

smlouva č. 124/2013

Smlouva o dílo

uzavřená v souladu s ustanoveními § 536 a násl. zák. č. 513/1991 Sb., obchodní zákoník, v platném znění

I. SMLUVNÍ STRANY

1. Objednatel:

Fyzikální ústav AV ČR, v. v. i.

se sídlem Na Slovance 2

PSČ 182 21 Praha 8

Jehož jménem jedná: doc. Jan Řídký, DrSc., ředitel

Zapsaný v rejstříku veřejných výzkumných institucí Ministerstva školství, mládeže a tělovýchovy České republiky

IČO: 68378271

DIČ: CZ68378271

(dále jen "Objednatel")

a

2. Zhotovitel:

ATEKO a.s.

se sídlem: Resslova 956/13, 501 01 Hradec Králové

Zapsaný v OR vedeném Krajským soudem v Hradci Králové, oddíl B, vložka 1035

Jehož jménem jedná: Ing. Miroslav Buriánek, předseda představenstva
Ing. Václav Kučera, místopředseda představenstva

Bankovní spojení: ČSOB a.s., Hradec Králové
Číslo účtu: 8010-0208101353/0300

IČO: 60108991

DIČ: CZ60108991

(dále jen "Zhotovitel"; a Objednatel a Zhotovitel dále společně jen "Smluvní strany" nebo každý z nich samostatně jen "Smluvní strana").

II. ZÁKLADNÍ USTANOVENÍ

- 1) Objednatel je příjemcem dotace Ministerstva školství, mládeže a tělovýchovy České republiky na projekt „ELI: Extreme Light Infrastructure“, reg. číslo CZ.1.05/1.1.00/02.0061, v rámci Operačního programu Výzkum a vývoj pro inovace (dále jen "OP VaVpI"), prioritní osy 1 Evropská centra excelence, oblast podpory 1.1 Evropská centra excelence (dále jen „Projekt ELI-Beamlines“).

- 2) Účelem Projektu ELI-Beamlines je vybudování a provozování mezinárodní výzkumné laboratoře (výzkumného zařízení) využívající nejnovější generaci laserových technologií s následnou realizací řady projektů základního a aplikovaného výzkumu. Předmět, rozsah a cíle Projektu ELI-Beamlines jsou blíže definovány v rozhodnutí Evropské komise ze dne 20. 04. 2011, čj. K(2011) 2753, o velkém projektu „ELI: Extreme Light Infrastructure“ a v rozhodnutí Ministerstva školství, mládeže a tělovýchovy ČR ze dne 2.8.2011, č.j. 26310/2009-45, a dále v dokumentech na tato rozhodnutí navazujících. Projekt ELI-Beamlines je zároveň součástí české cestovní mapy velkých infrastruktur pro výzkum, vývoj a inovace schválené Vládou České republiky.
- 3) Projekt ELI-Beamlines je jedním z pilířů Projektu ELI zahrnutého do tzv. ESFRI Roadmap vytvořené orgánem European Strategy Forum on Research Infrastructures ustanoveným Komisí Evropských společenství za účelem realizace panevropských výzkumných center nejpokročilejší vědecké úrovně, jejichž účelem je zajistit v rámci vědeckého určení daného výzkumného zařízení plně otevřený přístup do těchto zařízení vědeckým pracovníkům výhradně na základě jejich vědecké excelence (tedy bez ohledu na právní či komerční status institucí či společností, ze kterých pocházejí). Dle stejných principů bude svou činnost vyvíjet také výzkumné zařízení, jehož vybudování a provozování je předmětem Projektu ELI-Beamlines.
- 4) Za účelem úspěšné realizace Projektu ELI-Beamlines je nutné zajistit provedení díla dle této smlouvy. Dílo se stane součástí infrastruktury pro výzkum, vývoj a inovace ELI-Beamlines v Dolních Břežanech (dále jen „**Infrastruktura ELI-Beamlines**“ nebo „**Výzkumné centrum ELI-Beamlines**“), a bude dále využíváno při činnosti Výzkumného centra ELI-Beamlines v souladu s určením tohoto výzkumného centra.
- 5) Zhotovitel se stal vítězem zadávacího řízení vyhlášeného Objednatelům dle zákona č. 137/2006 Sb., o veřejných zakázkách, v platném znění (dále jen „**ZVZ**“), na zakázku s názvem „**Návrh, výroba a dodávka systému kryogenní chladicí smyčky pro laserovou hlavici typu multislabs s optickým výkonem 100 W**“ (dále jen „**Výběrové řízení**“).
- 6) Účelem této Smlouvy je zajistit pro účely Projektu ELI-Beamlines návrh, výrobu a dodávku systému kryogenní chladicí smyčky pro diodově čerpaný multideskový laserový zesilovač za podmínek a dle specifikací dále určených touto smlouvou. Kryogenní chladicí smyčka bude sloužit k ochlazení diodově čerpaného multideskového laserového zesilovače v pořizovací hodnotě 70 mil. Kč bez DPH, s nímž bude propojena do jednoho funkčního celku.
- 7) Podkladem pro zhotovení Díla jsou/je:
 - a) technické specifikace, které tvoří nedílnou součást této Smlouvy jako **Příloha č. 1** (dále jen „Technické specifikace“). Uvedené technické specifikace byly rovněž součástí zadávací dokumentace k Výběrovému řízení jako její příloha č. 3;
 - b) nabídka Zhotovitele podaná v rámci Výběrového řízení v rozsahu té části, která Dílo technicky popisuje; nabídka v uvedené části tvoří **Přílohu č. 2** Smlouvy a je její nedílnou součástí.
- 8) Zhotovitel prohlašuje, že disponuje veškerými odbornými předpoklady potřebnými pro zhotovení díla, k činnosti dle této smlouvy je oprávněn a na jeho straně neexistují žádné překážky, které by mu bránily dílo dle této smlouvy zhotovit.

Zhotovitel bere na vědomí, že termíny pro plnění díla nebo jeho části dle této smlouvy uvedené v čl. VI jsou pro Objednatel z zásadní vzhledem k návaznostem Projektu ELI-Beamlines a termínu, do kterého má být tento projekt realizován, a že v případě jejich nesplnění Objednateli vznikne významná škoda. Objednatel Zhotovitele seznámil s návazností termínů stanovených touto smlouvou na termíny projektu ELI-Beamlines, a to na www.eli-beams.eu.

III. PŘEDMĚT A ROZSAH DÍLA, TERMÍNY PLNĚNÍ

Předmětem této smlouvy je:

- (A) závazek Zhotovitele řádně a včas pro Objednatele za podmínek této smlouvy včetně jejích příloh, na svůj náklad a svoji odpovědnost a ve sjednané době provést dílo sestávající z následujících částí díla D1 až D3:

D1 Koncepční, technický a konstrukční návrh, výroba a dodávka kryogenní chladicí smyčky pro 10 J/ 10 Hz laserovou hlavici

Součástí části díla D1 jsou následující:

- D1a)** Vypracování koncepčního technického schéma kryogenního chladicího okruhu pro multideskový laserový zesilovač s optickým výkonem 100 (± 30) W (nominálně 10 J/10 Hz) pracující při nominální teplotě 150 K, a to v souladu s podrobnými fyzikálními a technickými specifikacemi uvedenými v příloze č. 1 této smlouvy Technické specifikace. Vytvořené koncepční schéma bude předloženo Objednateli k odsouhlasení a po zapracování připomínek Objednatele bude vytvořena a Objednateli předána Koncepční technická dokumentace chladicího okruhu (dále také jen „KTD“).

Termín splnění D1a): do 2 měsíců od podpisu této smlouvy

Tato dílčí část Díla se považuje za splněnou předáním KTD Objednateli. Zhotovitel předá Objednateli koncepční technické schéma chladicího okruhu k odsouhlasení do 6ti týdnů od podpisu této smlouvy.

Zhotovitel bude při plnění této dílčí části Díla vycházet z rámcového technického návrhu řešení chladicí smyčky obsaženého v nabídce Zhotovitele podané ve Výběrovém řízení. Odchyly jsou přípustné jen na základě poskytnutého odůvodnění a po předchozím souhlasu Objednatele.

Zhotovitel bude při přípravě KTD provádět konzultace s výrobcem multideskového laserového zesilovače s optickým výkonem 100 (± 30) W, jímž je společnost Science and Technology Facilities Council, Velká Británie.

- D1b)** Rozpracování kompletního technického (basic engineering) a konstrukčního (výrobní dokumentace, detailed engineering) návrhu kryogenního chladicího okruhu (smyčky) dle KTD, výroba a testování smyčky u Zhotovitele (on-shop test), ověření bezporuchového chodu.

Termín splnění D1b): do 8 měsíců po podpisu této smlouvy

Tato dílčí část Díla se považuje za splněnou provedením úspěšných testů a ověřením bezporuchového chodu chladicího okruhu, resp. vystavením protokolu o úspěšných testech podepsovaného zástupci obou Smluvních stran. Testy se považují za úspěšné, splňuje-li chladicí smyčka parametry uvedené v Příloze č. 1 této smlouvy Technické specifikace, zejména v Tabulce 1.

Zástupce Objednatele je oprávněn se účastnit všech zkoušek a Objednateli tak musí být v dostatečném předstihu sdělovány termíny zkoušek a testů.

- D1c)** Dodání zhotoveného a otestovaného chladicího okruhu na určené pracoviště Objednatele Praze, napojení na laserovou hlavici 10 J/10 Hz zesilovače a uvedení do provozu.

Termín splnění D1c): do 8 měsíců a dvou týdnů po podpisu této smlouvy

Zhotovitel v dostatečném předstihu upozorní Objednatele, kdy zamýšlí provést přepravu chladicího okruhu a Objednatel mu sdělí přesné místo dodání chladicího okruhu. Zhotovitel za součinnosti s Objednatelem provede napojení chladicího okruhu na laserovou hlavici 10 J/10 Hz zesilovače a uvede jej do provozu.

Zhotovitel alespoň měsíc před dodáním chladicího okruhu Objednateli sdělí požadavky na pomůcky potřebné pro instalaci chladicí smyčky, technické požadavky potřebné pro instalaci a požadavky na dodávku médií (elektrina, voda).

Při dodání chladicí smyčky Zhotovitel Objednateli předá také KTD a technický a konstrukční návrh chladicí smyčky.

Při dodání chladicí smyčky dále Zhotovitel Objednateli předá manuál instalace, provozu a údržby chladicí smyčky, a to v českém a anglickém jazyce.

- D1d)** Realizace série zkoušek operačního provozu chladicího okruhu na pracovišti Objednatele (kompletní on-site test).

Termín plnění D1d): do 11 měsíců po podpisu této smlouvy

Zhotovitel v součinnosti s Objednatelem provede sérii zkoušek operačního provozu chladicí smyčky na pracovišti Objednatele. Zkoušky se považují za úspěšné, splňuje-li chladicí smyčka parametry uvedené v **Příloze č. 1** této smlouvy Technické specifikace, zejména v Tabulce č. 1. Po úspěšném ukončení zkoušek operačního provozu vystaví Objednatel Zhotoviteli písemný akceptační protokol chladicí smyčky. Okamžikem vystavení akceptačního protokolu se chladicí smyčka považuje za předanou Objednateli, přičemž vystavením akceptačního protokolu se zároveň dílčí část díla D1d) považuje za splněnou.

D2 Konzultační činnost

Předmětem dílčího plnění D2 je poskytování služeb konzultačního servisu za účelem optimalizace provozních parametrů chladících smyček integrovaných do laserových řetězců.

Rozsah požadovaných služeb činí až 500 hodin, přičemž se jedná o rámcové množství, které bude Objednatel čerpat dle svých skutečných budoucích potřeb.

Služby mohou být zadavatelem objednávány po celou dobu platnosti této smlouvy, nejpozději však v roce 2017.

D3 Pozáruční a mimozáruční servis

Zhotovitel je povinen k výzvě Objednatele odstraňovat vady jím dodaného plnění (díla) v rámci plnění této smlouvy, které není povinen odstranit v rámci záručního servisu nebo které se vyskytly v době po uplynutí záruky a to až do konce roku 2017. Zhotovitel je dále povinen k výzvě Objednatele provádět servisní zásahy a činnosti, které nemají povahu odstraňování vad a slouží k udržení či prodloužení funkčnosti či provozuschopnosti dodaných zařízení.

Zhotovitel je povinen do 48 hodin od obdržení výzvy Objednatele k odstranění vady (do nichž se nezapočítávají dny pracovního volna a státem uznávané svátky) provést identifikaci vady a navrhnout vhodné opatření k odstranění vady. Následné odstranění vady Zhotovitel provede v nejkratší možné

lhůtě, nejpozději však ve lhůtě 20 dnů. Není-li možné odstranění vady v této lhůtě z objektivně daných důvodů, dohodnou Smluvní stranu lhůtu jinou. Zhotovitel je povinen, nejedná-li se o komponenty charakteristické výhradně pro chladicí smyčku dodávanou jako součást předmětu této smlouvy, udržovat přiměřenou zásobu náhradních komponentů chladicí smyčky tak, aby byl lhůtu 20-ti dnů schopen stihnout. Za objektivně dané důvody se nepovažuje zejména neschopnost zajistit jakékoliv plnění od subdodavatelů.

Rozsah požadovaných služeb činí až 500 hodin, přičemž se jedná o rámcové množství, které bude Objednatel čerpat dle svých skutečných budoucích potřeb. Hodinová sazba za poskytování služeb v rámci dílčího plnění D3 stanovená touto smlouvou obsahuje veškeré náklady na identifikaci a odstranění vad či na poskytnutí jiných servisních zásahů či služeb vyjma cen náhradních komponentů a nákladů na dopravu a cestovné.

Ceny klíčových náhradních komponent jsou stanoveny v **příloze č. 4** této smlouvy, kterou zpracoval Zhotovitel pro účely Výběrového řízení. Zhotovitel je povinen dodat Objednateli náhradní komponenty za ceny stanovené v **příloze č. 4** této smlouvy navýšené o inflaci. Pro účely inflačního navýšení bude vzata v potaz průměrná meziroční míra inflace vyhlášená Českým statistickým úřadem, přičemž zohledněna bude již průměrná meziroční míra inflace za rok, ve kterém byla chladicí smyčka jakožto součást Části Díla D1 řádně a včas dodána. Není-li některý komponent uveden v **příloze č. 4** této smlouvy, dodá jej Zhotovitel Objednateli za ceny v čase a místě obvyklé.

Náklady na dopravu a cestovné budou Zhotovitelem Objednateli účtovány dle jejich skutečné doložené výše, přičemž se musí jednat o hospodárně vynaložené náklady.

(součásti díla D1 až D3 jsou dále každé samostatně označovány též jako „Část Díla“ a všechna společně dále též jako „Dílo“)

a

(B) závazek Objednatele zaplatit Zhotoviteli za podmínek této smlouvy sjednanou cenu za provedení Díla.

IV. PŘECHOD VLASTNICKÉHO PRÁVA A NEBEZPEČÍ ŠKODY NA VĚCI

Ve vztahu k Části Díla D1 přechází na Objednatele vlastnické právo k chladicímu okruhu okamžikem vystavení písemného akceptačního protokolu po ukončení zkoušek operačního provozu chladicího okruhu (viz čl. III. A) D1d) této smlouvy).

Ve vztahu k Části Díla D1 přechází na Objednatele nebezpečí škody na věci okamžikem napojení zhotoveného a otestovaného chladicího okruhu na pracoviště Objednatele v Praze na laserovou hlavici 10 J/10 Hz zesilovače a následného uvedení do provozu (viz. čl. III. A) D1c) této smlouvy).

V. CENA DÍLA, FAKTURACE, PLACENÍ

- 1) Celková (maximální) cena Díla je stanovena na základě nabídky Zhotovitele pro Výběrové řízení na částku v celkové maximální možné výši **19 820 000,- Kč** bez DPH, slovy: devatenáct miliónů osm set dvacet tisíc korun českých bez DPH (dále jen "**Cena Díla**").
- 2) Cena Díla zahrnuje veškeré plnění Zhotovitele bezprostředně směřující ke splnění požadavků Objednatele na řádné provedení Díla dle této smlouvy, veškeré náklady Zhotovitele nutné k realizaci Díla a k jeho předání Objednateli včetně cestovních výdajů, poplatků, cla a pojištění a veškeré nároky Zhotovitele dle zákonů na ochranu předmětů duševního vlastnictví.
- 3) Cena jednotlivých Částí Díla je pro účely této Smlouvy následující:

Dílčí plnění				Cena v Kč bez DPH
D1	Koncepční, technický a konstrukční návrh, výroba a dodávka kryogenní chladicí smyčky pro 10 J/ 10 Hz laserovou hlavici			19 040 000,- Kč
D2	Konzultační činnost	Cena za 1 hodinu	Předpokládaný počet hodin	390 000,- Kč
		780,- Kč	500	
D3	Pozáruční a mimozáruční servis	Cena za 1 hodinu	Předpokládaný počet hodin	390 000,- Kč
		780,- Kč	500	

- 4) Cena za plnění poskytovaná v rámci Částí Díla D2 a D3 jakožto cena hodinová bude Objednateli účtována dle skutečného počtu hodin poskytování služeb vždy za uplynulý měsíc. Strukturovaný výkaz poskytnutých hodin služeb bude před provedením fakturace dán kodsouhlasení Objednateli.
 - 5) Zhotovitel je ve vztahu k Části Díla D1 oprávněn účtovat smluvní cenu za provedení této Části Díla uvedenou shora v čl. V.3. následujícím způsobem:
 - po splnění dílčí části D1a) 30% ceny Části Díla D1
 - po splnění dílčí části D1b) 50% ceny Části Díla D1
 - po splnění dílčí části D1c) 10% ceny Části Díla D1
 - po splnění dílčí části D1d) 10% ceny Části Díla D1.
 - 6) K jednotlivým platbám je fakturována DPH v souladu s platnými právními předpisy.
 - 7) Lhůta splatnosti faktur je 21 dnů od data jejich doručení Objednateli (dále jen "**Lhůta splatnosti**"). Zaplacením účtované částky se rozumí den jejího odeslání na účet Zhotovitele. Daňové doklady - faktury vystavené Zhotovitelem podle této smlouvy budou obsahovat veškeré náležitosti daňového dokladu dle příslušných právních předpisů.
 - 8) Poslední faktura v každém kalendářním roce musí být Zhotovitelem doručena do podatelny Objednatele nejpozději do 15. prosince daného kalendářního roku. Pokud daňový doklad – faktura nebude vystavena v souladu s platebními podmínkami stanovenými touto smlouvou nebo nebude splňovat požadované zákonné náležitosti nebo nebude-li doručena Objednateli do termínu uvedeného výše, je Objednatel oprávněn daňový doklad - fakturu Zhotoviteli vrátit jako neúplnou, resp. nesprávně vystavenou, k doplnění, resp. novému vystavení ve lhůtě pěti (5) pracovních dnů od data jejího doručení Objednateli. V takovém případě Objednatel není v prodlení s úhradou Ceny Díla nebo její části a Zhotovitel vystaví opravenou fakturu s novou shodnou lhůtou splatnosti, která začne plynout dnem doručení opraveného nebo nově vyhotoveného daňového dokladu - faktury Objednateli.
- Fakturační údaje Objednatele jsou uvedeny v čl. 1 této smlouvy.
- 9) Faktury za podmínky dodržení ostatních povinností dle toho článku smlouvy lze doručovat také v elektronické podobě na adresu epodatelna@fzu.cz.

VI. ZÁRUKY, ZÁRUČNÍ, MIMOZÁRUČNÍ A POZÁRUČNÍ SERVIS

1. Dílo má vady, jestliže provedení Díla či jeho části neodpovídá výsledku stanovenému touto smlouvou.
2. Zhotovitel odpovídá za vady, jež má Dílo či jeho část v době, kdy na Objednatele přechází nebezpečí škody na věci, a dále odpovídá za vady Díla zjištěné po celou dobu záruční lhůty (záruka za jakost). Záruční doba se počítá ode dne následujícího po přechodu nebezpečí škody na konkrétní věci na Objednatele.
3. Zhotovitel poskytuje záruku za jakost v následujícím rozsahu:

Zhotovitel poskytuje záruku za funkčnost a bezporuchový provoz chladicí smyčky dodané v rámci Části Díla D1, při nominálním chladícím výkonu odpovídajícím provozu laserové hlavice 10 J / 10 Hz, na dobu 2 let. Záruka se vztahuje na veškeré komponenty smyčky.

Zhotovitel poskytuje záruku na kvalitu prací realizovaných v rámci dílčího plnění D3 a v rámci záručního servisu po dobu 6 měsíců. Na nové či náhradní komponenty dodané v rámci dílčího plnění D3 a v rámci záručního servisu poskytuje Zhotovitel záruku 2 roky.

4. Požadavek na odstranění vad Díla nebo jeho části v záruční době uplatní písemnou formou Objednatel u Zhotovitele bez zbytečného odkladu po jejich zjištění, nejpozději v poslední den záruční doby (dále jen „**Reklamac**“). I Reklamac odeslaná Objednatelem poslední den záruční doby se považuje za včas uplatněnou.
5. Zhotovitel se zavazuje prověřit Reklamaci, oznámit Objednateli, zda Reklamaci uznává, a písemně sdělit termín odstranění vady do 48 hodin ode dne doručení Reklamace Zhotoviteli (do nichž se nezapočítávají dny pracovního volna a státem uznávané svátky).
6. Zhotovitel se zavazuje reklamované vady Díla nebo jeho části bezplatně odstranit, a to bez zbytečného odkladu, nejpozději však ve lhůtě 20 dnů. Není-li možné odstranění vady v této lhůtě z objektivně daných důvodů, dohodnou Smluvní stranu lhůtu jinou.
7. Zhotovitel je povinen ve stanovené lhůtě odstranit vady Díla i v případě, kdy podle jeho názoru za vady neodpovídá.
8. Náklady na odstranění vad v těchto sporných případech nese až do vyjasnění nebo do vyřešení rozporu Objednatel.
9. O odstranění reklamované vady sepiší Smluvní strany protokol, ve kterém potvrdí odstranění vady. O dobu, která uplynula mezi uplatněním Reklamace a odstraněním vady se prodlužuje záruční doba.
10. Mimoszáručním servisem se rozumí odstraňování vad v době platnosti záruky, pokud Zhotovitel nemá povinnost vadu odstranit v rámci záruky. Pozáručním servisem se rozumí odstraňování vad v době po uplynutí platnosti záruky. Mimoszáruční a pozáruční servis je předmětem Části Díla D3.
11. Úkony Smluvních stran zakládají nároky dle tohoto článku, jsou-li učiněny písemnou formou nebo formou elektronické komunikace se zaručeným elektronickým podpisem jedním ze zástupců dotčené Smluvní strany dle čl. XI odst. 1 a 2. Smlouvy na adresu druhé Smluvní strany dle čl. I. nebo čl. XI odst. 3. Smlouvy.

VII. PRÁVA DUŠEVNÍHO VLASTNICTVÍ

1. V případě, že v souvislosti s plněním této smlouvy bude Dílo nebo některé dílčí plnění autorským dílem ve smyslu zák. č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů v platném znění (dále jen „**autorský zákon**“), Zhotovitel poskytuje Objednateli podpisem této smlouvy nevýhradní oprávnění užít jakékoli plnění, k němuž se zavázal podle této smlouvy a které je nebo bude chráněno autorským právem, pro účely

vybudování a provozu Výzkumného centra ELI-Beamlines, ať již bude v budoucnu provozováno jakoukoli osobou, zejména pak za účelem řádného provozu a zajištění oprav Díla. Toto oprávnění rovněž zahrnuje oprávnění takový výsledek činnosti zpracovat, měnit a upravovat ke shodě s uvedeným účelům. Toto oprávnění rovněž zahrnuje oprávnění Objednatele takový výsledek činnosti poskytnout smluvnímu dodavateli souvisejícího či navazujícího zařízení za účelem zajištění řádné funkční/ technické provázanosti a funkčnosti souvisejících zařízení. Zhotovitel výslovně uvádí, že uděluje Objednateli licenci užít všechny podrobné technické a technologické návrhy zařízení dle smlouvy ke shora uvedeným účelům, a to po dobu trvání majetkových práv k uvedeným částem Díla.

2. Autorská díla (čl. VII odst. 1) a průmyslová práva (čl. VII odst. 2) jsou dále pro účely této smlouvy společně nazývána jako práva vztahující se k předmětům duševního vlastnictví. V případě, že v souvislosti s plněním smlouvy vznikne Dílo nebo jeho část, které bude způsobilým předmětem registrace (ochrany) prostřednictvím některé z forem průmyslových práv (tj. ochranná známka, vynález, užitný či průmyslový vzor, a další) chráněných dle platných právních předpisů českých, jiného státu nebo mezinárodní či nadnárodní organizace, uděluje Zhotovitel Objednateli po dobu trvání ochrany příslušného druhu průmyslových práv bezúplatnou licenci k užití Díla pro účely realizace Projektu ELI-Beamlines a pro účely vybudování a provozování Výzkumného centra ELI-Beamlines.
3. Zhotovitel uděluje Objednateli souhlas postoupit udělená práva dle odst. 1 formou podlicenční smlouvy na třetí osoby, a to pro účely a v rozsahu uvedeném v odstavci 1 tohoto článku.
4. Zhotovitel dále uděluje Objednateli právo poskytnout práva vztahující se k předmětům duševního vlastnictví dle čl. VII odst. 1 až 2 i případnému budoucímu provozovateli Infrastruktury ELI-Beamlines, a to pro účely a v rozsahu uvedeném v odstavci 1 tohoto článku.
5. Smluvní strany prohlašují, že se dohodly tak, že odměna Zhotovitele za poskytnutí licence a podlicence dle odst. 1 až 4 tohoto článku Smlouvy je již zahrnuta v Ceně Díla.
6. V případě, že dojde k porušení práv k předmětům duševního vlastnictví, která vznikla na základě této smlouvy, je jejich vlastník / majitel oprávněn k jejich vymáhání u příslušných orgánů či úřadů. Nositel licence je povinen bez zbytečného odkladu informovat vlastníka / majitele práv k předmětům duševního vlastnictví v případě, že se o porušení dle předchozí věty dozví.
7. V případě, že by Dílo nebo jeho část vzniklo společnou činností Zhotovitele a Objednatele, zavazují se obě Smluvní strany podat společnou přihlášku jakéhokoliv průmyslového práva jakožto jeho spolupůvodci.

VIII. PRÁVA A POVINNOSTI SMLUVNÍCH STRAN

1. Zhotovitel se zavazuje plnit veškeré závazky vyplývající z této smlouvy s odbornou péčí, na své náklady a na své nebezpečí.
2. Zhotovitel bude při plnění Části Díla D1 dodržovat harmonogram plnění Části Díla D1, který byl součástí jeho nabídky pro Výběrové řízení a který tvoří **přílohu č. 3** této smlouvy (dále jen „**Harmonogram**“).
3. Zhotovitel bude při plnění Části Díla D1 postupovat dle plánu kvality, jehož návrh předá Objednateli do 15-ti dnů od podpisu této smlouvy k připomínkám (dále jen „**Plán kvality**“). Připomínky a požadavky Objednatele k návrhu plánu kvality je Zhotovitel povinen zpracovat. Plán kvality bude zahrnovat mimo jiné Zhotovitelem navržený způsob a metody provádění zkoušek a testů spadajících pod součásti D1b) a D1d) Části Díla D1. Plán kvality bude dále zahrnovat soupis rizik spojených s řádným a včasným splněním Části Díla D1 a opatření směřující k odstranění nebo zmírnění takových rizik.
4. Zhotovitel za každý měsíc plnění Části Díla D1 zpracuje měsíční zprávu, ve které popíše stav plnění

této části Díla. Součástí měsíční zprávy bude také vyhodnocení plnění Harmonogramu a popis činností pro následující měsíc s popisem rizik, která jsou s nimi spojená. V případě neplnění Harmonogramu Zhotovitel tuto skutečnost zdůvodní a navrhne opatření vedoucí k odstranění zpoždění plnění Díla.

5. Zhotovitel je kdykoliv povinen podat Objednateli zprávu o stavu plnění Díla a umožnit mu kontrolu plnění Díla ve svých prostorech.
6. Zhotovitel je povinen při plnění Díla nebo jeho části a při navrhovaném řešení dodržovat obecně závazné předpisy, technické bezpečnostní a jiné normy, ujednání této smlouvy včetně jejích příloh a vycházet z podkladů předaných mu Objednatелеm.
7. Objednatel se zavazuje předat Zhotoviteli veškeré podklady, materiály nebo jiné informace, které jsou potřebné pro provedení Díla a které po něm Zhotovitel spravedlivě požaduje, avšak za podmínky, že Zhotovitel takový požadavek vznesl v dostatečném předstihu zajišťujícím splnění termínů provedení Části Díla.
8. Zhotovitel je povinen při plnění této Smlouvy zohlednit veškeré požadavky a připomínky Objednatele směřující k dosažení nejvyšší kvality předmětu plnění dle této Smlouvy, nejsou-li v rozporu s právními předpisy. Jsou-li takové požadavky a připomínky podle názoru Zhotovitele nevhodné, je tuto skutečnost povinen Objednateli sdělit a svůj názor odůvodnit.
9. Zhotovitel se za podmínek stanovených touto smlouvou, v souladu s pokyny Objednatele a při vynaložení veškeré potřebné odborné péče, zavazuje:
 - i. archivovat veškeré písemnosti zhotovené pro plnění předmětu této smlouvy a kdykoli po tuto dobu umožnit Objednateli přístup k těmto archivovaným písemnostem, a to do roku 2021. Objednatel je oprávněn po uplynutí 10 let od ukončení plnění podle Smlouvy od Zhotovitele výše uvedené dokumenty bezplatně převzít;
 - ii. spolupůsobit při výkonu finanční kontroly dle zákona č. 320/2001 Sb., o finanční kontrole, v platném znění, mj. umožnit Řídicímu orgánu OP VaVpl (dále jen „Poskytovatel dotace“) přístup i k těm částem nabídky podané ve Výběrovém řízení, této smlouvy, Objednávce, dílčích smluv o dílo a souvisejících dokumentů, které podléhají ochraně podle zvláštních právních předpisů za předpokladu, že budou splněny všechny požadavky právních předpisů na způsob provádění takové kontroly; k dodržení této povinnosti je Zhotovitel povinen zavázat také své případné subdodavatele. Možnost účinné kontroly musí být zajištěna nejméně do roku 2021.
10. Smluvní strany se zavazují zachovávat mlčenlivost o veškerých podmínkách spojených s touto smlouvou, není-li zveřejnění či sdělení určité skutečnosti povinností vyplývající z obecně závazných právních předpisů nebo podmínek poskytnutí dotace pro účely Projektu Eli-Beamlines.

IX. ODPOVĚDNOST, SANKCE

1. V případě, že se Zhotovitel dostane do prodlení ohledně součástí D1b) nebo D1c) Části Díla D1, je Zhotovitel povinen zaplatit Objednateli smluvní pokutu ve výši 0,1% denně z ceny Části Díla D1.
V případě, že se Zhotovitel dostane do prodlení ohledně součástí D1a) nebo D1d) Části Díla D1, je Zhotovitel povinen zaplatit Objednateli smluvní pokutu ve výši 0,1% denně z ceny Části Díla D1.
2. V případě, že Zhotovitel v rozporu s touto smlouvou v rámci záručního, mimozáručního i pozáručního servisu neodstraní řádně reklamovanou vadu ve lhůtě stanovené touto smlouvou nebo ve stanovené lhůtě neprovede Reklamací či nesdělí, zda jí uznává, je Objednatel oprávněn účtovat Zhotoviteli smluvní pokutu ve výši 10000,- Kč za každou reklamovanou vadu, s jejímž odstraněním je Zhotovitel v prodlení, a to za každý den prodlení.
3. Objednatel je oprávněn kdykoliv provést zápočet své pohledávky na úhradu smluvní pokuty dle

tohoto článku smlouvy proti jakýmkoli pohledávkám Zhotovitele na uhrazení jakékoli části Cení DÍLA.
Díla.

4. Uhrazením smluvní pokuty dle tohoto článku smlouvy není dotčen nárok Objednatele na náhradu škody.
5. Smluvní strany tímto sjednávají, že dosáhne-li jakákoliv v procentech vyjádřená smluvní pokuta stanovená touto smlouvou za jedno porušení povinnosti v součtu limitu 10 % ceny bez DPH Části DÍLA D1, pak nárok na smluvní pokutu dále nevzniká.
6. Smluvní strany tímto sjednávají, že ve smyslu a za podmínek § 386 obchodního zákoníku se pro obě Smluvní strany omezuje právo na náhradu škody vyplývající z jednoho a téhož porušení právní povinnosti nejvýše na částku rovnající se ceně Části DÍLA D1 bez DPH.

X. UKONČENÍ SMLOUVY, VYŠŠÍ MOC

1. Tuto smlouvu lze ukončit splněním, dohodou Smluvních stran nebo odstoupením od smlouvy z důvodů stanovených v zákoně nebo v této smlouvě.
2. Objednatel je oprávněn od této smlouvy odstoupit bez jakýchkoli sankcí, nastane-li některá z níže uvedených skutečností:
 - a) Výdaje nebo část výdajů, které na základě této smlouvy vzniknou, Poskytovatel dotace, případně jiný kontrolní subjekt, označí za nezpůsobilé, nebo
 - b) Objednateli bude odřata finanční dotace k realizaci Projektu ELI-Beamlines,
 - c) Při testování v rámci Dílčího plnění D1 nebude dosaženo parametrů stanovených touto smlouvou.
3. V případě ukončení této smlouvy Objednatelem z jiných důvodů než z důvodu porušení povinností Zhotovitelem, má Zhotovitel nárok na uhrazení nákladů, které mu v souvislosti s plněním povinností z této smlouvy vznikly před ukončením smlouvy ze strany Objednatele, pokud prokazatelně nemohly být včas zrušeny a nejsou-li takové náklady Zhotovitele pokryty z jiných zdrojů.
4. Věci, práva a veškeré další hodnoty, jejichž cenu Objednatel Zhotoviteli uhradil dle odst. 3 tohoto článku, přecházejí jejich zaplacením do vlastnictví Objednatele a Zhotovitel je povinen umožnit Objednateli s nimi nakládat.
5. Účinky odstoupení od Smlouvy nastávají dnem doručení písemného oznámení jedné Smluvní strany o odstoupení od Smlouvy druhé Smluvní straně s účinky zániku Smlouvy "ex nunc".
6. Za okolnost vylučující odpovědnost se považuje překážka, jež nastala nezávisle na vůli povinné Smluvní strany a brání jí ve splnění její povinnosti, jestliže nelze rozumně předpokládat, že by povinná Smluvní strana tuto překážku nebo její následky odvrátila nebo překonala, a dále, že by v době vzniku závazku tuto překážku předvídala (dále jen „**Vyšší moc**“). Odpovědnost nevylučuje překážka, která vznikla teprve v době, kdy povinná Smluvní strana byla v prodlení s plněním své povinnosti, nebo vznikla z jejích hospodářských poměrů. Účinky vylučující odpovědnost jsou omezeny pouze na dobu, dokud trvá překážka, s níž jsou tyto účinky spojeny.
7. Nastane-li situace, kterou Smluvní strana považuje za případ Vyšší moci a která může ovlivnit plnění jejích závazků, neprodleně vyrozumí druhou Smluvní stranu a vynasadí se pokračovat v plnění svých závazků, nakořl to bude přiměřeně možné. Současně taková Smluvní strana vyrozumí druhou Smluvní stranu o všech návrzích, včetně případných alternativních způsobů plnění, avšak bez souhlasu takové druhé Smluvní strany nepřistoupí

k jejich plnění.

Nastane-li případ Vyšší moci, budou termíny stanovené touto smlouvou prodlouženy o dobu odpovídající době trvání případu Vyšší moci.

XI. ZÁSTUPCI, OZNAMOVÁNÍ:

1. Zhotovitel zmocnil tyto zástupce odpovědné za řízení realizace Díla dle této smlouvy a komunikaci s Objednatelem:

Ve věcech technických:

Ing. Martin Vinš, technický ředitel

Tel. +420 495 844 254, +420 606 623 640

E-mail: martin.vins@ateko.cz

Ve věcech smluvních:

Ing. Kryštof Koláček, obchodní ředitel

Tel. +420 495 844 317, +420 606 623 638

E-mail: krystof.kolacek@ateko.cz

2. Objednatel zmocnil tyto zástupce odpovědné za komunikaci se Zhotovitelem při realizaci Díla dle této smlouvy:

Ve věcech technických:

Ing. Bedřich Rus, PhD.

Tel: +420 266 052 871, +420 603570 558

Email: bedrich.rus@eli-beams.eu

Ve věcech smluvních:

doc. Jan Řídký, DrSc.

Tel: +420 266 052 121,

Email: ridky@fzu.cz

3. Veškerá oznámení učiněná mezi Smluvními stranami podle této smlouvy musí být vyhotovena písemně a doručena druhé Smluvní straně uznávanou doručovatelskou službou (Federal Express, DHL apod.), osobně (s písemným potvrzením o převzetí), doporučenou zásilkou nebo mohou být učiněna formou elektronické komunikace s elektronickým podpisem na adresu e-podatelna@fzu.cz v případě Objednatele a ateko@ateko.cz v případě Zhotovitele.

Ve věcech odborných nebo technických (jednání o předběžném posouzení Části Díla, uplatnění záruky apod.) je přípustná elektronická komunikace prostřednictvím zástupců ve věcech technických na emailové adresy uvedené v odst. 2. tohoto článku.

XII. SPORY:

1. Tato smlouva a veškeré právní vztahy z ní vzniklé se řídí právním řádem České republiky.
2. Smluvní strany berou na vědomí a uznávají, že v oblastech výslovně neupravených touto Smlouvou platí ustanovení Obchodního zákoníku a ostatních právních předpisů českého právního řádu.
3. Veškeré spory vzniklé z této smlouvy či z právních vztahů s ní souvisejících budou Smluvní strany řešit jednáním. V případě, že nebude možné spor urovnat jednáním ve lhůtě třiceti (30) dnů, bude takový spor rozhodovat soud v České republice místně příslušný dle sídla Objednatele.

XIII. ZÁVĚREČNÁ A JINÁ UJEDNÁNÍ:

1. Tato smlouva představuje úplnou a ucelenou dohodu mezi Objednatelem a Zhotovitelem.
2. Pokud se jakékoli ustanovení této smlouvy později ukáže nebo bude určeno jako neplatné, neúčinné nebo nevynutitelné, pak taková neplatnost, neúčinnost nebo nevynutitelnost nepůsobuje neplatnost, neúčinnost nebo nevynutitelnost této smlouvy jako celku. V takovém případě se Smluvní strany zavazují bez zbytečného prodlení nahradit po vzájemné dohodě neplatné, neúčinné nebo nevynutitelné ustanovení této smlouvy novým ustanovením, jež nejbližší, v rozsahu povoleném právními předpisy České republiky, odpovídá úmyslu Smluvních stran v době uzavření této smlouvy.
3. Tato smlouva nabývá platnosti a účinnosti dnem jejího podpisu oprávněnými osobami obou Smluvních stran.
4. Tuto smlouvu lze doplnit nebo měnit výlučně formou písemných očíslovaných dodatků, opatřených časovým a místním určením a podepsaných oprávněnými zástupci Smluvních stran.
5. Tato smlouva je sepsána v českém jazyce ve čtyřech (4) vyhotoveních, z nichž každé vyhotovení má platnost originálu. Každá ze Smluvních stran obdrží po dvou (2) vyhotoveních.
6. Postoupit práva a povinnosti vyplývající z této smlouvy lze jen s písemným souhlasem druhé Smluvní strany.
7. Nedílnou součástí této smlouvy jsou tyto přílohy:
 - Příloha č. 1: Technická specifikace
 - Příloha č. 2: Nabídka Zhotovitele podaná ve Výběrovém řízení v rozsahu té části, která Dílo technicky popisuje
 - Příloha č. 3: Harmonogram plnění Části Díla D1
 - Příloha č. 4: Seznam klíčových komponent chladicí smyčky a jejich ceny
8. Smluvní strany stvrzují tuto smlouvu podpisem na důkaz souhlasu s celým jejím obsahem.

V Praze dne 30. 10., 2013

V Hradci Králové dne 5. 11., 2013

Za: Fyzikální ústav AV ČR, v. v. i.

Za: ATEKO a.s.

ATEKO a.s.
BOX 83
Přeslova 956 (3)
501 01 HRADEC KRÁLOVÉ 2

Jméno: doc. Jan Řídký, DrSc.
Funkce: ředitel

Jméno: Ing. Miroslav Buriánek
Funkce: předseda představenstva

Fyzikální ústav AV ČR
veřejná výzkumná instituce
182 21 Praha 8, Na Slovance 2
- 1 -

Jméno: Ing. Václav Kučera
Funkce: místopředseda představenstva



Příloha č. 1: Technická specifikace

✓

Technické specifikace

Návrh, výroba a dodávka kryogenní chladicí smyčky pro laserové hlavice typu multislabs s optickým výkonem 100 W

Cílem projektu ELI-Beamlines je vybudování nového výzkumného pracoviště využívajícího nejmodernější laserové technologie pro základní výzkum a technologické aplikace. Jednou ze zásadních technologií pro toto pracoviště jsou nové laserové zesilovače typu multislabs, čerpané laserovými diodami, schopné poskytovat energii v jednom svazku minimálně 100 J s opakovací frekvencí nejméně 10 Hz. Tyto lasery budou využívat jako aktivního prostředí Yb:YAG s provozní teplotou typicky 150 až 160 K. Tento dokument popisuje technické specifikace týkající se návrhu, kompletace a provozní optimalizace kryogenní smyčky pro první stupeň laserových zesilovačů tohoto typu ve výzkumném centru ELI-Beamlines.

Předmětem plnění této zakázky je inženýrský a konstrukční návrh, výroba a dodávka systému kompletní kryogenní chladicí smyčky pro diodově čerpané multideskové (multislabs) laserové zesilovače poskytujících nanosekundové pulsy s nominální energií 10 J a s repeticí 10 Hz.

Předmět plnění Zakázky

D1 Koncepční, technický a konstrukční návrh, výroba a dodávka kryogenní chladicí smyčky pro 10 J 10 Hz laserovou hlavici

V rámci tohoto dílčího plnění jsou požadovány následující aktivity:

D1a) Vypracovat koncepční technické schéma kryogenního chladicího okruhu pro multideskový laserový zesilovač s optickým výkonem 100 (± 30) W (nominálně 10 J/10 Hz), pracující při nominální teplotě 150 K.

Vypracované technické schéma musí být v souladu s podrobnými fyzikálními a technickými specifikacemi uvedenými níže, zejména údaji v Tabulce 1. Je požadováno, aby systém využíval uzavřený Braytonův cyklus, přičemž je upřednostňována varianta disipace veškerého tepla do vodního chladicího okruhu, tj. systém nevyžadující využití dusíku v systému. Jako vlastní chladicí médium multideskového zesilovače musí být použito plynné helium, z důvodu unikátně nízkého indexu lomu v dané oblasti optického spektra a vysokého koeficientu tepelné vodivosti. Technické řešení přívodního potrubí přivádějícího He chladivo do laserové hlavice musí zahrnovat vakuovou izolaci a musí být navrženo s cílem nulového mechanického přenosu vibrací z centrální chladicí jednotky do laserové hlavice. Koncepční schéma musí mimo jiné obsahovat řešení uspořádání centrální chladicí jednotky („cold box“) a řešení uložení rotačních částí turbocirkulátoru.

Vytvořené koncepční schéma bude předloženo zadavateli k odsouhlasení. Po zapracování jeho připomínek bude vytvořena Koncepční technická dokumentace.

Výstupem dílčího plnění D1a) bude technická zpráva.

Termín: 2 měsíce po podpisu smlouvy

D1b) Rozpracování kompletního technického (*basic engineering*) a konstrukčního návrhu (*detailed engineering*) kryogenního chladicího okruhu dle Koncepční technické dokumentace vypracované v dílčím plnění D1a), výroba a testování smyčky u dodavatele (*on-shop test*)

V rámci tohoto úkolu provést optimalizaci termodynamických parametrů soustavy proudícího helia, provést návrh, výpočet a detailní konstrukci chladicí jednotky uzavřeného okruhu výměníku tepla (He při nominální teplotě 150 K jako aktivní chladivo laserové hlavice), navrhnout dmychadlo uzavřeného chladicího heliového okruhu, navrhnout vakuové systémy a vypracovat návrh autonomního elektronického řídicího a diagnostického systému (*DACS - Data Acquisition and Control System*), který musí poskytovat rozhraní (sběrnici) pro ovládání řídicím systémem využívajícím architekturu EPICS. Dmychadlo (turbocirkulátor) a jeho ložiska musí být navrženy tak, aby do systému nevnášely mechanické nečistoty nebo stopy maziva.

V návaznosti na vypracovaný kompletní technický a konstrukční návrh (výrobní dokumentaci) chladicí smyčky vyrobit její komponenty, následně chladicí smyčku sestavit a provést sérii testů za účelem ověření dosažení bezporuchového chodu s nominálními parametry uvedenými v Tabulce 1 níže. Výroba, proces sestavení smyčky a plnění aktivního He okruhu musí garantovat absenci mechanických nečistot v He chladivu větších než 5 μm . Testy musí prokázat bezporuchový nepřetržitý provoz po dobu nejméně 4 hodin. Pro realizaci testů dodavatel zhotoví jednoduchý rozměrově ekvivalentní (proudově odporový) simulátor laserové hlavice, dle specifikací dodaných zadavatelem. Tento simulátor bude vybaven topným odporem simulujícím ztrátové teplo v nominální hodnotě 300 W, vznikajícího následkem laserové akce.

Výstupem dílčího plnění D1b) bude technická zpráva obsahující podrobnou technickou dokumentaci a protokol o průběhu zkoušek (*on-shop test*) s popisem dosažených parametrů

Termín: 8 měsíců po podpisu smlouvy

D1c) Dodání zhotovené a otestované smyčky na pracoviště zadavatele, instalace a napojení na laserovou hlavici 10 J/10 Hz zesilovače

V rámci tohoto úkolu dodavatel odzkoušenou chladicí smyčku z dílčího plnění D1b demontuje, hermeticky uzavře pro zamezení kontaminace nečistotami a převeze na pracoviště zadavatele (Fyzikální ústav AVČR, v.v.i., Praha 8), kde smyčku instaluje, napojí na laserovou hlavici a naplní He chladivem. Laserová hlavice a chladicí smyčka budou instalovány v prostorech čistoty třídy ISO 7 (10,000). Veškerá rezidentní čidla parametrů chladicího média (teplota, rychlost proudění, tlak, ev. další) musí být dodány spolu se systémem smyčky. Součástí dodávky musí být dále systém plnění chladicího okruhu plynným heliem a lokální (autonomní) řídicí systém. Systém primárního vakuového čerpání (*roughing vacuum*) do úrovně tlaku 10^{-2} mbar bude poskytnut zadavatelem.

Výstupem dílčího plnění D1c) bude instalovaná kryogenní chladicí smyčka napojená na laserovou hlavici 10 J 10 Hz na pracovišti zadavatele

Termín: 8 měsíců a 2 týdny po podpisu smlouvy

D1d) Realizace série testů na pracovišti zadavatele při provozu laserové hlavice 10 J/10 Hz zesilovače (*on-site test*)

V rámci tohoto úkolu dodavatel instalovanou a napojenou chladicí smyčku z dílčího plnění D1c uvede do provozu, přičemž prokáže splnění nominálních parametrů uvedených v Tabulce 1 níže, při současném fungování laserové hlavice na nominálním optickém výkonu 100 W. Smyčka musí prokázat bezporuchový chod se současně fungující laserovou hlavici po dobu nejméně 1 hodiny.

Výstupem dílčího plnění D1d) bude kryogenní chladicí smyčka zprovozněná v režimu aktivního chodu laserové hlavy s výkonem 100 W na pracovišti zadavatele

Termín dodání: 11 měsíců po podpisu smlouvy

D2 Konzultační činnost

Předmětem dílčího plnění D2 je poskytování služeb konzultačního servisu za účelem optimalizace provozních parametrů chladicí smyčky integrované do laserového řetězce 10 J 10 Hz.

Rozsah požadovaných služeb činí až 500 hodin, přičemž se jedná o rámcové množství, které bude zadavatel čerpat dle svých skutečných budoucích potřeb.

Služby mohou být objednávány až do konce roku 2017.

D3 Pozáruční a mimozáruční servis

Předmětem dílčího plnění D3 je odstraňování defektů na chladicí smyčce, které nespádají do záručního servisu nebo které se vyskytly v době po uplynutí záruky. Dále jde o servisní zásahy a činnosti, které nemají povahu odstraňování vad a slouží k udržení či prodloužení funkčnosti dodaných zařízení.

Rozsah požadovaných služeb činí 500 hodin, přičemž se jedná o rámcové množství, které bude zadavatel čerpat dle svých skutečných budoucích potřeb.

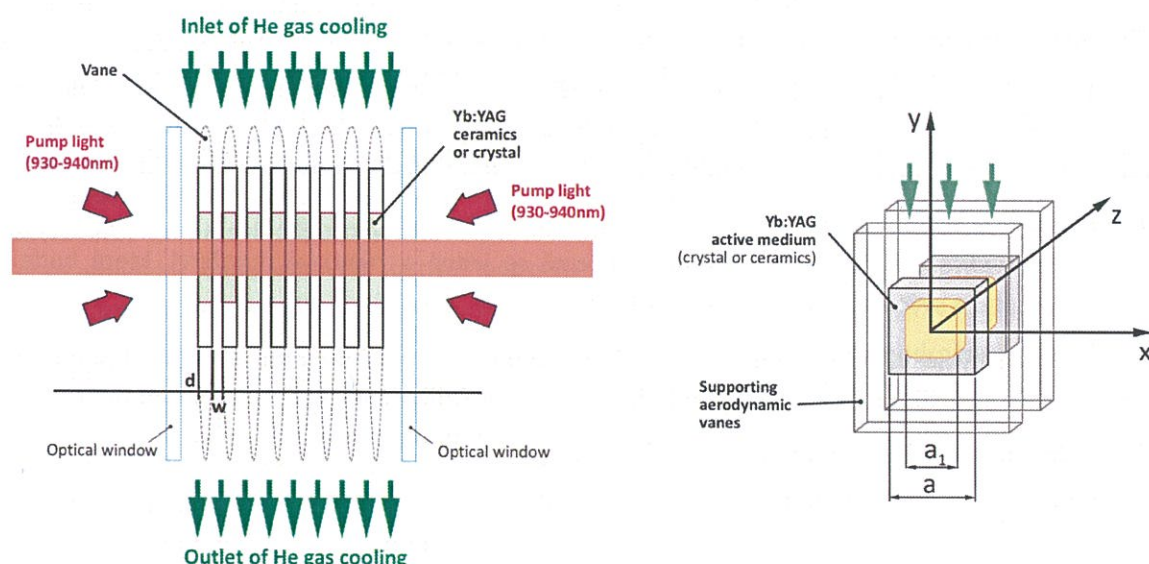
V případě poruchy je vyžadován nástup do 48 hodin po oznámení poruchy, identifikace, návrh opatření k odstranění poruchy a následné odstranění, případné odstranění poruchy dálkově.

Služby mohou být objednávány až do konce roku 2017.

Podrobné fyzikální a technické specifikace

1. Základní principy

Požadovaná kryogenní smyčka je určena k chlazení aktivního prostředí multideskového (multislab) diodově čerpaného laserového zesilovače, který bude zesilovat laserové pulsy o délce cca 10 ns z počáteční úrovně cca 100 mJ na výstupní úroveň 10 J, při opakovací frekvenci 10 Hz. Uspořádání multideskového laserového zesilovače je schematicky znázorněno na obr. 1. Aktivní médium se v konkrétním případě skládá ze čtyř desek materiálu Yb:YAG o tloušťce 5 mm, oddělených kanálky o šířce 1.5 mm pro nucené proudění plynného He chladiva. Helium je zvoleno pro svůj jedinečně nízký index lomu a vysokou tepelnou vodivost. Čerpaná část každé desky (osvětlená čerpacími laserovými diodami) je obklopena pláštěm a mechanickým rámem.



Obrázek 1. Geometrie kryogenní hlavice Yb:YAG zesilovače znázorňující bokorys (vlevo) a izometrický pohled na desky (vpravo). Pro konkrétní laserovou hlavici 10 J 10 Hz je počet desek = 4, tloušťka $d = 5$ mm, šířka kanálů $w = 1.5$ mm.

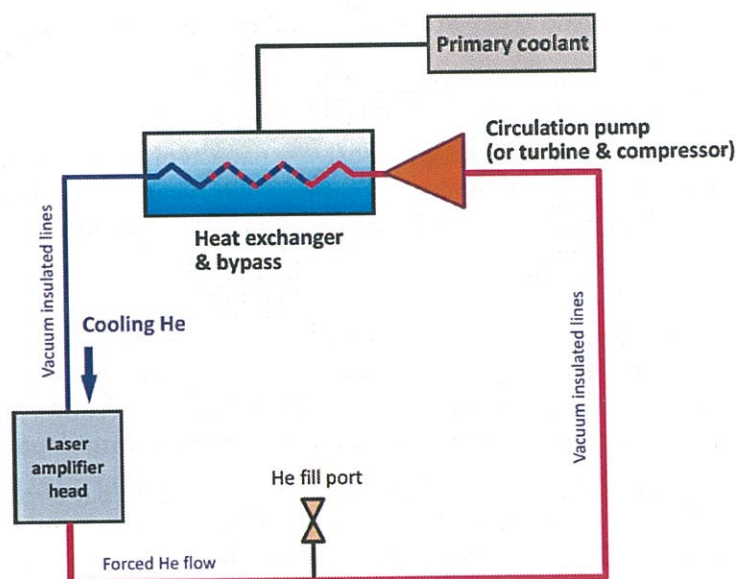
Obecné schéma požadované kryogenní chladicí smyčky pro evakuaci tepla z multideskového laserového zesilovače je zobrazeno na obrázku 2. Smyčka zajišťuje **nucené proudění plynného hélia** přes hlavici zesilovače. Hlavní komponenty kryogenní smyčky zahrnují mimo jiné:

- oběhové turbočerpadlo (turbocirkulátor) a kompresor;
- výměník tepla napojený na zdroj primárního chladu;
- systém jemné regulace teploty He (na obrázku není znázorněn);
- teplotní, tlaková a průtoková čidla (na obrázku nejsou znázorněna);
- systém pro vakuové čerpání a plnění heliové smyčky;
- pojistný přetlakový ventil;
- izolované přívodní potrubí (kryogenní a "teplé") propojující hlavici zesilovače s chladicím systémem;
- lokální elektronický řídicí a diagnostický systém (DACS - Data Acquisition and Control System).

Chladicí smyčka musí umožňovat evakuaci ztrátového tepla ve výši nejméně 300 W z vlastní laserové hlavice a musí být schopna s rezervou pokrýt tepelné ztráty vznikající v přívodním potrubí

(odhadováno na minimálně 300 W). Smyčka by tak měla být dimenzována na celkový výkon alespoň 800 W.

Smyčka musí být vybavena ventily umožňujícími vakuové odčerpání chladicího potrubí před jeho plněním tlakovým He. Systém vakuového odčerpání musí využívat suché vývěvy (TMP) pro zabránění kontaminace okruhu mazivem ložisek nebo jinými nečistotami.



Obrázek 2. Generické schéma kryogenní chladicí smyčky a jejích hlavních součástí (konkrétní schéma smyčky závisí na konkrétní implementaci termodynamického cyklu typu Brayton s disipací tepla do vody nebo do jiného zdroje primárního chladu). Chladicí smyčka musí umožnit evakuaci ztrátového tepla nejméně 300 W z laserové hlavičky a musí obsahovat teplotní čidla na vstupu a výstupu laserové hlavičky, na výstupu centrální chladicí jednotky ("cold box") a na všech kritických subsystémech centrální jednotky, na nichž dochází ke změně teploty nebo tlaku.

Požadovaná chladicí smyčka pro laserovou hlavičku třídy 10 J / 10 Hz musí být optimalizována na nominální parametry (nominální provozní podmínky), uvedené v následující Tabulce 1.

Tabulka 1: Základní specifikace parametrů chladicí smyčky pro laserovou hlavičku třídy 10 J / 10 Hz

Průtok hélia (nominální)	30 g/s
Provozní tlak He na vstupu do laserové hlavičky	10 bar
Teplota He na vstupu do laserové hlavičky	150 K, nastavitelná po krocích 5 K
Stabilita teploty	+/-1 K nebo lepší
Tlakový spád na laserové hlavičce	0.03 bar
Dosažení provozních podmínek	<30 min (po zapnutí smyčky)
Tepelný výkon odváděný z laserové hlavičky proudícím He (ztrátový výkon deponovaný laserovým procesem)	min. 300 W
Požadovaná úroveň izolačního vakuu (izolační vakuum v laserové hlavičce a přívodním vedení)	10^{-5} mbar nebo lepší
Povinné umístění teplotních čidel (další teplotní čidla musí být umístěna v centrální jednotce)	na vstupu a na výstupu las. hlavičky
Systém rozhraní izolačního vakuového vedení	DN100 ISO-K
Vnitřní průměr He vedení na vstupu do laserové hlavičky	40 mm

Tlaková bezpečnost

Systém chladicí smyčky musí být tlakově odzkoušen na hodnotu vyšší než provozní tlak, ve smyslu ČSN EN 13480.

Vlastní hlavice Yb:YAG multideskového zesilovače je tlakově pevnostně dimenzovaná dle výrobce.

Plnění smyčky chladivem

Možná procedura plnění chladicí smyčky heliem spočívá v napuštění okruhu z tlakové lahve při pokojové teplotě, je přitom nutno dodržet podmínku neznečištění výpary uhlovodíků a jiných plynů, ani prachovými částicemi většími než 2 µm. Smyčka je poté hermeticky uzavřena.

Vzhledem k posledním poznatkům možného působení He pod vysokým tlakem je vyžadováno řešení zahrnující vyrovnávací zásobník (buffer), který umožní plnění smyčky při tlaku srovnatelném s provozním tlakem. Vyrovnávací zásobník musí být koncipován tak, aby umožňoval plnění smyčky při tlaku nepřekračujícím provozní hodnotu 10 bar o více než 30%. **Rozsah provozních parametrů**

Chladicí smyčka musí být v principu schopná funkce v rozsahu tlaků 0 až 12 bar a rozsahu teplot 100 až 300 K, není však nutné, aby provozní parametry (např. stabilita teploty) byly optimalizovány v celém tomto rozsahu.

Operační režim

Chladicí smyčka musí být schopná nepřetržitého provozu. V nominálním operačním režimu je předpokládán běh smyčky v pracovní dny po dobu 8 hodin.

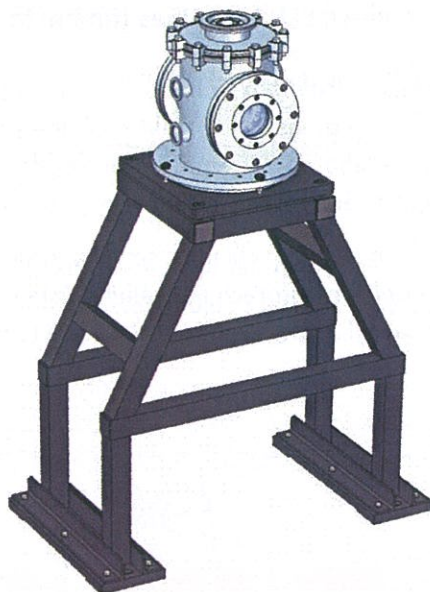
Uspořádání smyčky a laserové hlavy pro realizaci série testů (díličí plnění D1d)

Pro realizaci série testů, které jsou předmětem díličího plnění D1d, bude chladicí smyčka umístěna na stejném podlaží jako laserová hlavice. Konkrétní konfiguraci určí zadavatel, přičemž vzdálenost centrální jednotky (*cold box*) od laserové hlavy přitom nepřesáhne 10 m. Konfigurace uspořádání smyčky ve výzkumném centru ELI-Beamlines je popsána níže v Kap. 3.

2. Provedení hlavy a rozhraní

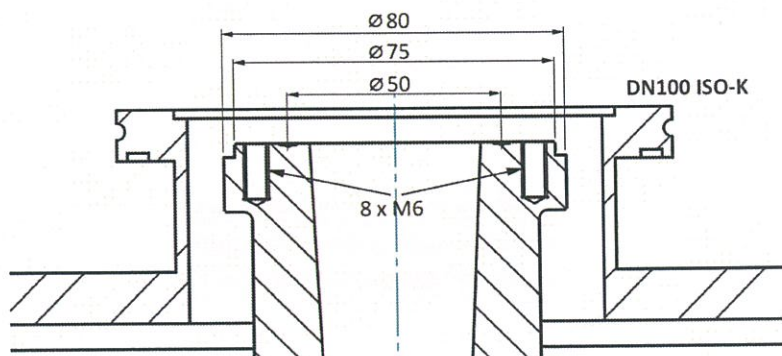
Laserová hlavice a nominální schéma její montáže (konstrukce podpůrného rámu je pouze indikativní) jsou znázorněny na obr. 3. Optická osa systému je ve výšce cca 1.1 m. Laserová hlavice je připojena na chladicí smyčku na horní a dolní stěně hlavy izolovaným potrubím s vnitřním průměrem tlakového He vedení 40 mm a s izolačním vakuovým pláštěm typu DN100 ISO-K. Horní (přívodní) a dolní (výstupní) rozhraní jsou konstrukčně identické.

¹ Požadovaným řešením zadavatel stanovuje minimální standard. Je možné použití i jiných kvalitativně a technicky obdobných řešení.



Obrázek 3. Laserová hlavice 10 J 10 Hz na podpůrném stojanu. Optická (laserová) osa systému je ve výšce cca 1.1 m.

Podrobné schéma rozhraní laserové hlavice pro napojení chladicího vedení je znázorněno na obr. 4. Tlakový heliový okruh je připojen specifickým rozhraním využívajícím těsnění typu EVAC ISO CeFiX® (technický popis tohoto systému těsnění viz www.evacvacuum.com) o průměru 50 mm. Detailní technický výkres rozhraní (upřesnění obr. 4) s vyznačením tolerancí bude dodavateli předán po podpisu smlouvy.



Obrázek 4. Rozhraní laserové hlavice 10 J 10 Hz pro napojení na přírodní chladicí a izolační vedení. Tlakový heliový okruh je připojen specifickým rozhraním využívajícím těsnění typu EVAC ISO CeFiX®.

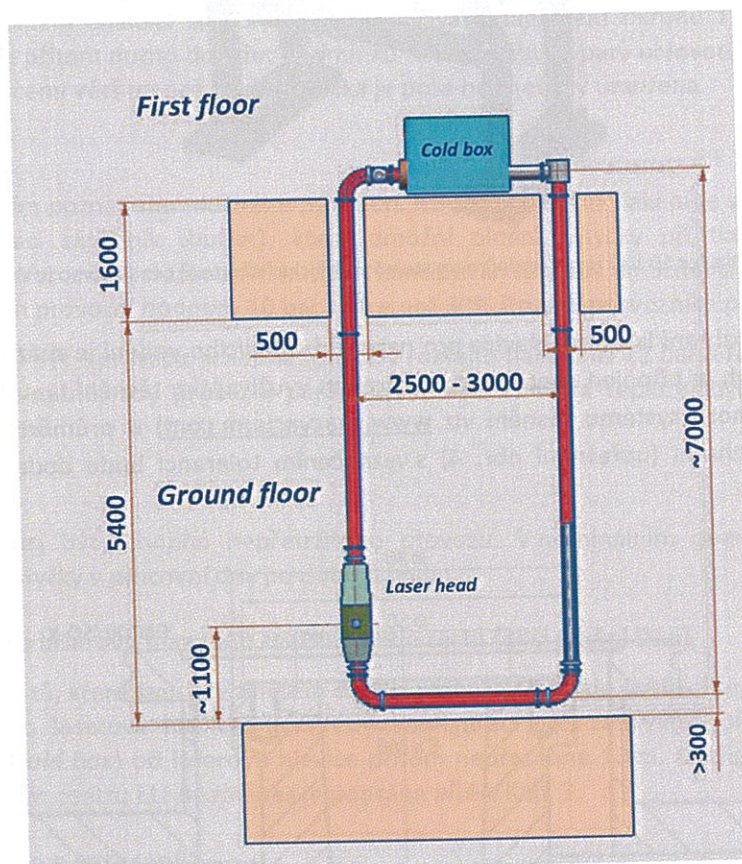
Geometrie chladicího vedení

Výstupní vedení a zpětný přívod He chladiva mohou být napojeny na centrální jednotku (*cold box*) z boku, dodavatel však může zvolit i jinou geometrii. Zvolené uspořádání musí umožňovat jednak instalaci chladicí jednotky a přírodního He/vakuového vedení ve stejném podlaží jako laserová hlavice (pro účely zkoušek bezprostředně po dodání chladicí smyčky), jednak instalaci chladicí jednotky v technologickém podlaží budovy ELI-Beamlines, ležícím nad podlažím, v němž bude umístěn laserový systém.

3. Integrace chladicí smyčky do budovy ELI-Beamlines (finální instalace systému)

Centrální jednotka kryogenního chlazení (*cold box*) v budově ELI-Beamlines bude umístěna v prvním (technologickém) patře budovy, zatímco laserová hlavice / laserový systém budou umístěny v přízemí. Kryogenní potrubí bude vedeno do přízemí stropními prostupy o velikosti 500x500 mm. Požadované schéma vertikálního upořádání instalované smyčky je znázorněno na obr. 5.

Před instalací do budovy ELI-Beamlines bude chladicí smyčka spolu s laserovým multideskovým zesilovačem testována v jednopodlažních prostorách Fyzikálního ústavu AV ČR, v.v.i. Vzdálenost mezi centrální jednotkou kryogenního chlazení a laserovou hlavicí bude v tomto uspořádání max. 10 m.



Obrázek 5. Vertikální uspořádání kryogenní chladicí smyčky a hlavice laserového zesilovače v budově ELI-Beamlines. Laserová hlavice je umístěna v přízemní části budovy, centrální kryogenní jednotka v prvním (technologickém) patře. Výškový rozdíl mezi oběma podlažími je 7 m.

Montáž kryogenní smyčky v budově ELI-Beamlines musí využít hlavní zátěžový výtah a servisní dveře, které umožní přepravu zařízení o celkových maximálních rozměrech 4 x 5 m, maximální výšce 2,5 m a maximální hmotnosti 10 tun. V prvním patře budovy ELI-Beamlines (tj. v místě, kde budou umístěny chladicí smyčky) nebudou k dispozici žádné stropní jeřáby, proto instalace a údržba smyček bude muset být realizovatelná pomocí lokálních manipulačních (zdvihacích) systémů a zařízení.

Napájecí zdroje a podpůrné rozvody

Tato kapitola obsahuje předběžný popis nástrojů, které budou k dispozici v zařízení ELI-Beamlines a které mohou obsluhovat kryogenní smyčky.

a) Elektrické napájení

Všechny subsystémy elektrického napájení musí užívat standardní 230 V / 50 Hz jednofázové a/nebo 400 V / 50 Hz, třífázové napájení 400 V (3P + N) dle příslušných norem platných v ČR a EU. Všechny elektrické součástky musí vyhovovat mezinárodním standardům IEC.

b) Stlačený vzduch

Pro pneumatické aktuátory a ventily bude v prostorách ELI-Beamlines k dispozici čistý a suchý stlačený vzduch (tlak 10 bar, olejové nečistoty $<0,01 \text{ mg/m}^3$, rosný bod -40° C , dle normy ISO 8573-1).

c) Chladicí voda

V ELI-Beamlines bude k dispozici uzavřený chladicí okruh, zajišťující 19° C demineralizovanou a deionizovanou vodu. Smyčka může též využívat standardní užitkovou vodu (tlak cca 0,5 MPa, max. pokles tlaku 0,25 MPa, teplota 20 až 25° C).

d) Ventilace / klimatizace

V prvním technologickém patře laserové budovy ELI-Beamlines bude klimatizované prostředí zajišťující stabilitu teploty a čistotu prostředí třídy 100000 (ISO 8). Laserové haly v přízemí budou vykazovat čistotu prostředí třídy 10000 (ISO 7), při teplotě 21° C s dlouhodobou stabilitou $\pm 0,5^\circ \text{ C}$ při relativní vlhkosti 40 až 60%.

e) Vakuový systém

V objektu ELI-Beamlines bude k dispozici primární vakuum (cca 10^{-2} mbar) z centrální distribuce (DN250 a DN100 ISO-K) pro účely primárního čerpání (*roughing pumping*) i předčerpávání vývěv (např. TMP) pro sekundární vakuum (*backing pumping*). Dodávka primárního vakuového čerpacího systému není proto součástí požadovaného plnění.

f) Lokální kontrolní systém

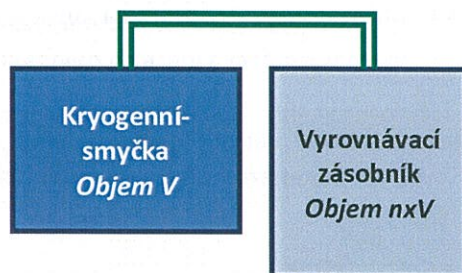
Lokální kontrolní systém chladicí smyčky musí být schopen zajistit automatické ovládání a bezpečný provoz i vypnutí v případě poruchy. Kryogenní smyčka musí zahrnovat místní systém na bázi programovatelné logiky (*Programmable Logic Controller, PLC*), poskytující vhodné rozhraní (např. IP) pro napojení tohoto kontroléru na ovládací PC laserové hlavičky 10 J 10 Hz.

Níže uvedené informace slouží k upřesnění technických detailů spojených se vznesenými otázkami.

Doplnění fyzikálních a technických specifikací

1. Vyrovnávací zásobník (buffer) He chladiva

Zadavatel požaduje řešení využívající vyrovnávacího zásobníku pro snížení počátečního (plnicího) tlaku v systému smyčky.



Obr. 1: Zjednodušené blokové schéma kryogenní smyčky a vyrovnávacího zásobníku.

Pro tlak v systému lze odvodit jednoduchý vztah. Za předpokladu, že

- Množství He v systému je konstantní (uzavřený okruh)
- He ve vyrovnávacím zásobníku je vždy na pokojové teplotě T_R
- Tlak v kryogenní chladicí smyčce a ve vyrovnávacím zásobníku je stejný

platí pro tlak p :

$$p = p_o \frac{n + \frac{T_R}{T_o}}{n + \frac{T_R}{T}}$$

kde

T	Teplota chladicí smyčky při tlaku p
T_o	Provozní teplota chladicí smyčky (aktivní režim kryogenního chlazení)
p_o	Tlak v systému při provozní teplotě T_o
n	Poměr objemu vyrovnávacího zásobníku a objemu chladicí smyčky
T_R	Pokojová teplota

Dle výše uvedeného vzorce lze stanovit rozdíl tlaku ve smyčce mezi hodnotami teplot $T_o=150$ K (nominální režim chlazení laserové hlavičky, viz Příloha 3 Zadávací dokumentace) a $T=300$ K (klidový stav systému a rovněž teplota plnění smyčky):

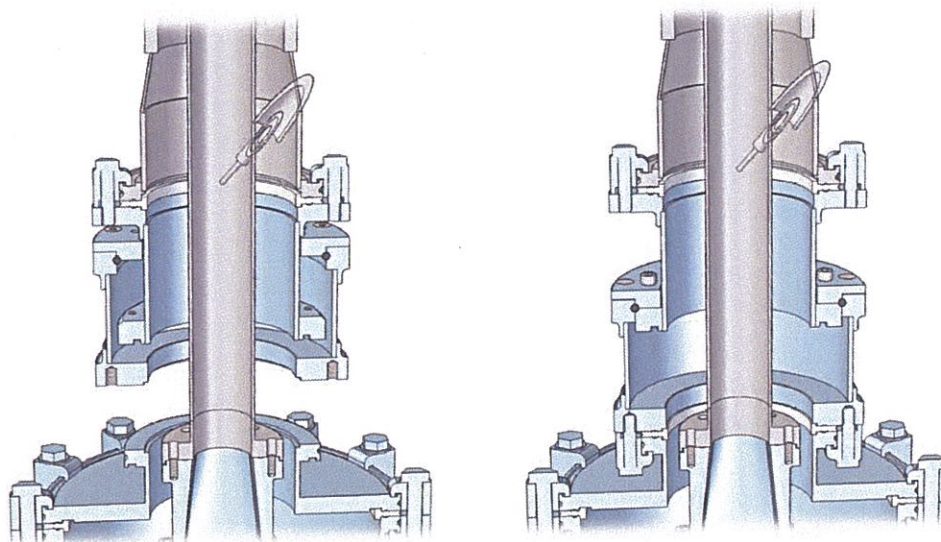
- | | |
|---|-----------------------|
| 1. $n=0$ (bez vyrovnávacího zásobníku) | $p = 2 \times p_o$ |
| 2. $n=1$ (vyrovnávací zásobník o objemu kryogenní smyčky) | $p = 1.5 \times p_o$ |
| 3. $n=2$ (vyrovnávací zásobník s 2x objemem kryogenní smyčky) | $p = 1.33 \times p_o$ |
| 4. $n=5$ (vyrovnávací zásobník s 5x objemem kryogenní smyčky) | $p = 1.17 \times p_o$ |

Vyrovnávací zásobník umožňuje zásadním způsobem snížit plnicí tlak He oproti řešení bez zásobníku: při provozním tlaku v režimu chlazení 10 bar (viz Tabulka 1 na str. 5 tohoto dokumentu) musí být

plnicí tlak systému bez zásobníku 20 bar, zatímco např. u zásobníku s dvojnásobným objemem kryogenní smyčky se plnicí tlak snižuje na 13.3 bar.

2. Přípojný rozhraní

Přípojný rozhraní (*sliding joint*) mezi kryogenním potrubím a laserovou hlavicí zajišťuje zadavatel. Technické provedení přípojného rozhraní a způsob montáže jsou znázorněny níže na obrázku 2. Dodavatel musí zajistit, aby kryogenní vedení a izolační vakuové potrubí rozměrově odpovídalo údajům uvedeným na obr. 4 (str. 7 výše).



Obr. 2: Schéma konstrukce přípojného rozhraní (*sliding joint*) a postup montáže kryogenního potrubí a izolačního vakuového potrubí.



**Příloha č. 2: Nabídka Zhotovitele podaná ve Výběrovém řízení v rozsahu té části,
která Dílo technicky popisuje**

N

✓

NABÍDKA Č. 94434/600/2013

NÁZEV: Návrh, výroba a dodávka systému kryogenní chladicí smyčky pro laserovou hlavici typu multislab s optickým výkonem 100 W

g) Dokumenty požadované v čl. 7 zadávací dokumentace pro hodnocení

○ **Rozsah regulace teploty chladicího He**

Prvky vlastní CSB smyčky včetně turbostrojů TEC a TC umožňují regulovat teplotu v celém rozsahu teplot od 300 K do cca 100 K s lepší, než požadovanou přesností ± 1 K. To je umožněno nezávislou regulací otáček turbostrojů TC a TEC v rozsahu 20 000 až 120 000 ot/min.

○ **Stabilita teploty chladicího He**

Přesnost řízení otáček jednotlivých turbostrojů je dostatečně vysoká a rychlosti možných změn otáček turbostrojů (až o 15 Hz / 1 sec - což odpovídá změně 54 000 ot/min/min) zajistí dostatečnou stabilitu teploty proudícího He.

O stabilitě řízení teploty tedy bude více rozhodovat tepelná setrvačnost a gradient změny ztrátového výkonu MLA, než vlastní systém CSB. Předpokládáme, že v reálném uspořádání celé smyčky CSB lze uvažovat se stabilitou teploty He ± 0.3 K.

○ **Bezpečnost provozu**

Vysoká bezpečnost provozu je zajištěna tím, že CSB pracuje pouze s netoxickým a nevybušným He, vodou a standardním elektro napájením. I při nepravděpodobném rychlém úniku He, kterého je v systému CSB velice málo, dojde k jeho rychlému ohřevu a vystoupení do horních poloh haly, kde nemůže ohrozit personál. Nehrozí tedy situace známá z aplikací dusíku, který při snížení koncentrace kyslíku pod 14% způsobuje zdravotní potíže a snížení obsahu kyslíku pod 6 % je prakticky okamžitě smrtelné. Chladný a hmotný N₂ má tendenci setrvávat dole, v místech přítomnosti obsluhy, zatím co He rychle stoupá nahoru.

Helium ani při zvýšené koncentraci není přítomným osobám nebezpečné.

○ **Diagnostické prvky měření a regulace a charakteristika smyčky v reálném čase**

Prvky měření a regulace jsou umístěny tak, aby zajistili dostatečně rychlou odezvu na změny měřených parametrů a tak umožnili dostatečně přesnou a rychlou regulaci žádaných parametrů. (V případě teploměrů jsou miniaturní senzory Pt 100 umístěny v jímkách pod superizolací, tepelně kontaktovaných přímo na relativně tenkostěnnou vnitřní trubku chladného He. Elektrické vývody jsou protaženy vakuovaným prostorem na odpovídající průchodky. Dostatečná rychlost odezvy měření teploty pak zajistí odpovídající přesnost regulace teploty v reálném čase). Stejným způsobem jsou řešena i ostatní měření fyzikálních veličin s využitím zkušeností ATEKA s návrhem a provozem zkapalňovačů He i ostatních kryogenních systémů.

Provedení a vybavení senzory odpovídá Zadávací dokumentaci str. 13 odstavce a) až d) dále viz technická část nabídky čl. 4.5 a tab. 4.1 strany 21 - 24

NABÍDKA Č. 94434/600/2013

NÁZEV: Návrh, výroba a dodávka systému kryogenní chladící smyčky pro laserovou hlavici typu multislabs s optickým výkonem 100 W

k) Technická specifikace předmětu nabídky



**APARÁTY TECHNOLOGIE
KONSTRUKCE**

Resslova 956/13

501 01 Hradec Králové 2

Tel.: +420 495 844 111, Fax.: +420 495 844 242

e-mail: ateko@ateko.cz

TECHNICKÁ SPECIFIKACE

**nabídky kryogenní chladicí smyčky pro laserové hlavice
typu multislab (MLA) s optickým výkonem $10 \text{ J} \times 10 \text{ Hz} = 100 \text{ W}$
s využitím Braytonova cyklu**

Nabídka č. : 94434

Dne : 03.09.2013

Zákazník : MŠMT / FZÚ

Typ zprávy: Nabídka - Technická část

Zpracoval : Ing. P. Schuster Ph.D., Ing. M. Dostálová, Ing. V. Plašil, Ing. M. Rytíř

Vedoucí divize: Ing. P. Stoleček

Technický ředitel : Ing. M. Vinš

Ředitel společnosti.: Ing. K. Dedek

Počet stran : 31

č. zprávy : 94434/600/2013

Počet příloh: 3

Vydání: Rev. 0

OBSAH:

SEZNAM ZKRATEK:	2
1 ÚVOD	2
2 NÁVRHOVÉ PARAMETRY	3
3 KONCEPČNÍ, TECHNICKÝ A KONSTRUKČNÍ NÁVRH KRYOGENNÍ CHLADICÍ SMYČKY S BRAYTONOVÝM CHLADICÍM CYKLEM	4
4 TECHNICKÝ A KONSTRUKČNÍ NÁVRH SMYČKY CSB	7
4.1 TERMODYNAMICKÁ OPTIMALIZACE BRAYTONOVA CYKLU	9
4.2 TLAKOVÉ (a geometrické) ŘEŠENÍ CSB	11
4.3 KOMPONENTY TURBOSTROJŮ	12
4.4 VAKUOVĚ IZOLOVANÉ POTRUBÍ	18
4.5 ŘÍDICÍ SYSTÉM	21
Specifikace přístrojů MaR	24
Specifikace řídicího systému SIEMENS S7	25
Specifikace dodávek elektro a instalace – základní sestava	25
4.6 SYSTÉM PRO VAKUOVÉ ČERPÁNÍ A PLNĚNÍ He SMYČKY	26
5 SMYČKA pro On Shop TEST	26
6 ÚDRŽBA	27
7 ROZSAH DODÁVKY	26
7.1 Nabídka neobsahuje (může být dodáno samostatně)	27
8 PŘEDPOKLÁDANÝ HARMONOGRAM	27
9 REFERENCE:	28
10 PŘÍLOHY (elektronicky)	31

SEZNAM ZKRATEK:

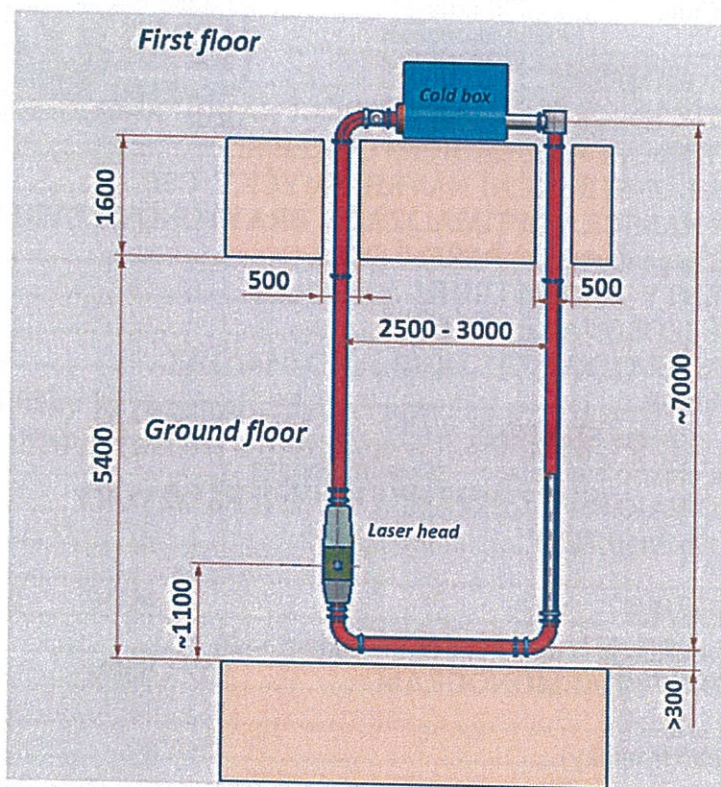
MLA	Multislab, MultiLayerAmplifier
CSB	Chladicí Smyčka Brayton
CB	Cold Box
TC	Turbo Compressor (první stupeň komprese)
TEC	Turbo Expander Compressor (expandér + druhý stupeň komprese)
RCB	Rotor Cooling Bypass (systém chlazení rotoru cirkulací He)
PLC-CSB	Systém řízení CBS
VIP	Vakuově izolované potrubí

1 ÚVOD

Předmětem Technické specifikace je inženýrský a konstrukční návrh, výroba a dodávka systému kompletní kryogenní chladicí smyčky využívající technologie Braytonova chladicího cyklu pro chlazení MLA (Multi Layer Amplifier) s optickým výkonem $10\text{ J} \times 10\text{ Hz} = 100\text{ W}$.

2 NÁVRHOVÉ PARAMETRY

Chladicí smyčka s Braytonovým cyklem je navržena tak, aby umožnila i instalaci pouze v jednom podlaží daného prostoru a splnila všechny požadované technické parametry.



Daný prostor pro instalaci kryogenní smyčky chlazení hlavičky MLA

Základní specifikace parametrů chladicí smyčky pro laserovou hlavičku (MLA) třídy 10 J / 10 Hz

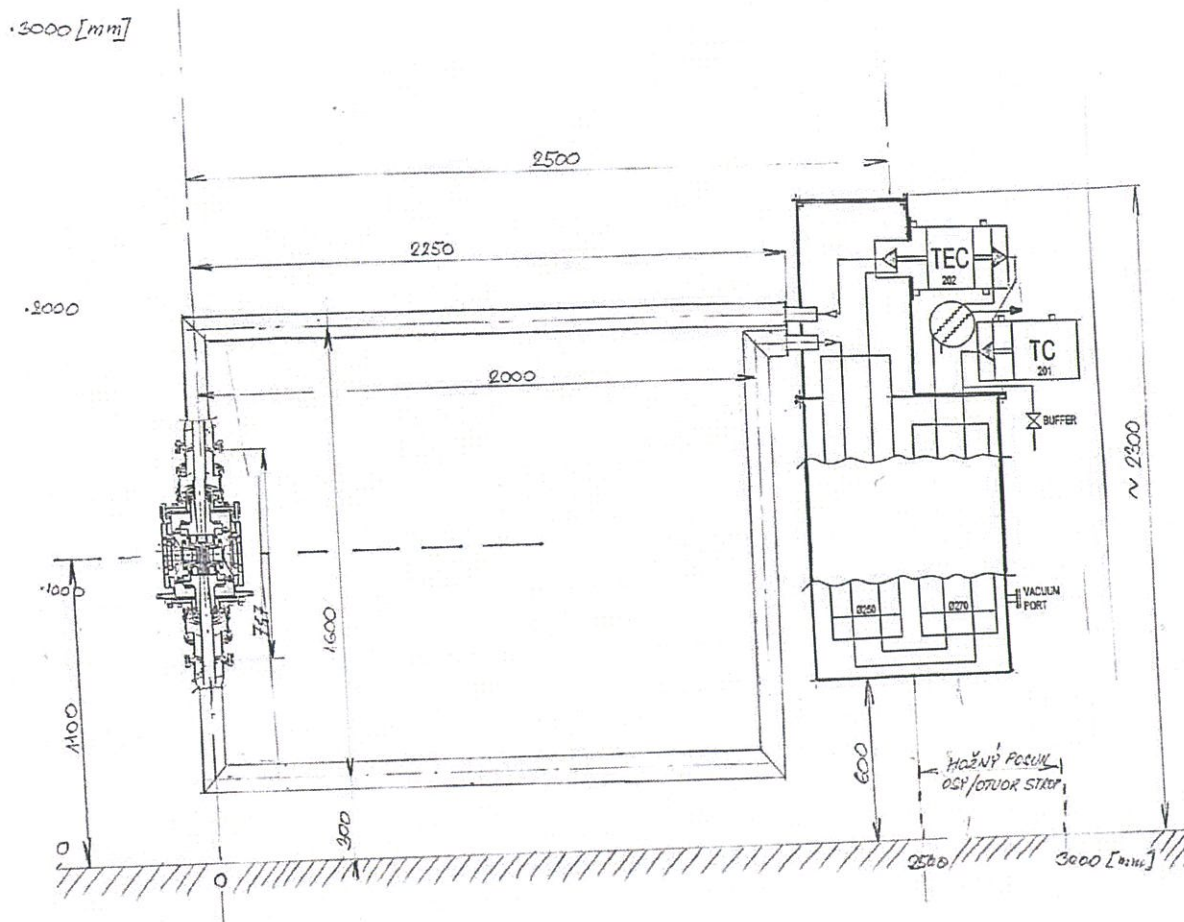
Průtok hélia	30 g/s
Tlak He na vstupu do laserové hlavičky	10 bar
Teplota He na vstupu do laserové hlavičky	150 K, nastavitelná po krocích 5 K
Stabilita teploty	+/-1 K nebo lepší
Tlakový spád na laserové hlavičce	0.03 bar
Dosažení provozních podmínek	<30 min (po zapnutí smyčky)
Tepelný výkon odváděný z laserové hlavičky proudícím He (ztrátový výkon deponovaný laserovým procesem)	min. 300 W
Požadovaná úroveň izolačního vakua (izolační vakuum v laserové hlavičce a přívodním vedení)	10 ⁻⁵ mbar nebo lepší
Povinné umístění teplotních čidel (další teplotní čidla musí být umístěna v centrální jednotce)	na vstupu a výstupu las.hlavičky
Systém rozhraní izolačního vakuového vedení	DN100 ISO-K
Vnitřní průměr He vedení na vstupu do laserové hlavičky	40 mm
Systém izolace potrubí He tlakového okruhu	EVAC ISO CeFiX®

Tab. 2.1 Zadávací data

3 KONCEPČNÍ, TECHNICKÝ A KONSTRUKČNÍ NÁVRH KRYOGENNÍ CHLADICÍ SMYČKY S BRAYTONOVÝM CHLADICÍM CYKLEM

a) Konceptní technické schéma kryogenního chladicího okruhu pro multideskový laserový zesilovač s optickým výkonem $100 (\pm 30)$ W (nominálně 10 J/10 Hz), pracující při nominální teplotě 150 K.

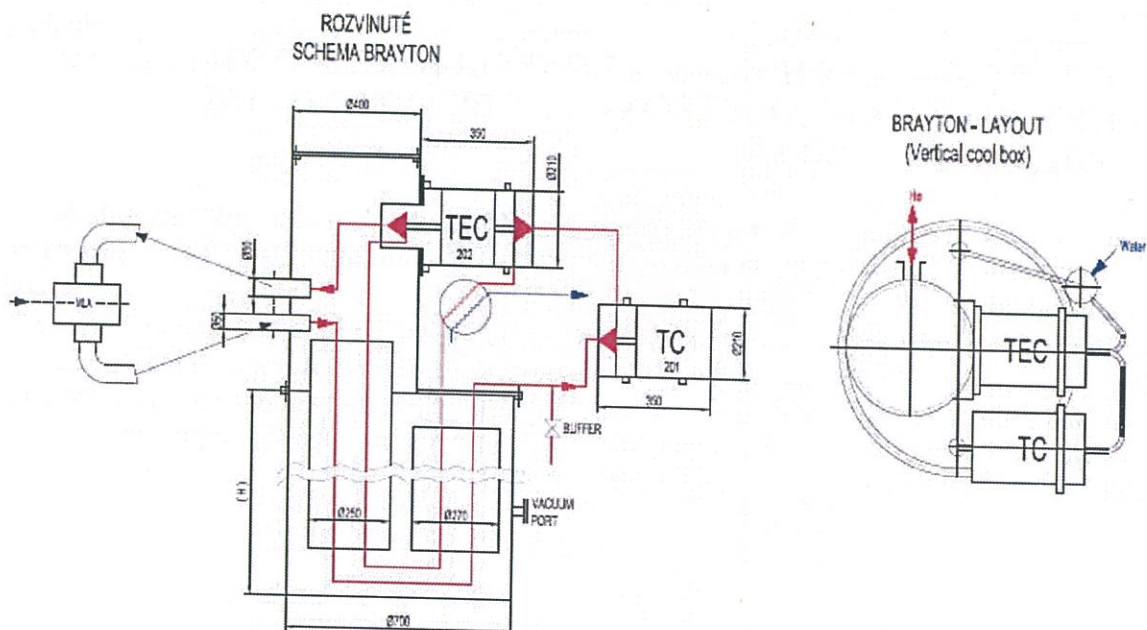
Vypracované technické schéma vychází z návrhových parametrů zadání, kdy tlakové plynné He cirkuluje mezi CB (Cold Boxem) a MLA vakuově izolovaným potrubím v množství 30 g/s a jako primárního zdroje chladu je využito chladicího efektu Braytonova soustrojí, které je umístěno v horní části CB. Celkové uspořádání Chladicí Smyčky s Braytonovým cyklem (CSB) je zřejmé z konceptního schéma v Obr.3.1.



Obr.3.1 Konceptní schéma chladicí smyčky s Braytonovým cyklem (CSB)

Konceptní schéma CSB odpovídá výsledkům provedené termodynamické optimalizace tlakových, teplotních a energetických parametrů CSB současně s provedením předběžného návrhu turbostrojů, ze kterých je CSB sestaven. (Popis provedené optimalizace je uveden v kap 4.1).

Celkové uspořádání Cold Boxu (CB) je zřejmé z Obr. 3.2.



Obr. 3.2 Uspořádání CB pro chlazení MLA

Finální rozměrové řešení celého CSB včetně CB bude řešeno ve STUDII.

b) Koncepční schéma turbosoustrojí

Vychází z obdobných dlouhodobě provozovaných turbosoustrojí ATEKA (Turbocirkulátory, Nízkoteplotní He turbíny), která využívají plynová dynamická ložiska.

Turbosoustrojí ATEKO jsou řešena jako bezucpávkové, polohermetické stroje s těsnicími prvky na bázi In těsnění (v nízkoteplotní části) nebo O kroužků.

Komprese v CSB je provedena dvoustupňově, expanze je jednostupňová s tím, že pracovní kolo turbíny je situováno na rotoru společném s asynchronním motorem pohonu a s pracovním kolem druhého stupně komprese v turbostroji TEC.

První stupeň komprese CSB se uskutečňuje v samostatně otáčkově řízeném turbosoustroji TC. Druhý stupeň komprese probíhá s turbosoustroji TEC.

Toto uspořádání umožní provozovat TEC a TC při různých otáčkách a tím plynule a efektivně měnit chladicí výkon CSB v rozsahu 200 až 600 (800) W.

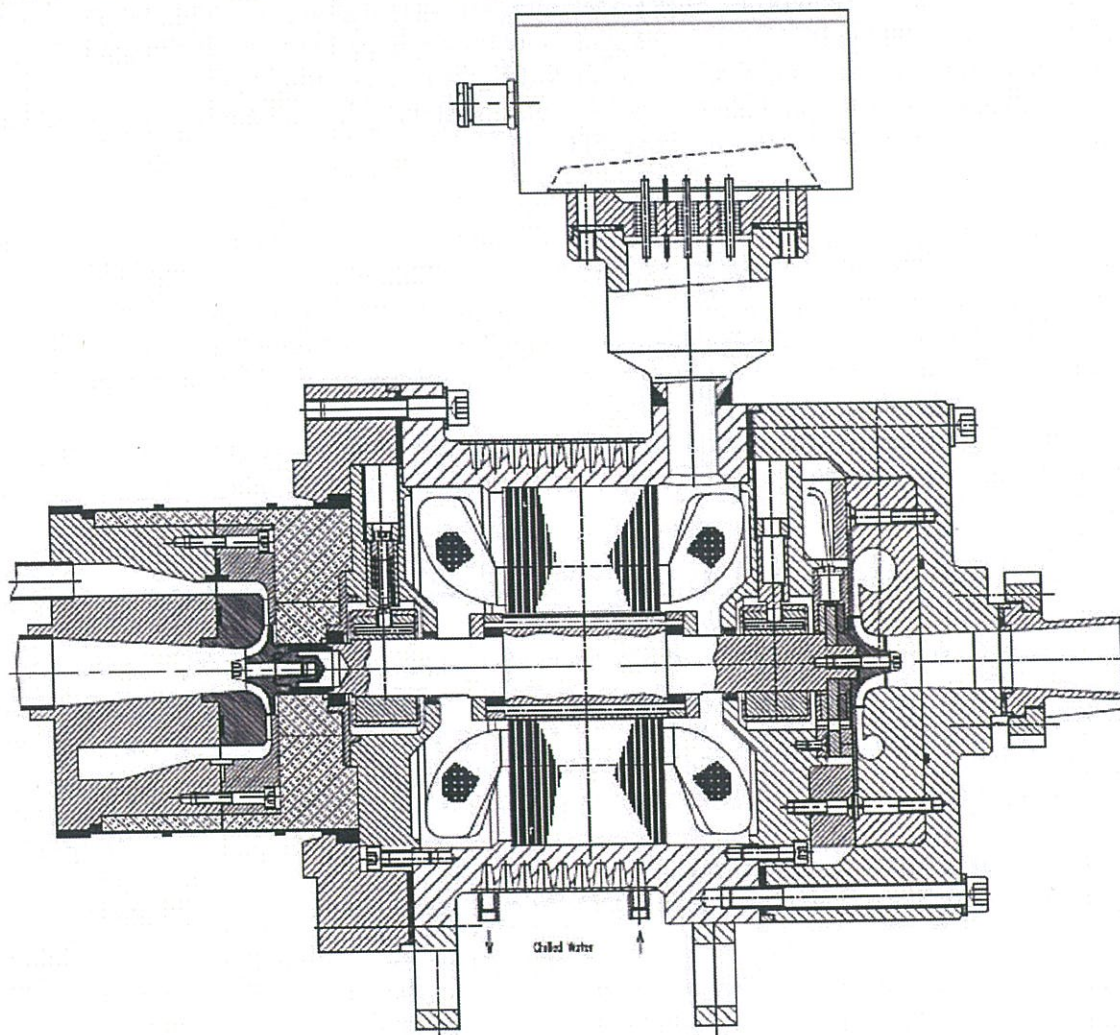
Protože turbosoustrojí budou provozována při vysokých otáčkách (20 000 – 50 000 ot/min) a v plynových ložiskách, je přenos i minimálních mechanických vibrací vakuovým potrubím do MLA prakticky vyloučen.

Plynová dynamická bezmazná ložiska pracující pouze s plynným He z okolí ložiska a proto vylučují znečištění emisemi např. mazadel.

Zcela výjimečně (např. při havarijních případech, kdy může dojít ke kontaktu (segment/rotor) v plynových ložiskách, který neohrozí životnost ani funkčnost ložisek), může dojít k uvolnění nepatrného množství grafitových mikro-částic segmentů ložisek. Tyto částice jsou pak strženy

do He proudícího By-Passem chlazení rotoru (**RCB**) ve kterém je instalován mikroporézní filtr, který částice větší než 5 μm spolehlivě zachytí a nemohou tedy proniknout do prostoru MLA.

Koncepce komplikovanějšího turbosoustrojí **TEC** vznikla kombinací provozně ověřeného řešení dvoustupňového turbocirkulátoru ATEKO a koncepce nízkoteplotních mostů expanzních turbín ATEKO. Uspořádání stroje TEC je zřejmé z Obr. 3.4.



Obr.3.4 Návrh koncepce turbosoustrojí TEC

Turbostroj **TC** bude využívat obdobné (převážně identické) komponenty, ale nebude obsahovat nízkoteplotní expanzní stupeň.

Pro přívod proudu do motorů a výstup senzorů teploty bude použito těsných, tlakově odolných průchodek se zátavem keramiky.

Veškerý systém CSB a jeho jednotlivé komponenty jsou navrženy tak, že umožní instalaci v prostorech čistoty **třídy ISO 7 (10000)**.

c) Koncepční schéma řídicího systému

Autonomní elektronický řídicí a diagnostický systém (*DACS - Data Acquisition and Control System*), umožňující řízení dvojice turbostrojů i komunikaci s nadřazeným řídicím systémem, je popsán včetně lokálního (autonomního) řídicího systému v Kap 4.5.

Systém plnění chladicího okruhu plyným heliem vybavený odpovídajícími ventily bude využívat existující systém primárního vakuového čerpání (*roughing vacuum*) do úrovně tlaku 10^{-2} mbar. (Systém odsátí a zachycení He ze systému CSB pro jeho případné opakované použití není požadován, ale může být dodán ATEKEM jako „Option“). Místo připojení armatur pro plnění chladicího okruhu stejně jako pojistných armatur pro jeho tlakovou ochranu bude specifikováno ve STUDII.

d) Realizace série testů na pracovišti Zadavatele při provozu laserové hlavičky 10 J/10 Hz zesilovače (*On-Shop test dle D1b*)

ATEKO uvede instalovanou a naplněnou chladicí smyčku (CSB) do provozu ve vlastní zkušebně. Po doladění provozních parametrů celého CSB pak ATEKO prokáže splnění nominálních parametrů uvedených v Tab. 2.1.

Součástí CSB zkušebního okruhu bude i simulátor laserové MLA hlavičky („Mock Up“) s odpovídajícím topným odporem pro simulaci nominálního i špičkového tepelného výkonu 100 až 800 W.

Po ukončení On Shop testu bude CSB demontován, převezen na Zadavatelem určené pracoviště, smontován a uveden do provozu.

Parametry CSB budou prokázány *On Site* testem (ve smyslu *D1d* Zadávací dokumentace)).

e) Servisní činnost v místě Zadavatele

Po ukončení On Site testu bude Zadavateli poskytnut odpovídající konzultační servis za účelem optimalizace provozních parametrů CSB integrované do laserového řetězce.

f) Pozáruční a mimozáruční servis

V případě poruch systému CSB zahájí ATEKO do 72 hodin práce k odstranění poruchy.

4 TECHNICKÝ A KONSTRUKČNÍ NÁVRH SMYČKY CSB

Zadání veřejné zakázky definuje, že: *chladicí smyčka musí umožňovat evakuaci ztrátového tepla ve výši nejméně 300 W z vlastní laserové hlavičky a musí být schopna s rezervou pokrýt tepelné ztráty vznikající v přívodním potrubí (odhadováno na minimálně 300 W). Smyčka by tak měla být dimenzována na celkový výkon alespoň 800 W*

Navržený lay-out systému CSB s Braytonovým chladicím cyklem a použité vakuově izolované potrubí s minimem „Johstonových“ spojů umožňuje bezproblémově provést instalaci celého CSB v jednom podlaží, aniž by došlo ke kolizi s ostatními komponenty laserového systému a to díky možnosti natočení vzájemné polohy MLA a CB.

Instalaci v jednom podlaží se snižuje i požadovaný chladicí výkon na hodnotu $300 + 100 = 400$ W.

Chladicí výkon Braytonova cyklu je proto navržen s nominálním výkonem **600 W**.

Při zvýšení otáček TC i TEC nad nominální, umožní CSB dosáhnout chladicího výkonu až 800 W, a to při snížení účinnosti cyklu o cca 5 %.

HLAVNÍ KOMPONENTY KRYOGENNÍ SMYČKY

CSB je (i ve smyslu přílohy č.3 Zadávací dokumentace) sestavena z:

- COLD BOXU – který ve smyslu Obr. 3.2 sestává z:
 - Vakuově izolované vnější nádoby
 - Turbostrojů TEC a TC (viz kap.4.3)
 - Dvoudílného výměníku tepla
 - Vodního dochlazovače He za turbokompresory
- BUFFERU, dle Dodatečné informace Zadavatele č.3, jehož velikost (cca 2 násobek vnitřního objemu CSB) a umístění bude řešit STUDIE
- VAKUOVANÉHO POTRUBÍ (viz kap. 4.4)
- ŘÍDICÍHO SYSTÉMU (a napájení elektro) (viz kap. 4.5)
- MÍSTO PLNĚNÍ A VAKUOVÁNÍ CSB (viz kap.4.6)

HLAVNÍ PARAMETRY KRYOGENNÍ SMYČKY CSB

CSB smyčka a její jednotlivé komponenty jsou navrženy tak, aby plně odpovídaly Zadávací dokumentaci. Jedná se zejména o komponenty ovlivňující výsledné parametry smyčky CSB. (Detailní popis komponent a jejich parametrů je uveden v dalších kapitolách).

○ Rozsah regulace teploty chladicího He

Prvky vlastní CSB smyčky včetně turbostrojů TEC a TC umožňují regulovat teplotu v celém rozsahu teplot od 300 K do cca 100 K s lepší, než požadovanou přesností ± 1 K. To je umožněno nezávislou regulací otáček turbostrojů TC a TEC v rozsahu 20 000 až 120 000 ot/min.

○ Stabilita teploty chladicího He

Přesnost řízení otáček jednotlivých turbostrojů je dostatečně vysoká, a rychlosti možných změn otáček turbostrojů (až o 15 Hz / 1 sec - což odpovídá změně 54 000 ot/min/min) zajistí dostatečnou stabilitu teploty proudícího He.

O stabilitě řízení teploty tedy bude více rozhodovat tepelná setrvačnost / gradient změny ztrátového výkonu MLA, než vlastní systém CSB. Předpokládáme, že v reálném uspořádání celé smyčky CSB lze uvažovat se stabilitou teploty He ± 0.3 K.

○ Bezpečnost provozu

Vysoká bezpečnost provozu je zajištěna tím, že CSB pracuje pouze s netoxickým a nevýbušným He, vodou a standardním elektro napájením.

I při nepravděpodobném rychlém úniku He, kterého je v systému CSB velice málo, dojde k jeho rychlému ohřevu a vystoupení do horních poloh haly, kde nemůže ohrozit personál. Nehrozí tedy situace známá z aplikací dusíku, který při snížení koncentrace kyslíku pod 14% způsobuje zdravotní potíže a snížení obsahu kyslíku pod 6 % je prakticky okamžitě smrtelné. Chladný a hmotný N₂ má tendenci setrvávat dole, v místech přítomnosti obsluhy, zatím co He rychle stoupá nahoru.

Helium ani při zvýšené koncentraci není přítomným osobám nebezpečné.

○ **Diagnostické prvky měření a regulace a charakteristika smyčky v reálném čase**

Prvky měření a regulace jsou umístěny tak, aby zajistili dostatečně rychlou odezvu na změny měřených parametrů a tak umožnili dostatečně přesnou a rychlou regulaci žádaných parametrů. (V případě teploměrů jsou miniaturní senzory Pt 100 umístěny v jímkách pod superizolací, tepelně kontaktovaných přímo na relativně tenkostěnnou vnitřní trubku chladného He. Elektrické vývody jsou protaženy vakuovaným prostorem na odpovídající průchodky. Dostatečná rychlost odezvy měření teploty pak zajistí odpovídající přesnost regulace teploty v reálném čase). Stejným způsobem jsou řešena i ostatní měření fyzikálních veličin s využitím zkušeností ATEKA s návrhem a provozem zkapalňovačů He i ostatních kryogenních systémů.

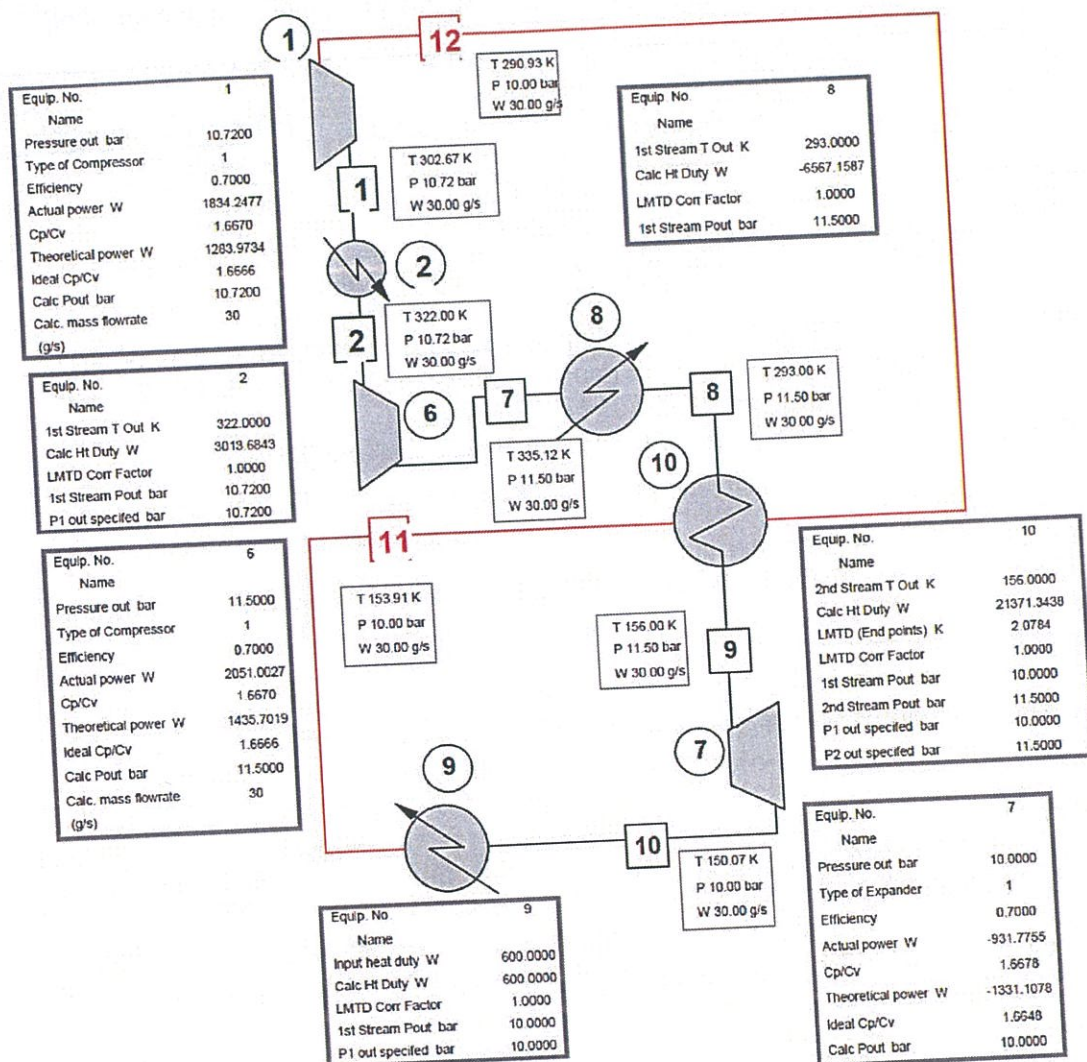
Provedení a vybavení senzory viz čl. 4.5 a tab. 4.1 strany 21 – 24 této specifikace

4.1 TERMODYNAMICKÁ OPTIMALIZACE BRAYTONOVA CYKLU

Optimalizace parametrů (kompresního / expanzního tlakového poměru) byla provedena tak, aby bylo dosaženo minimální měrné spotřeby energie N (kW/kW) a současně bylo možné optimalizovat parametry jednotlivých kompresních a expanzního stupně tak, aby:

- Lopatková kola kompresních stupňů byla podobná nebo identická
- Charakteristiky kompresních stupňů měly sníženou citlivost na pompáž (dozadu zahnuté lopatky)
- Lopatková kola stroje TEC (expanzní turbína a druhý kompresní stupeň) mohly pracovat při stejných otáčkách

Těmto podmínkám, po předběžné optimalizaci cyklu i strojů, nejlépe vyhovuje pracovní cyklus s parametry:



$$N = 600 / (1803 + 2051 - 932) = 0,205$$

Brayton cycle 11,5/10 bar(a)

Date: 12.3.2013

Checked: Dostalova

Approved: Schustr

(Mezichladič 2 na schema je výpočetní náhradou vlivu RCB)

Obr. 4.1 – Parametry optimalizovaného Braytonova cyklu

Předběžně určené parametry vlastních kompresních a expanzních stupňů (lopatkových kol) turbostrojů jsou uvedeny v Tab. 4.1

Turbo Stroj	Lopatkové kolo		
	Průměr (mm)	Otáčky (1 / min)	Příkon (výkon) (kW)
TC - kompresor 1°	48	110 000	1834
TEC - kompresor 2°	48	110 000	2051
TEC - turbína	32	110 000	932

Tab. 4.1 Návrhové parametry kompresních / expanzních stupňů

Měrné energetické parametry Braytonova cyklu porovnávající v parametru COP (Obr. 4.1) chladicí výkon / energetický příkon jsou pro dané teplotní podmínky (obvykle uváděné jako COP – Coefficient Of Performance) $N = 0.205 \text{ (kW}_{\text{ch}} / \text{kW}_{\text{příkon}})$.
V oblasti daných teplot lze tento parametr považovat za velice příznivý.

4.2 TLAKOVÉ A GEOMETRICKÉ ŘEŠENÍ CSB

Zadání veřejné zakázky původně definuje, že:

Systém chladicí smyčky musí být tlakově odzkoušen na hodnotu alespoň 30 bar a musí být provozně bezpečný v režimu 0 až 30 bar.

Rozsah provozních parametrů

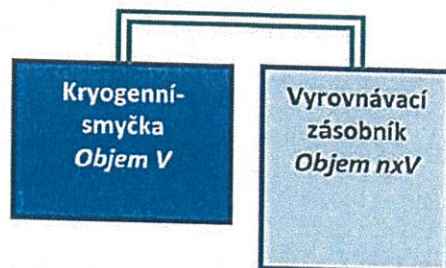
Chladicí smyčka musí být v principu schopná funkce v rozsahu tlaků 0 až 20 bar a rozsahu teplot 100 až 300 K, není však nutné, aby provozní parametry (např. stabilita teploty) byly optimalizovány v celém tomto rozsahu.

Toto zadání vychází z parametrů MLA pro případ provozu za podmínek, kdy systém je za teploty okolí (300 K) natlakován na 20 bar a po ochlazení na cca 150 K dosáhne tlak He v systému požadovaných 10 bar.

Dodatečnou informaci č. 3 bylo Zadavatele upřesněno, že v případě instalace „bufferu“ – paralelní tlakové nádoby na teplé straně CSB lze počáteční tlak v systému snížit dle následujících podmínek a vztahů:

Zadavatel uvedl, že připouští řešení využívající vyrovnávacího zásobníku pro snížení počátečního (plnicího) tlaku v systému smyčky – viz též Příloha 3 Zadávací dokumentace („Plnění smyčky chladivem“), kde se výslovně uvádí, že dodavatel může v rámci Dílčího plnění D1 předložit vlastní návrh postupu plnění chladicí smyčky.

Dodavatel by měl vždy zvážit výhodnost využití vyrovnávacího zásobníku – jde o subsystém navíc, který však snižuje tlakové nároky okruhu při plnicí proceduře a rovněž při vypnutém stavu smyčky.



Obr. 1: Zjednodušené blokové schéma kryogenní smyčky a vyrovnávacího zásobníku.

Pro tlak v systému lze odvodit jednoduchý vztah. Za předpokladu, že:

- Množství He v systému je konstantní (uzavřený okruh)
- He ve vyrovnávacím zásobníku je vždy na pokojové teplotě T_R
- Tlak v kryogenní chladicí smyčce a ve vyrovnávacím zásobníku je stejný,

platí pro tlak p :

$$p = p_o \frac{n + \frac{T_R}{T_o}}{n + \frac{T_R}{T}}$$

kde:

T	Teplota chladicí smyčky při tlaku p
T_o	Provozní teplota chladicí smyčky (aktivní režim kryogenního chlazení)
p_o	Tlak v systému při provozní teplotě T_o
n	Poměr objemu vyrovnávacího zásobníku a objemu chladicí smyčky
T_R	Pokojová teplota.

Dle výše uvedeného vzorce lze stanovit rozdíl tlaku ve smyčce mezi hodnotami teplot $T_o=150$ K (nominální režim chlazení laserové hlavičky, viz Příloha 3 Zadávací dokumentace) a $T=300$ K (klidový stav systému a rovněž teplota plnění smyčky):

1. $n=0$ (bez vyrovnávacího zásobníku)	$p = 2 \times p_o$
2. $n=1$ (vyrovnávací zásobník o objemu kryogenní smyčky)	$p = 1.5 \times p_o$
3. $n=2$ (vyrovnávací zásobník s 2x objemem kryogenní smyčky)	$p = 1.33 \times p_o$
4. $n=5$ (vyrovnávací zásobník s 5x objemem kryogenní smyčky)	$p = 1.17 \times p_o$

Je zřejmé, že vyrovnávací zásobník umožňuje zásadním způsobem snížit plnicí tlak He oproti řešení bez zásobníku: při provozním tlaku v režimu chlazení 10 bar (viz Tabulka 1 Přílohy 3 Zadávací dokumentace) musí být plnicí tlak systému bez zásobníku 20 bar, zatímco např. u zásobníku s dvojnásobným objemem kryogenní smyčky se plnicí tlak snižuje na 13.3 bar. Je na dodavateli, aby navrhl optimální řešení vzhledem k ceně a technické kvalitě nabídky.

S ohledem na možnost minimalizace návrhového a zkušební tlaku tlakového kryogenního systému (včetně vakuově izolovaného potrubí) se ATEKO rozhodlo doplnit CSB okruh bufferem o velikosti min. **2 násobku** objemu vlastního CSB okruhu (objemy / teploty aparátů, strojů a potrubí budou upřesněny v detailním návrhu CSB) a tím snížit maximální počáteční tlak v systému na $10 \times 1.33 = 13.3$ bar a zkušební tlak na $1.43 \times 13.3 = 19$ bar ve smyslu směrnice PED.

4.3 KOMPONENTY TURBOSTROJŮ

- **Vysokootáčkové motory**

Vestavné vysokootáčkové asynchronní motory jsou navrženy s parametry:

Parametry třífázového asynchronního motoru

*všechny elektrické parametry vypočteny pro první harmonickou sinusového napájení

typové označení	ATK 2,6-120
Napájení	měníč
Zapojení	Y
Výkon na hřídeli (kW)	2,6
Moment (Nm)	0,21
Otáčky (1/min)	120 000
Napětí (V)	350
Jmenovitý proud (A)	7,5
Frekvence (Hz)	2010
Účinník (-)	0,68
Účinnost (%)	86,9
Tvar	vestavný stroj
Krytí	IP 00
Třída izolace	F
Chlazení	
Množství vzduchu (dm ³ /s)	16
Teplota okolí (°C)	40
Rozměrový náčrtek	B16592
Moment setrvačnosti (kg*m ²)	0,0001
Hmotnost (kg)	4

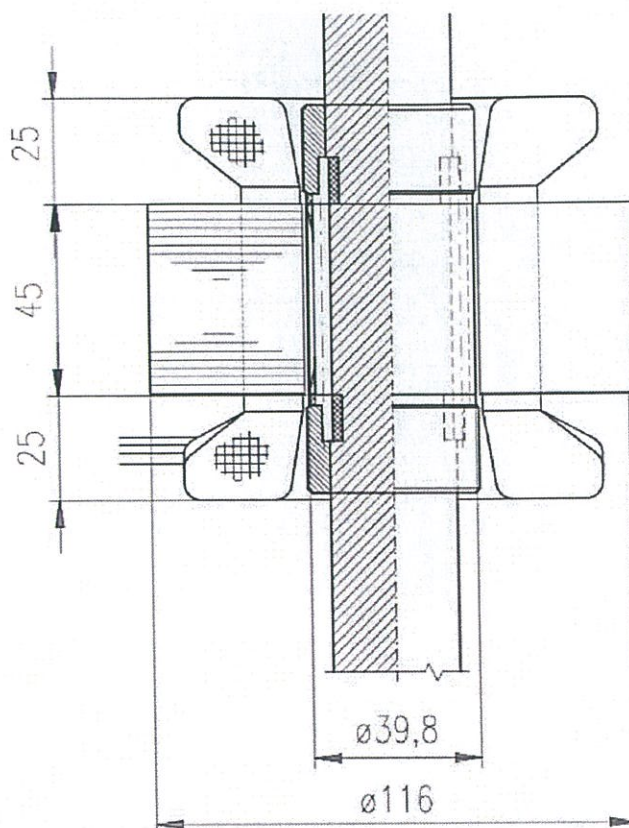
- 1) tolerance dle EN60034-1
- 2) hmotnost počítána bez volných konců hřídele a bez kostry
- 3) moment setrvačnosti počítány bez volných konců hřídele
- 4) předběžná data

Turbosoustrojí TC bude v návrhových podmínkách využívat pro kompresní práci + krytí třecí ztráty rotoru v tlakovém plynu celkově výkon $1283 + 500 = 1800 \text{ W}$.

Turbosoustrojí TCE bude v návrhových podmínkách využívat pro kompresní práci + třecí ztráty rotoru v tlakovém plynu – výkon turbíny celkově výkon $2051 + 500 - 932 = 1620 \text{ W}$.

Je tedy zřejmé, že nominální výkon vysokootáčkových motorů dovolí práci CSB při zvýšených otáčkách a požadovaném vyšším chladicím výkonu.

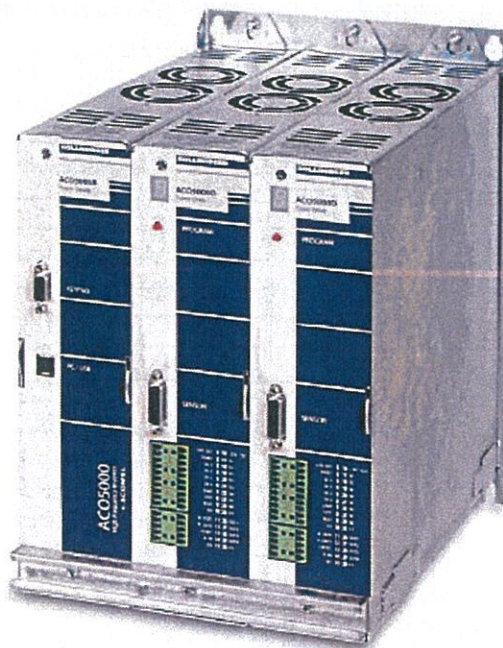
Rozměry vestavného motoru 2.6 kW / 120 000 1/min jsou znázorněny v následujícím Obr. 4.2.



Obr. 4.2 Vestavný asynchronní motor ATK 2.6 - 120

• Frekvenční měniče

Napájecí (synchronní) frekvence 2 pólového motoru ATK 2.6 – 120 bude při 120 000 1/min 2 kHz. Frekvenční měnič, zvláště podíl vyšších harmonických tvořící náhradní „sinusovku“, významně ovlivňuje parametry celého systému pohonu. Na základě předchozích zkušeností s obdobnými pohony proto budeme používat frekvenční měniče ACOMEL.



Hochfrequenz Umrichter ACO5000 von ACOMEL

Obr 4.3 Frekvenční měnič ACOMEL

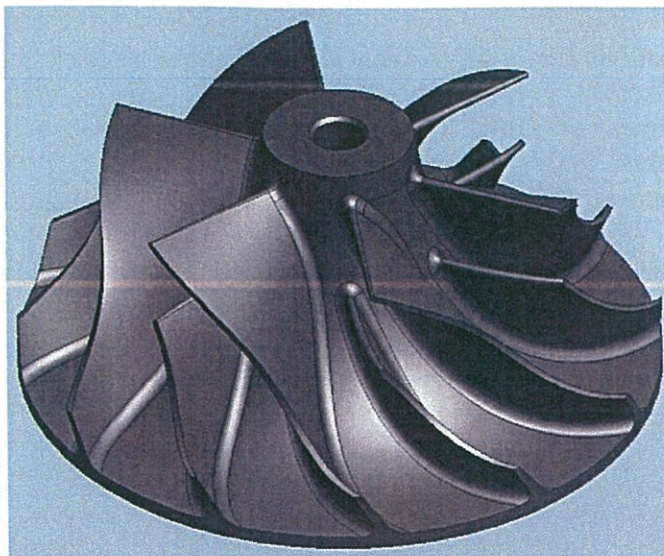
- Pracovní stupně

Pracovní stupeň expanzní turbíny je vestavěn do nosiče nízkoteplotní (NT) části, která s minimálními tepelnými toky odděluje teplé a chladné části TEC stroje. Pracovní kolo turbíny v 3D centripetální verzi je umístěno na titanovém, dutém dílu nízkoteplotního konce rotoru. Rozváděcí lopatky jsou nesený NT částí, jak je zřejmé z obr. 3.4.

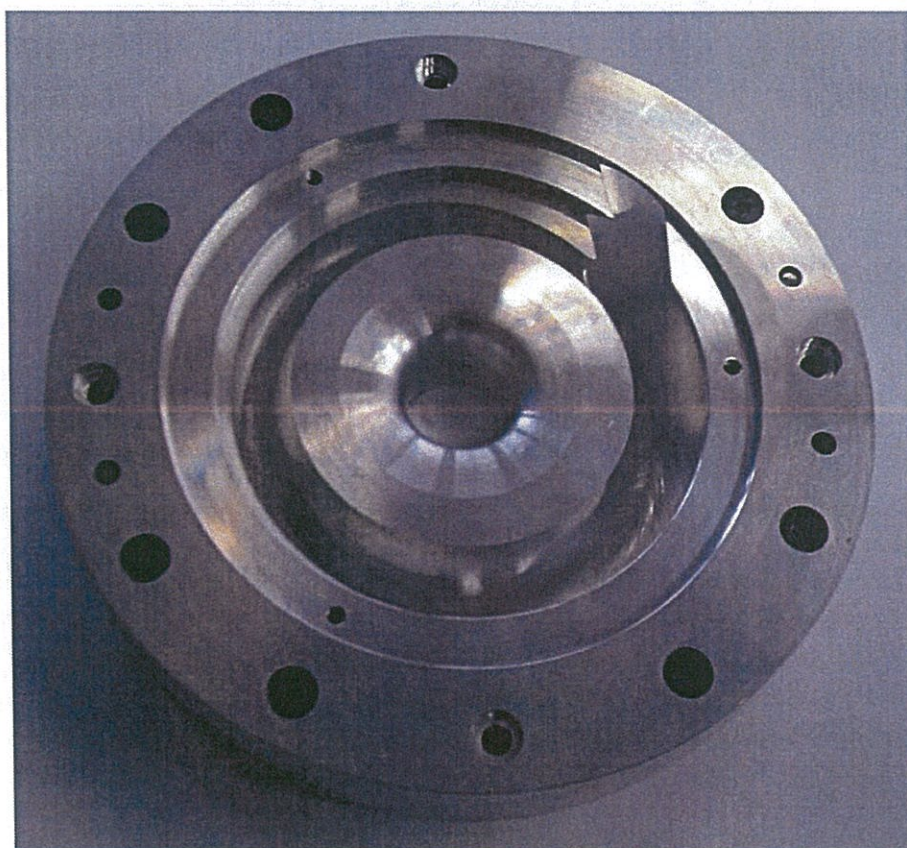


Obr. 4.4 Centripetální turbínové 3D kolo a lopatky rozvaděče

Pracovní stupně turbokompresoru jsou tvořeny RA (3D radiálně – axiálními) lopatkovými (centrifugálními) koly s dozadu zahnutými lopatkami, bezlopatkovým difusorem a spirální skříní, jak je zřejmé z následujících Obr.4.5 a 4.6.



Obr. 4.5 RA lopatkové kolo turbokompresoru vyráběné CAD / CAM postupem



Obr. 4.6. Bezlopatkový difusor a spirální skříň vyráběné CAD / CAM postupem

• Plynová ložiska

Turbostroje TC a TCE používají plynová, plně dynamická bezmazná ložiska, která nepotřebují vnější zdroj tlakového ložiskového plynu. Konstrukční řešení těchto ložisek vyvinutých firmou ATEKO a partnery bylo aplikováno u cca 450 již dodaných turbostrojů, kde byla prokázána vysoká spolehlivost a extrémní životnost (cca 50 000 hod).

Radiální ložiska jsou složena z trojice nesymetrických naklápěcích segmentů. Materiál segmentů je modifikovaný grafitový kompozit schopný odolávat i občasným kontaktům s rotorem (otáčejícím se obvodovou rychlostí až 180 m/s) v neobvyklých a extrémních situacích. Plyn v okolí ložiska je v klínové mezeře mezi „naklopeným“ segmentem a čepem rotoru rotorem strháván a stlačován a na tomto plynovém filmu tloušťky cca 5 μm se rotor otáčí.

Jeden ze segmentů je podepřen podporou (patent ATEKO) s možností dočasného zvětšení mezery a uvolnění případně vniklých nečistot.



Obr. 4.7 Segmenty radiálního plynového ložiska

Obdobná situace je v axiálním plynovém ložisku, kde je plyn z okolí nasáván na vnějším obvodu spirálních drážek a při jeho postupu do středu je tento plyn komprimován a vytváří odpovídající tlakový film zachycující axiální síly.

Uvedená dynamická bezmazná plynová ložiska ATEKO jsou plně samočinná a mezi jejich hlavní výhody patří:

- Nepotřebují žádný vnější zdroj energie nebo tlakového plynu
- Nepotřebují žádný řídicí systém
- Nepotřebují havarijní - „Emergency Bearings“ jako magnetická ložiska
- Mají sníženou citlivost na „subharmonické“ oscilace zatížení
- Zvládají i ojedinělé nečistoty v plynu



Obr. 4.8 Axiální plynové ložisko se spirálními drážkami

Plynová ložiska jsou dlouhodobě odolná START / STOP podmínkám, což bylo ověřeno testy několika tisíců startů a zastavení turbo-strojů.

4.4 VAKUOVĚ IZOLOVANÉ POTRUBÍ

Propojovací vakuově izolované potrubí (VIP) odpovídající schema dle Obr. 3.1 je sestaveno z jednotlivých dílů dvouplášťového kryogenního potrubí s multivrstvou reflexivní vakuovou izolací. Díly kryogenního potrubí jsou vzájemně spojované pomocí "štěrbinových" bajonetů (Johnston style) které jsou demontovatelné.

Minimalizovaná velikost smyčky CSB (s Braytonovým chladicím cyklem) a její nezávislost na vnějším zdroji LIN umožňuje její instalaci v jednom podlaží. Možnost otáčení CSB okolo MLA během instalace vylučuje i případnou kolizi s ostatními komponenty laserového systému.

Variabilnost potrubí VIP a po jeho doplnění o další segmenty umožní splnit případný požadavek situovat CSB do dvou podlaží.

Základní rysy VIP

Vakuově izolované potrubí je tvořeno "trubkou v trubce" a slouží zejména pro dopravu kryogenních tekutin. Vnitřní trubkou proudí dopravovaná tekutina, vnější trubka ohraničuje izolační prostor a přebírá vnější zatížení. Meziprostor mezi trubkami je opatřen izolací. Teplotní kontrakce vnitřní trubky se kompenzují vestavěnými vnitřními vlnovcovými kompenzátory.

VIP je rozdělené do sekcí, které jsou vyrobené a vyzkoušené ve výrobním závodě. Sekce jsou dohromady buď svařené, nebo spojené bajonetovými spoji. Sekce mohou být pevné, flexibilní nebo kombinované. Použití flexibilních (hadicových) částí by se mělo omezit jen na nezbytně nutné případy, protože hadice mají větší ztráty chladu a větší tlakovou ztrátu než části pevné.

Konfigurace a rozměry sekcí jsou přizpůsobené konkrétní aplikaci. Použití bajonetových spojů umožňuje vyloučit pracné a časově náročné svařování a evakuaci na stavbě. K uložení VIP lze případně použít normálně dostupné závěsy a podpěry, protože všechna vnější zatížení zachycuje vnější plášť VIP a mezi vnitřní trubkou a vnější trubkou nejsou žádné přímé teplotní mosty.

Komponenty VIP

Průměr potrubí - Následující tabulka udává standardní rozměry vnitřní a vnější trubky VIP. Předpokládáme použití VIP s Nominálním rozměrem **DN40** (případně **DN25**). Výsledný rozměr použitých Nominálních rozměrů VIP bude určen ve Studii. Standardní rozměrová řada VIP sestává z rozměrů:

	Unit	Nominální rozměr				
		DN15	DN25	DN40	DN50	DN80
Rozměr vnitřní trubky	mm	D21.3x1.65	D33.4x1.65	D48.3x1.65	D60.3x1.65	D88.9x2.11
Vnitřní průměr vnitřní trubky	mm	18	30	45	57	85
Rozměr vnější trubky	mm	D60.3x1.65	D88.9x2.11	D101.6x2.11	D101.6x2.11	D141.3x2.77

Speciální

	Unit	Nominální rozměr				
		DN32	DN65	DN100	DN150	DN200
Rozměr vnitřní trubky	mm	D42.2x1.65	D73x2.11	D114.3x2.11	D165.3x2.77	D219.1x2.77
Vnitřní průměr vnitřní trubky	mm	39	69	110	160	214
Rozměr vnější trubky	mm	D88.9x2.11	D114.3x2.11	D165.3x2.77	D219.1x2.77	D273.1x3.4

Vnitřní trubka

Materiálem vnitřní trubky je nerezavějící ocel AISI 304L nebo ekvivalentní. Trubka je švová (podélně svařovaná). Vlnovcové kompenzátory jsou vestavěny do vnitřní trubky.

Vnější trubka

Materiálem vnější trubky je nerezavějící ocel AISI 304L nebo ekvivalentní. Trubka je švová (podélně svařovaná).

Rozpěrky

Souosost vnitřní trubky ve vnější zajišťují rozpěrky, které také vedou kompenzátory.

Izolace

Izolace potrubí se skládá z vrstvené izolace v kombinaci s vakuem. K izolaci patří také chemický „getter“ plně funkční za pracovní teploty potrubí a evakuační hrdlo.

Vrstvená izolace

Vrstvenou izolaci tvoří 24-26 vrstev leštěné hliníkové fólie proložené skelným papírem.

Vakuum

Jak bylo uvedeno výše, sekce jsou vyrobené, evakuované a vyzkoušené při výrobě. Expediční vakuum je < 1 Pa, provozní vakuum by mělo být 100-1000x nižší (0.01 - 0.001 Pa).

Adsorbent

Součástí každé sekce je molekulové síto a konvertor vodíku. Molekulové síto adsorbuje plyny, které ve vakuovém prostoru zůstaly po evakuaci, uvolňují se z konstrukčních materiálů nebo do vakuového prostoru difundují přes stěny z okolí. Molekulové síto není schopné zachytit molekuly vodíku. Konvertor vodíku mění vodík na vodu, která se již v molekulovém síti snadno zachytí. Množství getteru v každé sekci zajistí 10-15 let provozu potrubí bez nutnosti odčerpávání vakua.

Evakuační hrdlo

Každá sekce je opatřena kombinovaným odsávacím hrdlem/ pojistným ventilem. Každou sekci lze volitelně také osadit vakuovou měrkou Hastings DV-6 (rozsah 0.133 to 133 Pa) pro rychlou kontrolu vakua.

Teplotní kompenzace

Vlnovcové kompenzátory jsou vestavěné do vnitřní trubky a teplotní dilatace vnitřní trubky vzhledem k vnějšímu plášti se tudíž plně kompenzují v rámci jednotlivých sekcí potrubí. Pokud by došlo ke ztrátě vakua v potrubí, může dojít k podchlazení a kontrakci vnějšího pláště potrubí. Doporučuje se, aby se vedení trasy a závěsy byly schopny vyrovnat se ztrátou vakua v jedné sekci, poškození ve větším rozsahu než selhání jedné sekce se nepředpokládá.

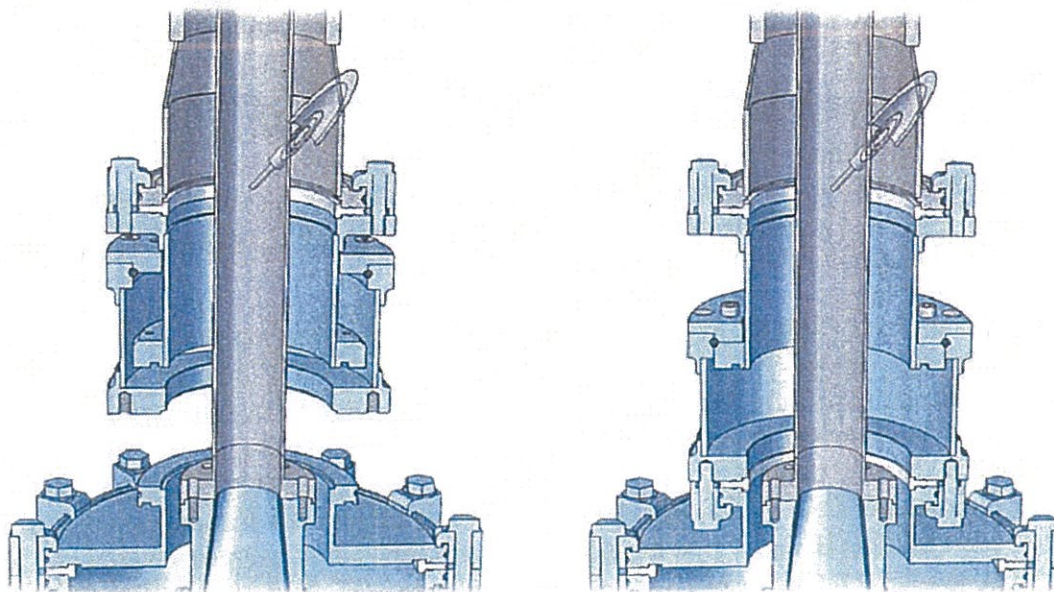
Tepelné parametry standardní řady VIP (pro teplotu vnitřní trubky 80 K)

	Jednotka	DN 15	DN 25	DN 40	DN 50	DN 80
Pevné VIP	W/m	0.557	0.611	0.754	0.954	1.143
Flexibilní VIP	W/m	1.671	1.833	2.262	2.862	3.429
Bimetalický bajonet	W	2.16	3.43	3.49	3.49	n/a
Johnson bajonet	W	n/a	6.09	6.47	5.65	10.46
Svařovací spoj	W	1.67	2.24	3.24	4.22	5.11
Teplý konec	W	4.32	6.86	6.98	6.98	7.25

Těsnění VIP k dalším částem CSB je provedeno těsněním typu EVAC ISO CeFiX®.

Vlastní MLA systém bude dodán Zadavatelem včetně tzv. systému „sleeves“, který umožní připojení vstupních / výstupních členů vakuovaných potrubí a to pod zvoleným (horizontálním) úhlem.

(Variabilnost úhlového sestavení MLA a CB umožní i snadné sestavení CSB v jednom podlaží bez kolize s jinými systémy laseru).



(Schema sleeves během montáže. Vakuový meziprostor prvních úseků VIP související s MLA je spojen s vakuem MLA)

Kontrola izolačních vlastností VIP bude provedena řídicím systémem integrálně vyhodnocením rozdílů teplot TIC (101 / 108) resp. TI (102 / 103) případně měřením vakua jednotlivých sekcí VIP pomocí vakuových měrek Hastings DV-6. Výsledky z údajů jednotlivých vakuových měrek jsou problematicky použitelné, protože závisí na okamžité teplotě vnitřního potrubí a nedefinují zbývající adsorpční kapacitu molekulového síta.

4.5 ŘÍDICÍ SYSTÉM

Řídicí systém PLC-CSB musí ve smyslu zadání obsahovat:.... návrh autonomního elektronického řídicího a diagnostického systému (DACS – Data Acquisition and Control System), který musí poskytovat rozhraní (sběrnici) pro ovládání řídicím systémem využívajícím architekturu EPICS...

Atekem navržený řídicí systém odpovídá zadání a následujícímu Algoritmu:

• Algoritmus řízení PLC-CBS 150 K (- 123 °C) - 10 J (100W)

Předpokládaný potřebný chladicí výkon CBS je 300 W, ale zmíněný návrhový chladicí výkon CBS je 600 W, (respektive maximální 800W), viz Kap.4.

Provedení Braytonova chladicího cyklu (CSB) znázorňuje Obr. 3.1.

Pracovní (chladicí) médium uvnitř technologie je Helium o tlaku 10 až 13.4 bara.

MLA je od vlastního CB vzdálen cca 3.5 m (ve výsledku horizontálně).

Vlastní Braytonovo soustrojí je instalováno uvnitř (a vně) „Cold Boxu“ s tím, že uvnitř Cold Boxu je použito multivrstvé reflexivní izolace a pracovního vakua cca 10^{-5} mbar.

Braytonův cyklus je sestaven z dvojice turbostojů, kde:

TC - je jednostupňovým turbokompresorem s pohonem 3 fázovým asynchronním motorem napájeným frekvenčním měničem 201 (Obr. 4.9 + příloha P&ID – BRAYTON).

Výkon motoru je 2.6 kW a otáčky 120 000 rpm.

TEC – sestává z dalšího turbokompresorového stupně a nízkoteplotního expandéru na druhém konci rotoru. Protože výkon expandéru je rotorem přímo předáván kompresnímu stupni jsou požadavky na příkon v pracovních podmínkách sníženy na cca 1.5 kW.

Chlazení TC a TEC bude provedeno společně s vodním dochlazovačem stlačeného He za druhým stupněm komprese protékající vodou ovládanou jedním solenoidem.

Z důvodu spolehlivého najíždění z teplot okolí a požadavků na široký regulační rozsah chladicího výkonu a teplot (cca 40 až 100 %) bude motor TEC shodných parametrů jako motor TC tedy 2.6 kW a 120 000 rpm.

Popis systému řízení. Atekem požadovaný (nabízený) Systém PLC MLA odpovídá požadavkům zadavatele.

V tomto konkrétním případě CSB Braytonova chladicího cyklu bude vlastní řídicí systém PLC- CBS odpovídat příloze P&ID – BRAYTON.

PLC- CBS bude zajišťovat:

Provoz technologie CSB v režimech **najetí** (odstavení) z teploty okolí, **provoz** s regulací požadované teploty **TIC 101 s přesností +/- 1 K** s tím, že ostatní parametry budou přibližně odpovídat zadaným datům:

Režim PROVOZ:

Požadovaná teplota TIC 101 bude řízena regulací otáček (výstupních frekvencí měničů) v předpokládaném rozmezí otáček 50 - 100% s tím, že případné řízení vzájemných proporcí

otáček TEC a TC bude specifikováno ve STUDII a ověřeno při On Shop testu prováděnému v ATEKO.

PLC-CSB bude snímat a kontrolovat hodnoty měřených bodů dle P&ID – BRAYTON s tím, že hodnotami VIA 201 a VIA 202 budou vyhodnocovány případné vibrace (havarijní odstavení) turbostrojů.

Rozdíly hodnot TIC 108 a TIC 101 (respektive TI103 a TI 102) budou porovnány se standardním (obvyklým) stavem a použity místo ne zcela průkazného a okamžitého měření izolačního vakua dílů kryogenního potrubí (viz požadavek zadání). Ostatní měřené parametry CSB bude systém porovnávat s předpokládanými (teoretickými) hodnotami a budou použity k regulaci turbostrojů, respektive k vyhodnocení mezních stavů CSB. Odpovídající algoritmy budou detailně řešeny ve STUDII.

Režim NAJETÍ / Odstavení:

Předpokládáme, že CSB bude najíždět z teploty okolí a tlaku cca 13.4 bara (zajištěným velikostí tlakové nádoby „Buffer“). Postupně bude současně s teplotou klesat i tlak PIA 104 z 13.4 na 10 bara.

Detailní algoritmus závislosti otáček TEC a TC na tlacích a teplotách bude popsán ve STUDII a ověřen při On Shop testech. Předpokládáme, že po dobu najíždění budou otáčky TEC maximální a otáčky TC budou řízeny tak, aby nedošlo k situaci, kdy TEC přejde do „generátorového“ režimu (výkon turbíny bude větší než příkon druhého stupně komprese).

Režim odstavení bude proveden ve dvou krocích:

- snížení otáček na 50% a po 2 min (kdy dojde k významnému snížení tlakového spádu v CSB)
- vypnutí napájení frekvenčních měničů a volný doběh turbostrojů během cca 2 minut.

Seznam a popis měřených míst

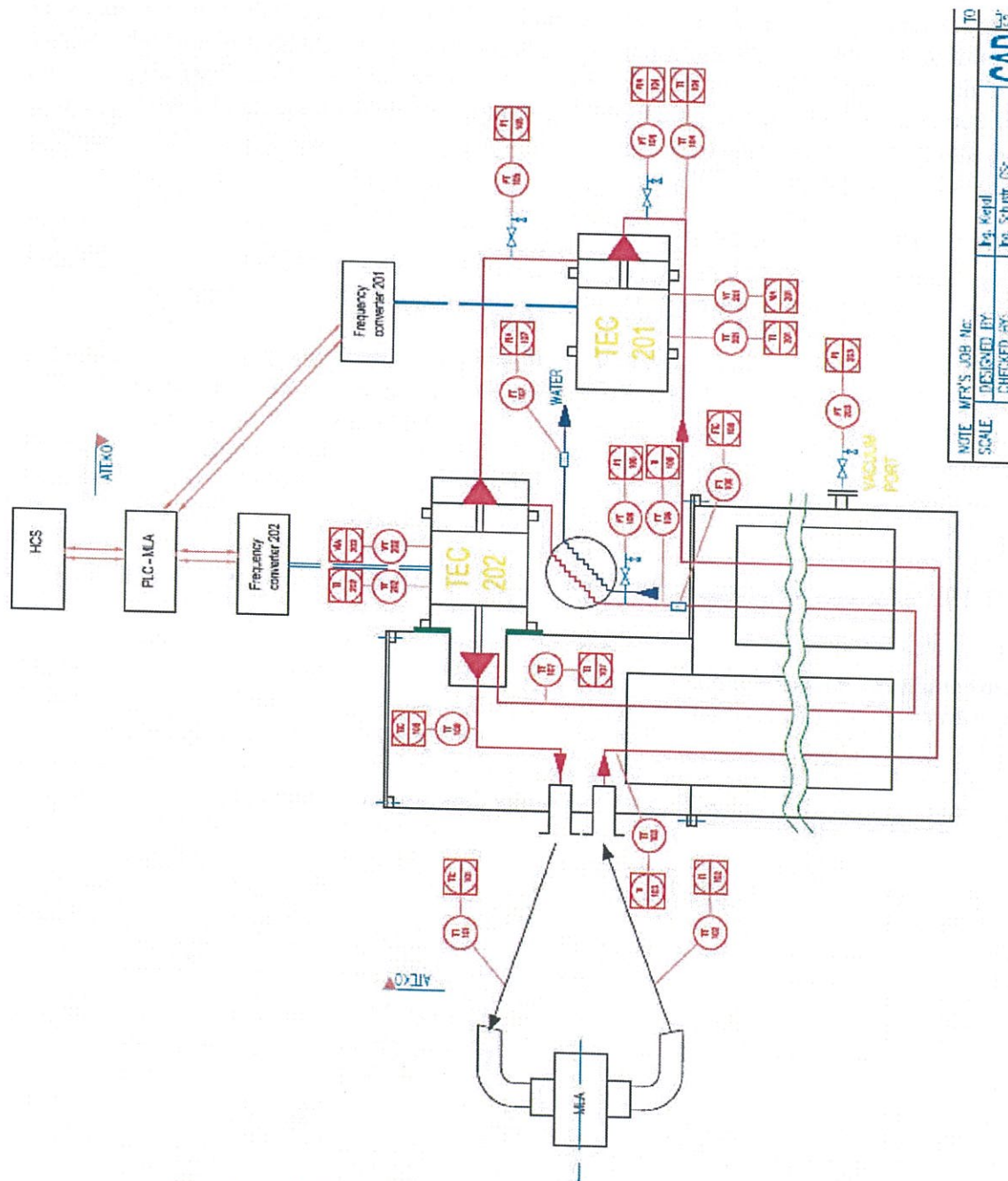
Pro měření teplot bude použito snímačů typu PT 100 s minimálními rozměry. Vlastní instalace senzorů bude převážně do vnějších jímek s výjimkou senzorů teploty vinutí motorů TI 201 a TI 202, které budou součástí motorů.

Veškerá měření tlaků budou kapilárními impulzními trubicemi vyvedena do vnějšího prostředí.

Místo	Předpokládaný typ měřidla	Rozsah	Způsob instalace	Pozn
TIC 101	Pt	100 – 300 K	Jímka	
TI 102	Pt	100 – 300 K	Jímka	
TI 103	Pt	100 – 300 K	Jímka	
TI 104	Pt	100 – 300 K	Jímka	
TI 106	Pt	100 – 300 K	Jímka	
TI 107	Pt	100 – 300 K	Jímka	
TIC 108	Pt	100 – 300 K	Jímka	
PIA 104	BDSenzor, JSP, PTU Swagelok	0 – 1.6 MPa	Bez „manifold“	
PI 105	BDSenzor, JSP, PTU Swagelok	0 – 1.6 MPa	Bez „manifold“	
PI 203	BDSenzor, JSP, PTU Swagelok	0 – 0.1 MPa	Vakuum	Měříme cca 10 ⁻⁴ mbar
VIA 201	Snímač zrychlení (typ MMF)		Vně TC	
VIA 202	Snímač zrychlení (typ MMF)		Vně TC	
FIC 106	Měření průtoku He cca 10 bar	0 – 30 g/s	Za teploty okolí	
FIA 107	Indikace průtoku vody	cca 1 kg/s		

Tab. 4.1. Seznam měřených míst

Pozn: Měření průtoku He je řešeno jako FIC 106. Pro podmínky stanovení rychlosti proudění He v požadovaném místě (MLA) bude toto řídicím systémem přepočteno dle údajů FIC 106 a skutečných teplot a tlaků.



Obr. 4.9. P&ID CSB technologie

Pro řízení otáček a průtoku helia navrhujeme řešení PLC-CSB s využitím standardního průmyslového programovatelného automatu **SIMATIC S7** s procesorem CPU IM 151-8PN a s 12" grafickým operátorským panelem pro zajištění komunikace s obsluhou. Pro připojení procesních signálů jsou navrženy standardní moduly periferních jednotek typu ET200S.

Komunikace s nadřazeným systémem (DACS pracující se systémem EPICS cílového zákazníka) bude možná po Ethernet/Profinet sběrnici, komunikace s bezpečnostním systémem (CISS) přes kontakty relé s nuceně vedenými kontakty.

Pro měření hmotnostního průtoku helia navrhujeme vírový průtokoměr od firmy Siemens, který má integrovaný snímač tlaku a teploty a je vybaven software pro výpočet hmotnostního průtoku.

Měření tlaku bude provedeno snímači s procesním připojením G1/2".

Pro měření vakua uvnitř Cold Boxu bude použito termočlánekového měřiče vakua HASTINGS (Thermocouple Gauge Tubes – **Type VT-6** (DV-6M-KF-16)) + vyhodnocovací přenosná jednotka připojitelná kabelem. (www.hastings-inst.com).

Vyhodnocení izolačního stavu „superizolace“ dle aktuálně změřeného vakua je problematické protože v CB, stejně jako v jednotlivých dílech vakuovaného potrubí, je na studené části systému instalován getter (aktivní uhlí + molekulové síto). Ochlazením tohoto getteru dojde totiž ke snížení izolačního vakua o 2 až 3 řády a to bez znalosti jeho zbývající sorpční kapacity. Způsob vyhodnocování izolačního vakua bude dořešen ve STUDII.

Připojení do PLC-CSB a k frekvenčním měničům je uvažováno přes speciální průchodky z prostoru vakua nebo helia do atmosféry.

Procesní signály z přístrojů MaR jsou standardní úrovně, 4-20mA analogový signál I/O, 24VDC binární I/O. Rozhraní s frekv. měniči pak signály v úrovni 0..10V. Zpracování řídicího SW bude dořešeno ve STUDII.

Odkoušení a provozní zkoušky budou probíhat v ATEKU Hradec Králové, provozní zkoušky v areálu zadavatele.

Specifikace přístrojů MaR

- 1 ks vírový průtokoměr DN25/PN40, mezipřírubové kompaktní provedení, s integr. snímači tlaku a teploty, se software pro výpočet hmotnostního průtoku 6 .. 30g/s při teplotě 20 +/-10°C a tlaku 10 bar (Siemens řada FX300)
- 2 ks snímač relativního tlaku 0..16barg, připojení G1/2", (BD Sensors)
- 1 ks snímač absolutního tlaku 0..16bar, připojení G1/2", (BD Sensors)
- 1 ks zapojení snímače absolutního tlaku (vakua)
- 7 ks snímač teploty Héliu, typ Pt100 (průměr 3mm, délka 70+40mm, kabel PTFE (lze umístit do -190°C, s převodníkem v rozvaděči, přesnost +/- 1°C (snímače JUMO +převodníky JSP typ P5311, jímky vyřeší a dodá Ateko)
- 2 ks zapojení snímače teploty ve vinutí motoru, (Pt 100, bez hmotné dodávky, převodníky JSP typ P5311 dodá ATE)
- 1 ks snímač rychlosti proudění Héliu (2 stavový, TURCK G1/4")
- 2 ks zapojení snímače vibrací, (MMF M12 (snímač i VJ dodá Ateko)
- 1 ks zapojení solenoidového ventilu pro vodní chlazení (bez hmotné dodávky, připojení 230VAC, pro PLC 1xDO)

Specifikace řídicího systému SIEMENS S7

- 1 ks procesor CPU IM 151-8PN, 192kB
 - 1 k paměť Nflash –EPROM 512kB
 - 3 ks napájecí modul
 - sada I/O karta 8xDI, 24VDC
 - sada I/O karta 4xDO, 24VDC
 - sada I/O karta 2xAI, 4..20mA, 0..10V
 - sada I/O karta 2xAO, 0-10V
 - sada univerzální terminálový modul
 - 1 ks operátorský panel TP 1200 COMFORT, 12“ barevný, grafický, dotykový, Rozlišení 1280x800 pixel
 - sada lišta DIN, konektory
- Celkem HW : 2x AO, 22xAI, 16xDI, 8xDO (prakticky bez rezervních vývodů)

Specifikace dodávek elektro a instalace – základní sestava

- 1 ks rozvaděčová skříň o rozměru (vxšxh) 2000x800x600mm s výzbrojí (jištěné vstupní obvody, přepět'ové obvody, bezpečnostní obvody nouzového zastavení, instalace dvou FM, řídicího systému, napájecí zdroje, pomocné relé, ventilátory pro odvedení ztrátového tepla cca 900W, ovládací panel umístěný v jednokřídlových dveřích.)
- 2 ks nerezové skříňky pro zakrytí průchodek motorů (tlakové helium/okolní atmosféra, rozměr cca 150x150x80mm)
- 1 ks nerezová skříňka pro zakrytí průchodek do Cold-boxu (vakuum/okolní atmosféra, rozměr cca 250x200x80mm)
- sada kabeláž (společná pro montáž v ATEKO i v Dolních Břežanech), instalační materiál, pozinkované provedení, délka trasy do 20 m (kalkulováno pouze pro instalaci v Dolních Břežanech)
Pro napájení vysokootáčkových motorů z frekvenčních měničů bude použito stíněných HF kabelů ÖLFLEX CLASSIC 110 CH 4 G 25 v délkách do 10 m.
- zpracování projektu elektro, MaR, ASŘ
- zpracování uživatelského SW pro PLC S7 a operátorský panel TP1200 (Step7, WinCC - TIA PORTAL)
- instalace SW, oživení SW a uvedení do provozu (v ATEKU a v Dolních Břežanech)
- 1 ks UPS firmy APC BR550GI (line-interaktivní, 550VA) zálohuje jen řídicí systém, předpokládaná doba zálohy 10 minut.
- 1 ks (možnost zvětšení rozvaděčové skříňe na rozměr (v x š x h) 2000x1000x600mm (dvoukřídlé dveře) pro umístění UPS a její výzbroje, zvýšení výkonu ventilátorů bude řešeno ve STUDII).
- návod k obsluze

Celá smyčka CSB včetně elektro napájení a systému řízení bude odpovídat standardním zákonným podmínkám:

CE Conformity

EMC directive 89/336/EWG specifikuje použití síťových filtrů vyšších harmonických pro splnění Low voltage directive 73/23/EWG.

FC ACOMEL je určen pro aplikace vysokootáčkových motorů. Jeho konstrukce a vybavení zajišťuje konformitu s Directive 89/392/EEC.

Výše uvedené produkty (vysokotáčkový motor, frekvenční měnič, kabely) odpovídají požadavkům Directive 73/23/EEC s respektováním standardů CEI/IEC 1010-1

Manuál a instalační pokyny zajistí to, že produkt odpovídá standardům EN50081-1 a EN50082-1 ve smyslu EMC directive 89/336/EEC.

4.6 SYSTÉM PRO VAKUOVÉ ČERPÁNÍ A PLNĚNÍ He SMYČKY

Vakuové čerpání a plnění CSB bude provedeno připojením smyčky k systému primárního vakuového čerpání zadavatele (roughing vacuum 10^{-2} mbar) přes plnicí armaturu CSB. Ve STUDII bude upřesněna požadovaná čistota plynného He ve smyčce, respektive to, zda bude nutné proces odčerpání CSB a následné plnění He opakovat.

5 SMYČKA pro On Shop TEST

Heliová testovací smyčka bude sestavena z finálních komponent CSB s výjimkou hlavice MLA.

Pro účely testu bude použito rozměrově shodné makety MLA, uvnitř které bude instalováno regulovatelné elektrické topení s výkonem do 1 kW.

On Shop test proběhne za účasti zadavatele.

6 ROZSAH DODÁVKY

- a) Vypracování koncepčního technického schéma
- b) Zpracování kompletního technického a konstrukčního návrhu kryogenního chladicího okruhu
- c) Výroba, sestavení kryogenního chladicího okruhu zahrnující hlavní komponenty:
 - Cold box – který ve smyslu Obr. 3.2 sestává z:
 - Vakuově izolované vnější nádoby
 - Turbostrojů TEC a TC (viz Kap.4.3)
 - Dvoudílného výměníku tepla
 - Vodního dochlazovače He za turbokompresory
 - Bufferu jeho velikost (cca 2 násobek vnitřního objemu CSB) a umístění bude řešit studie
 - Vakuovaného potrubí (viz Kap. 4.4)
 - Řídicího systému a systému elektro napájení (viz Kap. 4.5)
 - Místo plnění a vakuování csb (viz Kap.4.6)
- d) Provedení zkoušek u výrobce (On-shop testy)
- e) Dodání, instalace u Zadavatele
- f) Zkoušky u Zadavatele (On-side testy), konečná dokumentace

7 ÚDRŽBA

Životnost turbostrojů je navržena na minimálně 40 000 hodin. Kontrolní údržba probíhá po každých 5 000 provozních hodinách a sestává z:

- Kontrola a testy elektrických instalací
- Kontrola řídicího systému
- Kontrola těsnosti systému CSB
- Kontrola ložiskových vůlí, pokud byly zaznamenány vyšší vibrace, než je povoleno – (Ložiskové vůle jsou obvykle beze změn po dobu až 30 000 hod).

Životnost ostatních dílů CSB je obvykle větší, než životnost vlastních turbostrojů.

Rozsah / náklady údržby:

- Údržba po 5 000 hodinách – 2 lidé á 8 hod (1 specialista na systémy elektro a měření, 1 specialista na turbostroje).
- Údržba po 30 000 hodinách
Obvykle s asistencí ATEKA (2 lidé, 2 dny)

7.1 Nabídka neobsahuje (může být dodáno samostatně)

- Stavební připravenost
- Zajištění hlavního přívodu do rozvaděče (u Zadavatele)
- Vyšší řídicí systém
- Systém rekuperace He

8 PŘEDPOKLÁDANÝ HARMONOGRAM

Položka	Popis	Termíny plnění *)
1	STUDIE – Koncepční schema	2 měsíce
2	Kompletní Basic Engineering včetně výkresové dokumentace, výpočtů a specifikace komponent	5 měsíců
3	Výroba a On Shop test zkušební CSB smyčky	8 měsíců
4	Dodání CSB smyčky Zadavateli	8 měsíců a 2 týdny
5	Instalace CSB u Zadavatele	8 měsíců a dva týdny
6	On Site testy, Final report, všechny dokumenty a protokoly	11 měsíců

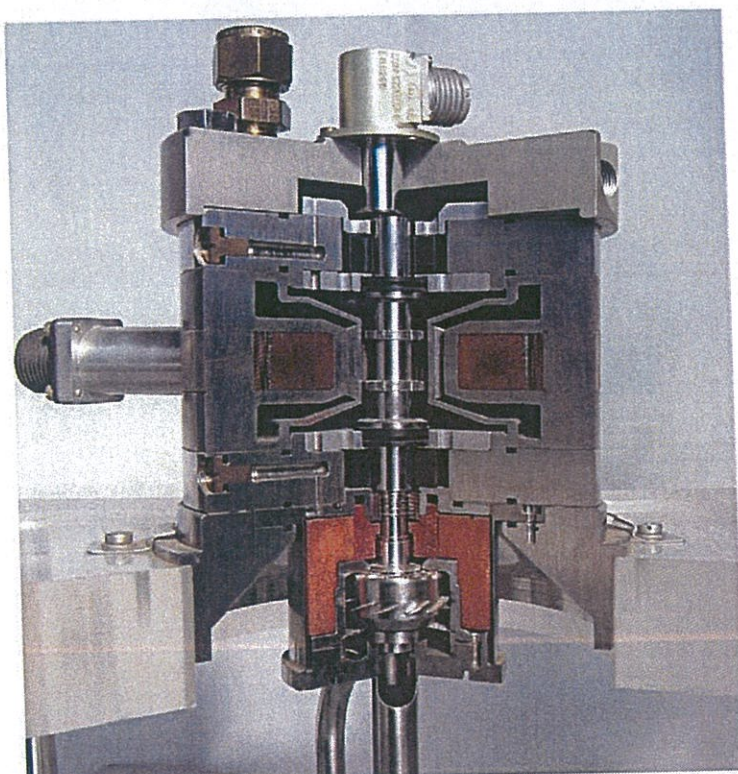
*) od podpisu smlouvy

9 REFERENCE:

ATEKO – dodávky obdobných turbostrojů s plynovými nebo magnetickými ložisky:

1) Helium TurboExpanders (TEX) for He liquefiers

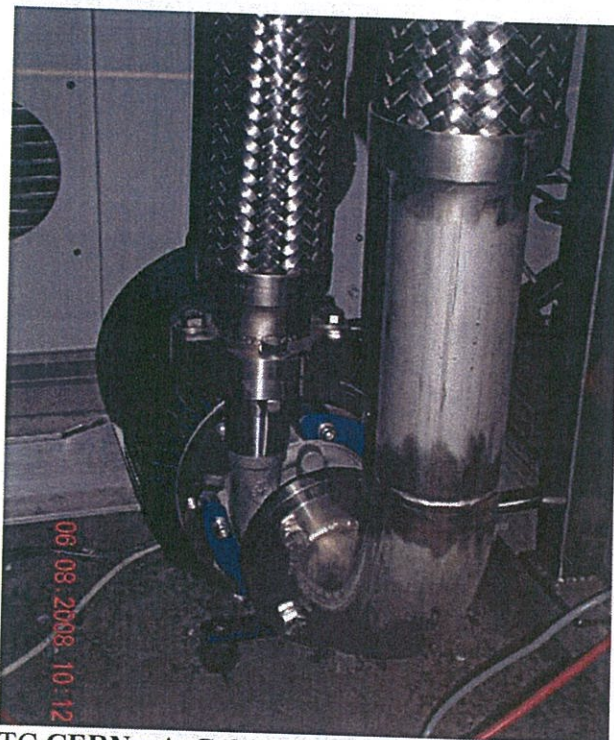
LINDE – 30 pcs of various sizes & prototypes / ATEKO deliveries in 1986 – 2005/
TEX cooling power 90 – 2500 W, speed 300 000 – 150 000 rpm



LINDE - TEX 500W / 250 000 rpm ($T_{in} = 60K$)

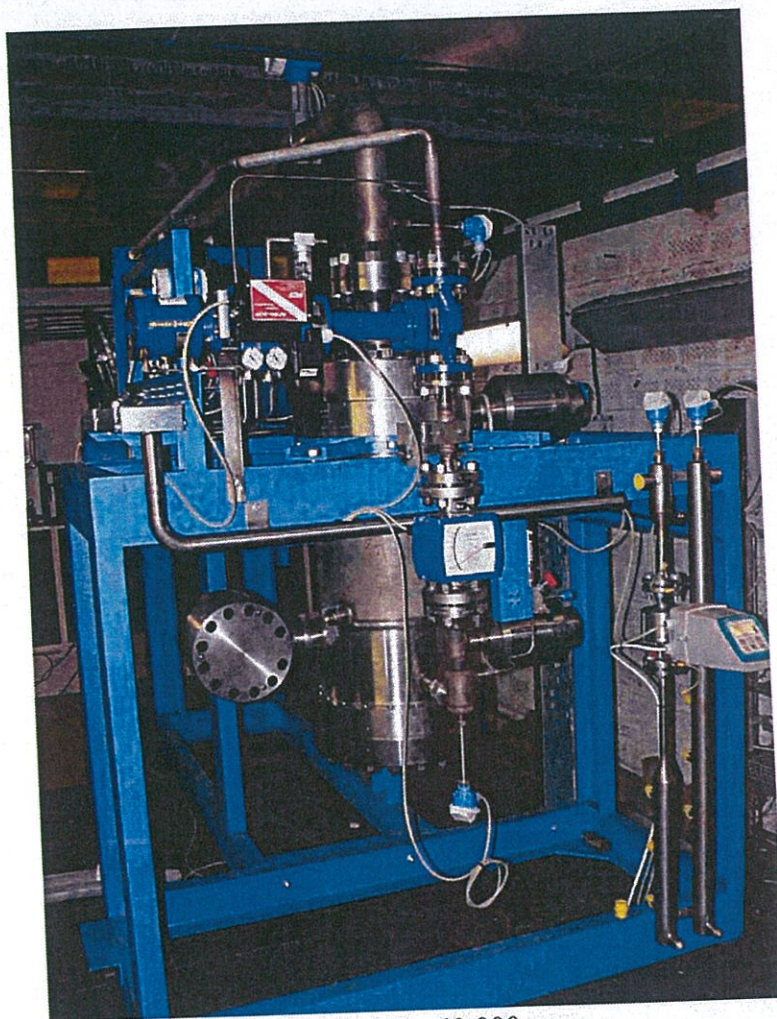
ACMI - USA 2 pcs of TEX 1 kW cooling power (+ design of He liquefier), 2000
Pozn: pracovní teploty He turbostrojů jsou 10 – 300 K, tlaky do 2 MPa

- 2) CERN LHC argon turbo-circulators (TC) ArC 3 and ArC 6.3 kWe, with gas bearings,
1 + 2 pcs delivered till 2010
Parameters: Power 6.3 kWe, 80 000 rpm, outlet pressure 0.32 MPa, Ar + CO₂



TC CERN - ArC 6.3 kWe

- 3) **TC EFDA – F4E** (232 kW, 40 000 rpm) with magnetic bearings – 3 pcs.
 Parameters: Power 232 kW_e, 40 000 rpm, inlet/outlet pressure 8/10.5 MPa, He, 2010
 Turbocirkulátory TC slouží k zajištění cirkulace teplotnosného tlakového He jednotlivými moduly systému jaderné fúze ITER.



TC EFDA- F4E – 232 kW_e, 40 000 rpm

- 4) TC CEA (9 kW, 85 000 rpm) with gas bearings, He + N₂, P_{in} = 7.8 MPa, 2010



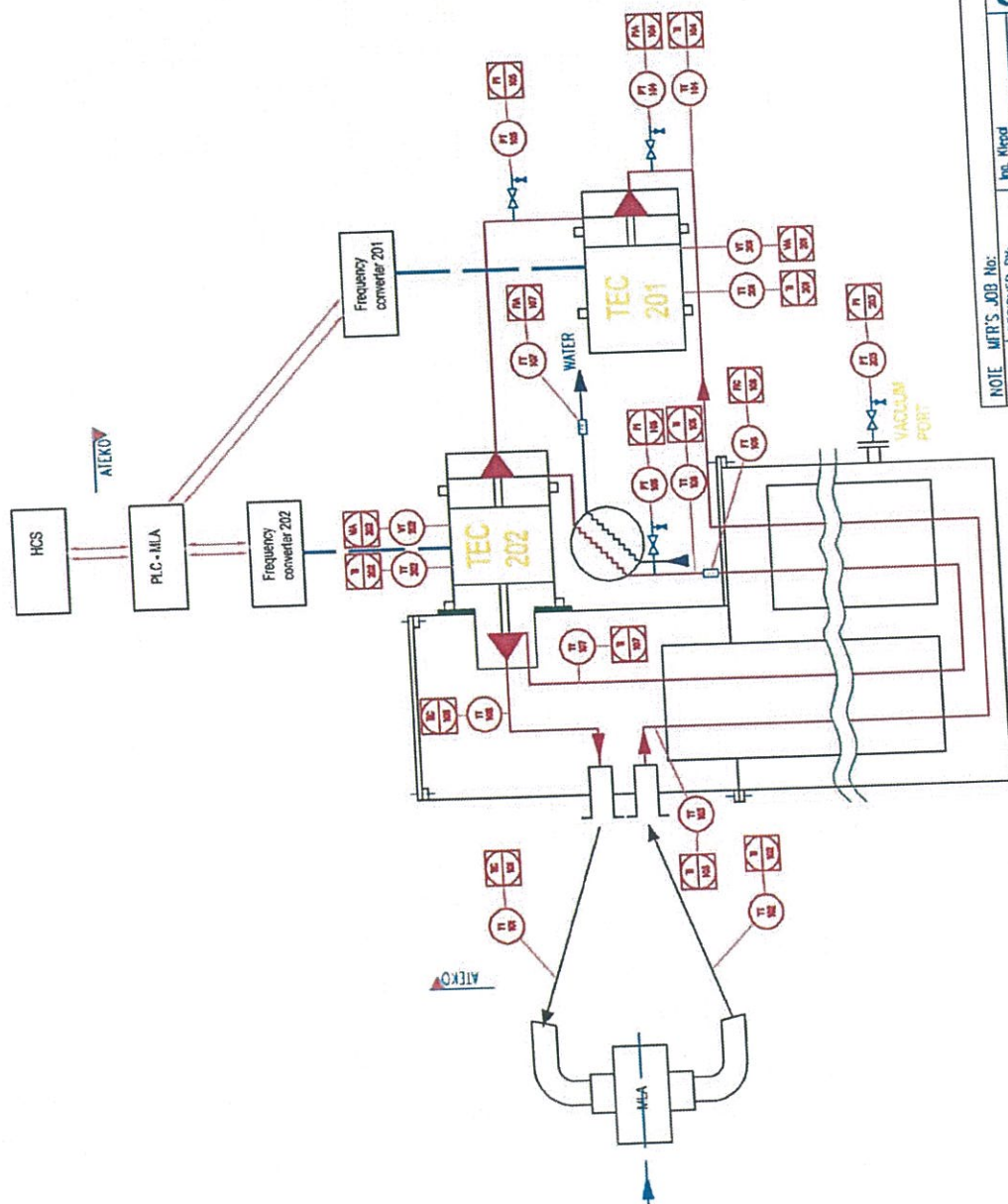
TC CEA – 9 kW, 85 000 rpm

Turbocirkulátor TC CEA slouží k zajištění cirkulace teplotnosného tlakového He (He + N₂) testovacími systémy jaderné fúze.

Připravili: Ing. Pavel Schustr, PhD., Ing. Vladislav Plasil
Technický ředitel: Ing. Martin Vins

10 PŘÍLOHY

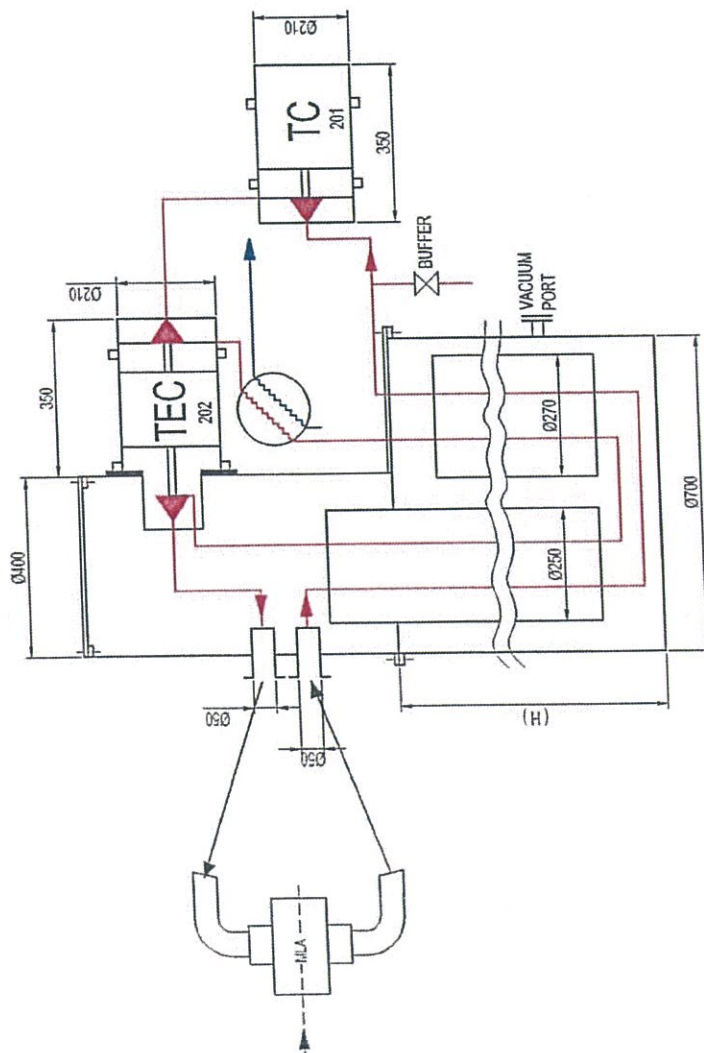
1. P&I Diagram CSB technologie
2. Drawing 03262-1-PI-0176-1
3. Lay Out CBS (Braytonova chladicího systému)



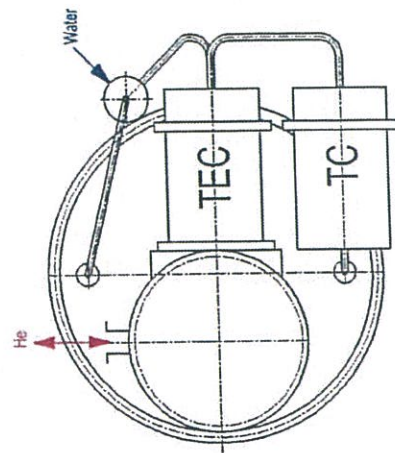
TOTAL NET WEIGHT / kg		SHEET 8	
DESIGNED BY:	Ing. Aljo	DATE	
CHECKED BY:	Ing. S. S. S. S.	SIGNATURE	
APPROVED BY:	Ing. S. S. S. S.	CHANGE	
DISCUSSED BY:	Ing. S. S. S. S.	DRWG No	
DATE:	10 J	SHEETS	7
P&ID - BRAYTON		SHEET 8	
ATEKO a.s.		HRADEC KRÁLOVÉ	

7.16

ROZVINUTÉ SCHEMA BRAYTON



BRAYTON - LAYOUT (Vertical cool box)



NOTE: MFR'S JOB No:		TOTAL NET WEIGHT / kg		REVISION	
SCALE	DESIGNED BY:	Ing. Knap	CHANGE	DATE	SHEET 1
1:10	CHECKED BY:	Ing. Schütz, CSc.			
	APPROVED BY:	Ing. Voj			
	DISCUSSED BY:	Ing. Schütz, CSc.			
	DATE:				
NAME 10 J		DRAWING No		SHEETS 1	
BRAYTON					
ATEKO s.r.o.					
HRADEC KRÁLOVÉ					



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



EVROPSKÁ UNIE
EVROPSKÝ FOND PRO REGIONÁLNÍ ROZVOJ
INVESTICE DO VAŠÍ BUDOUCNOSTI



OP Výzkum a vývoj
pro inovace

Příloha č. 3: Harmonogram plnění Části Díla D1

Y

NABÍDKA Č. 94434/600/2013

NÁZEV: Návrh, výroba a dodávka systému kryogenní chladicí smyčky pro laserovou hlavici typu multislabs s optickým výkonem 100 W

i) Harmonogram dílcího plnění D1

Položka	Popis	Termíny plnění od podpisu smlouvy
1	STUDIE – Koncepční schema - D1a)	2 měsíce
2	Kompletní Basic Engineering včetně výkresové dokumentace, výpočtů a specifikace komponent	5 měsíců
3	Výroba a On Shop test zkušební CSB smyčky – D1b)	8 měsíců
4	Dodání CSB smyčky Zadavateli - D1c)	8 měsíců a 2 týdny
5	Instalace CSB u Zadavatele - D1c)	8 měsíců a dva týdny
6	On Site testy, Final report, všechny dokumenty a protokoly – D1d)	11 měsíců



Příloha č. 4: Seznam klíčových komponent chladící smyčky a jejich ceny

NABÍDKA Č. 94434/600/2013

NÁZEV: Návrh, výroba a dodávka systému kryogenní chladicí smyčky pro laserovou hlavici typu multislabs s optickým výkonem 100 W

j) Seznam klíčových komponent s cenami

Komponenta	Cena bez DPH v Kč
COLD BOX - vakuově izolovaná nádoba	4 260 000,-
Turbostroje TEC a TC	8 766 000,-
Výměník tepla	866 000,-
Systém jemné regulace teploty He	276 000,-
Teplotní, tlaková a průtoková čidla	224 000,-
Systém (Port) pro vakuové čerpání a plnění heliové smyčky	182 000,-
Pojistný přetlakový ventil	65 000,-
Buffer	346 000,-
Vakuované potrubí - izolované přívodní potrubí (kryogenní a "teplé") propojující hlavici zesilovače s chladicím systémem;	2 675 000,-
Řídicí a silový systém lokální elektronický řídicí a diagnostický systém (DACS - Data Acquisition and Control System).	1 380 000,-
CELKEM (plnění D1)	19 040 000,-

Uvedené ceny jsou včetně dokumentace, výroby, zkoušek a instalace u zákazníka.