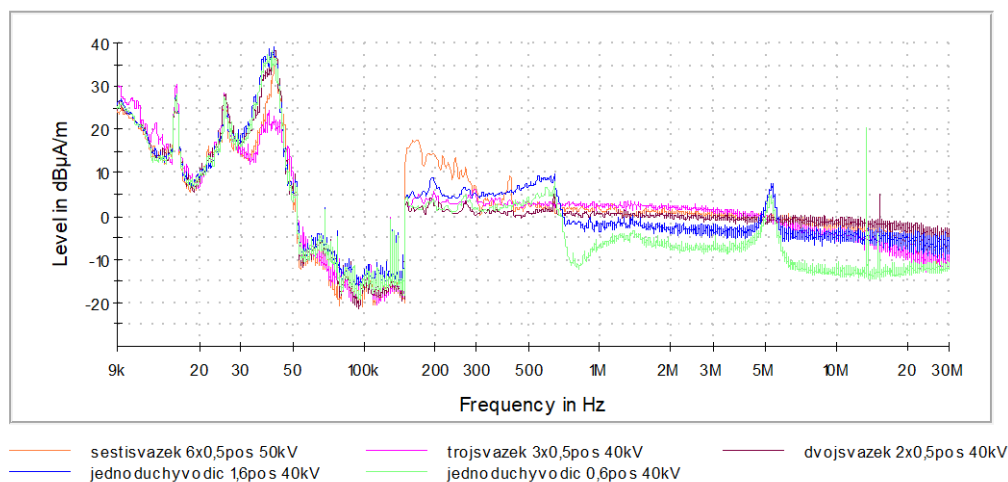
Obr. 28: Srovnání quasi-peakového (zelená) a peakového (modrá) detektoru (30 MHz–200 MHz).

Na obrázcích níže je porovnání jednotlivých vodičů, na kterých bylo rušení korónou měřeno. Měření probíhalo pro kladnou i zápornou korónu. Vf charakteristiky na obrázcích jsou zobrazeny při napětí, při kterém se korónový výboj plně projevoval jak akusticky, tak i rušením. Na charakteristikách jsou zobrazeny všechny modely při napětí 40 kV až na model šestisvazkového vedení které je zobrazeno při napětí 45 kV. Důvod použití vyššího napětí při demonstraci výsledků je ten, že při použití svazkových vodičů koróna zapaluje při vyšších hodnotách.

Na prvních dvou obrázcích je zobrazeno frekvenční pásmo 9kHz–30MHz měřené pomocí smyčkové antény, která snímá magnetické pole. Lze vidět, že svazkové vodiče v obou případech vykazují téměř totožné rušení. Rušení způsobené jednoduchými vodiči se při kladné koróně velice podobá rušení, které způsobují vodiče svazkové. Při záporné koróně lze vidět výrazné rušení na jednoduchém vodiči 1,6 mm. Jednoduchý vodič 1,6 mm vykazoval velké rušení i na nižších napěťových hladinách a díky tomu lze tvrdit že tento vodič způsobuje ze všech měřených modelů největší rušení. Na obrázku 30 je vidět že rušení pro model se šestisvazkovým vedením na kladné koróně mezi 200–300kHz dosahuje vcelku velkých hodnot, což bych přisoudil jinému zdroji rušení.

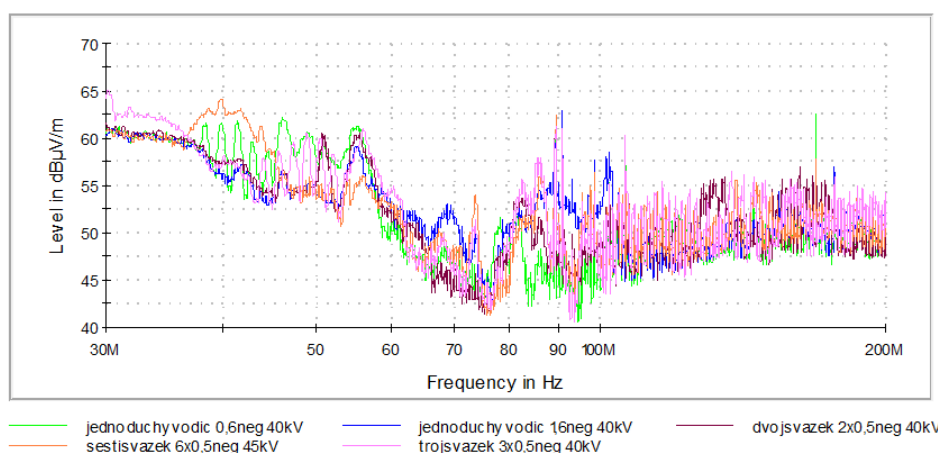


Obr. 29: Srovnání jednotlivých modelů vedení při záporné koróně (9kHz-30MHz).



Obr. 30: Srovnání jednotlivých modelů při kladné koróně (9kHz–30kHz).

Na obrázcích 31 a 32 je zobrazeno frekvenční spektrum 30MHz–200MHz, které bylo měřeno pomocí bikónické antény snímající elektrické pole

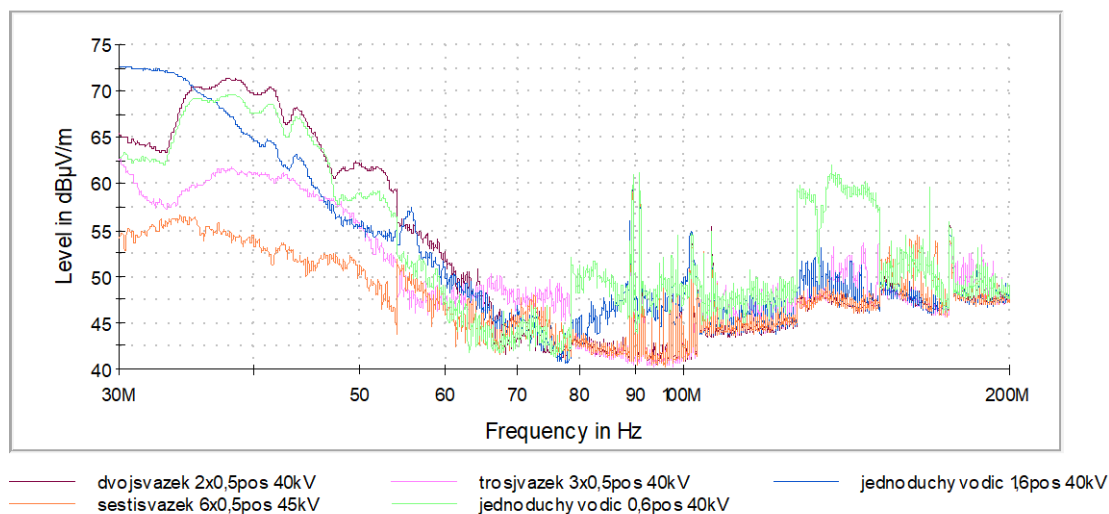


Obr. 31: Srovnání jednotlivých modelů vedení při záporné koróně (30MHz–200MHz).

Na obrázku 31 je zobrazeno frekvenční spektrum modelů vedení při záporné koróně. Lze vidět, že při rušení se výhradně projevuje od 30MHz do cca 100MHz. Dle teoretických předpokladů by největší rušení měl vykazovat jednoduchý vodič o průměru 0,6mm a lze u něj vidět, hlavně v levé části charakteristiky, znatelné rušení. Naopak s použitím svazkových vodičů by se rušení mělo zmenšovat, což se u některých potvrdilo. U jiných je ale rušení vyšší (např. u trojsvazku nebo šestisvazku) a je v počátcích spektra vcelku znatelné. Tuto odchylku bych ovšem přisuzoval opět cizím zdrojům rušení, či jiné výbojové činnosti, která mohla vzniknout na daném modelu vedení.

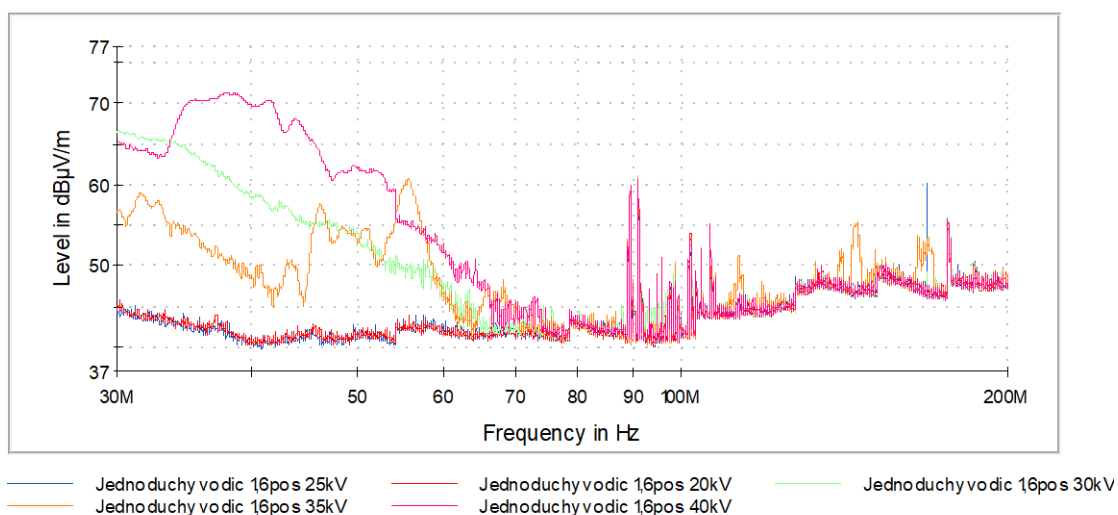
Při porovnání obrázku 31 a 32 vidíme, že rušení způsobené modely při kladné koróně je vyšší než u koróny záporné. To je způsobeno tím, že kladná koróna se ukazuje jako nestabilní výboj pulzního charakteru. Můžeme vidět, že největší rušení vykazují

jednoduché vodiče a dvojsvazek. Dle očekávání je rušení u trojsvazkového a šestisvazkového modelu vedení nižší.



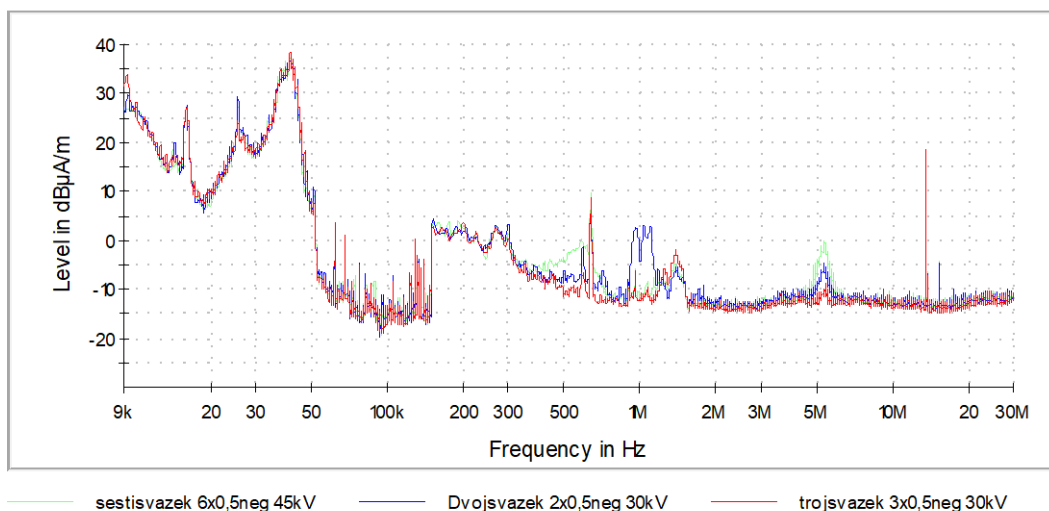
Obr. 32: Srovnání jednotlivých modelů vedení při kladné koróně (30MHz-200MHz).

Na dalším obrázku (Obrázek 33) je zobrazeno spektrum 30MHz – 200MHz pro jednoduchý vodič 1,6mm při pěti napěťových hladinách. Zapalovací napětí koróny na tomto vodiči je zhruba 30kV. Okolo této hodnoty vidíme vyšší rušení než při hodnotě napětí 35 kV. Tímto obrázkem chci demonstrovat to, že rušení okolo zapalovacího napětí je vyšší proto, že výboj je zde méně stabilní (zhasíná, zapaluje).

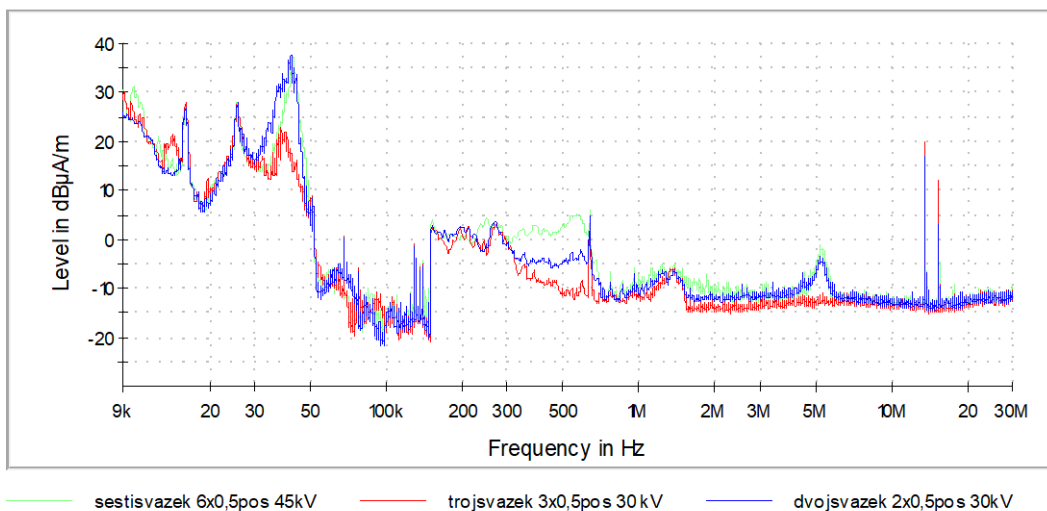


Obr. 33: Jednoduchý vodič při různých hladinách napětí (kladná koróna).

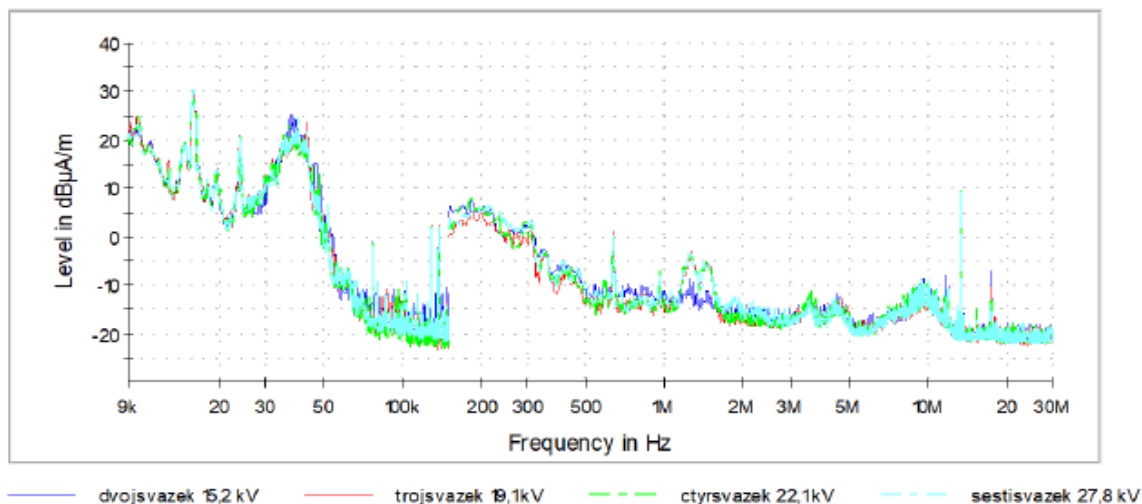
Dále lze porovnat rušení korónou na střídavém a stejnosměrném vedení. V plánu měření bylo změřit korónu i na střídavém napětí, ale vzhledem k poruše zdroje byly použity výsledky měření z jiné diplomové práce. Na prvním třech obrázcích lze vidět pouze nepatrné změny. Při měření magnetického pole smyčkovou anténou je rušení způsobené korónou ve spektru od 9kHz do 30MHz takřka stejné pro všechny tři níže zobrazené případy.



Obr. 34: Svazkové vodiče při záporném stejnosměrném napětí (9kHz–30MHz).

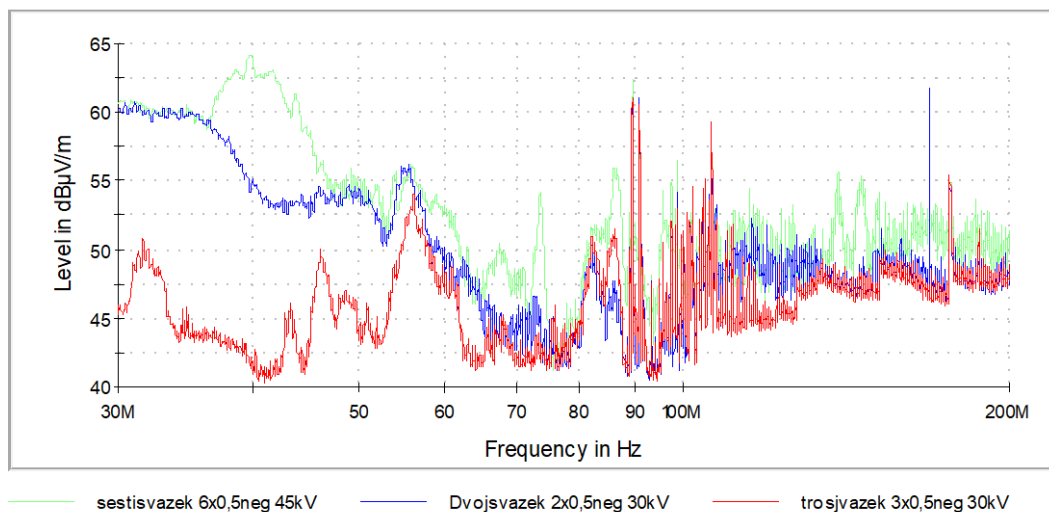


Obr. 35: Svazkové vodiče při kladném stejnosměrném napětí (9kHz – 30MHz).

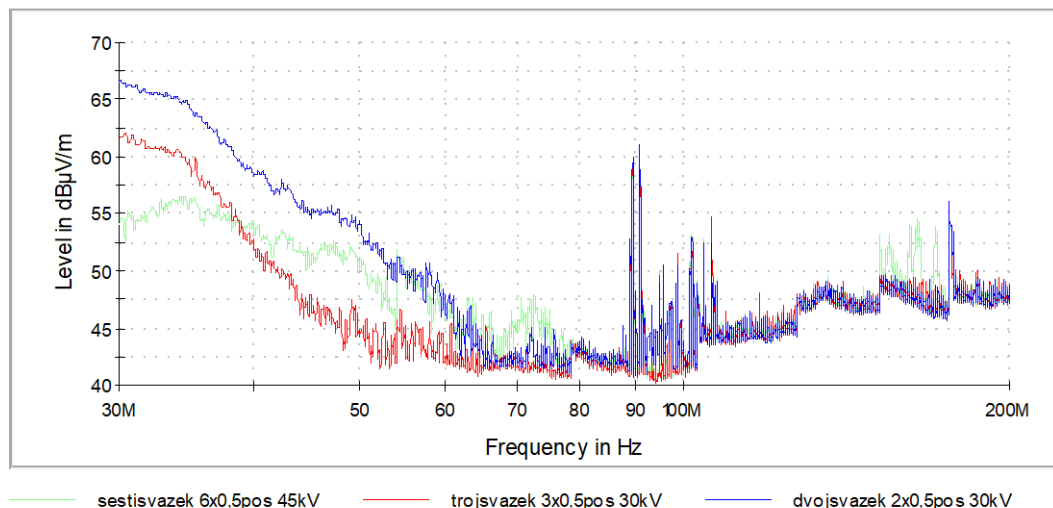


Obr. 36: Svazkové vodiče při střídavém napětí (9kHz – 30MHz) [24]

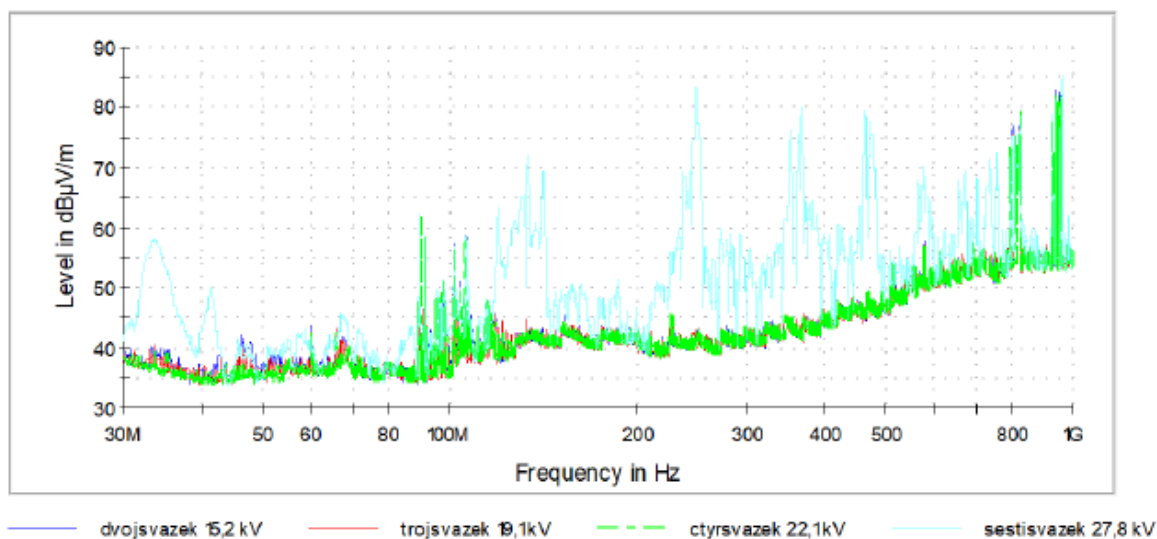
Průběh rušení způsobeném korónou na střídavém napětí (Obrázek 39) je měřen ve spektru 30 MHz–1 GHz. Při měření na stejnosměrném vedení bylo měřeno pouze do 200 MHz, protože na vyšších frekvencích koróna nezpůsobovala podstatné rušení. Dvojsvazek a trojsvazek způsobuje na stejnosměrném vedení v levé části spektra vyšší rušení než na střídavém. Pro šestisvazek je způsobené rušení v této oblasti téměř srovnatelné. Lze říci, že na střídavém vedení dosahuje celkové rušení větších hodnot než u vedení stejnosměrného a ruší na vyšších frekvencích.



Obr. 37: Svazkové vodiče při záporném stejnosměrném napětí (30 MHz–200MHz)



Obr. 39: Svazkové vodiče při kladném stejnosměrném napětí (30 MHz–200MHz).



Obr. 38: Svazkové vodiče při střídavém napětí (200 MHz–1 GHz) [24].

Je důležité zmínit i to, že měření jedné VF charakteristiky probíhalo nějaký čas, spektrum bylo tedy snímáno kontinuálně. Při měření jsem sledoval průběh na měřicím přijímači a čekal jsem, až se objeví průběh, který bude dostatečně prokazatelný a s co možná nejmenším vnějším rušením. Během měření se náhodné rušení objevovalo vcelku často a bylo tedy obtížné i časově náročné zaznamenat prokazatelné výsledky.

Závěr

Cílem diplomové práce bylo změření vysokofrekvenčních charakteristik korónového výboje na různých modelech stejnosměrného vedení. Měření probíhalo v laboratoři FEL ZČU za použití smyčkové antény pro měření magnetického pole (9 kHz–30 MHz) a pro měření elektrického pole byla použita bikónická anténa (30 MHz–200 MHz) a logaritmicke-periodická anténa (200 MHz–1 GHz), která však byla později z měření vyřazena (viz. Obrázek 24). Antény byly připojeny na měřicí přijímač, který vyhodnocoval vrcholovou a kvazivrcholovou hodnotu příchozího rušení. Měření probíhalo tím způsobem, že jsem nastavil určitou hodnotu napětí na jednom z pěti modelů vedení (2x jednoduchý vodič, dvousvazek, trojsvazek a šestisvazek) a hledal jsem průběh, který by prokazatelně ukazoval rušení způsobené korónovým výbojem. Zapalovací napětí jsem (vzhledem k obtížnosti jeho určení) odhadl podle akustického projevu výboje. Plánem bylo změřit si i vlastní vysokofrekvenční charakteristiky na střídavém modelu vedení, jenže v laboratoři došlo k poruše zdroje, takže jsem pro porovnání musel použít charakteristiky z jiné diplomové práce.

Při analýze různých frekvenčních spekter jsem došel k tomu, že koróna se na stejnosměrném vedení projevuje převážně na vrcholovém detektoru, dosahuje tedy velkých hodnot. Při zvyšujícím se napětí tedy roste energie korónových výbojů, ale nemění se příliš jejich četnost. Porovnával jsem převážně průběhy vrcholových hodnot rušení, nicméně i kvazi-vrcholové záznamy uvádím v příloze DP. Porovnáme-li velikost rušení při kladné a záporné koróně, tak lze říct, že rušení způsobené kladnou korónou je vyšší. Ukázalo se tedy, že kladná koróna je nestabilní výboj pulzního charakteru. Při porovnání rušení jednotlivých vodičů na frekvenčním spektru 9 kHz–30 MHz se ukázalo, že svazkové vodiče vykazují pro kladnou i zápornou korónu téměř identický průběh. Největší rušení na tomto spektru vykazoval jednoduchý vodič 1,6 mm, a to i při nižších napěťových hladinách. Na frekvenčním spektru 30 MHz–200 MHz (kladná i záporná koróna) se výboje nejvíce projevily na jednoduchém vodiči 0,6mm. Při použití svazkových vodičů docházelo převážně k poklesu hodnoty rušení. Vzhledem k nedokonalému prostředí v laboratoři se v měření často projevily cizí zdroje rušení což mnohokrát znemožňovalo zaznamenat prokazatelný průběh. Tyto zdroje rušení způsobují různé odchylky v mých frekvenčních spektrech. Při porovnání všech frekvenčních spekter jsem došel k závěru, že rušení způsobené korónovým výboje na modelech stejnosměrného vedení dosahuje nejvyšších hodnot ve frekvenčním pásmu

30 MHz–100 MHz a může tedy docházet k rušení rádiových signálů. Toto rušení se dá nasazováním svazkových vodičů postupně eliminovat. Televizní vysílání, mobilní sítě aj. by neměly být tímto výbojem rušeny, jelikož jsou provozovány na vyšších frekvenčních pásmech. Prokazatelné hodnoty rušení jsem začal zaznamenávat už zhruba od hodnoty 150 kHz. Avšak v tomto frekvenčním pásmu by rušení nemělo způsobovat žádné závažnější problémy.

Porovnáme-li rušení způsobené korónou na stejnosměrném a střídavém vedení, tak lze tvrdit, že rušení na střídavém vedení dosahuje větších hodnot a generuje rušení i na vyšších frekvencích než koróna na stejnosměrném vedení.

V současné době probíhají různá matematická modelování koróny (např. [7]) a výsledky z této diplomové práce mohou pomoci zpřesnit tyto matematické modely.

Seznam literatury a informačních zdrojů

- [1] AFTANAS, Milan. *Elektrický proud v plynech* [online]. Dostupné z: <https://physics.mff.cuni.cz/kfpp/s4r/plazma/?p=3>
- [2] AJGLOVÁ, Lenka. *Dielektrické vlastnosti vzduchu v nehomogenním poli*. Plzeň, 2016. Diplomová práce. Západočeská univerzita v Plzni.
- [3] BEHRÍK, Vojtěch. *Průrazné napětí izolačního média v závislosti na tlaku*. Plzeň, 2014. Diplomová práce. Západočeská univerzita v Plzni.
- [4] ČERNÁ, Kateřina. *Charakteristiky koróny na vysokonapěťových zařízeních*. Plzeň, 2015. Diplomová práce. Západočeská univerzita v Plzni.
- [5] ČÍŽEK, Lukáš. *Výboje – teorie a praxe v technice vn zařízeních*. Plzeň, 2010. Bakalářská práce. Západočeská univerzita v Plzni.
- [6] ČSN CISPR 18-1: *Charakteristiky rušení od venkovních vedení a zařízení vysokého napětí: Část 1: Popis jevů*. Český normalizační institut, Únor 1995.
- [7] *Distortion phenomena on transmission lines using corona modeling ATP/EMTP* [online]. [cit. 2018-19-04]. Dostupné z: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8341628>
- [8] DŘINOVSKÝ Jiří; FRÝZA Tomáš; RŮŽEK Václav; ZACHAR Jiří. *Elektromagnetická kompatibilita* [online]. [ver. 10.6.2017]. Dostupné z: http://www.urel.feec.vutbr.cz/~drinovsky/?V%26yacute%3Buka:Elektromagnetick%26acute%3B_kompatibilita:KEMC_Elektromagnetick%26acute%3B_kompatibilita
- [9] FABŠIC, Jiří. *Částečné výboje v plynném izolantu*. Plzeň, 2014. Diplomová práce. Západočeská univerzita v Plzni.
- [10] JEŘÁBEK, Martin. *Elektrické charakteristiky klouzavého výboje*. Brno, 2010. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně.

- [11] KLIER, Milan. Výzkum koróny na přenosových vedeních. Plzeň, 2017. Diplomová práce. Západočeská univerzita v Plzni.
- [12] KOJAN, Radek. *Návrh zařízení pro simulaci akustických projevů výbojové činnosti*. Plzeň, 2013. Bakalářská práce. Západočeská univerzita v Plzni.
- [13] MAJLING, Eduard. *HVDC – Stejnosměrný přenos elektrické energie* [online]. [cit. 2017-08-16]. Dostupné z: <https://oenergetice.cz/technologie/hvdc-stejnosmerny-prenos-elektricke-energie>
- [14] MALÍK, Miroslav. *Elektrická pevnost vzduchu při impulzním napětovém namáhání*. Plzeň, 2016. Diplomová práce. Západočeská univerzita v Plzni.
- [15] *Numerical analysis and experiment of corona discharge due to conductive particle in high-voltage systém* [online]. [cit. 2017-12-14]. Dostupné z: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8188945>
- [16] PALKO, Radek. *Teoretický rozbor elektrického průrazu*. Plzeň, 2012. Diplomová práce. Západočeská univerzita v Plzni.
- [17] Practical Issues for Effective Aerial Patrols of Overhead Lines. INMR Transmission and Distribution Magazine [online]. [cit. 2018-03-19]. Dostupné z: <http://www.inmr.com/practical-issues-effective-aerial-patrols-overhead-lines-2>
- [18] PROCHÁZKA, Petr. *Protikorónová ochrana napájecího vodiče v laboratoři VN*. Plzeň, 2012. Diplomová práce. Západočeská univerzita v Plzni.
- [19] *Radio Interference Performance of HVAC Conductor Bundles at High-Altitude Location: Measured Data Analysis and Altitude Correction* [online]. [cit. 2018-10-05]. Dostupné z: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8103036>
- [20] *Rušení a odrušení* [online]. Dostupné z: <http://elnika.sweb.cz/radia/ruseni.html>
- [21] *Složení atmosférického vzduchu* [online]. Dostupné z: <https://www.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/74-slozeni-atmosferickeho-vzduchu>
- [22] ŠEBEK, Radoslav. *Elektromagnetické emise korónového výboje*. Plzeň, 2011. Diplomová práce. Západočeská univerzita v Plzni.

- [23] *The Study of Surface Flashover Affected by Corona Discharging via Non-invasive Surface Potential Measurement* [online]. [cit. 2021-01-08]. Dostupné z: <https://ieeexplore.ieee.org/document/9275671>
- [24] TOMEČEK, Jakub. *Vysokofrekvenční charakteristika korónového výboje*. Plzeň, 2018. Diplomová práce. Západočeská univerzita v Plzni.
- [25] *Ultraviolet (UV) Corona Detection Services offered through Infrared Predictive Surveys, Inc. Infrared Predictive Surveys Incorporated* [online]. [cit. 2017-05-10]. Dostupné z: <http://www.infraredpsi.com/uvinspect.php>
- [26] VAŠÍČEK, Michal. *Diagnostika elektrických výbojů v kapalinách*. Brno, 2012. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně.
- [27] VEVERKA, Antonín. *Technika vysokých napětí*. Vydání třetí, přepracované. Praha: SNTL/ALFA, 1982.
- [28] WSZOŁEK, Tadeusz. *Noise Indicators for Corona Acoustic Signal from Power Lines – Estimation in Intensified Interference Conditions. Archives of Acoustics* [online]. [cit. 2018-03-19]. Dostupné z: <http://acoustics.ippt.gov.pl/index.php/aa/article/view/565/496>
- [29] *Zářivá ionizace* [online]. [cit. 4.1.2019]. Dostupné z: https://www.wikiskripta.eu/w/Z%C3%A1%C5%99iv%C3%A1_ionizace

Seznam obrázků

Obr. 1: Dielektrikum a izolant.	17
Obr. 2: Příklad fotoionizace [29].	19
Obr. 3: Paschenova křivka	22
Obr. 4: V-A Charakteristika elektrického výboje	23
Obr. 5: Schéma zapojení rovinných elektrod.	24
Obr. 6: V-A charakteristika v homogenním elektrickém poli [22].	25
Obr. 7: Schéma rovinných elektrod pro samostatný výboj [2].	26
Obr. 8: Tvar laviny [2].	28
Obr. 9: Jiskrový výboj (Blesk) [1].	30
Obr. 10: Průběh kladné koróny [22].	32
Obr. 11: Průběh záporné koróny [22].	33
Obr. 12: Náhradní schéma dutiny a náhradní kapacitní obvod s dutinou [9].	36
Obr. 13: Klouzavé uspořádání [27].	37
Obr. 14: Druhy klouzavých výbojů na průchodce: a) pásový výboj; b) klouzavý stvol; c) klouzavé jiskry [5] [27].	39
Obr. 15: Blokové schéma měření vysokofrekvenčního rušení.	41
Obr. 16: Srovnání různých druhů detektorů na signály s impulzní obdélníkovou obálkou.	41
Obr. 17: Zařízení sloužící k měření akustických projevů koróny [11].	42
Obr. 18: UHV korónová klec (Xining) [19].	44
Obr. 19: Model šestisvazkového vedení o průměru vodiče 0,5 mm.	46
Obr. 20: Rozestavení antén v našem experimentu. Bikónická anténa umístěna vlevo a vpravo se nachází anténa smyčková.	48
Obr. 21: Logaritmicko-periodická anténa (vlevo). Měřicí přijímač a počítač s řídicím softwarem (vpravo).	49
Obr. 22: AC/DC špičkový voltmetr MU17 High Volt.	50
Obr. 23: Testovací zdroj stejnosměrného napětí High Volt.	50
Obr. 24: Porovnání vf rušení před vznikem záporné koróny a po jejím vzniku na jednoduchém vodiči 1,6mm.	51
Obr. 25: Frekvenční spektrum pozadí (9 kHz–30 MHz).	52
Obr. 26: Frekvenční spektrum pozadí (30 MHz–200 MHz).	52
Obr. 27: Srovnání quasi-peakového (zelená) a peakového (modrá) detektoru (9 kHz–30 MHz).	53
Obr. 28: Srovnání quasi-peakového (zelená) a peakového (modrá) detektoru (30 MHz–200 MHz).	53
Obr. 29: Srovnání jednotlivých modelů vedení při záporné koróně (9kHz-30MHz).	54
Obr. 30: Srovnání jednotlivých modelů vedení při kladné koróně (9kHz–30kHz).	55
Obr. 31: Srovnání jednotlivých modelů vedení při záporné koróně (30MHz–200MHz).	55
Obr. 32: Srovnání jednotlivých modelů vedení při kladné koróně (30MHz-200MHz).	56

Obr. 33: Jednoduchý vodič při různých hladinách napětí (kladná koróna).....	56
Obr. 34: Svazkové vodiče při záporném stejnosměrném napětí (9kHz–30MHz).....	57
Obr. 35: Svazkové vodiče při kladném stejnosměrném napětí (9kHz – 30MHz).....	57
Obr. 36: Svazkové vodiče při střídavém napětí (9kHz – 30MHz) [24].....	58
Obr. 37: Svazkové vodiče při záporném stejnosměrném napětí (30 MHz–200MHz).....	58
Obr. 39: Svazkové vodiče při střídavém napětí (200 MHz–1 GHz) [24].....	59
Obr. 38: Svazkové vodiče při kladném stejnosměrném napětí (30 MHz–200MHz).....	59

Seznam tabulek

Tab. 1: Složení vzduchu v atmosféře [27].....	14
Tab. 2: Poměrná elektrická pevnost daných plynů [27].....	15
Tab. 3: Poměrná elektrická pevnost vybraných halogenů [27].....	16
Tab. 4: Technické specifikace smyčkové antény udávané výrobcem.....	47
Tab. 5: Technické specifikace bikónické antény udávané výrobcem.	47
Tab. 6: Technické specifikace logaritmicko-periodické antény udávané výrobcem.	48

Seznam příloh

- Příloha 1: Pozadí v laboratoři bez napětí (9 kHz - 30 MHz)
- Příloha 2: Pozadí v laboratoři bez napětí (9 kHz – 30 MHz)
- Příloha 3: Jednoduchý vodič 1,6 mm; 5 kV neg; Peak (30 MHz - 1 GHz)
- Příloha 4: Jednoduchý vodič 1,6 mm; 40 kV neg; Peak (30 MHz - 1 GHz)
- Příloha 5: Jednoduchý vodič 1,6 mm; 20 kV neg; (30 MHz - 200 MHz)
- Příloha 6: Jednoduchý vodič 1,6 mm; 25 kV neg; (30 MHz - 200 MHz)
- Příloha 7: Jednoduchý vodič 1,6 mm; 30 kV neg; (30 MHz - 200 MHz)
- Příloha 8: Jednoduchý vodič 1,6 mm; 35 kV neg; (30 MHz - 200 MHz)
- Příloha 9: Jednoduchý vodič 1,6 mm; 40 kV neg; (30 MHz - 200 MHz)
- Příloha 10: Jednoduchý vodič 1,6 mm; 20 kV neg; (9 kHz - 30 MHz)
- Příloha 11: Jednoduchý vodič 1,6 mm; 25 kV neg; (9 kHz - 30 MHz)
- Příloha 12: Jednoduchý vodič 1,6 mm; 30 kV neg; (9 kHz - 30 MHz)
- Příloha 13: Jednoduchý vodič 1,6 mm; 35 kV neg; (9 kHz - 30 MHz)
- Příloha 14: Jednoduchý vodič 1,6 mm; 40 kV neg; (9 kHz - 30 MHz)
- Příloha 15: Jednoduchý vodič 0,6 mm; 15 kV neg; (30 MHz - 200 MHz)
- Příloha 16: Jednoduchý vodič 0,6 mm; 20 kV neg; (30 MHz - 200 MHz)
- Příloha 17: Jednoduchý vodič 0,6 mm; 25 kV neg; (30 MHz - 200 MHz)
- Příloha 18: Jednoduchý vodič 0,6 mm; 30 kV neg; (30 MHz - 200 MHz)
- Příloha 19: Jednoduchý vodič 0,6 mm; 35 kV neg; (30 MHz - 200 MHz)
- Příloha 20: Jednoduchý vodič 0,6 mm; 40 kV neg; (30 MHz - 200 MHz)
- Příloha 21: Jednoduchý vodič 0,6 mm; 15 kV neg; (9 kHz - 30 MHz)
- Příloha 22: Jednoduchý vodič 0,6 mm; 20 kV neg; (9 kHz - 30 MHz)
- Příloha 23: Jednoduchý vodič 0,6 mm; 25 kV neg; (9 kHz - 30 MHz)
- Příloha 24: Jednoduchý vodič 0,6 mm; 30 kV neg; (9 kHz - 30 MHz)
- Příloha 25: Jednoduchý vodič 0,6 mm; 35 kV neg; (9 kHz - 30 MHz)
- Příloha 26: Jednoduchý vodič 0,6 mm; 40 kV neg; (9 kHz - 30 MHz)
- Příloha 27: Dvojsvazek 2x0,5 mm; 20 kV neg; (30 MHz - 200 MHz)
- Příloha 28: Dvojsvazek 2x0,5 mm; 25 kV neg; (30 MHz - 200 MHz)
- Příloha 29: Dvojsvazek 2x0,5 mm; 30 kV neg; (30 MHz - 200 MHz)
- Příloha 30: Dvojsvazek 2x0,5 mm; 35 kV neg; (30 MHz - 200 MHz)
- Příloha 31: Dvojsvazek 2x0,5 mm; 40 kV neg; (30 MHz - 200 MHz)
- Příloha 32: Dvojsvazek 2x0,5 mm; 20 kV neg; (9 kHz - 30 MHz)
- Příloha 33: Dvojsvazek 2x0,5 mm; 25 kV neg; (9 kHz - 30 MHz)
- Příloha 34: Dvojsvazek 2x0,5 mm; 30 kV neg; (9 kHz - 30 MHz)

- Příloha 35: Dvojsvazek 2x0,5 mm; 35 kV neg; (9 kHz - 30 MHz)
- Příloha 36: Dvojsvazek 2x0,5 mm; 40 kV neg; (9 kHz - 30 MHz)
- Příloha 37: Šestisvazek 6x0,5 mm; 20 kV neg; (30 MHz - 200 MHz)
- Příloha 38: Šestisvazek 6x0,5 mm; 25 kV neg; (30 MHz - 200 MHz)
- Příloha 39: Šestisvazek 6x0,5 mm; 30 kV neg; (30 MHz - 200 MHz)
- Příloha 40: Šestisvazek 6x0,5 mm; 35 kV neg; (30 MHz - 200 MHz)
- Příloha 41: Šestisvazek 6x0,5 mm; 40 kV neg; (30 MHz - 200 MHz)
- Příloha 42: Šestisvazek 6x0,5 mm; 45 kV neg; (30 MHz - 200 MHz)
- Příloha 43: Sestisvazek 6x0,5 mm; 20 kV neg; (9 kHz - 30 MHz)
- Příloha 44: Sestisvazek 6x0,5 mm; 25 kV neg; (9 kHz - 30 MHz)
- Příloha 45: Sestisvazek 6x0,5 mm; 30 kV neg; (9 kHz - 30 MHz)
- Příloha 46: Sestisvazek 6x0,5 mm; 35 kV neg; (9 kHz - 30 MHz)
- Příloha 47: Sestisvazek 6x0,5 mm; 40 kV neg; (9 kHz - 30 MHz)
- Příloha 48: Sestisvazek 6x0,5 mm; 45 kV neg; (9 kHz - 30 MHz)
- Příloha 49: Trojsvazek 3x0,5 mm; 20 kV neg; (30 MHz - 200 MHz)
- Příloha 50: Trojsvazek 3x0,5 mm; 25 kV neg; (30 MHz - 200 MHz)
- Příloha 51: Trojsvazek 3x0,5 mm; 30 kV neg; (30 MHz - 200 MHz)
- Příloha 52: Trojsvazek 3x0,5 mm; 35 kV neg; (30 MHz - 200 MHz)
- Příloha 53: Trojsvazek 3x0,5 mm; 40 kV neg; (30 MHz - 200 MHz)
- Příloha 54: Trojsvazek 3x0,5 mm; 20 kV neg; (9 kHz - 30 MHz)
- Příloha 55: Trojsvazek 3x0,5 mm; 25 kV neg; (9 kHz - 30 MHz)
- Příloha 56: Trojsvazek 3x0,5 mm; 30 kV neg; (9 kHz - 30 MHz)
- Příloha 57: Trojsvazek 3x0,5 mm; 35 kV neg; (9 kHz - 30 MHz)
- Příloha 58: Trojsvazek 3x0,5 mm; 40 kV neg; (9 kHz - 30 MHz)
- Příloha 59: Trojsvazek 3x0,5 mm; 20 kV pos; (30 MHz - 200 MHz)
- Příloha 60: Trojsvazek 3x0,5 mm; 25 kV pos; (30 MHz - 200 MHz)
- Příloha 61: Trojsvazek 3x0,5 mm; 30 kV pos; (30 MHz - 200 MHz)
- Příloha 62: Trojsvazek 3x0,5 mm; 35 kV pos; (30 MHz - 200 MHz)
- Příloha 63: Trojsvazek 3x0,5 mm; 40 kV pos; (30 MHz - 200 MHz)
- Příloha 64: Trojsvazek 3x0,5 mm; 20 kV pos; (9 kHz - 30 MHz)
- Příloha 65: Trojsvazek 3x0,5 mm; 25 kV pos; (9 kHz - 30 MHz)
- Příloha 66: Trojsvazek 3x0,5 mm; 30 kV pos; (9 kHz - 30 MHz)
- Příloha 67: Trojsvazek 3x0,5 mm; 35 kV pos; (9 kHz - 30 MHz)
- Příloha 68: Trojsvazek 3x0,5 mm; 40 kV pos; (9 kHz - 30 MHz)
- Příloha 69: Šestisvazek 6x0,5 mm; 20 kV pos; (30 MHz - 200 MHz)
- Příloha 70: Šestisvazek 6x0,5 mm; 25 kV pos; (30 MHz - 200 MHz)
- Příloha 71: Šestisvazek 6x0,5 mm; 30 kV pos; (30 MHz - 200 MHz)

- Příloha 72: Šestisvazek 6x0,5 mm; 35 kV pos; (30 MHz - 200 MHz)
- Příloha 73: Šestisvazek 6x0,5 mm; 40 kV pos; (30 MHz - 200 MHz)
- Příloha 74: Šestisvazek 6x0,5 mm; 45 kV pos; (30 MHz - 200 MHz)
- Příloha 75: Šestisvazek 6x0,5 mm; 50 kV pos; (30 MHz - 200 MHz)
- Příloha 76: Šestisvazek 6x0,5 mm; 20 kV pos; (9 kHz - 30 MHz)
- Příloha 77: Šestisvazek 6x0,5 mm; 25 kV pos; (9 kHz - 30 MHz)
- Příloha 78: Šestisvazek 6x0,5 mm; 30 kV pos; (9 kHz - 30 MHz)
- Příloha 79: Šestisvazek 6x0,5 mm; 35 kV pos; (9 kHz - 30 MHz)
- Příloha 80: Šestisvazek 6x0,5 mm; 40 kV pos; (9 kHz - 30 MHz)
- Příloha 81: Šestisvazek 6x0,5 mm; 45 kV pos; (9 kHz - 30 MHz)
- Příloha 82: Šestisvazek 6x0,5 mm; 50 kV pos; (9 kHz - 30 MHz)
- Příloha 83: Dvojsvazek 2x0,5 mm; 20 kV pos; (30 MHz - 200 MHz)
- Příloha 84: Dvojsvazek 2x0,5 mm; 25 kV pos; (30 MHz - 200 MHz)
- Příloha 85: Dvojsvazek 2x0,5 mm; 30 kV pos; (30 MHz - 200 MHz)
- Příloha 86: Dvojsvazek 2x0,5 mm; 35 kV pos; (30 MHz - 200 MHz)
- Příloha 87: Dvojsvazek 2x0,5 mm; 40 kV pos; (30 MHz - 200 MHz)
- Příloha 88: Dvojsvazek 2x0,5 mm; 15 kV pos; (9 kHz - 30 MHz)
- Příloha 89: Dvojsvazek 2x0,5 mm; 20 kV pos; (9 kHz - 30 MHz)
- Příloha 90: Dvojsvazek 2x0,5 mm; 25 kV pos; (9 kHz - 30 MHz)
- Příloha 91: Dvojsvazek 2x0,5 mm; 30 kV pos; (9 kHz - 30 MHz)
- Příloha 92: Dvojsvazek 2x0,5 mm; 35 kV pos; (9 kHz - 30 MHz)
- Příloha 93: Dvojsvazek 2x0,5 mm; 40 kV pos; (9 kHz - 30 MHz)
- Příloha 94: Jednoduchý vodič 1,6 mm; 15 kV pos; (30 MHz - 200 MHz)
- Příloha 95: Jednoduchý vodič 1,6 mm; 20 kV pos; (30 MHz - 200 MHz)
- Příloha 96: Jednoduchý vodič 1,6 mm; 25 kV pos; (30 MHz - 200 MHz)
- Příloha 97: Jednoduchý vodič 1,6 mm; 30 kV pos; (30 MHz - 200 MHz)
- Příloha 98: Jednoduchý vodič 1,6 mm; 35 kV pos; (30 MHz - 200 MHz)
- Příloha 99: Jednoduchý vodič 1,6 mm; 40 kV pos; (30 MHz - 200 MHz)
- Příloha 100: Jednoduchý vodič 1,6 mm; 15 kV pos; (9 kHz - 30 MHz)
- Příloha 101: Jednoduchý vodič 1,6 mm; 20 kV pos; (9 kHz - 30 MHz)
- Příloha 102: Jednoduchý vodič 1,6 mm; 25 kV pos; (9 kHz - 30 MHz)
- Příloha 103: Jednoduchý vodič 1,6 mm; 30 kV pos; (9 kHz - 30 MHz)
- Příloha 104: Jednoduchý vodič 1,6 mm; 35 kV pos; (9 kHz - 30 MHz)
- Příloha 105: Jednoduchý vodič 1,6 mm; 40 kV pos; (9 kHz - 30 MHz)
- Příloha 106: Jednoduchý vodič 0,6 mm; 15 kV pos; (30 MHz - 200 MHz)
- Příloha 107: Jednoduchý vodič 0,6 mm; 20 kV pos; (30 MHz - 200 MHz)

Příloha 108: Jednoduchý vodič 0,6 mm; 25 kV pos; (30 MHz - 200 MHz)

Příloha 109: Jednoduchý vodič 0,6 mm; 30 kV pos; (30 MHz - 200 MHz)

Příloha 110: Jednoduchý vodič 0,6 mm; 35 kV pos; (30 MHz - 200 MHz)

Příloha 111: Jednoduchý vodič 0,6 mm; 40 kV pos; (30 MHz - 200 MHz)

Příloha 112: Jednoduchý vodič 0,6 mm; 15 kV pos; (9 kHz - 30 MHz)

Příloha 113: Jednoduchý vodič 0,6 mm; 20 kV pos; (9 kHz - 30 MHz)

Příloha 114: Jednoduchý vodič 0,6 mm; 25 kV pos; (9 kHz - 30 MHz)

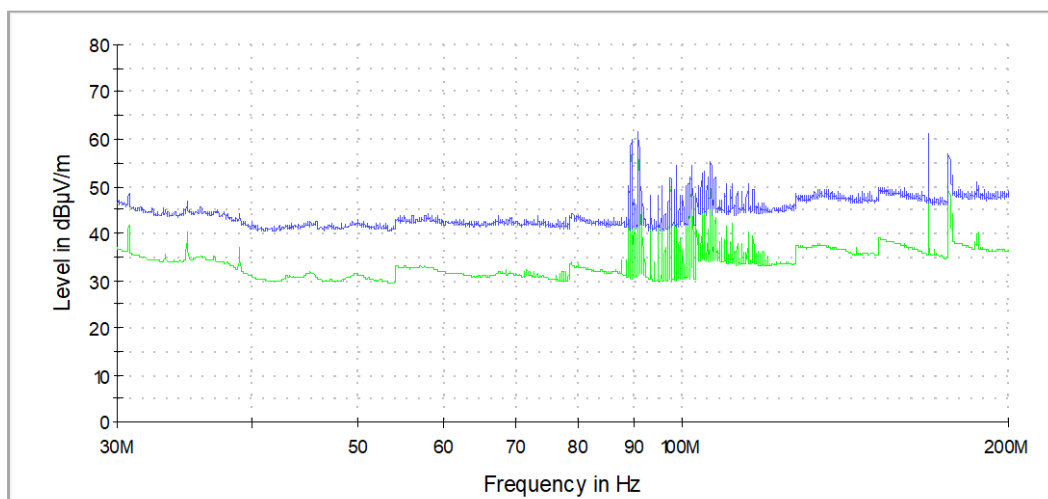
Příloha 115: Jednoduchý vodič 0,6 mm; 30 kV pos; (9 kHz - 30 MHz)

Příloha 116: Jednoduchý vodič 0,6 mm; 35 kV pos; (9 kHz - 30 MHz)

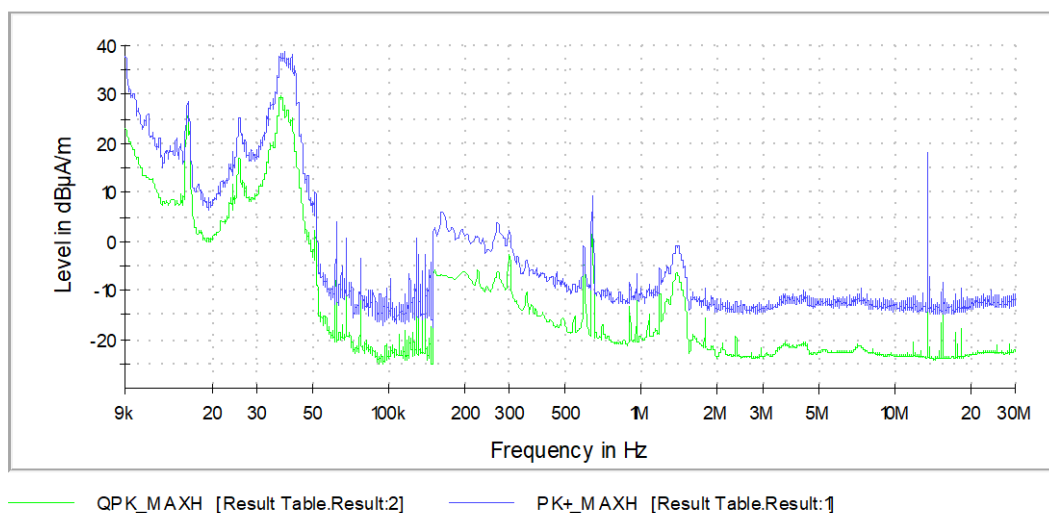
Příloha 117: Jednoduchý vodič 0,6 mm; 40 kV pos; (9 kHz - 30 MHz)

Přílohy

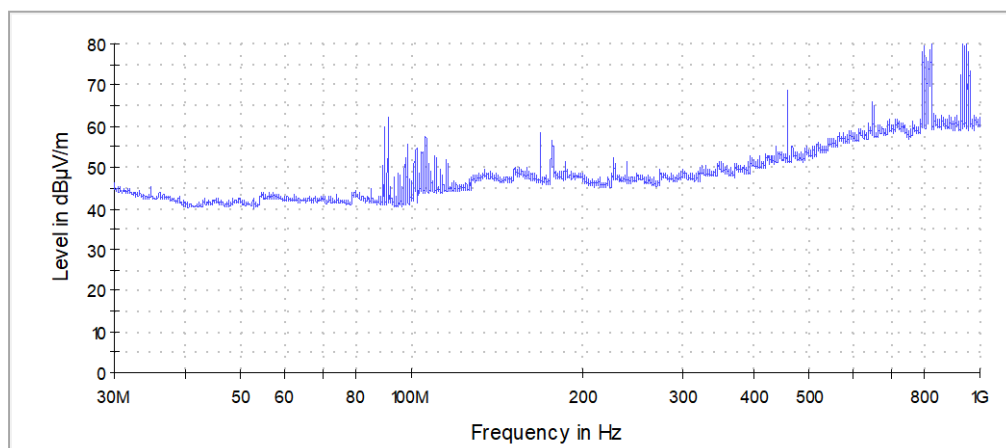
Naměřené vysokofrekvenční charakteristiky byly měřeny v laboratoři při teplotě 22,5 °C, tlaku 97,52 kPa a při vlhkosti 27 %. Měření bylo provedeno na pěti modelech vedení pro kladnou (pos) a zápornou (neg) korónu pro různé hodnoty napětí a pomocí peakového (PK) a quasi-peakového (QPK) detektoru.



Příloha 1: Pozadí v laboratoři bez napětí (9 kHz - 30 MHz)

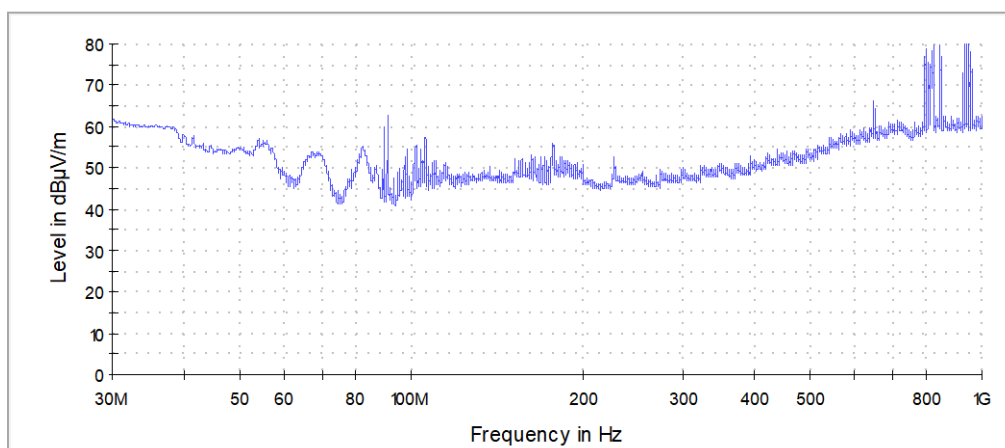


Příloha 2: Pozadí v laboratoři bez napětí (9 kHz – 30 MHz)



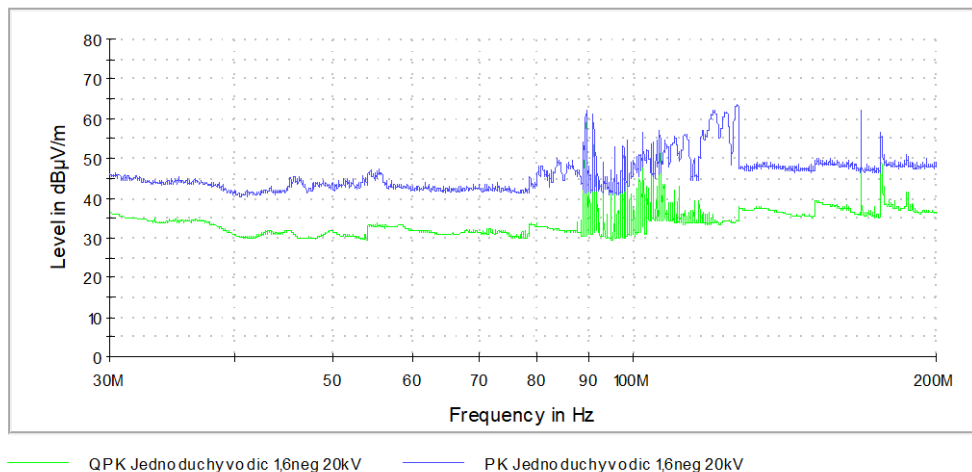
— Peak jednoduchy vodič 16neg 5kV

Příloha 3: Jednoduchý vodič 1,6 mm; 5 kVneg; Peak (30 MHz - 1 GHz)

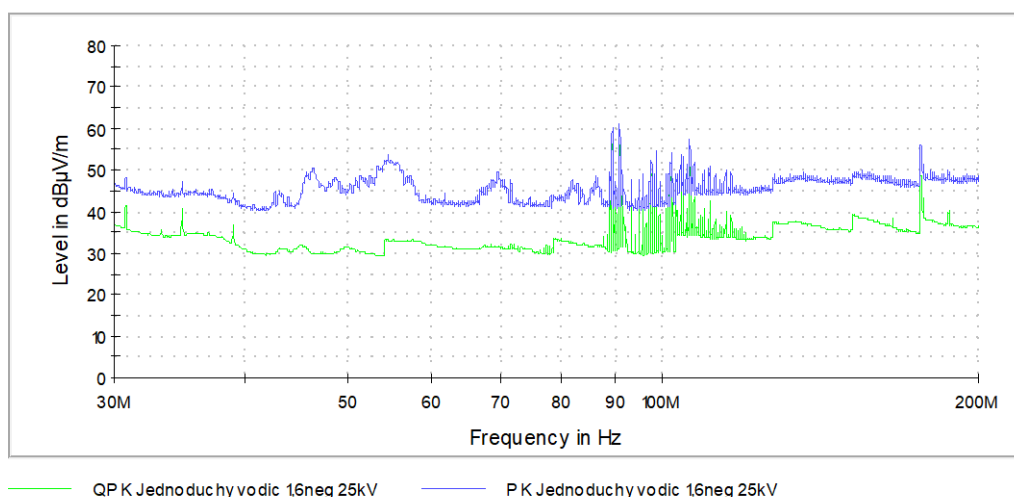


— Peak jednoduchy vodič 16neg 40kV

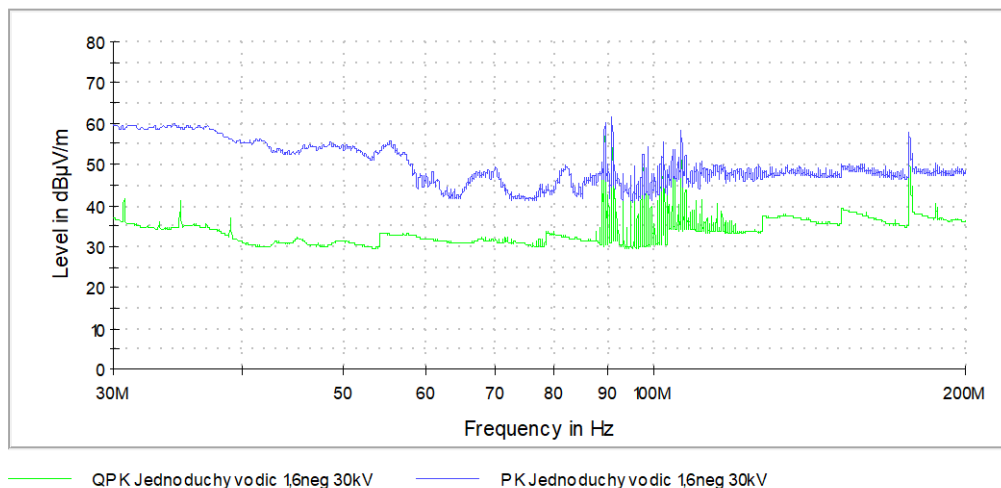
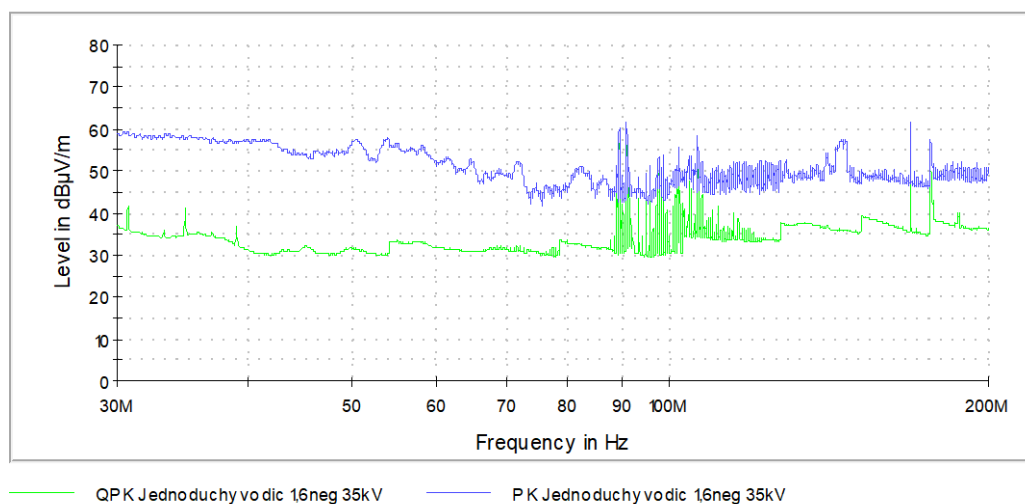
Příloha 4: Jednoduchý vodič 1,6 mm; 40 kV neg; Peak (30 MHz - 1 GHz)

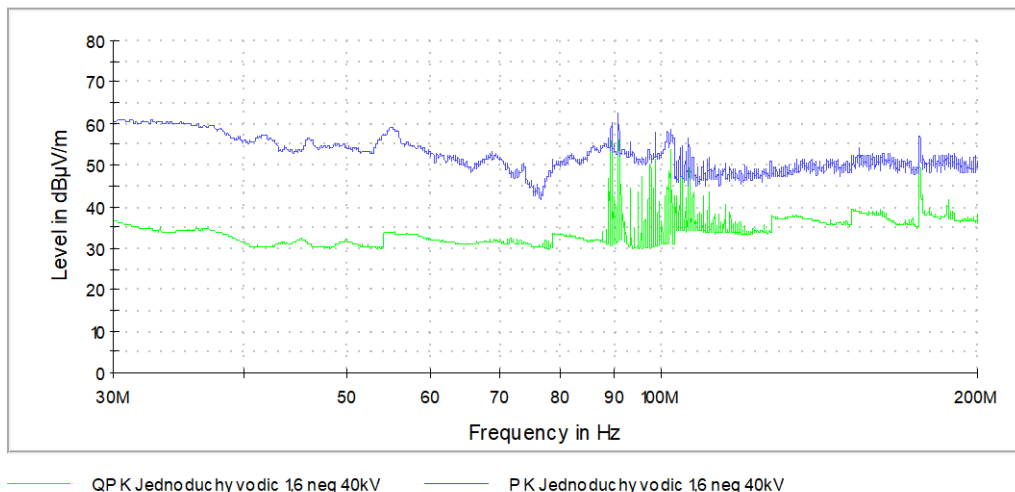


Příloha 5: Jednoduchý vodič 1,6 mm; 20 kV neg; (30 MHz - 200 MHz)

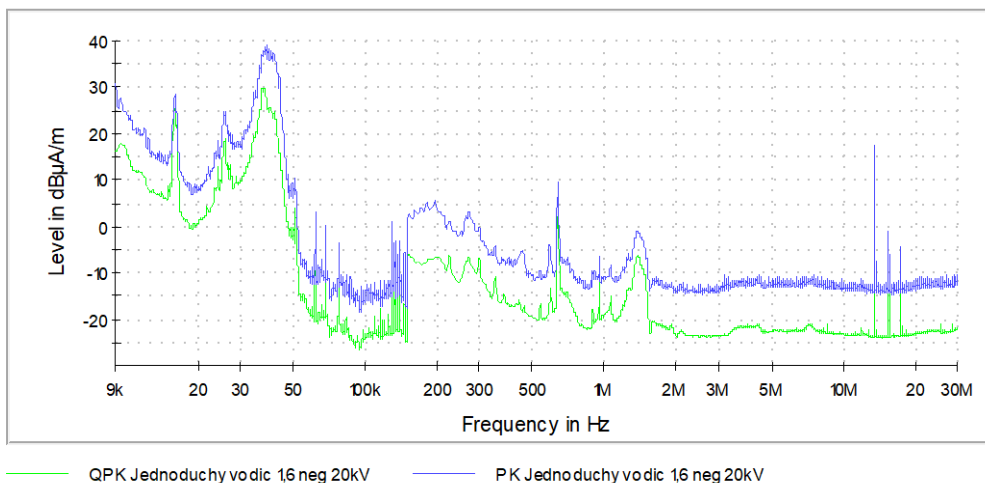


Příloha 6: Jednoduchý vodič 1,6 mm; 25 kV neg; (30 MHz - 200 MHz)

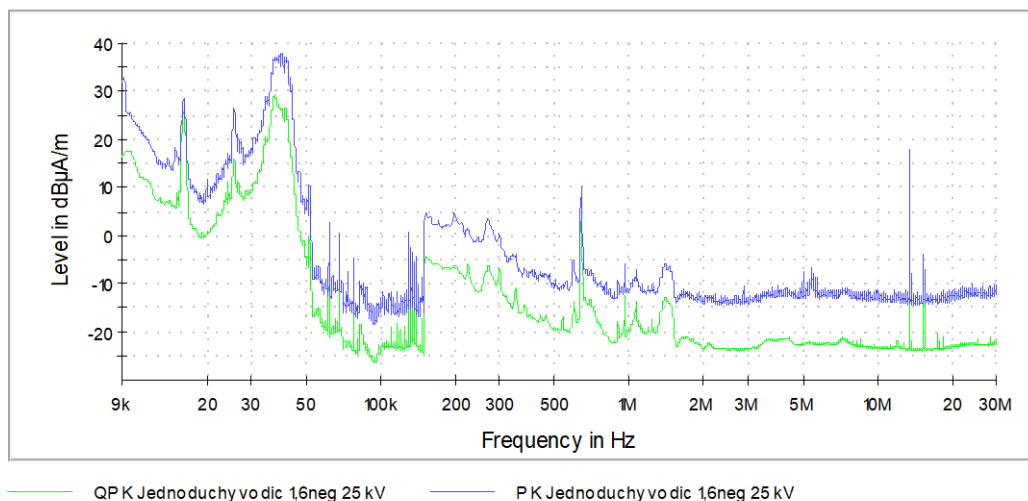
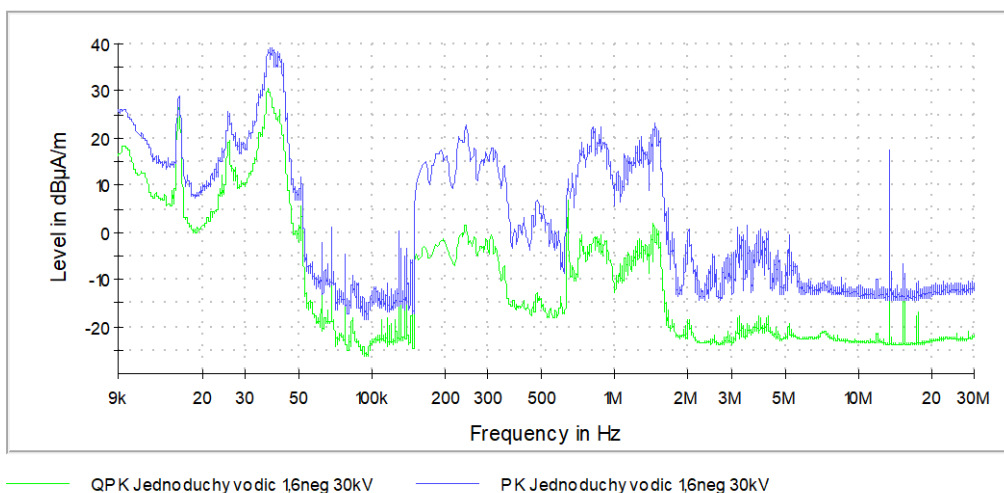
**Příloha 7: Jednoduchý vodič 1,6 mm; 30 kV neg; (30 MHz - 200 MHz)****Příloha 8: Jednoduchý vodič 1,6 mm; 35 kV neg; (30 MHz - 200 MHz)**

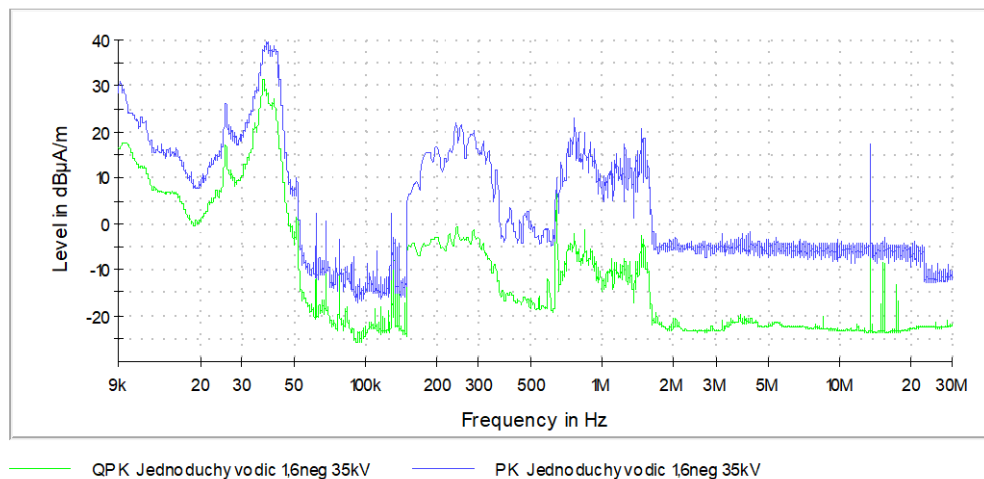
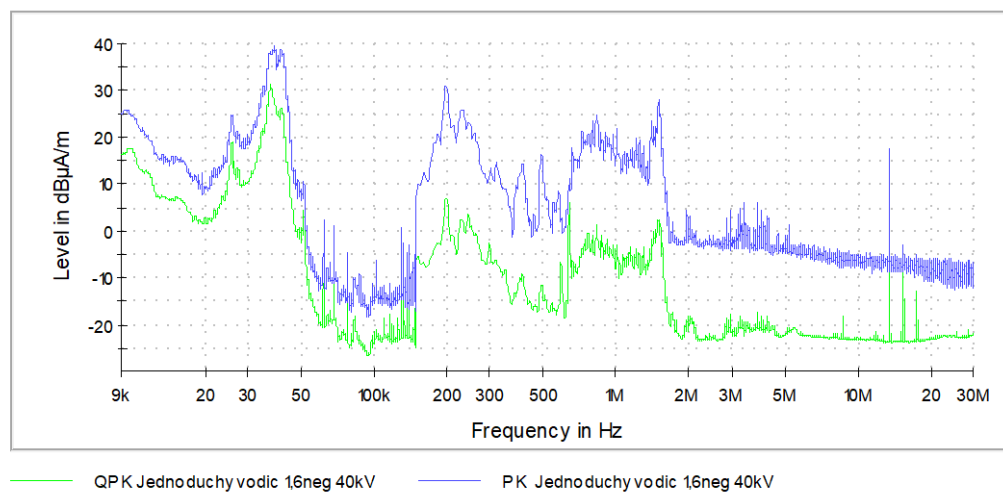


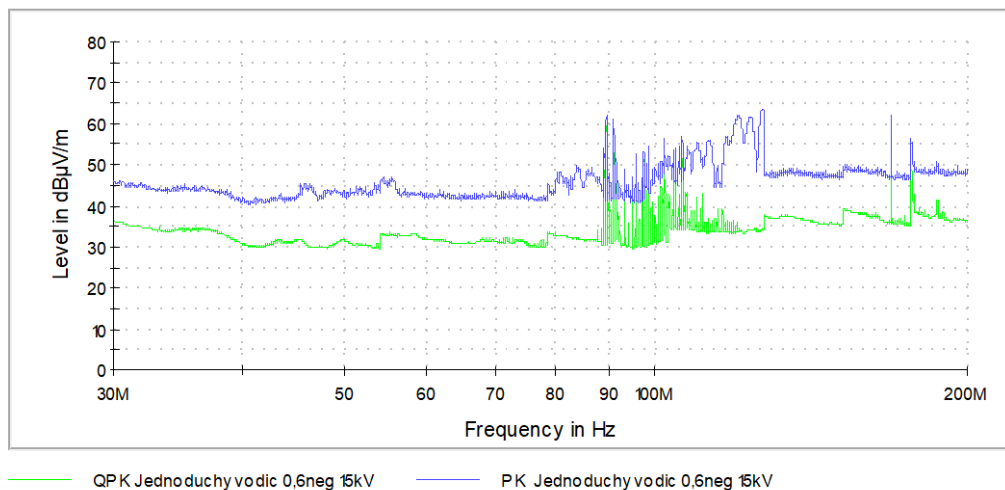
Příloha 9: Jednoduchý vodič 1,6 mm; 40 kV neg; (30 MHz - 200 MHz)



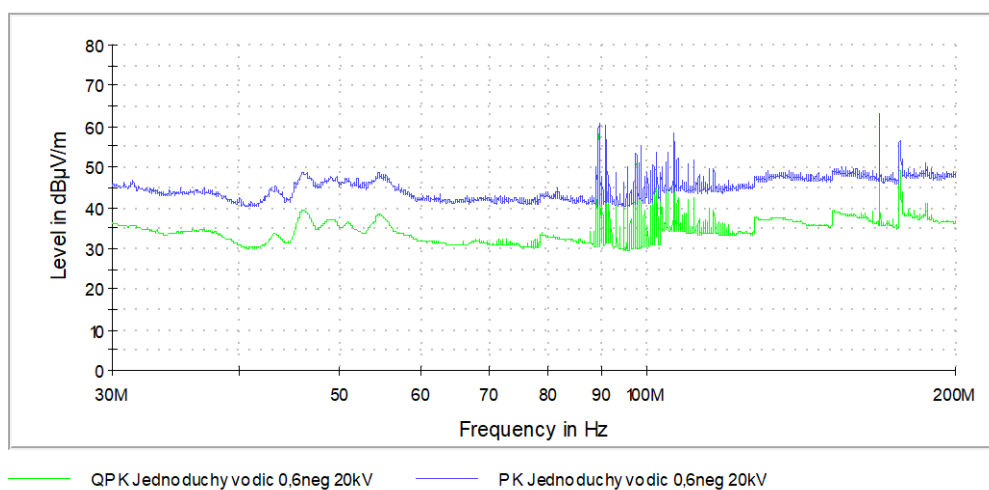
Příloha 10: Jednoduchý vodič 1,6 mm; 20 kV neg; (9 kHz - 30 MHz)

**Příloha 11: Jednoduchý vodič 1,6 mm; 25 kV neg; (9 kHz - 30 MHz)****Příloha 12: Jednoduchý vodič 1,6 mm; 30 kV neg; (9 kHz - 30 MHz)**

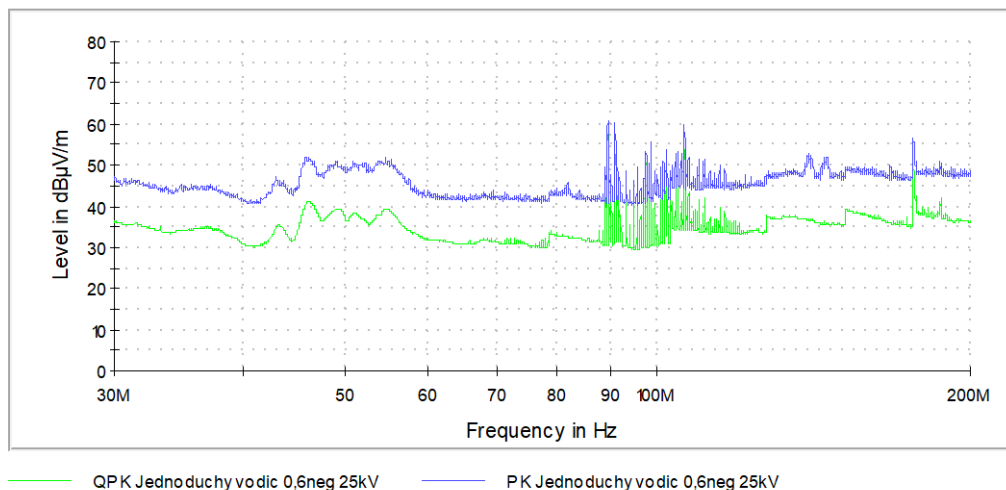
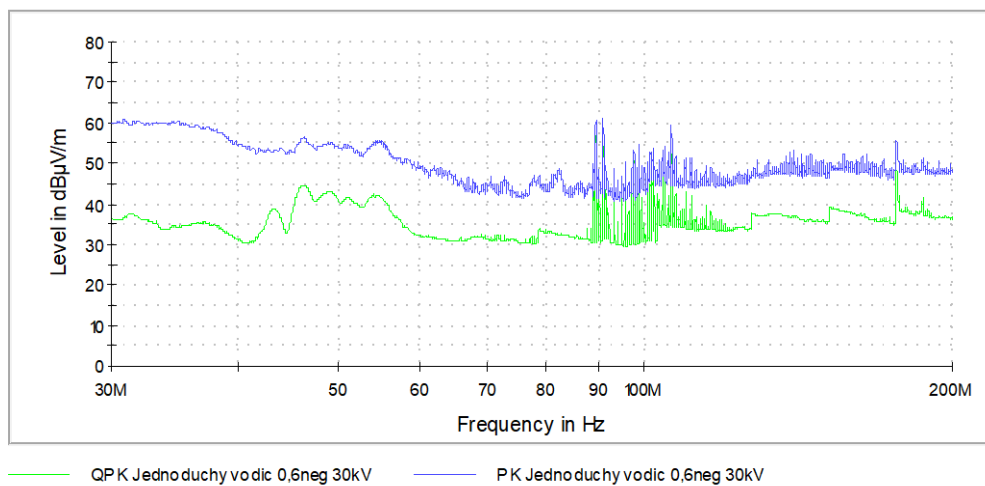
**Příloha 13: Jednoduchý vodič 1,6 mm; 35 kV neg; (9 kHz - 30 MHz)****Příloha 14: Jednoduchý vodič 1,6 mm; 40 kV neg; (9 kHz - 30 MHz)**

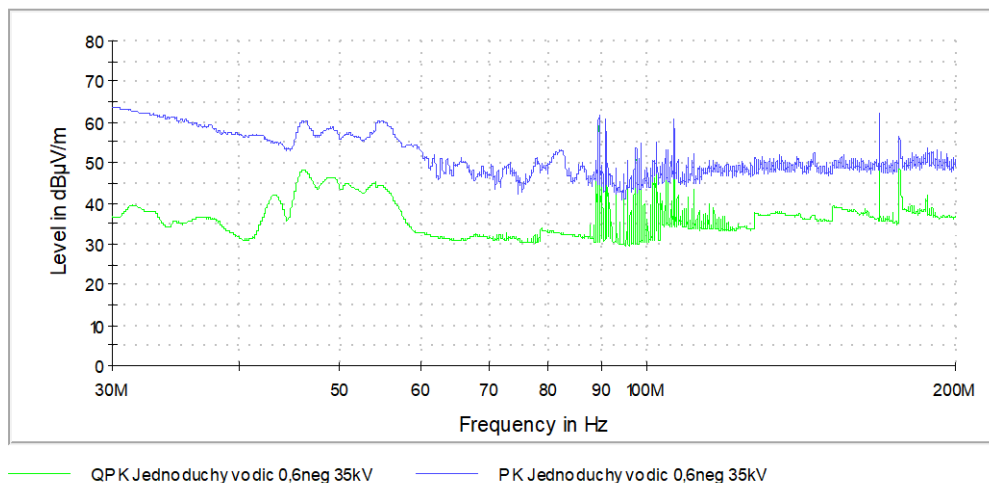
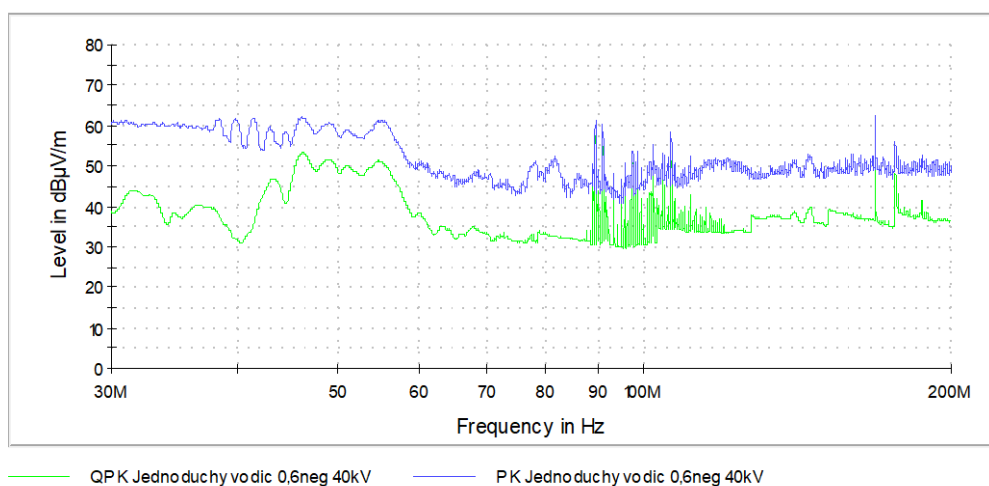


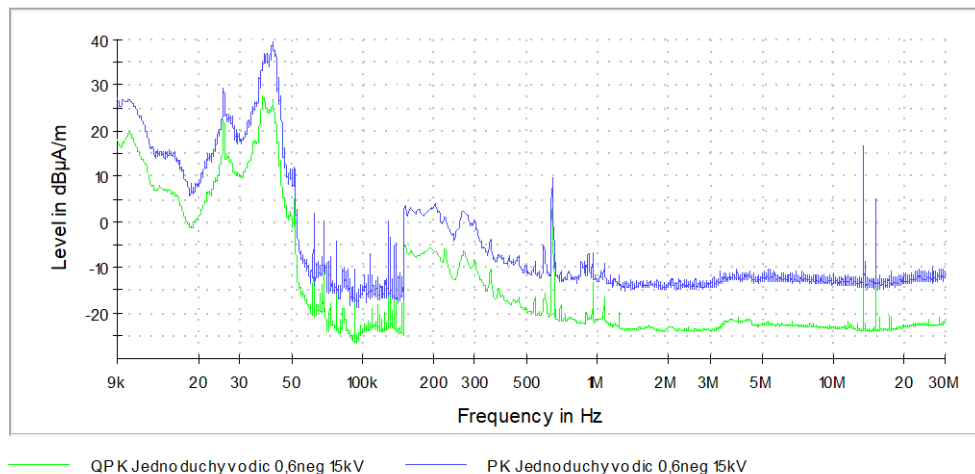
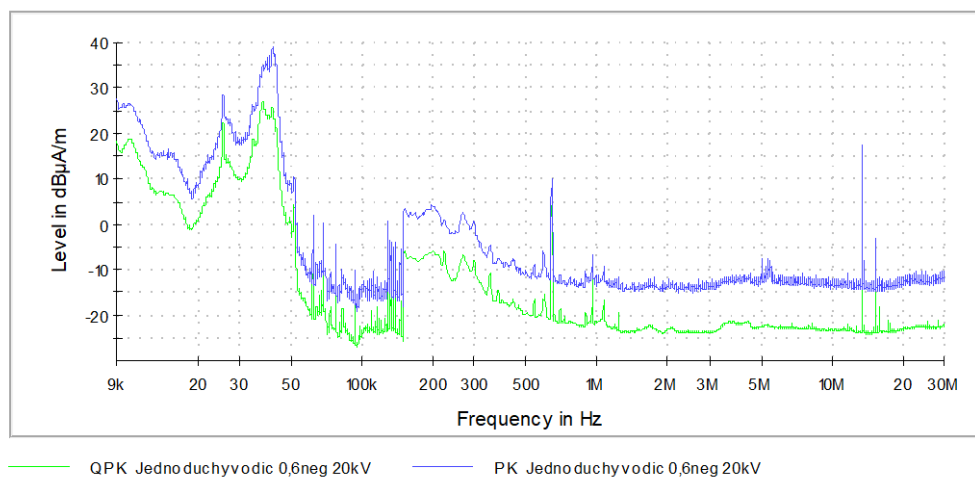
Příloha 15: Jednoduchý vodič 0,6 mm; 15 kV neg; (30 MHz - 200 MHz)

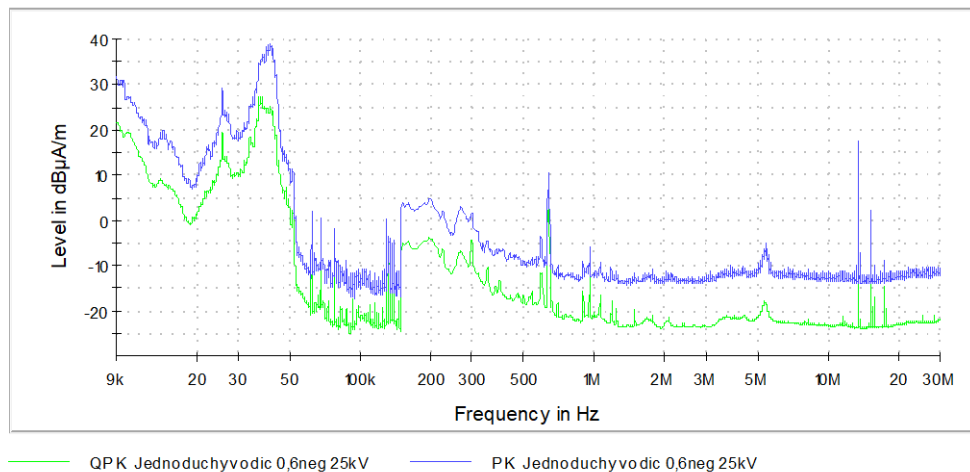


Příloha 16: Jednoduchý vodič 0,6 mm; 20 kV neg; (30 MHz - 200 MHz)

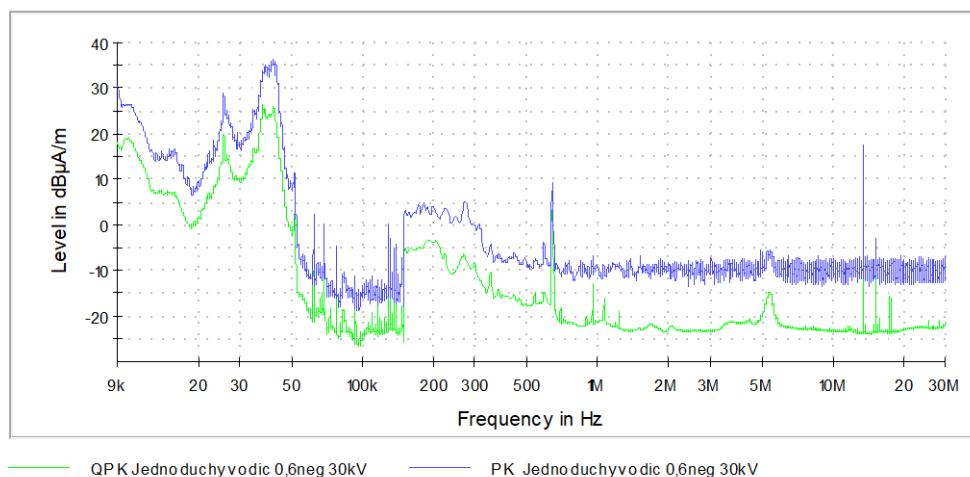
**Příloha 17: Jednoduchý vodič 0,6 mm; 25 kV neg; (30 MHz - 200 MHz)****Příloha 18: Jednoduchý vodič 0,6 mm; 30 kV neg; (30 MHz - 200 MHz)**

**Příloha 19: Jednoduchý vodič 0,6 mm; 35 kV neg; (30 MHz - 200 MHz)****Příloha 20: Jednoduchý vodič 0,6 mm; 40 kV neg; (30 MHz - 200 MHz)**

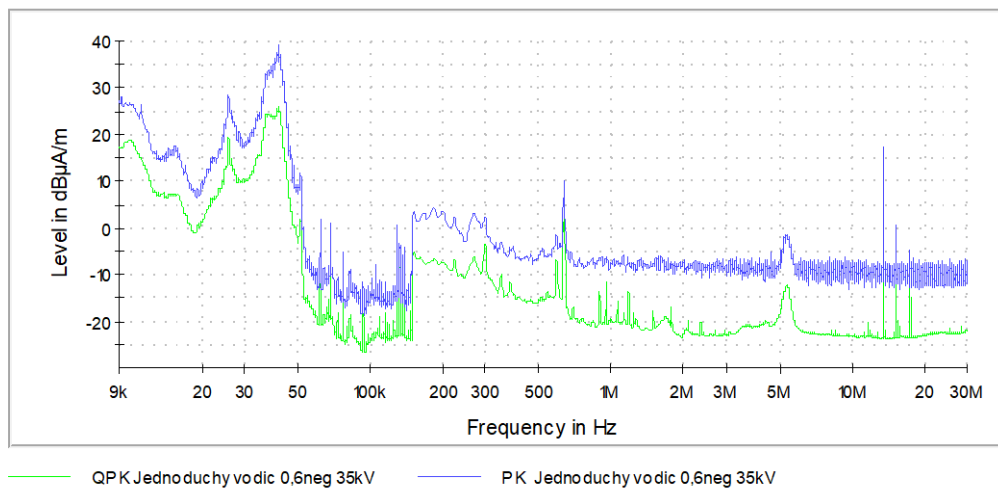
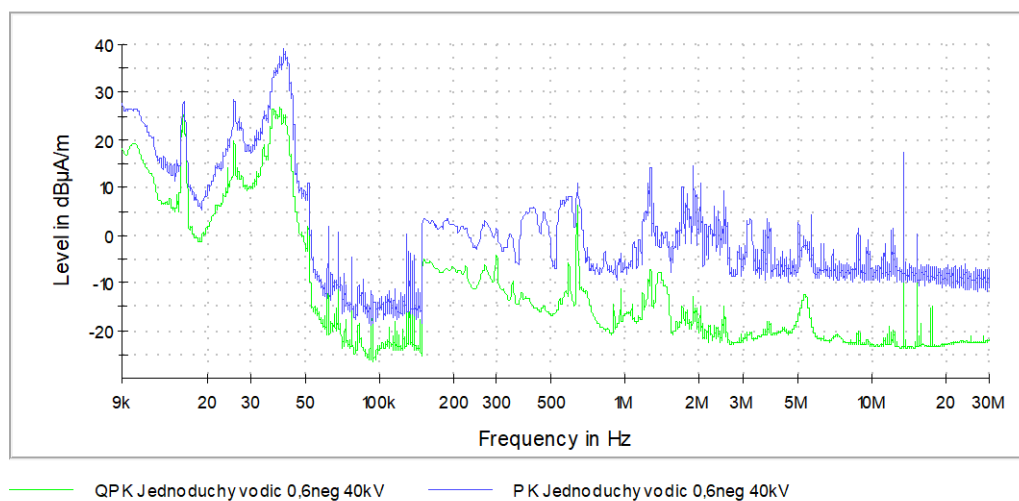
**Příloha 21: Jednoduchý vodič 0,6 mm; 15 kV neg; (9 kHz - 30 MHz)****Příloha 22: Jednoduchý vodič 0,6 mm; 20 kV neg; (9 kHz - 30 MHz)**

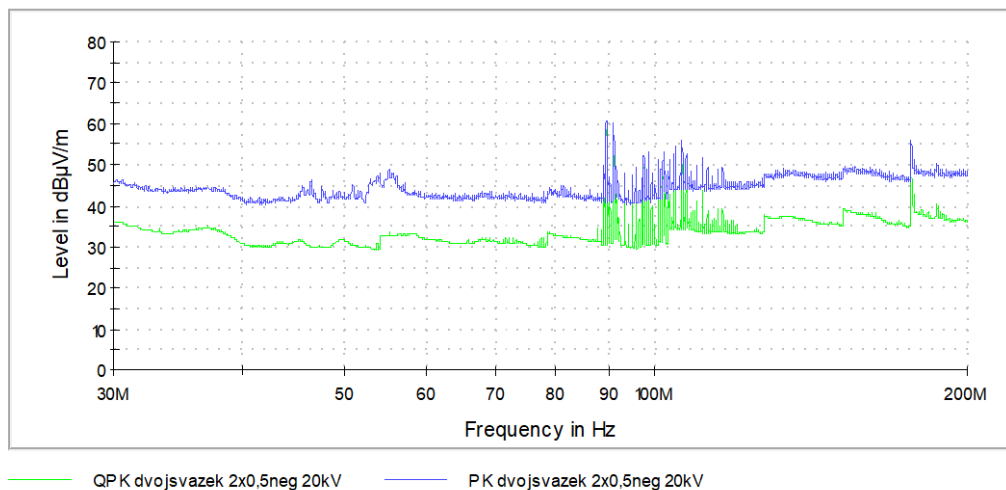
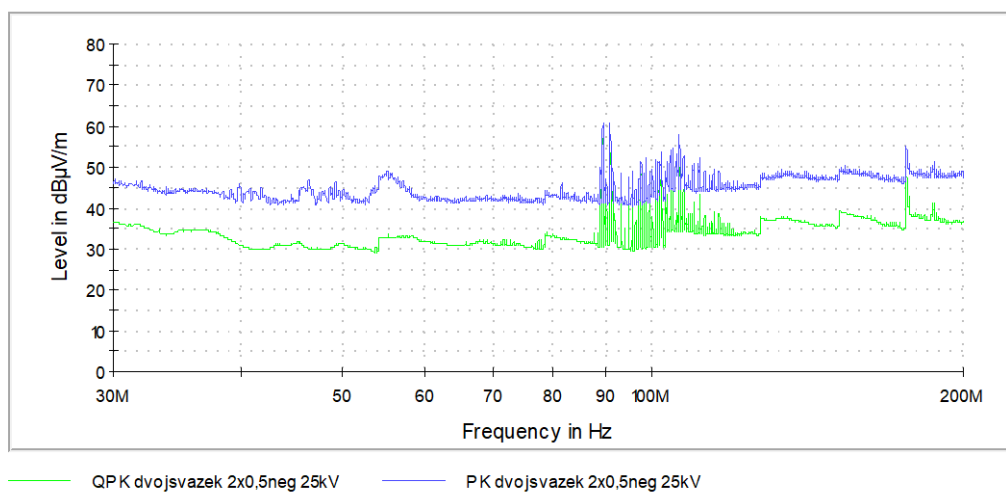


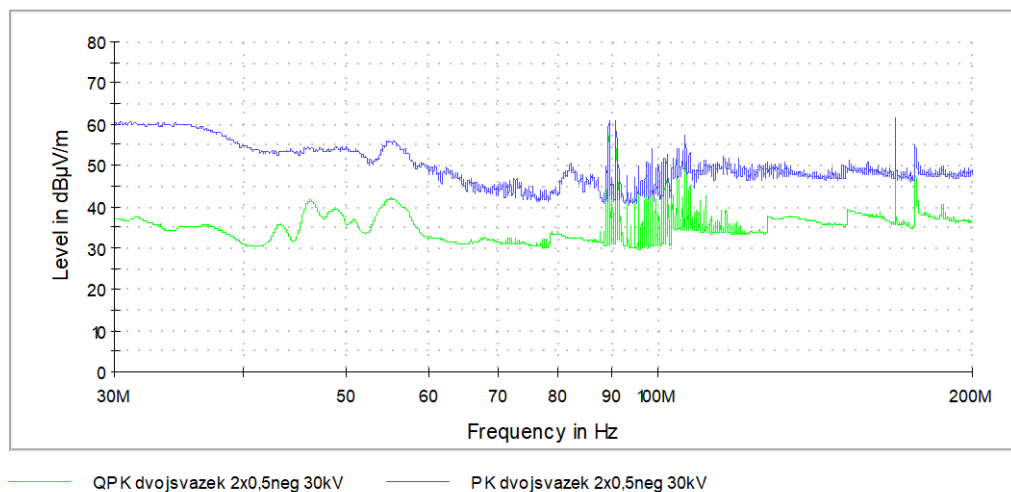
Příloha 23: Jednoduchý vodič 0,6 mm; 25 kV neg; (9 kHz - 30 MHz)



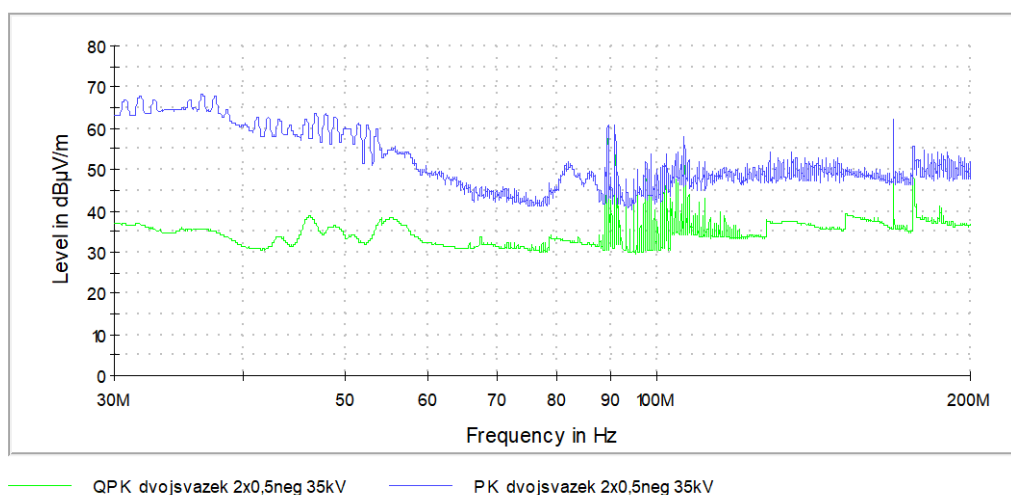
Příloha 24: Jednoduchý vodič 0,6 mm; 30 kV neg; (9 kHz - 30 MHz)

**Příloha 25: Jednoduchý vodič 0,6 mm; 35 kV neg; (9 kHz - 30 MHz)****Příloha 26: Jednoduchý vodič 0,6 mm; 40 kV neg; (9 kHz - 30 MHz)**

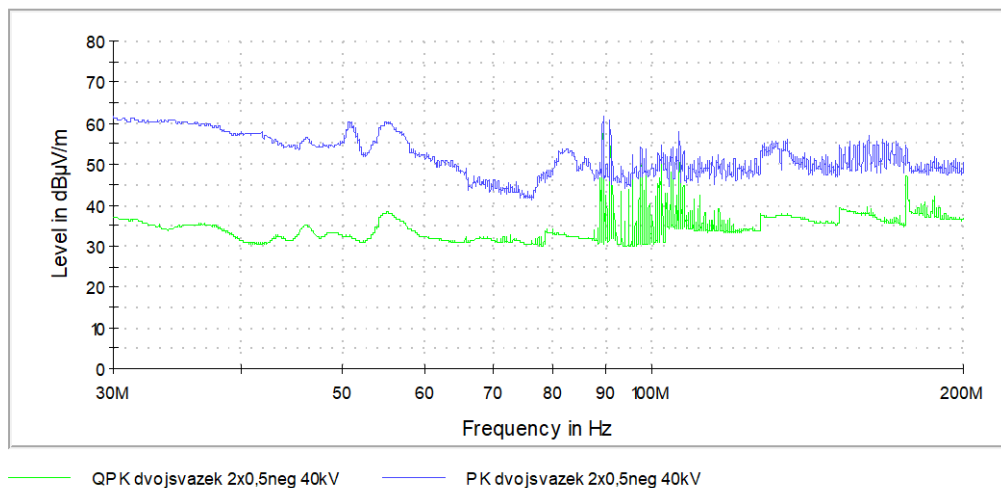
**Příloha 27: Dvojsvazek 2x0,5 mm; 20 kV neg; (30 MHz - 200 MHz)****Příloha 28: Dvojsvazek 2x0,5 mm; 25 kV neg; (30 MHz - 200 MHz)**



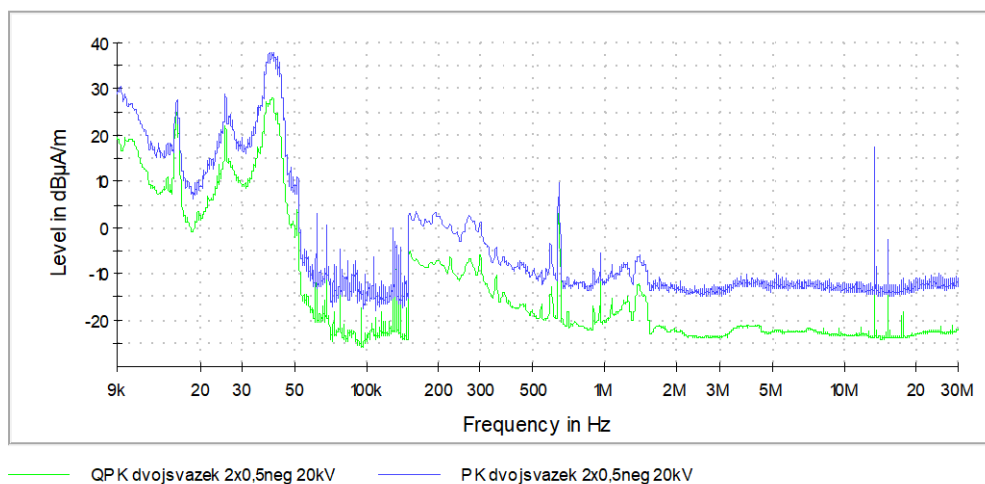
Příloha 29: Dvojsvazek 2x0,5 mm; 30 kV neg; (30 MHz - 200 MHz)



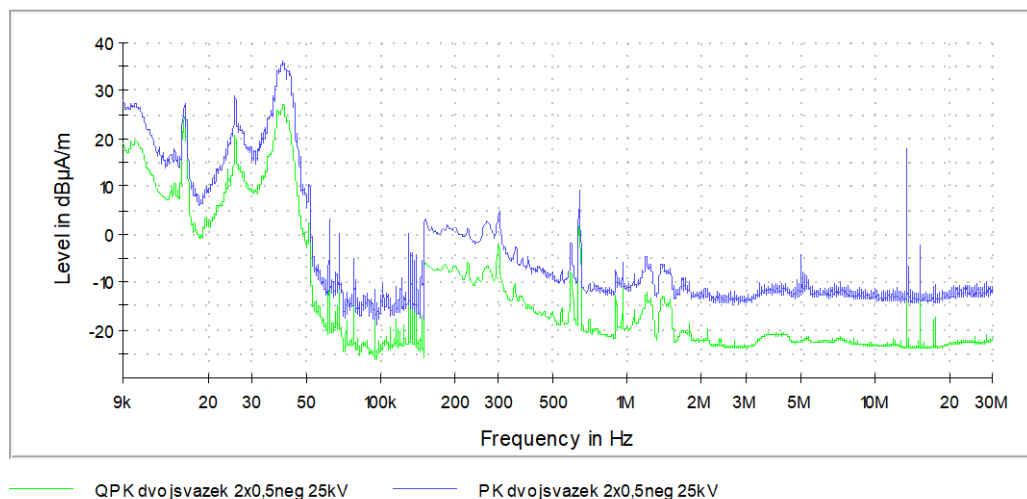
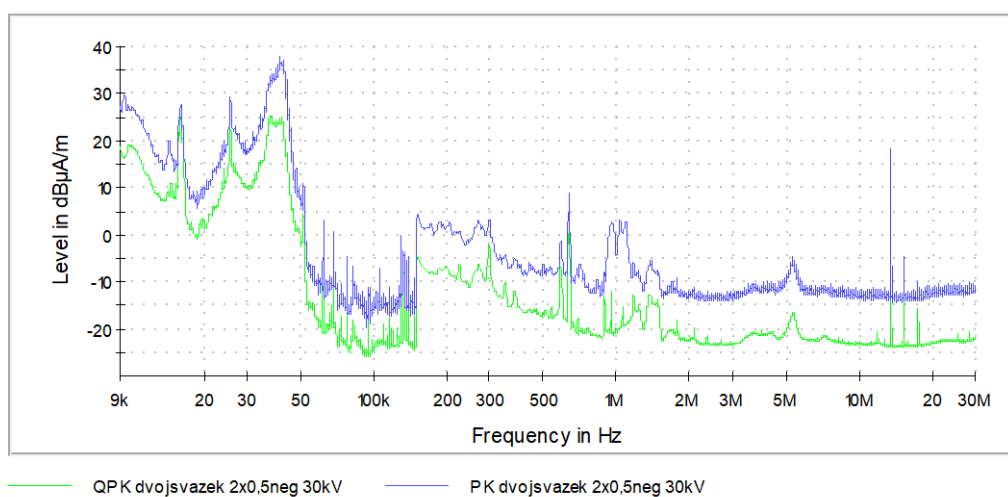
Příloha 30: Dvojsvazek 2x0,5 mm; 35 kV neg; (30 MHz - 200 MHz)

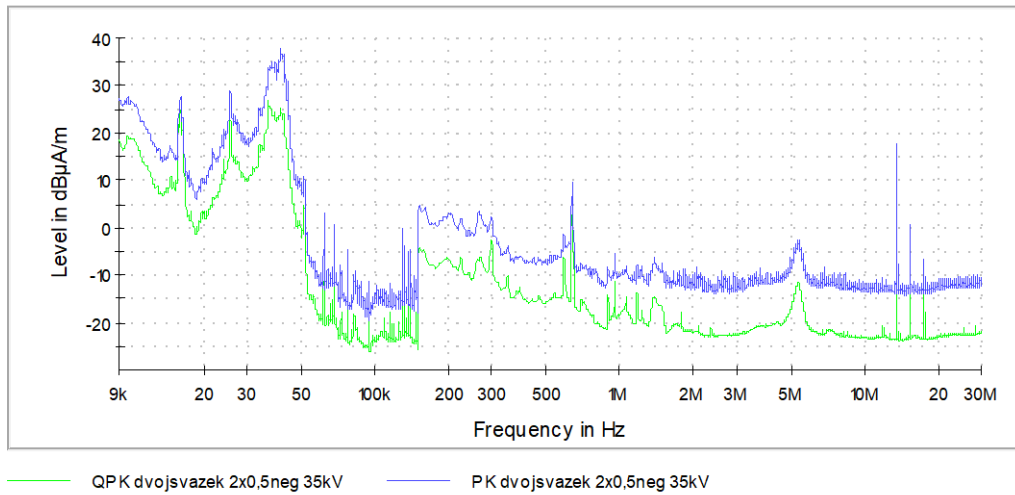


Příloha 31: Dvojsvazek 2x0,5 mm; 40 kV neg; (30 MHz - 200 MHz)

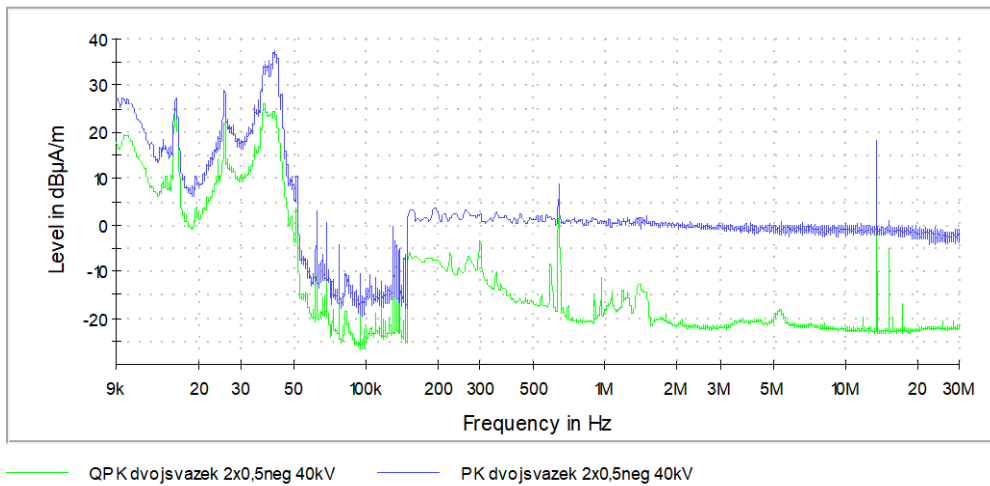


Příloha 32: Dvojsvazek 2x0,5 mm; 20 kV neg; (9 kHz - 30 MHz)

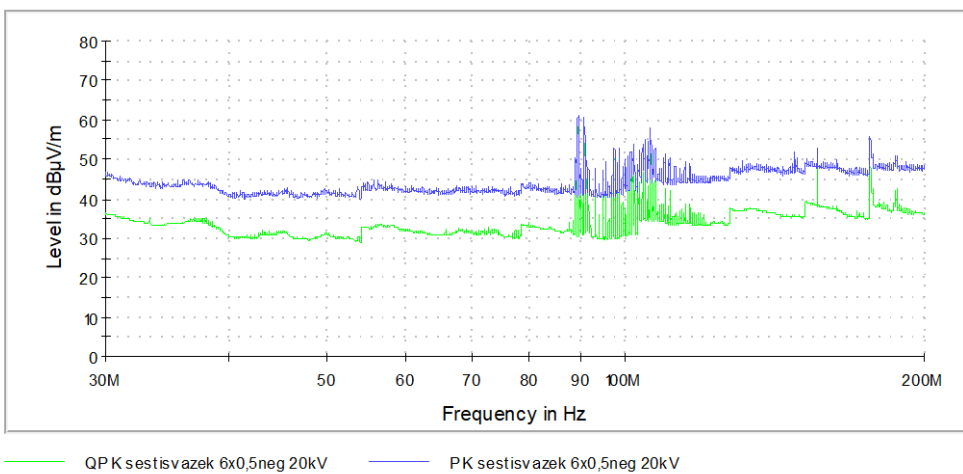
**Příloha 33: Dvojsvazek 2x0,5 mm; 25 kV neg; (9 kHz - 30 MHz)****Příloha 34: Dvojsvazek 2x0,5 mm; 30 kV neg; (9 kHz - 30 MHz)**



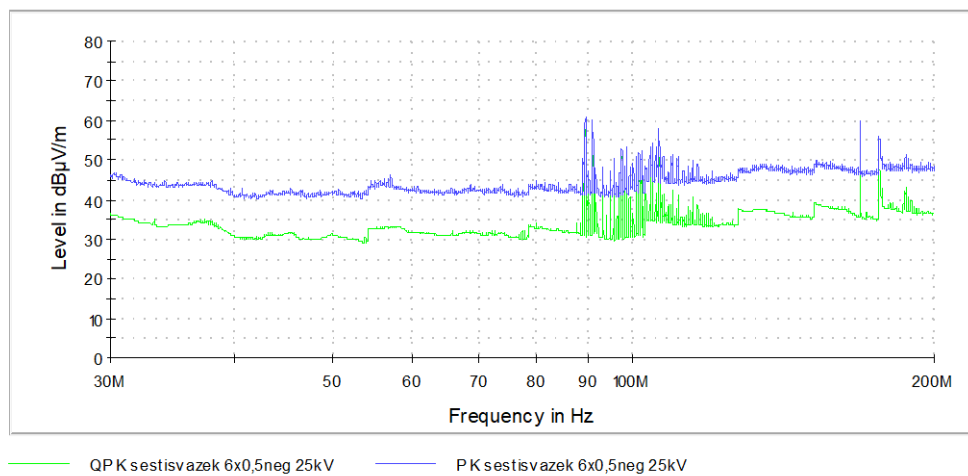
Příloha 35: Dvojsvazek 2x0,5 mm; 35 kV neg; (9 kHz - 30 MHz)



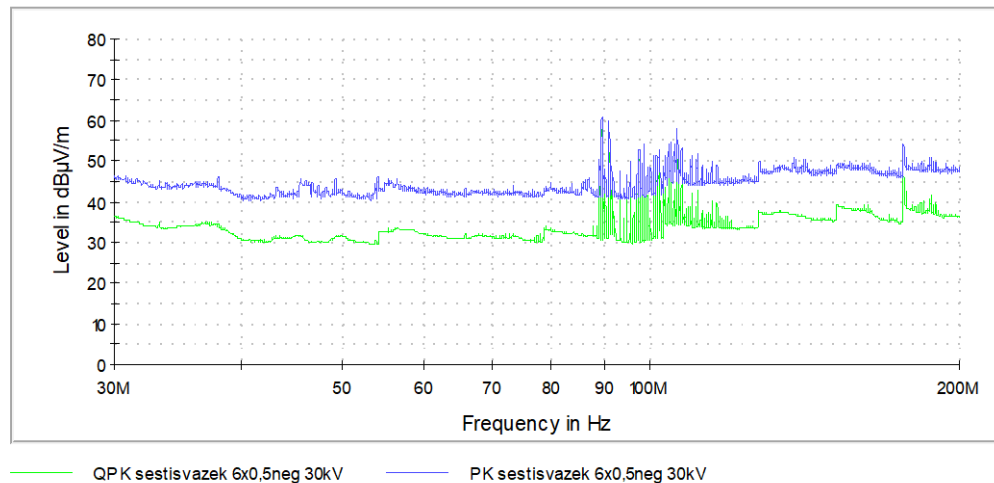
Příloha 36: Dvojsvazek 2x0,5 mm; 40 kV neg; (9 kHz - 30 MHz)



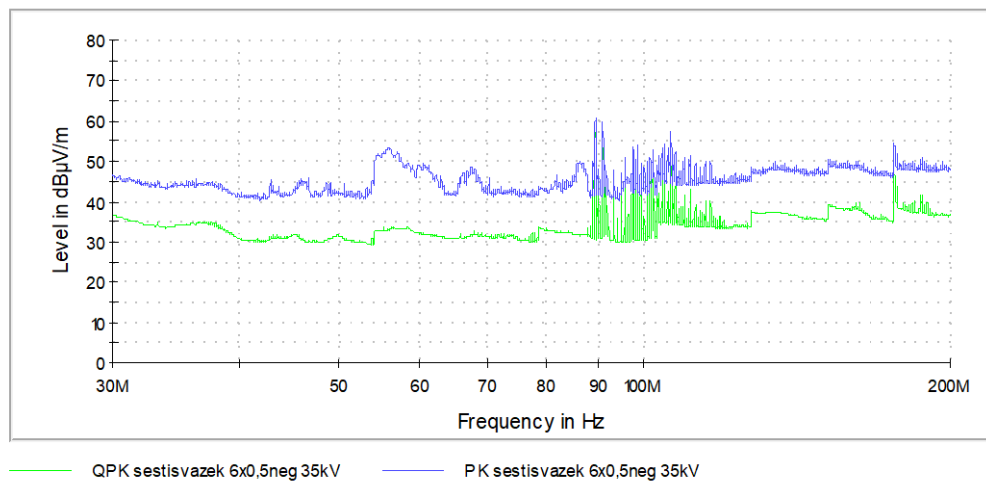
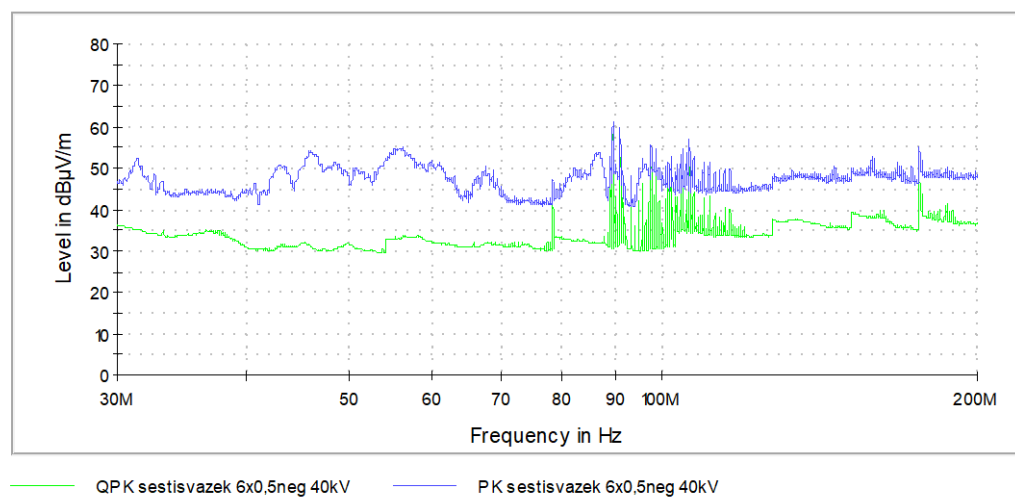
Příloha 37: Šestisvazek 6x0,5 mm; 20 kV neg; (30 MHz - 200 MHz)

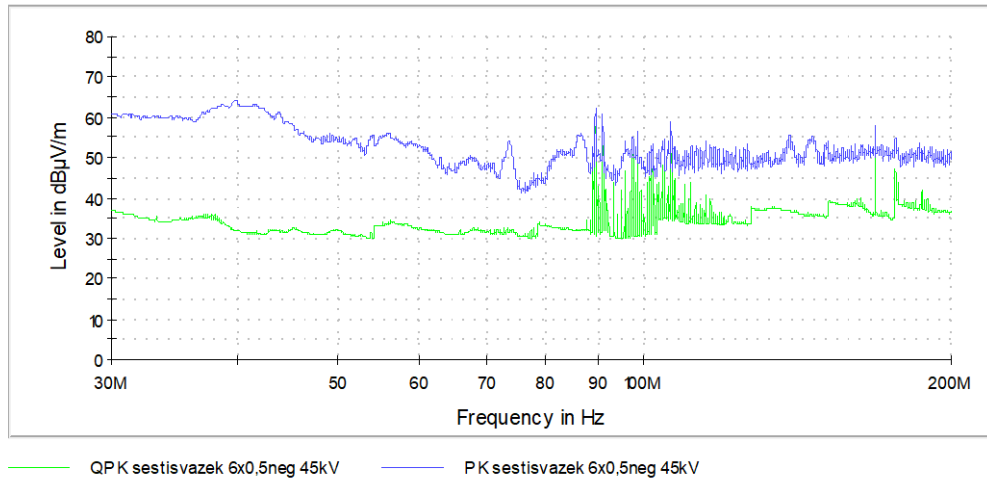


Příloha 38: Šestisvazek 6x0,5 mm; 25 kV neg; (30 MHz - 200 MHz)

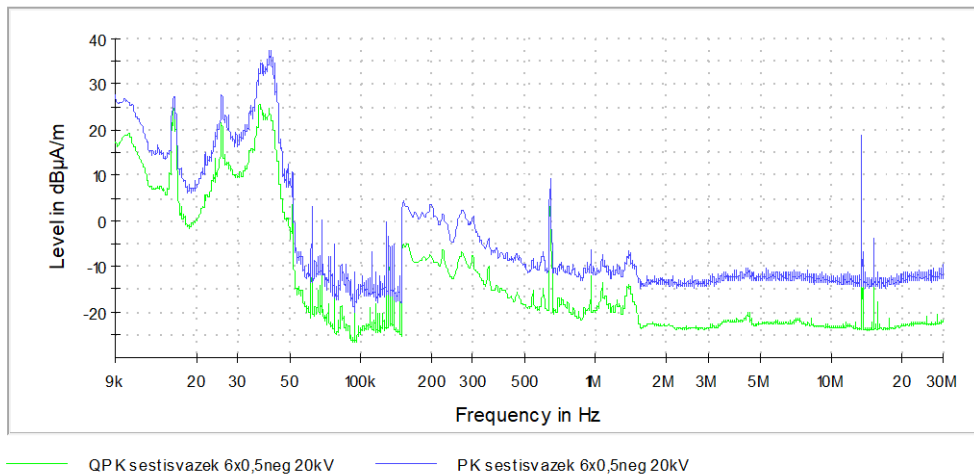


Příloha 39: Šestisvazek 6x0,5 mm; 30 kV neg; (30 MHz - 200 MHz)

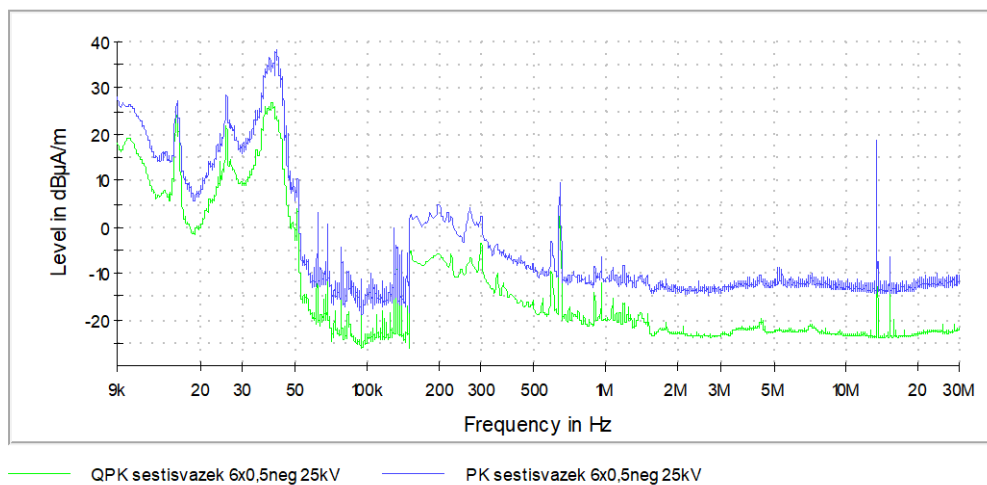
**Příloha 40: Šestisvazek 6x0,5 mm; 35 kV neg; (30 MHz - 200 MHz)****Příloha 41: Šestisvazek 6x0,5 mm; 40 kV neg; (30 MHz - 200 MHz)**



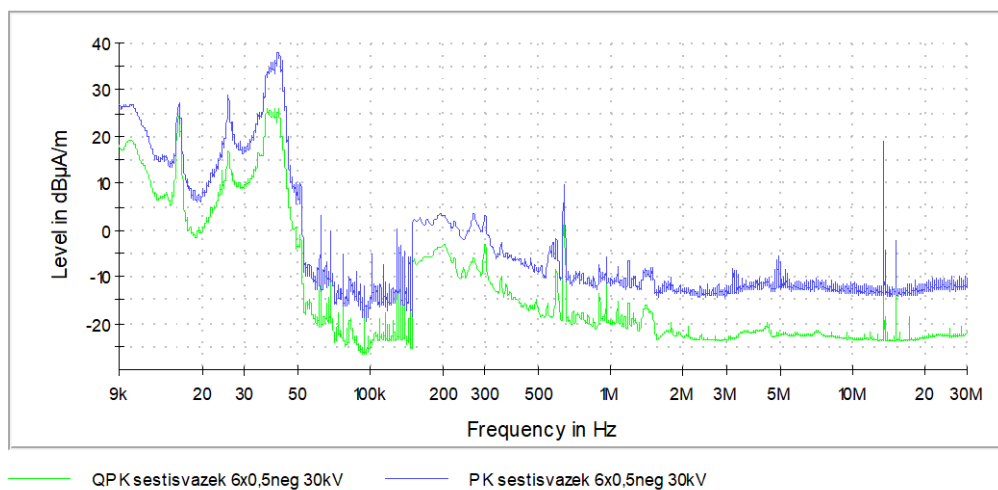
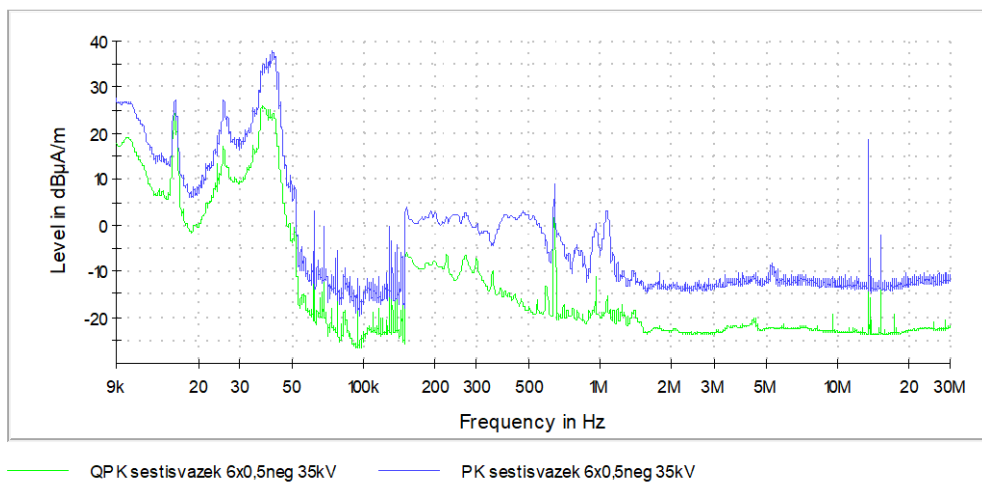
Příloha 42: Šestisvazek 6x0,5 mm; 45 kV neg; (30 MHz - 200 MHz)

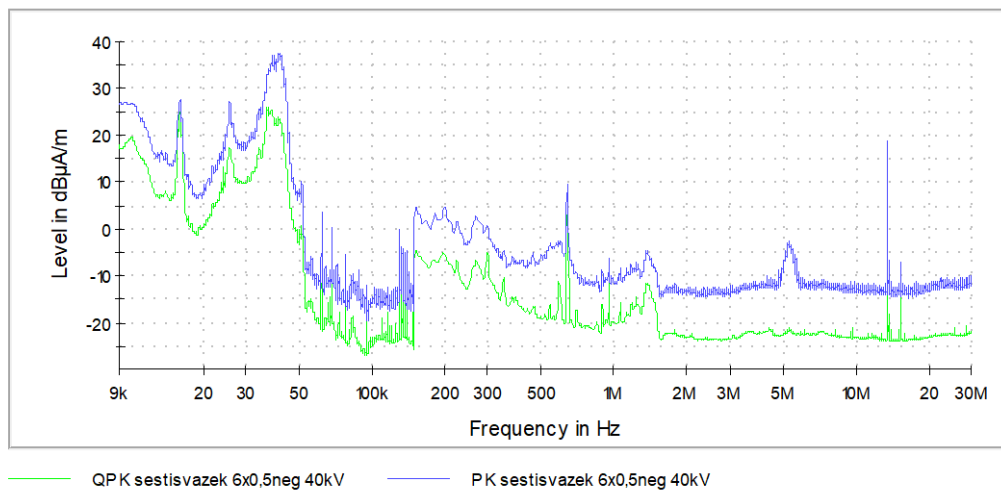
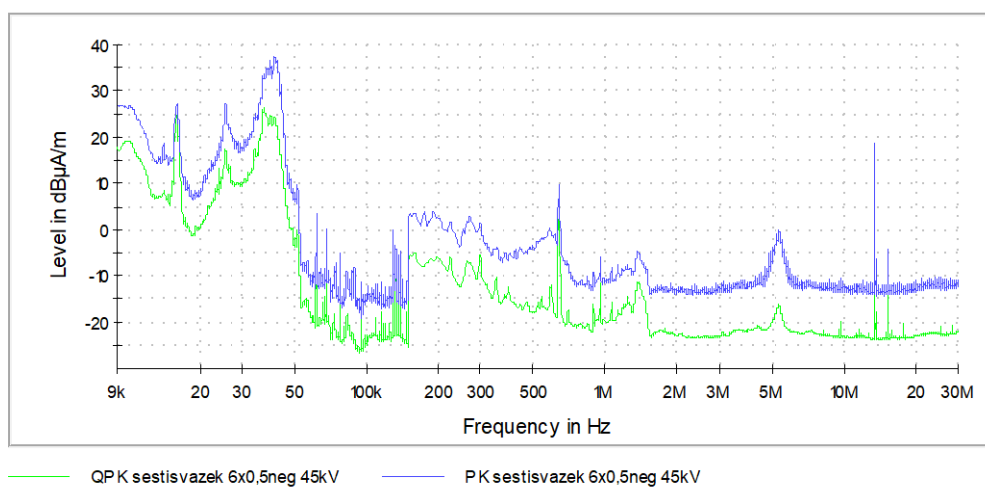


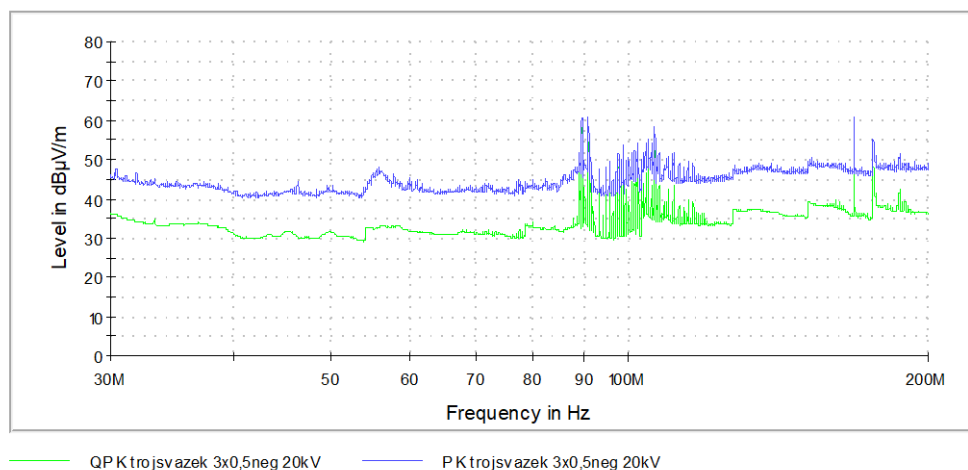
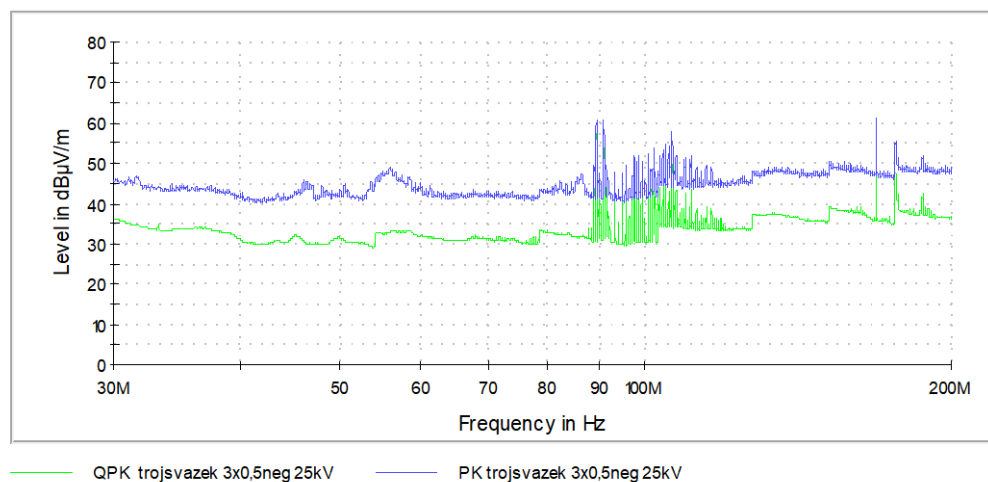
Příloha 43: Sestisvazek 6x0,5 mm; 20 kV neg; (9 kHz - 30 MHz)

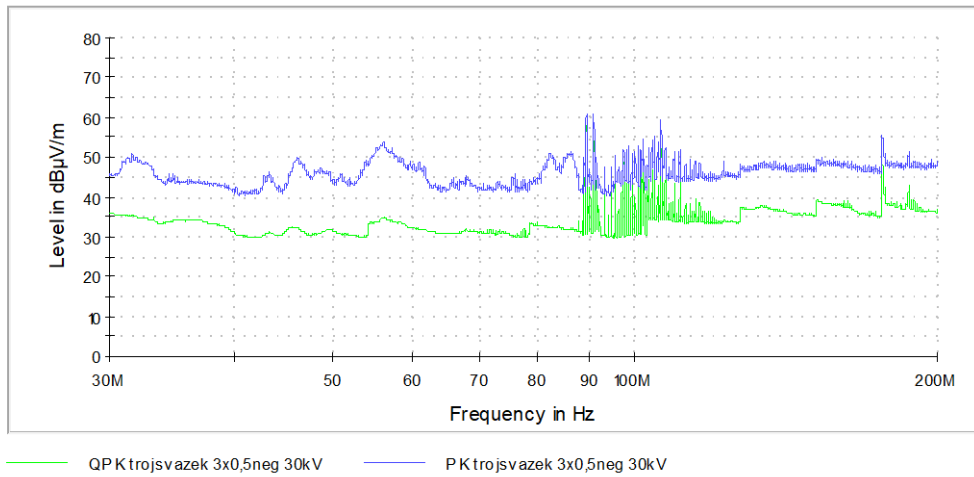


Příloha 44: Sestisvazek 6x0,5 mm; 25 kV neg; (9 kHz - 30 MHz)

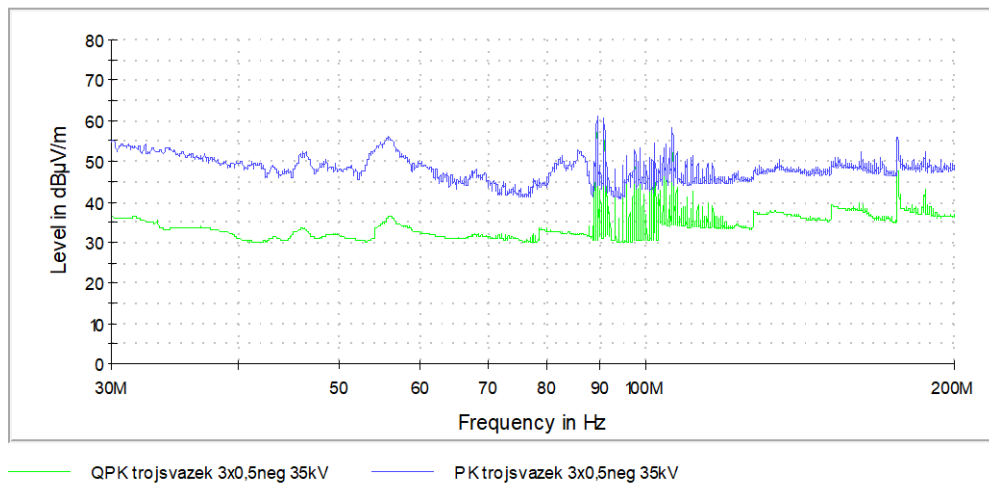
**Příloha 45: Sestisvazek 6x0,5 mm; 30 kV neg; (9 kHz - 30 MHz)****Příloha 46: Sestisvazek 6x0,5 mm; 35 kV neg; (9 kHz - 30 MHz)**

**Příloha 47: Sestisvazek 6x0,5 mm; 40 kV neg; (9 kHz - 30 MHz)****Příloha 48: Sestisvazek 6x0,5 mm; 45 kV neg; (9 kHz - 30 MHz)**

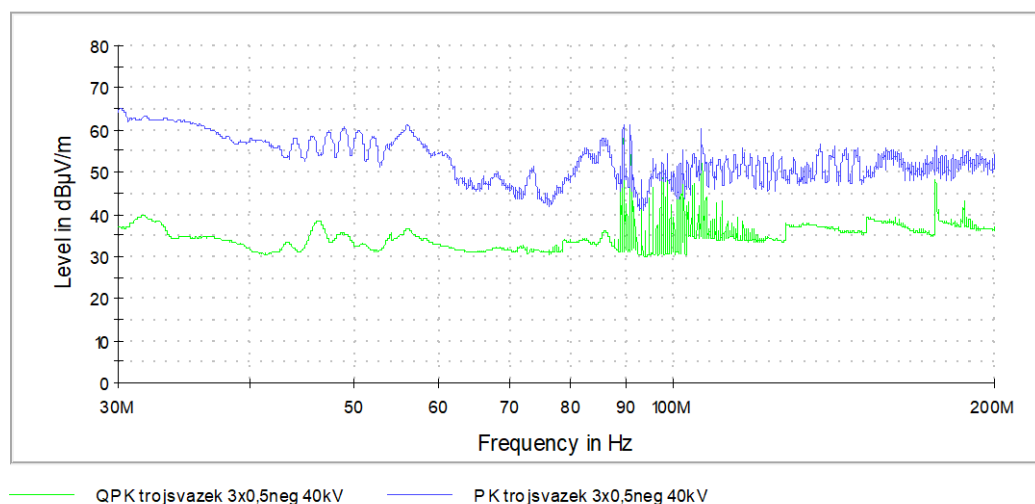
**Příloha 49: Trojsvazek 3x0,5 mm; 20 kV neg; (30 MHz - 200 MHz)****Příloha 50: Trojsvazek 3x0,5 mm; 25 kV neg; (30 MHz - 200 MHz)**



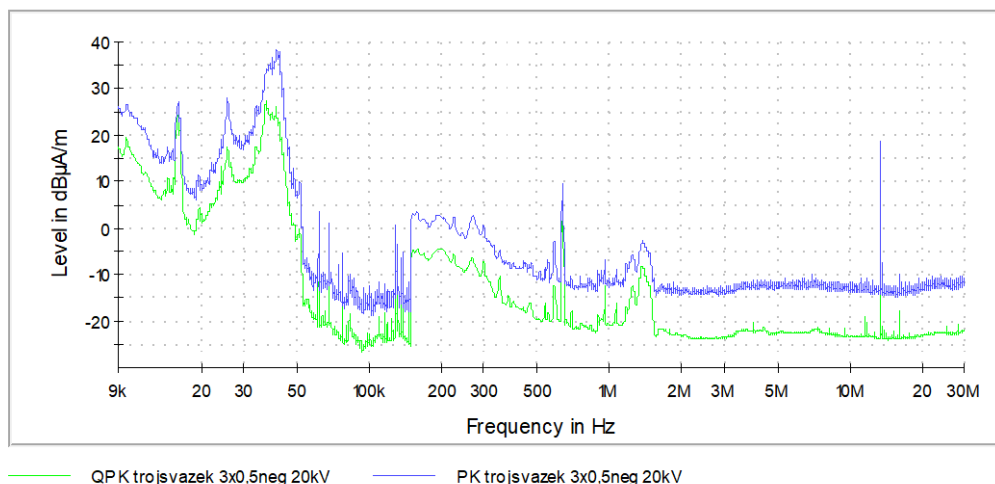
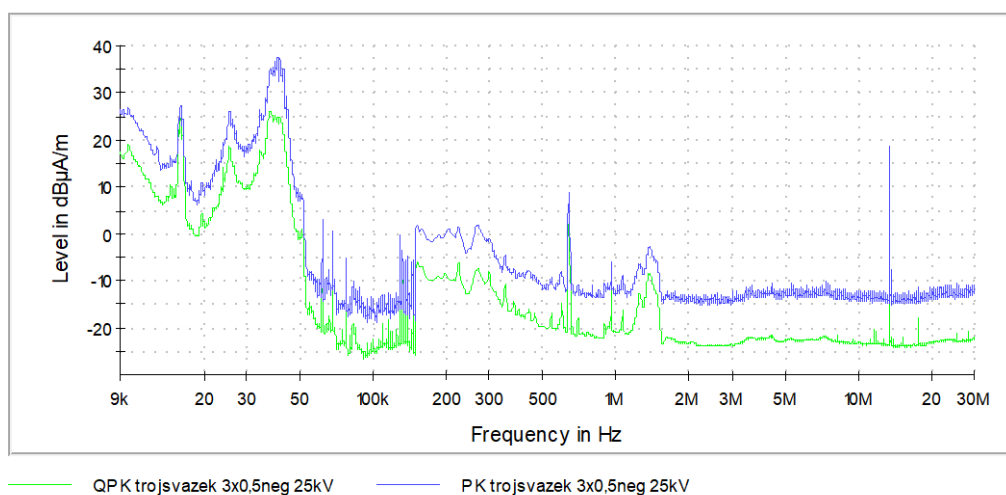
Příloha 51: Trojsvazek 3x0,5 mm; 30 kV neg; (30 MHz - 200 MHz)

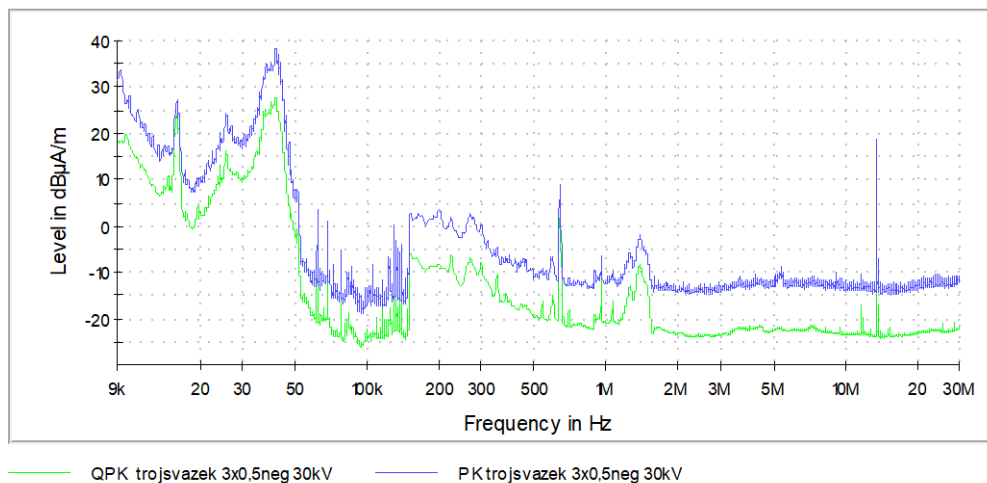
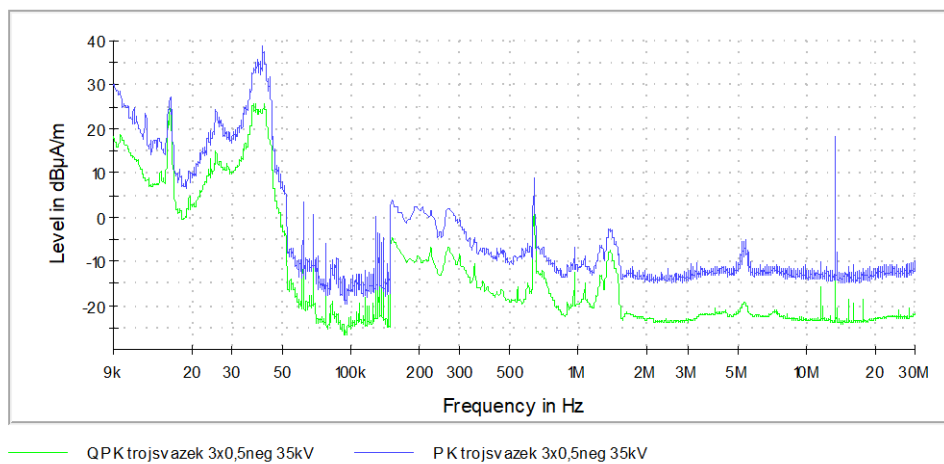


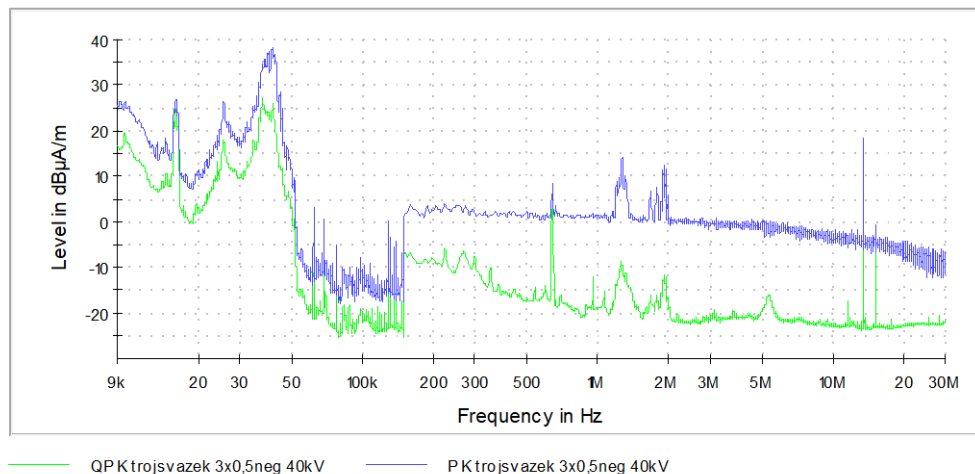
Příloha 52: Trojsvazek 3x0,5 mm; 35 kV neg; (30 MHz - 200 MHz)



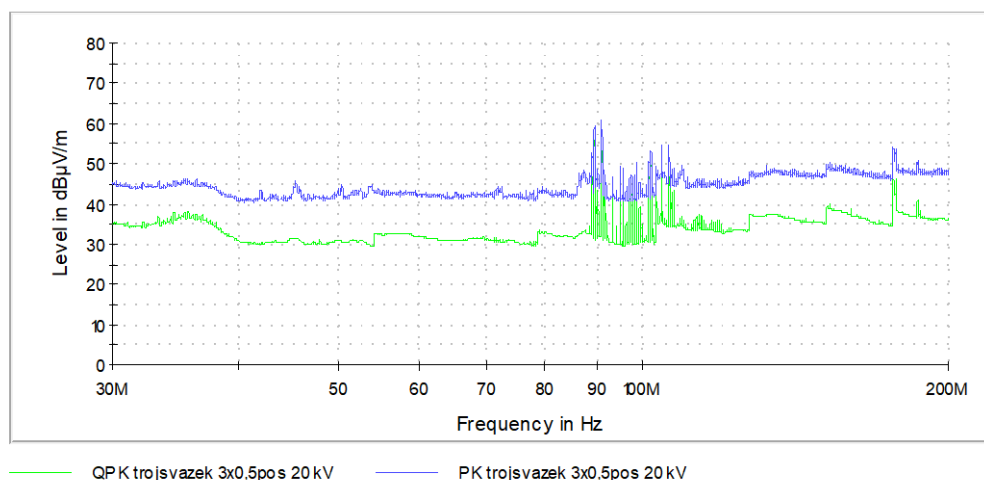
Příloha 53: Trojsvazek 3x0,5 mm; 40 kV neg; (30 MHz - 200 MHz)

**Příloha 54: Trojsvazek 3x0,5 mm; 20 kV neg; (9 kHz - 30 MHz)****Příloha 55: Trojsvazek 3x0,5 mm; 25 kV neg; (9 kHz - 30 MHz)**

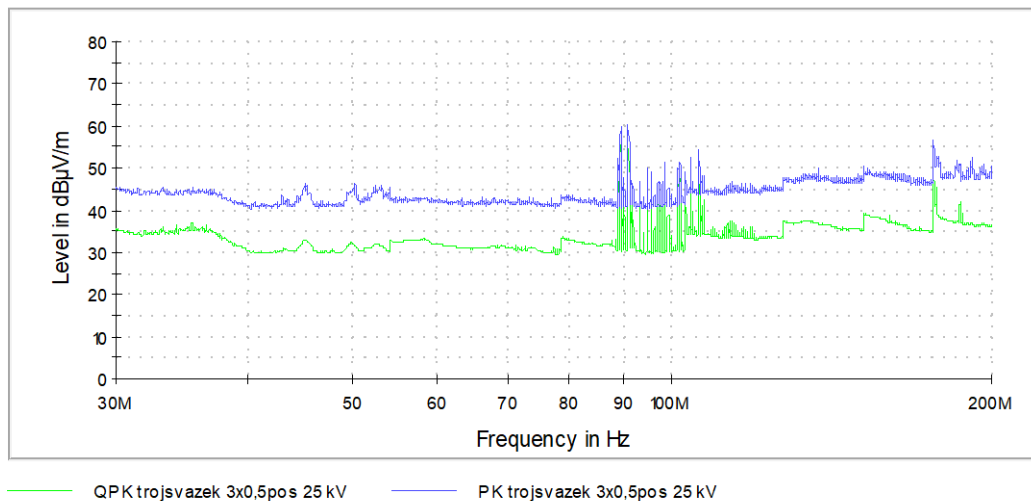
**Příloha 56: Trojsvazek 3x0,5 mm; 30 kV neg; (9 kHz - 30 MHz)****Příloha 57: Trojsvazek 3x0,5 mm; 35 kV neg; (9 kHz - 30 MHz)**



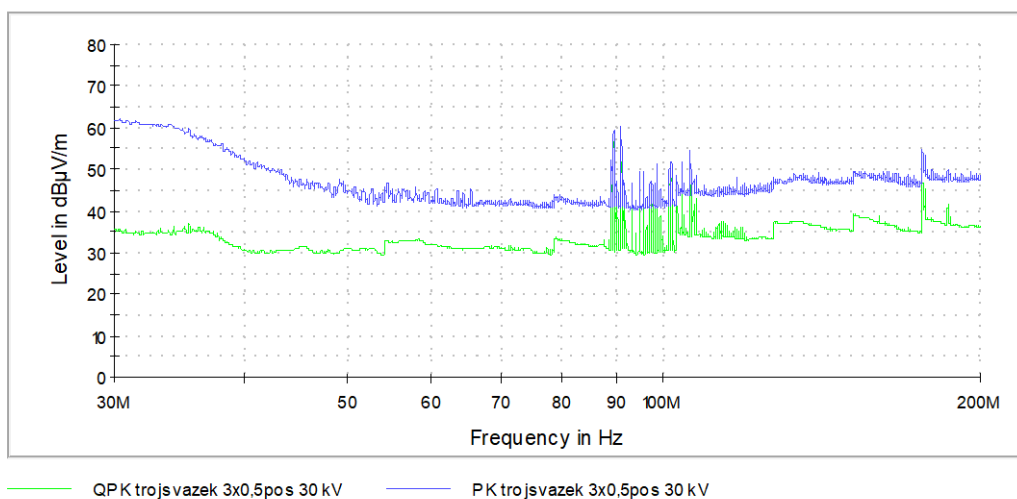
Příloha 58: Trojsvazek 3x0,5 mm; 40 kV neg; (9 kHz - 30 MHz)



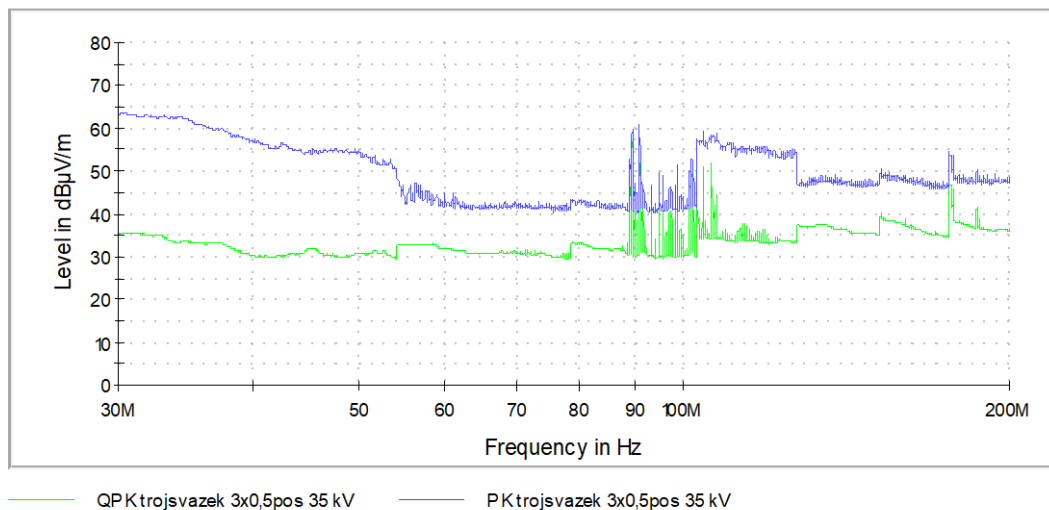
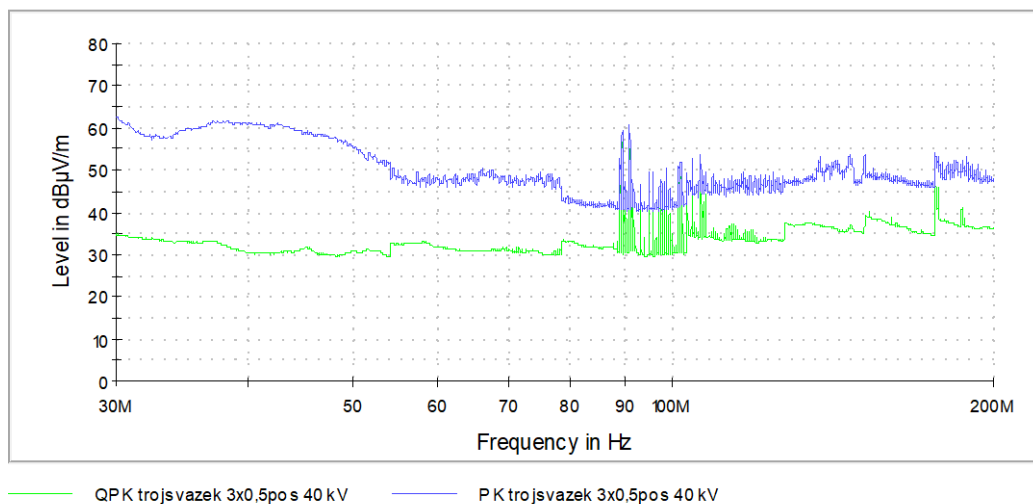
Příloha 59: Trojsvazek 3x0,5 mm; 20 kV pos; (30 MHz - 200 MHz)

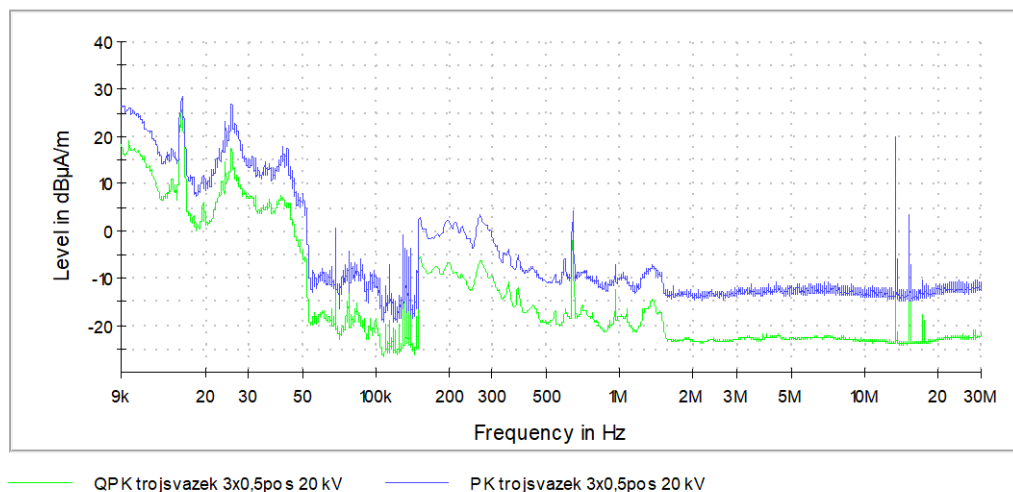


Příloha 60: Trojvazek 3x0,5 mm; 25 kV pos; (30 MHz - 200 MHz)

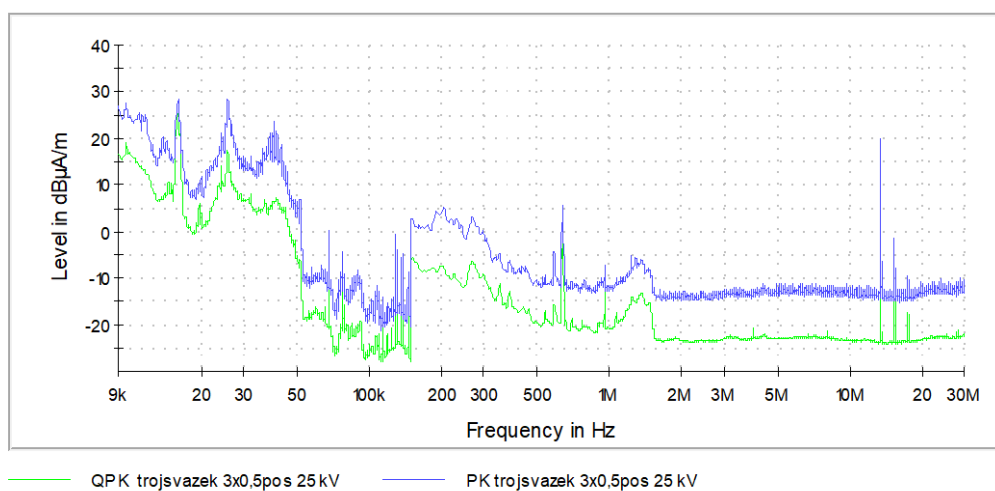


Příloha 61: Trojvazek 3x0,5 mm; 30 kV pos; (30 MHz - 200 MHz)

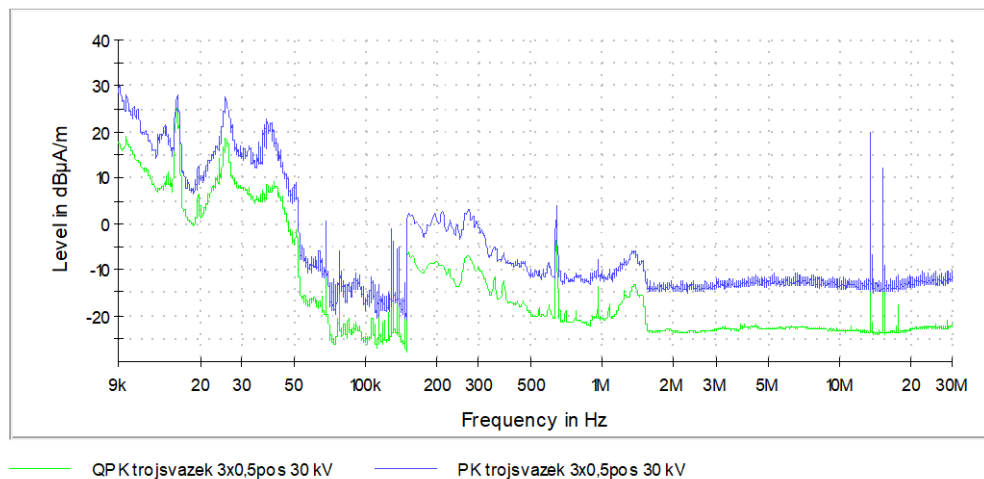
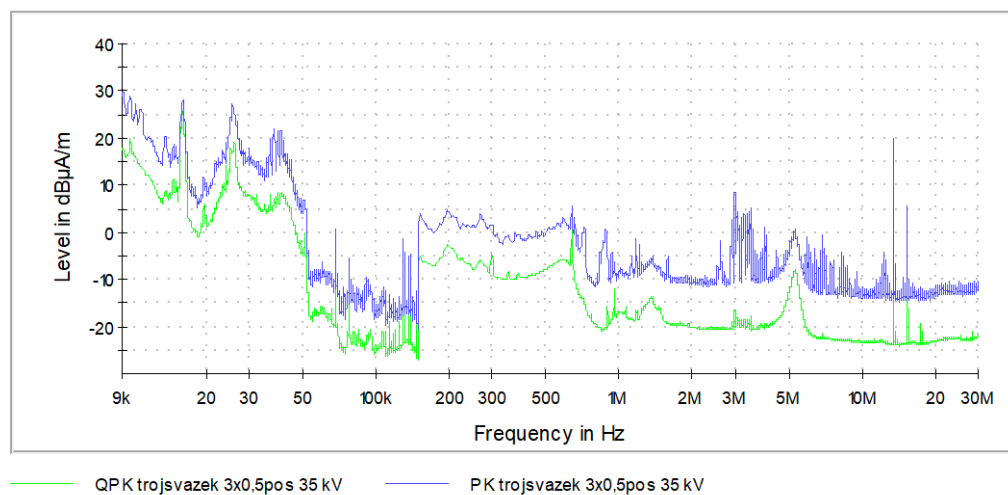
**Příloha 62: Trojvazek 3x0,5 mm; 35 kV pos; (30 MHz - 200 MHz)****Příloha 63: Trojvazek 3x0,5 mm; 40 kV pos; (30 MHz - 200 MHz)**

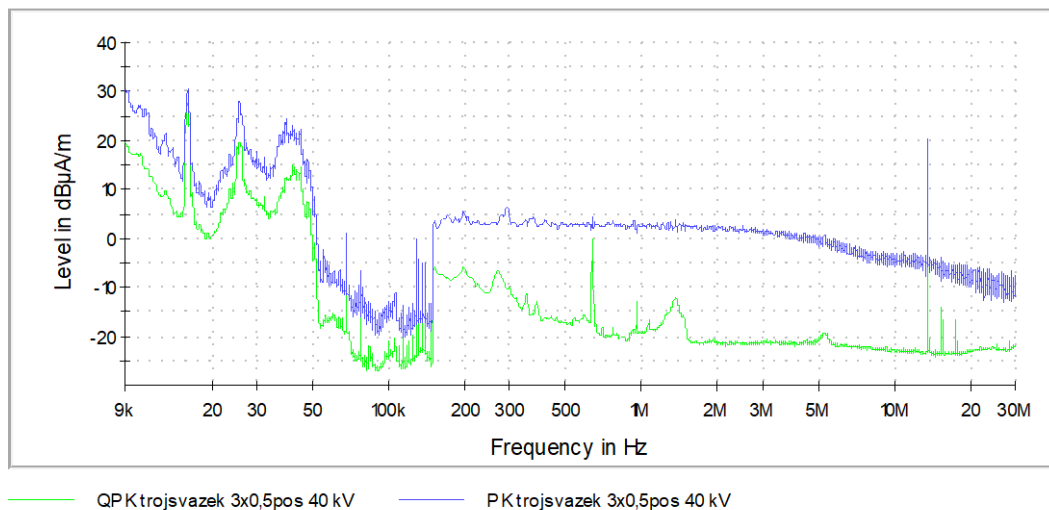


Příloha 64: Trojsvazek 3x0,5 mm; 20 kV pos; (9 kHz - 30 MHz)

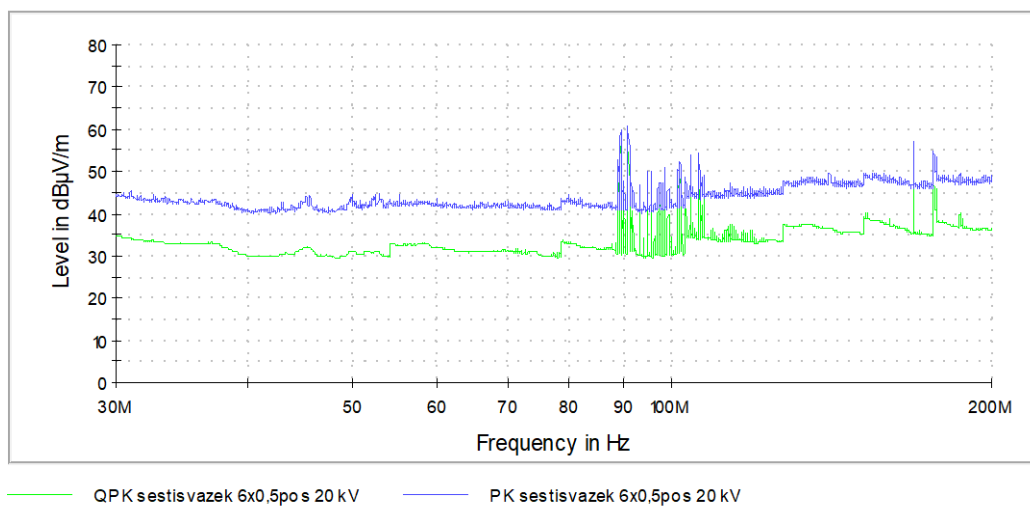


Příloha 65: Trojsvazek 3x0,5 mm; 25 kV pos; (9 kHz - 30 MHz)

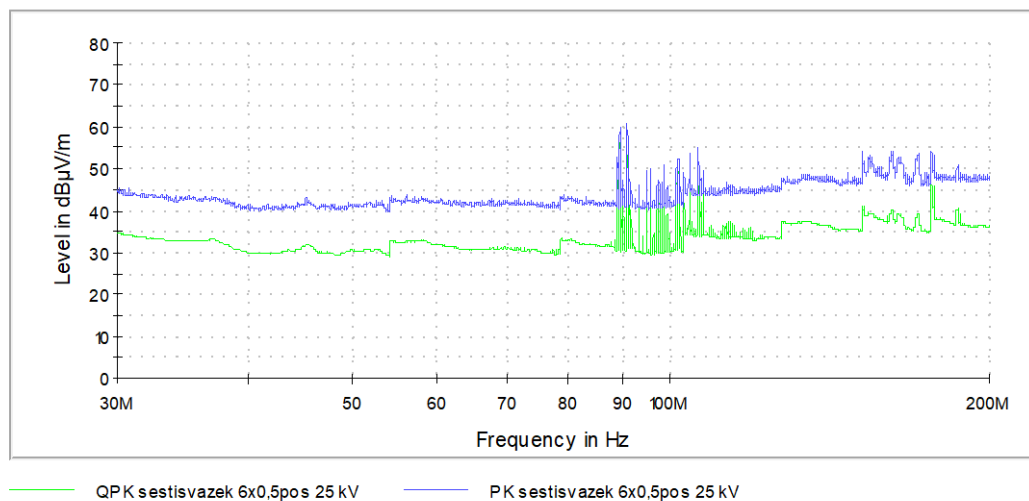
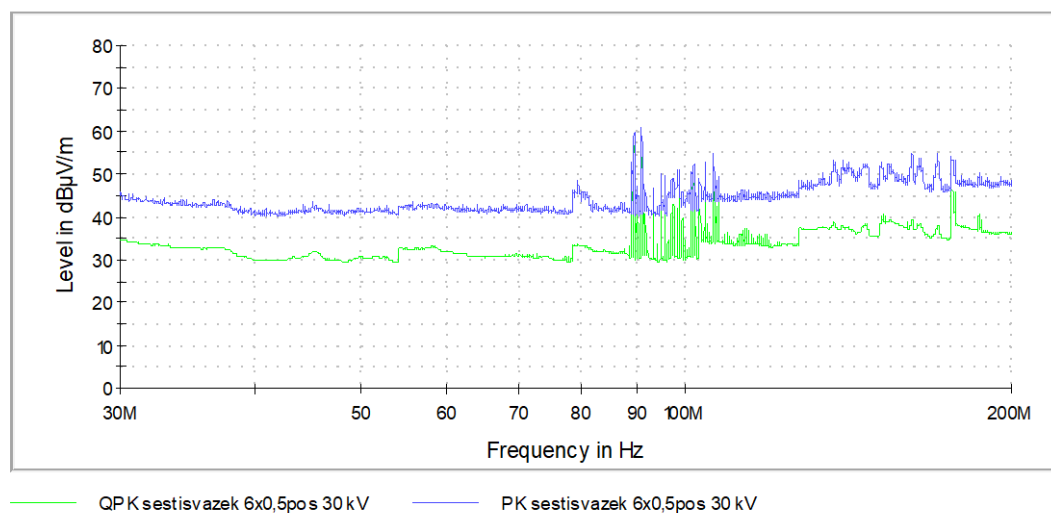
**Příloha 66: Trojsvazek 3x0,5 mm; 30 kV pos; (9 kHz - 30 MHz)****Příloha 67: Trojsvazek 3x0,5 mm; 35 kV pos; (9 kHz - 30 MHz)**

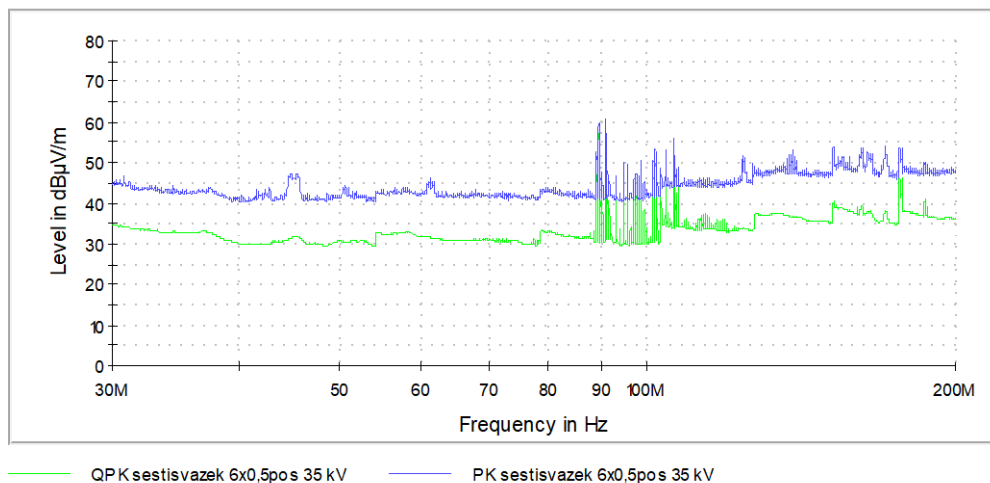
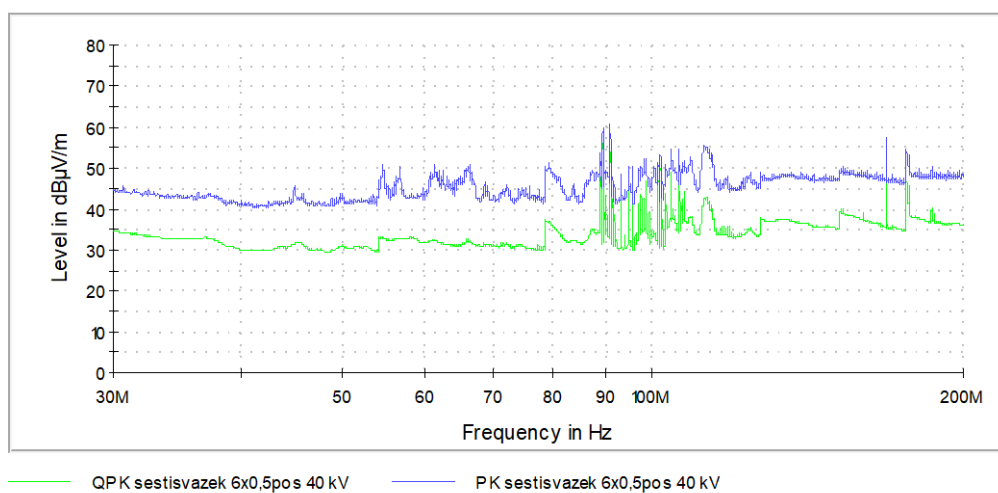


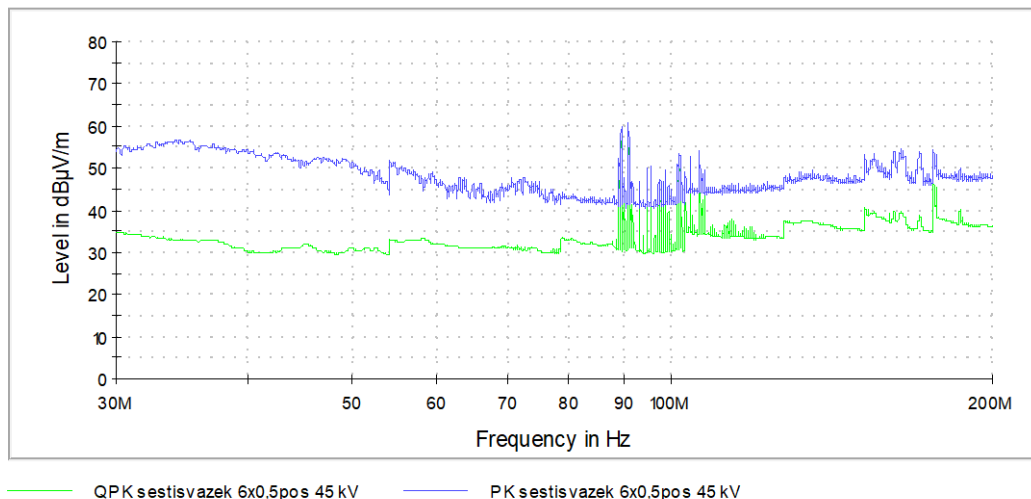
Příloha 68: Trojsvazek 3x0,5 mm; 40 kV pos; (9 kHz - 30 MHz)



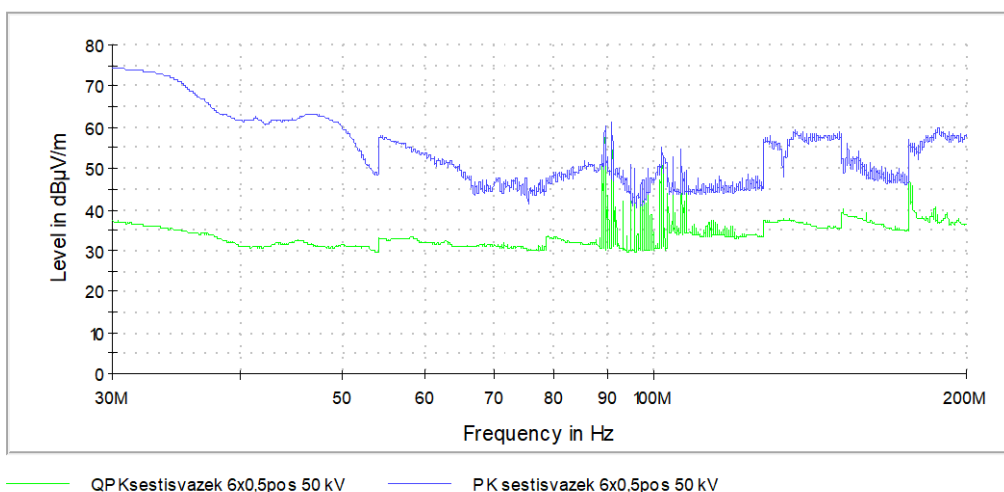
Příloha 69: Šestisvazek 6x0,5 mm; 20 kV pos; (30 MHz - 200 MHz)

**Příloha 70: Šestisvazek 6x0,5 mm; 25 kV pos; (30 MHz - 200 MHz)****Příloha 71: Šestisvazek 6x0,5 mm; 30 kV pos; (30 MHz - 200 MHz)**

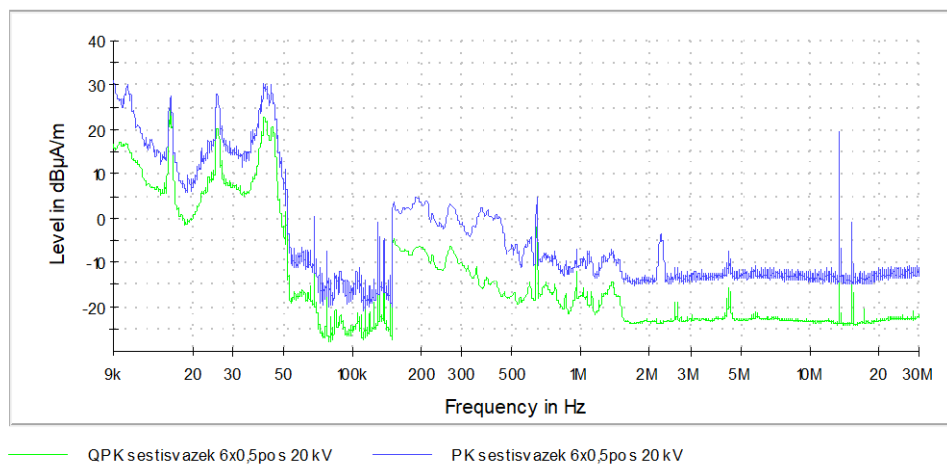
**Příloha 72: Šestisvazek 6x0,5 mm; 35 kV pos; (30 MHz - 200 MHz)****Příloha 73: Šestisvazek 6x0,5 mm; 40 kV pos; (30 MHz - 200 MHz)**



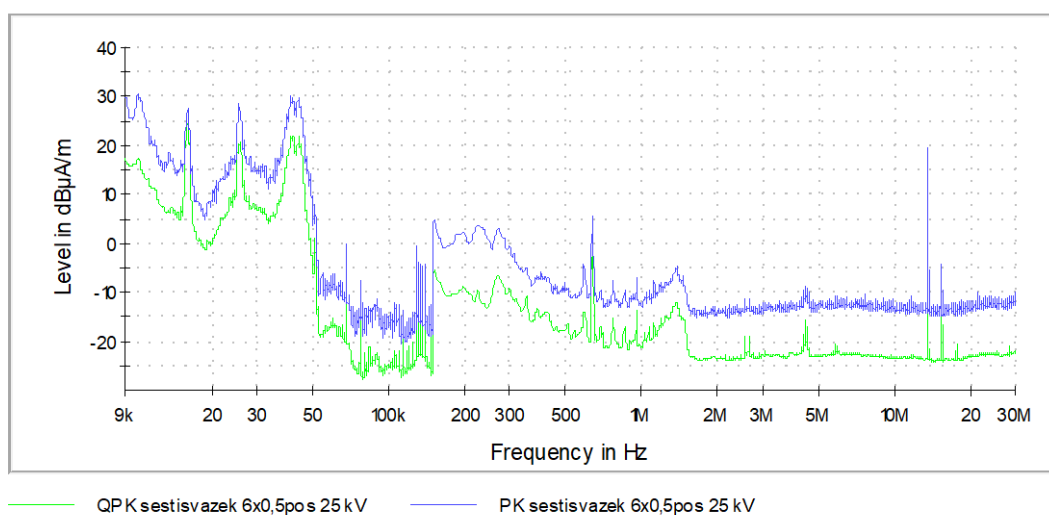
Příloha 74: Šestisvazek 6x0,5 mm; 45 kV pos; (30 MHz - 200 MHz)



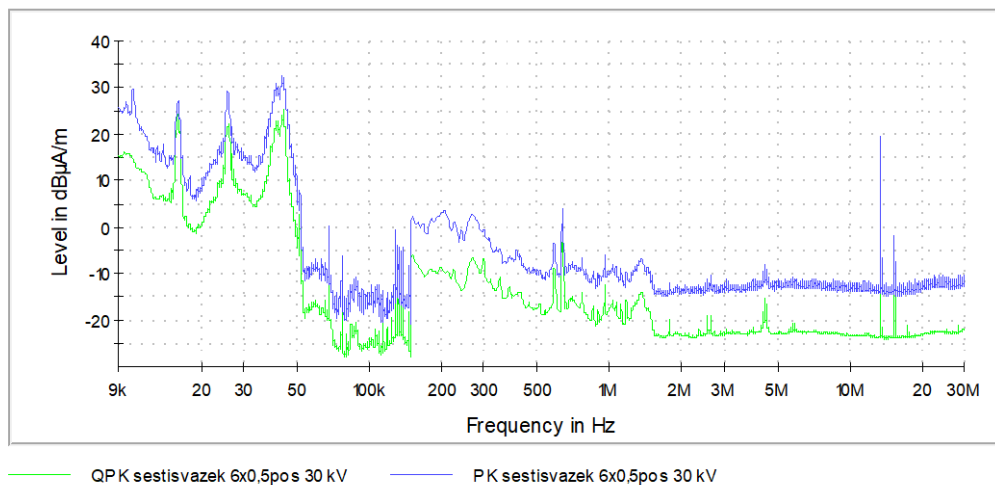
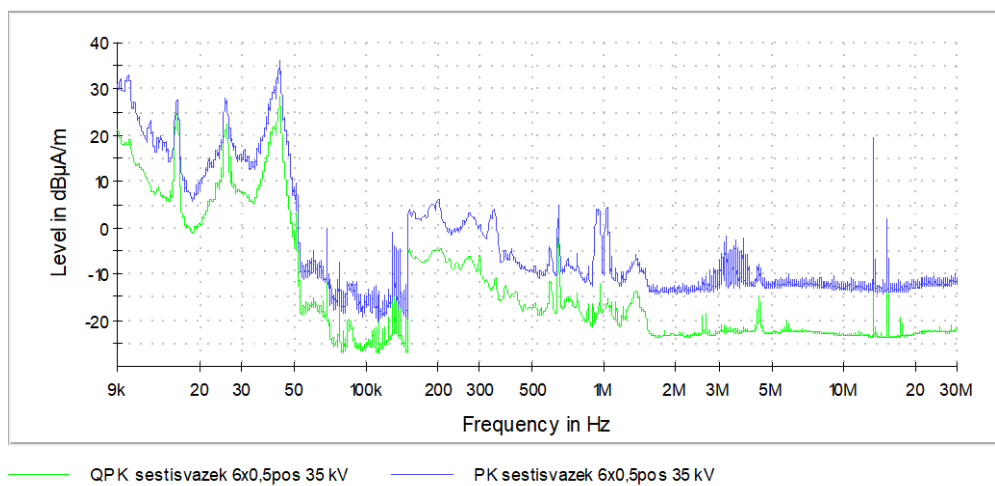
Příloha 75: Šestisvazek 6x0,5 mm; 50 kV pos; (30 MHz - 200 MHz)

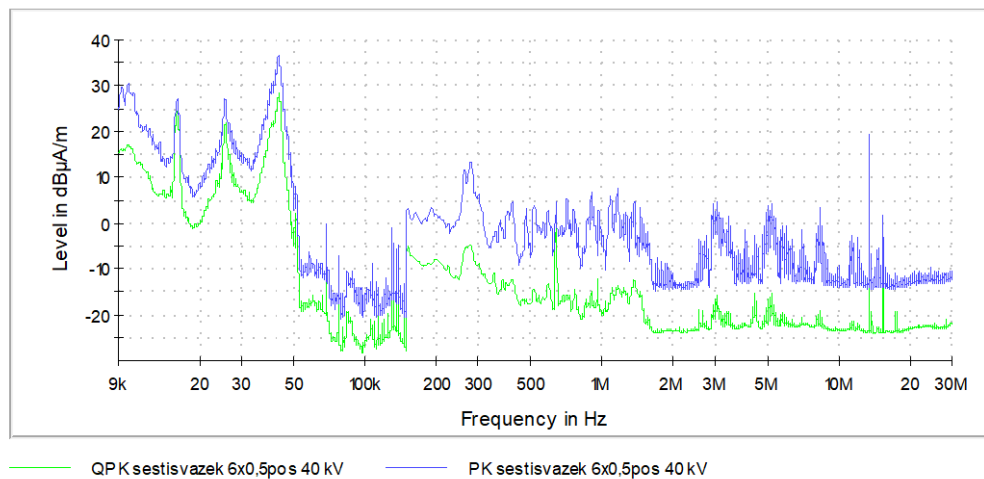


Příloha 76: Šestisvazek 6x0,5 mm; 20 kV pos; (9 kHz - 30 MHz)

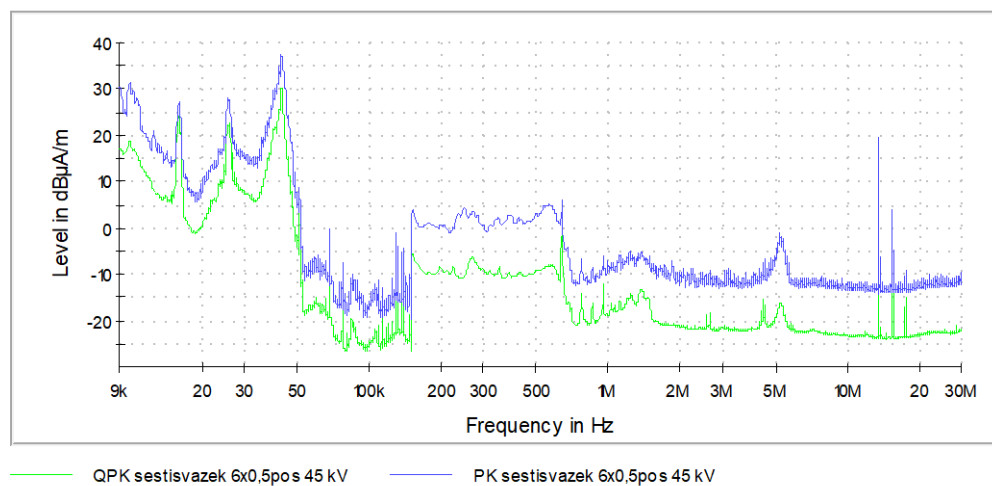


Příloha 77: Šestisvazek 6x0,5 mm; 25 kV pos; (9 kHz - 30 MHz)

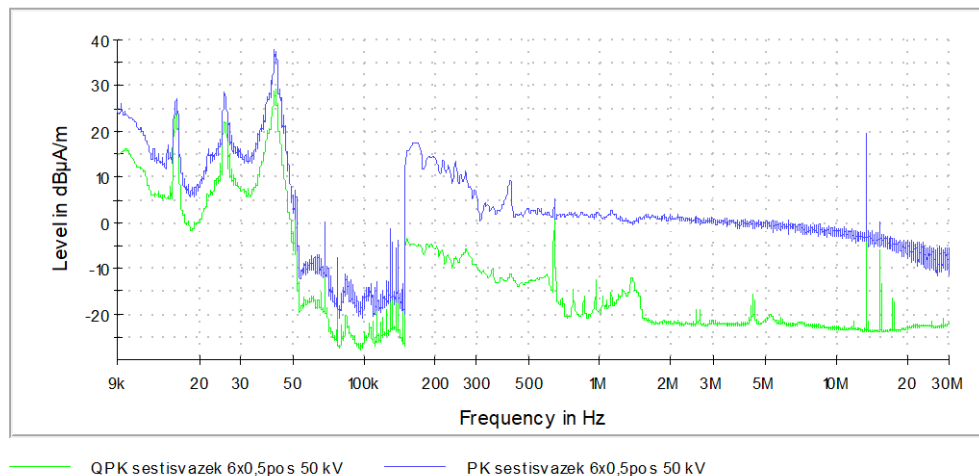
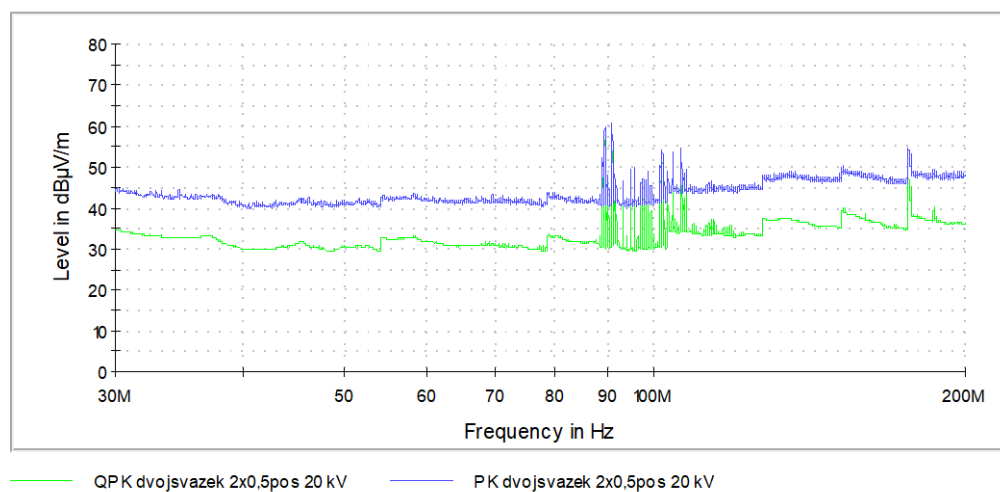
**Příloha 78: Šestisvazek 6x0,5 mm; 30 kV pos; (9 kHz - 30 MHz)****Příloha 79: Šestisvazek 6x0,5 mm; 35 kV pos; (9 kHz - 30 MHz)**

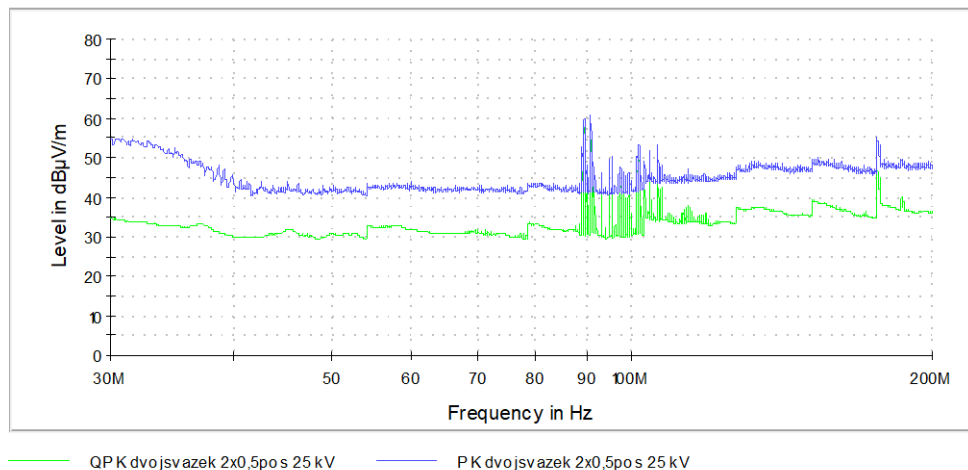


Příloha 80: Šestisvazek 6x0,5 mm; 40 kV pos; (9 kHz - 30 MHz)

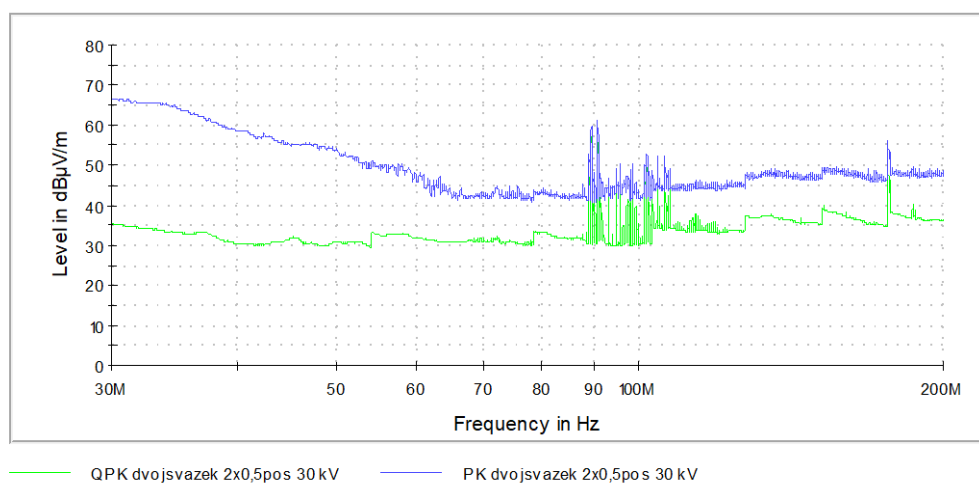


Příloha 81: Šestisvazek 6x0,5 mm; 45 kV pos; (9 kHz - 30 MHz)

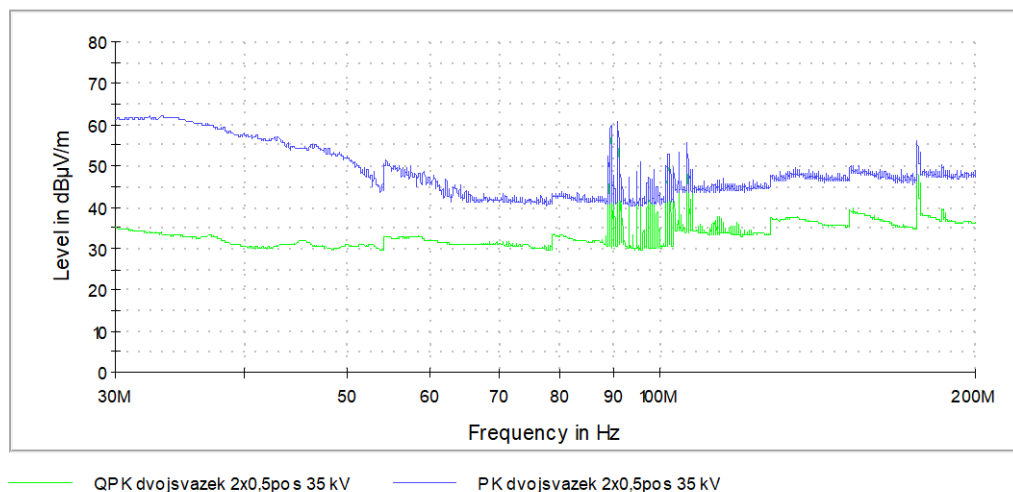
**Příloha 82: Šestisvazek 6x0,5 mm; 50 kV pos; (9 kHz - 30 MHz)****Příloha 83: Dvojsvazek 2x0,5 mm; 20 kV pos; (30 MHz - 200 MHz)**



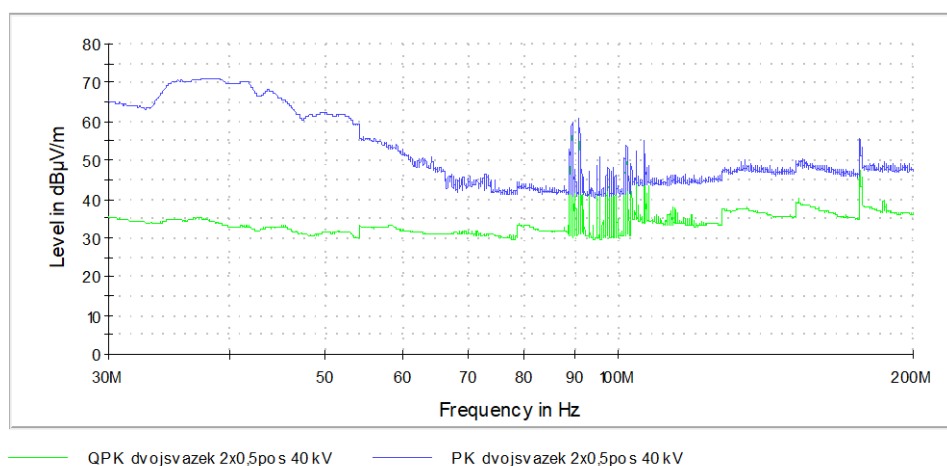
Příloha 84: Dvojsvazek 2x0,5 mm; 25 kV pos; (30 MHz - 200 MHz)



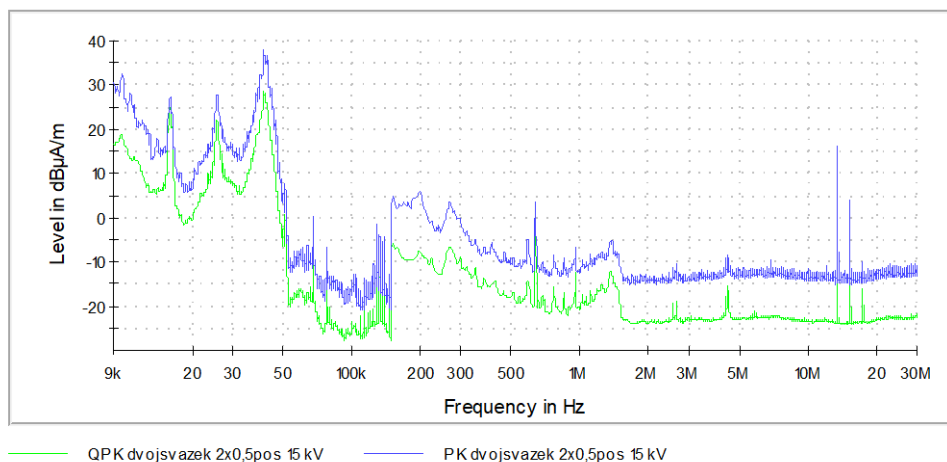
Příloha 85: Dvojsvazek 2x0,5 mm; 30 kV pos; (30 MHz - 200 MHz)



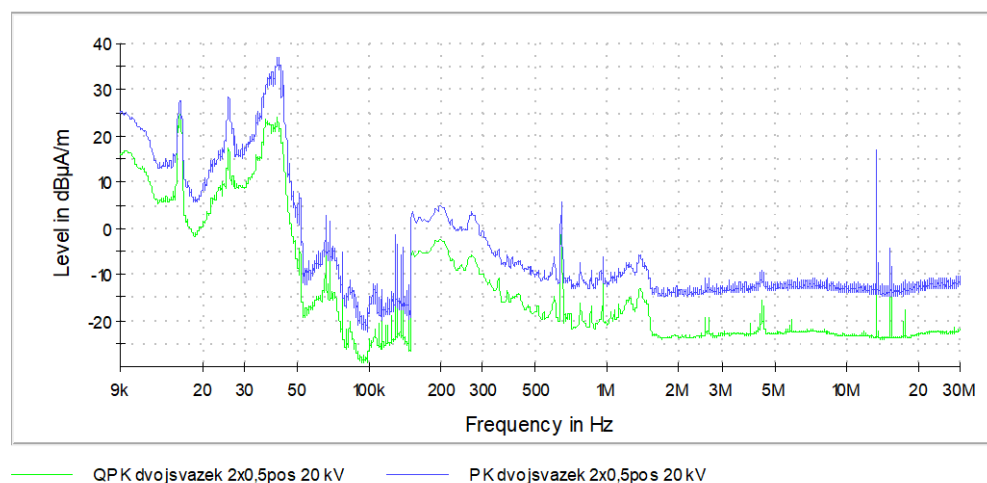
Příloha 86: Dvojsvazek 2x0,5 mm; 35 kV pos; (30 MHz - 200 MHz)



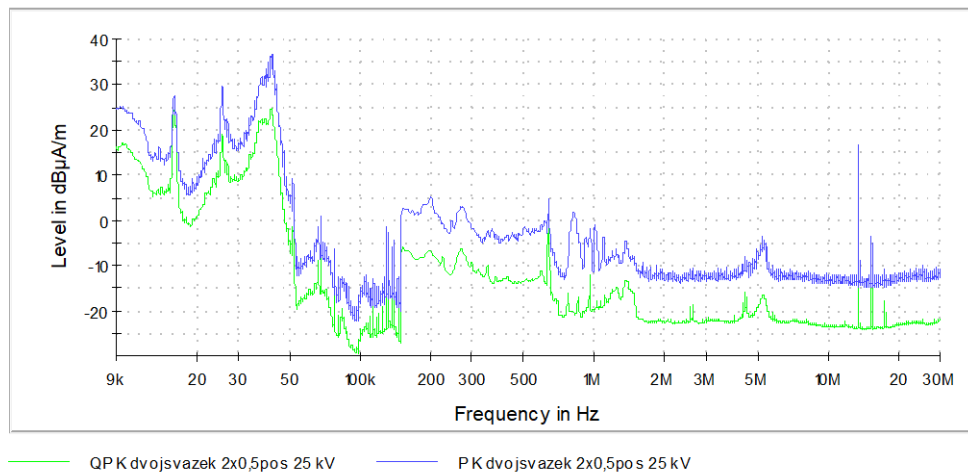
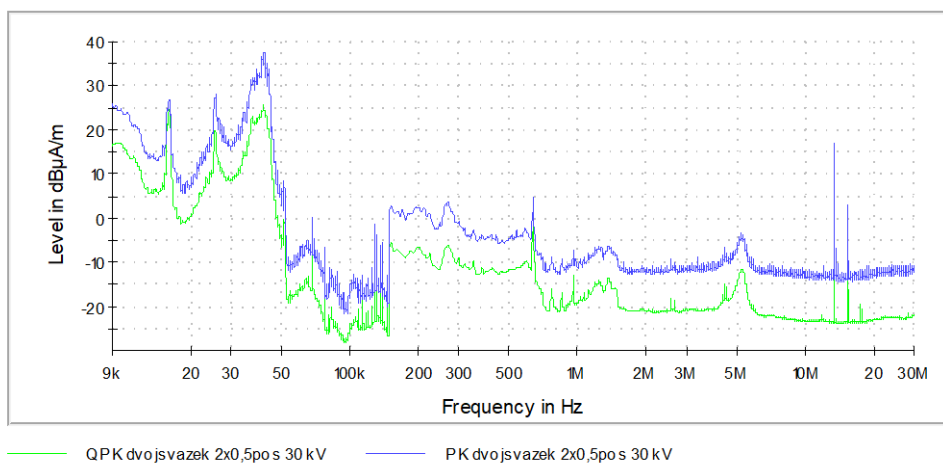
Příloha 87: Dvojsvazek 2x0,5 mm; 40 kV pos; (30 MHz - 200 MHz)

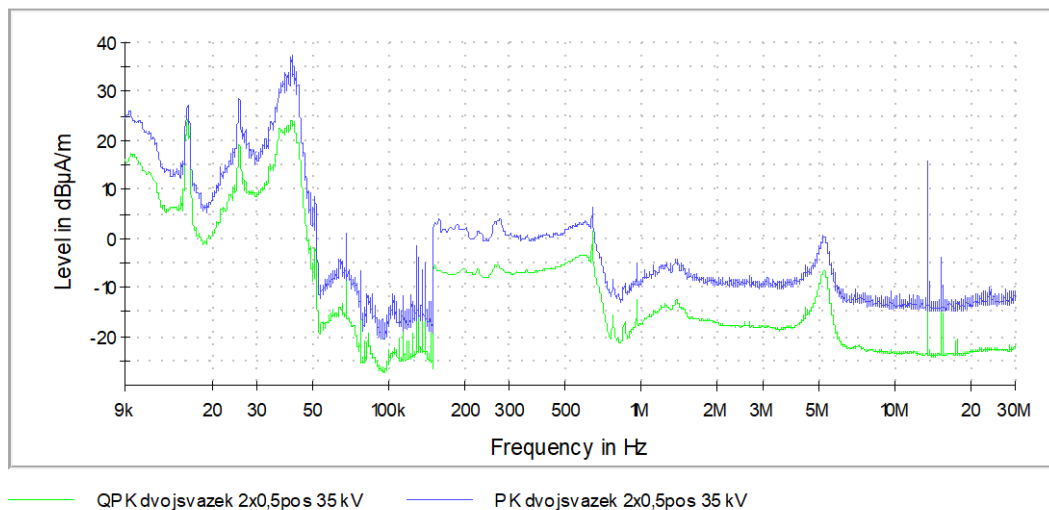


Příloha 88: Dvojsvazek 2x0,5 mm; 15 kV pos; (9 kHz - 30 MHz)

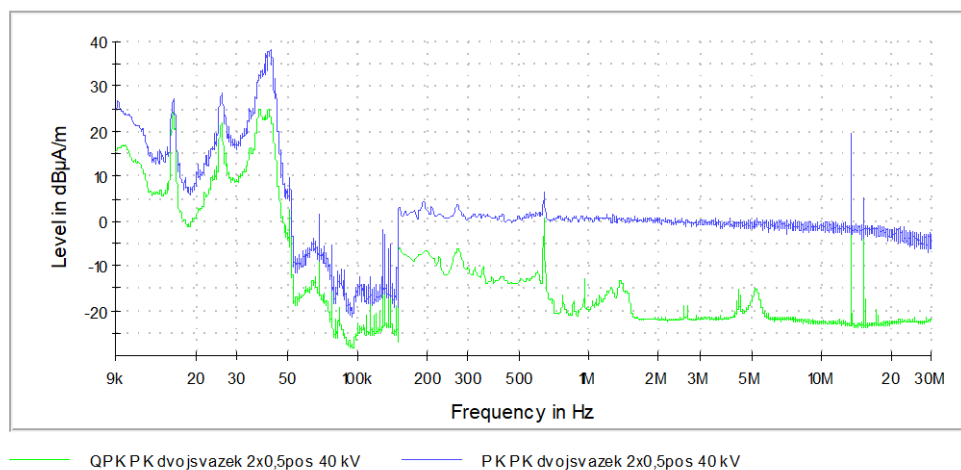


Příloha 89: Dvojsvazek 2x0,5 mm; 20 kV pos; (9 kHz - 30 MHz)

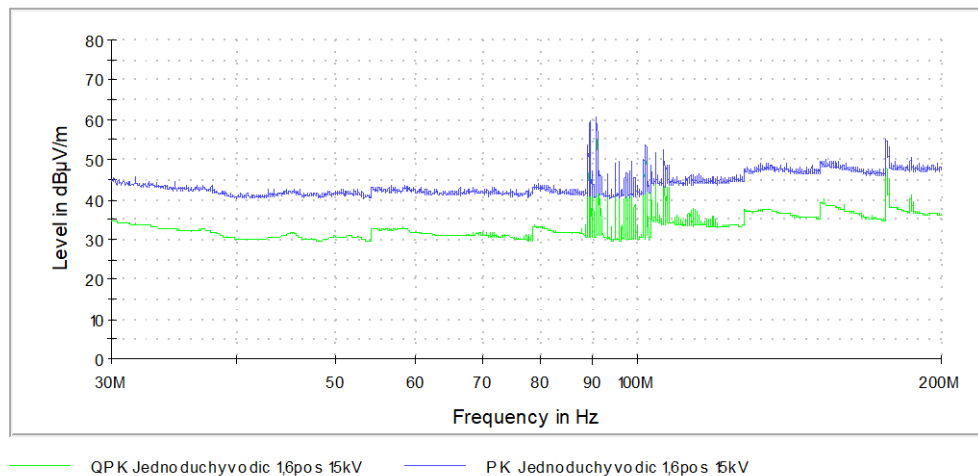
**Příloha 90: Dvojsvazek 2x0,5 mm; 25 kV pos; (9 kHz - 30 MHz)****Příloha 91: Dvojsvazek 2x0,5 mm; 30 kV pos; (9 kHz - 30 MHz)**



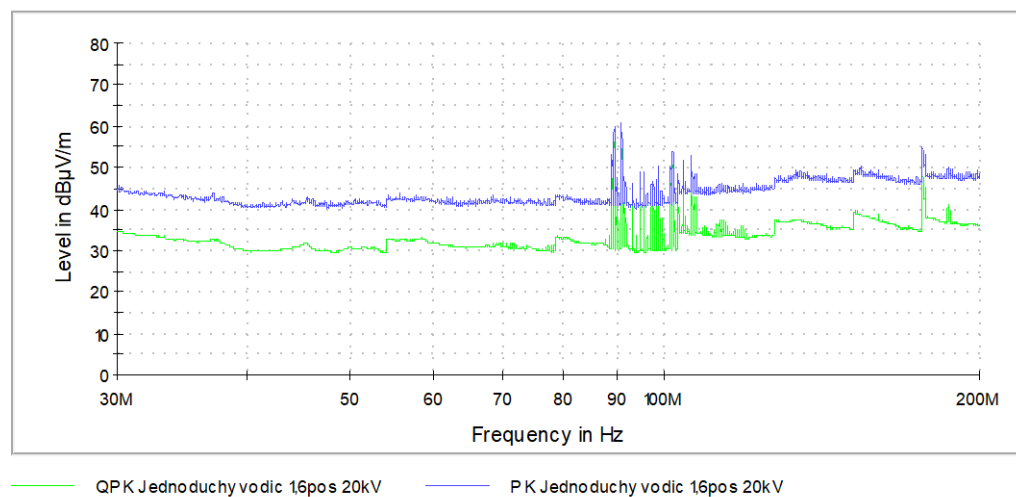
Příloha 92: Dvojsvazek 2x0,5 mm; 35 kV pos; (9 kHz - 30 MHz)



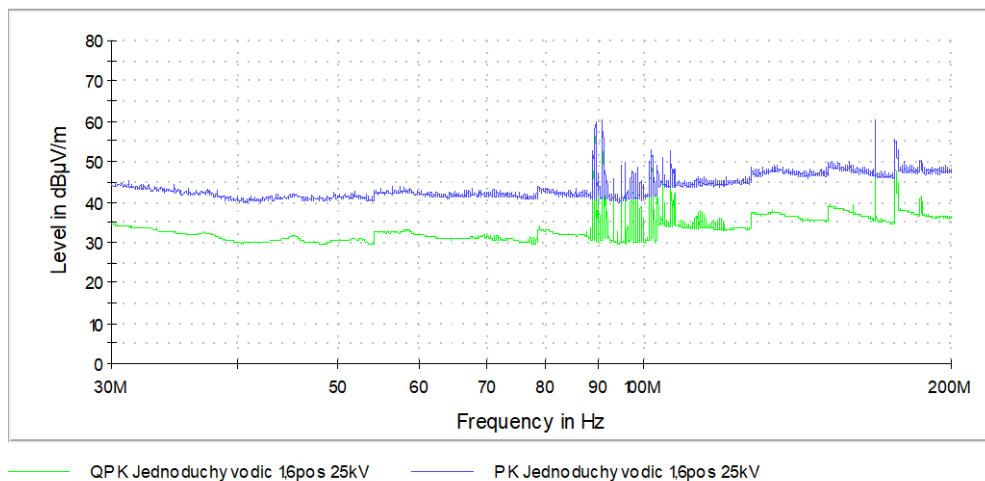
Příloha 93: Dvojsvazek 2x0,5 mm; 40 kV pos; (9 kHz - 30 MHz)



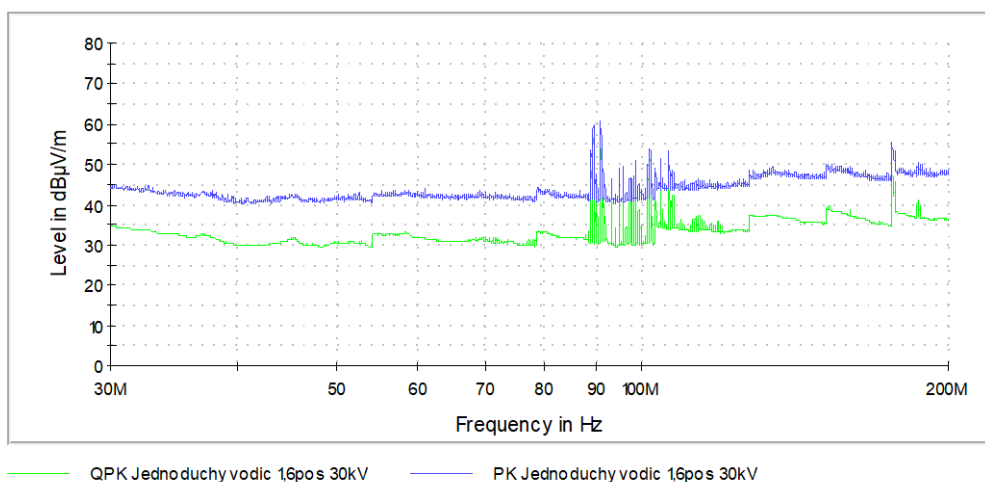
Příloha 94: Jednoduchý vodič 1,6 mm; 15 kV pos; (30 MHz - 200 MHz)



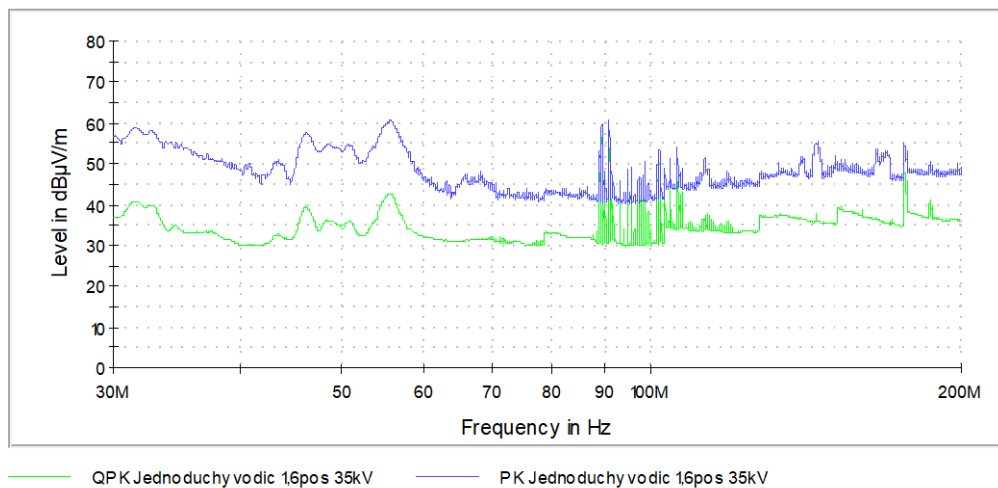
Příloha 95: Jednoduchý vodič 1,6 mm; 20 kV pos; (30 MHz - 200 MHz)



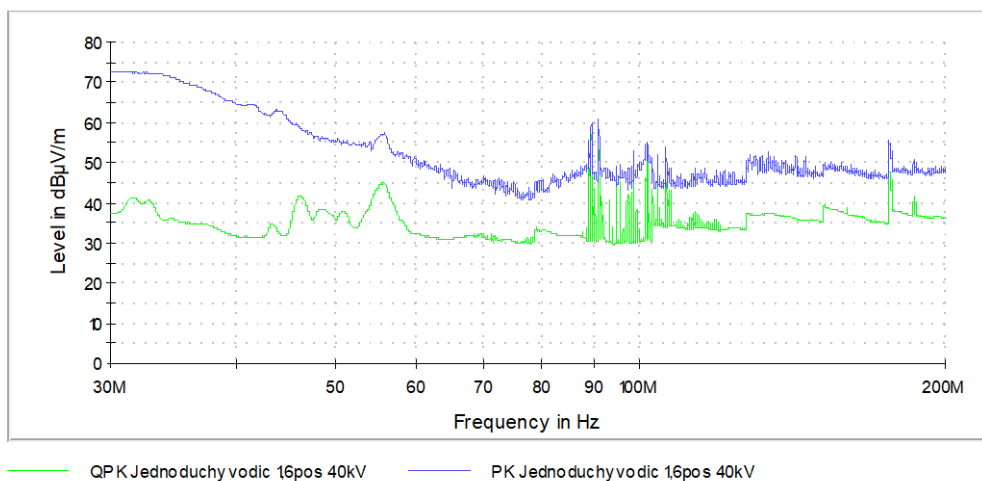
Příloha 96: Jednoduchý vodič 1,6 mm; 25 kV pos; (30 MHz - 200 MHz)



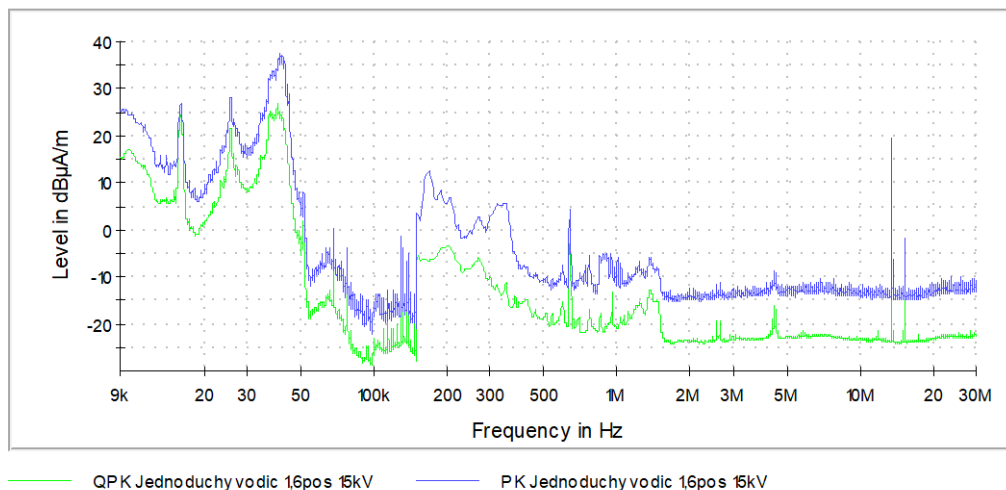
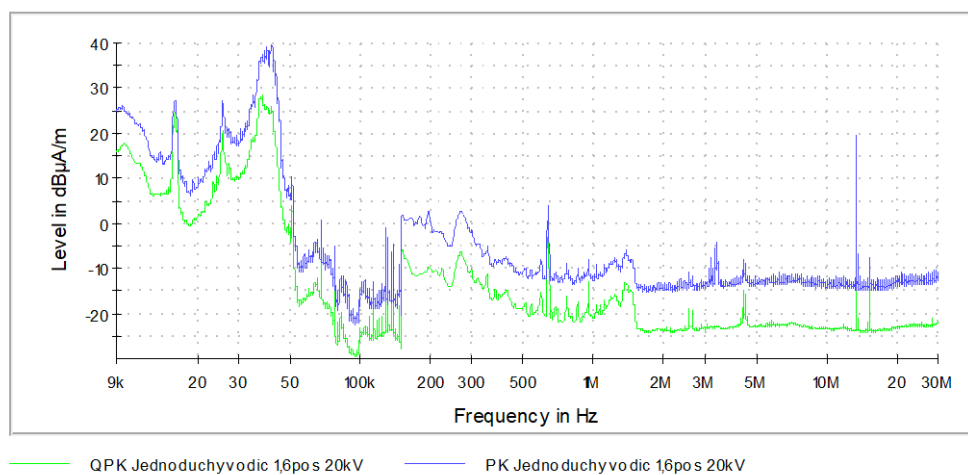
Příloha 97: Jednoduchý vodič 1,6 mm; 30 kV pos; (30 MHz - 200 MHz)

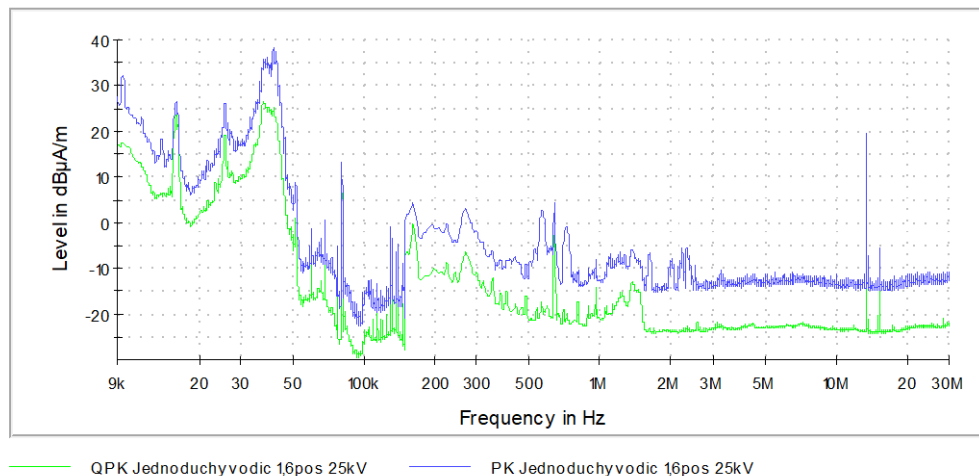
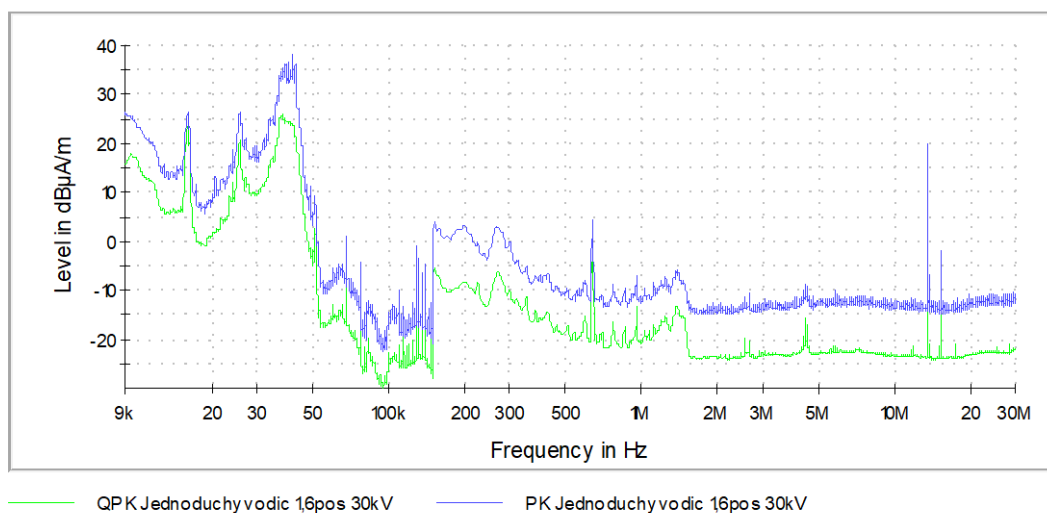


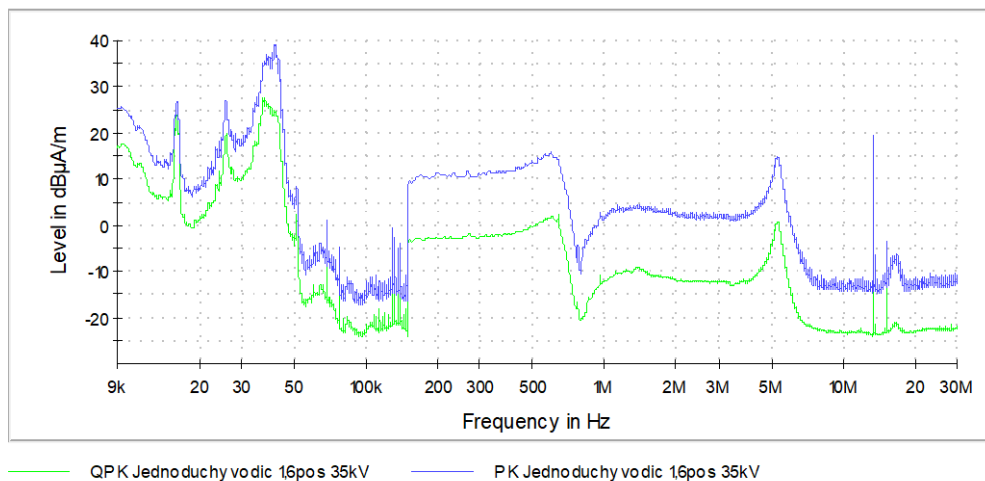
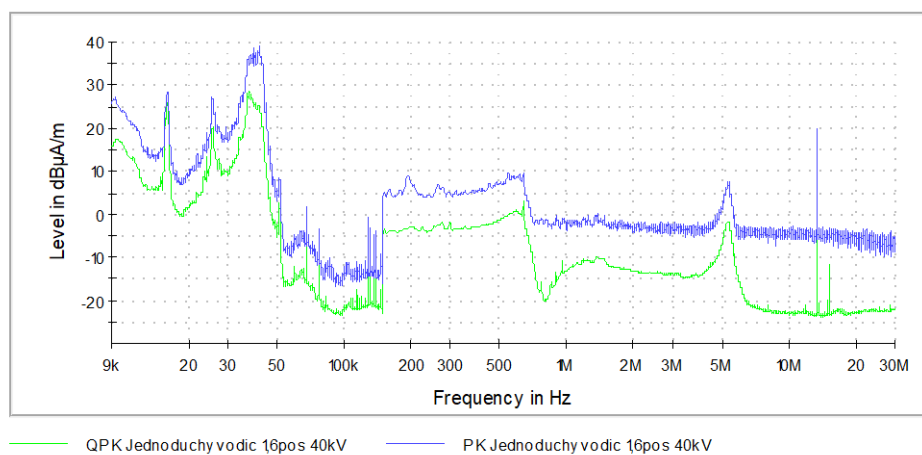
Příloha 98: Jednoduchý vodič 1,6 mm; 35 kV pos; (30 MHz - 200 MHz)

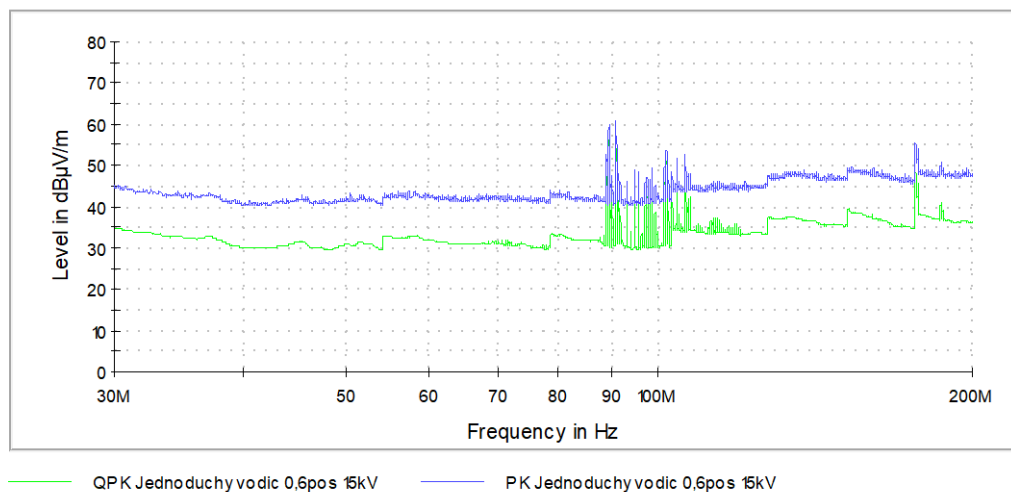
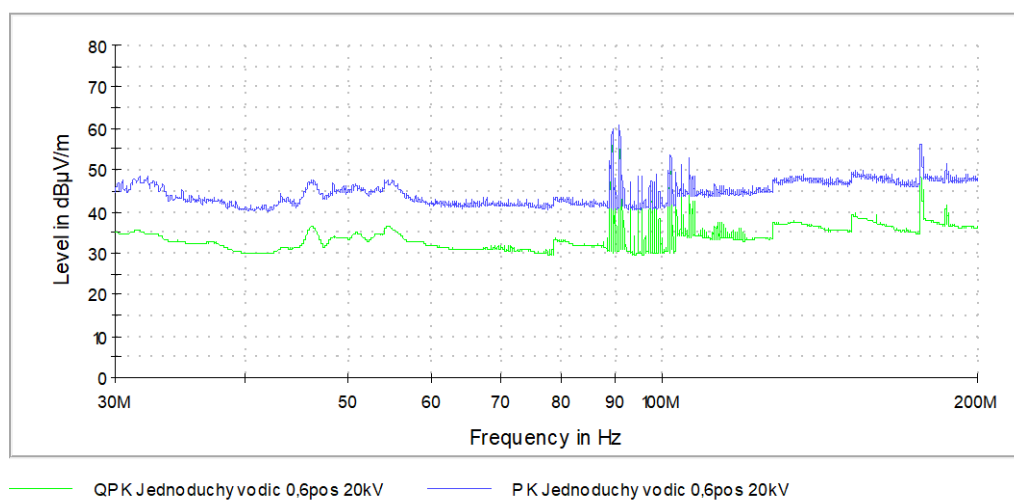


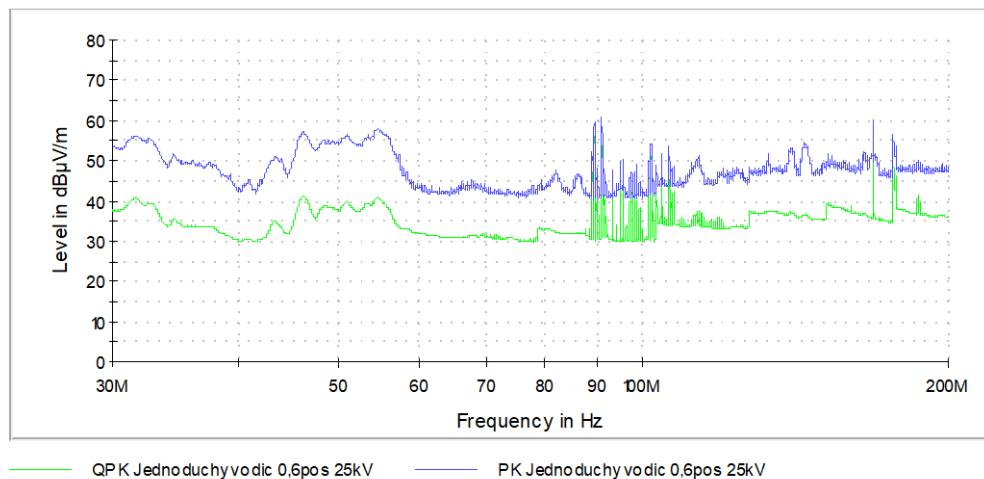
Příloha 99: Jednoduchý vodič 1,6 mm; 40 kV pos; (30 MHz - 200 MHz)

**Příloha 100: Jednoduchý vodič 1,6 mm; 15 kV pos; (9 kHz - 30 MHz)****Příloha 101: Jednoduchý vodič 1,6 mm; 20 kV pos; (9 kHz - 30 MHz)**

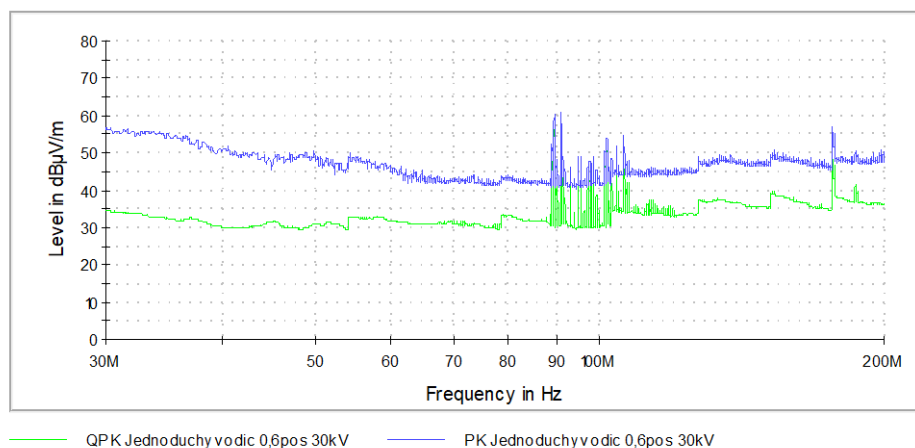
**Příloha 102: Jednoduchý vodič 1,6 mm; 25 kV pos; (9 kHz - 30 MHz)****Příloha 103: Jednoduchý vodič 1,6 mm; 30 kV pos; (9 kHz - 30 MHz)**

**Příloha 104: Jednoduchý vodič 1,6 mm; 35 kV pos; (9 kHz - 30 MHz)****Příloha 105: Jednoduchý vodič 1,6 mm; 40 kV pos; (9 kHz - 30 MHz)**

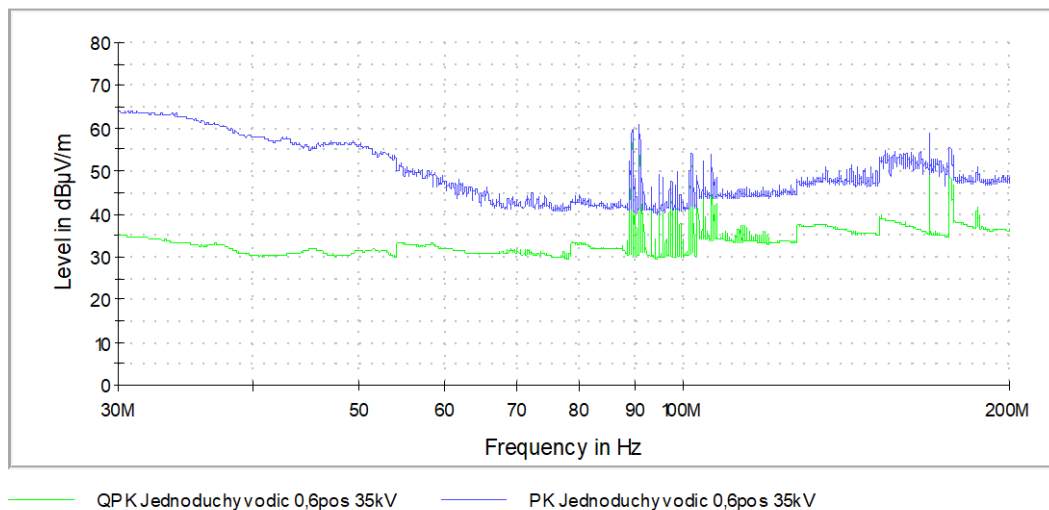
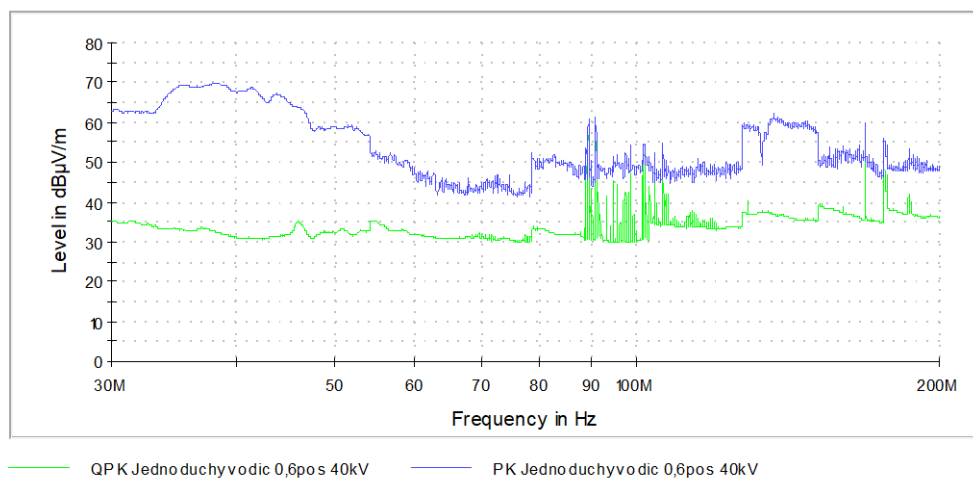
**Příloha 106: Jednoduchý vodič 0,6 mm; 15 kV pos; (30 MHz - 200 MHz)****Příloha 107: Jednoduchý vodič 0,6 mm; 20 kV pos; (30 MHz - 200 MHz)**

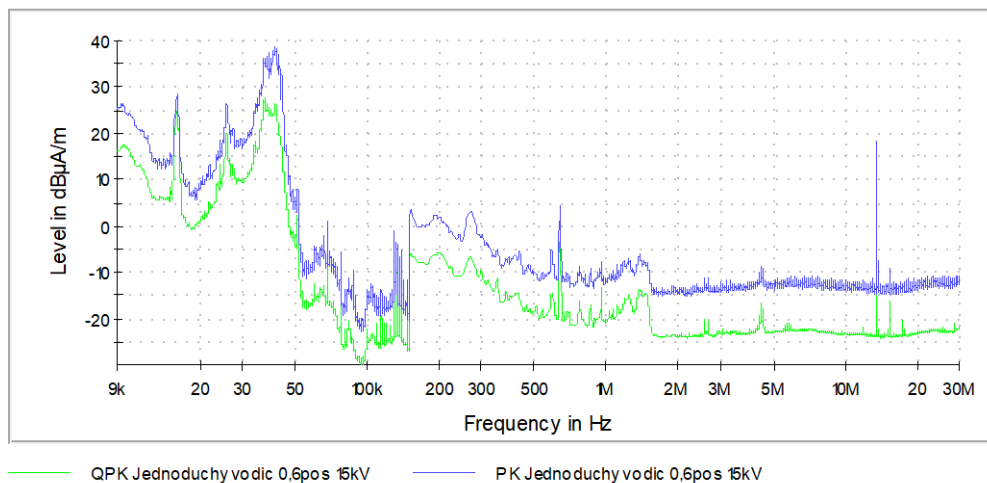


Příloha 108: Jednoduchý vodič 0,6 mm; 25 kV pos; (30 MHz - 200 MHz)

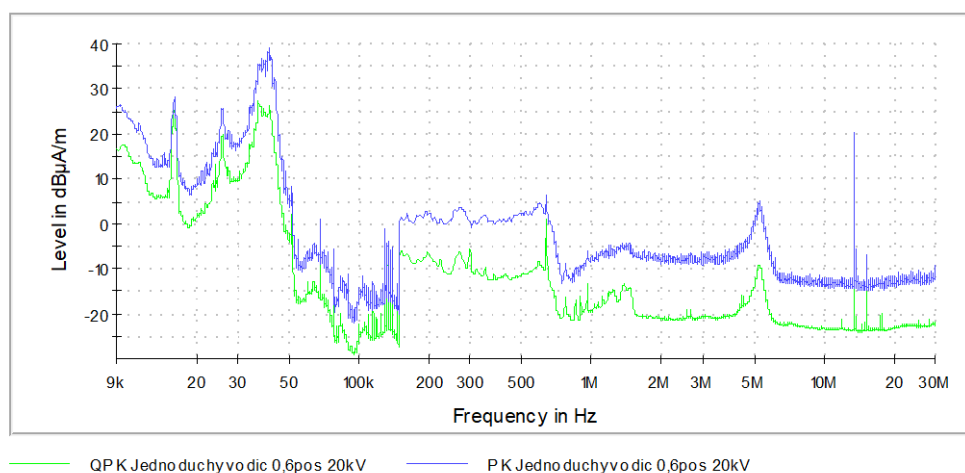


Příloha 109: Jednoduchý vodič 0,6 mm; 30 kV pos; (30 MHz - 200 MHz)

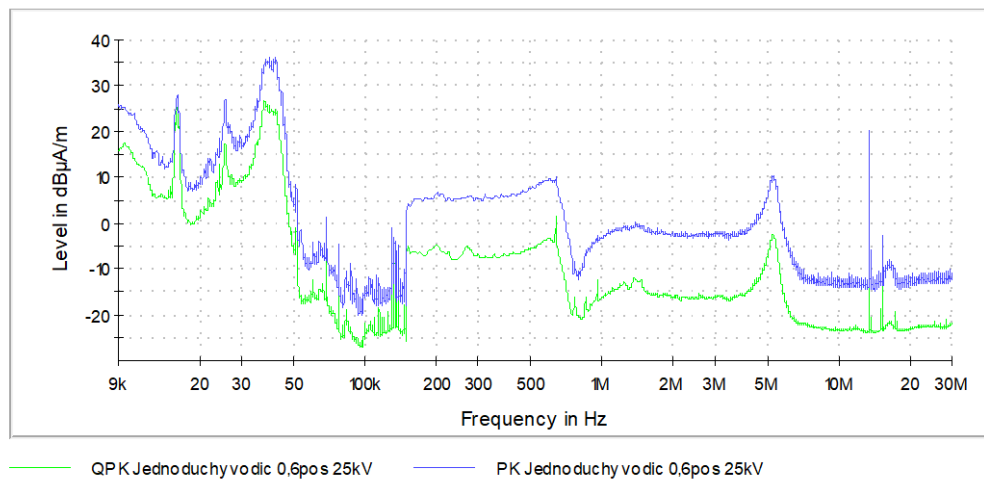
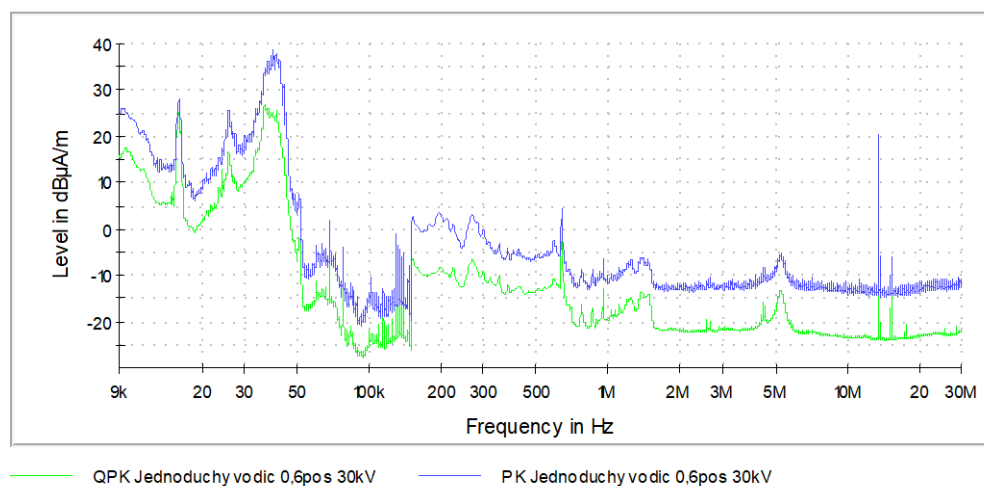
**Příloha 110: Jednoduchý vodič 0,6 mm; 35 kV pos; (30 MHz - 200 MHz)****Příloha 111: Jednoduchý vodič 0,6 mm; 40 kV pos; (30 MHz - 200 MHz)**

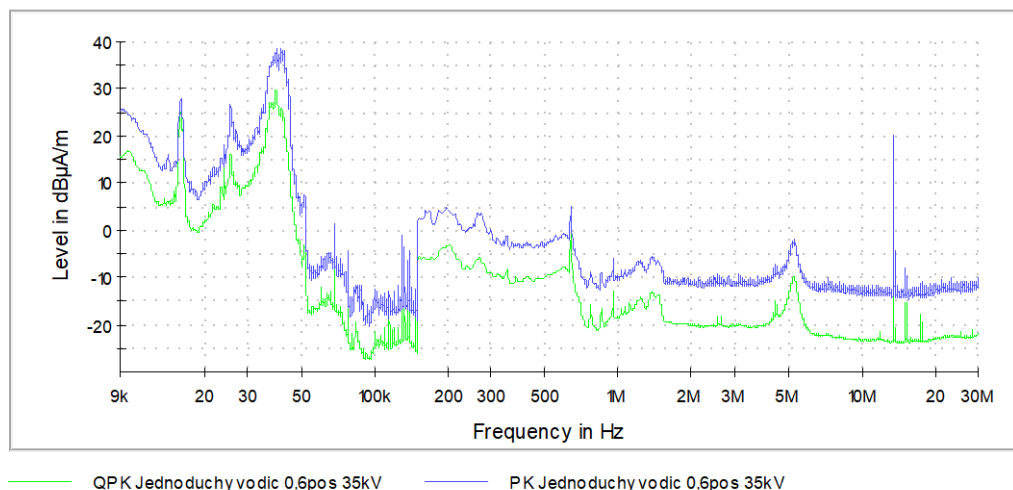


Příloha 112: Jednoduchý vodič 0,6 mm; 15 kV pos; (9 kHz - 30 MHz)

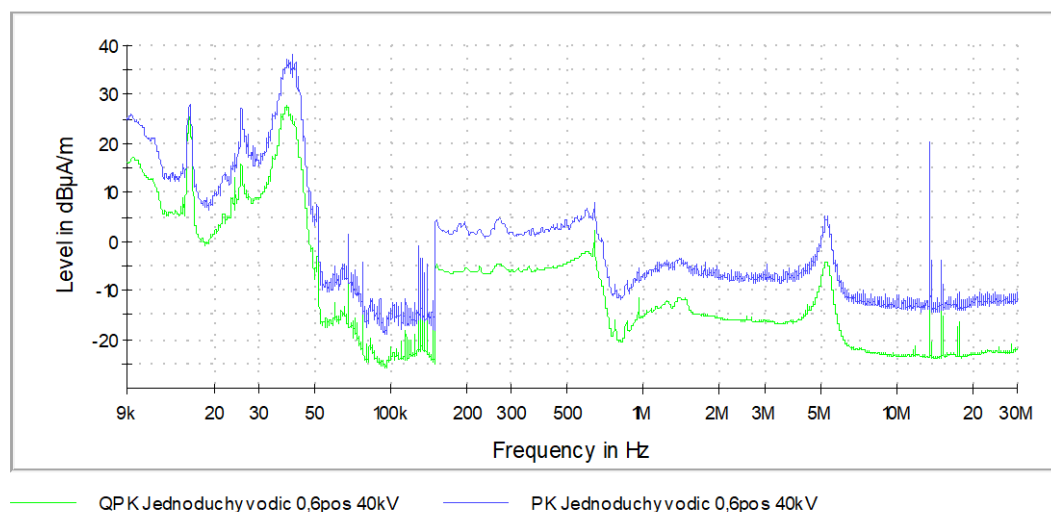


Příloha 113: Jednoduchý vodič 0,6 mm; 20 kV pos; (9 kHz - 30 MHz)

**Příloha 114: Jednoduchý vodič 0,6 mm; 25 kV pos; (9 kHz - 30 MHz)****Příloha 115: Jednoduchý vodič 0,6 mm; 30 kV pos; (9 kHz - 30 MHz)**



Příloha 116: Jednoduchý vodič 0,6 mm; 35 kV pos; (9 kHz - 30 MHz)



Příloha 117: Jednoduchý vodič 0,6 mm; 40 kV pos; (9 kHz - 30 MHz)