***Příloha č. 1 Smlouvy o dílo***

**Modernizace ondřejovského 2m**

**Perkova dalekohledu**

**Technická dokumentace**

**Zadavatel:**

Astronomický ústav AV ČR, v.v.i.

Fričova 298

251 65 Ondřejov

IČ 67985815

DIČ CZ67985815

ID datové schránky: 49qnh3h

**1. Popis dalekohledu – současný stav**

Světlo je od primárního zrcadla k ohnisku coudé vedeno odrazy od zrcadel. Celkem je využito 5 zrcadel a jedné planparalelní skleněné desky – viz. obr. 1. a obr. 2 vlevo.

**Popis současného stavu:**

• **primární zrcadlo.** Tvaru rotačního paraboloidu, mechanický průměr 2080mm, efektivní průměr (vstupní pupila) 2000mm, ohnisková dálka 8998mm, světelnost 1:4.5

◦ **zorné pole:** v primárním ohnisku je zorné pole 21‘45“x21‘45“, ovšem s využitím speciálního korekčního systému k vyrovnání ohniskové plochy do roviny. Tento korekční systém je k dispozici, ale znamená ztráty světla. Lze pracovat i bez něj, ale s užším zorným polem, cca 10‘x10‘. S ohledem na to, že máme v úmyslu snížit ztráty světla na minimum, budeme pracovat bez korekčního systému. Zorné pole 10‘x10‘ je pro naše účely dostatečné

◦ **ostření:** servomotorek **60VDC/4.3A/0.16kW**

• s**ekundární zrcadlo.** Umístěno v horní části tubusu dalekohledu, v optické ose primárního zrcadla. Je předsazeno před primárním ohniskem. Zrcadlo je tvaru rotačního hyperboloidu, průměr 565mm.

• **hodinová osa.** Hodinová osa dalekohledu je rovnoběžná s rotační osou Země. Je namířena k severu a skloněna vůči obzoru o úhel 49°55‘. Kolem této osy se otáčí dalekohled a umožňuje sledovat denní otáčivý pohyb oblohy. Je dutý a světlo je vedeno jeho vnitřkem. Viz. optické prvky **E** a **G** na obrázku č. 1. Rozsah pohybů dalekohledu je 540° od krajní do krajní polohy.

• **rovinné zrcadlo č. 1.** Umístěno v průsečíku optické osy primárního zrcadla a deklinační osy.

Eliptického průřezu, hlavní a vedlejší průměr 612x433mm, skloněno pod úhlem 45° vůči optické ose hlavního zrcadla (a také pod úhlem 45° vůči deklinační ose)

• **rovinné zrcadlo č. 2**. Umístěno v tzv. „deklinačním domečku“, průsečíku deklinační a hodinové osy. Kruhového průřezu, průměr 520mm, skloněno pod úhlem 45º vůči deklinační i hodinové ose.

• **planparalelní skleněná deska.** Umístěna v hodinové ose, v cestě světelnému svazku.

Zabraňuje cirkulaci vzduchu mezi přízemím a patrem kopule, tj. snižuje turbulenci a zlepšuje seeing.

• **rovinné zrcátko před ohniskem coudé.** Odvádí světlo do ohnisek coudé 1 a 2 (tj. do spektrografů).

• **ohnisko coudé 1 a 2.** Dvě symetricky umístěná ohniska coudé, v každém je postaven jeden spektrograf.

◦ **coudé č. 1.** - jednořádový spektrograf

◦ **coudé č. 2.** - ešelet

**2. Popis požadovaného stavu po modernizaci**

**2.1. Primární ohnisko**

Veškeré prvky (mechanické i optické) jsou umístěny ve válcovitém držáku (dále „pavouku“) na horním konci tubusu. Tento pavouk je tvořen dvěma koncentrickými válci. Vnější válec je uchycen k tubusu čtyřmi rameny. Vnitřní válec nese všechny prvky vybavení a může osově pohybovat v rozsahu 50mm od jedné krajní polohy do druhé. Tímto pohybem se zaostřuje. Pohyb obstarává motorek

60VDC/4.3A/0.16kW.

K modernizaci postavíme nový pavouk. Ten bude vyroben v dílnách Astronomického ústavu a **není předmětem zakázky.** Soupis mechanických a optických částí v budoucím novém pavouku viz. dále v kap. 3.1. Veškeré tam (3.1.) popisované vybavení se musí vejít do prostoru o tvaru válce o průměru

26cm. Délka tohoto válce bude taková, aby žádná část zařízení nepřesahovala přes **40cm** nad úroveň pozice primárního ohniska.

Přesně v pozici primárního ohniska dalekohledu bude umístěno zrcátko obrácené odraznou stranou dolů (směrem k primárnímu zrcadlu). Zrcátku bude mírně skloněné vůči optické ose a bude na ně namířena **pointační kamera**. Sklon zrcátka vůči ose bude dán podle rozměrů pointační kamery.

Zrcátko bude kovové, a zezadu v něm budou uchycena optická vlákna. Aby světlo proniklo do vláken, budou v zrcátku malé kruhové otvory o průměru 100 mikrometrů (viz. kap. 3.2. a také násl. odstavec). Schéma systému viz. obrázek č. 4. Schémata vhodných i nevhodných způsobů uchycení vlákna do zrcátka/lyžiny viz. obr. 5

Otvory musí být vyrobeny/vyvrtány tak, aby světlo procházelo pouze na opticky aktivní jádro optického vlákna (angl. core) o průměru 100 mikrometrů. Světlo nesmí dopadat na vnější plášť vlákna, který není opticky aktivní. Viz. obrázek č. 5. - situace v dolní řadě.

Optických vláken bude několik a primární ohnisko je jen jedno a také pointační kamera bude namířena přesně na pozici ohniska, bude kovové zrcátko součástí posuvného prvku (dále „lyžina“), který umožní nastavit do ohniska vždy to vlákno, které bude třeba.

Ke spektroskopii je potřeba nejenom světlo hvězdy, ale také tzv. kalibrační světlo umělých zdrojů – žárovky bez UV filtru (dále „flat field“ nebo „FF“) a Thorium – Argonové výbojky (dále „ThAr“). Tyto zdroje jsou umístěny v operační místnosti dalekohledu v přízemí a do primárního ohniska bude vedeno nezávislým optickým vláknem (toto vlákno tedy povede světlo zdola nahoru). V primárním ohnisku bude před výše popsané zrcátko předsazen pohyblivý element (další lyžina), který bude do hlavního optického vlákna pouštět buď světlo hvězdy nebo některé z právě uvedených kalibračních světel (FF nebo ThAr).

**2.2. Hodinová osa**

Svazek všech vláken může být veden vnitřkem hodinové osy, protože ta je dutá a slouží dnes jako světlovod od mezi rovinnými zrcadly **E** a **G** (obr. 1). Vlákna se však nesmí příliš kroutit, ačkoliv

dovolený rozsah pohybů dalekohledu je celkem 540° od jedné krajní polohy do druhé. Nesmí se ani smýkat, aby se neprodřela. Bude proto nutné zajistit takové uložení svazku vláken, aby se eliminovaly oba tyto nebezpečné efekty. Jednou z možností je natáhnout pevnou hřídel vnitřkem hodinové osy a na ni zavěsit svazek vláken do spirály, aby se svazek vláken namotával a rozmotával (v rozsahu již zmíněných 540°). Bude ovšem nutné zajistit, aby se svazek vláken nesklouzl celý k dolnímu konci hřídele a neprotáčel se na jednom místě, ale v celé délce hřídele.

**2.3. Ohnisko coudé 1**

V ohnisku coudé 1 (viz. obrázek 1, písmeno **H**1) je jednořádový spektrograf. Ten je ovšem konstruován pro světelnost 1:32, zatímco na výstupu optického vlákna bude světelnost 1:4 (světelnost primárního ohniska je 1:4.5, ale ve vláknu dochází k mírné degradaci světelnosti). Proto bude potřeba optický konvertor světelnosti 4 → 32. Z tohoto konvertoru očekáváme výstupní svazek o průměru cca 800μm.

Mimoto je spektrograf postaven pro vstupní štěrbinu o šířce 200 mikrometrů. Pro světelný svazek o šířce cca 800 mikrometrů bude proto potřeba do ohniska výše zmíněného konvertoru umístit kráječ obrazu (angl. image slicer). Ten musí pracovat v rozsahu vlnových délek 400 ÷ 950nm, v nichž provádíme měření. Musí mít vysokou účinnost, aby zajišťoval efektivitu pozorování.

**2.4. Ohnisko coudé 2**

V ohnisku coudé 2 (viz. obrázek 1, písmeno **H**2) je ešeletový spektrograf. Ten je rovněž projektovaný pro světelnost 1:32 (viz. předchozí bod 2.2.) a musí tedy být vybaven konvertorem světelnosti 4 → 32.

Alternativně lze postavit nový kolimátor se světelností stejnou, jako je výstupní světelnost optického vlákna. Vlákno se umístí osově do ohniska kolimátoru a bude možné se obejít bez tohoto konvertoru. Viz. odstavec 3.3.2.

Ondřejovský ešeletový spektrograf je projektován pro vstupní štěrbinu 600 mikrometrů, a proto zde kráječ obrazu (image slicer) není nutný.

**2.5. kalibrační světla FF a ThAr**

Lampy kalibračních světel budou umístěna v místnosti coudé, ve stávající konstrukci. Světlo kalibračních lamp bude vedeno do primárního ohniska pomocí dvou optických vláken (pro každé kalibrační světlo jedno vlákno) – viz. obrázek č. 3. a 4.

Tato optická vlákna mohou být kruhová (dodavatel CeramOptec nebo Polymicro Technologies), budou mít lehce větší průměr aktivního jádra než „hlavní“ (oktagonální) vlákno (cca 120 ÷ 150μm).

**Spodní konec vláken – vstup** – bude u lamp kalibračních světel.

**Horní konec vláken – tj. vyústění** – z vláken bude na pohyblivém elementu – lyžině. Ta bude mít tři polohy:

• Poloha 0 – lyžina je zcela odsunuta, do „hlavního“ vlákna vstupuje světlo hvězdy přicházející z primárního zrcadla

• Poloha 1 – lyžina je nastavena na světlo první kalibrační lampy

• Poloha 2 – lyžina je nastavena na světlo druhé kalibrační lampy

Tento posuvný element bude představen těsně před posuvný element se vstupem hlavních vláken. Budou tedy dvě posuvné lyžiny, jedna těsně před druhou. Viz. obrázek č. 4.

**3. Technická specifikace**

**3.1. Primární ohnisko**

1. **ostření:** elektromotor (krokový), čidlo polohy, koncové spínače. Rozsah pohybů 50mm od jedné krajní polohy do druhé, přesnost nastavení 0.1mm. Ohnisko (vnitřní koncentrický válec – viz. předchozí kapitola 2.1.) se pohybuje na posuvné ložiskové dráze. K pohybu slouží servomotorek 60VDC/4.3A/0.16kW.

2. **zrcátko s vlákny, na lyžině:** elektromotor (servomotor), čidla polohy, koncové spínače. Dvě pozice:

◦ Poloha 1 pro vlákno do jednořádového spektrografu v coudé 1)

◦ Poloha 2 pro ešelet v coudé 2).

Šířka zrcátka 26mm, délka podle vzdálenosti vláken od sebe, ale jistě do 7cm, doba posuvu od jedné pozice ke druhé do 30s

Přesnost nastavení vstupního otvoru daného vlákna do ohniska: 0.01mm nebo lepší (chyba maximálně desetina průměru optického vlákna).

3. **posuvný mechanický element pro vkládání kalibračních vláken do optické cesty:**

elektromotor (krokový), čidla polohy, koncové spínače. Pozice na čidlech

◦ pozice 0 – volný průchod pro světlo hvězdy

◦ pozice 1 – kalibrační vlákno první kalibrační lampy

◦ pozice 2 – kalibrační vlákno druhé kalibrační lampy.

Přesnost nastavení kalibračních vláken na 0.01mm nebo lepší (chyba maximálně desetina průměru optického vlákna). Doba pohybu mezi jednotlivými pozicemi cca 5s.

Vzdálenost tohoto výklopného prvku od lyžiny s hlavními optickými vlákny (viz. bod 2) do

0.5mm

4. **Pointační kamera:** kvantová účinnost čipu min. 80%, možnost různě dlouhé expoziční doby až do 5 min. Chlazení (nízký šum). Pointační kamera bude přesně namířena na pozici primárního ohniska. Do tohoto bodu bude nastavováno příslušné hlavní (oktagonální – viz. kap. 3.2.)

vlákno pro jeden nebo druhý spektrograf.

5. **kabeláž:** silové kabely pro přívod elektrické energie pro elektromotorky, datové kabely pro čtení údajů z čidel a z pointační kamery.

**Provozní teploty: -25 ÷ +40° C**

**3.2. Vlákno**

Hlavní optické vlákno vedoucí světlo z primárního ohniska do ohnisek coudé.

1. **Typ vlákna:** oktagonální

2. **průměr aktivního jádra** 100 mikrometrů.

3. **Výrobce** CeramOptec

4. **počet vláken:** 3

5. **umístění vláken:** v lyžině se zrcátkem – viz. bod 2 v kapitole 3.1.

6. **rozmístění vláken:** 2 vlákna do coudé 1, 1 vlákno do coudé 2. Viz. obrázek č. 6.

7. **délka vlákna:** 27m každé

**3.3. Coudé ohnisko**

3.3.1. coudé 1 – jednořádový spektrograf

1. Dvě vlákna – světlo hvězdy a světlo pozadí oblohy. Vlákna budou přiložena těsně k sobě z důvodu konvertoru – viz. následující bod.

2. Konvertor pro změnu světelnosti optického svazku 4 → 32. Konvertor bude na výstupu z vláken.

3. image slicer pro zúžení světelného svazku na šířku 200 mikrometrů. Image slicer bude přesně v pozici ohniska konvertoru (viz. předchozí bod) a ohniska jednořádového spektrografu (technicky: v ohnisku kolimátoru spektrografu).

3.3.2. coudé 2

• Konvertor pro změnu světelnosti optického svazku 4 → 32 Ohnisko světelného svazku z konvertoru bude přesně v ohnisku ešeletového spektrografu (technicky: v ohnisku kolimátoru spektrografu).

**Poznámka:** v coudé 2 není image slicer nutný.

**Alternativně** lze uvažovat nový kolimátor se světelností stejnou, jako je rozptyl na výstupu z optického vlákna (cca 1:4). Vlákno by pak bylo osově namířeno na kolimátor. Tím by se odstranila nutnost mít zde konvertor světelnosti a zvýšila by se účinnost optického systému.

**3.4. Kalibrační vlákna**

• **Typ vláken:** kruhová, průměr aktivního jádra (angl. core) 120 ÷ 150 mikrometrů. Možný výrobce CeramOptec nebo Polymicro Technologies.

• **čočka pro koncentraci světla z lamp FF a ThAr do vláken.** Před lampou pro FF i ThAr bude jedna čočka, která bude soustřeďovat více světla do vstupu do příslušného optického vlákna. Požadovaná propustnost čoček od 400 do 950 nanometrů. Průměr každé z čoček 2cm

**4. TPOINT**

Dalekohled je pointován a naváděn z coudé ohniska (štěrbinová kamera pro pointaci je zaměřena na štěrbinu coudé spektrografu – toto uspořádání platí pro oba spektrografy). Nově bude dalekohled pointován z primárního ohniska. Ačkoliv princip pointace je zachován, bude nutné řešit pointaci nově (například v coudé ohnisku obraz rotuje, a to o 720° při otočce dalekohledu o 360°, zatímco v primárním ohnisku tento efekt není). K pointaci používáme program **TPOINT** (autor Patrick Wallace). Bude nutné upravit parametry pro novou pointaci v ovládacím počítači dalekohledu.

**5. Další požadavky**

• **Dokumentace.** Součástí dodávky bude kompletní dokumentace.

• **Kompatibilita.** Dalekohled a oba spektrografy jsou ovládány elektronicky. Součástí modernizace není změna ovládání dalekohledu nebo spektrografů. Protože ovládací elektronika umožňuje stavebnicové rozšíření, lze tohoto rozšíření využít i pro ovládaní pohyblivých optomechanických prvků na vstupu do vláken v primárním ohnisku (viz. kapitoly 2.1, 3.1. a obrázky 3, 4 a 6). Toto rozšíření musí být kompatibilní se stávajícím ovládáním dalekohledu a spektrografů.

**6. Priority**

Nejvyšší prioritu klademe na následující

• upevnění oktagonálního vlákna do držáku/zrcátka tak, aby světlo z primárního zrcadla vstupovalo pouze do aktivního jádra a nikoliv do vnějších vrstev (obr. 5). Současně nic nesmí clonit.

• přesnost nastavení vstupu do příslušného oktagonálního vlákna do pozice primárního ohniska

• přesnost nastavení výstupu (kruhového) kalibračního vlákna před vstup hlavního

(oktagonálního) vlákna – obr. 4.

• kvalitu a účinnost image sliceru – povede světlo hvězdy i světlo pozadí noční oblohy

• zjustování optických prvků

**7. Termín předání**

Do konce roku 2019

**8. Obrazová příloha**

565

C

B

2850

D E

7400

1900

6481

8998

A (2000eff) F

10352

G

H H

2 1

***Obr 1. Současná konfigurace a rozměrový výkres dalekohledu. A*** *– primární zrcadlo,* ***B*** *– sekundární zrcadlo,* ***C*** *– primární ohnisko,* ***D*** *– první rovinné zrcadlo,* ***E*** *– druhé rovinné zrcadlo,* ***F*** *– planparalelní skleněná deska,* ***G*** *– rovinné zrcátko,* ***H1****,* ***H2*** *– ohniska coudé 1 a 2.*

*Chod světelných paprsků vyznačen světle modrou barvou.*

***Obr 2. Schematické srovnání optických cest*** *v současné konfiguraci (vlevo) a v budoucím uspořádání*

*s vlákny (vpravo).*

01,2,

12,

FF

ThAr coud2e

coud1e

***Obr 3. Kompletní optické schéma systému s vlákny.*** *Zeleně jsou vyznačena kalibrační vlákna, červeně*

*„hlavní“ vlákna do spektrografů.* ***0*** *– kalibrační vlákno pro ThAr,* ***1*** *– kalibrační vlákno pro FF,* ***2*** *– žádné kalibrační vlákno (hvězda).* ***1*** *– hlavní vlákno pro spektrograf coudé 1,* ***2*** *– hlavní vlákno pro spektrograf coudé 2. Na obrázku je nakreslena konfigurace, kdy je nastaven spektrograf č. 1 (v ohnisku je vlákno č. 1) Kalibrační optická vlákna jsou odsunuta a do spektrografu jde světlo hvězdy (bleděmodré).*

12,

1 2

ThAr F

<0.5

01,2,

***Obr 4. Vzájemné postavení pohyblivých úchytů vláken.*** *Nahoře lyžina nesoucí „hlavní“ vlákna pro spektrografy. Čísla vláken odpovídají obrázku č. 3. Dvěma spektrografům odpovídají i dvě možné pozice lyžiny. Dole je lyžina nesoucí „kalibrační“ vlákna. Lyžina má tři pozice: pozice pro snímání světla hvězdy, a pozice pro snímání světla FF a ThAr. Obě lyžiny budou vzdáleny méně než 0.5mm (viz. kóta vpravo). Na obrázku je zachycena konfigurace, kdy do vlákna č. 1 vstupuje světlo hvězdy, kalibrační vlákna jsou odsunuta stranou. Uspořádání odpovídá obrázku č. 3.*

***Obr 5. Vhodně a nevhodně uchycená oktagonální hlavní vlákna v lyžině.*** *V horním řádku vhodná uchycení, v dolním řádku nevhodná uchycení. V nevhodných uchyceních dochází ke ztrátě světla na neaktivních vnějších vrstvách optického vlákna. Ilustrační příklady. Poslední konfigurace je nevhodná, protože vstupní plocha vlákna je seříznuta šikmo a na vstupu by docházelo k odrazu světla, dále by došlo k efektu tzv. Focal Ratio Degradation (FRD)*

B A

B A

pointk.amera

***Obr. 6. Uspořádání vláken v lyžině.*** *Vlákna budou celkem 3, ale lyžina může být připravena pro 6 vláken (modernizace v budoucnosti). Dvě vlákna budou pro jednořádovy spektrograf (A), jedno vlákno pro ešelet (B). Vlákna použitá v této probíhající modernizaci vyznačena modrozeleně, připravené*

*otvory pro budoucí modernizaci modře. Světlemodrá plocha označuje odraznou plochu zrcátka/lyžiny.*

26

M

O

400

L

A B

15

***Obr 7. Schematické uspořádání situace pod vstupním optomechanickým elementem do vlákna*** *– tj. blíže k primárnímu zrcadlu. Prostor nad vstupem do vlákna je omezený prostorem v kopuli, je však také limitován nejmenším vhodným poloměrem zakřivení optického vlákna – cca 400mm. Prostor pod vstupem do vlákna je omezen světelným svazkem rozšiřujícím se směrem k primárnímu zrcadlu (směrem dolů). Například ve vzdálenosti 400mm dolů od vstupu do vlákna (na úrovni* ***L****) bude celková šířka světelného svazku (počítáno od krajní polohy* ***A*** *do krajní polohy* ***B****) celkem 115mm, zatímco zorné pole 10‘ v pozici vlákna měří 26mm. Rozhodneme – li se umístit nějaké mechanické či optické prvky pod úroveň ohniska* ***O*** *(kde je vstup do vlákna), jsou vhodné prostory pro jejich umístění vyznačeny světle šedou plochou.* ***M*** *je zde posuvný mechanický element; jeho sklon pro jednoduchost není zakreslen.*