

Zpráva o realizaci výstupu V1 – funkční vzorek v projektu TK04020255

Pracoviště: Katedra materiálů a technologií
Číslo dokumentu: 22160-IAAM-01
Typ zprávy: Technická zpráva
Řešitelé: Pavel Trnka, František Steiner, Jaroslav Hornak, Ondřej Michal, Tomáš Kučera
Vedoucí projektu: Pavel Trnka
Počet stran: 12
Datum vydání: 29. 9. 2023
Oborové zařazení: 2.2 Electrical engineering, Electronic engineering, Information engineering - Electrical and electronic engineering

Projekt:
TAČR Théta IV
TK04020255

Zpracovatel / dodavatel:
Západočeská univerzita v Plzni
Fakulta elektrotechnická
Univerzitní 8
306 14 Plzeň
Kontaktní osoba:
Prof. Ing. Pavel Trnka, Ph.D.
tel. 377634518
pavel@fel.zcu.cz

Anotace

Funkční vzorek přípravku pro namáhání elektroizolačních systémů hydrogenerátorů je vyroben z konstrukčního železa, a umožňuje simulovat reálné provozní i extrémní podmínky. To zahrnuje mechanické, elektrické a tepelné namáhání. Přípravek je vhodný pro expozice s teplotami dosahujícími až 220 °C, a to v kombinaci s mechanickým zatížením a elektrickým napětím v rozsahu jednotek kV. Díky této funkcionalitě je možné vytvářet simulace různých provozních vlivů a provádět testy, které zahrnují analýzu částečných výbojů, sledování izolačního odporu a měření ztrátového činitele $\tan \delta$. Tímto způsobem je možné získávat klíčové informace, které přispívají k lepší spolehlivosti a výkonu energetických celků.

Klíčová slova

více-faktorové stárnutí, izolační systém, spolehlivost, dlouhodobé zkoušky

Název zprávy v anglickém jazyce / Report title

Report on the implementation of project output V1 - functional sample in project TK04020255

Anotace v anglickém jazyce / Abstract

The device for stressing the electro-insulation systems of hydrogenators is made from construction iron and allows simulating real operational or extreme conditions, respectively. This includes mechanical, electrical, and thermal stresses. The apparatus is suitable for exposures reaching temperatures of up to 220 °C, in combination with mechanical loading and electrical voltage in the range of a few kilovolts. Due to this functionality, it is possible to create simulation of various operational influences and perform tests that include the analysis of partial discharges, monitoring of insulation resistance, and measurement of the loss factor $\tan \delta$. In this manner, it is possible to obtain key information that contributes to improved reliability and performance of power units.

Klíčová slova v anglickém jazyce / Keywords

multi-factor aging, insulation system, reliability, long-term testing

Obsah

1	POPIS A ÚČEL POUŽITÍ.....	4
2	VÝKRESOVÁ A VÝROBNÍ DOKUMENTACE	5
3	OVĚŘENÍ ZÁKLADNÍ FUNKČNOSTI PŘÍPRAVKU PRO DLOUHODOBÉ ZKOUŠKY	10
3.1	ANALÝZA VÝBOJOVÉ ČINNOSTI	10
3.2	ANALÝZA ZTRÁTOVÉHO Činitele	11
3.3	ANALÝZA IZOLAČNÍHO ODPORU.....	11
3.4	ANALÝZA MECHANICKÉHO ZATÍŽENÍ	12
ZÁVĚR		13

1 Popis a účel použití

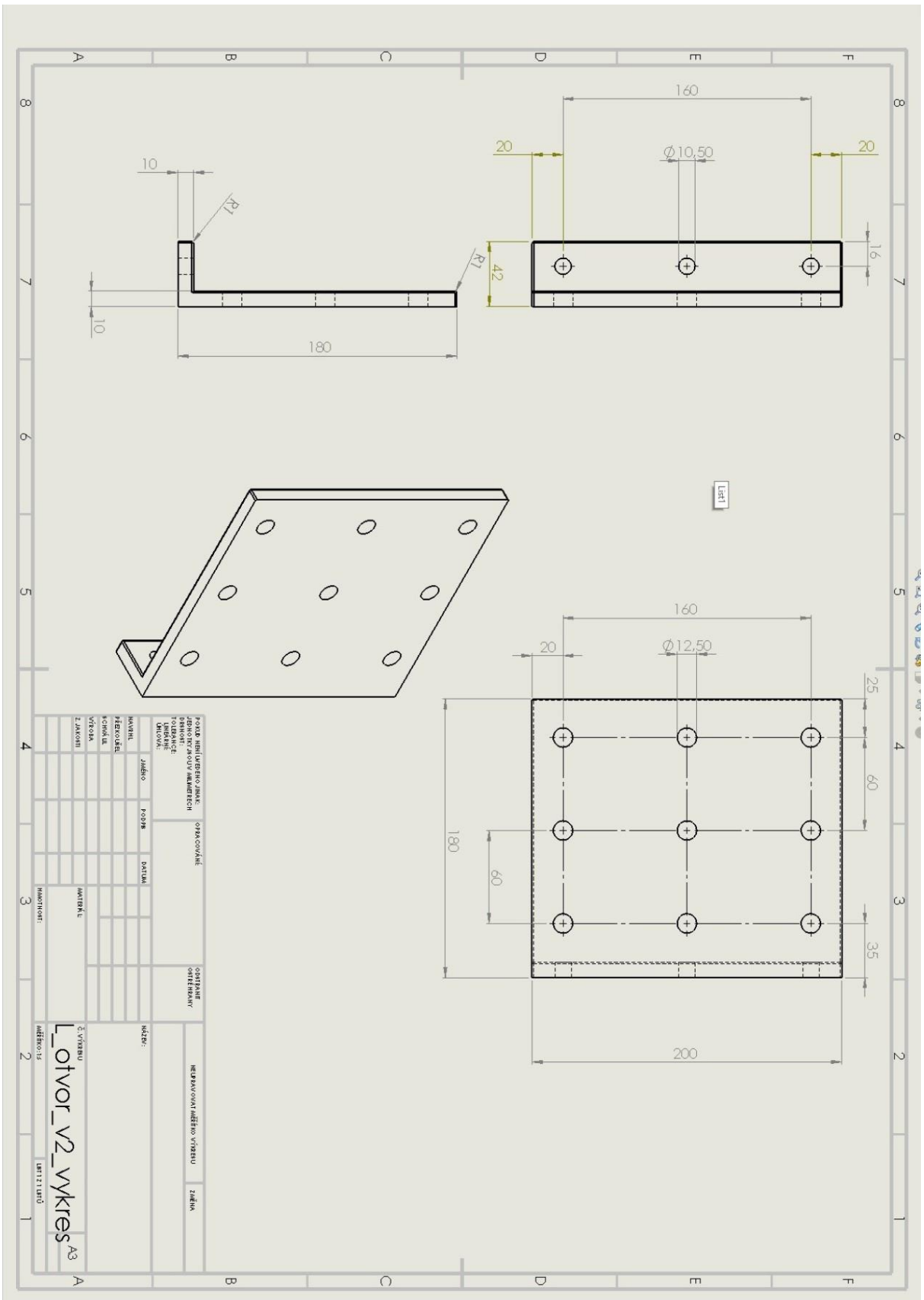
Funkční vzorek přípravku pro kombinované namáhání elektroizolačních systémů hydrogenerátorů byl vytvořen z konstrukčního železa s ohledem na realistické podmínky, kterým jsou tyto systémy v provozu vystaveny.

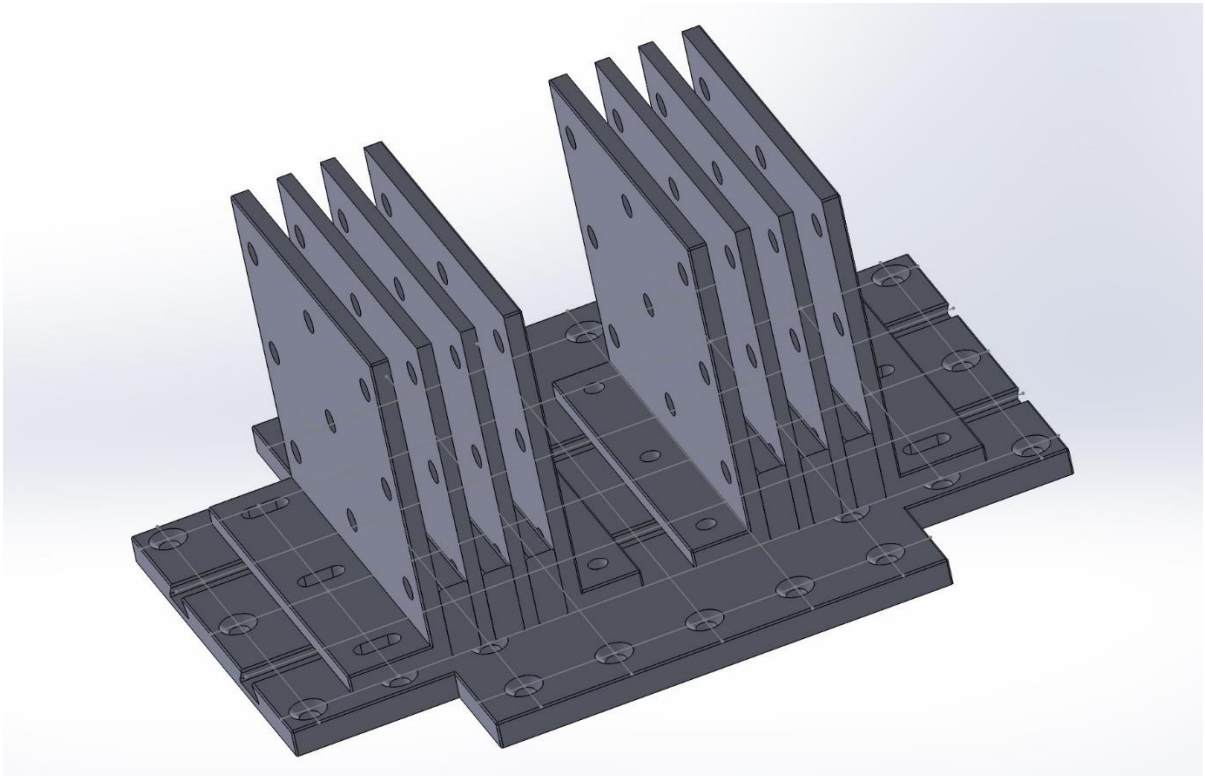
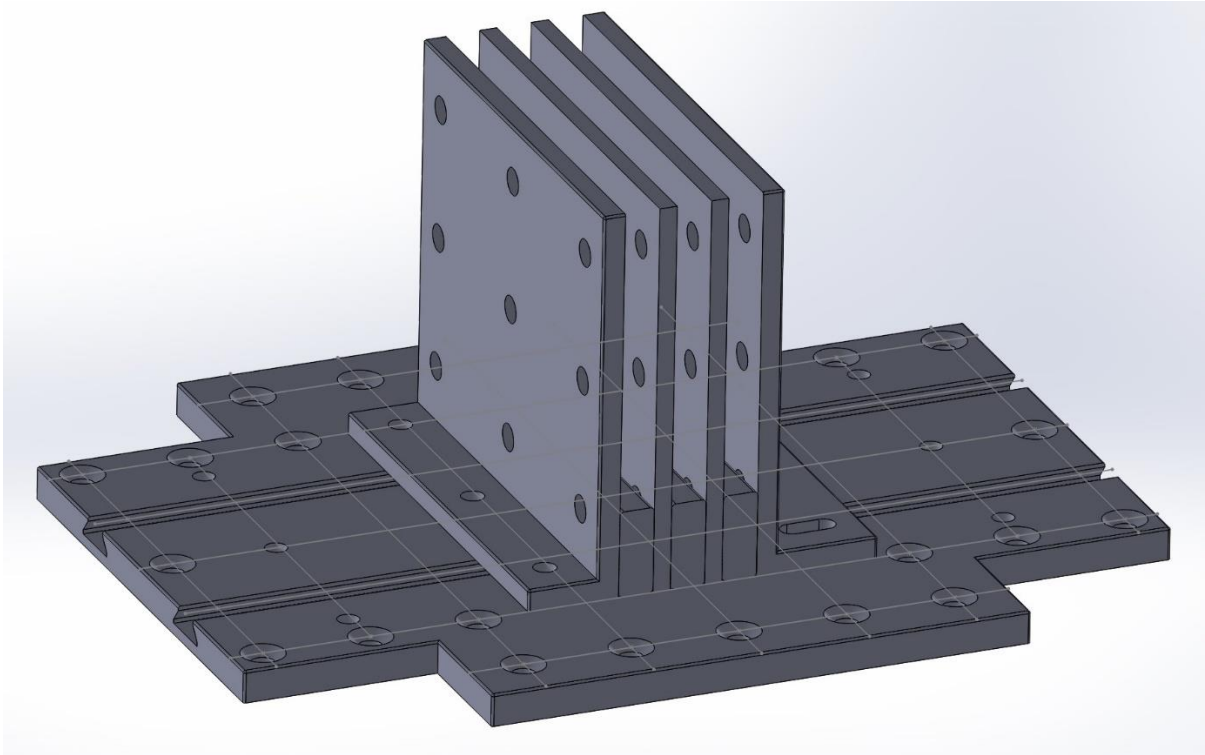
Přípravek umožňuje laboratorně simulovat a kombinovat provozní vlivy, jakými jsou mechanické zatížení, změny teploty a působení zvýšené teploty, nebo elektrické napětí. Expozice mohou dosahovat teplot až 220 °C při mechanickém zatížení vibrační stolicí (sinusové a náhodné buzení do 120 m/s⁻², rázové buzení až 240 m/s⁻²) a současném působení napětí do 20 kV. Bezvýbojové napěťové zatížení až do 2 kV AC.

Přípravek umožňuje kombinovanou simulaci provozních vlivů v rámci definovaných rozsahů, což vede k věrohodnějším výsledkům testů a přináší tak další důležité informace s ohledem na spolehlivost a provozuschopnost energetických celků.

Přípravek představuje inovativní koncept mechanického uchycení, které slouží nejen jako zemnicí elektroda, ale také jako platforma pro implementaci měřicích bodů. To umožňuje provádění různých testů, jako je například analýza částečných výbojů, nebo měření izolačního odporu a ztrátového činitele tg δ , i během samotné degrační expozice.

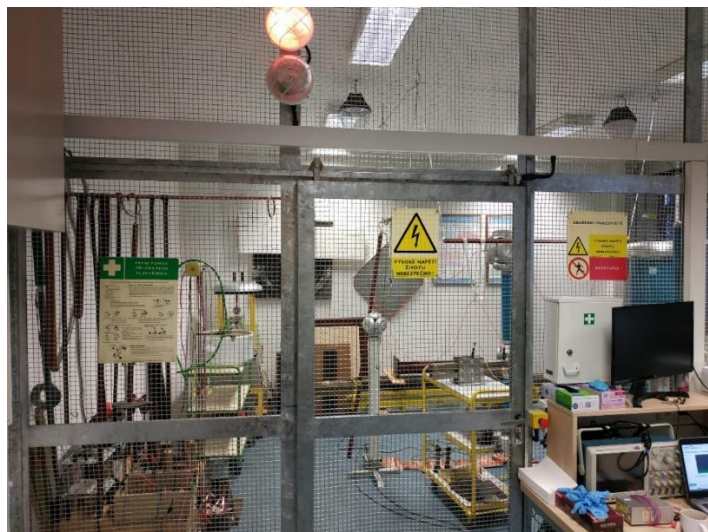






3 Ověření základní funkčnosti přípravku pro dlouhodobé zkoušky

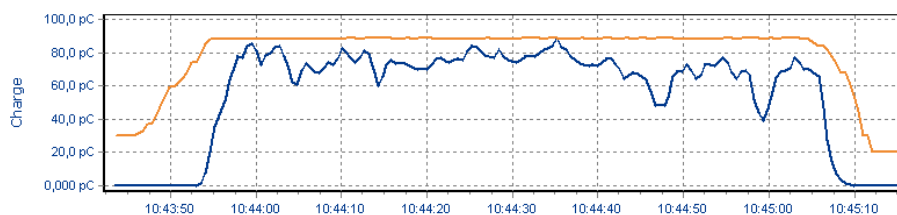
Ověření základní funkčnosti přípravku bylo realizováno v laboratořích dielektrických systémů na FEL ZČU v Plzni. Pro všechny zkoušky bylo využito přístrojové vybavení pracoviště. Jedná se zejména o vysokonapěťový zdroj střídavého napětí KPB Intra v kombinaci s aparaturou pro měření ztrátového činitele (automatický můstek – LDIC), analyzátor pro měření částečných výbojů (Doble Lemke). Přítlak při uložení vzorků je v reálném provozu při založení do drážek statoru zprostředkován vlnovcem a na základě dostupných informací byl nastaven v přípravku na 60 N·m.



3.1 Analýza výbojové činnosti

Pro ověření bezpečné činnosti byl proveden test částečných výbojů s ohledem na úroveň jejich vzniku (tzv. zapalovací napětí). Ze získaných výsledků je patrné, že pro danou konfiguraci je dodrženo bezvýbojového stavu do úrovně 2 kV, což je přibližně o 250 V vyšší hodnota než v případě vzorku s lepenou elektrodou. Při vyšších hodnotách napětí se začínají projevovat vlivy povrchových částečných výbojů. Pro zvýšení bezvýbojové testovací hladiny je nutné buďto použít delší vzorky, nebo vzorky ve střední části – v oblasti výstupu z přípravku – opatřit polovodivým nátěrem.

lepená
elektroda
PDIV \approx 1,75 kV

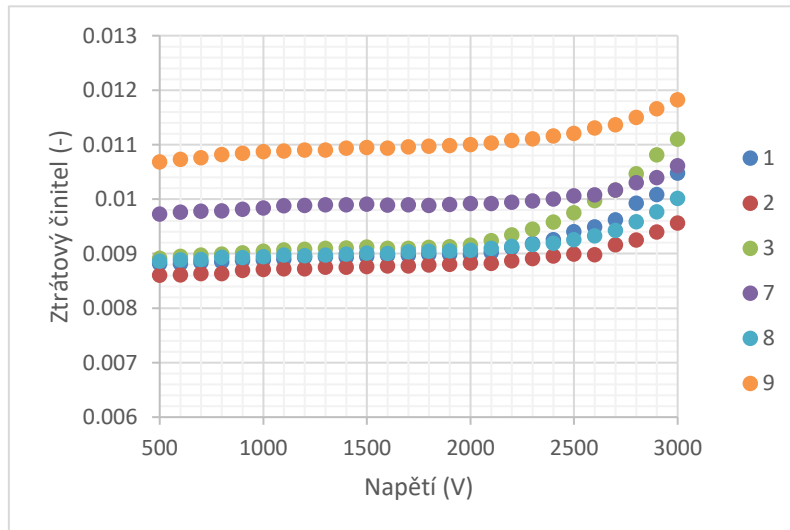


přípravek
PDIV \approx 2 kV



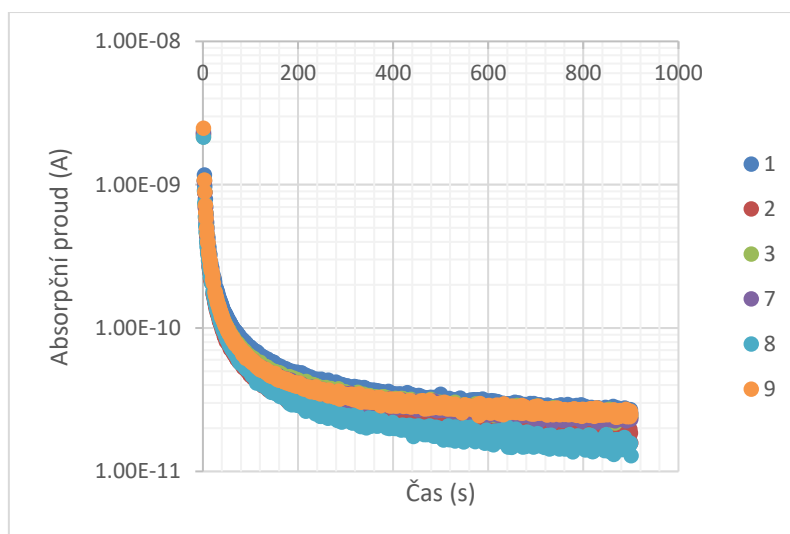
3.2 Analýza ztrátového činitele

Pro ověření funkčnosti bylo provedeno testování ztrátového činitele $\tan \delta$ v závislosti na přiloženém napětí od 500 do 3000 V s krokem 100 V. Z výsledků je patrné, že přípravek je možné použít pro měření ztrátového činitele, a to bez konfiguračního ovlivnění získaných výsledků. Pro toto ověření byl do výběrů začleněn i měděný trn (vzorek č. 9) mající o jednu izolační vrstvu méně, což reflektuje v mírně vyšším ztrátovém činiteli.



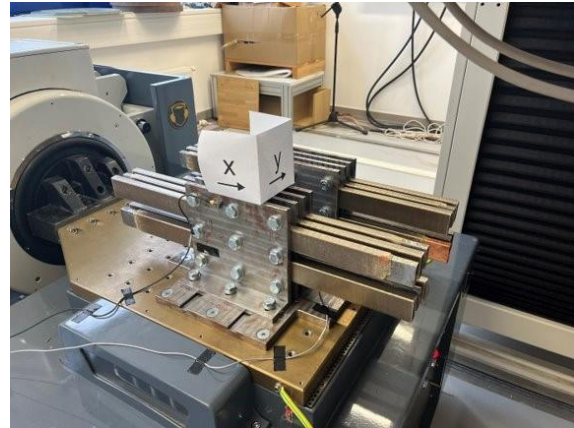
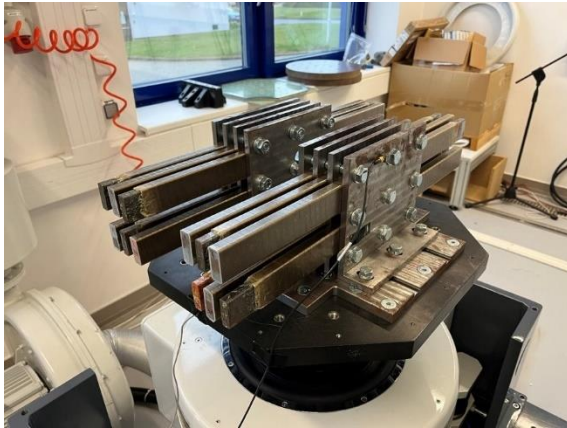
3.3 Analýza izolačního odporu

Pro ověření funkčnosti bylo provedeno testování ztrátového činitele izolačního stavu při napětí 500 V. Z výsledků je patrné, že přípravek je možné použít pro měření absorpčních proudů, a to bez konfiguračního ovlivnění získaných výsledků. Pro toto ověření byl do výběrů začleněn i měděný trn (vzorek č. 9) mající o jednu izolační vrstvu méně, což reflektuje v mírně vyšším absorpčním proudu v porovnání s průměrnou hodnotou. Nicméně, rozdíl proudů je v tomto případě opravdu minimální, a v celkovém důsledku se hodnoty izolačního odporu pohybují v řádech $10^{-13} \Omega \cdot m$.



3.4 Analýza mechanického zatížení

Vypočítané parametry mechanického zatížení vibracemi pro různé hmotnosti přípravku se vzorkem (vzorky) byly podrobně analyzovány v samotném návrhu přípravku. Během této studie byly provedeny výpočty a optimalizační kroky, které umožnily získat údaje o reakci přípravku na různé hmotnosti vzorků při působení vibrací. Tyto parametry poskytují důležité informace o mechanickém chování přípravku a jsou klíčové pro pochopení jeho odezvy na různé podmínky zatížení.



Během analýzy byly zkoumány různé scénáře a situace, aby bylo možné získat komplexní povědomí o tom, jak se přípravek chová při různých hmotnostech vzorků. Výsledky této studie nabízejí důležité informace, které mohou být využity při návrhu a optimalizaci přípravku pro konkrétní potřeby a podmínky použití.

Maximální zatížení:

Konfigurace: 42 kg - sinusové a náhodné buzení do 120 m/s^{-2} rms. Pro rázové buzení cca 240 m/s^{-2}

Konfigurace: 69 kg - sinusové a náhodné buzení do 90 m/s^{-2} rms. Pro rázové buzení cca 180 m/s^{-2}

Výsledné aplikované parametry na vzorky jsou určeny na základě porovnání onsite měření, parametrů stolice CV ŘEŽ a hodnot vhodných pro získání životnostní křivky.

Pro ověření funkčnosti bylo v každé ose bylo namáhání vibracemi následující:

- Vibrace sinusového průběhu o frekvenci 100 Hz, doba trvání 60 min a úroveň rychlosti vibrací $80 \text{ mm}_{p-p}/\text{s}$
- Vibrace sinusového průběhu o frekvenci 200 Hz, doba trvání 60 min a úroveň rychlosti vibrací $50 \text{ mm}_{p-p}/\text{s}$

Stažení tyčí bylo provedeno utahovacím momentem $60 \text{ N}\cdot\text{m}$. Tato hodnota byla stanovena na základě zkušeností výrobce elektroizolačních systémů, výrobce generátorů a zkušeností řešitelského týmu. Pro prováděné zkoušky je podstatné tuto hodnotu dodržet při všech budoucích zkouškách a expozicích.

Závěr

Přípravek, který byl vyvinut v rámci projektu TK04020255 formou funkčního vzorku a je v daném projektu označen výsledkem V1, je svým technologickým řešením vhodný pro požadované zkoušky. Vliv přípravku byl otestován s ohledem na nejběžněji používané neinvazivní diagnostické metody (ztrátový činitel, dielektrická absorpce, částečné výboje).

Historie revizí

Rev.	Kapitola	Popis změny	Datum	Jméno
0	Všechny	Založení dokumentu	15. 9. 2023	J. Hornak
1	Všechny	Korektura textu	20. 9. 2023	F. Steiner
2	Všechny	Schválení dokumentu	27. 9. 2023	P. Trnka
3	Všechny	Publikování finální verze	29. 9. 2023	J. Hornak