



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

**Fakulta strojní
Ústav energetiky**

Návrh minikamery pro snímání dvoufázového proudění

Design of a mini camera for two-phase flow recording

Bakalářská práce

Studijní program: (B2342) Teoretický základ strojního inženýrství

Studijní obor: (2301R000) Studijní program je bez oboru

Vedoucí práce: Ing. Ondřej Burian

Iurii Poliakov

Praha 2016

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci s názvem: „Návrh minikamery pro snímání dvoufázového proudění“ vypracoval samostatně pod vedením Ing. Ondřeje Buriana s použitím literatury a elektronických zdrojů, uvedených na konci mé bakalářské práce v seznamu literatury a elektronických zdrojů.

Poděkování

Chtěl bych poděkovat vedoucímu mé bakalářské práce Ing. Ondřeji Burianu za odborné a zodpovědné vedení a pomoc při řešení problémů a zpracování bakalářské práce. Dále bych chtěl poděkovat kolegům a zaměstnancům z Ústavu energetiky a celého ČVUT za odborné konzultace a pomoc při řešení nejrůznějších problémů.

Anotační list

Jméno autora:	<i>Iurii POLIAKOV</i>
Název BP:	<i>Návrh minikamery pro snímání dvoufázového proudění</i>
Anglický název	Design of a mini camera for two-phase flow recording
Rok:	2016
Studijní program:	B2342 Teoretický základ strojního inženýrství
Obor studia:	2301R000 bez oboru
Ústav:	<i>Ústav energetiky</i>
Vedoucí BP:	<i>Ing. Ondřej Burian</i>
Bibliografické údaje:	počet stran 42 počet obrázků 21 počet tabulek 12
Klíčová slova:	Akční kamera, minikamera, tepelný tok, tlakové ztráty, hmotnostní tok, třecí ztráty
Keywords:	Action camera, minicamera, heat stream, pressure loss, mass stream, friction loss
Anotace:	<i>Cílem práce je návrh vhodného konceptu instalace minikamery do průtočného kanálu experimentálního zařízení pro snímání parametrů dvoufázového proudění. V práci bude řešena problematika výběru vhodného senzoru, návrh odolného pouzdra kamery, návrh chlazení kamery a potřebné výpočty.</i>
Abstract:	<i>The aim is to draft appropriate concept installing minicamera modul into the flow channel of the experimental device for sensing parameters of two-phase flow . The work will be dealt with the issue of selecting a suitable sensor , draft resistant camera housing , draft cooling and the necessary calculations</i>



ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

pro: Iurii POLIAKOV

program: Teoretický základ strojního inženýrství

obor:

Název tématu: Návrh minikamery pro snímání dvoufázového proudění

Title: Design of a mini camera for two-phase flow recording

Zásady pro vypracování:

Cílem práce je návrh vhodného konceptu instalace minikamery do průtočného kanálu experimentálního zařízení pro snímání parametrů dvoufázového proudění. V práci bude řešena problematika výběru vhodného senzoru, návrh odolného pouzdra kamery, návrh chlazení kamery a systém ovládání a sběru dat.

Rozsah grafických prací:

Rozsah průvodní zprávy:

Seznam odborné literatury:

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Ondřej Burian

Konzultant/i:

Datum zadání bakalářské práce: 29. 4. 2016

Datum odevzdání bakalářské práce: 10. 6. 2016

Neodevzdá-li student/ka bakalářskou nebo diplomovou práci v určeném termínu, tuto skutečnost předem písemně zdůvodnil a omluva byla děkanem uznána, stanoví děkan studentovi náhradní termín odevzdání bakalářské nebo diplomové práce. Pokud se však student/ka řádně neomluvil/a nebo omluva nebyla děkanem uznána, může si student/ka zapsat bakalářskou nebo diplomovou práci podruhé.

Posluchač/ka bere na vědomí, že je povinen/povinna vypracovat bakalářskou nebo diplomovou práci samostatně bez cizí pomoci s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v bakalářské nebo diplomové práci.

Zadání bakalářské práce převzal dne: 20. 04. 2016

student/ka

doc. Ing. Michal Kolovratník, CSc.
vedoucí Ú 12115



prof. Ing. Michael Valášek, DrSc.
děkan fakulty

V Praze dne 29. 4. 2016

Obsah

Seznam veličin a jednotek.....	8
1 REŠERŠE SENZORŮ	10
1.1 Úvod	10
1.2 AKČNÍ KAMERY.....	10
1.2.1 Důležité pojmy a charakteristiky.....	11
1.2.2 Přehled kamer na trhu	15
1.2.3 Závěr přehledu akčních kamer	19
1.3 Cmos kamery.....	20
1.3.1 Důležité pojmy a charakteristiky.....	20
1.3.2 Přehled kamer	22
1.3.3 Závěr přehledu CMOS kamer	27
2 NÁVRH POUZDRA MINIKAMERY	28
2.1 Úvod	28
2.2 Popis konstrukčního návrhu.....	29
2.3 Výpočty.....	33
2.3.2 Výpočet tepelného a hmotnostního toků.....	33
2.3.4 Výpočet tlakových ztrát.....	35
3. ZÁVĚR PRÁCE.....	37
Seznam zdrojů.....	39
Seznam obrázků.....	41
Seznam tabulek.....	41

Seznam veličin a jednotek

FOV	[°]	zorný úhel
MP		počet megapixelů
LED		Light-Emitting Diode
IČ		infračervený
CMOS		Complementary Metal-Oxide Semiconductor
CCD		Charged Coupled Device
MIPI		Mobile Industry Processor Interface
CSI		Camera Serial Interface
FPS	[s ⁻¹]	počet snímků za sekundu
λ	[W·m ⁻¹ ·K ⁻¹]	součinitel tepelné vodivosti
δ	[m]	tloušťka stěny
ρ	[kg·m ⁻³]	hustota média
C_p	[J·kg ⁻¹ ·K ⁻¹]	měrná tepelná kapacita
μ	[mm ² ·s ⁻¹]	kinematická viskozita
d_k	[mm]	průměr kabelu
d_2	[mm]	vnější průměr hladké trubici
L	[mm]	délka potrubí
DN	[mm]	světlost
S_a	[mm ²]	celý průřez
S_b	[mm ²]	vnitřní průřez
$K_{stř}$	[mm]	střední drsnost

t_1	[°C]	teplota vody
t_2	[°C]	teplota média na vstupu
t_3	[°C]	teplota média na výstupu
Q	[W]	tepelný tok
q	[W·m ⁻²]	hustota tepelného toku
gradT	[°C]	teplotní gradient
S	[m ²]	plocha krabice
m	[kg·s ⁻¹]	hmotnostní tok
V	[m ³ ·s ⁻¹]	objemový průtok
S_i	[mm ²]	průřez potrubí pro průtok média
u_i	[m·s ⁻¹]	rychlost média
Δp_i	[Pa]	tlakové ztráty
λ_{zi}		součinitel tření v potrubí
d_i	[mm]	ekvivalentní průměr
Re		Reynoldsovo číslo
k_i^*		relativní drsnost v potrubí

Dolní index i se může rovnat: I - hodnoty pro potrubí přiváděcí médium a II - hodnoty pro potrubí odváděcí médium.

1 REŠERŠE SENZORŮ

1.1 Úvod

První část práce je zaměřena na návrh kamery vyhovující potřebným charakteristikám a požadavkům. Hlavním požadavkem je kvalita obrazu. Ta by měla být v rovnováze s rozměry kamery. Proto je mým úkolem najít malou kameru s dostatečnou pro nás kvalitou snímání a možností zlepšit obraz podle integrovaného osvětlení (LED, noční vidění) nebo osvětlením pomocí vnějšího zdroje světla. V této rešerši byly kamery rozdělené na několik typů: Akční (eng: action) kamery, CMOS kamery a speciální kamery s permanentním snímáním v infračerveném spektru nebo s nočním viděním. Senzor je navržen dle kamer dostupných na trhu v roce 2015/2016.

1.2 AKČNÍ KAMERY

Pod pojmem „Akční kamera“ rozumíme minikameru rozměrů cca 50x50x50 mm (*obr. 2* [1]), která se často používá pro snímání obrazů či videa během nějaké sportovní aktivity operátora. Kamera se umísťuje na helmi (*obr. 1*), rameni atd. Takže v posledních letech takové kamery používají různé tzv. blogery pro zápis videa různých témat (cestování, návody atd.) a sdílením na sociálních sítích. Malé rozměry ovlivňují kvalitu fotografie a videa. S rostoucí kvalitou roste i cena za takovou kameru. Obvykle minikamery nejsou vybavené nočním viděním a infračerveným (dále jen ič nebo IČ) snímáním. Pro náš účel je důležité, že takový typ senzoru je malých rozměrů, který ukládá data na paměťovou kartu a pracuje bez nabíjení určitou dobu (v závislosti na nastavení: od jedné do třech hodin) a lze ovládat přes WiFi, tím pádem bych se neměl zabývat chlazením různých kabelu (napájecí kabely, datové, ovládání atd.).



(Obr. 1) Příklad obrazu z akční kamery

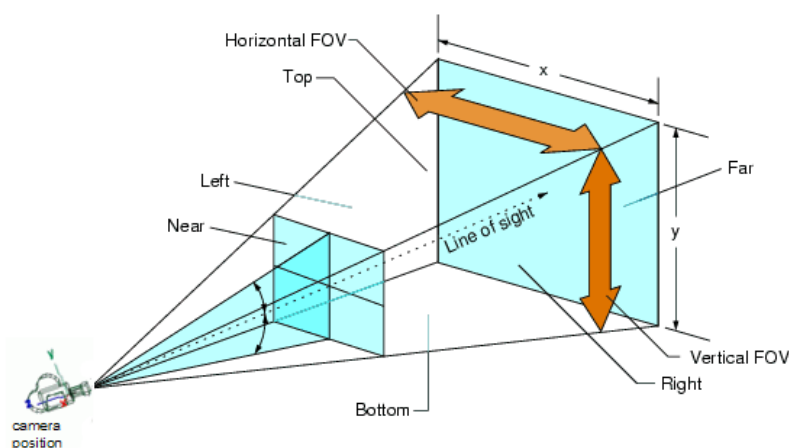


(Obr. 2) Akční kamera SJCAM M10+ [1]

1.2.1 Důležité pojmy a charakteristiky

Senzor - je základním stavebním prvkem kamery, který ovlivňuje především kvalitu a jsou s ním spjatý ostatní parametry. V dnešní době na trhu se nejčastěji setkáme s senzory od firem: Sony, Panasonic, GoPro a některých dalších. Jako nejdůležitější charakteristiky rozlišujeme FOV, počet MP, rozlišení atd..

FOV (Field Of View - zorný úhel) jeden z parametrů senzoru. Je to úhel, který charakterizuje to, jak široký prostor může senzor „vidět“. Veličinou je stupeň. Rozlišuje se FOV diagonální, vodorovný a svislý (*obr. 1*) [2]. Senzor kamery je v podstatě její „oko“, a pojem FOV můžeme aplikovat i na člověka i na zvíře. Např. FOV člověka je cca 160° (vodorovně, svislé je cca 105°), FOV některých ptáku je skoro 360° (vodorovně). Tento pojem ovlivňuje, kolik objektů kamera je schopna zobrazit na jedné fotografii. Čím menší je zorný úhel, tím menší prostor před sebou kamera může ukázat, a tím pádem získáme méně informace o snímané místnosti. Nejčastěji u senzorů se uvádí diagonální nebo vodorovný FOV. V své práci jsem dal přednost diagonální charakteristice, protože ta nám popisuje vodorovný a svislý zorný úhel. Běžná hodnota FOV (diagonální) je 170° .



(Obr. 3) Struktura prostoru před kamerou [2]

Počet MP (MegaPixel) – je to charakteristika senzoru, která uvádí kolik pixelů by se mělo vyskytovat na snímaném obrazu. Název je ze dvou slov: mega (milion) a pixel, - pak dostáváme „miliony pixelů“. Každý obraz na počítači se skládají z „teček“ různých barev – pixelů. U některých formátů (např.: JPEG) je to základní vlastnost - čím je menší počet

pixelů, tím obraz má menší přesnost a horší kvalitu. Stejně tak mohlo být i u kamer, ale v dnešní době rozdíl v kvalitě není moc závislý na počtu MP, jak to bylo v minulosti. Jedna kamera může mít senzor 8MP a druhá 12MP, ale první kamera bude mít lepší kvalitu obrazu než druhá (to potvrzují výsledky některých zkoušek různých kamer, zkoušky můžeme najít na různých webových zdrojích). Rozdíl kvality je vidět jenom při porovnání velmi velkého počtu pixelů s hodně malým (*obr. 4*) [3]. V podstatě počet MP nám říká, kolik by měla kamera umístit milionů pixelů na jednom obrázku, a to je základem velikosti konečného souboru na počítači. Tento parametr hraje roli při dalším zpracování fotografií, protože každý pixel má své charakteristiky (např. barva.). Čím méně pixelů je na obrazu, tím (teoreticky) menší počet vlastností můžeme změnit. Počet MP má přímý vliv na rozlišení, protože to je v podstatě „plocha“ obrázku: rozlišení $3648 \times 2736 = 9\,980\,928$ pixelů, což je cca 10MP. U akčních kamer obvyklé setkáváme s 8MP a 12MP.



(*Obr. 4*) 150x113 pixelů (zleva) a 3648x2736 pixelů (zprava) [3]

Zoom. Schopnost senzoru měnit svou ohniskovou vzdálenost. Výsledkem je visuální přiblížení či oddálení objektu na obrázku. Obecně říkáme, že kamera má zoom X krát, kde X je číslo. Zoom můžeme stanovit podle maximální a minimální ohniskové vzdálenosti. Pokud minimální ohnisková vzdálenost kamery je 4.5 mm a maximální 45 mm, pak $45/4.5=10$ a máme 10x zoom [4]. Předpokládáme, že kamera s ohniskovou vzdáleností 50 mm zobrazuje objekt shodný s tím, jak jeho vidí člověk a na základě této znalosti pak můžeme říct, že tato kamera oddaluje nebo přibližuje objekt. Běžné akční kamery mají permanentní ohniskovou vzdálenost, proto i zoom je vždy pevný.

Foto. Každá kamera má různé parametry, technologie a nastavení fotografií. K nejdůležitějším technologiím patří: *Burst Rate* a *Time Lapse*; běžné vlastnosti obrazů jsou: *rozlišení, kontrast a jas*.

Rozlišení. Ukazuje kolik pixelů má obraz na šířku (počet sloupců pixelů) a výšku (počet řádků pixelů) u rastrového obrazu. U vektorového obrázku (např. u souborů PDF), kde obraz je sestaven z křivek různé křivosti a vzdálenosti, tento pojem není použitelný: jako základna se tam bere sada rovnic a parametrů, která popisuje této křivky. Rozlišení navazuje na počet MP senzoru - násobením šířky a výšky bychom měli dostat počet pixelů. Vydělením tohoto čísla jedním milionem získáme počet MP senzoru. Zpravidla kamery mají různá nastavení pro rozlišení s poměry 16:9, 4:3 atd. (zvykem je uvádět největší možný počet MP). Nejběžnější nastavení rozlišení jsou: 4032x3024, 3648x2736, 2592x1944, 2048x1536, 1920x1080, 1280x960 a další.

Kontrast – parametr, který umožňuje lépe rozlišovat objekty na obrazu mezi sebou. Tím pádem můžeme říct, že tento parametr odpovídá za kvalitu stínů. Obecně se uvádí jako hodnota bez jednotky a představuje sebou součinitel [5]. Čím tento parametry je větší, tím větší je rozdíl mezi stíny. Kontrast můžeme nastavit před snímáním nebo na počítači u hotového obrázku

Jas – to je světelný tok do jednotkového prostorového úhlu na "promítnutou" jednotkovou plochu zdroje. Jednotkou je kandela na metr čtverečný ($\text{cd}\cdot\text{m}^{-2}$) [5]. De facto se uvádí intenzita bílé barvy na obrazu. Čím větší je tento parametr, tím světlejší jsou barvy (*obr. 5*) [6]. Stejně jako kontrast můžeme jas upravit v nastaveních.



(Obr. 5) Zvýšený kontrast a jas (zleva) [6]

Burst Rate – to je speciální režim. Charakterizuje kolik obrázků můžeme nasnímat během několika vteřin. Třeba Burst Rate 3/1 znamená že za jednu vteřinu uděláme 3 fotografie, 10/3 říká, že za 3 vteřiny uděláme deset obrazů. U akčních kamer se obvykle objevují taková nastavení, jak: 3/1, 5/1, 10/3 a další.

Time Laps – nastavení, které umožňuje kameře dělat ve stejných časových intervalech jednu fotografii. Používá se například tehdy, když potřebujeme sledovat nějaký dlouho probíhající děj. Pak obrázky můžeme sjednotit do videa.

Video. Akční kamery jsou určeny zejména pro snímání videa. Nejdůležitější parametry videa jsou *FPS* a *rozlišení*. Kontrast a jas během videa se může měnit díky změně pozicí zdrojů světla, proto jakékoli změny v hotovém videu je proces mnohem složitější než u obrázků. Z tohoto důvodu každý výrobce se snaží přidat své kameře rozšířené možnosti snímání videa, které zlepšují kvalitu (speciální noční citlivý filtr, zpracování různými nainstalovanými do paměti kamery softwary). Například firma Sony ve svých kamerách používá formát zápisu videa XAVC S, který umožňuje rozšířené zpracování videa oproti MP4.

FPS (Frame Per Second) – počet snímků za sekundu. Je to jedna z nejdůležitějších vlastností videa. Čím větší je tento parametr, tím více záběrů může kamera umístit v jedné vteřině. Výhodou vysokého počtu záběrů za vteřinu můžeme pozorovat při zbrzdění videa. Při vysokém FPS zbrzděné video bude nepřetržité, což nebude při nízkém. Takže tento parametr je přímo spjat s rozlišením. Obecně čím větší je rozlišení, tím nižší počet záběrů za sekundu dostaneme. U pokročilých kamer existuje velké spektrum nastavení FPS podle příslušných rozlišení. Nejpoužívanější hodnoty jsou: 24, 30, 60, 120.

Rozlišení. Pojem je stejný jak i u fotografii. U videa je tato hodnota nižší než u obrázků. Například, pokud kamera umí fotit s rozlišením 4608x3456, potom maximální hodnota u videa bude 3840x2160. Ovlivňuje rozměr souboru.

Rozměry – parametry šířky, výšky a délky. Když mluvíme o minikameře tak rozměry by měly být cca 50x50x50 mm. Pro nás je to důležité, protože to nám ovlivňuje velikost chlazeného objemu kamery.

Interface. Různé vstupy, kterými můžeme spojit kameru s počítačem a uložit data. Dnešní kamery používají porty USB (verze 2.0 nebo 3.0), miniUSB, HDMI, microHDMI, AV.

Ukládání dat. Všechny dnešní kamery používají skoro stejné formáty k ukládání dat. Pro obrázky jsou běžné *JPEG*, pro video *MP4* a jejich různé druhy. Kromě nejpoužívanějších (*JPEG*, *MP4*) hodně výrobců mají vlastní formáty, které se dají nastavit před snímáním. Například Sony ve svých kamerách má nastavené XAVC S pro video a ARW pro foto, zpravidla pro zpracování těchto formátů je nutný zvláštní soft.

Přítomnost funkce WiFi. Důležitá vlastnost pro náš účel. Ne každá kamera má tuto funkci. Díky WiFi bychom měli obdržovat aktuální data tzv. „Real Time“ (v reálném čase), stejně tak bychom mohli měnit nastavení kamery během procesu snímání, zpustit

nebo zastavit video. Ale hlavní vlastností je to, že kamera nebude mít žádné drátové spojení, což eliminuje problém chlazení kabelů.

Napájení. Výhodou akčních kamer je schopnost pracovat samostatně bez napájení nějakou určitou dobu, oproti programovatelným CMOS kamerám. Obecně bez napájení kamera by měla fungovat od jedné do čtyř hodin (podle nastavených parametrů rozlišení, FPS atd.), což by mělo stačit při provedení nějakého experimentu. Jako zdroj proudu se používá li-ion baterie s cca 1000mAh.

1.2.2 Přehled kamer na trhu

Na trhu je hodně kamer od různých výrobců. Nejvýznamnější výrobci jsou GoPro, Sony, SJCAM, Polaroid, Panasonic. V každé firmě jsem prozkoumal sortiment a vybral jsem kamery, které odpovídají našim požadavkům a pak jsem udělal závěr.

Kamery od firmy GoPro [7]. GoPro je zakladatelem směru vývoje akčních kamer. Tato firma vyrábí několik senzorů o různých vlastnostech a cenách. Pro moji řešerši jsem vybral kamery HERO4 Black, HERO4 Silver, HERO Session. HERO4 Black je „vlajkovou lodí“, dále následuje Silver a Session. Základní parametry [7] jsou v *tabulce 1* (pozn.: *zde a dále hodnoty FPS v tab. patří podle řádku k jednotlivým rozlišením*):

(Tab. 1) Porovnání kamer GoPro:

Model	Senzor	Video		Foto		Formát
	Počet MP	FPS	Rozlišení	Burst Rate	Rozlišení	Video
HERO4 Black	12	30 25 24	3840x2160	30/1 30/2 30/3 30/6 10/1 10/2 10/3 5/1 3/1	4032x3024 3264x2448 2592x1944	H.264 (60Mb/s) MP4
		50 48 30 25 24	2704x1520			
		80 60 50 48 30 25 24	1920x1440			
		120 90 60 50 48 30 25 24	1920x1080			
		120 60 50	1280x960			
		120 60 50 30 25 240	1280x720 848x480			
HERO4 Silver	12	15 12,5	3840x2160	10/1 10/2 10/3 5/1 3/1	4032x3024 3264x2448 2592x1944	H.264 (45Mb/s) MP4
		30 25 24	2704x1520			
		48 30 25 24	1920x1440			
		60 50 48 30 24	1920x1080			
		100 60 50	1280x960			
		120 60 50 30 25 240	1280x720 848x480			
HERO4 Session	8	60 30 50 25	1920x1080	10/1	3264x2448 2592x1944	H.264 (25Mb/s) MP4
		60 30 50 25	1280x960	10/2		
		100 60 50 30 25	1280x720	5/1		
		120 100 60 50	848x480	3/1		

Podle parametrů v *tabulce 1* můžeme říct, že na prvním místě podle vlastností je HERO4 Black. Tato kamera má největší spektrum nastavení funkce Burst Rate, FPS, rozlišení a největší bitrate zápisu videa. Avšak i cena je největší. Na druhém místě je kamera HERO4 Silver, která má horší kvalitu videa než HERO4 Black. Všechna nastavení u Silver a Black jsou podobná. Podle tabulky Session není tak dobrá, ale není tomu tak. Přestože kvalita fotografie a videa je horší než u Silver a Black, ona má menší rozměry a vydrží delší dobu pracovat bez nabíjení, protože nemá displej oproti ostatním, což pro nás by mělo mít význam. Některé parametry v tabulce nejsou uvedené: kamery mají stejný zoom (1x), nastavení TimeLapse (0.5, 1, 2, 5, 10, 30, 60), FOV (170°), formát obrázků (JPEG), funkce WiFi. Session má jenom port miniUSB, ale Silver a Black mají k tomu ještě AV a microHDMI. Přibližné ceny na českém trhu jsou: 14 000Kč – Black; 11 000 – Silver; 8 500 – Session.



(Obr. 6) Kamery HERO4 Black (zprava) a Session (zleva) [7]

Kamery od SJCAM [8] [1] [9]. V podstatě tyto kamery jsou čínské kopie kamer GoPro ale za menší cenu. Ovlivňuje to kvalitu obrázků, videí a spolehlivost kamer. SJCAM vyrábí kamery s různými senzory od firem Sony, Panasonic a některých dalších. Vlastnosti uvádí *tabulka 2*:

(Tab. 2) Porovnání kamer SJCAM

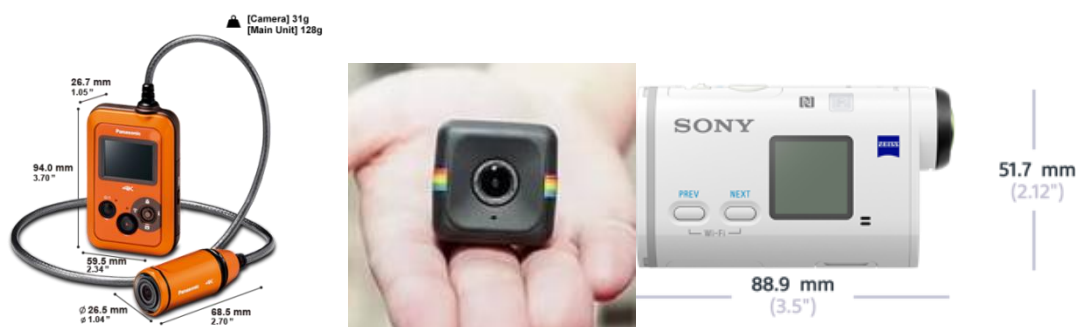
Model	Senzor	Video		Foto	WiFi
	Počet MP	FPS	Rozlišení	Rozlišení	
SJ4000+	12	30 30, 60 120	2560x1440 1920x1080 1280x720	2592x1944 3264x2448 4032x3024	Ano
SJ5000 Novatek 96655	14	30 30 60 60	1920x1080 1280x720 640x480	4254x3264 4032x3024 3264x2448 2592x1944 2048x1536 1920x1080	Ano/Ne (podle modelu)
SJ5000+ Ambrella A7LS75	16	30 60 30 60 120 30 60 120 240	1920x1080 1280x720 848x480	4608x3456 4254x3264 4032x3024 3264x2448 2560x1920 2048x1536 1920x1080 1280x960	Ano
SJ5000X Sony IMX078	12	24 30 60 120	3840x2160 2560x1440 1920x1080 1280x720	4032 x 3024 3648 x 2736 2592 x 1944 2048 x 1536 1920 x 1080 1280 x 960	Ne
M10+ Plus		30 60 120	2560 x 1440 1920 x 1080 1280 x 720	4032 x 3024 3648 x 2736 3264 x 2448 2592 x 1944 2048 x 1536 1920 x 1080 1280 x 960	

Nejlepší ze všech kamer od SJCAM jsou SJ5000+ s senzorem Ambrella A7LS75 (má lepší kvalitu pro fotografii) a SJ5000X s senzorem Sony IMX078 (pro video). Takže kamery mají stejnou baterii (900mAh), nastavení pro Time Lapse (3, 5, 10, 30) a Burst Rate (3/1, 5/1, 10/1), formát ukládání dat (JPEG, MP4), FOV (170°). Kamera M10+ má lepší kvalitu videa než SJ5000 s senzorem Ambrella, ale horší než s IMX078 od Sony. M10+ má menší rozměry než ostatní a možnost 4x „zoomování“ (jak i u IMX078), oproti ostatním se zoomem 1x. Největší její nevýhoda je chybějící funkce WiFi. Cena všech kamer se pohybuje kolem 4000Kč. Nejlepší poměr cena/kvalita/funkce má kamera M10+.



(Obr. 7) Kamery od SJCAM s senzorem Ambrella [8] (zleva), od Sony [9] (zprava) a M10+ [1] (uprostřed)

Ostatní kamery. Zde jsem uvedl některé zajímavé kamery od firem Polaroid [10] (CUBE+), Sony [11] (FDR-X1000V), a Panasonic [12] (HX-A500). Zmíním se nejprve, že senzory jsou různých kategorií. Kamera od Sony má všechny pokročilé technologií, které firma byla schopna umístit do své akční kamery. Je to použití formátů ARW a XAVC S pro obrázky a videa (v nastaveních můžeme vybrat JPEG a MP4), speciální software pro další zpracování souboru, široký spektrum nastavení funkcí a vlastností. Kamera od Polaroid je zajímavá svým rozměrem – je nejmenší akční kamera, kterou si dnes můžeme pořídit za malou cenu. Kamera Panasonic má specifické provedení: ovládání se provádí pomocí konzole, která je spojená se speciální hadicí s umístěným uvnitř drátem. Všechny výrobky mají funkci WiFi, stejný zoom (1x), a formát ukládání obrázků (JPEG). Největší baterie má Panasonic (1450mAh), pak Sony (1200mAh) a Polaroid (600mAh). Ze všech kamer funkce Time Laps a Burst Rate má jenom Sony. Všechny senzory mají port miniUSB a Sony ještě k tomu má microHDMI, AV. Kamera od Panasonic má horší kvalitu videa a foto oproti Sony, i když má o 2x krát vyšší počet MP (16 oproti 8 u Sony) a taky má menší FOV (160° oproti 170°). V závěru řeknu, že nejpokročilejší je Sony a nejmenší a za dobrou cenu je Polaroid. Kamera od Panasonic má horší kvalitu, nemá rozmanitost funkcí, kterou mají ostatní (v porovnání dle ceny s kamerami GoPRO a Sony) a neměla by vydržet konkurenci. Kameru Sony najdeme za 13 000Kč, Panasonic 11 500Kč, Polaroid 4 200Kč.



(Obr. 8) Zleva doprava: Panasonic [12], Polaroid [13], Sony [11]

1.2.3 Závěr přehledu akčních kamer

Z každé skupiny jsem vybral kameru, která by měla být nejlepší podle kvality obrazů a snímání videa. Výslednou tabulku jsem sestavil dle parametrů, které uvádí výrobci u svých kamer, a podle kvality fotografií a videí těchto senzorů. Souhrn parametrů je zobrazen v tabulce 3:

(Tab. 3) Nejlepší kamery z každé skupiny v porovnání

Model	Rozměry [mm]	Senzor	Video		Foto	Formát dat
		Počet MP	FPS	Rozlišení	Rozlišení	Video
SJ5000+ Ambrella A7LS75	59x41x30	16	30 60 30 60 120 30 60 120 240	1920x1080 1280x720 848x480	4608x3456 4254x3264 4032x3024 3264x2448 2560x1920 2048x1536 1920x1080 1280x960	MP4 H.264
HERO4 Black	55x40x30	12	30 25 24 50 48 30 25 24 80 60 30 25 24 120 90 60 30 25 24 120 60 50 120 60 30 25 240	3840x2160 2704x1520 1920x1440 1920x1080 1280x960 1280x720 848x480	4032x3024 3264x2448 2592x1944	H.264 (60Mb/s) MP4
SONY FDR- X1000V	24.4x51.7x 8.9	8,8	MP4 60 50 30 25 120 100 240 200 XAVC S 30 25 24 120 100 60 50 240 200	MP4 PS:1920x1080 HQ:1920x1080 1280x720 848x480 XAVC S 3840x2160 1920x1080 1280x720	3952x2224	MP4 MPEG-4 AVC/H.264 XAVC MPEG-4 AVC/H.264

Z porovnání je vidět, že nejlepší kamery jsou GoPro HERO4 Black a Sony FNDR-X1000V. Tyto senzory mají nejvyšší parametry na trhu. Přestože kamera od Sony má menší počet MP (8MP oproti 12MP u GoPro), její kvalita videa a fotografií je díky jejím technologiím a použití formátu XAVC S a ARW skoro stejná jako u GoPro Black, i když GoPro pracuje s větším rozlišením. Oproti kameře Sony, kamera GoPro Black má méně stabilní běh programů (chyby během provozu, chyby při zápisu videa atd.). Obě kamery používají hodně technologií pro stabilizaci a balanci obrazu (adaptace šumům, balance bílé barvy) a každá má své klady a zápory. Velký rozdíl je v kvalitě obrazu ve vodě: GoPro má mnohem lepší kvalitu. Široké spektrum nastavení formátů a bitratů zápisu videa má Sony, ale GoPro má větší možnost nastavení FPS, funkcí Time Lapse a Burst Rate. Kamera od SJCAM má největší počet MP a velkou nabídku rozlišení, ale kvalita obrázků a videí mnohem horší než u Sony a GoPro.

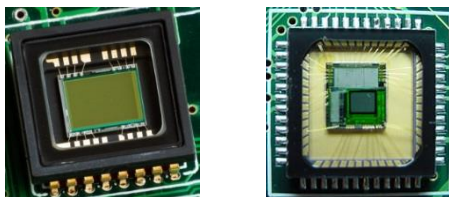
1.3 Cmos kamery

Každá kamera se skládá z senzoru, mikropočítače, sady kabelů, filtrů a dalších věcí. Ve dnešní době se dá zakoupit jenom senzor, spojit s počítačem a naprogramovat. Výhodou takového přístupu je možnost vytvořit kameru pro konkrétní použití. Vzhledem k malým rozměrům, hmotnosti, velké dostupnosti a malé ceně CMOS senzorů je jejich aplikace široká (monitorování prostoru, tajné snímání, použití jako „oči“ robotů, dronů atd.). Jedinou zásadou je schopnost zájemce naprogramovat kameru a zajistit výměnu dat s počítačem. V této části budou probrány senzory od firem **FLIR**, **3rd EYE**, **ELP**, **Pi**.

1.3.1 Důležité pojmy a charakteristiky

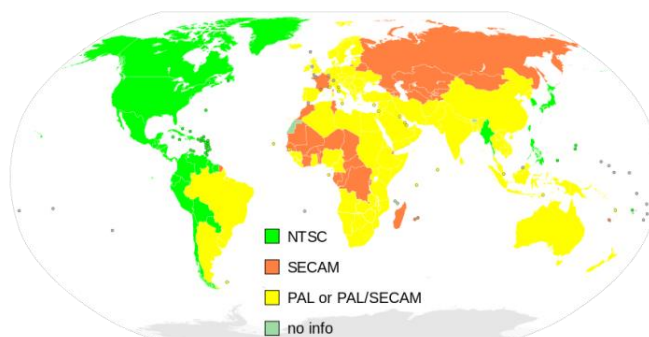
Senzor. V dnešní době existuje dva základní typy: **CMOS** (Complementary Metal-Oxide Semiconductor) a **CCD** (Charged Coupled Device). CCD matice byla vynalezena Bell Labs (pozn.: *výzkumní centrum*) v roce 1969 a stala se dominantním senzorem u kamer tohoto období. Matice CMOS byla vynalezena na konci 70. let, ale její aktivní výroba se začala rozvíjet začátkem 90. let minulého století. Za poslední 20 let vývoje CMOS kamery nahradily CCD na trhu. Výhodami CMOS oproti CCD jsou: levná výroba (a díky tomu menší cena), malé rozměry (díky optimální integraci procesů), cca o 100x nižší spotřeba energie. Nevýhodou je nízká citlivost, proto tato matice je více zašuměna a má horší kvalitu obrázku než CCD (co dnes dělá CCD technologii unikátní a použitelnou ve zvláštních případech). Hlavním rozdílem těchto dvou senzorů je v principu zpracování signálu: CMOS převádí náboj pixelů v digitální signál a CCD v analogový [14]. Dnes na

trhu CMOS nemá konkurenty a kapacita možnosti této matice ještě není vyčerpána. Oba senzory jsou na *obrázku 9* [15] [16]:



(Obr. 9) CCD [15] (zleva) a CMOS [16] (zprava) senzory

Systém zpracování barev. Existují 3 typy: **PAL**, **SECAM** a **NTSC**. Každý druh vznikl na základě standardů v různých částech světa (*obr. 10*), jako to je např. u standardů rozváděcí sítě: 230V/50Hz Česko, 220V/50Hz Rusko, 110V/60Hz USA atd.. Stejně tak je i se zpracováním barev. PAL se používá např. v Německu, Velké Británii a Austrálii, SECAM se používá v Rusku a Francii, NTSC v USA a Kanadě. Každý systém má své normy zpracování obrazu. Např. NTSC má menší rozlišení (nevýhoda pro fotografii), ale větší FPS [17] (což je výhodou pro snímání videa), než PAL a SECAM. Dnes díky globalizaci senzory mají nastavení pro každý systém. Většinou jsou dva režimy: PAL a NTSC nebo PAL/SECAM a NTSC.



(Obr. 10) Mapa použití systémů

Napájení a interface. CMOS senzor se umísťuje na speciálním modulu který může mít výstupy **CSI** (*obr. 11*) [18] (**C**amera **S**erial **I**nterface), **USB**, **HDMI** (zřídka) atd.. Tento kabel spojuje kameru a minipočítač. Původně CSI bylo navrženo pro fotoaparáty v mobilech. Výhodou tohoto rozhraní je vysoká datová propustnost, která dosahuje 1Gb/s na jednu datovou cestu [19]. Kabel CSI má 15 pinů (drátků) a je plochý.



(Obr. 11) Příklad CSI [18] rozhraní s plochým kabelem u kamery Pi NoIR

Minipočítač. Obvyklé kamery tohoto typu používají mikropočítač. Např. **Raspberry Pi** (obr. 12) [20]. Tento počítač má několik výstupů: **MIPI** (Mobile Industry Processor Interface) CSI rozhraní, HDMI, USB a další. Pomocí něj lze také naprogramovat kameru. Data můžeme předávat na flaš disk a jiné úložiště paměti.



(Obr. 12) Mikropočítač Raspberry Pi [20]

Doplňkové moduly. Většinou kamery neumí snímat v noci a v IČ (výjimkou jsou kamery se stálým nočním nebo IČ režimem), ale to se dá opravit přidáním dalších modulů či filtrů. Někteří výrobci má taková rozšíření přednastavená, někteří je vyrábějí zvlášť. Další typ nářadí jsou různé objektivy, které zvětšují FOV.

Ostatní parametry jsem uváděl v předchozí části, která se týká akčních kamer.

1.3.2 Přehled kamer

V dané části proberu jednotlivé kamery od různých výrobců, zvolím nejvhodnější dle našich požadavků a pak podle porovnání vyberu nejlepší kameru pro náš účel.

Kamery od firmy ELP (obr. 13) [21]. Čínská firma, která nabízí širokou škálu minikamer CMOS. Všechny senzory jsou umístěny na speciální ploše která pro ovládání, napájení a

výměnu dat používá USB 2.0 kabel, proto možnost nastavení kamery je omezená softwarem od výrobce. Maticí můžeme ovládat přes Windows, Linux, MAC-OC, Android. Tyto senzory jsou určeny především pro monitorování prostoru a tajného snímání.

(Tab. 4) Porovnání kamer od ELP

Model	Rozměry [mm]	Senzor			Video		Foto
		Model	FOV diagonál	Počet MP	FPS	Rozlišení	
USB8MP02G-L75	32x32	SONY IMX179	75°	8	15	3264X2448	
					20		
					20		
					20		
					30		
					30		
					30		
USBFHD01M-L36-120FPS	32x32	OV2710	170°	2	30	1920X1080	
					30		
					30		
					60		
					60		
					120		
					120		
USB500W04AF-L60	32X25	OV5640	60°	5	15	2592X1994	
					15		
					15		
					15		
					15		
					30		
					30		
					30		
					30		
USB30W02M-L36-60FPS	32X32	OV7725	170°	0.3	60	640X480	
					30		
					30		
					30		
					30		
					30		
					30		

V tabulce 4 jsou uvedené kamery pro různé účely použití. Modul se senzorem Sony je určen především pro snímání fotografií, proto má největší rozlišení a kvalitu obrázků ze všech kamer. Dále následuje kamera s maticí OV2710 a předpokládá se, že senzor se bude používat pro snímání videa. Přednastavený objektiv zvětšuje FOV do 170° a velká nabídka FPS podle příslušných rozlišení umožňuje snímat videa dobré kvality bez značného

zašumění. Rozšiřující LED modul a filtr IČ dělá kameru univerzální pro snímání ve všech možných režimech. Senzor OV5640 má lepší kvalitu fotografií než OV2710, ale horší než u matici Sony. Kvalita videa u OV5640 je nižší vůči OV2710 a Sony IMX179. Kamera se senzorem OV7725 je nejlevnější varianta, která jako výhodu má široký FOV a možnost nastavení vysokého FPS, avšak kvalita videa zůstane nízká. Všechny kamery mají výstup USB, software umožňuje ukládat soubory ve formátech JPEG a MP4. Model se Sony IMX179 najdeme za 1440Kč, OV2710 za 1080Kč, OV5640 za 1176Kč a OV7725 za 480Kč.



(Obr. 13) Senzor SONY IMX179 (zleva) a OV2710 ve dvou pohledech (zprava) [21]

Kamery od firmy FLIR [22] a RPi moduly [23] (obr. 14). FLIR je jedna z nejvýznamnějších firem vyrábějících IČ snímače a senzory pro armádu, průmysl a všeobecné použití. V současné době je lídrem v této oblasti. Rpi moduly jsou doplňkovými nadstavbami minipočítače Raspberry Pi, který je nejvýznamnějším dostupným počítačem na trhu v této kategorii. Běžné moduly těchto výrobců jsou uvedené v *tabulce 5*:

(Tab. 5) Porovnání senzorů FLiR a Rpi

Model	Rozměry [mm]	Senzor			Video		Foto
		Model	FOV diagonál	Počet MP	FPS	Rozlišení	
Rpi kamera modul standard V2	25x23	IMX219	85° 160°	8	30	1920x1080 1024x720 640x480	3280x2464
Rpi kamera modul NoIR V2					60 90, 60		2592x1944 1920x1080 1024x720 640x480
FLIR Lepton	8.5x11.7	LWIR	60°	0.004	9Hz, 30Hz	80x60	
FLIR Quark	22x22	LWIR	50°	0.3	30Hz (NTSC) 25Hz (PAL)	640x480 640x512	

Senzory od FliR jsou určeny pro IČ snímání. Tyto výrobky využívají pokročilé technologie a proto mají velkou citlivost na teplotu. Lepton a Quark jsou základním stavebním prvkem IČ senzorů pro kamery, které se umísťují na dronech, vrtulnicích, autech pro pohyb v noci, na snímačích pro měření teploty a dalších průmyslových zařízeních. FliR dodává Lepton jako samotný senzor, který se umístí na konektor. Quark představuje další vývoj senzoru Lepton, má objektiv, který umožňuje snímat obrázky s větším rozlišením. FPS obou senzorů se pohybuje kolem 15. Směr jejich využití má vliv na cenu, která vzhledem k ostatním kamerám je vysoká. Pro nás jsou mnohem výhodnější kamery Rpi. Na trhu jsou přítomny dva moduly: standardní (bez IČ filtru) a s IČ filtrem (NoIR) 2. verze. Tyto senzory jsou umístěné na speciálních konektorech s CSI rozhraním pro plochý kabel. Pomocí něj můžeme spojit matici s minipočítačem. Kamery používají pokročilý senzor IMX219 od Sony, s možností nastavit objektiv s FOV 160°. Fotografování s relativně vysokou kvalitou, snížená citlivost na šумы a přítomnost velkého FPS dělá z těchto modulu dokonalý prvek. Orientační ceny jsou: Rpi standard –779Kč, Rpi NoIR – 699Kč, FliR Lepton – 4900Kč. Bohužel výrobce neuvádí informaci o ceně Quark.



(Obr. 14) Quark (zleva), Lepton (uprostřed) [22], Rpi kamera modul V2 (zprava) [23]

Kamery od firmy 3RD EYE (obr. 15) [24]. Čínský výrobce minikamer, určených především pro tajné snímání. Senzory jsou vyrobené v takových rozměrech a barvě, aby je bylo obtížně najít. Sortiment je složen z kamer pro noční a denní snímání. Následující *tabulka 6* ukáže základní výrobky této firmy:

(Tab. 6) Porovnání senzorů od 3rd EYE

Model	Rozměry [mm]	Senzor			Video	Foto
		Model	FOV diagonál	Počet MP	FPS	Rozlišení
fisheye170	24x18	není uvedeno	170	0.4	20	656x492 (NTSC) 786x576 (PAL)
MCV6-LED	14.5x14.5		55			720x480 (NTSC) 720x576 (PAL)
MC900	9.5x9.5		656x492 (NTSC) 786x576 (PAL)			

Nízké rozlišení a stálé FPS omezují možnost použití. Kamery snímají s principem „Alespoň rozlišit co se děje“. To by mělo stačit, když bychom byli tajnou službou a chtěli bychom sledovat něčí dům. Napájení ze 3 PINů nežádá od provozovatele nějaké odborné znalosti. Takový přístup k ovládání a sbírání dat nenechává žádné možnosti nastavení - měli bychom používat jenom přednastavené výrobcem parametry. Nejlepší kvalitu obrazů ukazuje model MC900, takže tento typ senzoru je více stabilní než ostatní a má nejmenší rozměry. Kamery od 3RD EYE nepotřebují žádný konektor – 3 kabely se dají protáhnout přímo k ovládacímu zařízení.



(Obr. 15) zleva doprava: MC900, MCV6-LED [24]

1.3.3 Závěr přehledu CMOS kamer

(Tab. 7) Porovnání zvolených kamer od každé firmy

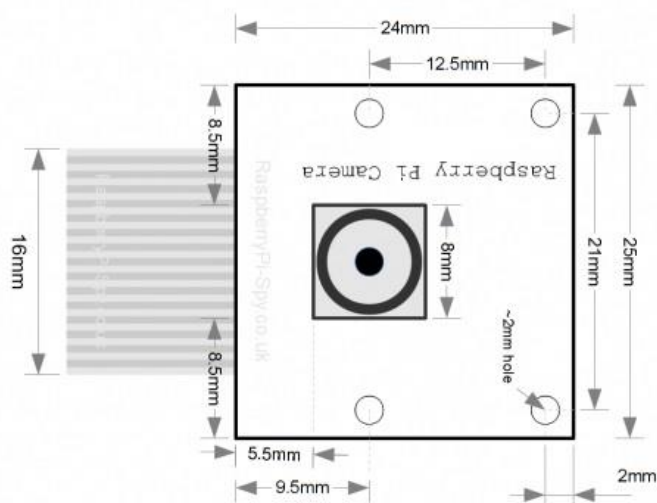
Model	Rozměry [mm]	Senzor			Video		Foto
		Model	FOV diagonál	Počet MP	FPS	Rozlišení	
Rpi kamera modul standard V2	25x23	SONY IMX219	85° 160°	8	30 60 90, 60	1920x1080 1024x720 640x480	3280x2464 2592x1944 1920x1080 1024x720 640x480
FLIR Quark	22x22	LWIR	50°	0.3	30Hz (NTSC) 25Hz (PAL)	640x480 640x512	
USB8MP02 G-L75	32x32	SONY IMX179	75°	8	15 20 20 20 30 30 30 30	3264X2448 2592X1944 2048X1536 1600X1200 1280X960 1024X768 800X600 640X480	
USBFHD01 M-L36-120FPS		OV2710	170°	2	30 30 30 60 60 120 120 120	1920X1080 1280X1024 1280X720 1024X768 800X600 640X480 352X288 320X240	
MC900	9,5x9,5	není uvedeno	50°	0.4	20	656x492 (NTSC) 786x576 (PAL)	

Z tabulky 7 je vidět, že nejvhodnější kamery pro náš účel jsou Rpi modul, kamery od ELP se senzory OV2710 a Sony IMX179. Tyto výrobky ukazují nejlepší poměry charakteristik a mají možnost nastavení FOV 170°. Kvalita jak obrazů, tak i videa vzhledem k ostatním sensorům je dobrá a přítomnost zašumění je malá. Kamera MC900 má nedostatečnou úroveň charakteristik pro náš účel a modul Quark má jiné zaměření použití. Největší dostupnost na trhu má Rpi modul. Výhodou je také velký počet návodů na spojení s minipočítačem Raspberry Pi a naprogramování tohoto senzoru (např.: [19]).

2 NÁVRH POUZDRA MINIKAMERY

2.1 Úvod

Podle rešerše nejlepší kamery jsou Sony FNDR-X1000V, GoPro HERO4 Black a modul kamery Pi pro minipočítač Raspberry Pi. Konečnou volbou je Pi modul V2, protože má nejmenší rozměry (*obr. 16*) [25]. To bylo jedním z důležitých kritérií pro výběr minikamery. Kvalita jak obrazů, tak i videí tohoto senzoru je dostatečná pro náš účel a vzhledem k malým rozměrům je poměrně vysoká.



(Obr. 16) Rozměry modulu Pi V2 [25]

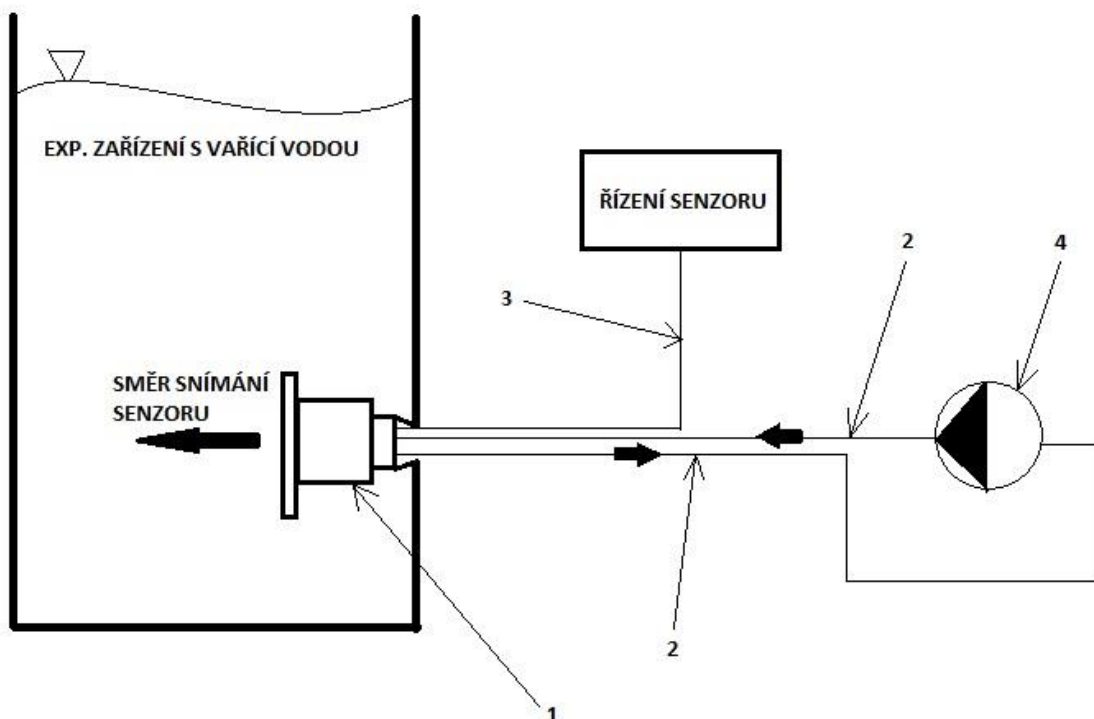
V experimentálním zařízení kamera bude ponořena do vařící vody na hloubku 2 m. Zařízení je otevřeno - na vodu působí atmosféra. Na hloubce 2 m bude tlak cca 1,2 bar. Teplota varu vody za takových podmínek může dosáhnout až 105°C. Z důvodu že maximální pracovní teplota senzoru Pi je 60°C, bych navrhnul chladicí systém a speciální pouzdro, které by chránilo kameru před vysokou teplotou a nepropouštělo vodu. Za daných podmínek je chlazení vzduchem nedostatečné, proto chladicím médiem bude tekutá látka poháněná čerpadlem.

Na začátku provedu koncepční návrh systému, ze kterého dostanu parametry potřebné pro další výpočty celkového tepelného toku do pouzdra. Následně pomocí kalorimetrické rovnice spočítám hmotnostní tok chladicího média, který použiji pro výpočet rychlosti a objemového toku tohoto média. Pro volbu a nastavení čerpadla je důležité znát tlakové

ztráty v potrubí. Tyto ztráty získám pomocí rychlosti chladicího média a součinitele tření v potrubí.

2.2 Popis konstrukčního návrhu

Kamera bude uložena v pouzdru, které bude ponořeno do maximální hloubky 2m. Potrubím do pouzdra bude přivedeno chladicí médium poháněné čerpadlem. Kamerou budeme ovládat přes kabel, který vytáhneme ven. Koncepční schéma je uvedeno na obrázku 17:



(Obr. 17) Koncepční schéma. 1-pouzdro s kamerou, 2-potrubí pro přívod a odvod média, 3-kabel ovládání, 4-čerpadlo

Základní součástí soustavy je pouzdro, které by mělo odolávat vysoké teplotě vody. Vzhledem k malému rozměru kamery jsem zvolil trubku čtvercového průřezu 40x40x40mm a tloušťkou stěny 3mm. Takový profil má velkou dostupnost na trhu a můžeme jej zakoupit třeba v obchodu [26]. Materiálem trubky je ocel, která má součinitel tepelné vodivosti cca $\lambda = 26 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$.

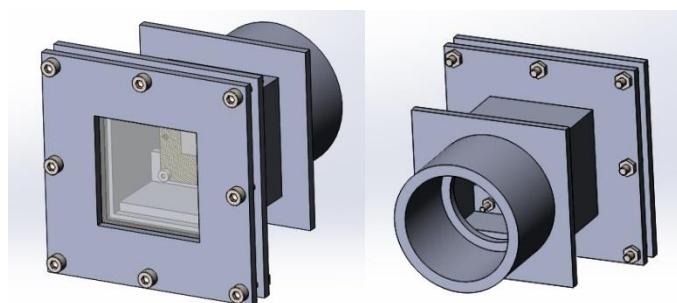
Trubka je průchozí. S každé strany se navaří speciální příruby z ocelového plechu tloušťky 3 mm. Jedna bude určená pro průchod média, ve druhé navrtáme díry pro šrouby – s této strany bude připojeno sklo a těsnění. Na stranu pro průchod média přivaříme

závitovou ocelovou trubku, která je navržena podle normy [27] a značí se 6/4". Výběr z normy [27] uvádí *tabulka 8*:

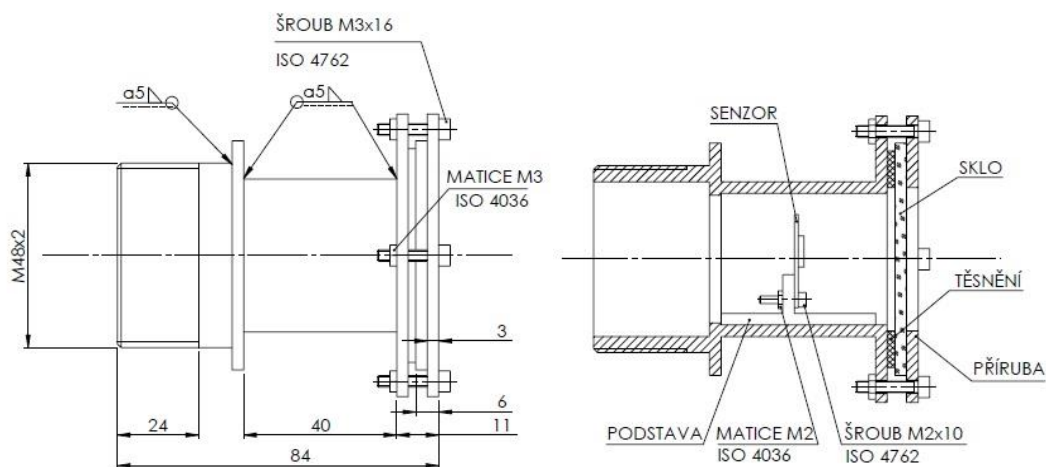
(Tab. 8) Označení trubek [27]

Označení	Závitů na palec	Stoupání [mm]	Velký průměr závitů		Od konce [mm]	Odpovídající trubka			
			[mm]	[in]		Světlost [mm]	Vnější [mm]	průměr [in]	Síla stěny [mm]
G 1/16"	28	0,907	7,723	0,304	4				
G 1/8"	28	0,907	9,728	0,383	4	6	10,2	0,40	2
G 1/4"	19	1,337	13,157	0,518	6	8	13,5	0,53	2,3
G 3/8"	19	1,337	16,662	0,656	6,4	10	17,2	0,68	2,3
G 1/2"	14	1,814	20,955	0,825	8,2	12 nebo 15	21,3	0,84	2,6
G 5/8"	14	1,814	22,911	0,902		16			2,6
G 3/4"	14	1,814	26,441	1,041	9,5	20	26,9	1,06	2,6
G 1"	11	2,309	33,249	1,309	10,4	25	33,7	1,33	3,2
G1¼" (5/4)	11	2,309	41,910	1,650	12,7	32	42,4	1,67	3,2
G1½" (6/4)	11	2,309	47,803	1,882	12,7	40	48,3	1,90	3,2

Pro těsnění příruby můžeme použít vláknitopryžovou desku DIMERSIL 20 (nebo jiné průmyslové těsnění). Pracovní teplota tohoto materiálu je cca +250°C, je odolný vůči olejům a vodě [28], což odpovídá našim požadavkům. Okénko je vyrobeno ze žáruvzdorného skla, které vydrží teplotu až do +800°C [29]. Takové sklo se často používá do kamen, pecí, krbů atd.. Přírubu přišroubujeme šrouby M3 s vnitřním šestihranem a maticemi. Pro modul senzoru vytvoříme speciální podstavu z oceli, na kterou pomocí šroubu M2 přimontujeme kameru. Podstavu s modulem můžeme jednoduše vkládat do pouzdra přes otevřené okénko. Konečnou konstrukci ukazují *obrázky 18 a 19*:



(Obr. 18) CAD model pouzdra



(Obr. 19) Návrhový výkres pouzdra

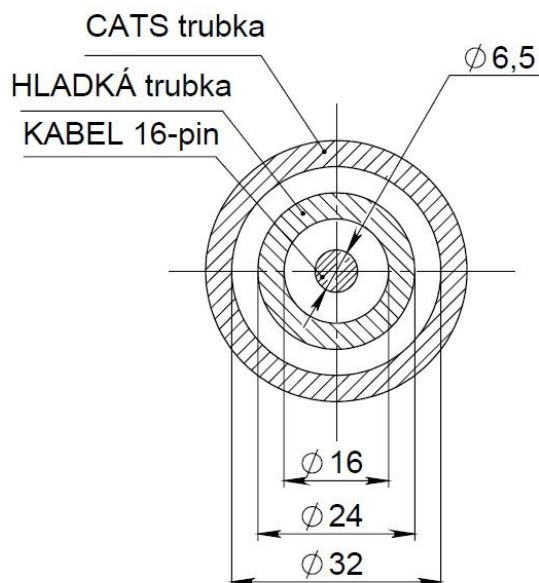
Potrubí je tvořeno vnější CATS 6/4'' trubkou se světlostí DN 32 a vloženou do ní hladkou trubkou DN 16 (např. silikonovou). Spoj mezi pouzdrem a CATS je zajištěn pomocí speciální matice, která se našroubuje na závitovou trubku. Těsněním je bezasbestový kroužek, který se vkládá do matice. Průběh montáže je na obrázku 20 [30]:



(Obr. 20) Průběh montáže CATS trubky [30]

Modul kamery má jako výstup plochý CSI kabel. Vzhledem ke konstrukci je obtížně jej odvádět ven, proto CSI připojíme na speciální konektor, který umístíme spolu se senzorem v pouzdra. Na konektor je napojen obecný kabel kruhového průřezu s izolací, který s konstrukčních důvodů se hodí víc, než plochý CSI. Výstupní drát odvedeme z pouzdra hladkou trubkou pro odvod média. Kabel připojíme na minipočítač Raspberry Pi. Pi kamerový modul jako vstupy a výstupy má celkem 15 drátků, což je minimální počet pro

kabel kruhového průřezu. Volím kabel s nejmenším průměrem a 16 drátů. Konečný průřez potrubí má tvar (obr. 21):



(Obr. 21) Průřez potrubí

Vzhledem k ponoření kamery, konektoru a všech spojů do chladicího média, měl bych vybrat médium nevodivé, z toho důvodu vodu nemůžu použít. Proto jsem vybral minerální olej, který se často používá pro chlazení elektrických systému (např.: transformátoru), parametry uvádí *tabulka 9* [31]. Alternativou transformátorovému oleji může být i motorový olej, ale takové médium má horší vlastnosti pro chlazení.

(Tab. 9) Tabulka parametrů oleje v závislosti na teplotě [31]

$t, ^\circ\text{C}$	$\rho, \text{kg/m}^3$	$c, \text{kJ/(kg}\cdot^\circ\text{C)}$	$\lambda, \text{W/(m}\cdot^\circ\text{C)}$	$\nu \cdot 10^6, \text{m}^2/\text{s}$	$\eta \cdot 10^4, \text{H}\cdot\text{s/m}^2$	$\alpha \cdot 10^4, \text{m}^2/\text{s}$	Pr	$\beta \cdot 10^4, \text{1/}^\circ\text{C}$
-20	904,6	1,432	0,1141	—	—	3,15	—	6,70
-10	898,6	1,491	0,1132	—	—	3,04	—	6,75
0,0	892,5	1,549	0,1124	70,5	629,6	2,93	866	6,80
10	886,4	1,620	0,1115	37,9	335,4	2,82	484	6,85
20	880,3	1,666	0,1106	22,5	198,1	2,72	298	6,90
30	874,2	1,729	0,1098	14,7	128,5	2,62	202	6,95
40	868,2	1,788	0,1089	10,3	89,3	2,53	146	7,00
50	862,1	1,846	0,1082	7,58	65,3	2,45	111	7,05
60	856,0	1,905	0,1072	5,78	49,5	2,37	87,8	7,10
70	850,0	1,964	0,1064	4,54	38,6	2,29	71,3	7,10
80	843,9	2,026	0,1056	3,66	30,8	2,22	59,3	7,20
90	837,8	2,085	0,1047	3,03	25,4	2,16	50,5	7,25
100	831,8	2,144	0,1039	2,56	21,3	2,10	43,9	7,30
110	825,7	2,202	0,1030	2,20	18,1	2,04	38,8	7,35

2.3 Výpočty

Všechny hodnoty získané pomocí koncepčního návrhu zapíšu do *tabulky 8*. Dál u výpočtů zavedu index *i*, který se může rovnat: *I* - vztahuje k potrubí pro přívod média, *II* - k potrubí pro odvod média. Teplota vody kolem pouzdra je cca 105°C, orientační teploty pro vstup a výstup média jsou 35°C a 45°C.

(Tab. 10) Parametry

Základ pouzdra		
Rozměry [m]	0,04x0,04x0,04	
λ [$\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$]	26	
δ [m]	0,003	
Médium (pro 40°C)		
ρ [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$]	868,2	
C_p [$\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$]	1 788	
μ [$\text{mm}^2\cdot\text{s}^{-1}$]	10,3	
Kabel		
d_k [mm]	6,5	
Potrubí		
d_2 [mm]	24	
L [mm]	1 000	
	<i>I</i>	<i>II</i>
DN [mm]	32	16
S_a [mm^2]	804	201
S_b [mm^2]	452	33
$K_{stř}$ [mm]	2	0,002
Teploty [°C]		
t_1	105	
t_2	35	
t_3	45	

2.3.2 Výpočet tepelného a hmotnostního toků

Vzhledem k malým rozměrům pouzdra, tolerantním požadavkům na přesnost a z důvodů zjednodušení výpočtů nepočítám přestup tepla přes rohy pouzdra, též zanedbávám přestup tepla přes okénko a v místě spojů s potrubím. Parametry média jsem zvolil podle *tabulky 9* pro teplotu 40°C ($\rho = 868 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$, $C_p = 1 788 \text{ J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$, $\mu = 10,3 \text{ mm}^2\cdot\text{s}^{-1}$). Na základě předpokladů provedu výpočty tepelného toku \dot{Q} do pouzdra pomocí [32]:

$$\dot{Q} = \int_{(S)} \vec{q} \cdot dS \quad [\text{W}] \quad (1)$$

kde S je teplosměnná plocha (předpoklad: pouzdro je celé obklopené vodou a má 6 stejných stěn z oceli), \vec{q} je hustota tepelného toku na 1 m^2 a podle Fourierova zákona se rovná:

$$\vec{q} = -\lambda \cdot \text{grad}T \quad [\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}] \quad (2)$$

λ – součinitel tepelné vodivosti oceli, $\text{grad}T$ – je změna teploty ve zvoleném směru
vzorek (2) můžeme zapsat ve tvaru:

$$\dot{q} = -\frac{\delta}{\lambda} \cdot (t_1 - t_2) \quad [\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}] \quad (3)$$

δ – je tloušťka stěny, t_1 je teplota vody, t_2 je teplota média na vstupu, potom $\dot{q} = 606\,667 \text{ K} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{W}^{-1}$. Spočítám teplosměnnou plochu:

$$S = 6 \cdot 0,04^2 = 0,0016 \quad [\text{m}^2] \quad (4)$$

Vzorec (1) zapišu ve tvaru:

$$\dot{Q} = \dot{q} \cdot S \quad [\text{W}] \quad (5)$$

Dosazením vypočtených hodnot do (5) dostanu celkový výsledný tepelný tok do krabice $\dot{Q} = 5\,824 \text{ W}$. Na základě této hodnoty spočítám hmotnostní tok z kalorimetrické rovnice:

$$\dot{Q} = \dot{m}c_p(t_3 - t_2) \quad [\text{W}] \quad (6)$$

z rovnice (7) odvodím hmotnostní tok:

$$\dot{m} = \frac{\dot{Q}}{c_p(t_3 - t_2)} \quad [\text{kg} \cdot \text{s}^{-1}] \quad (7)$$

kde c_p je měrná tepelná kapacita chladicí látky, t_3 je teplota na kterou se ohřeje médium.

Dosazením hodnot do (7) zjistím hmotnostní tok média potřebný pro chlazení kamery uvnitř pouzdra $\dot{m} = 0,333 \text{ kg} \cdot \text{s}^{-1}$. Pro čerpadlo spočítám objemový průtok:

$$\dot{V} = \frac{\dot{m}}{\rho} = 3,83 \cdot 10^{-4} \quad [\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}] \quad (8)$$

2.3.4 Výpočet tlakových ztrát

V předchozím odstavci jsem spočítal hmotnostní tok nutný k ochlazení kamery za daných podmínek. Teď podle něj spočítám rychlost vstupujícího a vystupujícího média [33] [34].

Hmotnostní tok v potrubí:

$$\dot{m} = \rho \cdot u_i \cdot S_i \quad [\text{kg} \cdot \text{s}^{-1}] \quad (9)$$

ρ - je hustota oleje. Odvodím rychlost u_i z (9):

$$u_i = \frac{\dot{m}}{\rho \cdot S_i \cdot 10^{-6}} \quad [\text{m} \cdot \text{s}^{-1}] \quad (10)$$

kde S_i je průřez potrubí, kterým běží médium:

$$S_i = S_{ai} - S_{bi} \quad [\text{mm}^2] \quad (11)$$

S_{ai} [mm²] - celkový průřez potrubí

S_{bi} [mm²] - průřez vložené hladké trubky

potom $S_I = 359 \text{ mm}^2$, $S_{II} = 168 \text{ mm}^2$. Pak podle vzorce (10) spočítám rychlosti na vstupu a výstupu: $u_I = 1,089 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, $u_{II} = 2,283 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$. Spočítám tlakové ztráty podle [33] a [34], které potřebuji pro návrh čerpadla. Chladicí médium je přiváděno CATS trubkou, ve které je umístěná hladká trubka pro odvod média. Tlakové ztráty pro jednotlivá potrubí:

$$\Delta p_i = \lambda_{zi} \frac{L}{d_i} \cdot \frac{\bar{u}_i^2}{2} \cdot \rho \quad [\text{Pa}] \quad (12)$$

kde ρ je hustota média, L je délka potrubí, d_i je ekvivalentní průměr, který se rovná:

$$d_I = DN_I - d_2 = 8 \quad [\text{mm}] \quad (13)$$

$$d_{II} = DN_{II} - d_k = 9,5 \quad [\text{mm}] \quad (14)$$

\bar{u}_i je rychlost média, λ_{zi} je součinitel tření v potrubí, DN_i je světlost trubek, d_2 je vnější průměr hladké trubky, d_k je průměr kabelu. Pro volbu vhodného vzorku pro výpočet λ_{zi} spočítám Reynoldsovo číslo a rozhodnu, pokud je proudění laminární či turbulentní:

$$\text{Re} = \frac{\bar{u}_i d_i \rho \cdot 10^{-3}}{\mu} \quad (15)$$

kde μ je kinematická viskozita oleje. Pro ekvivalentní průměr: d_I $\text{Re} = 735\,002$, d_{II} $\text{Re} = 1\,829\,338$. Obě hodnoty jsou větší než 2 400, a proto proudění v obou potrubích je turbulentní. Závislost součinitele tření v potrubí na Reynoldsově čísle a relativní drsnosti:

$$\lambda_{zi} = \left\{ 2 \log \left[0,27 \cdot k_i^* + \left(\frac{7}{\text{Re}} \right)^{0,9} \right] \right\}^{-2} \quad (16)$$

kde k_i^* je relativní drsnost potrubí, kterou spočítám vzorcem:

$$k_i^* = \frac{k_{stři}}{d_i} \quad (17)$$

$k_{stři}$ je střední drsnost potrubí. Potom relativní drsnost potrubí podle (17):

$$k_I^* = 0,25$$

$$k_{II}^* = 0,00021$$

Dosadím hodnoty do (16) a získám λ_{zi} pro každý ekvivalentní průměr: $\lambda_{zI} = 0,182$ a $\lambda_{zII} = 0,014$. Potom tlakové ztráty podle (12) jsou: $\Delta p_I = 11\,754$ Pa, $\Delta p_{II} = 3\,452$ Pa.

3. ZÁVĚR PRÁCE

Hlavním úkolem mé práce byl výběr minikamery. Na základě této volby jsem měl navrhnout odolné pouzdro, které by chránilo kameru před vysokou teplotou okolí. Dále bych měl vybrat chladicí médium a zajistit jeho přívod a odvod v pouzdru tak, aby vyhovovalo konstrukčně a plnilo svou funkci chlazení. Na základě koncepčního návrhu jsem měl provést potřebné výpočty, které by popisovaly chování systému za provozu. Z výpočtů bych měl obdržet celkový tepelný tok do krabice, hmotnostní tok média, který bych přepočítal na objemový průtok a následně vypočítal rychlosti pro stanovení tlakových ztrát v potrubí potřebných k návrh a nastavení čerpadla.

V první části práce, která se týkala výběru senzoru, jsem udělal jednoduchou rešerši v oblasti minikamer. Podle ní jsou nejvíce vyhovující kamery GoPro HERO4 Black, Sony FNDR-X1000V a Pi modul V2 pro minipočítač Raspberry Pi. Z důvodu dostupnosti, rozměrů a možnosti nastavení se konečnou volbou stal Pi modul. Parametry tohoto senzoru uvádí následující *tabulka 11*:

(Tab. 11) Zvolený senzor

Model	Rozměry [mm]	Senzor			Video		Foto	Formát dat	
		Model	FOV [°]	Počet MP	FPS	Rozlišení		Foto	Video
Rpi kamera modul standard V2	25x23	SONY IMX219	85 nebo 160	8	30 60 90, 60	1920x1080 1024x720 640x480	3280x2464 2592x1944 1920x1080 1024x720 640x480	podle nastavení na minipočítače	

Z důvodu, že kamera má maximální pracovní teplotu 60°C a prostředí kolem senzoru teplotu cca 105°C, mělo by být pro kameru zajištěné chlazení. Proto jsem ve druhé části své práce provedl návrh odolného pouzdra a systému chlazení vzhledem k rozměrům modulu a účelu jejího použití. Jako chladicí médium jsem vybral transformátorový olej (pro teplotu 40°C: $\rho = 868 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$, $c_p = 1788 \text{ J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$, $\mu = 10,3 \text{ mm}^2\cdot\text{s}^{-1}$), který se často používá pro chlazení elektrických systémů. Tento olej je nevodivý a obsahuje inhibitor oxidace. Získané hodnoty jsem dále použil při výpočtu tepelného toku do pouzdra ($\dot{Q} = 5824 \text{ W}$), ze kterého jsem následně spočítal hmotnostní tok ($\dot{m} = 0,333 \text{ kg}\cdot\text{s}^{-1}$).

Hmotnostní tok jsem převedl na objemový průtok ($\dot{V} = 3,83 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$), který je důležitý pro nastavení čerpadla. Podle zvoleného potrubí a předchozích výpočtu byly stanoveny potřebné rychlosti pro přívod a odvod média ($u_I = 1,089 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, $u_{II} = 2,283 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$). Pro výběr čerpadla bylo nutné spočítat tlakové ztráty, který jsem stanovil s použitím parametrů zvoleného média, potrubí a rychlostí ($\Delta p_I = 11\,754 \text{ Pa}$, $\Delta p_{II} = 3\,452 \text{ Pa}$). Výsledné parametry systému a získané hodnoty jsem zapsal do *tabulky 12*:

(Tab. 12) Parametry systému

Parametry pouzdra						
Základ pouzdra	Závitová trubka	Příruba	Těsnění příruby	Sklo	Šrouby a matice pouzdra	Šrouby a matice kamery
čtvercový profil 40x40x40 mm tloušťky 3 mm	6/4''	ocelové plechy tloušťky 3 mm	vláknito- pryžová deska DIMERSIL 20	žáru- vzdorné (do 800°C)	8x šrouby a matice M3	2x šrouby a matice M2
Potrubí		Teploty			Kabel	
Vnější trubka	Vnitřní trubka	Teplota vody [°C]	Teplota média na vstupu [°C]	Teplota média na výstupu [°C]	Průměr	Počet pinů
CATS 6/4'' DN 32 spoj: CATS matice+bez-asbestový kroužek	hladká DN 16 vnější průměr 24 mm	105	35	45	s izolací 6,5 mm	16
Stanovené hodnoty						
Tepelný tok Q	Objemový průtok čerpadlem	Rychlost média na vstupu	Rychlost média na výstupu	Tlakové ztráty vstupního potrubí	Tlakové ztráty výstupního potrubí	
5 824 W	$3,83 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$	$1,089 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$	$2,283 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$	11 754 Pa	3 452 Pa	

Jelikož je tato práce koncepčním návrhem, je možné aby během realizace došlo ke změně parametrů. Někdo může tuto práci použít jako základ, pro další případnou studii problematiky. V rámci projektu bylo by možné navrhnout zdroj světla, který by se umístil v zařízení společně s kamerou a zlepšil nasvícení prostoru pro snímání, vybrat jiné médium pro ochlazování senzoru, navrhnout čerpadlo a podrobněji zpracovat potrubní systém, provést praktickou realizaci s dalším experimentem a porovnáním teoretických a výsledných hodnot celé konstrukce.

Seznam zdrojů

- [1] Akční kamera SJCAM M10+. *T.S. Bohemia*. [Online] CyberSoft, 2016. [Citace: 28. 05 2016.] https://www.tsbohemia.cz/sjcam-m10-cube-cerna-8594173640696-_d231113.html.
- [2] **script, Maintenance**. Fov_diagram.png. *PCGamingWiki*. [Online] [Citace: 28. 05 2016.] http://pcgamingwiki.com/wiki/File:Fov_diagram.png#filelinks.
- [3] **mtrlin**. 38054_640.jpg a 20867_900.jpg. *mtrlin.livejournal.com*. [Online] Calend.ru. [Citace: 28. 05 2016.] <http://mtrlin.livejournal.com/3819.html>.
- [4] **Сухов, Андрей**. Что такое зум в фотоаппарате? *andreysukhov*. [Online] Фотография в Путешествиях, 2016. [Citace: 28. 05 2016.] <http://andreysukhov.ru/articles/chto-takoe-zum-v-fotoapparate.html>.
- [5] **А., Иофис Е.** *Фототехника: Энциклопедия*. Москва : Советская энциклопедия, 1981.
- [6] **Гончарова, Екатерина**. 4-9.jpg. *ZooPararazzi*. [Online] Фотоконкурс ЗооПапарацци, 2016. [Citace: 28. 05 2016.] <http://zoopararazzi.ru/wp-content/uploads/4-9.jpg>.
- [7] Camera Comparison. *GoPro*. [Online] GoPro, 2016. [Citace: 28. 05 2016.] <http://shop.gopro.com/EMEA/compare?category=cameras>.
- [8] SJ5000+. *SJCAM*. [Online] SJCam Support, 2016. [Citace: 28. 05 2016.] <http://www.sjcamsupport.com/sj5000/>.
- [9] 3885901-6.jpg. *FASTTECH*. [Online] FastTech.com, 2016. [Citace: 28. 05 2016.] <https://img.fasttechcdn.com/388/3885901/3885901-6.jpg>.
- [10] Polaroid CUBE+. *Polaroid*. [Online] PLR Ecommerce, 2014. [Citace: 28. 05 2016.] <http://www.polaroid.com/cube>.
- [11] Specifikace produktu. *SONY*. [Online] Sony Europe Limited, 2016. [Citace: 28. 05 2016.] <http://www.sony.cz/electronics/videokamera-action-cam/fdr-x1000v-body-kit/specifications>.
- [12] Wearable Camera HX-A500E. *Panasonic*. [Online] Panasonic UK & Ireland, 2016. [Citace: 28. 05 2016.] <http://www.panasonic.com/uk/consumer/cameras-camcorders/camcorders/active-hd-camcorders/hx-a500e.html>.
- [13] Polaroid Cube review. *c net*. [Online] CBS Interactive Inc., 2016. [Citace: 28. 05 2016.] <http://www.cnet.com/products/polaroid-cube/>.
- [14] **Чура, Н. И.** CCD или CMOS? Что лучше? *SECUTECK*. [Online] ООО "Гротек", 2014. [Citace: 28. 05 2016.] <http://www.secuteck.ru/articles2/videonabl/ccd-ili-cmos-chto-lychshe/>.
- [15] **Che**. CCD_in_camera.jpg. *wikipedia commons*. [Online] 14. 04 2006. [Citace: 28. 05 2016.] https://commons.wikimedia.org/wiki/File:CCD_in_camera.jpg.

- [16] Стоковые фото. *Shutterstock*. [Online] Shutterstock, 2016. [Citace: 28. 05 2016.] <http://www.shutterstock.com/s/cmos/search.html>.
- [17] **Газимагомедов, А.** PAL, SECAM, NTSC. *hifinews*. [Online] Текарт, 2016. [Citace: 28. 05 2016.] <http://www.hifinews.ru/advice/details/88.htm>.
- [18] Modul kamery. *AliExpress*. [Online] AliExpress.com, 2016. [Citace: 28. 05 2016.] http://ru.aliexpress.com/store/product/Camera-Module-Board-5MP-Webcam-Video-1080p-720p-For-Raspberry-Pi/1482106_32267469593.html?storeId=1482106.
- [19] **Jenč, Jiří.** Projekt 3. Možnosti rozšíření Raspberry Pi o modul kamery. *users.fs.cvut.cz*. [Online] 2014. [Citace: 28. 05 2016.] http://users.fs.cvut.cz/ivo.bukovsky/PVVR/prace_studentu/Jenc_RPi_kamery_s_FFT.pdf.
- [20] **Lucasbosch.** Raspberry Pi B+ top.jpg. *wikipedia commons*. [Online] 24. 07 2014. [Citace: 28. 05 2016.] https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Raspberry_Pi_B%2B_top.jpg.
- [21] Cameras. *ELP*. [Online] Elpccv.com, 2016. [Citace: 28. 05 2016.] <http://www.elpcctv.com/>.
- [22] FLIR components. *FLIR*. [Online] FLIR, 2016. [Citace: 29. 05 2016.] <http://www.flir.com/cores/content/?id=53463>.
- [23] Raspberry Pi camera board. *MODMYPI*. [Online] modmypi.com, 2016. [Citace: 29. 05 2016.] <http://www.modmypi.com/raspberry-pi/camera/raspberry-pi-camera-board-v2-8mp1080p>.
- [24] Mini cameras. *3RD EYE*. [Online] 3rd Eye Electronics Co, 2015. [Citace: 29. 05 2016.] <http://www.3rdee.com/product.aspx?cateid=128&ulid=128&ProductsCatelD=128>.
- [25] **MATT.** Raspberry Pi Camera Module Diagram. *raspberrypi-spy*. [Online] Matt Hawkins, 2015. [Citace: 30. 05 2016.] <http://www.raspberrypi-spy.co.uk/2013/05/pi-camera-module-mechanical-dimensions/>.
- [26] TRUBKY ČTVERCOVÉ. *AKROS*. [Online] akros, 2014. [Citace: 30. 05 2016.] <http://www.akros.cz/trubky-ctvercove-kartacovane-mat-1-4571>.
- [27] *ČSN ISO 7. Trubkové závitky pro spoje těsnící na závitech*. Praha : Český normalizační institut, 1994.
- [28] DIMERSIL 20. *DIMER*. [Online] Dimer, 2014. [Citace: 02. 06 2016.] http://www.dimer.cz/tesneni/dimersil-20--dimersil-20r_1355_cz.html.
- [29] Sklo pod kamna. *sklomat*. [Online] Sklomat, 2016. [Citace: 02. 06 2016.] http://www.sklomat.cz/zarove-sklo-a65?gclid=Cj0KEQjwj7q6BRDcxfG4pNTQ2NoBEiQAzUpuW2D_PjThhicEIN3IEeqsx-3dtbbfsA1FWmjBf3D1UdAaAoHJ8P8HAQ.
- [30] Katalog Flexira xConnect 2016. *flexira*. [Online] AZ - Pokorný Trade, 2016. [Citace: 30. 05 2016.] <http://www.flexira.eu/download/Catalogues/Flexira-xConnect-2016-Catalogue-CZ.pdf>.

- [31] **Е., Казанцев.** *Промышленные печи. Справочное руководство для расчетов и проектирования.* Москва : Металлургия, 1975.
- [32] **Miroslav, Sazima.** *Тепло.* Praha : SNTL, 1989. 80-03-00043-2.
- [33] **Е., Идельчик И.** *Справочник по гидравлическим сопротивлениям.* Москва : Машиностроение, 1992. 5-217-00393-6.
- [34] **Jiří, Nožiška.** *Mechanika tekutin.* Praha : ČVUT, 2004. 80-01-02865-8.

Seznam obrázků

(Obr. 1) Příklad obrazu z akční kamery	(Obr. 2) Akční kamera SJCAM M10+ [1]	10
(Obr. 3) Struktura prostoru před kamerou [2]		11
(Obr. 4) 150x113 pixelů a 3648x2736 pixelů [3]		12
(Obr. 5) Zvýšený kontrast a jas [6]		13
(Obr. 6) Kamery HERO4 Black a Session [7]		16
(Obr. 7) Kamery od SJCAM s senzorem Ambrella [8], od Sony [9] a M10+ [1]		18
(Obr. 8) Panasonic [12], Polaroid [13], Sony [11]		19
(Obr. 9) CCD [15] a CMOS [16] senzory		21
(Obr. 10) Mapa použití systémů		21
(Obr. 11) Příklad CSI [18] rozhraní s plochým kabelem u kamery Pi NoIR		22
(Obr. 12) Mikropočítač Raspberry Pi [20]		22
(Obr. 13) Senzor SONY IMX179 a OV2710 ve dvou pohledech [21]		24
(Obr. 14) Quark, Lepton [22], Rpi kamera modul V2 [23]		25
(Obr. 15) MC900, MCV6-LED [24]		25
(Obr. 16) Rozměry modulu Pi V2 [25]		28
(Obr. 17) Koncepční schéma		29
(Obr. 18) CAD model pouzdra		30
(Obr. 19) Návrhový výkres pouzdra		31
(Obr. 20) Průběh montáže CATS trubky [30]		31
(Obr. 21) Průřez potrubí		32

Seznam tabulek

(Tab. 1) Porovnání kamer GoPro	15
(Tab. 2) Porovnání kamer SJCAM	17
(Tab. 3) Nejlepší kamery z každé skupiny v porovnání	19
(Tab. 4) Porovnání kamer od ELP	23
(Tab. 5) Porovnání senzorů FLiR a Rpi	24

(Tab. 6) Porovnání senzorů od 3rd EYE.....	26
(Tab. 7) Porovnání zvolených kamer od každé firmy.....	27
(Tab. 8) Označení trubek [27]	30
(Tab. 9) Tabulka parametrů oleje v závislosti na teplotě [31].....	32
(Tab. 10) Parametry	33
(Tab. 11) Zvolený senzor	37
(Tab. 12) Parametry systému	38