

Představení projektu - závazná osnova

4. veřejná soutěž program TREND, podprogram 2

1. Cíle projektu

1.1 Cíle projektu

Popis cíle/ů projektu uvedených v elektronickém návrhu projektu, včetně jejich zasazení do kontextu stávajících výzkumných a podnikatelských aktivit uchazeče-koordinátora, případně dalších účastníků. Uveďte také argumentaci o přínosech pro zapojenou výzkumnou organizaci s ohledem na bodované kritérium č. 1 (třetí podkritérium).

Cílem projektu je vyvinout vláknovou optickou zpožďovací linku do formy prototypu (blízké finálnímu výrobku) ze stavu laboratorního vzorku pro aplikace interferometrů a koherentních kombinací laserů. Tento typ zpožďovacích linek je určen pro fázovou modulaci změnou délky optické dráhy v delší vzdálenosti, než akusto-optické modulátory. Aplikace využívající interference pro svoji funkci jako interferometry nebo koherentních kombinace, vyžadují délku kroku kratší jak 10% příslušné/střední vlnové délky, např. pro koherentní záření o vlnové délce 1030 nm je potřeba prostorová rozlišitelnost (délka kroku) v desítkách nm. Pro takto krátkou délku kroku řešení obnáší vytvoření stabilní optické sestavy s jednou pohybovou osou a dostatečně přesné řídicí elektronice.

Pro cíl projektu ve formě prototypu vláknové optické zpožďovací linky parametricky:

Rozsah > 160 ps,

Rozlišení < 1 fs,

Změna útlumu < 1 dB přes celý pracovní rozsah,

Ovládací protokol na vrstvě Ethernet 802.3 a možnost řízení pomocí digitálních vstupů a výstupů DIO.

Firma OptiXs dodává optické a opto-mechanické komponenty pro lasery, lasery a kontrolní zařízení včetně optických a opto-mechanických sestav jako jsou optické zpožďovací linky pro optickou koherentní tomografii s použitím femto-sekundového laseru.

Centrum HiLASE pod Fyzikálním ústavem AV ČR se zabývá vývojem pulzních pevnolátkových laserů s vysokým středním výkonem včetně vláknových laserů, femto-sekundových laserů a výzkumem nových progresivních laserových technologií a aplikací jako je např. koherentní kombinace laserových svazků.

1.2 Naplnění cílů programu

Stručný popis, jak cíle projektu naplňují cíle Programu, především příspěvek ke zvýšení mezinárodní konkurenceschopnosti uchazeče a naplnění některého z VaVal témat příslušné domény výzkumné a inovační specializace dle Karty tematických oblastí RIS3 strategie ČR, ke které se návrh projektu přihlásil (viz bodované kritérium č. 1).

Příspěvek k naplnění hlavního cíle programu TREND:

Hlavním cílem programu TREND je zvýšení mezinárodní konkurenceschopnosti podniků stanovený v doplňující dokumentaci „Program na podporu průmyslového výzkumu a experimentálního vývoje TREND“ v kapitole 6, str. 2. Návrh projektu cílí na experimentální vývoj komponent, které jsou klíčové pro nově a rychle se rozvíjející oblast koherentních kombinací laserů ve fotonice pro získání vyšších středních výkonů, špičkových výkonů a přidáných vlastností. Lasery jsou základním nástrojem automatizace procesů v průmyslových výrobcích, kde významný podíl právě tvoří vláknové lasery. Technologie koherentních kombinací je úzce spojena s vláknovými lasery a posouvá jejich možnosti i do oblastí, kde by jinak nedokázaly poskytnout dostatečnou energii pulzu při omezené délce pulzu. Ukázkovým příkladem je rozvoj využití laserů v automobilovém průmyslu, který začal v 70 letech minulého století použitím CO₂ laserů pro sváření a postupně přešel přes pevnolátkové lasery po dnes dominantně používaných vláknových laserů upevněných přímo na robotické ruce. Pulzní lasery jsou potřeba a nenahraditelnou součástí výroby bateriových balení pomocí sváření se zamezením nežádoucího ohřátí baterie. Zlevnění ceny výroby baterií je v současné době jedním z významných hybatelů zájmu o koherentní kombinace vláknových laserů.

Koherentní kombinace laserů byly teoreticky představeny v roce 2004, ale prakticky dosaženy až o 10 let později i právě díky odborníkům z Fyzikálního ústavu AV ČR, o jejichž práci se opírají při přednáškách i laureáti Nobelovy ceny. V dnešní době, tj. o dalších 6 let později už odborná veřejnost nepochybuje o jejich významu.

V dnešní době se už dá dobře odhadnout, jaký podíl ve výrobní ceně laserových systémů založených na koherentní kombinaci budou mít fázové modulátory – vláknové zpožďovací optické linky a je již jasné, že budou tvořit 25% až 40% celkových nákladů. Z tohoto důvodu je pro zajištění nejlepších podmínek zajistit domácí společnosti a začlenit je do dodávacího řetězce v mezinárodním měřítku. Díky vhodné struktuře českého optického a fotonického průmyslu je možné tyto vazby posilovat a rozšiřovat pro další rozvíjení již vybudovaného postavení v EU a ve světě.

Naplňování vedlejších cílů programu TREND:

Návrh projektu podporuje rozvoj vlastních vývojových aktivit společnosti OptiXs, s.r.o., která svojí velikostí umožňuje napojení na výzkumné aktivity vysokých škol a výzkumných organizací. Přenosem zkušeností a požadavků z výzkumných aktivit hodnocených jako významných v rámci ČR a EU směrem k vývoji MSP se zaciluje vývoj a šetří tak oboustranně náklady a kapacity, a má ekonomickým přínos stimulační růst nejen subjektů zapojených do návrhu projektu..

Přínos pro národní iniciativu „průmysl 4.0“:

Ačkoliv jsou vláknové lasery nástrojem pro robotizaci průmyslu, paradoxně koherentní kombinace vláknových laserů vyžadují vysokou míru automatizace a robotizace-počítačového myšlení pro svoji činnost. V laboratorních podmínkách je možné pro malý počet kombinačních kanálů nastavit jednotlivě vzhledem k počáteční fázi, ale průmyslové systémy nebo velké výzkumné systémy se zcela jistě neobejdou bez automatizace nastavení fází a prediktivní úpravy při změně provozních parametrů (teploty). Tyto systémy budou vyžadovat desítky až tisíce fázových modulátorů. Takové množství se neobejde bez míry automatizace a je potřeba jít této potřebě naproti např. zvolenou formou použitou

právě pro demonstrační projekt „průmyslu 4.0“ pro třízení poštovních zásilek. Pro robotizaci je potřeba zajistit digitalizaci vstupů pro autonomní řízení (digitální otisk), kvalitní komunikaci z detektorů k řídicí části a k efektorům (FODL) použitím vhodných protokolů a rozhraní („průmyslový ethernet“) a strategie pro řízení.

RIS3 – technologické a znalostní domény:

Návrh projektu nejvíce odpovídá znalostní doméně fotonika, ale obsahuje v sobě i prvky z mikro- a nanoelektroniky vyvinuté pro pokročilé výrobní technologie 3D tisku a obrábění. Pomocí kombinací zmíněných znalostních domén a technologií a přípravou formou implementací komunikačních technologií na platformě ethernetu pro průmyslové systémy je možné posunout úroveň výstupu tak, aby umožnila více jak 2x vyšší rozlišení kroku než v současnosti nabízené 1 fs rozlišení od firem Spectra-Physics, OZ Optics a dalších.

NPOV:

Jako hlavní cíl návrhu projektu je zvolena oblast 1. Využití (aplikace) nových poznatků z oblasti tzv. General Purpose Technologies, podoblast 1.1 GPTs pro inovace procesů, produktů a služeb, cíl VaVal 1.1.1 Dosáhnout nových užitečných vlastností produktů s využitím nových poznatků v oblasti GPTs. Důvodem je aplikace mechanických technologií pro atermální uložení optomechanických prvků rozvíjených v oblasti vláknové optiky, pohybových prvků vyvinutých pro vysoce přesné obrábění, elektroniky navržené a široce používané pro aditivní technologie (3D Tisk) a mikroprocesorových platforem vyvinutých pro průmyslové aplikace. Výhodou takového řešení je cenová dostupnost jednotlivých částí díky masové produkci. Demonstračním příkladem jsou třeba elektronické čipy/drivers pro krokové pohony vyvinuté pro 3D Tiskárny, které nabízejí výrazně lepší parametry než drivers 15x až 30x dražší používaných v optice a optomechanice. Dalším příkladem jsou běžně dostupné platformy pro mikroprocesory ATmega s průmyslovými perifériemi jako SPI nebo odolným rozhraním vůči elektro-magnetickému vyzařování včetně procesů zajišťující např. synchronizaci známý pod zkratkou „Průmyslový Ethernet“. Tyto platformy lze dnes pořídit výrazně levněji než PLC zařízení splňující tyto požadavky a vyžadují rovněž výrazně méně prostoru pro zástavbu do zařízení.

Jako vedlejší cíle byly zvoleny 2.1.4 Zvýšit adaptabilitu produktů prostřednictvím interdisciplinárně zaměřeného výzkumu a 2.2.2 Posílit konkurenceschopnost produktů a služeb prostřednictvím zvyšování jejich užitečných vlastností. Tyto cíle jsou nejvíce naplňovány zapojením předmětu návrhu projektu – vývoje, do širšího kontextu výzkumných aktivit prováděných Fyzikálním ústavem AV ČR v centrech HiLASE a ELI Beamlines. Publikované výsledky dosažených s využitím zařízení vyvinutých v projektech aplikovaného výzkumu a vývoje se ukazují za velmi úspěšný marketingový nástroj pro posílení mezinárodní konkurenceschopnosti výsledků.

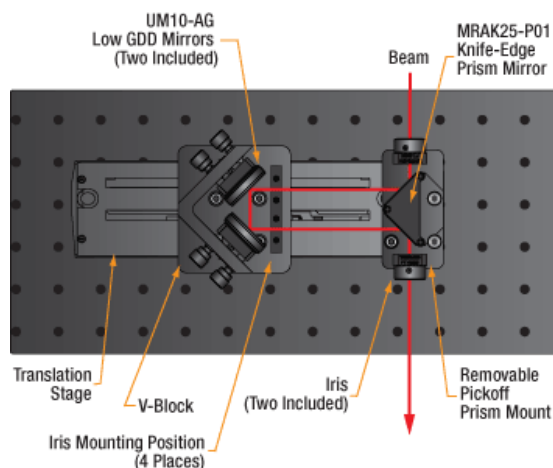
2. Věcná náplň projektu

2.1 Současný stav poznání

Popis aktuálního stavu poznání v dané výzkumné oblasti a dále popis novosti vyvíjeného řešení ve smyslu získání nových poznatků (viz také bodované kritérium Č. 3.)

Fázové modulátory/optické zpožďovací linky jsou vytvářeny pomocí řízeně měnitelné změny času, které světlo musí uletět mezi dvěma body. Tento posun lze realizovat několika metodami:

- změnou teploty u vlnovodného prostředí (optického vlákna), kdy dojde k jeho prodloužení. Zároveň ale dojde i ke změně jeho indexu lomu, který odpovídá objemové roztažnosti. Prakticky potřebujeme pro telekomunikační optická vlákna délku z kolem 1 km, která významně omezuje jejich využitelnost. V praxi je takový modulátor používán jako kompenzace jiných přenosových linek pro přenos přesného času.
- změnou indexu lomu v dielektrickém prostředí. Světlo v obecném prostředí se šíří rychlostí nepřímo úměrné indexu lomu, resp. právě poměrem rychlosti světla ve vakuu k rychlosti světla v daném prostředí je právě index lomu definován. Pro změnu indexu lomu v delším čase se používají piezo-materiály jako LiNbO₃ nebo paratellurit TeO₂. Tyto transparentní materiály v rozumných podmínkách dokáží měnit svůj délku o přibližně mikrometr na milimetr délky v jednom směru, tj. s odpovídající změnou indexu lomu, jsou dobře definované a pro svoje výhody jsou masově používány pro fázovou modulaci v telekomunikacích. Jejich nevýhodou je malá pracovní oblast, která obvykle není delší než vlnová délka světla, pro kterou jsou určeny. Pro změnu indexu lomu v krátkých časových úsecích se využívají akusto-optické modulátory (SiO₂, TeO₂,...) a pro velmi krátké časy pod 1 mikrosekundu pak modulátory založené na změně indexu lomu v důsledku jeho nelineární složky.
- změnou délky optické dráhy pomocí optického prvku(ů) umístěných na lineárním posuvu. Tento způsob fázové modulace má mnoho variant založených na počtu průchodů či variabilní změně délce v závislosti na vlnové délce (tj. disperzní modulátor). Na rozdíl od modulátorů založených na změně indexu lomu poskytuje tento způsob pracovní oblast v délce delší jak mm, ale poskytuje horší fázové rozlišení. Delší pracovní vzdálenost zvyšuje nároky na stabilitu optických prvků a způsob nastavení. Řada aplikací, jako je např. optická koherentní tomografie, by velmi obtížně hledala ekonomickou smysluplnost bez modulátorů založených na změně optické dráhy – optických zpožďovacích linek.



Obr. 1. Funkční uspořádání zpožďovací linky, kde červená linka je znázornění optické dráhy a dvojicí zrcadel na lineárním posuvu

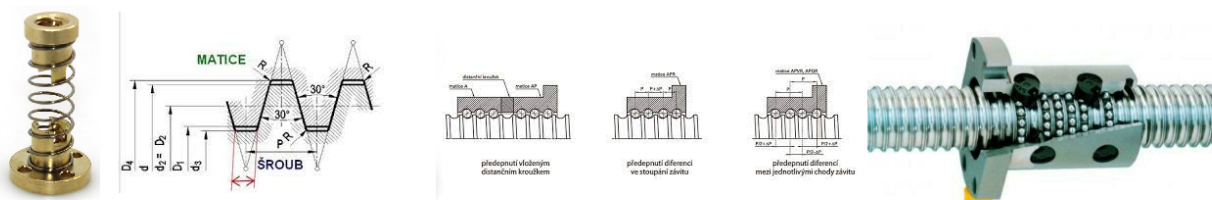
Moderní přístupy a nové metody se snaží z důvodu ceny, stability a komfortu přesunout optické zpožďovací linky do laserových systémů místo jejich původní aplikaci za výstup laseru. Důvodem je použití optických vláken a vláknových zesilovačů uvnitř laserových sestav využívající schématu MOPA (Master Oscillator Power Amplifier) z důvodu stability a rozměrů, případně i vysokému průměrnému výkonu optických zesilovačů.

Optické zpožďovací linky z důvodu lineárního posuvu vykazují horší přesnost než modulátory založené na změně indexu lomu. Jsou založeny na posuvu vozíku po přesném lineárním vedení pomocí šroubu a krokového motoru. Krokový motor je založený na pohybu v krocích a poskytuje 200 nebo 400 kroků na otáčku (krok $1,8^\circ$ nebo $0,9^\circ$). Tyto kroky nazveme celokroky. Pokud je zajištěno držení jeho polohy např. napájením krokového motoru i v době klidu, můžeme provádět i částečné kroky, tzv. mikrokroky. Pomocí mikrokroků je možné zvýšit počet pohybu o 2^N , kde N je přirozené číslo. Rozlišení pomocí celokroků je čistě konstrukční stránka krokového motoru a mikrokroky jsou zase stránka kvality ovládací elektroniky krokového motoru, kterou zjednodušeně nazýváme kontrolérem nebo driverem krokového motoru.



Obr. 2. Ukázky driverů krokových motorů vyvinutých pro 3D Tisk, zleva DRV8825 od Texas Instruments (US, výroba Taiwan), LV8729 od ON Semiconductor (US, výroba v CZ), TMC5161 od Trinamic (DE)

Současné zpožďovací linky využívají driverů, které poskytují nejvýše 32 mikrokroků na celokrok. Další míru nepřesnosti přináší závit šroubu, pohybující s vozíkem. Klasický metrický závit klínového tvaru umožňuje i nechtěný pohyb šroubu uvnitř závitu v osách kolmých ke směru posuvu, proto pro lineární posuvy není vhodný. Pro lineární posuvy se používá trapézový (lichoběžníkový) závit nebo žlábek pro kuličkové vedení. Tyto závity jsou obtížněji vyrobitelné, ale na rozdíl od metrických závitů, mají jasně definované body kontaktu. Protože každý závit musí mít i nějakou vůli umožňující pohyb, používají se pro přesná lineární vedení matice s předpětím formou pružiny mezi dvěma maticemi u trapézového závitu nebo pružinou napínající kuličkový řetěz kolem žlábků v případě kuličkových vedení. Sníží se tak počet dotkových ploch na polovinu, tj. závit se chová, jako kdyby neměl žádnou vůli. Mechanické nepřesnosti jsou u řady výrobců pod 100 nm u šroubů a matic pro přesné lineární posuvy. Mechanické nepřesnosti v lineárním vedení jsou u kvalitních výrobců tak malé, že se ani v rozboru neuplatňují.



Obr. 3. Zleva - předepjatá matice s trapézovým závitem, trapézový závit, kuličkový závit a kuličkový šroub s předepjatým řetězem vpravo

Drivery krokových motorů vyvinuté pro 3D tiskárny dosahují rozlišení až 256 mikrokroků na celokrok a trapezoidní závity se dělají od stoupání 1 mm. Menší stoupání závitu se z důvodu mechanické pevnosti nedělá. Je tak možné tabulkově vytvořit posun, který bude mít délku kroku

$$\text{délkakroku} = \frac{\text{stoupánízávitu}}{\text{celokroky.mikrokroky}} = \frac{0,001}{400.256} = 9,77 \cdot 10^{-9} \text{ m},$$

tj. krok ≈ 10 nm. Jenže je nutné zakomponovat nepřesnosti a teplotní roztažnosti materiálů, díky kterým se bez kompenzací nelze dostat na 200 nm délku kroku u vedení delších jak 50 mm. Konstrukční řešení, které používající prvky přímé teplotní kompenzace, se rozvinuly z důvodu potřeb velmi přesného obrábění a optických komponent. Jedna z variant je použitím materiálu s velmi nízkým koeficientem teplotní roztažnosti jako např. Invaru. V našem případě tento postup nedává smysl, protože nedokážeme ovlivnit výrobu pohybových šroubů. Vhodnější postup je využitím kombinace dvou materiálů s rozdílným koeficientem teplotní roztažnosti pro kompenzaci statické a pohybové části vůči sobě. Používá se kombinace hliníku nebo jeho slitin s vhodnou nerezovou ocelí v závislosti na typu konstrukce. Při správném napočítání je možné se dostat i na teplotně necitlivé řešení v rozsahu 10°C až 50°C a dostat se na přesnosti na úrovni mechanických přesností pohybového šroubu pod 100 nm.

Další možností kompenzace je aktivní kompenzace s využitím piezo-keramického prvku s napětím řízeným zpětnovazebně podle teploty a aktuální pozice.

Při složení dvou vln se stejnou frekvencí nám vznikne vlna o stejné frekvenci. Můžeme pro popis vlivu chyby kroku vyjít z matematického popisu a vyjádřit si vlnu vzniklou interferencí (součtem) dvou vln:

$$f(t) = C \cdot \sin(\omega \cdot t + \varphi) = A \cdot \sin(\omega \cdot t) + B \cdot \sin(\omega \cdot t + \theta)$$

, kde ω je úhlová frekvence záření, A, B a C jsou amplitudy jednotlivých vln, θ je fázový rozdíl vln od sebe a ϕ je fázový posuv oproti první vlně, pak jednoduchou úpravou goniometrické rovnice dostaneme:

$$\text{tg}(\varphi) = \frac{B \cdot \sin(\theta)}{A + B \cdot \cos(\theta)}$$

$$C^2 = A^2 + B^2 + 2 \cdot A \cdot B \cdot \cos(\theta)$$

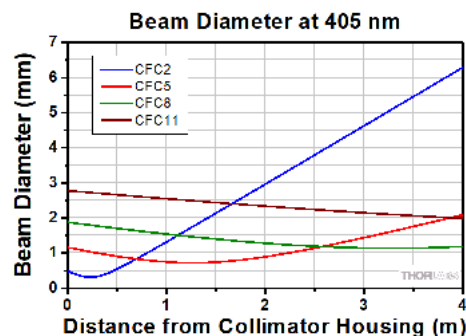
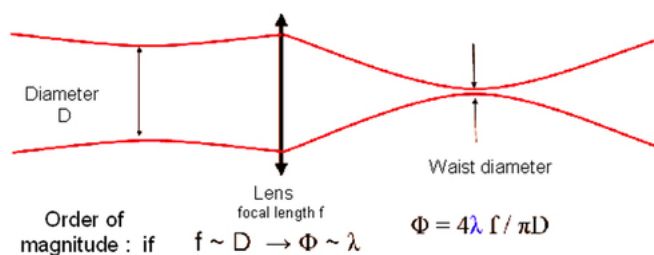
Pokud bude θ fázový posuv roven sudým násobkům π , bude amplituda dosahovat maxima, tj. půjde o konstruktivní interferenci, naopak pro θ odpovídající lichým násobkům π bude amplituda minimální, tj. půjde o destruktivní interferenci. Největší chyba pak nastane, kdy reálná poloha je o polovinu kroku posunuta od ideální polohy.

Vliv chyby kroku na amplitudu konstruktivní interference pro záření o vlnové délce 1550 nm								
Délka kroku [nm]	0	10	20	50	100	140	300	775
Fázový posuv [rad]	0,000	0,020	0,041	0,101	0,203	0,284	0,608	1,571
Amplituda C [%]	200,00%	199,99%	199,96%	199,74%	198,97%	197,99%	190,83%	141,42%
Vliv chyby kroku na amplitudu destruktivní interference pro záření o vlnové délce 1550 nm								
Délka kroku [nm]	0	5	10	20	50	100	140	775
Fázový posuv [rad]	3,142	3,152	3,162	3,182	3,243	3,344	3,425	4,712
Amplituda C [%]	0,00%	1,01%	2,03%	4,05%	10,13%	20,23%	28,28%	141,42%

Tab. 1. Interference dvou vln o stejné amplitudě a frekvenci

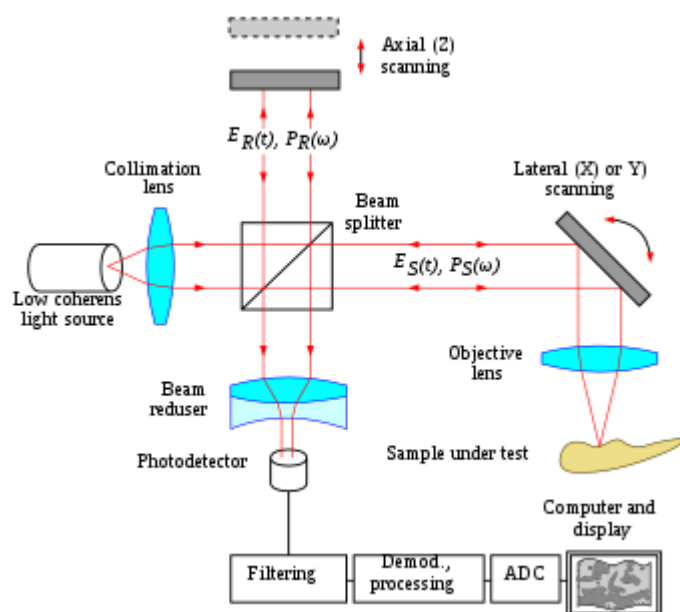
Z tabulky 1. je vidět, že nejvíce citlivé jsou aplikace pracující s destruktivní interferencí. V případě uvažování 1% meze je pak zřejmé, že pro konstruktivní interferenci je potřeba pro vlnovou délku 1550 nm délka kroku nejvýše 150 nm a pro destruktivní interferenci by jeden krok musel odpovídat teoretickému maximu 10 nm.

Posledním bodem, na který se při návrhu bude brát zřetel, je i co nejlepší uniformita vložného útlumu, tj. změny vložného útlumu po celé pracovní délce, která by měla být co nejmenší. Z tohoto důvodu je potřeba pracovat s kolimovaným svazkem (rovnoběžným svazkem). Z optického vlákna vychází kuželový svazek, který má sinus úhlu od kolmice roven numerické apertuře optického vlákna. Tento kuželový svazek je spojkou převeden v kolimovaný svazek. Protože neexistuje ideálně bodový svazek a každý reálný svazek bude mít svoji divergenci, je potřeba navrhnout kolimátor s maximální pracovní vzdáleností odpovídající možnosti rozsahu vymezené lineárním posuvem.



Obr. 4. Práce s Gaussovým svazkem – pracovní vzdálenost kolimátoru

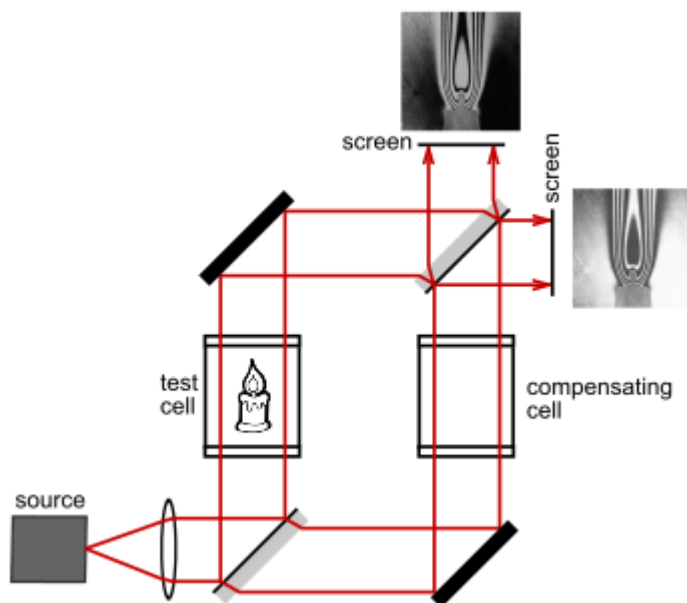
Optické zpožďovací linky jsou nejvíce používané pro aplikace pracující s interferencí elektromagnetického záření. Okrajově se používají i při přenosu přesného času. Jejich cílem je fázově modulovat v rozsahu výrazně větším, jak pracovní vlnová délka. Umožňuje nám to měřit změny indexu lomu, které indukují změnu fáze, ve velkém rozsahu. Tyto interferometrické aplikace pracují buď v sestavě Michelsonova interferometru,



Obr.1 Optická koherentní tomografie v sestavě Michelsonova interferometru

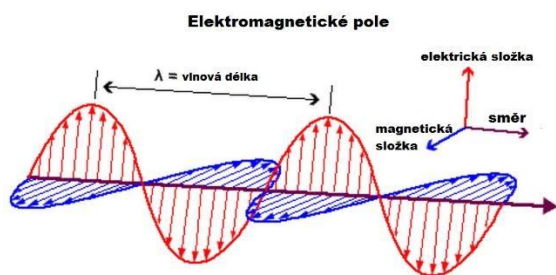
jako v případě optické koherentní tomografie na obr.1. pro povrchovou analýzu vzorku nebo v sestavě Mach-Zehnderova interferometru na obr.2. pro hloubkovou strukturální analýzu nebo proudění plynů. Existuje velká řada aplikací využívajících obdobných zapojení jako spektrální měření na základě Fourierovy transformace, laditelné lasery, atd.

Hlavní výhodou interferenčních měření je jejich rozlišení blízké pracovní vlnové délce resp. schopnosti interferometru rozlišit díl vlnové délky. Toto rozlišení je dáno schopností detektoru/kamery v řezu měřit rozdíly intenzit v jednotlivých bodech řezu a tloušťkou řezu dané rozlišením změny optické délky u referenčního ramena. Změna optické délky je prováděna pomocí prodlužování/zkracování vzdálenosti zrcadla v případě Michelsonova interferometru resp. dráhy vymezené posuvem hranolu nebo změnou vzdálenosti vláknových kolimátorů v případě Mach-Zehnderova interferometru.



Obr.2. Analýza proudění horkých plynů pomocí Mach-Zehnderova interferometru

Jedním z omezení optických zpožďovacích linek pro OCT aplikace je potřeba znalosti absolutní vzdálenosti, která se buď měří dalším interferometrem, nebo se složitě dopočítává při použití referenčního vzorku. OCT se používá pro analýzu vzorků, které mohou mít tloušťku > 50 mm a < 1000 mm, tj. přepočtené na čas, který potřebuje světlo, aby tuto vzdálenost urazilo ve vakuu 166 ps až 3333 ps.



Obr. 3. Elektromagnetická vlna tvořena elektrickou a magnetickou složkou

Novou důležitou technologií pro zpožďovací linky jsou technologie koherentních kombinací laserových svazků pro získání vyššího výkonu nebo vyšší energie v pulzu, které byly poprvé teoreticky představeny v roce 2004 a úspěšně poprvé demonstrovány před 10 lety.

Celá myšlenka vychází z toho, že z laserového zdroje vychází elektromagnetické vlnění tj. série elektromagnetických vln, které můžeme popsat pomocí elektrické intenzity E popsat:

$$\vec{E}(z, \omega, t) = \vec{E}_0 e^{-\alpha z} e^{-j(\omega t + \varphi)}$$

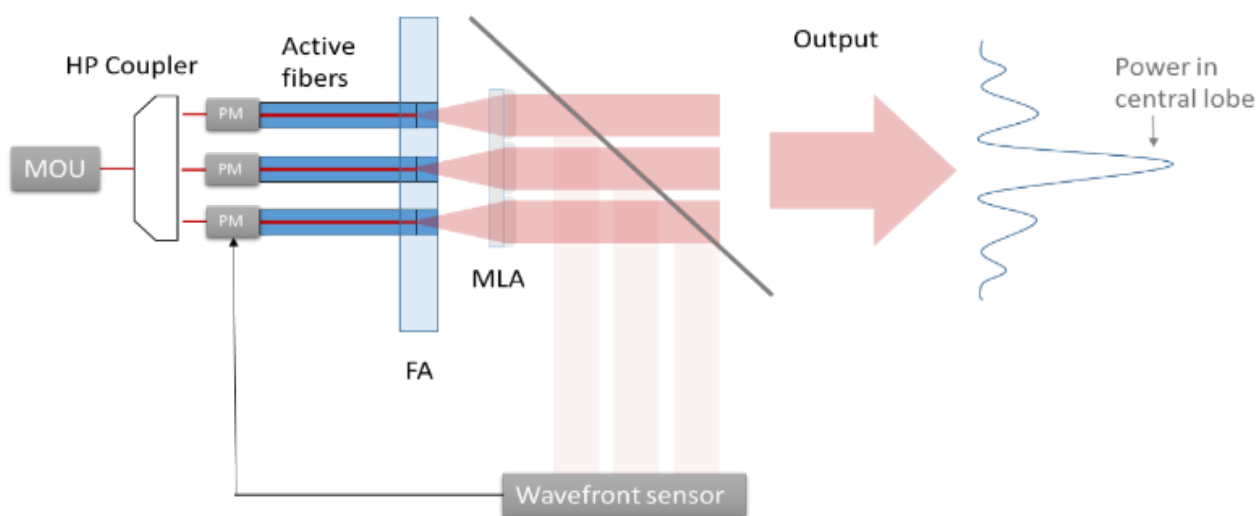
, kde z je vzdálenost od zdroje, ω je úhlová frekvence, fázový posuv φ a t je čas.

Vlnění z bodového zdroje pak:

$$\vec{E}(z, \omega, t) = \sum_{n=1}^N \vec{E}_{0n} e^{-\alpha z} e^{-j(\omega_n t + \varphi_{0n})}$$

Z popisu je patrné, že elektromagnetické vlnění je pak možné rozdělit podle úhlové frekvence ω , fázového posunu (času dopadu vlny na dělicí rovinu) φ a vektorem počáteční elektrické intenzity \vec{E} prostorově kolmo na směr šíření elektromagnetické vlny a polarizací, tj. stočením kmitů. Pokud signál takto rozdělíme, můžeme jednotlivé složky zesílit a opačně sloučit. Takovému postupu říkáme koherentnímu kombinování (koherentnímu přidávání). Aby ale signál z více složek bylo možné opět sloučit do jedné složky, musíme zajistit, že po dopadu na dělič se budou šířit stejným směrem, že budou mít stejně stočený vektor \vec{E} polarizace a elektromagnetické vlnění bude mít v místě děliče stejnou fázi, tj. budou mít ideálně nulový fázový posuv φ vůči sobě.

Výkon, který pak pozorujeme a měříme, je přímo úměrný kvadrátu elektrické intenzity v důsledku Maxwellových rovnic.



Obr.4. Architektura amplitudového koherentního kombinování velkého rozsahu demonstrována v roce 2013 v projektu X-CAN, signál z master oscilátoru MOU je rozdělen výkonovým děličem HP Coupler, následně je zpětnovazebně přednastavena fáze ve fázových modulátorech PM na základě údajů ze senzoru vlnoplochy Wavefront a pak sérií vláknových zesilovačů zesílena a přivedena do prostorového děliče realizovaného přesným vláknovým polem FA a mikro-čočkovým polem MLA.

Pokud si představíme, že jeden takový laserový systém ve variantách používaných ve výzkumu (extrémní konfigurace) může být rozdělen i na několik tisíc složek, je nutné už od začátku uvažovat, jakým způsobem bude prováděna korekce fáze jednotlivých laserových svazků, aby mohla vzniknout koherentní kombinace. Na začátku se pravděpodobně nepůjde vyhnout nastavování fázových posuvů jednotlivých zesilovacích kanálů oproti referenčnímu. Pokud by trvalo 10 s, potřebovali bychom skoro 17 hodin na každých tisíc zesilovacích kanálů. Proto je potřeba už od

začátku si připravit konstrukci, která umožní nastavení po startu a optimalizaci během provozu jinou formou, dostatečně vhodnou pro automatizaci. Ze znalosti chování systémů v závislosti na teplotě, na produktech interference záření změřeném vhodnými detektory a převedené do digitální podoby – tj. vytvoření digitálního otisku systému, bude možné aplikovat procesy robotiky a expertního systému pro „intuitivní“ doladění laserového systému. Pro redukci délky korekčních cyklů bude důležitá i velká míra paralelizace vyžadující pracovat s velkým množstvím dat, tj. logickým předpokladem je kvalitní komunikační rozhraní. Zařízení optických zpožďovacích linek od všech současných výrobců jsou pro tyto účely nevhodné. Vyžadovaly zbytečně drahé datové agregátory (PLC) připojené pomocí digitálních vstupů a výstupů DIO. Rozhraní USB nebo RS-232 jsou pro tyto účely nevhodné – nejsou vhodné pro průmyslové prostředí a neumožňují škálovatelnost. Vhodné se jeví rozhraní podle IEEE 802.3 Ethernetu, kdy jednotlivé detektory a efekty je možné připojit rychlostmi 100 Mbps a optimalizovat propustnost budoucího řídicího systému např. zvýšením přenosových rychlostí v páteřní oblasti na 1 Gbps nebo 10 Gbps, nebo paralelizací kontrolních procesů.

Množství optických zpožďovacích linek pro koherentní kombinace laserových svazků si rovněž vyžádá i uložení jednotlivých linek do organizovaných celků. Jako osvědčené řešení, které se ve velkém používá už i ve výzkumu, je uložení do 19" rozvaděčů. Kromě potřeby, aby zařízení bylo možné zabudovat do interferometrických zařízení OEM nebo provozu v laboratorních podmínkách (na stole či na polici), bude prototyp vybaven mechanickými prvky pro upevnění ve skříních 19" rozvaděčů. Tyto skříně zvyšují nároky na odolnost proti vibracím a teplotě, které musí být zohledněny v testování funkčního vzorku a prototypu. Největším zdrojem vibrací v takovém prostředí jsou ventilátory, které produkují frekvence mezi 500 Hz až 5 kHz. Tyto vibrace se dají výrazně lépe tlumit, než frekvence pod 10 Hz. Zároveň vliv nižších vibrací z důvodu kratších konstrukčních vzdáleností bude výrazně potlačen, proto návrh řešení se bude zabývat vlivem spíše vyšších vibrací na amplitudu přenášené vlny (vložený útlum).

Jak amplitudová stabilita, tak rozlišení kroku bude měřeno pomocí jednoduchého M-Z interferometru nastaveným do pozice destruktivní interference poskytující nejvyšší přesnost měření sestaveného v rámci projektu. M-Z interferometr bude postaven s využitím zdroje na vlnové délce 1550 nm s koherenční vzdáleností delší, jak 300 mm. Pro tuto vlnovou délku jsou výrazně levnější a dostupnější součástky.

2.2 Obdobné a související projekty, výzkumné záměry a výsledky

Seznam projektů, se kterými by mohl být návrh projektu duplicitní a vymezení se k těmto možným duplicitám.

Řešitelské týmy neřeší a nepodávají žádný identický/duplicitní návrh projektu.

V centrální evidenci projektů CEP nebyl nalezen žádný duplicitní projekt. Podobnou tematiku řeší v řadě dalších oborů za využití jiných metod než optické zpožďovací linky.

Optické zpožďovací linky jsou využívány 50 let a ve vláknovém provedení 40 let. Z obecnosti postupu proto nemá smysl provádět patentovou rešerši na způsob, protože první patent byl podán již v roce 1981 podle databáze Espacenet. V databázi patentů je dále řada patentů využívající vláknové zpožďovací linky pro radary, komunikace a měření.

2.3 Věcná náplň projektu včetně etap řešení projektu

Přehledná věcná náplň projektu rozdělená na etapy a na jednotlivé roky řešení s podrobným popisem etap řešení projektu a jejich zajištění účastníky projektu, včetně způsobů (metod) dosažení cílů projektu; činnosti, které zajistí

uchazeč-koordinátor ve vlastní režii, spolupráci s dalšími účastníky projektu, nebo které bude řešit s využitím subdodávek od jiných organizací.

Návrh řešení obsahuje 3 etapy po kalendářních letech.

Etapa I 2022 - Design

Cílem etapy je vytvoření dílčích výsledků HW FODL, optické sestavy a optomechanické sestavy.

HW FODL – je hardware řídící jednotky obsahující vhodný mikrokontrolér a periférie zajišťující připojení pomocí DIO, USB a RJ-45 (Ethernet).

Optická sestava – je návrh vláknových kolimátorů pro vybrané vlnové délky včetně výrobních možností.

Optomechanická sestava – jsou dva optomechanické manipulátory pro vláknový kolimátor zajišťující vzájemné navázání vláknových kolimátorů.

Během této etapy bude sestavován interferometr pro změření délky kroku. Bude proveden optický návrh sestavy s ověřením v laboratorních podmínkách, otestovány drivery krokových motorů od různých výrobců a budou testovány lineární pohyby a pohybové šrouby na přesnost provedení. Zároveň bude dokončen návrh elektroniky, mechanický design včetně volby materiálů podle výsledku teplotního modelu a zvolený způsob teplotní kompenzace.

Etapa II 2023 – Funkční vzorek

Cíl etapy je vytvoření funkčního vzorku FODL, tj. demonstrátoru, který bude podroben zkouškám s cílem zjištění jeho chování včetně testování na citlivosti na vibrace a teplotního cyklování. Během řešení vzniknou další dílčí výsledky SW FODL a mechanická sestava. Během této etapy začne příprava měřících metod pro poloprovoz v prostorách OptiXs.

Etapa III 2024 – Poloprovoz a jeho ověření prototypem (6 měsíců):

Cíl etapy je převod výsledku funkčního vzorku do stavu prototypu včetně jeho možné sériové výroby (poloprovoz). Bude dokončena technická dokumentace a podpůrné činnosti pro transfer technologie.

Ověření prototypu FODL bude provedeno formou demonstrátoru cílené technologie pro komercializaci výsledku, aby tyto výsledky mohly být prezentovány cílové skupině pro implementační část po skončení projektu – vědecké komunitě formou přednášek na prestižních konferencích výsledků s využitím vyvinutého FODL.

Činnosti v etapách je možné více rozdělit do aktivit pro lepší plánování a řízení činností v projektu.

	2022				2023				2024	
	1Q	2Q	3Q	4Q	1Q	2Q	3Q	4Q	1Q	2Q
Optixs	Výběr dodavatelů									
	Testování el.součástek									
			Návrh elektroniky (HW)							
			Řídící SW							
							Sestavování kompletovacího pracoviště			
HiLASE	Návrh optické sestavy								Ověření prototypu	
	Návrh optomechaniky									
			Návrh mechanického řešení lin.posuvu							
							Test FVZ			
								CDR		
									Tech. Transfer	

Tab. 2. Zjednodušený Ganttův diagram

Začátek projektu 1.1.2022, konec řešení 31.12.2023

Činnosti OptiXs:

Výběr dodavatelů – zajištění vstupů do projektu včetně smlouvy s poskytovatelem, poptání vhodných dodavatelů s upřednostněním českých dodavatelů, doba 6 měsíců, bez předchozí návaznosti.

Testování el. součástek – nákup a ověření vhodných elektronických součástek (mikrokontroléru a periférii) pro návrh elektroniky, doba 3-6 měsíců, bez předchozí návaznosti.

Návrh elektroniky (HW) – návrh el. schématu obsahující mikrokontrolér a periférie, převod do PCB a jeho výroba, doba 6 měsíců, návaznost na testování el. součástek, dílčí výsledek HW FODL.

Řídící SW - vývoj řídicího SW kontroléru s implementací vhodného protokolu pro „průmyslový ethernet“, doba 12 měsíců, návaznost na testování el. součástek, dílčí výsledek SW FODL.

Sestavování kompletovacího pracoviště – vybudování výrobních a měřicích sestav pro sériovou výrobu, sepsání technologických postupů a plánu pracoviště, doba 12 měsíců, návaznost na Návrh elektroniky (HW) + Návrh optomechaniky + Návrh mechanického řešení lin. posuvu, výsledek cíl projektu – Ověřená technologie FODL.

Ověření prototypu – zkušební výroba prototypu podle postupů ověřené technologie FODL a jeho finální otestování, délka 6 měsíců, výsledek cíl projektu – prototyp FODL.

Činnosti HiLASE

Návrh optické sestavy – spočítání ideálních parametrů kolimátoru podle dostupných optických prvků a jejich objednání v ČR, doba 6 měsíců, bez návaznosti, dílčí výsledek optická sestava.

Návrh optomechaniky – návrh optomechanických prvků umožňující nastavení kolimátoru v osách x, y a z a naklonění v horizontální a vertikálním směru pro statickou stranu a s možností naklonění v horizontálním a vertikálním směru pro upevnění na vozíku lineárního posuvu, doba 9 měsíců, bez návaznosti, dílčí výsledek optomechanická sestava.

Návrh mechanického řešení lin.posuvu – zjištění teplotní roztažnosti konstrukčních prvků, modelování jejich roztažnosti a mechanický návrh lineárního posuvu s teplotní kompenzací včetně jeho výroby, doba 12 měsíců, návaznost na optickou sestavu a výběr dodavatelů, dílčí výsledek mechanická sestava.

Test FVZ – sestavení optické, optomechanické a mechanické sestavy s řídicí elektronikou (HW+SW) a její testování včetně teplotního cyklování a vibračních testů, délka 3 měsíce, návaznost na návrh optické sestavy + návrh optomechanické sestavy + návrh mechanického řešení lin. posuvu + návrh elektroniky (HW) + řídicí SW, výstup funkční vzorek FODL.

CDR – kritické zhodnocení návrhu funkčního vzorku FODL a návrhy na jeho úpravu včetně technologických postupů, délka 3 měsíce, návaznost na Test FVZ.

Tech.transfer – podpora převodu řešení do výroby, délka 6 měsíců, návaznost na CDR, během této fáze bude rovněž sestaven demonstrační experiment využívající FODL pro koherentní kombinaci svazků.

2.4 Způsobilé náklady

Přehledný návrh výše způsobilých nákladů projektu v členění na kategorie nákladů za celý projekt a také v členění na jednotlivé účastníky projektu, na průmyslový výzkum a experimentální vývoj a na jednotlivé roky řešení; uvedeno bude také členění nákladů podle jednotlivých etap projektu; podrobné **zdůvodnění výše a jednotlivých kategorií způsobilých nákladů** (náklady, které nebudou zdůvodněné, nemohou být poskytovatelem uznány) musí být uvedeno za každého účastníka tak, že bude zřejmá výše nákladů v kategoriích uvedených ve Všeobecných podmínkách, článku 17, navíc **kategorie “ostatní přímé náklady” musí být rozepsána na podkategorie dle článku 17, bodu 6, písmena a) až e).** (Pozn. s tím, že na náklady odpovídající písm. c) a d), tj. na běžné opravy a údržbu majetku ... a část ročních odpisů DHM/DNHM ... lze pohlížet jako na jednu podkategorii bez nutnosti rozlišování těchto dvou součástí.)

Zároveň je nutno dostatečně popsat a případně doložit, jakým způsobem budou zajištěny vlastní zdroje účastníků projektu na financování nákladů projektu, které nepokryje poskytnutá podpora ze státního rozpočtu.

Náklady jsou uvedeny v elektronické verzi přihlášky v systému ISTA. V případě odchylky mají přednost náklady v ISTA.

OptiXs			
	2022	2023	2024
Osobní náklady	2 007 360 Kč	2 107 728 Kč	1 106 557 Kč
Subdodávky	- Kč	- Kč	- Kč
Materiálové náklady	470 000 Kč	305 000 Kč	100 000 Kč
Náklady na IPR	- Kč	- Kč	- Kč
Režie	619 340 Kč	603 182 Kč	301 639 Kč
HiLASE			
Osobní náklady	1 672 236 Kč	2 418 005 Kč	1 483 245 Kč
Subdodávky	- Kč	- Kč	- Kč
Materiálové náklady	600 000 Kč	320 000 Kč	120 000 Kč
Náklady na IPR	- Kč	- Kč	- Kč
Režie	568 059 Kč	684 501 Kč	400 811 Kč

Návrh projektu řeší zařízení potřebné pro průmyslový výzkum, ale jehož činnost je již dobře známá. Parametry kladené na zařízení FODL a použité metody jsme shodně vyhodnotili jako činnosti experimentálního vývoje. Proto jsme všechny činnosti shodně označili za 100% experimentální vývoj.

Činnosti v roce 2024 jsou naplánovány pouze na prvních 6 kalendářních měsících.

Osobní náklady za OptiXs a HiLASE odpovídají průměrným mzdám podle <https://www.platy.cz/partner/region/praha> pro region Praha. Počty člověkohodin jsme odhadli na základě zkušeností s obdobným vývojem a podle svého nejlepšího uvážení.

Náklady na subdodávky nebo služby za OptiXs a HiLASE nejsou v projektu vyžadovány. Nezjistili jsme žádnou část, kterou bychom museli zadat externě.

Náklady na IPR za OptiXs a HiLASE nejsou v projektu vyžadovány, protože dominantní část návrhu stojí na Know-how.

Režie za OptiXs a HiLASE je shodně zvolená fixní sazbou 25%.

Materiálové náklady za OptiXs, každá etapa odpovídá jednomu kalendářnímu roku:

Etapa I 2022 - Design:

Mechanika

- přesné lineární posuvy + pohybové šrouby 40 tis.
- ložiska a uložení pohybových šroubů 10 tis
- krok.motory NEMA8 1.8°, NEMA17 1.8°, NEMA17 0,9° 20 tis.

Elektronika

- drivery krok.motorů 10 tis.
- el.součástky 15 tis.
- výroba PCB 10 tis.
- LD/TEC drivery 2ks 142 tis.
- detektory InGaAs, Ge 128 tis.
- vývojová sada mikročipu (ATMega) 5 tis.

Elektromechanika

- piezo keramika průchozí 30 tis.

SW

- vývojové prostředí nákup licence 60 tis.

Etapa II 2023 – Funkční vzorek, příprava ověřovací sestavy:

Optika

- Iris, zrcadla, čočky 15 tis.

Optomechanika

- Optický stůl + příslušenství 80 tis.

Optoelektronika

- SF DFB dioda 90 tis.
- SWIR Kamera 20 tis.

Optomechanika

- Mounty a posty 40 tis.

Elektronika

- PCB 20 tis.
- el.součástky 10 tis.

Mechanika

- výroba vnějšího pouzdra pro zařízení FODL pro uložení na stole/v rozvaděči 30 tis.

Etapa III 2024 – Poloprovoz a jeho ověření prototypem:**Mechanika**

- CNC výroba (bez SW) 20 tis.

Optika

- Kolimátory (bez customizace) 20 tis.

Elektronika

- měřicí zařízení (lab.zdroje, dig.osciloskop, gen.funkcí) 60 tis.

Materiálové náklady za centrum HiLASE, každá etapa odpovídá jednomu kalendářnímu roku:

Etapa I 2022 - Design:**Optika**

- kolimátory FC/PC 1030/1550/2000 nm) 10ks 74 tis.
- SF DFB 1550nm laserova dioda 1ks 190 tis.
- PBS vláknový 1550 6ks 105 tis.

Optomechanika

- kinematické mounty 5A,6A, translační XY,adaptéry 213 tis.

Elektronika

- El.součástky 18 tis.

Etapa II 2023 – Funkční vzorek:**Optika**

- kolimátory na míru (SQS Vláknová optika) 120 tis.

Mechanika

- CNC výroba 190 tis.

Elektronika

- Piezo+60V booster 5 tis.
- PCB, el.součástky, osazení 5 tis.

Etapa III 2024 – Poloprovoz a jeho ověření prototypem:**Mechanika**

- CNC výroba (nástroje pro justáž) 30 tis.

Optika a optomechanika

- Demonstrační sestava s využitím FODL 90 tis.

2.5 Účinná spolupráce (povinná kapitola jen pokud je v projektu účinná spolupráce deklarována)

V případě, že řešení projektu naplňuje podmínky účinné spolupráce, uchazeč uvede, jakým způsobem je naplněna, zejména jakým způsobem jednotliví účastníci společně stanovili rozsah projektu, jak budou přispívat k jeho realizaci a sdílet jeho rizika a výsledky.

Návrh projektu bude řešen v účinné spolupráci mezi výzkumnou organizací Centrum HiLASE, Fyzikální ústav AV ČR, v.v.i. a soukromou společností Optixs, s.r.o. S výhodou budou využity kapacity a možnosti VO a MSP umožňující sériovou výrobu za dostupnou cenu. Centrum HiLASE využije své zkušenosti a know-how z vývoje mechaniky a opto-mechaniky pro lasery a jejich nastavování. Společnost Optixs má zase výborné zkušenosti s integrací mechanických a opto-mechanických prvků do celků požadovaných zákazníky. V projektu předpokládáme dva hlavními výsledky, a to prototyp vláknové zpožďovací linky (ve formě typu výsledku G Prototyp) a technologie včetně postupů pro jeho výrobu v sériích (typ výsledku Z – ověřená technologie).

Hlavní výsledek prototyp vláknové zpožďovací linky se bude skládat ze 2 hlavních dílčích sestav – výsledků a těmi jsou opto-mechanická sestava a optická sestava (vyvinutá Centrem HiLASE) a lineární mechanika spolu s kontrolní elektronikou a software řídicí elektroniky (vyvinuté společností Optixs, s.r.o.).

Pro využívání výsledku prototypu vláknové zpožďovací linky a budoucí komerční sériovou výrobu bude nezbytné nabití licenčních společností Optixs, s.r.o. práv ke všem dílčím výsledkům, které bude řešit „Smlouva o využití výsledků“.

3. Výsledky a předpokládané přínosy projektu

3.1 Uplatnění výsledků v praxi

Stručný popis způsobu uplatnění výsledků projektu (kdo, jak, na jakém trhu) ve smyslu provázání uplatnění konkrétních výsledků uvedených v elektronickém návrhu projektu v záložce 5. VÝSTUPY/VÝSLEDKY PROJEKTU s potenciálem jejich uplatnění doloženým podrobně samostatnou přílohou (potenciálem uplatnění / analýzou trhu – příloha č. 2 Zadávací dokumentace).

Podrobnější plán je popsán v příloze č.2 Doložení uplatnění výsledků.

Během 3 let po skončení projektu bude cílová skupina vědecká komunita. Velikost tohoto trhu s možným průnikem mimo vnitřní potřebu Fyzikálního ústavu je relevantní k celkovým nákladům projektu. Zároveň se vytvoří dobré podmínky pro OEM dodávky výrobcům laserů, kde očekáváme větší vývojové činnosti s odstupem 2 let od vědecké komunity (pod 2 lety od skončení projektu). Obě tyto skupiny lze oslovit jak pomocí přednášek a prezentací na veletrzích, tak pomocí distribučních sítí, které používají.

Jako vhodné distribuční sítě považujeme Thorlabs pro USA a EU, Edmund pro UK a EU a OptoSigma (SigmaKoki) pro Japonsko a Jižní Koreu.

3.2 Ekonomické přínosy projektu

Předpokládané ekonomické přínosy projektu v 1. až 5. roce po ukončení jeho řešení, jak se projeví u uchazeče, u dalších účastníků projektu, popřípadě u všech ostatních uživatelů výsledků projektu; popis přínosů rozvede základní údaje uvedené souhrnně v tabulce Ekonomických přínosů (příloha č. 3 Zadávací dokumentace); pokud je to možné, bude schopnost ekonomicky využít výsledky projektu doložena na příkladu dříve řešených projektů uchazeče v programech poskytovatele (případně v jiných realizovaných projektech výzkumu a vývoje) nebo poptávkou / vyjádřením zájmu budoucích odběratelů / uživatelů.

Č.j. TACR/11-3/2021

Hlavní skupiny zákazníků budou jednak výzkumné instituce, zabývající se vývojem laserů a přístrojové techniky a dále firmy z oblasti výroby a vývoje OCT, interferometrie a dále firmy vyrábějící laserové zdroje, které budou komercializovat výrobu laserů na bázi koherentních kombinací.

Ohledně předpokládaného vývoje objemu prodeje můžeme konstatovat, že jenom odhad vnitřních potřeb tuzemského Fyzikálního ústavu je až 1200 kusů v plánovaných a běžících výzkumných projektech v následující 3-5 letech (založeno na projektech, které už mají zajištěno financování plus projekty v přípravě). Na mezinárodním trhu očekáváme poptávku ve stejném období alespoň desítky kusů a s rozvojem komerčního využití amplitudové koherentní kombinace očekáváme postupný růst a poptávku v řádu tisíců kusů.

Obecně lze říci, že nejprve počítáme s prodejem v rámci výzkumných institucí, které se budou zabývat vývojem laserů na bázi koherentních kombinací a to jak v ČR, tak zahraničí. U prodeje mimo ČR očekáváme pozvolnější nástup spojený s nutností vybudování distribuční sítě. V horizontu delší budoucnosti očekáváme postupné pronikání těchto aplikací do komerční sféry a tím i postupný nárůst prodeje v této oblasti.

Prodej a tržby s užitím výsledků projektu						
Skupina zákazníků	Jednotka	2024	2025	2026	2027	2028
1. AVČR (FZÚ)	počet	50	200	300	400	500
2. Výzkumné ústavy v zahraničí	počet	20	200	400	500	700
3. Komerční průmyslové firmy	počet	0	50	100	200	400
	počet					
Prodejů celkem	počet	70	450	800	1100	1600
Cena jednotková/průměrná	tis. Kč	60	55	50	52	50
Tržby s užitím výsledků projektu	tis. Kč	4 200	24 750	42 400	57 200	83 200

Předpokládáme postupný nárůst podílu tržeb s užitím výsledků projektu na celkových tržbách firmy a to až do výše 25% podílu na celkových tržbách v horizontu následujících 5 let. Také pomůže v další transformaci a posunu firmy ve směru výroby vlastního produktu s vyšší přidanou hodnotou. K tomu předpokládáme vytvoření nových pracovních míst, ať už osob do výroby, člověka dedikovaného pro prodej, podporu, atd.

Předběžné výpočty ukazují na návratnost prvotních nákladů vynaložených na projekt zhruba po druhém až třetím roce po dokončení projektu. Dále předpokládáme, že bude nutné vynaložit další náklady spojené s postupným vývojem produktu a vytvořením několika modelových řad. Tyto náklady by se opět měly vracet v horizontu jednoho až dvou let.

Níže uvedené ekonomické přínosy projektu jsou stanovené a kalkulované na základě odhadů růstu a potenciálu trhu.

Ekonomické přínosy projektu						
Ukazatel	Jednotka	2024	2025	2026	2027	2028
Tržby s užitím výsledků projektu	tis. Kč	4 200	24 750	40 000	57 200	80 000
Zisk	tis. Kč	630	3 712	6 000	8 580	12 000
Export	tis. Kč	1 200	13 750	25 000	36 400	55 000
Celkové tržby podniku	tis. Kč	250 000	260 000	300 000	320 000	350 000
Podíl tržeb s užitím výsledků projektu na celkových tržbách	%	1,7	9,2	13,3	17,9	22,9
Nová pracovní místa	počet	1	2	1	1	1

3.3 Další přínosy projektu

Uveďte příslušnou argumentaci, pokud se návrh projektu uchází o body v bodovaném kritériu č. 8 Neekonomické přínosy projektu (viz Příloha č. 4 Zadávací dokumentace.)

Prototyp vláknové zpožďovací linky bude zohledňovat konstrukci tzv. univerzálního designu tím, že ovládání bude umožněno pomocí běžně používaných rozhraní tlačítkové, digitální vstupy a výstupy DIO a sériové USB. Je možné ho doplnit i o sériové rozhraní RS-232 popř. vhodnější variantou RS-485, ale tyto rozhraní jsou pro vědecké a průmyslové aplikace již překonané. Protože ze zmíněných rozhraní považujeme pouze DIO v provedení odolném proti rušení jako průmyslově použitelné v případě použití průmyslových PLC, bude prototyp vybaven protokolem a rozhraním RJ-45 s vyšší odolností proti rušení pro „průmyslový ethernet“, který vytlačuje všechny ostatní rozhraní v robotice a automatizaci.

4. Technické a organizační zabezpečení projektu

4.1 Technické zabezpečení projektu

Technická vybavenost účastníků projektu, včetně laboratorního a přístrojového vybavení, ve vazbě na výzkumné a vývojové činnosti plánované v projektu.

Společnost OptiXs disponuje prostory vhodnými pro přípravu prototypu a polovýrobu s možností rozšíření na sériovou výrobu.

Aktuálně disponuje tímto vybavením:

- Optická dílna s antivibračními optickými stoly

- Buňka Čistého (bezprašného) prostředí ISO 5 (vhodné pro finální kompletaci FODL)
- 3D tiskárna Prusa i3 MK3S+ v teplotně stabilizovaném boxu pro výrobu pomocných přípravků
- Mechanická dílna pro práci s hliníkem, součástí dílny je CNC fréza vlastní výroby
- Běžné přístrojové vybavení v laboratoři pro práci s optikou a elektronikou

Centrum HILASE

Odborné zaměření

Centrum HiLASE propojuje vývoj pevnolátkových pulzních laserů s vývojem aplikací vyžadujících vysoké hodnoty špičkových výkonů. Vyvinulo a provozuje laserové systémy s krátkými a ultrakrátkými pulzy, které jsou podle známých dat považovány za nejvýkonnější laserové systémy na světě. Vyvinuté laserové systémy poskytují svazek od tvrdé UV oblasti, přes viditelnou oblast až po blízkou a střední IR oblast. Díky těmto laserovým systémům jsou studovány a vyvíjeny laserové aplikace vyžadující velmi vysoké energie v pulzu nebo vysoké špičkové výkony, jako jsou laserové obrábění odolných nebo kompozitních materiálů, modifikace povrchů, laserové depozice materiálových modifikací, laserové zpevňování materiálů, měření odolnosti tenkých optických vrstev a optických materiálů proti poškození laserovým zářením nebo zdroji rentgenového či EUV záření.

Kompetence

- Studie proveditelnosti pro průmyslové nebo vědecké laserové aplikace
- Konstrukce laserových zdrojů a jejich optimalizace pro danou aplikaci
- Vývoj optických a opto-mechanických součástí pro lasery
- Vývoj nových laserových zdrojů
- Optické komponenty: testování laserem indukovaného prahu poškození
- Mechanické díly: přesné laserové obrábění a povrchové strukturování
- Prodlužování životnosti mechanických dílů laserem indukovanou šokovou vlnou
- Laserové materiálové modifikace a vytváření nanočástic/nanostruktur
- Vývoj nových laserových aplikací
- Pronájem laserového svazku

4.2 Management projektu

Organizační zajištění projektu s důrazem na koordinaci jednotlivých účastníků projektu.

V projektu bude složen projektový tým skládající se z klíčových pracovníků příjemce a dalšího účastníka projektu. Tým bude řízen zodpovědnou osobou za věcnou část projektu. Bude ustanoven hlavní manažer projektu na straně společnosti Optixs. V pravidelných měsíčních intervalech proběhne osobní jednání členů celého týmu. Na poradách budou hodnoceny jednotlivé prvky, aktivity a činnosti řešitelů projektu, řešeny případná rizika a aktuální věcné problémy projektu. Tým řešitelů bude postupovat podle detailně rozpracovaného plánu, jehož základ tvoří projektové etapy rozepsané výše. Sdílení informací mezi řešiteli týmu bude probíhat volnou formou - rozhovory, emailová

komunikace, serverové úložiště pro vzdálenou komunikaci a ukládání dat atp. V projektu budou používány standardní nástroje projektového řízení s využitím zažité projektové metodiky příjemce. Ze schůzek bude sepsán zápis o stavu projektu, plnění termínů, nákladů, kvality výstupů apod. Podklady ze zápisů budou sloužit pro dílčí zprávy. Členové konsorcia se dohodli, že Fyzikální ústav je subjektem pověřeným za řízení projektu na mezinárodní úrovni. Projekt předpokládá alespoň jednu schůzku všech účastníků za rok.

SWOT analýza – jako podklad pro elektronickou verzi přihlášky ISTA / Analýza rizik ohrožující dosažení cíle projektu

SWOT FODL	
Silná stránka <ul style="list-style-type: none">- Napojení na výzkumný záměr- Dobrá znalost zákazníků a konkurence- Excelentní pozice v této oblasti ve světovém měřítku- Široká aplikovatelnost	Slabosti <ul style="list-style-type: none">- Citlivost mechanického řešení na vibrace- Obtížnost nastavení optomechanických prvků- Kombinace množství konstrukčních materiálů
Příležitosti <ul style="list-style-type: none">- Napojení na perspektivní technologii v počátku- Účinný marketing formou odkazů ve vědeckých publikacích s využitím výsledku projektu zaměřený na jednu z cílových skupin,- Napojení na jednu z největších distributorskou síť optických a opto-mechanických prvků,	Hrozby <ul style="list-style-type: none">- Přenositelnost technologie a výroby- Možnost ochrany IPR pouze formou "know-how"- Citlivost na dodavatelský řetězec- Ekonomická stránka výroby v ČR- Během útlumu automotive v roce 2020 se významně zvýšily ceny strojů výroby v ČR

4.3 Zkušenosti s aplikací výsledků v praxi

Stručný popis úspěšných projektů výzkumu a vývoje v minulosti řešených uchazečem, čímž uchazeč prokáže dosavadní zkušenosti a způsobilost pro realizaci projektu; tuto způsobilost je vhodné vždy prokázat v relevantní oblasti a na tu část projektu, kterou se zavázal realizovat; uchazeč na příkladech ukončených projektů rovněž prokáže způsobilost projekt výzkumu a vývoje úspěšně dokončit a využívat jeho výsledky.

Společnost OptiXs se doposud neúčastnila projektů výzkumu a vývoje. Má ale řadu zkušeností ze zákaznických vývojů, viz. seznam referencí na <https://www.optixs.cz/reference-56>.

Výběr referencí OptiXs

Zákazník: Carl Zeiss spol. s r.o.

Realizace: Q1/2018

Popis: Optická zpožďovací linka pro femtosekundový laser použitý v sestavě pro dvoufotonovou mikroskopii. Komplexní dodávka optiky, optomechaniky, polohování s integrovaným optickým enkodérem, včetně řídicí jednotky a software. Systém umožňuje dosáhnout zpoždění až 5,5 ns a rozlišení 3,5 fs

Zákazník: Argotech, a.s.

Realizace: Q3/2018

Popis: Kompletní polohovací zařízení pro aktivní justáž optického signálu optických vláken při výrobě opto-elektronických zařízení. Konfigurace umožňuje optimální navázání optického signálu mezi fotonickým čipem a vláknovým polem – jak ve vodorovné úrovni (pomocí grating couplers), tak i svisle (edge coupling).

Zákazník: Masarykova univerzita, Přírodovědecká fakulta

Realizace: Q4/2018

Popis: Optická zpožďovací linka pro femtosekundový laser použitý v sestavě pro pump and probe spektrometr. Dodávka polohování s integrovaným optickým enkodérem, včetně řídicí jednotky a software. Systém umožňuje dosáhnout zpoždění až 3,3 ns a rozlišení 3,5 fs

Zákazník: Univerzita Karlova, Matematicko-fyzikální fakulta

Realizace: Q3/2019

Popis: Rychlá skenovací optická zpožďovací linka se zpětnovazební smyčkou pro automatické dolaďování zpoždění sestavy. Systém umožňuje dosáhnout zpoždění až 50 ps.

Zákazník: Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava, Fakulta elektrotechniky a informatiky

Realizace: Q4/2019

Popis: Variabilní platforma pro optická polarimetrická měření, především pro sondování vlnovodných módů, sondování povrchových plazmonů pomocí variováním stavu polarizace a úhlu dopadu, transmisní i reflektanční polarimetrická měření

Zákazník: Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava

Realizace: Q4/2019

Popis: Sestava pro 3D tisk, tedy pro přípravu třídimenzionálních struktur zápisem do fotoaktivního polymeru metodou dvoufotonové absorpce s využitím laserového zdroje krátkých optických pulsů. Zařízení umožňuje tvorbu struktur v rozsahu alespoň 26 mm x 26 mm x 26 mm s zapisovacím krokem menším než 10 nm.

Zákazník: Nové technologie výzkumné centrum Západočeské univerzity v Plzni

Realizace: Q1/2020

Popis: Laserový systém s ultrakrátkými pulzy pro laserové texturování a mikroobrábění povrchu materiálů a vývoj měřících systémů pro tyto laserové procesy. Kompletní a funkční systém modulární konstrukce sestává z femtosekundového pulzního laseru v průmyslovém provedení, rychlou skenovací hlavou, optickým antivibračním stolem, přesným motorizovaným polohovacím systémem a potřebným příslušenstvím.

Zákazník: Technická univerzita v Liberci, Ústav pro nanomateriály, pokročilé technologie a inovace

Realizace: Q1/2020

Popis: Laserový skenovací systém pro syntézu nanokoloidů. Ultra-rychlý laserový zdroj, který je schopen dodávat špičkové intenzity nad 10^{13} W/cm² v kratších časech, než je obvyklá relaxační doba elektronu (10-12 s), se používá k ozařování pevného cíle, který je ponořen do kapaliny. Extrakce laserové hmoty vede k účinnému oddělení malých částic od materiálu, což způsobuje syntézu koloidů obsahujících požadované nanostruktury.

Fyzikální ústav AV ČR má dlouholeté zkušenosti s převodem poznatků do praktického užití a velice širokou působnost. Centrum HiLASE v rámci Fyzikálního ústavu bylo vytvořeno pro úzkou spolupráci s průmyslem a dodáváním laserových sestav pro průmysl a výzkumné organizace. Úspěšným příklady z poslední doby může být např. zavádění technologie více-svazkového laserového vrtání dielektrických materiálů ve spolupráci s Meopta optika, s.r.o. a korejskou významnou výzkumnou organizací s integrační společností financované za podpory TA ČR DELTA2 TM01000021 do výroby Samsung display nebo zavádění technologie LSP pro ošetření lisovacích forem pro prodloužení jejich použitelnosti podpořené projektem TA ČR DELTA2 TM01000015. Další řešitel za Fyzikální ústav má dlouholeté zkušenosti s převodem poznatků V&V do průmyslové výroby.