



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV KONSTRUOVÁNÍ

INSTITUTE OF MACHINE AND INDUSTRIAL DESIGN

KONSTRUKČNÍ NÁVRH KRYTU KAMERY DO PRŮMYSLOVÉHO PROSTŘEDÍ

CAMERA COVER DESIGN FOR INDUSTRIAL ENVIRONMENT

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Tomáš Knoth

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Jakub Hurník

BRNO 2021

Zadání bakalářské práce

Ústav:	Ústav konstruování
Student:	Tomáš Knoth
Studijní program:	Strojírenství
Studijní obor:	Základy strojního inženýrství
Vedoucí práce:	Ing. Jakub Hurník
Akademický rok:	2020/21

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Konstrukční návrh krytu kamery do průmyslového prostředí

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

V průmyslové praxi často vzniká potřeba využít kamerového systému pro geometrické měření objektů. Z důvodu podmínek těžkého průmyslu, zahrnující nestálou teplotu, prach a další vlivy, jsou kamery obvykle osazovány v ochranných termoregulovaných pouzdech. Na Ústavu konstruování vznikl prototyp takového pouzdra, který je využíván ve výzkumu. Náplní práce bude toto pouzdro upravit pro jiný typ kamery, optimalizovat konstrukci z hlediska hmotnosti a vylepšit některé další důležité vlastnosti tohoto pouzdra.

Typ práce: vývojová – konstrukční

Cíle bakalářské práce:

Cílem práce je konstrukční návrh chlazeného kamerového krytu pro kameru Allied Vision Prosilica GT a objektiv Zeiss Interlock Compact, který bude využit v měřičských aplikacích v podmínkách těžkého průmyslu.

Dílní cíle bakalářské práce:

- rešerše dostupných řešení,
- návrh variant konstrukčního řešení,
- výběr a zpracování nejvhodnější varianty.

Požadované výstupy: průvodní zpráva, výkresy součástí, výkres sestavení.

Rozsah práce: cca 27 000 znaků (15 – 20 stran textu bez obrázků).

Časový plán, struktura práce a šablona průvodní zprávy jsou závazné:

<http://www.ustavkonstruovani.cz/texty/bakalarske-studium-ukonceni/>

Seznam doporučené literatury:

SHIGLEY, Joseph Edward, Charles R. MISCHKE a Richard G. BUDYNAS, VLK, Miloš, ed. Konstruování strojních součástí. V Brně: VUTIUM, 2010. Překlady vysokoškolských učebnic. ISBN 978-80-214-2629-0.

SVOBODA, Pavel a Jan BRANDEJS. Základy konstruování. 8. Brno: AKADEMICKÉ NAKLADATELSTVÍ CERM, 2020. ISBN 978-80-7623-034-7.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2020/21

V Brně, dne

L. S.

prof. Ing. Martin Hartl, Ph.D.
ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan fakulty

ABSTRAKT

Tato bakalářská práce se zabývá konstrukčním návrhem kamerového krytu do průmyslového prostředí. Na rozdíl od řešení dostupných na trhu je zde navržený kryt uzpůsobený specifické měřičské aplikaci, která kromě běžných parametrů jako termoregulační vlastnosti a stupeň krytí konstrukce klade zvláštní požadavky na redukci hmotnosti krytu, tuhost uchycení kamery, optické parametry průzoru a snadnou údržbu. Požadovaných vlastností nově koncipované konstrukce bylo dosaženo mimo jiné minimalizací objemu oceli a užitím izolačního materiálu. Výsledná konstrukce má o zhruba 47 % nižší tepelný zisk a její hmotnost je o 69 % nižší v porovnání s kryty, které byly v této aplikaci doposud užívány. Tento kryt přispěje k vylepšení vlastností fotogrammetrického systému pro měření výkovků vyvíjeného na Ústavu konstruování FSI VUT v Brně.

KLÍČOVÁ SLOVA

kryt pro kameru, Prosilica GT, fotogrammetrie, průmyslové prostředí

ABSTRACT

This bachelor's thesis deals with the design of a camera housing for industrial environment. In opposite to the solutions available on the market, the designed housing is adapted to a specific measuring application, which in addition to common parameters such as thermoregulatory properties and degree of protection requires weight reduction, camera mounting stiffness, optical parameters of the window and easy maintenance of the housing. The required properties of the newly designed housing were achieved, among other measures, by minimizing the volume of steel and applying an insulation material. The resulting design has about 47 % lower heat gain and its weight is 69 % lower compared to the housings now used in this specific application. This housing will help enhance the properties of a photogrammetric system for measuring of forgings which is being developed at the Institute of Machine and Industrial Design, FME BUT.

KEYWORDS

camera housing, Prosilica GT, photogrammetry, industrial environment

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

KNOTH, Tomáš. Konstrukční návrh krytu kamery do průmyslového prostředí [online]. Brno, 2021 [cit. 2021-05-18]. Dostupné z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/132785>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav konstruování. Vedoucí práce Jakub Hurník.

PODĚKOVÁNÍ

Na tomto místě bych rád poděkoval Ing. Jakobovi Hurníkovi za odborné rady a veškerý čas, který mi věnoval během mé práce na tomto bakalářském projektu.

PROHLÁŠENÍ AUTORA O PŮVODNOSTI PRÁCE

Prohlašuji, že bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně, pod odborným vedením Ing. Jakuba Hurníka. Současně prohlašuji, že všechny zdroje obrazových a textových informací, ze kterých jsem čerpal, jsou řádně citovány v seznamu použitých zdrojů.

.....

Podpis autora

OBSAH

1	ÚVOD	13
2	PŘEHLED SOUČASNÉHO STAVU POZNÁNÍ	14
2.1	Řešení dostupná na trhu	14
2.1.1	Kamerové kryty chlazené stlačeným vzduchem	14
2.1.2	Kamerové kryty chlazené vodou	17
2.1.3	Další kamerové kryty	19
2.2	Současný kamerový kryt Ústavu konstruování	21
2.3	Aplikace kamerového krytu	22
2.3.1	Měření výkovků metodami pasivní fotogrammetrie	23
3	ANALÝZA PROBLÉMU A CÍL PRÁCE	25
3.1	Analýza problému	25
3.1.1	Shrnutí dostupných řešení	25
3.1.2	Specifické požadavky aplikace	25
3.1.3	Nedostatky současného krytu ÚK	25
3.2	Cíl práce	26
4	KONCEPČNÍ ŘEŠENÍ	27
4.1	Koncepční řešení skříně	27
4.1.1	Koncept č. 1 - skříň s násuvným poklopem	27
4.1.2	Koncept č. 2 - skříň s odklápěcím poklopem	27
4.1.3	Koncept č. 3 - skříň s nasazovacím poklopem	28
4.1.4	Vyhodnocení konceptů skříně	28
5	KONSTRUKČNÍ ŘEŠENÍ	29
5.1	Výchozí komponenty krytu	30
5.2	Adaptér objektivu	30
5.3	Konstrukce skříně krytu	31
5.4	Volba materiálu	32
5.5	Tepelná izolace krytu a chlazení	33
5.6	Výpočet tepelného zisku krytu	33
5.7	Průzor	37
5.8	Těsnění konstrukce	37

5.9	Kontrola pevnosti průzoru	38
5.10	Koncept otočného průzoru	43
6	DISKUZE	44
7	ZÁVĚR	46
8	SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	47
9	SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK, SYMBOLŮ A VELIČIN	51
10	SEZNAM OBRÁZKŮ A GRAFŮ	53
11	SEZNAM TABULEK	55
12	SEZNAM PŘÍLOH	56

1 ÚVOD

Kamerové systémy nacházejí využití v celé řadě průmyslových odvětví, přičemž často je nutné kamery chránit před okolními vlivy uložením do specializovaných krytů. Základními technickými parametry těchto krytů jsou pracovní teploty, teploty dosažené uvnitř krytu, stupeň krytí, celkové rozměry, rozměry prostoru pro kameru, celková odolnost materiálu vůči degradaci v daném prostředí, případně elektronická výbava a další.

Na Ústavu konstruování FSI VUT v Brně jsou kamerové kryty využívány ve vývoji fotogrammetrického systému pro měření geometrických vlastností velkorozměrových rotačně symetrických výkovků s vysokou teplotou. Některé neoptimální vlastnosti těchto krytů však komplikují práci se systémem a mohou vést až k znehodnocení pořízených snímků, a tedy i celkových výsledků měření. Stávající kamery a objektivy budou navíc v budoucnu nahrazeny jinými modely. Z těchto důvodů vznikla potřeba vývoje nového kamerového krytu, který nedostatky současných krytů eliminuje a bude kompatibilní s novou soustavou kamery a objektivu. Vývoj těchto krytů je předmětem této bakalářské práce.

Přestože se tato práce přímo zabývá pouze vývojem nového kamerového krytu, její kvalitní zpracování, pozdější realizace a implementace vypracovaného návrhu do měřicího systému může přispět k dalšímu zpřesnění celého systému. Ten potom může mít širší dopad na efektivitu výroby v některých kovárnách, protože nabízí rychlejší a ekonomicky dostupnější alternativu k současným komerčním měřicím systémům.

2 PŘEHLED SOUČASNÉHO STAVU POZNÁNÍ

2.1 Řešení dostupná na trhu

V této kapitole jsou uvedeny příklady v současnosti na trhu dostupných modelů průmyslových kamerových krytů. Přednostně jsou zde představeny kryty chlazené stlačeným vzduchem, protože náplní této práce je konstrukce krytu využívajícího toto chladicí médium. Další modely jsou stručně uvedeny pro ucelení přehledu o možnostech řešení konstrukčních uzlů, které přímo s technologií chlazení krytu nesouvisí.

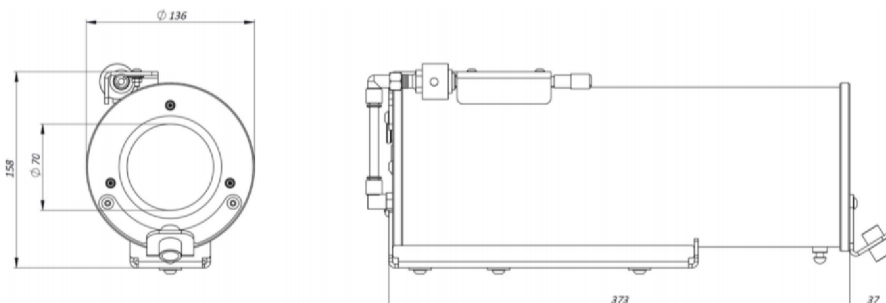
2.1.1 Kamerové kryty chlazené stlačeným vzduchem

Chlazení vzduchem je vhodnou variantou v aplikacích, kde není dosahováno extrémních okolních teplot (nad cca 100 °C). Nedosahuje totiž takových chladicích výkonů, jako chlazení vodou nebo jiným kapalným chladicím médiem.

Některé konstrukce určené pro chlazení kapalinami mohou teoreticky sloužit i při zavedení chladicího vzduchu. Z výrobců však tuto možnost uvádí pouze Videotec u svého modelu NXW, který je uveden níže (str. 15) [1].

Tecnovideo 129AC

Tento kamerový kryt využívá k chlazení vnitřního prostoru vírovou trubici. Přebytečný vzduch opouští kryt třemi zpětnými ventily v čelní stěně. Tělo krytu je kompletně vyrobeno z elektrolyticky leštěné korozivzdorné oceli, čímž je dosaženo vysoké odolnosti vůči negativním vlivům tepla a korozivních látek. Čelní průzor je vyplněn borosilikátovým sklem o tloušťce 5 mm. Tryska umístěná u průzoru umožňuje jeho chlazení a čištění od prachu a nečistot vzduchem. Zadní příruba je vybavena dvěma těsnícími průchodkami pro kabely. Kamera je uchycena na nastavitelné konzole z plechu přišroubované k zadní stěně [2].



Obr. 2-1 Schéma kamerového krytu Tecnovideo 129AC [2].



Obr. 2-2 Kamerový kryt Tecnovideo 129AC [2]

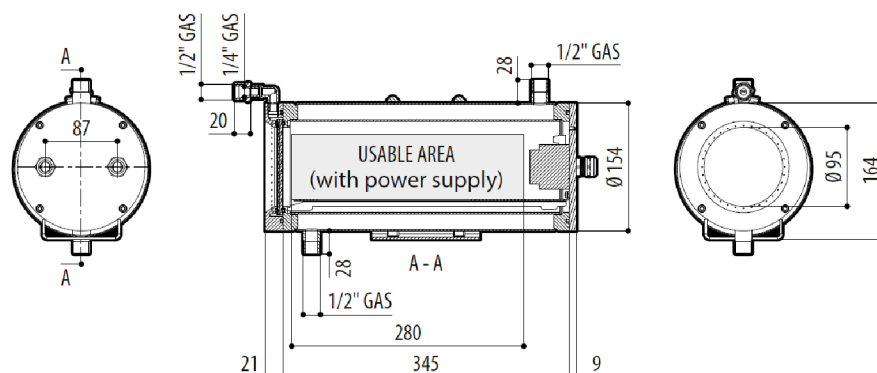
Tab. 2-1 Základní parametry kamerového krytu Tecnovideo 129AC [2].

Parametr	Hodnota
Pracovní teploty	Až 100 °C
Technologie chlazení	Stlačený vzduch – vírová trubice
Hmotnost	6 kg
Vnější rozměry krytu ^{a)}	ø136×373 mm
Rozměry prostoru pro kameru	80x80×325 mm
Stupeň krytí	IP66/IP67

^{a)} Uvedeny rozměry základního těla bez přídatných prvků

Videotec NXW

Tělo toho krytu je také zkonstruováno z elektrolyticky leštěné korozi-vzdorné oceli. Chladicí médium zde cirkuluje v uzavřené komoře mezikruhového průřezu, která tvoří vnější válcový profil konstrukce. To umožňuje užití plyných i kapalných chladicích médií. Vstup i výstup média je realizován vyústěním pro hadici. Čelní příruba s průzorem je opatřena rozvody pro stlačený vzduchu, který vytváří před krytem vzduchovou bariéru. Průzor je nabízen ve dvou variantách a to z tvrzeného nebo křemenného skla, obě o tloušťce 6 mm. Zadní příruba je vybavena dvěma průchodkami PG13.5 pro kabely [1].



Obr. 2-3 Schéma kamerového krytu Videotec NXW [1].



Obr. 2-4 Kamerový kryt Videotec NXW [1].

V Tab. 2-2 jsou uvedeny maximální pracovní teploty při chlazení vodou. Je zřejmé, že chlazení vzduchem by bylo při těchto teplotách prostředí značně neefektivní. Výrobce uvádí, že při okolní teplotě 80 °C je chlazením vzduchem o teplotě 17 °C o objemovém toku 10 m³/h stlačeným na přetlak 1 bar dosaženo vnitřní teploty 45 °C a při objemovém toku 15 m³/h a stlačení vzduchu na přetlak 2 bar je dosaženo vnitřní teploty 35 °C [1].

Tab. 2-2 Základní parametry kamerového krytu Videotec NXW [1].

Parametr	Hodnota
Pracovní teploty ^{a)}	Až 260 °C (tvrzené sklo) Až 400 °C (křemenné sklo)
Technologie chlazení	Stlačený vzduch/Voda
Hmotnost	10,2 kg
Vnější rozměry krytu ^{b)}	ø154×375 mm
Rozměry prostoru pro kameru	78×78×345 mm
Stupeň krytí	IP66/IP67

^{a)} Výrobce uvádí pouze maximální pracovní teploty při chlazení vodou.

^{b)} Uvedeny rozměry základního těla bez přídatných prvků

Telea Tecnovision AIRTEC

Rozdílem oproti předešlým kytům je především materiál konstrukce. Tělo krytu je vyrobeno z litých a tažených hliníkových součástí, které jsou eloxovány a lakovány pro lepší odolnost a nižší tepelnou vodivost. Na čelní průzor je upevněn štít vybavený vzduchovou clonou [3].



Obr. 2-5 Kamerový kryt Telea Tecnovision AIRTEC [4]

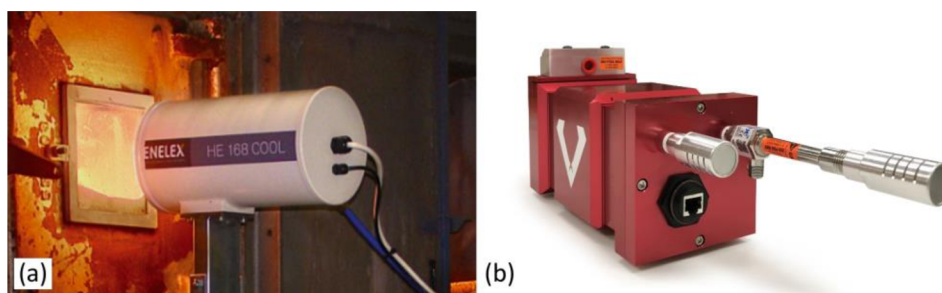
Tab. 2-3 Základní parametry kamerového krytu Telea Tecnovision AIRTEC [3].

Parametr	Hodnota
Pracovní teploty	Až 90 °C
Technologie chlazení	Stlačený vzduch
Hmotnost	-
Vnější rozměry krytu ^{a)}	175×150×450/500 mm
Rozměry prostoru pro kameru	105×86×300/350 mm
Stupeň krytí	IP66

^{a)} Uvedeny rozměry základního těla bez přídatných prvků

Další výrobci

Vzduchem chlazené kryty nabízejí i někteří další výrobci a správci kamerových systémů. Jejich konstrukce je však do značné míry shodná s výše uvedenými modely. U některých krytů navíc není uvedena dostatečná technická dokumentace pro bližší analýzu.



Obr. 2-6 (a) Kamerový kryt Enelex HE 168 COOL [5]; (b) Kamerový kryt ViperVenom Compact [6].

2.1.2 Kamerové kryty chlazené vodou

Chlazení vodou a jinými kapalinami je běžně realizováno cirkulací kapaliny v uzavřené komoře, která obklopuje vnitřní prostor krytu. Popis takové konstrukce již byl uveden na str. 15 u modelu Videotec NXW. Řešení těchto krytů u dalších výrobců na trhu je v podstatě totožné. Jedná se například o modely Tecnovideo 129LC [7] nebo Telea Tecnovision ACQ07X220 [8] uvedené níže.

Tecnovideo 129LC

Jediným výraznějším rozdílem této konstrukce oproti modelu Videotec NXW (str. 15) je užití borosilikátového skla pro průzor. Celkově je potom tento model robustnější.



Obr. 2-7 Kamerový kryt Tecnovideo 129LC [7].

Tab. 2-4 Základní parametry kamerového krytu Tecnovideo 129LC [7].

Parametr	Hodnota
Pracovní teploty	Až 400 °C
Technologie chlazení	Voda
Hmotnost	13 kg
Vnější rozměry krytu ^{a)}	ø175×401 mm
Rozměry prostoru pro kameru	88×84×305 mm
Stupeň krytí	IP66/IP67

^{a)} Uvedeny rozměry základního těla bez přídatných prvků

Telea Tecnovision ACQ07X220

Také tento model je vybaven borosilikátovým průzorem [8].



Obr. 2-8 Kamerový kryt Telea Tecnovision ACQ07X220 [8].

Tab. 2-5 Základní parametry kamerového krytu Telea Tecnovision ACQ07X220 [8].

Parametr	Hodnota
Pracovní teploty	Až 400 °C
Technologie chlazení	Voda
Hmotnost	-
Vnější rozměry krytu ^{a)}	-
Rozměry prostoru pro kameru	ø90×320 mm
Stupeň krytí	IP66

^{a)} Uvedeny rozměry základního těla bez přídatných prvků

Chladicí příslušenství autoVimation

Dalším konstrukčním řešením chlazení vodou je připojení přídavného chladicího tělesa na kryt. Výrobce autoVimation nabízí pro své základní kamerové kryty řadu klimatizačního příslušenství, u kterého uvádí možnost zvýšení maximální provozní teploty krytů až na 200 °C [9]. Bližší popis základních krytů autoVimation následuje v kapitole 2.1.3.



Obr. 2-9 Klimatizační příslušenství pro kamerové kryty autoVimation [9].

2.1.3 Další kamerové kryty

Kryty autoVimation

Těla základních krytů tvoří robustní skříně z taženého eloxovaného hliníku. Průzor je vyplněn borosilikátovým sklem s širokopásmovými antireflexními vrstvami. Kryty jsou vybaveny speciálním Quick-Lock/Heat-Guide systémem pro upevnění kamery v krytu (Obr. 2-10b). Kamera je vložena mezi dva protikusy a pomocí utažení šroubů v jejich čele se vymezuje vůle soustavy vůči válcovému krytu. Tento systém je odolný vůči vibracím a zároveň odvádí z kamery teplo, takže plní funkci pasivního chladiče. Kryty tohoto výrobce jsou charakteristické svou flexibilitou. Pro základní kryt je nabízeno velké množství přídavného vybavení, například vzduchové clony nebo chlazení vodou (viz kap. 2.1.2) [9]. Podobné kamerové kryty nabízejí i čeští výrobci Argutec [10] a MOS technik [11].



Obr. 2-10 (a) Kamerové kryty autoVimation Salamander [12]; (b) systém autoVimation Quick-Lock/Heat-Guide [13].

Tab. 2-6 Základní parametry kamerových krytů autoVimation [9].

Parametr	Hodnota	
	Základní kryt	Kryt s chladicím příslušenstvím
Pracovní teploty	-	Až 200 °C
Technologie chlazení	Pasivní	Pasivní + voda
Hmotnost	Desetiny až jednotky kilogramů	
Vnější rozměry krytu	50×50×132 mm až 173×113×327 mm ^{a)}	
Rozměry prostoru pro kameru	29×29 mm až 90×150 mm ^{a)}	
Stupeň krytí	IP66 (modely Colibri a Gecko) IP66/IP67 (modely Salamander a Orca) IP65 (model Mammoth)	

^{a)} Značné množství nabízených modelů a jejich variabilita umožňuje použití pro téměř jakoukoliv průmyslovou kameru.

Videotec HOV

Tento hliníkový kryt není určen pro agresivní průmyslové prostředí, ale nabízí krytí před nepříznivými povětrnostními podmínkami. Štít proti slunečnímu záření je vyroben z ABS materiálu. Verze krytu určená pro vyšší okolní teploty je vybavena termostatem a při potřebě chlazení dochází k výměně vzduchu s okolím přes dvojitý filtr. Od dosud uvedených krytů jej odlišuje také odklápěcí poklop pro snadnou manipulaci s vybavením uvnitř [14].



Obr. 2-11 Kamerový kryt Videotec HOV [15].

Tab. 2-7 Základní parametry kamerového krytu Videotec HOV [14].

Parametr	Hodnota
Pracovní teploty	Až 65 °C
Technologie chlazení	Ventilace vzduchu
Hmotnost	3 kg
Vnější rozměry krytu ^{a)}	175×150×450/500 mm
Rozměry prostoru pro kameru	105×86×300/350 mm
Stupeň krytí	IP44

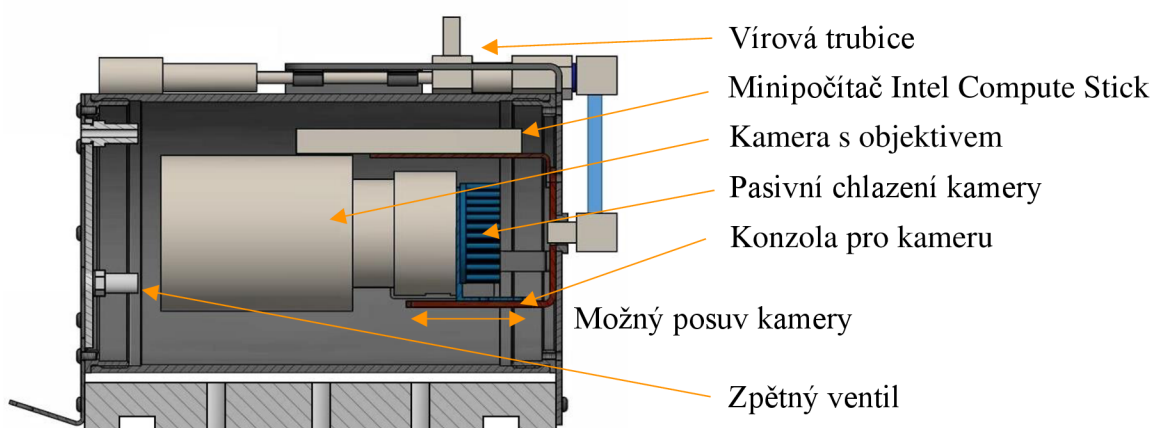
^{a)} Uvedeny rozměry základního těla bez přídavných prvků

2.2 Současný kamerový kryt Ústavu konstruování

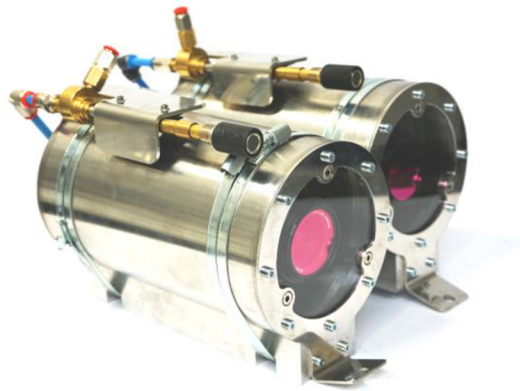
Současný kamerový kryt pro fotogrammetrii Ústavu konstruování (dále jen. „současný kryt ÚK“) vznikl v rámci projektové výuky na Ústavu konstruování FSI VUT v Brně [16]. Pro chlazení kamery je aplikována kombinace aktivního a pasivního chlazení. To je realizováno dávkováním chladicího vzduchu z vírové trubice Vortec 106-8-H do vnitřního prostoru a připevněním pasivního chladiče na kameru [17].

Základem konstrukce je trubka z korozi-vzdorné oceli s vnitřním závitem na obou koncích, do které jsou našroubována víka. Obě víka tvoří příruba a ohnuté plechy s vybavením. Čelní víko je vybaveno třemi zpětnými ventily, průzorem vyplněným borokřemičitým sklem, původně určeným pro vyhřívané podložky 3D tiskáren, a uchycením pro vzduchovou trysku čistící průzor. Zadní víko je vybaveno na vnější straně nosičem vírové trubice a vstupy pro chladicí vzduch a kabeláž a na vnitřní straně konzolou pro kameru. Na konzolu je upevněn držák kamery, jehož poloha v axiálním směru krytu je nastavitelná. Válcová část krytu je usazena do hliníkového bloku s horním V profilem a upevněna dvěma kovovými stahovacími páskami [16].

Tento kryt je navržen pro kameru ZWO Mono CMOS ASI 1600MM. Uvnitř se nachází minipočítač Intel Compute Stick, který odesílá snímky z kamery přes bezdrátovou síť do počítače pracovníka provádějícího měření. Mikrokontroler s teplotními čidly Yocto-thermocouple měří vnitřní teplotu a relé Yocto-PowerRelay-V2 podle naměřené teploty řídí elektromagnetický ventil chladicího systému [16].



Obr. 2-12 Řez současným kamerovým krytem ÚK (upraveno dle [16]).



Obr. 2-13 Současný kamerový kryt Ústavu konstruování [18].

Tab. 2-8 Základní parametry současného kamerového krytu ÚK [16].

Parametr	Hodnota
Pracovní teploty ^{a)}	Až 70 °C
Technologie chlazení	Stlačený vzduch/voda
Hmotnost	cca 13 kg
Vnější rozměry krytu ^{b)}	ø139,7×241 mm
Rozměry prostoru pro kameru	Navrženo pro konkrétní model
Stupeň krytí	Není uvedeno

^{a)} V technické zprávě není uvedeno. Hodnota 70 °C je maximální teplota, pro kterou bylo prováděno měření testovacího modelu.

^{b)} Uvedeny rozměry základního těla bez přídavných prvků

2.3 Aplikace kamerového krytu

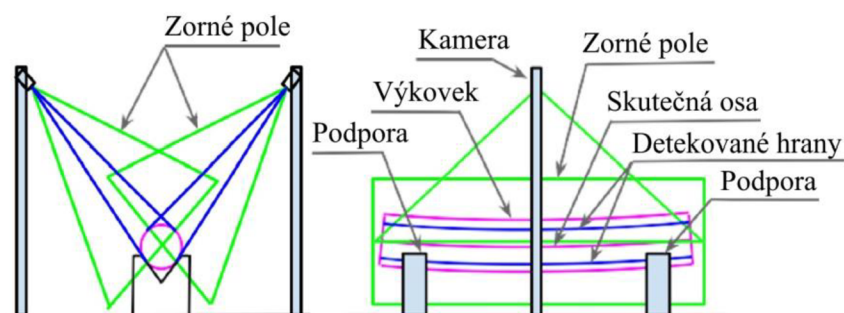
Užití nacházejí kamerové kryty všude tam, kde je potřeba snímat kamerovým systémem určitý prostor a zároveň hrozí poškození nebo nesprávnost funkce kamery v důsledku působení vlivů okolního prostředí. U běžných průmyslových kamer a termokamer se může jednat o sledování těžebních, hutnických, obráběcích, sklářských a dalších výrobních procesů za účelem vizuální kontroly, měření nebo přímo řízení. Dále lze kamerové systémy využít pro kontrolu pohybu techniky a osob nebo zabezpečení areálu [5].

2.3.1 Měření výkovků metodami pasivní fotogrammetrie

Fotogrammetrie je vědecká a umělecká disciplína, která využívá k získávání informací o fyzických objektech fotografické snímky, elektromagnetické záření a další jevy. Pasivní fotogrammetrie na rozdíl od aktivní fotogrammetrie nevyužívá k měření žádné přídavné zdroje světla [19].

Vyvíjený kamerový kryt je určen pro pasivní fotogrammetrický systém měřící geometrické vlastnosti velkorozměrových rotačně symetrických výkovků s vysokou teplotou (okolo 1000 °C) v kovárnách. Tento systém je v současné době předmětem vývoje na Ústavu konstruování ve spolupráci s externími subjekty.

Základním předpokladem, který systém využívá je ten, že díky jednoduchému rotačně symetrickému tvaru výkovku je možno poměrně přesně určit jeho tvar a osu pomocí minimálně čtyř hraničních křivek zachycených na snímcích ze dvou a více vhodně umístěných kamer. Výhodou užití pasivní fotogrammetrie je rychlost měření a nižší pořizovací náklady systému oproti doposud komerčně nabízeným variantám s aktivními prvky jako je laserové skenování [19]. Většina kováren doposud nevyužívá strojového měření čerstvých výkovků a zpřístupnění implementace takového systému do výroby by u nich vedla ke zrychlení a vyšší přesnosti výroby [20].

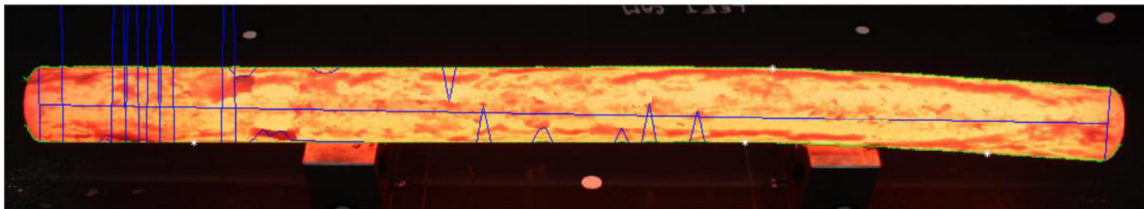


Obr. 2-14 Konfigurace systému navrženého pro měření rotačně symetrických výkovků [20].

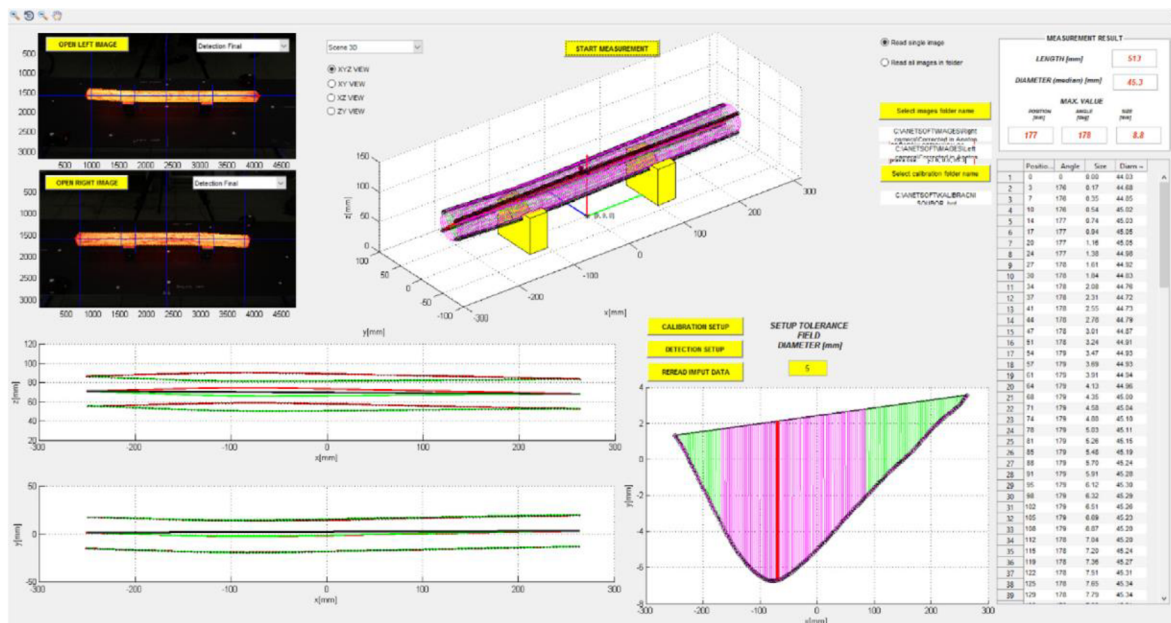
Pro kvalitní měření výkovků s vysokou teplotou je důležitá volba vhodné sestavy kamery, objektivu a případně optického filtru. Změny kontrastu výkovku vůči zbytku scény lze dosáhnout použitím vhodného barevného filtru. Například podle Dworkina a Nye [21] jsou pro detekci hran vhodné monochromatické snímky s užitím NIR filtru. Při vývoji na Ústavu konstruování byly zpočátku užívány běžné DSLR fotoaparáty, ty byly později nahrazeny monochromatickými kamerami.

Dále je potřeba kamery kalibrovat pro dané pracovní prostředí. Aktuální kalibrační metoda publikovaná v rámci výzkumu dosahuje při šířce zorného pole 6 m přesnosti měření na desetiny milimetru [18].

Po zachycení snímků provede vícestupňový algoritmus vyvinutého softwaru posloupnost úkonů, které detekují hraniční křivky a z nich rekonstruují 3D model měřeného výkovku. Na Obr. 2-15 je příklad pořízeného snímku s detekovanými hranami. Modrá křivka spojuje pixely detekované na základě parametrů, které může uživatel zadat. Bílé hvězdy se nazývají „výchozí body“ a jsou použity v algoritmu, který následně automaticky opravuje chybné body. Zelené křivky představují výsledné zjištěné hrany výkovku. Červené pixely na zelené křivce představují konkrétní detekované pixely. Hlavními výstupy měření jsou údaje o přímosti osy, délce a průměru výkovku [20].



Obr. 2-15 Detekce hran výkovku s vysokou teplotou [20].



Obr. 2-16 Hlavní uživatelské rozhraní s výsledky měření [20].

3 ANALÝZA PROBLÉMU A CÍL PRÁCE

3.1 Analýza problému

3.1.1 Shrnutí dostupných řešení

Kamerové kryty do průmyslového prostředí jsou nejčastěji konstruovány jako válcové tubusy z korozivzdorných ocelí nebo pouzdra z eloxovaného hliníku. Skleněné průzory se vyrábí převážně z borosilikátového a čistého křemenného skla. Výběr materiálu skla může u odolnějších krytů limitovat jejich maximální pracovní teplotu. Upínání kamery bývá realizováno pomocí nastavitelné plechové konzoly nebo vložením mezi dva protikusy úložného systému.

Nejefektivnější metodou chlazení je chlazení vodou, které je vhodné pro náročnější aplikace, pro středně náročné aplikace je vhodné chlazení stlačeným vzduchem a pro méně náročné aplikace lze využít pouze pasivního chladiče. Tyto metody je možné kombinovat pro dosažení vyšší efektivity.

3.1.2 Specifické požadavky aplikace

Užití v prostorách průmyslových hal, v tomto případě kovárny, klade na kryt nároky zejména v oblasti tuhosti upnutí kamery, vzduchotěsnosti a tepelné izolace.

Maximální předpokládaná teplota vzduchu v okolí krytu je 60 °C což je teplota, při které by měla být většina průmyslových kamer schopna provozu. Problémem při dané aplikaci jsou však teplotní změny blízkého prostředí kamery, ke kterým dochází v závislosti na okolním provozu. Při těchto změnách může vlivem tepelné roztažnosti komponentů kamery docházet k ovlivnění jejího nastavení dříve dosaženého kalibrací.

Aplikace v pasivní fotogrammetrii klade zvýšené nároky na optické kvality skla průzoru. Při přesnosti kalibrace na desetiny milimetru pro šíři zorného pole 6 m je rovinnost běžných skleněných výrobků nedostačující a je tak zapříčiněno zkreslení pořízených snímků.

3.1.3 Nedostatky současného krytu ÚK

Současný kryt ÚK disponuje několika nedostatky z hlediska funkce a praktičnosti při údržbě a montáži. Tyto nedostatky jsou formulovány v následujících bodech:

- Hmotnost konstrukce okolo 13 kg způsobuje nadměrné kmitání krytu na nosníku při podnětech z kovárny.

- Konzola a držák kamery z ohýbaných plechů uvnitř krytu pravděpodobně přispívají ke kmitání kamery uvnitř krytu.
- Tabulka borokřemičitého skla použitá pro průzor, původně určená pro vyhřívané podložky 3D tiskáren, nedosahuje vhodných optických kvalit, což zapříčiňuje zkreslení pořízených snímků.
- Otevírání krytu a vyjímání vnitřního vybavení je komplikované.
- Orientace vzduchové trysky pro omývání průzoru není dostatečně zajištěna.

Funkční nedostatky krytu znehodnocují pořízené snímky a tím znemožňují další zpřesňování systému měření výkovek. Při vývoji navíc budou v budoucnu využívány jiné vnitřní komponenty, než pro jaké byl současný kryt navržen. Tyto skutečnosti činí další využívání tohoto krytu ve vývoji neefektivním.

Řešení současného krytu ÚK se navíc v minulosti ukázalo jako komplikované z hlediska výroby a nalezení zhotovitele bylo problematické.

3.2 Cíl práce

Cílem práce je navržení nové konstrukce kamerového krytu optimalizovaného pro stanovenou aplikaci a novou sestavu kamery s objektivem. Stanoveny byly následující požadované parametry:

- hmotnost do 6,5 kg (polovina hmotnosti současného krytu)
- lepší tepelně izolační vlastnosti než současný kryt
- chlazení vírovou trubicí Vortex Tube Model 106-8-H (stejně jako starý kryt)
- tuhé spojení kamery s krytem
- tuhé spojení krytu s nosníkem v hale třemi šrouby M10 v řadě s roztečí 60 mm
- užití krycího skla optické kvality
- eliminace nežádoucích reflexí na čočce objektivu
- krytí proti vniknutí prachových částic
- snadnější montáž a vyjímání kamery z krytu než u současného krytu
- omývání průzoru vzduchem

Dílčí cíle práce:

- návrh koncepčních variant řešení
- zpracování zvolené koncepční varianty
- porovnání se současným krytem

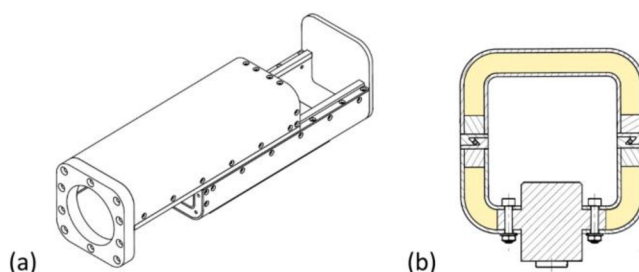
4 KONCEPČNÍ ŘEŠENÍ

4.1 Koncepční řešení skříně

U všech koncepčních návrhů skříně tvoří boční a horní stěny izolační materiál uložený mezi dva ohýbané plechy z korozivzdorné oceli. Toto složení stěn je zvoleno za účelem snížení hmotnosti krytu a zlepšení jeho tepelné izolace. Spodní stěnu tvoří základna z korozivzdorné oceli. Čelní a zadní stěna jsou také z korozivzdorné oceli. Zadní stěna je vždy pevně spojena se základnou, aby jí mohla být vedena kabeláž. Uvedené koncepty skříně se liší především způsobem otevírání krytu. Při návrhu koncepčních řešení byl kladen důraz na nízkou náročnost výroby. Pro dosažení snazší údržby krytu bylo snahou minimalizovat množství šroubových spojů s maticemi, které je potřeba při otevírání krytu a vyjímání kamery uvolnit.

4.1.1 Koncept č. 1 - skříň s násuvným poklopem

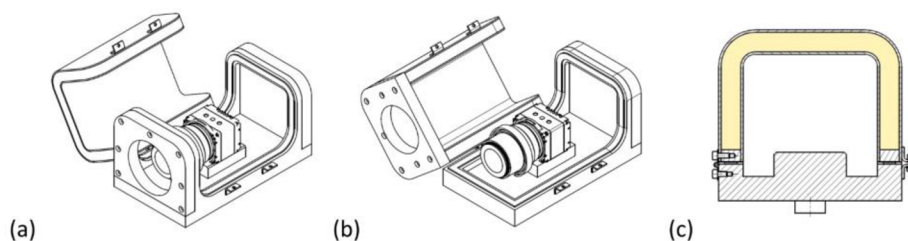
Prvním konceptem je dělená skříň, kde horní část je nasouvána na spodní po rybinovém vedení s vůlí vymezenou těsnicím prvkem přilepeným k spodní polovině vedení (Obr. 4-1). Rybinové vedení zajišťuje spojení styčných ploch bočních stěn bez potřeby šroubových spojů nebo jiných spojovacích prvků. Uzavření krytu zajišťují šroubové spoje v čelní a zadní stěně skříně.



Obr. 4-1 Koncept skříně s násuvným poklopem; (a) náčrt skříně; (b) řez skříní, žlutá plocha představuje izolační materiál.

4.1.2 Koncept č. 2 - skříň s odklápěcím poklopem

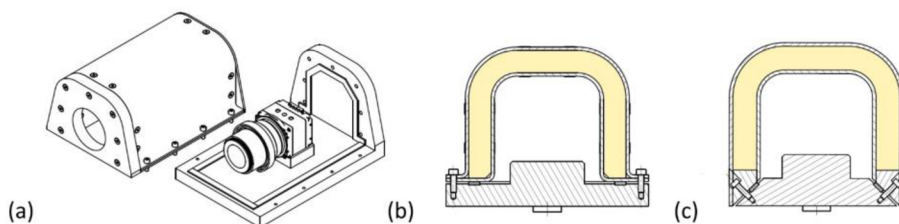
Druhým konceptem je skříň s odklápěcím poklopem. Její první varianta má čelní stěnu pevně spojenou se základnou krytu (Obr. 4-2a), u druhé varianty je čelní stěna součástí poklopu (Obr. 4-2b). Uzavírání skříně zajišťují na jedné straně kloubové závěsy a na druhé straně šroubové spoje. Dosedací plochu pro poklop tvoří pryžová těsnicí páska nalepená po obvodu základny.



Obr. 4-2 Koncept skříně s odklápěcím poklopem; (a) náčrtes varianty s pevnou čelní stěnou; (b) náčrtes varianty s čelní stěnou součástí poklopu; (c) řez skříní, žlutá plocha představuje izolační materiál.

4.1.3 Koncept č. 3 - skřín s nasazovacím poklopem

Třetím konceptem je dělená skřín, kde poklop je nasazován na základní desku a upevňován šroubovými spoji orientovanými ve vertikálním i horizontálním směru (Obr. 4-3a, b). Dosedací plochu pro poklop tvoří pryžová těsnicí páska nalepená po obvodu základny. Se záměrem zmenšení objemu základny vznikly také alternativní varianty tohoto konceptu s jinou orientací šroubových spojů (Obr. 4-3c).



Obr. 4-3 Koncept skříně s nasazovacím poklopem; (a) náčrtes skříně; (b) řez skříní, žlutá plocha představuje izolační materiál; (c) řez alternativní variantou skříně

4.1.4 Vyhodnocení konceptů skříně

Pro konstrukci byl vybrán koncept č. 3 - skřín s nasazovacím poklopem, varianta s vertikálně a horizontálně orientovanými šroubovými spoji (Obr. 4-3a, b).

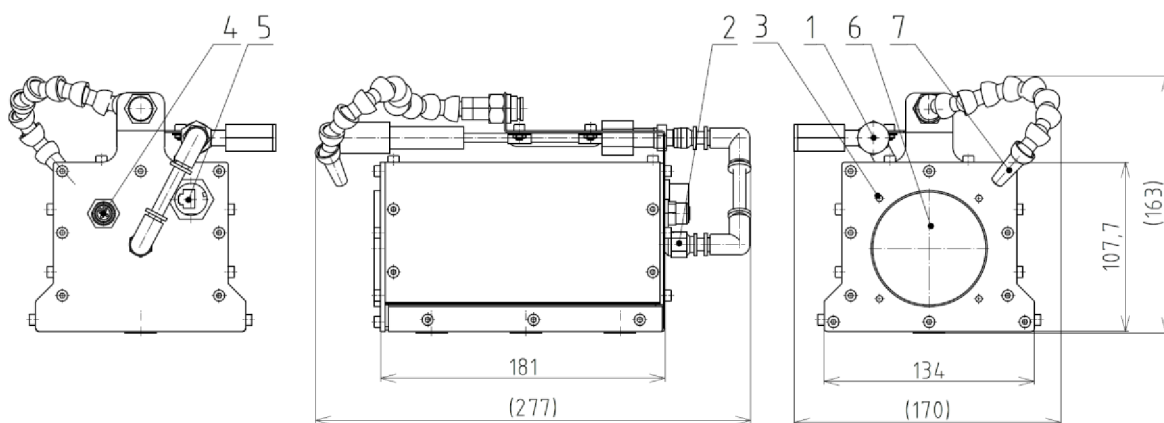
V porovnání s ostatními koncepčními návrhy nabízí po odejmutí horní části skříně nejlepší přístup ke kameře i objektivu. Zároveň je zaručeno kvalitní těsnění, protože poklop může být k základní desce přitahován ve vertikálním i horizontálním směru dotažením šroubů, což u ostatních variant není možné. Způsob, jakým se poklop na základnu přikládá také minimalizuje nebezpečí strhávání přilepeného těsnicího prvku při uzavírání krytu. Z technologického hlediska je navíc tento koncept nejméně náročný na výrobu.

Mírnou nevýhodou oproti zbylým konceptům je větší počet šroubových spojů, které je potřeba uvolnit při otevírání krytu, avšak celkově je otevírání tohoto krytu snadné.

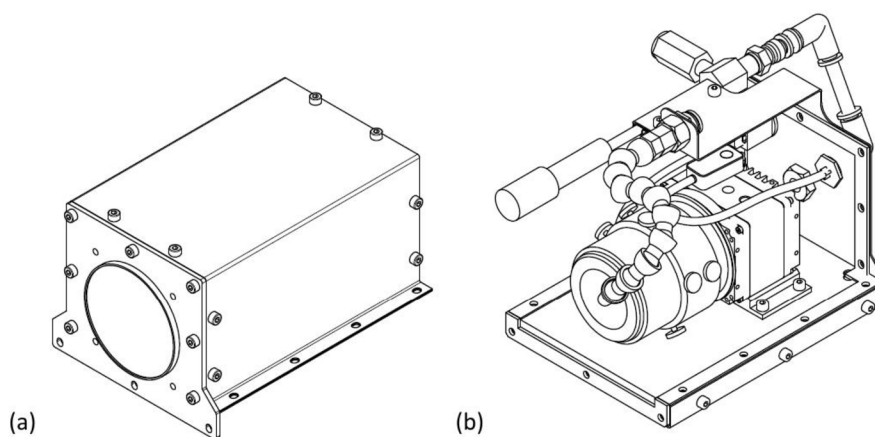
5 KONSTRUKČNÍ ŘEŠENÍ

V úvodu této kapitoly je popsán postup při zpracování zvoleného konceptu a základní popis výsledné konstrukce. Bližší popis konstrukce krytu následuje v podkapitolách věnovaných jednotlivým konstrukčním uzlům. Uvedeny jsou také provedené výpočty s komentářem.

Výsledná konstrukce na Obr. 5-1 vychází z koncepčního návrhu č. 3 dělené skříně s nasazovacím poklopem. Při vývoji byl koncepční návrh optimalizován z hlediska hmotnosti postupným zmenšováním celkových rozměrů, snižováním objemu korozivzdorné oceli v konstrukci a případně jejím nahrazováním lehčími materiály. Všechny tyto změny byly prováděny s ohledem na zachování nebo zlepšení tepelně izolačních vlastností krytu, které byly kontrolovány termomechanickým výpočtem. Dále byl kryt osazen potřebným vybavením, kterým je vírová trubice (pozice 1), jedním vstupem a čtveřicí výstupů pro chladicí vzduch (pozice 2 a 3), dvojicí konektorů pro kabeláž elektroniky (pozice 4 a 5), sklem průzoru (pozice 6) a tryskou pro omývání průzoru (pozice 7). Navržen byl také adaptér, který zajišťuje kompatibilitu kamery s objektivem.



Obr. 5-1 Nový kamerový kryt



Obr. 5-2 Otevřený nový kamerový kryt; (a) poklop krytu; (b) základna a výbava krytu

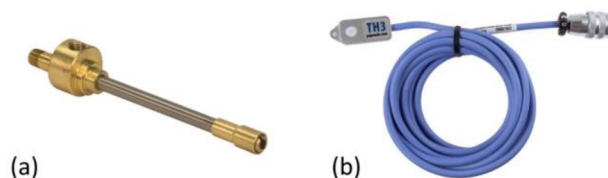
5.1 Výchozí komponenty krytu

Nový kryt je konstruován pro sestavu kamery Allied Vision PROSILICA GT 5120NIR, varianta M-58 Mount [22], objektivu ZEISS Interlock Compact 2.8/21 [23] a optického filtru Schneider – Kreuznach BP 680-100 HT [24]. Kromě konkrétní varianty kamery z dané série byly tyto komponenty stanoveny zadavatelem práce. Volba konstrukční varianty kamery M-58 Mount je vysvětlena v kapitole 5.2. Rozměry této sestavy jsou zhruba 130×80×80 mm.



Obr. 5-3 Soustava pro pořizování snímků; (a) Kamera řady Allied Vision Prosilica GT [24]; (b) Objektiv ZEISS Interlock Compact 2.8/21 [23]; (c) Optické filtry Schneider – Kreuznach BP [24].

Pro chlazení je určena vírová trubice Vortex Tube Model 106-8-H [26] a teplotu v krytu snímá senzor teploty a vlhkosti Papouch TH3 [27]. Tyto komponenty byly stanoveny zadavatelem práce. Ostatní komponenty termoregulační soustavy nejsou součástí konstrukce krytu, ale externím vybavením. Jedná se například o solenoidové ventily rozvodů vzduchu nebo programovatelný logický automat pro jejich řízení.



Obr. 5-4 Termoregulační příslušenství krytu; (a) Vortex Tube Model 106-8-H [26]; (b) Papouch TH3 [27].

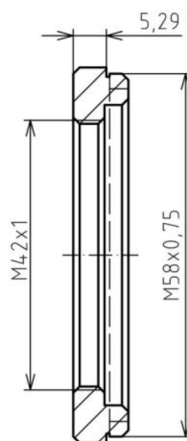
5.2 Adaptér objektivu

Pro správnou funkci fotografické soustavy je potřeba zvolit takovou variantu daného modelu kamery, aby bylo možno zajistit její kompatibilitu s objektivem. Kritériem kompatibility je vzdálenost mezi bajonetem objektivu a ohniskovou rovinou kamery, běžně označovaná anglickým výrazem flange focal distance (dále jen „FFD“). Pokud má kamera kratší FFD než objektiv, je možno kompatibilitu zajistit vhodným adaptérem.

Objektiv ZEISS Interlock Compact 2.8/21 má FFD 18 mm [23]. Z variant kamery Allied Vision PROSILICA GT 5120NIR splňuje kritérium kratší nebo menší FFD pouze varianta M-58 Mount s nominální FFD 12,71 mm [24]. Proto je navržen adaptér, který rozdíl FFD kamery a objektivu kompenzuje. Délka adaptéru je tedy dána rovnicí:

$$l = FFD_o - FFD_k = 18 \text{ mm} - 12,71 \text{ mm} = 5,29 \text{ mm}, \quad (1)$$

kde l je délka adaptéru v mm, FFD_o je vzdálenost mezi bajonetem objektivu a ohniskovou rovinou kamery, na kterou je objektiv dimenzován v mm a FFD_k je vzdálenost mezi bajonetem objektivu a ohniskovou rovinou kamery v mm.

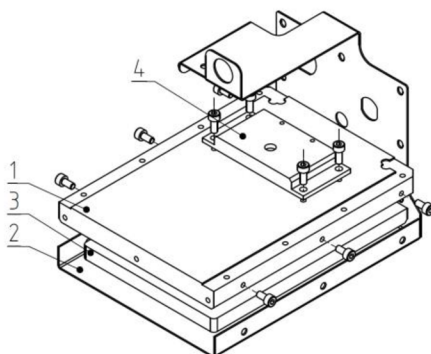


Obr. 5-5 Adaptér objektivu v řezu

5.3 Konstrukce skříně krytu

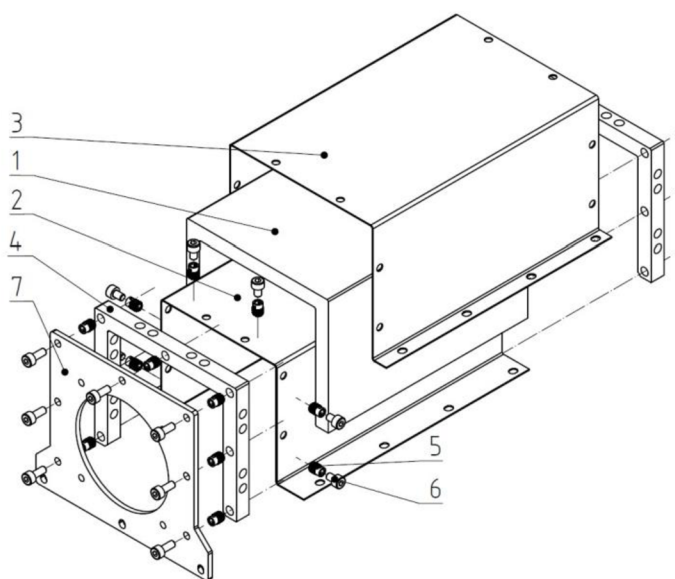
V této podkapitole je podrobněji popsána konstrukce základní skříně krytu, která je rozdělena na základnu a poklop.

Na Obr. 5-6 je znázorněna základna skříně v rozloženém pohledu s označením pozic. Hliníková deska (pozice 1) je uložena do pouzdra z ohýbaného a svařovaného plechu z korozi-vzdorné oceli (pozice 2). Toto pouzdro tvoří také zadní stěnu krytu a je na něm držák pro vírovou trubici. Mezi desku a pouzdro je vložen izolační materiál (pozice 3). Kamera se upíná na podstavec z korozi-vzdorné oceli (pozice 4). Při upínání je kamera nejdříve upnuta na podstavec šrouby přístupnými ze spodní strany podstavce a ten je poté i s kamerou upnut na základnu.



Obr. 5-6 Základna skříně v rozloženém pohledu

Na Obr. 5-7 je znázorněn poklop skříně v rozloženém pohledu s označením pozic základních dílů. Izolační materiál (pozice 1) je uložen mezi dva ohýbané plechy z korozivzdorné oceli (pozice 2 a 3). Na obou stranách je mezi plechy vložen plastový rám (pozice 4), do kterého jsou nasazeny závitové vložky (pozice 5) a pomocí šroubů (pozice 6) je poklop spojen v kompaktní celek. Čelní stěna z korozivzdorné oceli (pozice 7) je spojena šrouby s plastovým rámem.



Obr. 5-7 Poklop skříně v rozloženém pohledu

5.4 Volba materiálu

Pro vnější plochy krytu a tam, kde je žádoucí nízká tepelná vodivost, tedy pro podstavec kamery, pouzdro desky, čelní stěnu a plechy boční a horní stěny, byla zvolena korozivzdorná ocel DIN 1.4301. Jedná se o frekventovaně užívanou ocel s dobrou tvárností a svařitelností, která je důležitá především u pouzdra základní desky.

Pro základní desku a adaptér objektivu byla zvolena hliníková slitina EN AW-6063. Pro desky je hliníková slitina volena za účelem snížení hmotnosti dílu. U adaptéru je důležitá vhodnost slitiny k eloxování, kterým je dosaženo černé barvy povrchu.

Pro spojovací rámy byl zvolen plast ABS na základě odolnosti vůči vysokým teplotám.

Informace o materiálech drobnějších dílů sestavy jsou uvedeny v příložené výkresové dokumentaci.

5.5 Tepelná izolace krytu a chlazení

Pro tepelnou izolaci byl zvolen pružný materiál na bázi elastomerní pěny Armaflex HT výrobce Armacell Poland [28]. Izolační materiál o tloušťce 10 mm se nachází v bočních stěnách, horní stěně a základně krytu. Uložení mezi kovové vrstvy stěn je materiál chráněn před mechanickým poškozením a prachem. Zároveň není potřeba jej lepit na stěny, takže jeho případná výměna je snadná.

Teplotu uvnitř krytu měří teplotní snímač Papouch TH3, který informace předává do externího programovatelného logického automatu. Ten řídí dávkování chladicího vzduchu z vírové trubice Vortex Tube Model 106-8-H do krytu dle aktuální naměřené teploty.

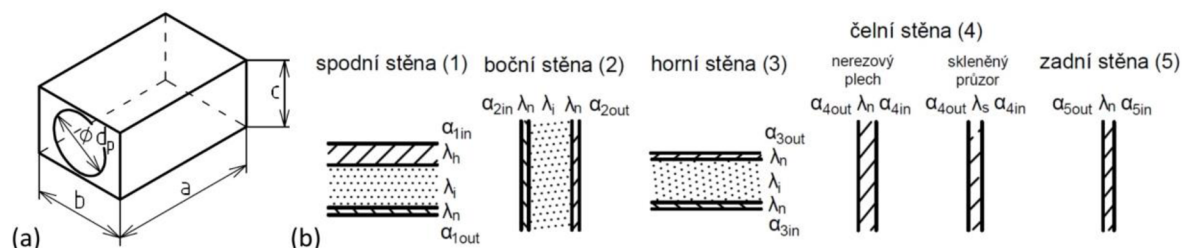
Jmenovitý chladicí výkon vírové trubice je 117 W [26]. Dle Hašíka a spol [16] je maximální účinnosti trubice dosaženo při poměru studené frakce 50 %. Tento poměr je tedy doporučen pro chlazení krytu. Poměr studené frakce je poměr objemového průtoku vzduchu na studeném konci vůči objemovému průtoku vzduchu na vstupu do trubice a nastavuje se pomocí ventilu na teplém konci trubice.

5.6 Výpočet tepelného zisku krytu

Aby bylo ověřeno, že chlazení krytu vírovou trubicí 106-8-H bude efektivní a že tepelně izolační vlastnosti nového krytu budou lepší než u současného krytu ÚK, byly provedeny výpočty tepelných zisků obou krytů. Tyto výpočty byly naprogramovány v prostředí PTC Mathcad a při změnách v konstrukci mohl být kontrolován jejich vliv na tepelně izolační vlastnosti krytu.

Úloha je navržena tak, že teplota vzduchu uvnitř krytu je 20 °C a teplota okolního vzduchu je 60 °C, což je maximální předpokládaná teplota okolního vzduchu v reálné aplikaci. Pomocí termomechanických výpočtů je určen tepelný tok z okolí dovnitř krytu. Pokud je tento tepelný zisk krytu v součtu s odpadním teplem kamery nižší než chladicí výkon vírové trubice, je vírová trubice schopna teplotu 20 °C uvnitř krytu udržovat.

Modelovým tělesem pro výpočet tepelného zisku nového krytu je kvádr na Obr. 5-8. Rozměry kvádru odpovídají vnitřním rozměrům krytu. Složení stěn kvádru se podobá složení stěn krytu.



Obr. 5-8 Modelový kvádr pro výpočet tepelného zisku nového krytu; (a) náčrt kvádru; (b) vrstvy stěn.

Aby bylo možno určit relevantní odhad součinitelů přestupu tepla na stěnách krytu, byly stanoveny tyto zjednodušující předpoklady:

- U tenkých stěn z korozivzdorné oceli a skla, tj. čelní a zadní stěny, lze považovat teplotu za uniformní po celé tloušťce. Tato teplota se ustálí uprostřed mezi teplotou okolí a teplotou uvnitř krytu, tj. na 40 °C.
- U stěn s izolačním materiálem, tj. spodní, boční a horní stěny, lze předpokládat, že teploty na vnější stěně se budou pohybovat mezi 40 až 60 °C a teploty na vnitřní straně mezi 20 až 40 °C.

Součinitele přestupu tepla jsou odhadnuty pomocí teorie podobnosti [29]. Všechny tabelované vstupní hodnoty byly určeny lineární interpolací z tabulek [29] pro vzduch o teplotě v mezní vrstvě, tj. o střední teplotě mezi teplotou na povrchu stěny a teplotou okolního vzduchu.

Příklad výpočtu součinitele přestupu tepla pro vnější stranu čelní stěny:

$$a = \frac{\lambda}{\rho \cdot c} = \frac{0,028}{1,084 \cdot 1,008 \cdot 10^3} = 2,563 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1} \quad (2)$$

kde a je součinitel teplotní difuze v $\text{m}^2 \text{s}^{-1}$, λ je součinitel tepelné vodivosti v $\text{W m}^{-1} \text{K}^{-1}$, ρ je objemová hmotnost v kg m^{-3} a c je měrná tepelná kapacita materiálu v $\text{J kg}^{-1} \text{K}^{-1}$.

$$Ra = \frac{g \cdot \beta \cdot |T_w - T_\infty| \cdot L^3}{a \cdot \nu} = \frac{9,81 \cdot 0,003 \cdot |313,15 - 333,15| \cdot 0,08^3}{2,563 \cdot 10^{-5} \cdot 18,219 \cdot 10^{-6}} = 6,656 \cdot 10^5 \quad (3)$$

kde Ra je Rayleighovo číslo, g je tíhové zrychlení na Zemi v m s^{-2} , β je součinitel teplotní objemové roztažnosti tekutiny při konstantním tlaku v K^{-1} , T_w je teplota na povrchu stěny v K, T_∞ je teplota okolního vzduchu v K, L je charakteristický rozměr tělesa v m a ν je kinematická viskozita v $\text{m}^2 \text{s}^{-1}$.

$$\begin{aligned}
 Nu &= \left(0,825 + \frac{0,387 \cdot Ra^{\frac{1}{6}}}{\left(1 + \left(\frac{0,492}{Pr} \right)^{\frac{9}{16}} \right)^{\frac{8}{27}}} \right)^2 \\
 &= \left(0,825 + \frac{0,387 \cdot (6,656 \cdot 10^5)^{\frac{1}{6}}}{\left(1 + \left(\frac{0,492}{0,704} \right)^{\frac{9}{16}} \right)^{\frac{8}{27}}} \right)^2 = 14,857
 \end{aligned} \tag{4}$$

kde Nu je Nusseltovo číslo a Pr je Prandtlovo číslo.

$$\alpha_{4out} = \frac{Nu \cdot \lambda}{L} = \frac{14,857 \cdot 0,028}{0,08} = 5,2 \text{ Wm}^{-2} \text{ K}^{-1} \tag{5}$$

kde α_{4out} je součinitel přestupu tepla na vnější straně čelní stěny v $\text{W m}^{-2} \text{ K}^{-1}$.

Tímto způsobem jsou určeny odhady součinitelů přestupu tepla na všech vnějších i vnitřních stěnách krytu. Protože u stěn s izolačním materiálem není známa teplota na povrchu stěny, jsou zde spočteny rozptyly součinitelů podle krajních teplot dle stanoveného předpokladu. Odhady těchto součinitelů jsou využity ve výpočtu celkového tepelného zisku krytu.

Tepelný odpor při vedení tepla ocelovou částí čelní stěny je:

$$R_{4n} = \frac{1}{\alpha_{4in}} + \frac{d_{n4}}{\lambda_n} + \frac{1}{\alpha_{4out}} = \frac{1}{5,326} + \frac{0,003}{15,1} + \frac{1}{5,2} = 0,38 \text{ K m}^2 \text{ W}^{-1} \tag{6}$$

kde R_{4n} je tepelný odpor při vedení tepla ocelovou částí čelní stěny v $\text{K m}^2 \text{ W}^{-1}$, α_{4in} je součinitel přestupu tepla na vnitřní straně čelní stěny v $\text{W m}^{-2} \text{ K}^{-1}$, d_{n4} je tloušťka stěny v m a λ_n je součinitel tepelné vodivosti nerezové oceli v $\text{W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$.

Tepelný tok čelní stěnou je:

$$\begin{aligned}
 \dot{Q}_4 &= \left(b \cdot c - \frac{\pi \cdot d_p^2}{4} \right) \cdot \frac{\Delta T}{R_{4n}} + \frac{\pi \cdot d_p^2}{4} \cdot \frac{\Delta T}{R_{4n}} \\
 &= \left(0,112 \cdot 0,08 - \frac{\pi \cdot 0,072^2}{4} \right) \cdot \frac{40}{0,38} + \frac{\pi \cdot 0,072^4}{4} \cdot \frac{40}{0,38} = 0,94 \text{ W}
 \end{aligned} \tag{7}$$

kde \dot{Q}_4 je tepelný tok čelní stěnou ve W, b je šířka kvádrů v m, c je výška kvádrů v m, d_p je průměr skleněného průzoru v m a ΔT je rozdíl teplot vzduchu uvnitř krytu a vně krytu v K.

Krajní hodnoty odhadu celkového tepelného zisku krytu jsou:

$$\begin{aligned}\dot{Q}_{cmin} &= \dot{Q}_{1min} + 2 \cdot \dot{Q}_{2min} + \dot{Q}_{3min} + \dot{Q}_4 + \dot{Q}_5 \\ &= 1,187 + 2 \cdot 0,365 + 0,824 + 0,940 + 0,943 = 4,625 \text{ W}\end{aligned}\quad (8)$$

$$\begin{aligned}\dot{Q}_{cmax} &= \dot{Q}_{1max} + 2 \cdot \dot{Q}_{2max} + \dot{Q}_{3max} + \dot{Q}_4 + \dot{Q}_5 \\ &= 1,510 + 2 \cdot 0,929 + 1,038 + 0,940 + 0,943 = 6,290 \text{ W}\end{aligned}\quad (9)$$

kde \dot{Q}_{cmin} je spodní hranice rozptylu celkového tepelného zisku krytu ve W, \dot{Q}_{1min} je spodní hranice rozptylu tepelného toku čelní stěnou ve W, \dot{Q}_{2min} je spodní hranice rozptylu tepelného toku boční stěnou ve W, \dot{Q}_{3min} je spodní hranice rozptylu tepelného toku horní stěnou ve W a \dot{Q}_5 je tepelný tok zadní stěnou ve W.

Tepelný zisk nového krytu kondukcí a konvekcí je tedy zhruba 4,6 až 6,3 W. Obdobné výpočty byly provedeny i pro současný kamerový kryt ÚK, přičemž modelovým tělesem byl válec a byly tedy použity vztahy pro podobnostní čísla pro válcová tělesa. Tepelný zisk současného krytu ÚK byl odhadnut na 11,9 W. Pokud je uvažována vyšší ze zjištěných hodnot pro nový kryt, tepelný zisk nového krytu byl oproti starému snížen o:

$$\Delta\dot{Q}_{\%} = \frac{(\dot{Q}_s - \dot{Q}_{cmax})}{\dot{Q}_s} = \frac{(11,9 - 6,3)}{11,9} = 47 \%\quad (10)$$

kde $\Delta\dot{Q}_{\%}$ je procentuální snížení tepelného zisku krytu a \dot{Q}_s je tepelný zisk současného krytu ve W.

Tyto výpočty jsou pouze hrubým odhadem skutečných tepelných zisků krytů. Za prvé v nich není zahrnut přenos tepla radiací, avšak vzhledem k umístění kamery v kovárně není předpokládán její dominantní vliv. Za druhé se tvary skutečných krytů se od modelových těles liší, což má vliv na obtékání tělesa vzduchem, a tedy i na míru přenosu tepla konvekcí. Lze však předpokládat, že nepřesnost výpočtů je pro oba kryty zhruba stejná.

S přihlédnutím ke skutečnosti, že většina energie dodávaná kameře je přeměněna v odpadní teplo [22] lze schopnost vírové trubice efektivně chladit nový kryt vyjádřit následující nerovnicí:

$$\begin{aligned}P_t &> \dot{Q}_{cmax} + P_k \\ 117 \text{ W} &> 6,289 \text{ W} + 6,3 \text{ W} \\ 117 \text{ W} &> 12,589 \text{ W}\end{aligned}\quad (11)$$

kde P_t je chladičový výkon vírové trubice ve W a P_k je příkon kamery ve W.

Na základě řádového rozdílu hodnot na levé a pravé straně nerovnice (11) lze i přes značné zjednodušení situace ve výpočtech učinit závěr, že vírová trubice je bezpečně schopna v požadované míře chladit vnitřní prostor krytu dávkováním chladicího vzduchu.

5.7 Průzor

Pro vyplnění průzoru byl zvolen optický filtr Hoya Fusion Antistatic Protector. Sklo filtru je opatřeno osmnácti antireflexními vrstvami, které do značné míry eliminují nežádoucí reflexe na snímcích. Speciální vlastností filtru je schopnost odpuzovat prach díky antistatickému povlaku [30].



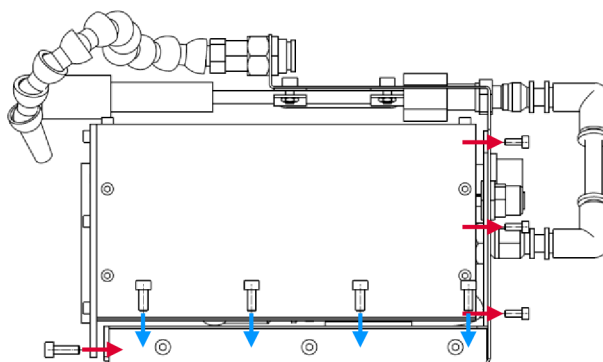
Obr. 5-9 Hoya Fusion Antistatic Protector [30].

Ochranný optický filtr byl pro průzor zvolen vzhledem k požadavkům na vysokou optickou kvalitu skla. Alternativní variantou je zakázková výroba krycího skla u některého z výrobců optických prvků. Varianta s ochranným filtrem byla zvolena vzhledem k ekonomičnosti návrhu a speciálním vlastnostem zvoleného filtru. Pokud by se v praxi ukázala tato varianta jako jakkoliv problematická, může být nahrazena.

K dopravě vzduchu pro omývání průzoru souží kloubová hadice upevněná na pouzdro základny.

5.8 Těsnění konstrukce

Primárním těsnícím prvkem krytu je pryžová páska o tloušťce 2 mm z EPDM [31] přilepená k základně, která zajišťuje těsnění v místech dosednutí poklopu na základnu. Poklop je přitahován k základně šrouby v horizontálním i vertikálním směru (Obr. 5-10). Protože by vlivem deformace pryže při utahování šroubů mohlo dojít k vyosení průchozích hladkých a závitových děr šroubových spojů krytu a poklopu, jsou tyto průchozí díry nahrazeny drážkami.



Obr. 5-10 Směry přitahování poklopu k základně.

K zapojení kabelů elektroniky slouží konektory s garantovaným stupněm krytí IP 6X – úplná ochrana před vniknutím prachu. Zvolena byla stíněná ethernetová panelová spojka výrobce RS Components [32] s IP67 pro zapojení kamery a zásuvka s průmyslovým konektorem výrobce Amphenol [33] s IP67, na kterou je připájen kabel snímače teploty Papouch TH3 [27].

Pro zajištění těsnosti spoje čelní stěny se zbytkem poklopu je doporučeno aplikovat na spáry silikonový tmel.

Chladicí vzduch vchází do krytu šroubením AIGNEP s těsnicím prvkem [34] a přebytečný vzduch opouští kryt čtyřmi zpětnými ventily SMC AKH04B-M5 [35].

5.9 Kontrola pevnosti průzoru

Protože parametry zpětných ventilů omezují tok přebytečného vzduchu ven z krytu, může uvnitř nastat mírný přetlak. Proto byly provedeny výpočty maximálního přetlaku uvnitř krytu a kontrola pevnosti průzoru.

Pro zpětné ventily SMC AKH04B-M5 uvádí výrobce otevírací tlak 0,005 MPa [35]. Při tomto tlaku však nedochází k úplnému otevření ventilu, ale k pozvolnému uvolňování menších dávek vzduchu. Je tedy potřeba stanovit maximální přetlak, který může nastat uvnitř krytu. Pokud uvnitř krytu nastane přetlak, při kterém je odtok vzduchu čtyřmi zpětnými ventily roven přítoku chladicího vzduchu z vírové trubice, vzduch se dále v krytu nehromadí a tento přetlak je maximálním přetlakem.

Tok chladicího vzduchu do krytu je při poměru chladné frakce 50 % na trubici se spotřebou vzduchu 226 l/min [26] roven 113 l/min. Pomocí výpočtu uvedeného výrobcem [36] byl dosazováním různých vstupních hodnot přetlaku určen tlak $p_{in} = 0,022$ MPa, při kterém je tok čtyřmi zpětnými ventily roven 113,35 l/min. Výpočet toku je následující:

Tlakový poměr je:

$$\frac{p_2 + 0,1}{p_1 + 0,1} = \frac{0 + 0,1}{0,022 + 0,1} = 0,82 \quad (12)$$

kde p_2 je relativní tlak na výstupu z ventilu v MPa a p_1 je relativní tlak na vstupu do ventilu v MPa.

Protože tlakový poměr $\frac{p_2+0,1}{p_1+0,1} = 0,82$ je větší než kritický tlakový poměr $b = 0,35$ z katalogového listu ventilu, dochází k podzvukovému proudění. Tok jedním ventilem při podzvukovém proudění je:

$$\begin{aligned} Q &= 600 \cdot C \cdot (p_1 + 0,1) \cdot \sqrt{1 - \left(\frac{p_2 + 0,1}{p_1 + 0,1} - b \right)^2} \cdot \sqrt{\frac{293}{273 + T}} \\ &= 600 \cdot 0,56 \cdot (0,022 + 0,1) \cdot \sqrt{1 - \left(\frac{0 + 0,1}{0,022 + 0,1} - 0,35 \right)^2} \cdot \sqrt{\frac{293}{273 + 20}} \\ &= 28,34 \text{ l/min} \end{aligned} \quad (13)$$

kde C je sonic conductance (katalogová charakteristika ventilu) v $\text{dm}^3 \text{ s}^{-1} \text{ bar}^{-1}$ a T je teplota vzduchu vystupujícího z krytu ve $^{\circ}\text{C}$.

Pro čtyři nezávislé ventily je tedy při přetlaku 0,022 MPa uvnitř krytu tok vzduchu:

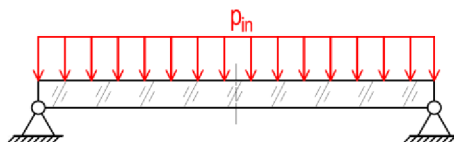
$$Q_{celk} = 4 \cdot Q = 4 \cdot 28,34 = 113,35 \text{ l/min} \quad (14)$$

kde Q_{celk} je tok ventily z krytu při maximálním přetlaku v l/min.

V běžném provozu je chladicí vzduch do krytu dávkován v krátkých intervalech dle aktuální teploty naměřené snímačem. Vzhledem k zjištěným tepelně izolačním vlastnostem krytu tak není předpokládáno, že by měl tlak uvnitř krytu hodnoty $p_{in} = 0,022$ MPa během provozu dosáhnout. Lze ji však využít jako mezní hodnotu pro kontrolu pevnosti průzoru.

Pro pevnostní výpočet je dále třeba stanovit vlastnosti skla průzoru. Pro optické filtry užívá výrobce Hoya křemenná skla [30]. Bližší informace o složení či mechanických vlastnostech skla filtru užitého pro průzor se nepodařilo od výrobce získat. Obecně je pevnost skla výrazně ovlivněna nedokonalostmi ve struktuře a na povrchu vzorku. Teoretické hodnoty pevnosti skla se tedy značně liší od hodnot pevnosti skutečných výrobků. Pro mez pevnosti křemenného skla s kvalitní úpravou povrchu uvádějí výrobci běžně hodnotu kolem 48 MPa a vyšší [37]. Pro výpočet v této práci byly zvoleny tyto hodnoty materiálových charakteristik skla: Youngův modul $E = 72$ GPa, Poissonova konstanta $\mu = 0,17$ a mez pevnosti v tahu $R_m = 48$ MPa.

V následujících odstavcích je uveden postup pevnostního výpočtu skla průzoru krytu. Základním tělesem pro kontrolu pevnosti skla průzoru je kruhová deska zatížená tlakem p_{in} dle Obr. 5-11. Tloušťka desky je $h = 2$ mm a poloměr desky je $r_l = 36$ mm (dle rozměrů filtru Hoya na krytu kamery).



Obr. 5-11 Schéma kruhové desky zatížené tlakem

Liniová posouvající síla na obecném poloměru r je pro tento případ dána vztahem:

$$\tau(r) = -\frac{p_{in}r}{2} \quad (15)$$

kde $\tau(r)$ je liniová posouvající síla na obecném poloměru r .

Natočení desky na obecném poloměru r je:

$$\vartheta = C_1 r + \frac{C_2}{r} + \vartheta_p \quad (16)$$

kde ϑ je natočení desky, C_1 a C_2 jsou integrální konstanty a ϑ_p je partikulární integrál.

Partikulární integrál je vyjádřen vztahem:

$$\vartheta_p = -\frac{1}{rB} \int r \left[\int \tau(r) dr \right] dr = \frac{p_{in}r^3}{16B} \quad (17)$$

kde B je ohybová tuhost desky.

Radiální a obvodový liniový moment je:

$$M_r = -B \left(\frac{d\vartheta}{dr} + \mu \frac{d\vartheta}{dr} \right) = -B \left[C_1(1 + \mu) + (3 + \mu) \frac{p_{in}r^2}{16B} \right] \quad (18)$$

$$M_t = -B \left(\mu \frac{d\vartheta}{dr} + \frac{d\vartheta}{dr} \right) = -B \left[C_1(1 + \mu) + (1 + 3\mu) \frac{p_{in} r^2}{16B} \right] \quad (19)$$

kde M_r je radiální liniový moment a M_t je obvodový liniový moment.

Okrajové podmínky pro určení konstant C_1 a C_2 jsou:

$$\vartheta(r = 0) = 0 \quad (20)$$

$$M_r(r = r_1) = 0 \quad (21)$$

kde $\vartheta(r = 0)$ je natočení ve středu desky a $M_r(r = r_1)$ je radiální liniový moment na kraji desky.

Dosažením okrajových podmínek do rovnic (16) a (18) jsou určeny integrační konstanty:

$$C_1 = -\frac{(3 + \mu)p_{in}r_1^2}{16B(1 + \mu)} \quad (22)$$

$$C_2 = 0 \quad (23)$$

Ohybová tuhost desky je:

$$B = \frac{Eh^3}{12(1 - \mu^2)} \quad (24)$$

Dosažením C_1 (22), C_2 (23), B (24) a číselných hodnot do rovnic pro liniové momenty (18) a (19) jsou určeny hodnoty liniových momentů ve středu desky a na kraji desky. Z průběhů momentů na Obr. 5-12 je zřejmé, že kritickým místem je střed desky.

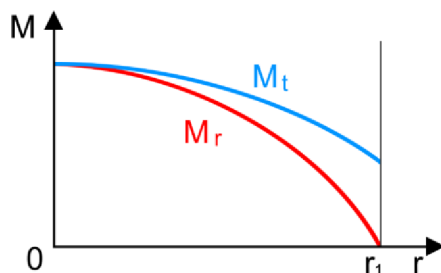
$$M_{r0} = 5,649 \text{ N} \quad (25)$$

$$M_{t0} = 5,649 \text{ N} \quad (26)$$

$$M_{r1} = 0,000 \text{ N} \quad (27)$$

$$M_{t1} = 2,958 \text{ N} \quad (28)$$

kde M_{r0} a M_{t0} jsou radiální a obvodový liniový moment ve středu desky a M_{r1} a M_{t1} jsou radiální a obvodový liniový moment na kraji desky.



Obr. 5-12 Průběhy liniových momentů na poloměru r .

Maximální radiální a obvodové napětí ve středu desky jsou shodně:

$$\sigma_{rmax0} = \frac{6 \cdot M_{r0}}{h^2} = \frac{6 \cdot 5,649}{0,002^2} = 8,473 \text{ MPa} \quad (29)$$

$$\sigma_{tmax0} = \frac{6 \cdot M_{t0}}{h^2} = \frac{6 \cdot 5,649}{0,002^2} = 8,473 \text{ MPa} \quad (30)$$

kde σ_{rmax0} je maximální radiální napětí ve středu desky v MPa a σ_{tmax0} je maximální obvodové napětí ve středu desky v MPa.

Dle hypotézy maximálních smykových napětí je redukované napětí ve středu desky:

$$\sigma_{red} = \sigma_1 - \sigma_3 = \sigma_{rmax0} - \sigma_{zmax0} = 8,473 - 0 = 8,473 \text{ MPa} \quad (31)$$

kde σ_{red} je redukované napětí v MPa, σ_1 a σ_3 jsou hlavní napětí v MPa a σ_{zmax0} je axiální napětí ve středu desky v MPa.

Výsledná bezpečnost je:

$$k_R = \frac{R_m}{\sigma_{red}} = \frac{48}{8,473} = 5,665 \quad (32)$$

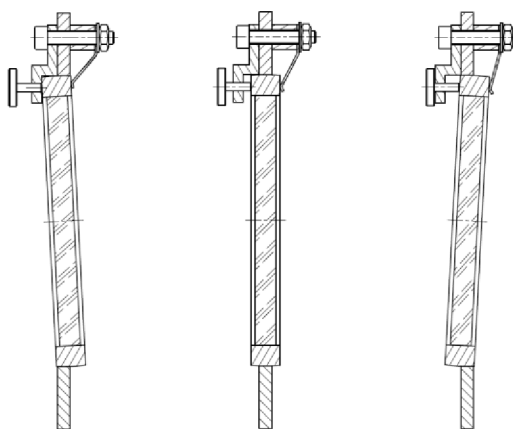
kde k_r je bezpečnost vůči meznímu stavu křehké pevnosti.

Tento výpočet sice ne vychází z reálných vlastností skla filtru, ale lze předpokládat, že skutečné vlastnosti skla filtru jsou lepší, než vlastnosti modelové desky a bezpečnost filtru je tedy ještě vyšší. Filtr je navíc vybaven vytvrzenou antistatickou vrstvou. Zvolený filtr lze tedy považovat za vyhovující.

5.10 Koncept otočného průzoru

Jedním z požadavků na nový kamerový kryt byla schopnost eliminace nežádoucích reflexí na snímcích. Za tímto účelem vznikl koncept otočného průzoru. Protože jsou ale nežádoucí reflexe u nového krytu již značně potlačeny antireflexními vrstvami na filtru, bylo po konzultaci s vedoucím práce stanoveno, že tento koncept nebude do výsledné konstrukce zapracován a bude pouze uveden jako předmět pro další vývoj.

Koncept je tvořen dělenou stěnou a rámem pro sklo. Rám sdílí se stěnou sférickou stykovou plochu a jeho sklon je nastavován soustavou pohybového šroubu a listové pružiny. Polohu v ose otáčení zajišťují dva čepy uložené do děr v rámu a na rozhraní horní a dolní poloviny stěny.



Obr. 5-13 Koncept otočného průzoru

6 DISKUZE

Cílem práce bylo navrhnout nový kamerový kryt s lepšími vybranými vlastnostmi v porovnání se současným krytem Ústavu konstruování. Pro porovnání základních kvantifikovatelných parametrů současného a navrženého krytu slouží Tab. 6-1.

Tab. 6-1 Porovnání základních kvantifikovatelných parametrů současného a navrženého krytu

Parametr	Současný kryt ÚK	Nový kryt
Hmotnost [kg]	13	4
Tepelný zisk [W] ^{a)}	11,9	6,3
Chladicí výkon vírové trubice [W]	117	117
Objem chlazeného prostoru [mm ³]	3,16 · 10 ⁶	1,26 · 10 ⁶
Vnější rozměry základní skříně [mm] ^{b)}	ø139,7×241	134×108×181

^{a)} Zahnut pouze tepelný zisk konvekcí a kondukcí

^{b)} Uvedeny základní rozměry skříně bez vírové trubice, trysek omývajících průzor, podstavců apod.

Požadavek na snížení hmotnosti krytu na polovinu byl splněn, jak dokládá Tab. 6-1. Hmotnost nového krytu je o zhruba 69 % nižší než hmotnost krytu současného.

Z Tab. 6-1 lze také vyčíst, že nový kryt má při stejném chladicím výkonu vírové trubice a menším objemu chlazeného prostoru zároveň nižší tepelný zisk od okolí. Je potřeba zmínit, že ke kameře v současném krytu je připojen přídatný pasivní chladič, což pro nový návrh neplatí. Rozdíl je také v konstrukci upnutí kamery, kde v současném krytu je kamera na konzole lépe izolována od samotné skříně krytu na úkor tuhosti spojení s nosníkem. I s přihlédnutím k těmto skutečnostem lze však požadavek na lepší tepelně izolační vlastnosti krytu vyhodnotit jako splněný.

Dalším požadavkem bylo snadnější otevírání krytu a vyjímání kamery. U současného krytu je proces otevírání krytu, vyjímání kamery a údržby čelního průzoru značně komplikovaný. Pro vyjmutí kamery je potřeba učinit řadu demontážních úkonů, kde některé spoje jsou řešeny šrouby s maticemi, což je pro jednoho uživatele značně nekomfortní. Koncept nového krytu s příkládacím poklopem těmito nedostatky netrpí. Otevírání a uzavírání krytu je snadné, kamera je v otevřeném krytu dobře přístupná a v případě potřeby i poměrně snadno vyjímatelná. Přestože je pro otevírání a uzavírání krytu potřeba manipulovat s větším počtem šroubů (osmnáct), otevírání krytu je komfortnější, protože v konstrukci nejsou využity žádné matice.

Dále byly splněny požadavky na tuhé spojení kamery s krytem, užití krycího skla optické kvality, eliminace nežádoucích reflexí na čočce objektivu, krytí proti vniknutí prachových částic, omývání průzoru vzduchem a také požadavky na kompatibilitu krytu s kamerou, vírovou trubicí, snímačem teploty a nosníkem v hale.

Z hlediska výroby a montáže je nová konstrukce nenáročná a způsob, jakým je sestavena umožňuje snadnou výměnu jednotlivých dílů při zavádění případných inovací do již fungující sestavy.

Realizace a implementace návrhu přispěje k dalšímu zkvalitnění fotogrammetrického systému vyvíjeného na Ústavu konstruování.

7 ZÁVĚR

V této bakalářské práci byla provedena rešerše současného trhu s kamerovými kryty do průmyslového prostředí a návrh konstrukce kamerového krytu pro aplikaci ve fotogrammetrickém měření výkovek. Cílem návrhu nového kamerového krytu bylo překonání hmotnostních, termoizolačních a dalších funkčních vlastností současného krytu užívaného na Ústavu konstruování FSI VUT v Brně.

Součástí vývoje byl návrh koncepčních řešení, výběr vodné varianty a její zpracování do podoby výsledné konstrukce. Během vývoje byl pro kontrolu dosažených vlastností s ohledem na stanovené požadavky proveden termomechanický výpočet tepelného zisku krytu. Obdobný výpočet byl proveden i pro kryt současný za účelem porovnání vlastností obou krytů. Dále byl proveden pevnostní výpočet skla průzoru kvůli možnému přetlaku uvnitř krytu během provozu. Výsledky všech výpočtů byly vyhodnoceny jako uspokojivé a všechny předem stanovené cíle byly splněny. Výsledná konstrukce má dle výpočtů o zhruba 47 % nižší tepelný zisk a její hmotnost je o 69 % nižší v porovnání se současným krytem ÚK. Pro výslednou konstrukci byla vyhotovena výkresová dokumentace. Kromě navržené konstrukce kamerového krytu byl představen i koncept otočného průzoru, který může být předmětem dalšího vývoje. Předmětem dalšího vývoje by mohl být také podstavec pro kameru, který by kombinoval vlastnosti pasivního chladiče a tuhého spoje mezi kamerou a základnou krytu.

Navržený kamerový kryt přispěje k vylepšení vlastností vyvíjeného fotogrammetrického systému, kde poskytne kameře teplotně stabilní prostředí chráněné před vniknutím prachu bez negativního vlivu na kvalitu pořízených snímků. Kryt lze využít také v dalších příbuzných aplikacích, kde je v potřeba přesné měření v náročných podmínkách.

8 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

1. Videotec S.p.A.: NXW [online katalogový list]. 2021-03-12 [cit. 2021-03-27]. Dostupné z:
https://www.videotec.com/dep/ekr/Schede_Tecniche/EN/NXW_Datasheet.pdf
2. Tecnovideo S.R.L.: 129AC [online katalogový list]. [cit. 2021-03-26]. Dostupné z:
https://www.tecnovideocctv.com/pdf/datasheet_129ac.pdf
3. INDUSTRIAL CCTV SYSTEMS: Catalog March 2019 rev.00. Test-Therm [online katalog]. Milán: Telea Tecnovision, 2019, 2019 [cit. 2021-03-29]. Dostupné z:
<https://www.test-therm.pl/pliki/download/772-telea-kamery-przemyslowe-do-piecow-i-kotlow/katalogi>
4. AIR08X300. Telea Tecnovision [online]. Milán: Telea Tecnovision [cit. 2021-03-30]. Dostupné z: <http://www.telea.com/en/product/air08x300/>
5. Kamerové systémy pro těžký průmysl. ENELEX: Coal Quality Management Systems [online]. Chvaletice: ENELEX. Dostupné z:
https://www.enelex.cz/?page_id=343&lang=cs
6. ViperVenom Compact. Viper Imaging [online]. Birmingham (Alabama): Viper Imaging [cit. 2021-03-30]. Dostupné z:
<https://www.viperimaging.com/products/compact-a-series-enclosures>
7. Tecnovideo S.R.L.: 129LC [online katalogový list]. [cit. 2021-03-26]. Dostupné z:
https://www.tecnovideocctv.com/pdf/datasheet_129lc.pdf
8. ACQ07X220. Telea Tecnovision [online]. Milán: Telea Tecnovision [cit. 2021-03-30]. Dostupné z: <http://www.telea.com/en/product/acq07x220/>
9. AutoVimation: Product Catalogue 2021. AutoVimation [online katalog]. Rheinstetten: autoVimation, 2021, 2021 [cit. 2021-03-29]. Dostupné z:
<https://www.autovimation.com/de/downloads-m/48-catalogue2021/file>
10. Kryt průmyslových kamer CH50. Argutec [online katalogový list]. Ostrava: Argutec, 2012 [cit. 2021-03-31]. Dostupné z:
<http://eshop.argutec.eu/Content/Images/uploaded/CH50%20-%20CZ%20-%20Produktov%C3%BD%20list%20v2.pdf>
11. KAMEROVÝ KRYT SE VZDUCHOVOU CLONOU. MOS technik shop [online katalogový list]. Odry: Argutec [cit. 2021-03-31]. Dostupné z:
<https://shop.mosttechnik.cz/data.aspx?data=43d4acc0-bffd-421e-9ba6-92877f43d896>
12. SALAMANDER. AutoVimation [online]. Rheinstetten: autoVimation [cit. 2021-03-31]. Dostupné z: <https://www.autovimation.com/en/salamander-en>

13. Orca IP67 (Nema 4+6): Industrial camera enclosures. W-Technika: Termovizní a průmyslové přístroje [online katalogový list]. Rheinstetten: autoVimation [cit. 2021-03-31]. Dostupné z: <https://www.w-technika.cz/out/media/Orca-datovy-list.pdf>
14. HOV: Side-opening aluminium camera housing. Videotec: Video security products [online katalogový list]. Schio: Videotec, 2019 [cit. 2021-03-31]. Dostupné z: https://www.videotec.com/dep/ekr/Schede_Tecniche/EN/HOV_Datasheet.pdf
15. HOV HI-POE IPM: Aluminium housing with IPM technology for IP cameras. Videotec: Video security products [online]. Schio: Videotec [cit. 2021-03-31]. Dostupné z: <https://www.videotec.com/cat/en/products/fixed-cameras-and-housings/general-purpose-camera-housings/hov-hi-poe-ipm/>
16. HAŠLÍK, Igor, Jiří Kočař, Jiří KROUPA a Jan HAJDA. Návrh a konstrukce ochranného krytu s aktivním chlazením. Brno, 2018.
17. Vysoké učení technické v Brně, Brno, CZ. Zařízení krytu průmyslové kamery. Česká republika. Užitný vzor, CZ 32525 U1. Zapsáno 30. 1. 2019. Dostupné z: <https://isdv.upv.cz/doc/FullFiles/UtilityModels/FullDocuments/FDUM0032/uv032525.pdf>
18. HURNÍK, Jakub, Aneta ZATOČILOVÁ a David PALOUŠEK. Camera calibration method of optical system for large field measurement of hot forgings in heavy industry. Optical Measurement Systems for Industrial Inspection XI [online]. SPIE, 2019, 2019-6-21, 112- [cit. 2021-03-27]. ISBN 9781510627918. Dostupné z: doi:10.1117/12.2527693
19. ZATOČILOVÁ, Aneta. Měření a vyhodnocování přímosti osy rotačních výkovků pomocí fotogrammetrie a analýzy obrazu. Brno, 2014. Disertační práce. Vysoké Učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství. Vedoucí práce Doc. Ing. Jan Brandejs CSc.
20. ZATOČILOVÁ, Aneta, David PALOUŠEK a Jan BRANDEJS. Image-based measurement of the dimensions and of the axis straightness of hot forgings. Measurement [online]. 2016, 94, 254-264 [cit. 2021-03-27]. ISSN 02632241. Dostupné z: doi:10.1016/j.measurement.2016.07.066
21. DWORKIN, S.B. a T.J. NYE. Image processing for machine vision measurement of hot formed parts. Journal of Materials Processing Technology [online]. 2006, 174(1-3), 1-6 [cit. 2021-03-27]. ISSN 09240136. Dostupné z: doi:10.1016/j.jmatprotec.2004.10.019
22. Prosilica GT 5120NIR. Allied Vision Technologies [online katalogový list]. Stadtroda: Allied Vision Technologies [cit. 2021-5-5]. Dostupné z: <https://www.alliedvision.com/en/products/cameras/detail/Prosilica%20GT/5120NIR/action/pdf.html>

23. ZEISS Interlock Compact 2.8/21. Carl Zeiss AG [online katalogový list]. Oberkochen: Carl Zeiss, 2017, 05/17 [cit. 2021-5-5]. Dostupné z: <https://www.zeiss.com/content/dam/consumer-products/downloads/industrial-lenses/datasheets/en/interlock-compact-lenses/datasheet-zeiss-interlock-compact-2821.pdf>
24. Bandpass Filter. Schneider Kreuznach [online katalogový list]. Bad Kreuznach: Schneider Kreuznach, 2020, 12/2020 [cit. 2021-5-5]. Dostupné z: <https://schneiderkreuznach.com/application/files/4016/0743/1750/Datasheet-bandpass-filter-en.pdf>
25. Prosilica GT Technical Manual. Graftek Imaging [online katalogový list]. Stadtroda: Allied Vision Technologies, 2016, 2016-May-11 [cit. 2021-5-5]. Dostupné z: https://www.graftek.biz/system/files/11074/original/AVT_GT_Manual.pdf?1470431357
26. Vortex Tube: Model 106. Vortec [online katalogový list]. Cincinnati (Ohio): Vortec [cit. 2021-5-5]. Dostupné z: https://www.vortec.com/Content/Images/uploaded/Spec_Sheets/Vortec%20Tubes/106%20spec%20sheet%20-%20Copy%201.pdf
27. Teplotně-vlhkostní senzor. Papouch [online katalogový list]. Praha: Papouch, 2016, 21.11.2016 [cit. 2021-5-5]. Dostupné z: <https://cdn.papouch.com/data/user-content/products/th3/senzor-technicky%20list.pdf>
28. HT/Armaflex. ISOOL [online katalogový list]. Slezská Středa: Armacell Poland [cit. 2021-5-5]. Dostupné z: https://www.izolace-zatepleni.eu/PDS_HTArmaflex_CZa.pdf
29. BERGMAN, Theodore L. a Frank P. INCROPERA. Fundamentals of Heat and Mass Transfer. United States of America: John Wiley, 2017, 992 s. Eighth edition. ISBN 978-1-119-32042-5.
30. FUSION ANTISTATIC PROTECTOR. Hoya filter [online]. Tokio: Kenko Tokina, 2021 [cit. 2021-5-13]. Dostupné z: https://hoyafilter.com/product/fusion_protector/
31. PRYŽOVÉ PROFILY OBDÉLNÍKOVÉHO TVARU - SAMOLEPICÍ - EPDM. Gumex [online]. Moravany: Gumex [cit. 2021-5-15]. Dostupné z: <https://www.gumex.cz/h/pryzove-profil-y-obdelnikoveho-tvaru-samolepici-epdm-00496?Filter=True>
32. Spojka, počet portů: 1 stíněný RJ45 samice RS PRO. RS Components [online]. Corby: RS Components [cit. 2021-5-15]. Dostupné z: <https://cz.rs-online.com/web/p/ethernetove-propojky/1116746>
33. M12A-04PFFS-SF8001. Amphenol [online]. Wallingford (Connecticut): Amphenol [cit. 2021-5-15]. Dostupné z: <https://www.amphenol-industrial.de/en/M12A-04PFFS-SF8001/Female-panel-connector-4-pole/p3226#>

34. 50020: STRAIGHT MALE ADAPTOR (PARALLEL). Aignep [online]. Bione (Brescia): SMC [cit. 2021-5-15]. Dostupné z: <https://www.aignep.com/eng/Push-in-fittings/50000-Red-Series/STRAIGHT-MALE-ADAPTOR-PARALLEL>
35. Check Valve: AK Series. SMC [online katalogový list]. Sotokanda: SMC [cit. 2021-5-15]. Dostupné z: <https://static.smc.eu/pdf/AK.pdf>
36. Process Valves. SMC [online katalogový list]. Sotokanda: SMC [cit. 2021-5-15]. Dostupné z: http://ca01.smcworld.com/catalog/BEST-technical-data-en/pdf/6-9-p0002-0016-ryutai_en.pdf
37. Fused Quartz Properties & Usage Guide: GE Type 214, 214LD and 124. National Quartz [online]. Hellertown (Pennsylvania): National Quartz, 1996, February 23, 1996 [cit. 2021-5-18]. Dostupné z: <http://www.quartz.com/gedata.html>

9 SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK, SYMBOLŮ A VELIČIN

FFD_0	vzdálenost mezi bajonetem objektivu a ohniskovou rovinou kamery, na kterou je objektiv dimenzován
FFD_k	vzdálenost mezi bajonetem objektivu a ohniskovou rovinou kamery
a	součinitel teplotní difuze
ρ	objemová hmotnost
c	měrná tepelná kapacita
λ	součinitel tepelné vodivosti
λ_n	součinitel tepelné vodivosti nerezové oceli
Ra	Rayleighovo číslo
g	tíhové zrychlení
β	součinitel teplotní objemové roztažnosti tekutiny při konstantním tlaku
T_w	teplota na povrchu stěny
T_∞	teplota okolního vzduchu
L	charakteristický rozměr tělesa
ν	<i>kinematická viskozita</i>
Nu	Nusseltovo číslo
Pr	Prandtlovo číslo
$\alpha_{out}, \alpha_{in}$	součinitel přestupu tepla na vnější, resp. vnitřní straně čelní stěny
R_{4n}	tepelný odpor při vedení tepla ocelovou částí čelní stěny
d_{n4}	tloušťka stěny
\dot{Q}_4, \dot{Q}_5	tepelný tok stěnou – čelní, zadní
Q_{celk}	tok ventilu z krytu při maximálním přetlaku
b, c	rozměry kvádrů

d_p	průměr skleněného průzoru
ΔT	rozdíl teplot vzduchu uvnitř krytu a vně krytu
\dot{Q}_{cmin}	spodní hranice rozptylu celkového tepelného zisku krytu
$\dot{Q}_{1min}, \dot{Q}_{2min}, \dot{Q}_{3min}$	spodní hranice rozptylu tepelného toku stěnou – čelní, boční, horní
\dot{Q}_s	tepelný zisk současného krytu ÚK
$\Delta \dot{Q}_{\%}$	rocentuální snížení tepelného zisku krytu
P_t	chladičí výkon vírové trubice
P_k	příkon kamery
p_1, p_2	relativní tlaky
p_{in}	maximální přetlak uvnitř krytu
C	sonic conductance (katalogová charakteristika ventilu)
T	teplota vzduchu vystupujícího z krytu
Q_{celk}	tok ventily z krytu při maximálním přetlaku
E	Youngův modul
μ	Poissonova konstanta
Rm	mez pevnosti v tahu
$\tau(r)$	liniová posouvající síla na obecném poloměru r
ϑ_p	partikulární integrál
B	ohybová tuhost desky
M_r, M_t	liniové momenty – radiální, obvodový
C_1, C_2	integrační konstanty
$\sigma_{rmax}, \sigma_{tmax}$	maximální napětí – radiální, obvodové
k_r	bezpečnost vůči meznímu stavu křehké pevnosti

10 SEZNAM OBRÁZKŮ A GRAFŮ

Obr. 2-1	Schéma kamerového krytu Tecnovideo 129AC [2].	14
Obr. 2-2	Kamerový kryt Tecnovideo 129AC [2].	15
Obr. 2-3	Schéma kamerového krytu Videotec NXW [1].	15
Obr. 2-4	Kamerový kryt Videotec NXW [1].	16
Obr. 2-5	Kamerový kryt Telea Tecnovision AIRTEC [4].	16
Obr. 2-6	(a) Kamerový kryt Enelex HE 168 COOL [5]; (b) Kamerový kryt ViperVenom Compact [6].	17
Obr. 2-7	Kamerový kryt Tecnovideo 129LC [7].	18
Obr. 2-8	Kamerový kryt Telea Tecnovision ACQ07X220 [8].	18
Obr. 2-9	Klimatizační příslušenství pro kamerové kryty autoVimation [9].	19
Obr. 2-10	(a) Kamerové kryty autoVimation Salamander [12]; (b) systém autoVimation Quick-Lock/Heat-Guide [13].	19
Obr. 2-11	Kamerový kryt Videotec HOV [15].	20
Obr. 2-12	Řez současným kamerovým krytem ÚK (upraveno dle [16]).	21
Obr. 2-13	Současný kamerový kryt Ústavu konstruování [18].	22
Obr. 2-14	Konfigurace systému navrženého pro měření rotačně symetrických výkovků [20].	23
Obr. 2-15	Detekce hran výkovku s vysokou teplotou [20].	24
Obr. 2-16	Hlavní uživatelské rozhraní s výsledky měření [20].	24
Obr. 4-1	Koncept skříně s násuvným poklopem; (a) náčrt skříně; (b) řez skříní, žlutá plocha představuje izolační materiál.	27
Obr. 4-2	Koncept skříně s odklápěcím poklopem; (a) náčrt varianty s pevnou čelní stěnou; (b) náčrt varianty s čelní stěnou součástí poklopu; (c) řez skříní, žlutá plocha představuje izolační materiál.	28
Obr. 4-3	Koncept skříně s nasazovacím poklopem; (a) náčrt skříně; (b) řez skříní, žlutá plocha představuje izolační materiál; (c) řez alternativní variantou skříně	28
Obr. 5-1	Nový kamerový kryt.	29
Obr. 5-2	Otevřený nový kamerový kryt; (a) poklop krytu; (b) základna a výbava krytu	29

Obr. 5-3	Soustava pro pořizování snímků; (a) Kamera řady Allied Vision Prosilica GT [24]; (b) Objektiv ZEISS Interlock Compact 2.8/21 [23]; (c) Optické filtry Schneider – Kreuznach BP [24].	30
Obr. 5-4	Termoregulační příslušenství krytu; (a) Vortex Tube Model 106-8-H [26]; (b) Papouch TH3 [27].	30
Obr. 5-5	Adaptér objektivu v řezu	31
Obr. 5-6	Základna skříně v rozloženém pohledu	32
Obr. 5-7	Poklop skříně v rozloženém pohledu	32
Obr. 5-8	Modelový kvádr pro výpočet tepelného zisku nového krytu; (a) náčrt kvádrů; (b) vrstvy stěn.	34
Obr. 5-9	Hoya Fusion Antistatic Protector [30].	37
Obr. 5-10	Směry přitahování poklopu k základně.	38
Obr. 5-11	Schéma kruhové desky zatížené tlakem.	40
Obr. 5-12	Průběhy liniiových momentů na poloměru r .	42
Obr. 5-13	Koncept otočného průzoru.	43

11 SEZNAM TABULEK

Tab. 2-1	Základní parametry kamerového krytu Tecnovideo 129AC [2].	15
Tab. 2-2	Základní parametry kamerového krytu Videotec NXW [1].	16
Tab. 2-3	Základní parametry kamerového krytu Telea Tecnovision AIRTEC [3].	17
Tab. 2-4	Základní parametry kamerového krytu Tecnovideo 129LC [7].	18
Tab. 2-5	Základní parametry kamerového krytu Telea Tecnovision ACQ07X220 [8].	18
Tab. 2-6	Základní parametry kamerových krytů autoVimation [9].	20
Tab. 2-7	Základní parametry kamerového krytu Videotec HOV [14].	20
Tab. 2-8	Základní parametry současného kamerového krytu ÚK [16].	22
Tab. 6-1	Porovnání základních kvantifikovatelných parametrů současného a navrženého krytu	44

12 SEZNAM PŘÍLOH

Výpočtové protokoly:

Výpočtový protokol 1 - součinitele přestupu tepla na stěnách nového krytu

Výpočtový protokol 2 - součinitele přestupu tepla na stěnách současného krytu ÚK

Výpočtový protokol 3 - tepelný zisk nového krytu

Výpočtový protokol 4 - tepelný zisk současného krytu ÚK

Výkresová dokumentace sestavení:

SESTAVA-1 seznam položek list 1

SESTAVA-1 seznam položek list 2

SESTAVA-1 seznam položek list 3

SESTAVA-1 VÝKRES SESTAVENÍ

Výkresová dokumentace součástí:

ADPTR-1 ADAPTER OBJEKTIVU

CST-1 CELNI STENA

DRZSN-1 DRZAK SNIMACE

DRZTR-1 DRZAK TRUBICE

PLECH_IN-1 VNITRNI PLECH STENY

PLECH_OUT-1 VNEJSI PLECH STENY

POD-1 PODSTAVEC

RAM-1 RAM

VANICKA-1 POUZDRO ZAKLADNY

ZAK-1 ZAKLADNI DESKA

Výkresová dokumentace pro úpravu izolačních a těsnících prvků:

IZOL-1 izolace steny

IZOL-2 izolace základny

IZOL-3 izolace základny vložka

TESNENI-1

TESNENI-2

TESNENI-3

TESNENI-4

TESNENI-5

TESNENI-6

TESNENI-7