

Výrobní dokument pro poloidální cívky pro tokamak COMPASS-Upgrade

připravil: Pavel Junek

COMPASS-U Specifikace poloidálních cívek

Tento dokument popisuje předpokládané parametry pro výrobu poloidálních cívek.

Tyto parametry se vzhledem k probíhajícímu procesu optimalizace designu mohou lišit od finální verze.

záznam změn

Rev	datum	Popis změny
0	13.8.2019	1.verze pro potencionální výrobce

1 Úvod a rozsah

Ústav Fyziky plazmatu AV ČR v.v.i (dále jen zadavatel) v současnosti provozuje zařízení - tokamak COMPASS, které udržuje plazma o vysoké teplotě (přes 10 mil °C) pomocí dvou soustav měděných cívek chlazených vodou. Jedná se o cívky toroidální (TF), které obstarávají hlavní magnetické pole (2,1 T / 90 kA / 0,5 s) a cívky poloidální (-12 až 16 kA / 1 s), které se starají o ohřev a stabilizaci plazmatu. Tento dokument se zabývá výrobním postupem pro prototypovou poloidální (PF) cívku nového tokamaku COMPASS-U (dále jen C-U), výstupy z výroby prototypové cívky se budou aplikovat pro výrobu finálních poloidálních cívek. Projekt C-U je tokamak o vysokém magnetickém poli 5 T, proudu plazmatem 2 MA (oproti současným 0,35 MA) a vysokými tepelnými toky dopadajícími na první stěnu reaktoru. První plazma se očekává na konci roku 2022. Podrobnější popis funkce tokamaku a C-U je zde [1] a [2].

Poloidální cívky C-U budou vyrobeny z měděného dutého profilu a budou chlazené protékajícím médiem na teplotu kapalného dusíku (cca 77 K) z důvodu snížení ztrát v odporu průchozím proudem (až ±50 kA). Na tyto cívky budou působit velké magnetoelektrické síly, které musí použité materiály cívky vydržet. Poloidální cívky se dělí na cívky centrálního solenoidu (CS) a cívky pro udržení rovnovážné konfigurace plazmatu (dále jen EF), prototypová cívka bude vyrobena podle návrhu cívky CS1.

Výroba prototypové cívky začne před dokončením finálního návrhu PF cívek a bude mít za cíl posoudit klíčové vlastnosti designu. Také bude poskytnuta reálná demonstrace výrobního postupu, která bude dále využita při výrobě finální verze PF cívek. Celkový počet CS cívek je 8 a všechny mají stejný počet závitů. Tyto cívky mají relativně malý poloměr (~0,4 m), ale budou navinuty z měděného profilu o větších průřezových rozměrech (předběžně 20 x 20 mm). Pro finální verzi, cívky CS budou muset být navinuty na jádro TF cívek. Cívky pro EF se dělí pro horní a spodní část tokamaku, přičemž tyto cívky jsou symetrické tzn. dvě stejné části po 4 cívkách (poloměr od 0,4 - 1,5 m) a průřezu profilu od 14 do 20 mm. Cívky EF budou mít dodatečné přívody a vývody chladícího média.

Fáze 1 - Výroba prototypové PF cívky

Fáze 2 - Výroba EF cívek

Fáze 3 - Výroba CS cívek (po výrobě jádra TF cívek)

Po výrobě a vyhodnocení testů budou zjištěné poznatky implementovány do designu PF cívek.

Změny po uzavření kontraktu mezi zadavatelem a zhotovitelem musí být vzájemně schválené a musí bráno v potaz ve specifikaci a revizích.

2 Použité předpisy/normy

Budou specifikovány později.

3 Technická dokumentace

výkresy a model cívky v elektronické podobě v příloze

3.1 Výkresy od zadavatele

Výkresy a modely budou dodány zadavatelem v elektronické podobě pdf a stp (popř. Catia model). Všechny rozměry se berou při pokojové teplotě 20°C. Tolerance jsou uvedeny ve výkresech.

3.2 Výkresy od zhotovitele

Zhotovitel vypracuje výkresy potřebné pro výrobu cívky a nástroje potřebné pro tento úkol. Tyto výkresy budou předloženy zadavateli na schválení.

4. Kontaktní osoby

4.1 Zadavatel

Zadavatel pověří kontaktní osobu/(y), která ho bude zastupovat v technických otázkách pro výrobu cívky.

4.2 Zhotovitel

Zhotovitel jmenuje vedoucího projektu a osobu odpovědnou za technické záležitosti výroby a poskytne jejich kontaktní informace.

5 Materiály

Toto je seznam požadovaných použitých materiálů (finální verze se může lišit)

5.1. Použité vodiče a rozměry cívek

Materiál dutého vodiče je standardně dodávaná OF-HC Cu-Ag 0.1% označení C10700.

Cívka a počet	materiál vodiče	výška [mm]	šířka [mm]	průměr otvoru [mm]	radius [mm]	počet závitů	střední poloměr [m]	délka vodiče [m]
8 x CS	C10700	20	20	9	1 - 2	30	0.417	90
2 x PF1	C10700	16	14	7	1 - 2	56	0.576	150
2 x PF2	C10700	16	14	7	1 - 2	32	0.661	100
2x PF3	C10700	15	15	7	1 - 2	36	0.746	208
2x PF4	C10700	20	17	9	1 - 2	40	1.2	380

Pozn.: Délka přívodů se pravděpodobně bude lišit u cívek CS.

5.2 Základní nátěr (primer)

Název: CTD-450

tloušťka nátěru: 0.76 μm - 2.54 μm

Výrobce: Composite Technology Development inc.

pozn.: Při navíjení částí se základním nátěrem je třeba zajistit aby při napínání vodiče nedošlo k poškození nátěru. (Nepoužívat třecí metody pro napínání vodiče?)

5.3 Navíjecí trn

Zhotovitel je odpovědný za návrh vyjímatelného navíjecího trnu

5.4 Izolace

Izolace vodiče se skládá z skleněné pásky, která bude dodána v příslušném rozměru v pásčích. Zemní a mezivrstvá izolace bude dodána ve formách pásky nebo role. Rozměry jednotlivých izolací jsou vyznačeny ve výrobních výkresech:

Materiály:

Skelná páska:

S2 glass tape 8-h satin weave

fiber style/sizing 6781/497

fiber volume fraction : 50% +/-5%

šířka: po domluvě s zhotovitelem se vybere vhodná šířka

tloušťka: 0,25 mm

Skelné role:

Skelná páska:S2 glass tape 8-h satin weave
fieber style/sizing 6781/497
fiber volume fraction : 50% +/-5%
šířka: po domluvě s zhotovitelem se vybere vhodná šířka
tloušťka: 0,5 mm

Kapton:
Kapton HN Polyimide Film
šířka: po domluvě s zhotovitelem se vybere vhodná šířka
tloušťka: 0,05 mm

5.4.1 Závitová izolace

Bude tvořena skleněnou páskou o rozměrech, které budou specifikovány později a vinuta s 50% přesahem. Páska bude vinuta pod natočení 45°. Celková tloušťka izolace vodiče bude 0.5 mm

5.4.2 Mezivrstvá izolace

Bude tvořena vrstvou ze skleněné role (možné použití sendviče skelné tkaniny a kaptonu) o tloušťce 0,5 mm . V případě, že bude muset být vložena více než jedna vrstva, musí být postup schválený zadavatelem.

5.4.3 Zemní izolace

Bude tvořena skleněnou páskou o rozměrech (budou specifikovány později) a vinuta s 50% přesahem. Páska bude vinuta pod natočení 45°. Celková tloušťka bude specifikována později.

5.4.4 Podložky a výplně

Podložky a výplně budou z materiálu G10, podle výkresů dodaných od zadavatele.

5.5. Nástroje

Všechny nástroje (včetně VPI formy) budou dodány zhotovitelem nebo jeho subdodavatelem. Design nástrojů pro výrobu zadaných součástí bude posouzen a odsouhlasen zadavatelem.

5.6 Vývody cívek

Materiál C10700 pro zhotovení vývodů cívek a jejich spojení dle výkresu zadavatele. Přesný výrobní postup se bude řešit v VIT.

5.7 Svařovací materiál

Materiál pro svařování zajistí Zhotovitel a musí být konzultován a schválen Zadavatelem.

5.8 Izolační vývody cívek a výplně přechodů

Všechny výplně a izolační vývody cívek budou vyrobeny zhotovitelem. Použitý materiál bude sklotextit G10 a musí mít materiálovou certifikaci. Veškeré obrábění materiálu G10 musí být provedeno suchým obráběním (bez použití řezacích a chladících kapalin). Díly nesmějí obsahovat žádné ostré hrany a otřepy. Všechny G10 povrchy musí být pískováním zbavené všech lesklých povrchů pro lepší spojení s epoxidem. Díly musí být vyčištěné/odmaštěné schváleným čistícím prostředkem.

5.9 Materiály pro vyplnění větších volných prostorů

Veškeré prostory, které během navíjení nebudou vyplněny vodičem nebo izolací musí být vyplněny certifikovanými materiály skleněnou tkaninou S2 nebo výplní G10, kvůli minimalizaci oblastí s vysoce koncentrovanou pryskyřicí. Oblasti, kde není žádná skleněná tkanina nebo výplň G10 nesmí přesáhnout rozměr 0.8 mm.

5.10 Použitá pryskyřice

Produkt CTD-425

Výrobce: Composite Technology Development inc.

Popis: Je to dvousložkový systém s pryskyřicí a kyanátovým esterem katalyst je část A a kyanid ester je část B. Při práci s tímto produktem je třeba dodržovat bezpečnostní pokyny dodané výrobcem.

5.11 Odmašťující/čistící prostředky

Všechny vodiče, izolační výplně a VPI vany musí být odmaštěné/vyčištěné použitím prostředku jež je schopen rozpustit mastnotu, dehty, vosky, lepidla, oleje a další nečistoty a má bez zbytkovou konzistenci. Čistící prostředek musí být schválen zadatelem před užitím. Doporučené čistící prostředky jsou aceton a alkohol, avšak pouze alkohol je povolen pro použití na vodiči se základním nátěrem.

5.12 VPI nádoba

Zhotovitel zařídí nádobu pro VPI impregnaci vlastními kapacitami nebo za použití subdodavatele. Použitá řešení musí být schválena zadavatelem.

5.13 Zařízení (prostředek) k vyjmutí cívky z VPI nádoby

Zhotovitel navrhne prostředek k vyjmutí cívky z VPI nádoby. Tento prostředek musí být předložen zadavateli na schválení před použitím.

5.14 Ostatní materiály

Všechny ostatní materiály potřebné k výrobě, testům a dopravě cívky budou dodány zhotovitelem. Všechny izolační materiály, včetně kaptonové lepicí pásky pro spojování izolací, musí mít stejné složení jako materiály navržené zadavatelem obsažené v 5.4. Dodatečné izolační materiály musí být schváleny zadavatelem před jejich použitím.

6 Plán kvality, výroby a testování cívky

6.1 Plán jakosti

Zhotovitel vypracuje a předloží plán jakosti, který popisuje zajištění kvality výroby a kontroly kvality, včetně instruktaže personálu a příkazů, které budou uvedeny v platnost po dobu výroby, aby bylo dosaženo požadované kvality cívky. Plán jakosti a jeho revize musí být schváleny zadavatelem před začátkem výroby cívky nebo přípravků k výrobě.

6.2 VIT plán

Zhotovitel musí předat Výrobní, Inspekční a Testovací (VIT) plán Zadavateli na schválení před začátkem výroby a musí obsahovat sekvenci všech výrobních procesů a operací ovlivňujících jakost, včetně předávací kontroly a testů.

7 Výroba

7.1 Požadavky na čistotu výroby

Pro zaručení nejvyšší kvality poloidálních cívek musí být splněny tyto požadavky před a po celou dobu výroby cívek.

7.1.1 Čistota výrobních prostor

Finální příprava všech druhů izolačních materiálů, finální příprava VPI nádoby, aplikace izolace a navíjení cívky musí být prováděno v čistých prostředích s kontrolovanou vlhkostí, které eliminuje risk kontaminace izolačních materiálů před VPI zbytky kovových materiálů a prachových částic.

7.1.2 Vstupní rohožky

Pro minimalizaci vniku nečistot do pracovního prostoru by u všech vstupních dveří měla být rohožka, která bude zamezovat vniku nečistot při pohybu osob.

7.1.3 Pracovní oblek

Při manipulaci s vodičem, izolací, prvotním nátěrem a všemi prvky pro finální vinutí a manipulaci před VPI impregnací musí být prováděny v laboratorní (uzavřené) kombinéze, vlasových pokrývkách a rukavicích z latexu, vinylu, gumy nebo vlněné bezotřepové rukavice. Při odchodu z čistého prostoru, nezávisle na době strávené mimo, se pracovní oblek nesmí použít znovu.

7.1.4 Popisovací prostředky

Mohou být použity pouze ty popisovací prostředky, které nejsou elektricky vodivé z důvodu ochrany před plazivými proudy. Popisovací prostředky musí být elektricky testovány a schváleny zadavatelem.

7.1.5 Kovové nečistoty

Procesy, při kterých vznikají elektricky vodivé částičky nesmí být prováděny v čisté oblasti (sekce 7.1.1). Upevňovací a nástrojové přípravky musí vyloučit možnost vzniku vodivých částic.

Příklad: Při upevnění nebo uchycení nesmí obrušováním vznikat žádné vodivé částice. V případě že proces není předem naplánován, ale je potřeba k dokončení. Musí být provedeny ochranné opatření k zamezení kontaminace izolace a tento postup musí být schválen Zadavatelem.

7.1.6 Ochrana materiálu

Ochrana a skladování materiálu musí být bráno v potaz v plánu jakosti (6.1). Měděný vodič a veškerý izolační materiál musí být skladován a zpracováván v prostorech kde nemohou být kontaminovány vodivými částicemi nebo jinými látkami jenž mohou zhoršovat jejich vlastnosti (lidský pot, atd.) viz. sekce 7.1 Navíjecí linka musí být zakryta v době její nečinnosti.

7.2 Převzetí vodiče, inspekce a zpracování

7.2.1 Identifikace

7.2.2 Přejímka vodiče

Po příjezdu každé zásilky vodiče k zhotoviteli musí být provedena inspekce zboží, že neobsahuje viditelné poškození balení a vodiče. Jakákoliv nesrovnalost musí být okamžitě zaznamenána, vyfotografována a zdokumentována do Zápisu o neshodách. Oprava proběhne podle pokynů dodaných zadavatelem (pokud je možná).

7.2.3 Navíjení vodiče, práce s vodičem

Vodič bude dán do navíjecí linky z originálního bubnu. Nesmí být převíjenný navíjením ani odvíjením nebo způsobem při kterém by docházelo k deformování nad jeho mez skluzu a lokálnímu vytvrzování. Po zasunutí a rozvinutí vodiče do navíjecí linky musí dojít k inspekci a případné povrchové defekty opraveny.

7.2.4 čištění vodiče

7.2.4.1 Pískování vodiče

Prvně musí rozbalený vodič projít přes pískovací stanici, aby se snížila hrubost povrchu vodiče na hodnotu, která bude specifikována později. Poté vodič musí být zbaven nečistot pomocí alkoholu, dostatečný čas musí být ponechán k plnému odpaření alkoholu. Poté bude aplikovaný základní nátěr primer CTD-425.

7.2.4.2 Vypečení izolace

Před zahájením izolování vodiče, musí být tkaná skelná páska vypečená na teplotu a čas doporučenou výrobcem (zpravidla cca 100 - 120 °C po dobu 2-3 hodin), z důvodu zbavení možné vlhkosti zachycené ze vzduchu při skladování.

7.3 Klíčové kroky navíjení cívk

klíčové kroky navíjecí sekvence jsou popsány v této sekci. Zhotovitel musí zahrnout všechny navíjecí kroky v VIT.

7.3.1 Navíjecí přípravky a prvotní příprava

Před zahájením navíjení je třeba navíjecí zařízení očistit a zbavit možných ostrých hran. Upínání a připevňování rozpěrky musí být na svých místech a musí být bráno v potaz jejich zabezpečení proti posunutí v průběhu navíjení. Plánování a měření je nutné pro zajištění správné tloušťky vložky na startovací straně trnu, aby se zajistilo, že se v předepsaném prostoru cívk vejde plný výhyb.

7.3.2 Závitová izolace

Závitová izolace musí být aplikována na vodič automatickým navíjecím strojem. Spoje na konci jednoho válce s izolací a začátek druhého se musí pečlivě přizpůsobit tak, aby se zachoval počet překrytí jednotlivými vrstvami a aby se zabránilo nadměrné tvorbě izolace. Podrobnosti o izolaci, viz část 5.4.

7.3.3 Kontrola přesnosti výroby

Použití dostatečného tlaku na vstupu vodiče do navíjecího zařízení a normálovou sílu na vodič k dosažení nominální komprese izolace pro zachování tolerancí v mezeře mezi závity, radiální a axiální stavba navíjecího svazku, z minimálním pohybem vodiče z nominální spirální pozice. Aby nedocházelo k nadměrné kompresi izolace, je třeba se vyvarovat napětí nad jmenovitou hodnotu požadovanou pro usazení vodiče a udržení rozměrového řízení. Při navíjení musí být sledována rozměrová konstrukce. Jakýkoli údaj o tom, že stavbu závitů nelze udržet s tolerancí na výkresech, se zaznamená jako neshoda a před pokračováním procesu navíjení se musí konzultovat se Zadavatelem.

7.3.4 Začátky a konce vývodů

Izolace musí být uzpůsobena tak, aby bylo zajištěno že počet překrývajících vrstev zůstane na vodičích.

7.4 Zacházení s cívkou před VPI

Při následné manipulaci je třeba dbát na to, aby nedošlo k poškození izolace. Poškozená nebo kontaminovaná izolace musí být vyfotografována, zdokumentována v hlášení o neshodě a nahrazena novou izolací v souladu se schváleným postupem opravy od Zadavatele.

7.5 elektrické testy před VPI

Před VPI se musí suchá cívka otestovat, jak je uvedeno v následujících částech. Zaznamená se teplota a vlhkost okolí. Výsledky zkoušek musí Zadavatel zkontrolovat a schválit před zahájením práce s VPI.

7.5.1 DC odpor

DC odpor se měří a koriguje na teplotu následujícím způsobem:

$$R_{20} = (254,5 \times RC) / (234,5 + TC)$$

Kde:

Rc = měřený odpor vodiče (miliohms)

Tc = teplota cívky při měření odporu (Co)

Naměřený odpor musí odpovídat jmenovité hodnotě, která bude specifikována později ($m\Omega$ +/- 10%). Jmenovitá hodnota je dána průměrem průřezu vodičů + odpor přívodů cívky. Přizpůsobení na jmenovitý odpor pro správnou délku navinuté cívky je přípustné.

7.5.2 AC impedance

AC impedance a fázový úhel se měří v rozsahu 0,1 až 100 kHz. Subdodavatel musí navrhnout zkušební zařízení pro impedanci a zkušební postup a nechat schválit Zadavatelem.

7.5.3 Izolační odpor

Izolační odpor se měří pomocí 500V DC mezi cívkou a zemí. Po dobu 60 sekund se musí použít napětí 500V DC. Izolační odpor musí být zaznamenán na začátku a konci 60 sekundové zkušební doby a musí být roven nebo vyšší než 10 MOhms). Zkušební postup navrhne zhotovitel a schválí zadavatel.

7.6 Přípravy pro VPI

7.6.1 Čištění nádoby pro VPI

Zhotovitel musí důkladně vyčistit a odmastit všechny povrchy formy s použitím předem schváleného rozpouštědla (viz kapitola 5.11).

7.6.2 zkouška těsnosti formy

Před VPI musí zhotovitel prokázat, že forma VPI je schopna dosáhnout základních tlaků, úniků a rychlostí odplyňování, jak je uvedeno v VIT, z pokojové teploty až do plánované teploty odplyňování.

7.7 VPI a vytvrzování

Proces VPI a vytvrzování musí zahrnovat následující kroky. Parametry, které mají být měřeny a zaznamenávány, spolu s kritérii přijatelnosti, musí být uvedeny v VIT

7.7.1 Kontrola těsnosti a / nebo zkouška vzestupu rychlosti

7.7.2 Měření objemu náplně pryskyřice (doporučujeme rozšířit objem dusíku pod tlakem do evakuované formy VPI a provádět výpočet delta PV).

7.7.3 Odvzdušnění / odplynění systému přívodu cívky a pryskyřice.

7.7.4 Vážení, míchání a odplynění pryskyřice (aby se odplynilo na tlak nižší než je tlak podtlaku během VPI)

7.7.5 Proces plnění včetně plnicího množství na každém vstupu a doběhu

7.7.6 Proces dojení (zpětný tok pod přetlakem) po dokončení plnění.

7.7.7 Stanovení množství pryskyřice, které bylo použito k impregnaci cívky a porovnání s očekávaným objemem náplně na základě měření objemu náplně.

7.7.8 Rychlost rampy a doba držení rampy s každým krokem anotovaným na grafu a VIT (počáteční rampa nahoru, koncová rampa atd.)

Podrobnosti o procesu VPI a procesu vytvrzování musí být vymezeny v plánu VIT, který bude obsahovat ustanovení pro zápis klíčových údajů a parametrů, jakož i zaznamenávání času a teploty v průběhu procesu VPI a vytvrzování.

8 Akceptační testy a měření

Všechny zkoušky provedené v prostorách subdodavatele musí být vyznačeny v VIT a všechny údaje o zkouškách musí být zaznamenány. Zadavatel bude svědkem testů, jak je uvedeno na VPI. Pokud cívka nevyhoví, musí být Zadavatel neprodleně informovaný a musí být vytvořen protokol o neshodě, která dokumentuje tuto závadu. Zhotovitel se může rozhodnout provést opravy a dodatečné zkoušky s předchozím souhlasem Zadavatele.

8.1 Testy v prostorách dodavatele

8.1.1 Elektrické testy

Elektrické zkoušky před VPI popsané v kapitole 7.5 se musí opakovat po VPI s výjimkou zkoušky izolačního odporu uvedené v kapitole 7.5.3 na napětí 1 kV DC. Naměřené hodnoty stejnosměrného odporu musí odpovídat hodnotám před VPI. Naměřené hodnoty AC impedance a izolačního odporu musí být v souladu s hodnotami pre-VPI zohlednění rozdílů vyplývajících z přítomnosti pryskyřice v izolaci. Nesmí být pozorován žádný elektrický průraz. Zaznamená se teplota a vlhkost okolí. Výsledky zkoušek musí být přezkoumány a schváleny Zadavatelem jako předpoklad přepravy.

8.1.2 Testy rozměrové

Musí být provedena kontrola rozměrů dokončené cívky. Musí být vytvořena zpráva o inspekci, ve které jsou uvedeny všechny měřené rozměry vzhledem k jejich jmenovitým hodnotám. Odchytky mimo toleranci se vykazují jako neshoda.

8.2 Testy u Zadavatele

8.2.1 Celkové posouzení kvality

Zadavatel provede všeobecnou kontrolu provedení a rozměrů dodané prototypové cívky. Jakékoliv závady budou zaznamenány, charakterizovány a zaznamenány. Tyto testy **nejsou** brány jako akceptační kritérium.

8.2.2 Elektrické testy

Provedou se stejné elektrické testy jako u zhotovitele (8.1.1).

Cívka bude řízeně zchlazená a bude naprouděná na operační hodnotu +/- 50 kA s celkovým počtem cyklů, které budou specifikovány později.

Po těchto testech se cívka řízeně zahřeje na okolní teplotu a opakují se elektrické testy (8.1.1).

8.2.3 Mechanický zátěžový test

Aby byla ověřena životnost cívky bude proveden zátěžový cyklický test. Cívka bude zchlazena na pracovní teplotu cca 77K a poté bude izolace cyklicky namáhána, aby se mohla určit přibližná životnost. (Cívka musí vydržet minimálně 50 000 výbojů v tokamaku o předem definovaných silách)

8.2.4 Testování přeskoků při sníženém tlaku na vývodech cívky (Paschenův test)

8.2.5 Testy po rozřezání cívky na sekce

Prototypová cívka bude rozříznuta na více částí. Konce řezů budou vizuálně zkoumány pomocí zvětšovací optiky. Bude vyhodnocena přesnost umístění vodičů v poli svazku vinutí. Jakékoli dutiny, které jsou patrné v zatáčce nebo v uzemnění, budou zaznamenány včetně velikosti a umístění dutiny. Po vizuálním zkoumání budou konce řezů zapouzdřeny v izolačním materiálu, aby se zvýšila dielektrická pevnost mezi konci řezných závitů. Následující

Provedou se následující elektrické zkoušky:

1. test izolačního odporu mezizávitové izolace při 1kV DC, prováděný mezi sousedními závitů.
2. DC průrazný test na mezizávitové izolaci provedený mezi souběžnými závitů.

V průběhu zkoušek DC průrazného napětí, pokud je mezizávitová izolace v pořádku, by mělo dojít k průrazu na koncích úseků před průrazem izolace mezi závitů při úrovních při napětí hluboko pod teoretickým průrazným napětím mezizávitové izolace.

8.2.6 Přehled testů

Následující tabulka shrnuje zkoušky, měření a kontroly, které mají být provedeny na cívce. Další reference a kontroly, které budou provedeny po přijetí cívky Zadavatelem, jsou uvedeny jako reference. Zkoušky a měření uvedené ve sloupci „Přijímací kritéria“ musí splňovat stanovené hodnoty, aby byla cívka považována za přijatelnou pro loď.

test	ref.	Před	Po VPI	přím.	místo	pozn.
------	------	------	--------	-------	-------	-------

		VPI		krit.		
Megger 500 DC						
Impedance						
Megger 1 kV DC						
rozměrový						

9 Plán jakosti pro kvalitu svařování

Zhotovitel navrhne svařovací proceduru, materiál, vybavení a dostatečně kvalifikované pracovníky, kteří jsou schopni zhotovit svár v dostatečné kvalitě.

10 Požadavky na zajištění kvality

10.1 Inspekce, monitorování a audity

Zhotovitel má za povinnost provádět denní kontroly a dohled nad dodržováním výše uvedených požadavků při výrobě cívky. Tyto kontroly budou dokumentovány a dostupné pro Zadavatele.

Zadavatel bude mít ve výrobním místě Zhotovitele autorizovaného zástupce, který bude provádět kontroly a dozor v průběhu výroby prototypové cívky. Tento zástupce bude sloužit jako styčná osoba mezi Zadavatelem a Zhotovitelem, informovat Zadavatele o stavu výroby a bude mít autoritu zastavit výrobu cívky dokud nejsou všechny problémy odstraněny.

10.2 Popis programu zajištění kvality

Zhotovitel předloží spolu s návrhem jednu (1) kopii příručky Programu zabezpečování jakosti, která popisuje způsobilost Zhotovitele a obecný přístup k zajištění kvality.

10.3 Inspekce a testovací procedury

Kontroly a zkoušky se provádějí v souladu s plánem VIP (oddíl 6.2) se schválenými (samostatnými nebo začleněnými) postupy odkazující na kritéria pro přijetí nebo odmítnutí cívky. Pro přezkoumání Zadavatelem musí být uchovávány odpovídající záznamy.

10.4 Vedení záznamů a jejich dohledatelnost

Zhotovitel musí udržovat systém dokumentace, ve kterém jsou systematicky sestavovány, indexovány a uchovávány objektivní záznamy o požadovaných operacích, kontrolách a zkouškách. Tyto objektivní záznamy budou zahrnovat vyplněný plán VIP (oddíly 6.2 a 10.6) a příslušné údaje, jako jsou certifikace materiálů, protokoly o zkouškách materiálu, zprávy o inspekcích, zprávy o nesrovnalostech atd. Tyto informace musí být úplné, čitelné a validované odpovědnými pracovníky a musí být dohledatelné k jednotlivým položkám.

10.5. Výrobní/Inspekční/Testovací (VIT)plán

Plán VIT se použije jako doklad o potvrzení / schválení, který uvádí, že byly dokončeny kritické výrobní kroky.

10.6 Kritické kroky projektu a jejich ohlášení Zadavateli

Zadavatel si vyhrazuje právo označit vybrané výrobní, inspekční a / nebo zkušební operace, kde musí být přítomná dedikovaná styčná osoba za Zadavatele. Zhotovitel musí kontaktovat Zadavatele pracovních 5 dní před začátkem vybrané práce.

10.7 Neshoda/Nevyhovující části a opravné činnosti

Nevyhovující části musí být identifikovány a v případě kde je to možné, oddělené od ostatních, aby se zabránilo jejich použití. Subdodavatel musí dokumentovat každou neshodu. Před použitím jakékoli nevyhovující položky je vyžadován písemný souhlas Zhotovitele.

Zhotovitel musí zajistit nejen včasné řešení neshod, ale také jejich analýzu s cílem určit příčiny a zavést vhodná a účinná nápravná opatření.

10.8 Kvalifikace značení

Zhotovitel musí kompletně zdokumentovat konfiguraci dodaných koncových položek nebo služeb pomocí revizí výkresů, revizí specifikací, unikátních čísel dílů nebo jiných vhodných prostředků.

10.9 Kalibrace měřících a zkušebních zařízení

Kontroly a zkoušky se provádějí pomocí řádně kalibrovaného měřícího a zkušebního zařízení. Normy pro kalibraci musí být sledovatelné na základě Národního institutu pro normy a technologie nebo ekvivalentní. Pokud takové normy neexistují, musí být zdokumentován základ použitý pro kalibraci. Identifikační čísla zkušebního a měřícího

zařízení a poslední kalibrační datum musí být zaznamenány v odpovídajících krocích plánu VIT nebo postupů uvedených v plánu VIT.

10.10 Proces a dokumentace kontroly a testů

Každý předmět, který má být dodán Zadavateli, musí být zkontrolován a otestován Zhotovitelem, aby ověřil, že splňují požadavky Zadavatele. Výsledky musí být dokumentovány a oznámeny Zadavateli.

10.11 Dodání Zadavateli

Zadavatel bude provádět kontrolu zásilek u položek nebo služeb dodaných Zhotovitelem, a to buď pomocí odběru vzorků nebo 100% kontroly. Nesouhlasné položky nebo služby mohou být odmítnuty a vráceny Zhotoviteli.

10.12 Historie procesu výroby

Zhotovitel musí poskytnout procesní historii, která obsahující kompilaci dokumentů (preferované v digitální podobě, ve formátu PDF, Microsoft Word nebo Microsoft Excel), s podrobným popisem objektivních důkazů přijatelnosti provedené práce. Historie procesu pro prototypovou cívku musí být poskytnuta Zadavateli s požadavkem na vydání přepravy.

10.12.1 Materiálové certifikace

10.12.2 Kontrolní a zkušební zápisy

10.12.3 Zápisy o neshodách

10.12.4 Protokol o předání k transportu

10.13 Změny v dokumentech schváleným Zadavatelem

Revize nebo změny dokumentů schválených Zadavatelem, provedené Zhotovitelem, musí být před použitím přezkoumány a schváleny Zadavatelem.

10.14 Odpovědnost Zhotovitele za shodu a splnění požadavků za subdodavatele

Zhotovitel odpovídá za to, že všechny požadavky a omezení jsou uloženy všem subdodavatelům.

11 Skladování a manipulace s výrobkem

11.1 Utěsnění chladících otvorů

Chladící otvory na cívce budou utěsněny pro skladování a následný transport

11.2 Identifikátor cívky

K cívce bude připojeno identifikační značení a to minimálně: výrobní číslo Zhotovitele, datum dokončení výroby cívky a hmotnost cívky.

11.3 zabezpečení a transport cívky

Zhotovitel je odpovědný za přepravu na místo Zadavatele. Cívka musí být připravena pro přepravu takovým způsobem, aby bylo zajištěno přijetí dopravcem a aby byla chráněna před běžným přepravním nebezpečím.

Podrobnosti o balení a přepravě musí Zhotovitel předložit k posouzení a schválení ze strany Zadavatele. Cívka musí být zabalená v polyethylenu o tloušťce nejméně 0,125 mm a přepravka musí být dřevěná a vhodná pro manipulaci se závěsy z nadzemních jeřábů a vysokozdvizných vozíků. Přepravka musí chránit cívku před otřesy, poškozením způsobeným posunem zatížení a povětrnostními podmínkami, včetně srážek. K přepravní přepravce se přidají snímače otřesů. Charakteristiky snímačů otřesů musí být opatřeny údaji o balení a přepravě. Zvláštní pozornost je třeba věnovat tomu, aby byla oblast vývodů cívky dostatečně chráněna. Na přepravním obalu musí být uvedeno jméno Zhotovitele, jméno Zadavatele, číslo objednávky, identifikátor cívky a hrubá hmotnost. Fotografie zabalené a v přepravním boxu připravené cívky musí být předloženy Zhotoviteli před žádostí o přepravu.

12 Dodávky

12.1 Dodávky dokumentace

Všechny dokumenty budou dodány v .pdf formátu

položka dodávky	kdy požadováno	reference specifikace
Plán jakosti	Před zahájením jakékoliv práce na designu a výrobě podle těchto specifikací a po jejich revizích	6.1
Výrobní a nástrojové výkresy	Před jejich použitím.	3.2, 5.5
Výrobní/inspekční/testovací (VIT) plán	Po obdržení objednávky, pro schválení Zadavatelem před	6.2

	zahájením výroby	
Postupy stanovené v VIT	Před každou výrobní, inspekční nebo zkušební činností specifickou pro rozsah dodávky této specifikace.	6.2
Ochranné opatření v čistém pásmu, které může produkovat metalické částice (piliny, třísky, aj.)	Před zahájením výroby	7.1
Zápis o neshodě	lhned po detekci	7.3.3
Neshoda rozměrů	lhned po detekci	7.3.3
Postup pro opravu poškozené izolace	před zahájením opravy	7.4
Výsledky měření impedance cívky	lhned po skončení měření	7.5.2
Výsledky měření rezistence cívky	lhned po skončení měření	7.5.1
Výsledky měření izolačního odporu	lhned po skončení měření	7.5.3
Výsledky elektrických měření před VPI	lhned po skončení měření	7.5, 8.1.1
Postup Svářecích prací	Před zahájením svářecích prací	9
Rozměrová kontrola hotové cívky	Před odesláním přejímkového formuláře Zadavateli	8.1.2
Procedura pro zabezpečení a transport cívky	před zahájením	11.3
VIT plán výpis a oficiální podpis	Po dokončení všech výrobních, kontrolních a měřicích aktivit specifických pro rozsah poskytující tato specifikace.	6.2
Fotografie zabalené cívky	Před odesláním přejímkového formuláře Zadavateli.	11.3
Historie procesu a výdejní formulář Zadavatele pro přepravu	Před přepravou cívky	10.11

12.2 Fyzické dodávky

položka dodávky	kdy požadováno	reference specifikace
Prototypová cívka	Po dokončení výroby, měření a přípravy pro přepravu a schálení přejímkového formuláře zadavatelem	8.1.1, 8.1.2, 11,

13 Otázky pro potencialního výrobce poloidálních (EF a CS) cívek a prototypové cívky:

1. Jaká je nejvhodnější šířka izolačních pásek pro závitovou a zemní izolaci pro dané profily?
2. Jaké jsou nejvhodnější okrajové radiusy pro různé velikosti profilových vodičů?
3. Aké druhy vývodů z cívok používáte, a aké sú ich výhody/nevýhody?
4. Aké druhy vývodů z cívok zvládne vyrobit, a aké sú ich max/min rozmery?
5. Aké výrobné odchylky priemerov a dĺžkových rozmerov dosahujete pri výrobe?
6. Prototypová cívka bude navíjena samostatně, ale finální CS cívky budou navíjené na jádro TF cívek. Budou cívky CS být navinuty ve stejném designu?
7. Lze před započítáním výroby cívky nechat vyrobit vzorek z izolovaných profilů cca 3x3 vodiče o délce cca 0.5 m a nechat zaimpregnovat k posouzení kvality impregnace?
8. V případě některých cívek CS budou vývody dosahovat délky až 1.5 m, bude možné vyrobit cívku bez přerušení vodiče?
9. Pro PF cívky je zvažována koaxiální verze vývodů cívek, je tato možnost výrobitelná pro všechny typy cívek?
10. K cívkám se předpokládá přidání teplotních senzorů, nebude to mít negativní vliv na výrobu a kvalitu izolace? (př. použitého senzoru Cernox 1050 CX-SD, rozměry 3 x 2 x 1 mm + vývody)

[2] <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0920379617302053>

[1] https://www.cez.cz/edee/content/file/vzdelavani/fuze_sceen.pdf