



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV MECHANIKY TĚLES, MECHATRONIKY A BIOMECHANIKY

INSTITUTE OF SOLID MECHANICS, MECHATRONICS AND BIOMECHANICS

NÁVRH SYSTÉMU PRO MONITOROVÁNÍ DOBYTKA A MAJETKU

DESIGN OF A LIVESTOCK AND PROPERTY MONITORING SYSTEM

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Roman Krček

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Martin Formánek

BRNO 2023

Zadání bakalářské práce

Ústav:	Ústav mechaniky těles, mechatroniky a biomechaniky
Student:	Roman Krček
Studijní program:	Mechatronika
Studijní obor:	bez specializace
Vedoucí práce:	Ing. Martin Formánek
Akademický rok:	2022/23

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:

Návrh systému pro monitorování dobytka a majetku

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

V monitorování odlehlejších oblastí, tam kde se nevyplatí instalovat kamerové systémy, se dají použít fotopasti. Toto řešení má ovšem spoustu nevýhod. Výměna baterií je často složitá, protože fotopasti musí být instalované mimo dosah lidí. Správa většího počtu fotopastí je velmi náročná, navíc cena jedné fotopasti může dosahovat i desítky tisíc Kč. Cílem práce je vytvořit cenově dostupnou kameru se solárním panelem, kterou bude moci uživatel spravovat z aplikace na mobilu, nebo v internetovém prohlížeči.

Cíle bakalářské práce:

1. Průzkum trhu a dostupných řešení pro monitorování volného prostoru
2. Návrh a výroba vlastního řešení kamerového systému
3. Návrh a zprovoznění cloudové infrastruktury pro sběr dat
4. Vytvoření uživatelského programu navrženého systému

Seznam doporučené literatury:

[1] Aureliano Netto, Abdon & Martins, Rodrigo & de Souza, Guilherme & Santos, Fernando & Fim Rosas, Jorge. (2019). Evaluation of a Low-cost Camera for Agricultural Applications. Journal of Experimental Agriculture International. 1-9. 10.9734/jeai/2019/v32i530117.

[2] Chuah, Chun & Kwan, Ban & Ng, Danny. (2022). Point Cloud Generation with Low-Cost Camera for Visual SLAM. 10.1007/978-981-16-8129-5_84.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2022/23

V Brně, dne

L. S.

prof. Ing. Jindřich Petruška, CSc.
ředitel ústavu

doc. Ing. Jiří Hlinka, Ph.D.
děkan fakulty

ABSTRAKT

Bakalářská práce se zabývá problematikou monitorování dobytka a majetku v odlehlých oblastech. Specificky v oblastech, kde není dobře dostupné připojení k elektrické síti nebo kde není možné vystavět infrastrukturu pro kamerové systémy jako například chaty, odlehlé statky apod. Cílem práce je vytvořit malou spolehlivou kameru, napájenou ze solárního panelu, jejíž snímky by si uživatel mohl prohlížet z aplikace na telefonu nebo počítači.

Práce obsahuje analýzu dostupných řešení jako jsou fotopasti nebo kamery s 3G/4G konektivitou. Její druhá část se věnuje návrhu vlastního řešení, které by více odpovídalo potřebám autora a volbě jednotlivých komponent kamery.

KLÍČOVÁ SLOVA

internet věcí, ESP32, OV5640, Raspberry Pi, Vue.js, REST API, MQTT

ABSTRACT

The bachelor thesis deals with the issue of monitoring livestock and property in remote areas. Specifically in areas where the access to the electricity grid is difficult or where it is not possible to build infrastructure for camera systems such as cottages, remote farms, etc. The aim of the work is to create a small reliable camera, powered by a solar panel, whose images could be viewed by the user from an app on a phone or computer.

The thesis includes an analysis of available solutions such as camera traps or cameras with 3G/4G connectivity. The second part of the thesis deals with the design of a custom solution that would better meet the needs of the author and the choice of individual camera components.

KEYWORDS

Internet of things, ESP32, OV5640, Raspberry Pi, Vue.js, REST API, MQTT

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

KRČEK, Roman. *Návrh systému pro monitorování dobytka a majetku*. Brno, 2023. Dostupné také z: <https://www.vut.cz/studenti/zav-prace/detail/149596>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav mechaniky těles, mechatroniky a biomechaniky. Vedoucí práce Martin Formánek.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že předložená bakalářská práce je původní a zpracoval jsem ji samostatně. Prohlašuji, že citace použitých pramenů je úplná, že jsem ve své práci neporušil autorská práva (ve smyslu Zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském a o právech souvisejících s právem autorským).

V Brně dne

.....
podpis autora

PODĚKOVÁNÍ

Tímto bych chtěl poděkovat Ing. Martinu Formánkovi, za vedení mé bakalářské práce a cenné rady, které mi poskytl.

OBSAH

ÚVOD	9
1 ŘEŠENÍ DOSTUPNÁ NA TRHU	10
1.1 FOTOPASTI	10
1.1.1 <i>PROVOZ FOTOPASTÍ</i>	11
1.2 KAMERY S 3G/4G KONEKTIVITOU	11
2 NÁVRH VLASTNÍHO ŘEŠENÍ.....	12
2.1 HARDWARE KAMERY	12
2.1.1 <i>NÁVRH DPS</i>	14
2.1.2 <i>VÝBĚR KAMEROVÉHO MODULU</i>	14
2.1.3 <i>VÝBĚR MIKROKONTROLERU</i>	15
2.1.4 <i>DALŠÍ PERIFERIE</i>	16
2.1.5 <i>KRABIČKA</i>	17
2.1.6 <i>SPOTŘEBA ENERGIE</i>	17
2.1.7 <i>BATERIE A NABÍJENÍ</i>	19
2.1.8 <i>SOLÁRNÍ PANEL</i>	22
2.1.9 <i>CENA A NÁKLADY</i>	23
2.1.10 <i>FIRMWARE KAMERY</i>	25
2.2 LOKÁLNÍ SERVER	26
2.2.1 <i>VYBRANÝ HARDWARE</i>	29
2.2.2 <i>SOFTWARE</i>	30
2.3 CLOUDOVÁ INFRASTRUKTURA.....	31
2.3.1 <i>API</i>	32
2.4 APLIKACE.....	34
ZÁVĚR	36
SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ.....	38
SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK.....	40
SEZNAM POUŽITÝCH OBRÁZKŮ, TABULEK A GRAFŮ	42
SEZNAM PŘÍLOH	43

ÚVOD

Pro chovatele dobytka je důležité, aby měli nad zvířaty dohled. To vyžaduje někdy i několikrát denně dobytek kontrolovat. To je ale časově náročné, a ne vždy možné, například pokud to pro člověka není primární druh obživy. Mnoho chovatelů tento problém řeší fotopastmi s 3G/4G konektivitou, které umožňují dobytek sledovat, aniž by člověk musel být fyzicky přítomen. Jejich pořizovací cena je ale relativně vysoká a při větší rozloze pozemků, nebo pokud by chovatel chtěl zabrat více úhlů, je správa takového systému velmi složitá. Každá fotopast totiž vyžaduje vlastní SIM kartu a musí být ovládaná zvlášť. Další alternativou jsou kamerové systémy, ale ty jsou cenově ještě náročnější a vyžadují připojení k elektrické síti. Ke každé kameře je potřeba dovést kabeláž, což v mnoha případech může být velmi problematické nebo nepraktické. Cílem hledaného pozorovacího systému navíc není přenášet přímý přenos v nejvyšší kvalitě, ale poskytnout jen základní náhled situace pro chovatele.

1 ŘEŠENÍ DOSTUPNÁ NA TRHU

1.1 FOTOPASTI

Fotopasti jsou zařízení sloužící k pořizování snímků či videí. Jsou navrženy taky, aby se aktivovaly, při detekci pohyb, na základě odeslané SMS zprávy nebo na předem nastavený časovač. Pořízený snímek je následně uložen na SD kartu, nebo v případě že fotopast



Obrázek 1 Fotopast Bentech 3.0CG

disponuje 3G/4G konektivitou je nahrán na FTP serveru nebo odeslán na email. Fotopasti často disponují dalším vybavením, například vestavěným LCD displejem, který ukazuje aktuální záběr kamery, aby uživatel mohl fotopast správně nastavit a zaměřit. Kromě toho mohou být vybaveny infračerveným přísvitem pro zachycování snímků v noci. Některé modely mohou mít solární panel pro zajištění napájení. Jejich konstrukce bývá robustní a zajišťuje ochranu proti vodě, prachu a poškození. Často jsou totiž vystaveny nevlídným povětrnostním podmínkám.

Pro napájení se nejčastěji používají AA baterie. Jejich počet závisí na konkrétním modelu, ale nejčastěji jich bývá 8.

Následující tabulka ukazuje krátký výběr několika modelů fotopastí dostupných na trhu k 16.5.2023. Ceny jsou uvedeny včetně DPH.

Model	Cena	Napájení	Další vybavení	Odkaz
Evolveo StrongVision 2GB	2 890 Kč	8 AA baterií	SD karta, vestavěný displej, noční přísvit, detekce pohybu, 3G modul	czc.cz
Bentech 3.0CG	4 690 Kč	8 AA baterií	SD karta, vestavěný displej, noční přísvit, detekce pohybu, 3G modul	mall.cz
Suntek HC-810M	5 477 Kč	8 AA baterií	SD karta, vestavěný displej, noční přísvit, detekce pohybu, 2G modul	spyshop24.cz
FOXcam 4G LTE	6 490 Kč	12 AA baterií	SD karta, vestavěný displej, noční přísvit, detekce pohybu, 4G modul	eshop-fotopasti.cz

Tabulka 1 Seznam cen a vybavení vybraných fotopastí s 3G/4G konektivitou

1.1.1 PROVOZ FOTOPASTÍ

Kromě pořizovací ceny je třeba také uvažovat provozní cenu kamery. Výrobci často udávají výdrž fotopasti na bateriích až v řádu měsíců, to je ale podle zkušeností autora značně nadsazené číslo. Jeho kamera potřebovala vyměnit baterie přibližně každé 4 týdny při průměrných deseti snímcích za den. Vyměnit baterie bylo navíc velmi komplikované, protože kamera se nacházela na velmi obtížně přístupném místě. Další provozní výdaj byl v podobě kreditu SIM karty, jež byla nutná k odeslání snímku z kamery na email. Každý snímek měl velikost přibližně 60 kB. V neposlední řadě byl výdajem také kredit uživatele. Každý snímek si totiž musel uživatel vyžádat zasláním SMS na telefonní číslo SIM karty fotopasti.

1.2 KAMERY S 3G/4G KONEKTIVITOU

Kamery s 3G/4G konektivitou poskytují uživateli nejen statické snímky, ale také videozáznamy, které jsou přístupné buď prostřednictvím aplikace, nebo přes email. Tyto kamery mají ale v porovnání s fotopastmi obecně vyšší pořizovací cenu.

Jednou z nevýhod je skutečnost, že tyto kamery obvykle vyžadují připojení k elektrické síti. To znamená, že je třeba vést kabeláž ke každé kameře, což může být omezující faktor v některých případech. Je tedy nutné zvážit umístění kamery tak, aby bylo zajištěno připojení k elektrické síti.

Následující tabulka ukazuje krátký výběr několika modelů kamer s 3G/4G konektivitou dostupných na trhu k 16.5.2023. Ceny uvedeny včetně DPH.

Model	Cena	Napájení	Další vybavení	Odkaz
ORLLO GOODCAM Z7	4 580 Kč	Ze sítě	IR přísvit, mikrofon a reproduktor, otočná, SD karta, 3G modul	eltrox.store
ORLLO CAMSIM-2S	10 941 Kč	Ze solárního panelu	IR přísvit, mikrofon a reproduktor, otočná, SD karta vestavěná baterie, 3G modul	eltrox.store
Kamera Anker Eufy 4G	7 499 Kč	Z vestavěné baterie	GPS, mikrofon, reproduktor, detekce pohybu, barevné noční vidění, 4G modul	euronics.cz
Bright-Eye OW4G-5M	4 493 Kč	Ze sítě	IR přísvit, SD karta, 4G modul	slkamery.cz

Tabulka 2 Seznam kamer s 3G/4G konektivitou Návrh vlastního řešení

2 NÁVRH VLASTNÍHO ŘEŠENÍ

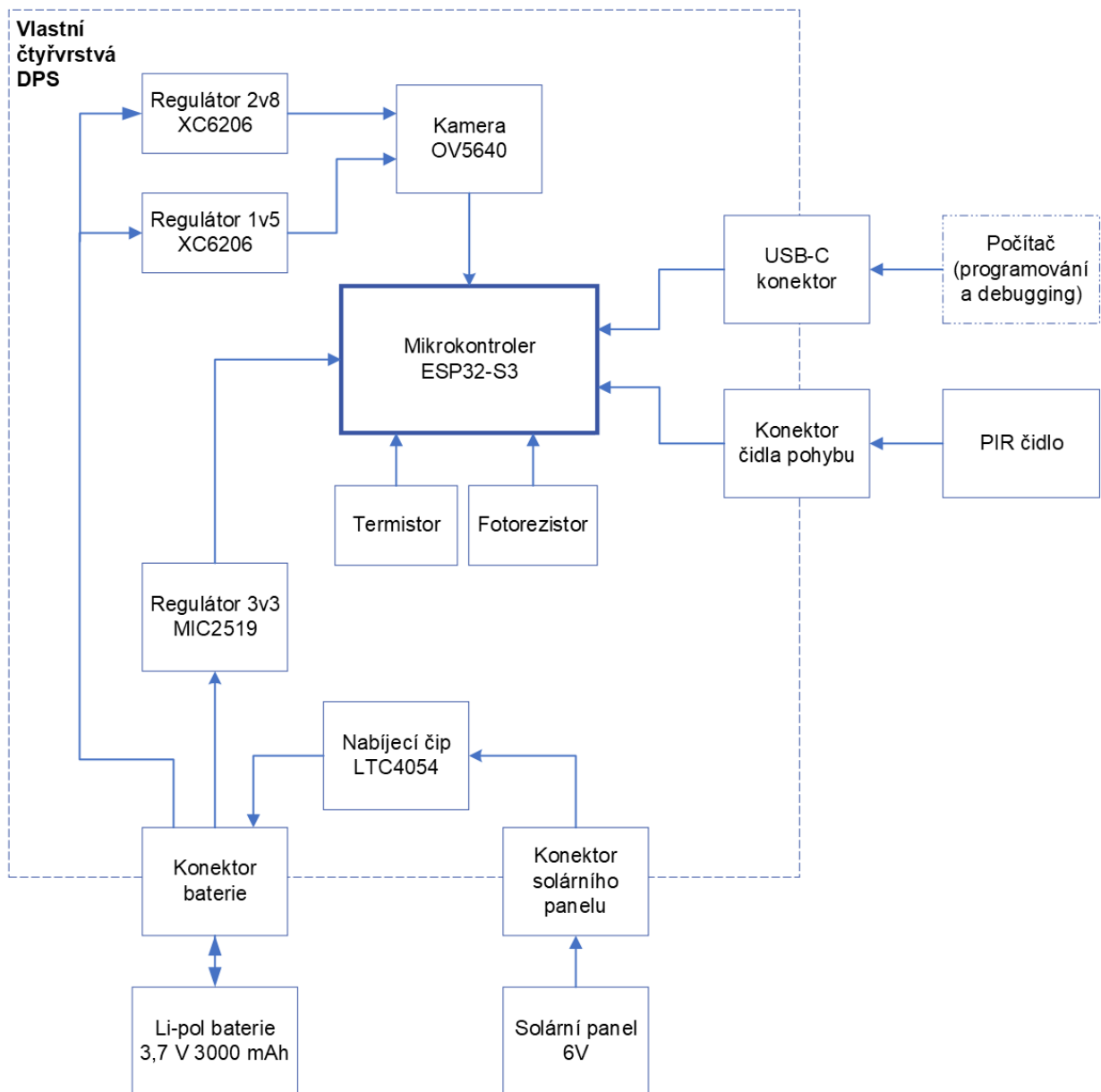
Systémy popsané v předchozí kapitole mají vždy nějaké nevýhody. Buďto složitá operace, drahý provoz, nebo složitá instalace. Proto se autor rozhodl vytvořit vlastní řešení, které by více vyhovovalo jeho potřebám.

V této kapitole bude popsáno, jak bylo postupováno při návrhu vlastního řešení. Výsledkem bude malá kamera, která je založená na vlastním návrhu DPS s mikrokontrolerem ESP32-S3 a kamerovým modulem OV5640. Tato kamera má vlastní lithiovou baterii, která je dobíjena solárním panelem. To zaručuje, že kamera dokáže operovat bez výměny baterií čistě na solární energii. Tato kamera se v požadovaných intervalech probudí z režimu spánku, vyfotí snímek a pošle ho přes Wi-Fi do Raspberry Pi, které snímek uloží na disk, aby si ho pak mohl uživatel zobrazit v mobilní aplikaci. Kamery jsou vybaveny senzorem pohybu, který může sloužit jako spouštěč k pořízení snímku. Konektivitu k internetu zajišťuje LTE USB modem připojený k Raspberry Pi. To se připojí k cloudovému serveru, přes který si mobilní aplikace může vyžádat pořízené snímky z Raspberry Pi a může také změnit nastavení kamery.

Pro kameru je nutné, aby fotila snímky v dobré kvalitě v daných časových intervalech v rozmezí 2–60 min a aby dokázala reagovat na pohyb. Napájení kamery musí být zajištěno čistě ze solárního panelu, což znamená, že musí být vybrána dostatečně velká baterie a solární panel. Navíc kamera bude operovat ve venkovním prostředí kde bude vystavena dešti, větru, sněhu a přímému slunečnímu záření. To znamená, že krabička kamery musí být vodotěsná a musí dobře odolávat přímému slunečnímu záření. Její cena by měla být co nejnižší.

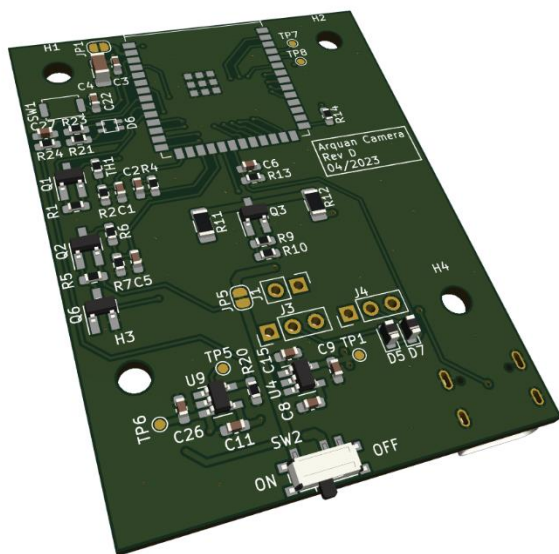
2.1 HARDWARE KAMERY

Elektroniku kamery bude tvořit čtyřvrstvá DPS vlastního návrhu. Na obrázku níže je uvedeno schéma kamery popisující základní komponenty kamery. Mikrokontroler kamery bude ESP32-S3 díky jeho podpoře Wi-Fi a velkému počtu GPIO pinů. Ten se bude připojovat ke kamerovému modulu OV5640 a dalším sensorům jako je termistor nebo fotorezistor. Kompletní a podrobné schéma s výrobními soubory DPS jsou obsaženy v příloze této práce.



Obrázek 2 Schéma hardwaru kamery

2.1.1 NÁVRH DPS



Obrázek 3 Render návrhu DPS ze softwaru KiCad

Návrh DPS byl proveden v softwaru KiCad. Kvůli komplexitě kamery bylo nutné využít čtyřvrstvou DPS o rozměrech 60x45 mm. Vnější vrstvy byly použity jako signálové vrstvy pro propojení jednotlivých komponent a vnitřní dvě vrstvy byly použity jako napájecí vrstvy. Jedna vrstva nesla GND a druhá +3v3. Vnější vrstvy na sobě mají také vylitý GND signál. Aby nevznikaly dlouhé proudové smyčky a další nežádoucí fenomény jsou GND vrstvy spojeny velkým počtem prokůvů [1]

2.1.2 VÝBĚR KAMEROVÉHO MODULU

Jako kamerový modul byl zvolen modul OV5640 od firmy Omnivision. Má 5 Mpx CMOS senzor schopným dosáhnout rozlišení až 2592x1944 px. Jeho nastavení kvality, světlosti, doby expozice, formát výstupu a další se dají měnit pomocí SCCB rozhraní z mikrokontroleru. Samotné snímky se přenášejí do mikrokontroleru pomocí 8bitové paralelní sběrnice. [2]



Obrázek 4 Kamerové moduly OV5640

Kamera potřebuje k chodu dvě napěťové hladiny – 2,8 V a 1,5 V. Ty budou poskytnuty dvěma lineárními regulátory XC6206. K nim jsou připojeny vhodné pasivní komponenty pro minimalizaci šumu. Hodnoty těchto součástek jsou zvoleny podle poznámek k použití hardwaru OV5640 [3]. Aby bylo dosaženo co nejnižší spotřeby, jsou regulátory odpojeny od napětí baterie pomocí P-kanálového MOSFETu, když kamera není používána.

2.1.3 VÝBĚR MIKROKONTROLERU

Jako hlavní mikrokontroler byl zvolen SoC ESP32-S3 od firmy Espressif ESP32-S3. Je to mikrokontroler s vestavěnou podporou Wi-Fi a Bluetooth, má 45 GPIO pinů, dvacet kanálový 12bitový ADC převodník a další periferie. Specificky byla vybrána varianta ESP32-S3-WROOM-1U-N4R4. 1U znamená, že modul nemá vlastní anténu, ale pouze IPX U.FL konektor, ke kterému je nutné připojit externí Wi-Fi anténu. N4 značí, že modul má 4 MB flash paměti pro program a soubory potřebné pro běh firmwaru. R4 značí, že čip má 4 MB pseudostatické RAM (PSRAM), která je využívána jako prostor pro uložení snímku z kamery před jeho odesláním. [4]



Obrázek 5 ESP32-S3-WROOM-1U [4]

Tento mikrokontroler byl zvolen kvůli své podpoře Wi-Fi, vysokému počtu GPIO pinů, velkému objemu flash paměti i PSRAM, nízké ceně a v neposlední řadě velmi dobré podpoře v komunitě.

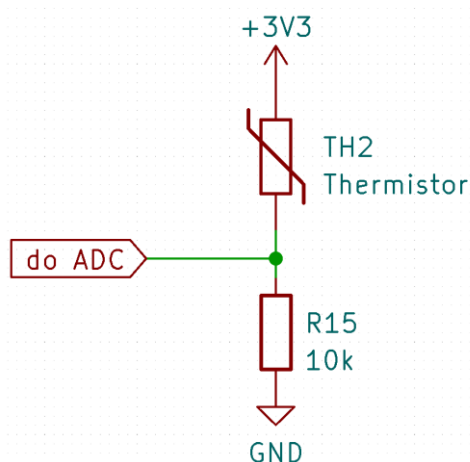
Mikrokontroler potřebuje pro běh 3,3 V. Toto napětí mu poskytuje lineární regulátor MIC5219, který byl vybrán kvůli svým dobrým vlastnostem jako je ochrana proti přepólování vstupu, nízký šum, ochrana proti zkratu a velmi nízká vlastní spotřeba. [5] Mikrokontroler může při připojování k Wi-Fi nebo odesílání dat krátkodobě spotřebovávat velké špičky proudu a to až 500 mA, proto je důležité blízko vstupního pinu umístit tantalový a keramický kondenzátor, aby byla zajištěna stabilita napájecího napětí a nemohlo dojít k tzv. „brownoutu“, při němž by se mikrokontroler resetoval vlivem krátkodobého poklesu napájecího napětí.

K reset pinu mikrokontroleru je připojený voltage supervisor TPS3839G33. Ten hlídá, jestli je napájecí napětí větší než 3,08 V. V okamžiku, kdy napětí klesne pod zmíněnou hodnotu, tento čip stáhne reset pin mikrokontroleru na zem a znemožní mu tak v běhu. Tímto se dá předejít situaci, kdy se při nízkém napětí baterie mikrokontroler dostane do stavu, v němž se přeruší běh kódu a mikrokontroler se začne chovat nepředvídatelně. K reset pinu je také připojeno tlačítko určené k manuálnímu resetování mikrokontroleru uživatelem.

Mikrokontroler je možné programovat pomocí USB-C konektoru na desce. ESP32-S3 má nativní USB rozhraní, přes které je možné provozovat UART a JTAG. UART lze použít k programování mikrokontroleru a sériovou komunikaci a JTAG k ladění kódu přímo za běhu.

2.1.4 DALŠÍ PERIFERIE

Kamera má na přední straně PIR čidlo, které může být použito jako zdroj pro probuzení mikrokontroleru. Jeho výstup je přiveden na digitální vstup mikrokontroleru, který byl nastavený jako interrupt pro přerušování spánku.



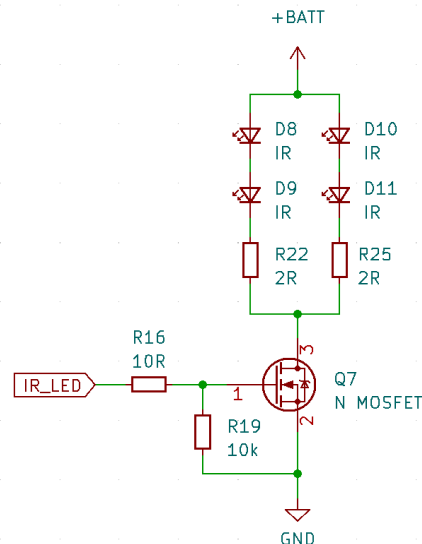
Obrázek 6 Schéma zapojení termistoru

Na DPS byl umístěn i senzor teploty, který využívá NTC termistor. Odpor této součástky se se zvyšující teplotou snižuje. Pomocí měření odporu termistoru a znalosti několika jeho konstant lze dopočítat jeho teplotu. Teplotu si pak může uživatel zobrazit v aplikaci.

Aby kamera dokázala vyhodnotit, kdy má začít používat IR přísvit, je vybavena fotorezistorem. Jeho odpor klesá se zvyšující se intenzitou slunečního záření. Fotorezistor je zapojen jako horní odpor v odporovém děliči, čímž je možné vypočítat jeho odpor. Experimentálně bylo pak zjištěno, jaký odpor odpovídá situaci, v níž by už měl být používán přísvit. Pokud odpor překročí tuto hodnotu, bude přísvit zapnut.

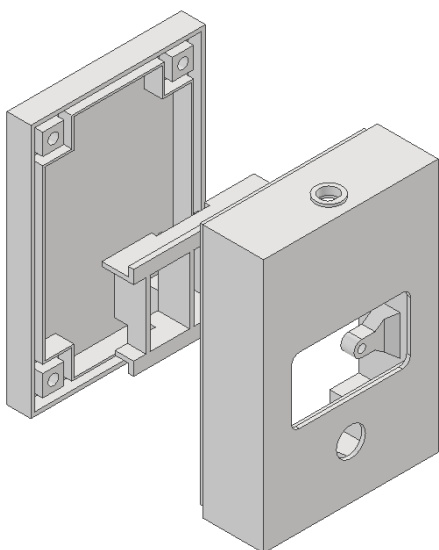
Pro noční vidění je kamera osazena čtyřmi infračervenými diodami s vlnovou délkou vyzařovaného světla 850 nm. Datový list doporučuje nominální proud diodou 350 mA, což odpovídá dopřednému napětí 1,6 V na jedné diodě. Spojením dvou LED do série bude dosaženo napětí 3,2 V. Na rezistoru tedy bude při plně nabitých bateriích potřeba pokles 1 V.

Napětí baterie je měřeno pomocí napěťového děliče, protože maximální napětí baterie je 4,2 V, což by poškodilo analogový převodník ESP32. Tento napěťový dělič je odpojen od baterie pomocí P-kanálového MOSFETu, aby se minimalizoval proud při spánku.



Obrázek 7 Schéma zapojení IR LED

2.1.5 KRABIČKA



Obrázek 8 Model krabičky

Krabička kamery je vyrobena pomocí FDM 3D tisku ze tří dílů, jimiž jsou tělo, víko a přepážka mezi diodami a modulem kamery. Dále je zde potřeba plexisklo, které poslouží jako okénko kamery a LED. DPS je k tělu kamery přišroubována pomocí čtyř M3x5 samořezných šroubů. Víko je k tělu kamery přišroubováno pomocí čtyř M3x10 šroubů a zápusných matic, které jsou zatavené do těla krabičky. Tento krok je nezbytný, protože šrouby přenášejí sílu, která stlačuje těsnění mezi krabičkou a víkem. Pokud by byly použity samořezné šrouby, hrozilo by riziko strhnutí závitu, což

by vedlo k selhání těsnění. V horní části kamery je SMA konektor pro Wi-Fi anténu, který je zatěsněn pomocí o-kroužku. Ve spodní části je konektor pro solární panel, který je zatěsněn pomocí gumové podložky. V přední části se nachází sklíčko a PIR čidlo. Oba jsou zatěsněny silikonem, nebo jiným pružným lepidlem. Aby krabička byla více odolná proti vlivu počasí a UV záření, je nalakovaná barvou ve spreji. To zajistí nejen větší odolnost proti UV záření, ale uzavře to i všechny póry a nedokonalosti modelu, do kterých by mohla vnikat voda.

2.1.6 SPOTŘEBA ENERGIE

Důležitá pro tuto kameru je co nejnižší spotřeba energie. Celý návrh elektroniky byl koncipován tak, aby při spánku měla kamera co nejnižší spotřebu, tzn. že regulátory kamerového modulu jsou odpojeny, když kamera neběží, napěťové děliče jsou odpojeny, když nejsou používány a pokud jsou některé součástky, které musí běžet neustále, např. regulátor mikrokontroleru, nabíječka baterie, nebo voltage supervisor, byly vybrány tak, aby měly co nejnižší vlastní spotřebu.

Následující tabulka ukazuje, jakou má kamera spotřebu v různých režimech. Měření bylo provedeno připojením digitálního zdroje nRF Power Profiler KIT II. Ten byl připojen místo baterie do konektoru J7 a napětí bylo nastaveno na 4,2 V.

Režim ESP32	Stav periferií	Proud
Spánek	Všechny periferie vypnuty (osazen jen ESP32 a regulátor)	8 uA
	Všechny periferie vypnuty (osazeny všechny komponenty)	180 uA
Běh	Všechny periferie vypnuty	40 mA
	Pouze zapnutá a inicializovaná kamera	157 mA
	Pouze zapnutá a připojená Wi-Fi	113 mA
	Pouze zapnutý IR LED přísvit	1147 mA
	Zapnutá a inicializovaná kamera, zapnutá a připojená Wi-Fi	229 mA

Tabulka 3 Spotřeba kamery v různých režimech

Nízký proud ale není to jediné, co vstupuje do výpočtů spotřeby energie. Další důležitou veličinou je čas. Minimalizací času, který mikrokontroler stráví v režimu běhu, jde snížit spotřeba energie ještě více.

Následující tabulka ukazuje, kolik energie kamera spotřebuje v závislosti na čase mezi jednotlivými snímky. Měření bylo provedeno po dobu deseti snímkových časových úseků zařízením nRF Power Profiler KIT II s frekvencí záznamu dat 1 kHz. Z měřicího zařízení je získána průměrná hodnota proudu $I_{průměr}$. Pomocí vztahu (1) je lze vypočítat spotřebovanou energii. U je napětí zdroje a to 4,2 V. Proměnná t je čas, po který kamera poběží. Jako jeden den je uvažováno 12 hodin, tj. 43200 s.

$$E = P \cdot t = U \cdot I_{průměr} \cdot t \quad (1)$$

Perioda snímkování [s]	Průměrná spotřeba [mA]	Energie za den [Ws/den]
120	23,45	4254,77
240	11,82	2144,62
600	4,85	879,99

Tabulka 4 Spotřeba kamery při různých periodách snímkování

2.1.7 BATERIE A NABÍJENÍ

Za baterii byl zvolen lithium-polymerový článek kvůli své velmi dobré energetické hustotě a vhodnému tvaru. Jeho kapacita bude závislá na požadované době, po kterou by kamera měla zůstat v provozu bez jakékoliv energie získané ze solárního panelu. Zde bylo zvoleno 7 dní a interval snímkování 120 s. V tomto intervalu kamera spotřebuje následující množství energie:

$$E_{7dní} = 7 \cdot E_{1den} = 7 \cdot 4254,77 = 29783 \text{ Ws} \quad (2)$$

Energie uložená v baterii se dá odvodit z následujícího vztahu,

$$E_{bat} = P \cdot t = U_{nom} \cdot C \quad (3)$$

kde U_{nom} je nominální napětí baterie, což je u lithiových článků 3,7 V a C je výrobcem uváděná kapacita baterie. Z toho vyplývá, že aby kamera mohla fungovat 7 dní bez solárního panelu, musí být kapacita baterie:

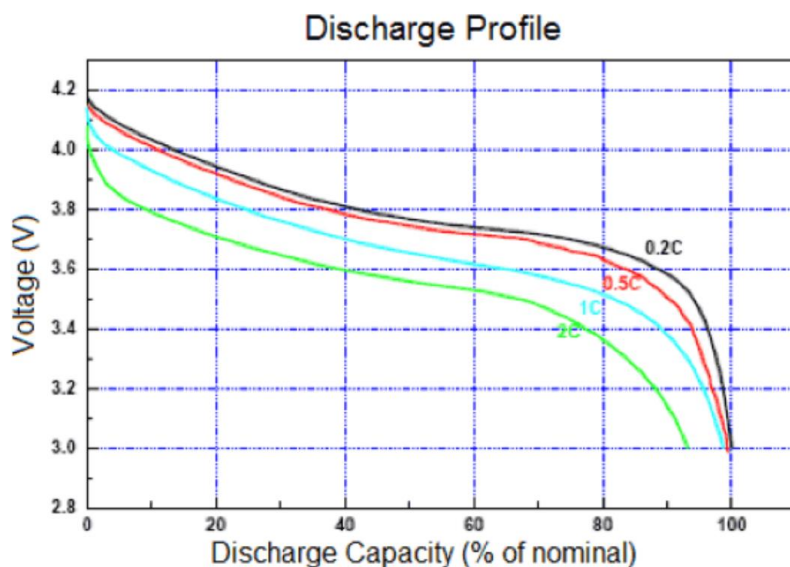
$$C = \frac{E_{7dní}}{U_{nom}} = \frac{29783 \text{ Ws}}{3,7 \text{ V} \cdot 3,6} = 2236 \text{ mAh} \quad (4)$$

Konstanta 3,6 je použita pro převod z As (ampérsekund) na mAh. $3600 \text{ As} = 1000 \text{ mAh}$.

Napětí baterie se může pohybovat v rozsahu 3,0 V až 4,2 V, nicméně ESP32 vyžaduje napájecí napětí 3,3V. Proto nebude využita celá kapacita baterie a provoz kamery bude muset být přerušen, když napětí baterie klesne pod 3,3 V. V opačném případě hrozí riziko nestability mikrokontroleru. Nebude tedy využita plná kapacita baterie. Z obrázku 9 je ale patrné, že napětí baterie prudce klesá při nižších napětích a při napětí 3,3 V je podle černé křivky využito už kolem 95 % kapacity baterie. Tím pádem je potřebná kapacita následující:

$$C = \frac{2236 \text{ mAh}}{0,95} = 2354 \text{ mAh} \quad (5)$$

Nejbližší vyšší standardní hodnota je 2500 mAh. Baterie tedy bude vybraná Li-Pol s kapacitou 2500 mAh.



Obrázek 9 Závislost kapacity baterie na jejím napětí [6]

Pro nabíjení baterie byl zvolen čip TP4054. Je to lineární nabíjecí čip implementující nabíjecí algoritmus CC/CV, kdy při nabíjení nejdříve začne dodávat do baterie maximální nastavený proud a pak při dosažení 4,2 V přejde do režimu konstantního napětí. Nabíjecí cyklus je ukončen, když nabíjecí proud v tomto režimu poklesne pod 10 % nastaveného maximálního napětí. Maximální nabíjecí proud se dá nastavit pomocí externího rezistoru. Tento proud se dá určit pomocí následujícího vztahu,

$$I_{nab} = \frac{1000}{R_{nab}} \quad (6)$$

kde R_{nab} je hodnota odporu R_{20} nastavující maximální nabíjecí proud.[7]

Alternativou k tomuto čipu by mohly být nabíjecí čipy jako CN3791, BQ24650 nebo MP2731, které implementují algoritmus MPPT, za účelem dosažení maximálního výkonu solárního panelu. Jejich implementace by však výrazně zvýšila cenu kamery, protože jejich pořizovací cena je oproti TP4054 několikanásobná a tyto čipy vyžadují větší počet přídavných komponentů.

Z příručky pro implementaci MPPT algoritmů firmy Microchip vyplývá, že bod maximálního výkonu solárního panelu je nad určitým napětím nezávisle na úrovni ozáření panelu. Toto napětí odpovídá zhruba 80% napětí panelu při žádné zátěži. [8] Takže k dosažení maximálního výkonu je třeba zátěž panelu regulovat tak, aby napětí panelu bylo zhruba 80 % napětí bez zdroje. Pokud by byl použit solární panel s napětím bez zdroje 6 V, bylo by jeho optimální napětí zhruba 4,8 V. Čip TP4054 i přes nastavený maximální proud udržuje napětí zdroje několik stovek milivoltů nad napětím baterie. Takže například při napětí baterie



Obrázek 10 Vývojová deska s CN3791 použita v porovnání

3,6 V udržuje čip napětí solárního panelu 3,8 V. To má za příčinu fakt, že TP4054 v porovnání s CN3791 má o několik procent horší efektivitu, ale při mnohem nižší ceně.

Zde je tabulka ukazující porovnání výkonů TP4054 a CN3791. Zkouška byla provedena v průběhu dne pomocí jednoho solárního panelu a jedné baterie. Baterie i solární panel byly připojeny nejprve k modulu s CN3791, a pak rychle ke kameře, aby se

zabránilo chybě vzniklé změnou slunečního záření. Kamera měla osazen jen obvod nabíječky. Toto měření bylo následně několikrát opakováno.

TP4054			CN3791			Poměr výkonů P_{TP} a P_{CN} [%]
Napětí panelu [V]	Proud z panelu [mA]	Výkon P_{TP} [mW]	Napětí panelu [V]	Proud z panelu [mA]	Výkon P_{CN} [mW]	
3.67	3.0	11.0	4.30	1.6	6.9	160.0 %
3.68	29.5	108.6	5.23	27.0	141.2	76.9 %
3.68	46.7	171.9	5.24	42.3	221.7	77.5 %
3.67	58.2	213.6	5.25	46.7	245.2	87.1 %
3.68	62.0	228.2	5.26	53.0	278.8	81.8 %
3.69	82.3	303.7	5.24	66.7	349.5	86.9 %
3.72	188.1	699.7	5.22	180.1	940.1	75.4 %

Tabulka 5 Porovnání výkonu TP4054 a CN3791

Mikrokontroler dokáže měřit proud směřující do baterie. Čip TP4054 na pinu 5 (PROG) udržuje napětí odpovídající proudu směřujícímu do baterie. Proud se dá přepočítat pomocí následujícího vztahu

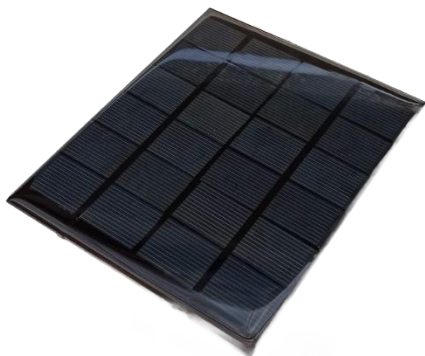
$$I_{\text{bat}} = \frac{U_{\text{nab}}}{R_{\text{nab}}} \cdot 1000 \quad (7)$$

kde U_{nab} je napětí na TP4054 pinu 5 a R_{nab} je hodnota odporu R_{20} nastavující maximální nabíjecí proud.[7]

2.1.8 SOLÁRNÍ PANEL

Aby bylo zajištěno, že výměna baterií nebude potřeba, je baterie dobíjena ze solárního panelu. Solární panel musí být nadimenzován tak, aby i v zimních měsících dodával dostatečné množství energie na provoz kamery. Pro výpočet potřebného špičkového výkonu panelu lze použít online kalkulačky, které obsahují data o průměrném měsíčním výkonu solárních panelů. Nejdříve je ale nutné si stanovit kolik kamera spotřebuje energie za měsíc. K tomu budou využita data z tabulky 4.

$$E_{\text{měsíc}} = 30 \cdot 4254,77 \text{ Ws} = 127643.1 \text{ Ws} = 35.45 \text{ Wh} \quad (8)$$



Obrázek 11 Vybraný solární panel

Podle online kalkulačky Evropské komise re.jrc.ec.europa.eu je potřeba k nashromáždění 35,45 Wh energie měsíčně potřeba solární panel s výkonem alespoň 0,85 Wp. Detailní zpráva z kalkulačky je v příloze práce. Kalkulačka dokázala pracovat jen s kWh. Všechny hodnoty je tedy nutné vydělit 1000. Takže 0,85 kWp ve zprávě je ve skutečnost 0,85 Wp.

Na základě těchto parametrů byl vybrán solární panel o rozměrech 110x110 mm s výkonem 2 Wp, aby byla zaručena bezpečnost napájení i při výjimečně špatném počasí.

2.1.9 CENA A NÁKLADY

Kamera		Lokální server	
Položka	Cena	Položka	Cena
OV5640	128 Kč	Raspberry Pi	1099 Kč
ESP32	88 Kč	Zdroj	264 Kč
TPS389	13 Kč	SD karta	199 Kč
TP4054	1 Kč	USB LTE modem	250 Kč
MIC5219	14 Kč	Mikrotik AP	1800 Kč
IR LED	74 Kč	Krabička	519 Kč
USBLC6 1x	3 Kč	USB Flash disk	380 Kč
XC6206 2x	5 Kč		
UBS-C konektor	2 Kč		
OV5640 konektor	5 Kč		
Konektory na DPS	5 Kč		
Samotná DPS	31 Kč		
Ostatní komponenty DPS	10 Kč		
Anténa	44 Kč		
Konektor pro solární panel	45 Kč		
Solární panel	105 Kč		
Baterie	324 Kč		
Spojovací materiál	12 Kč		
Tesnění	5 Kč		
Materiál krabičky	65 Kč		
CELKEM	979 Kč	CELKEM	4511 Kč

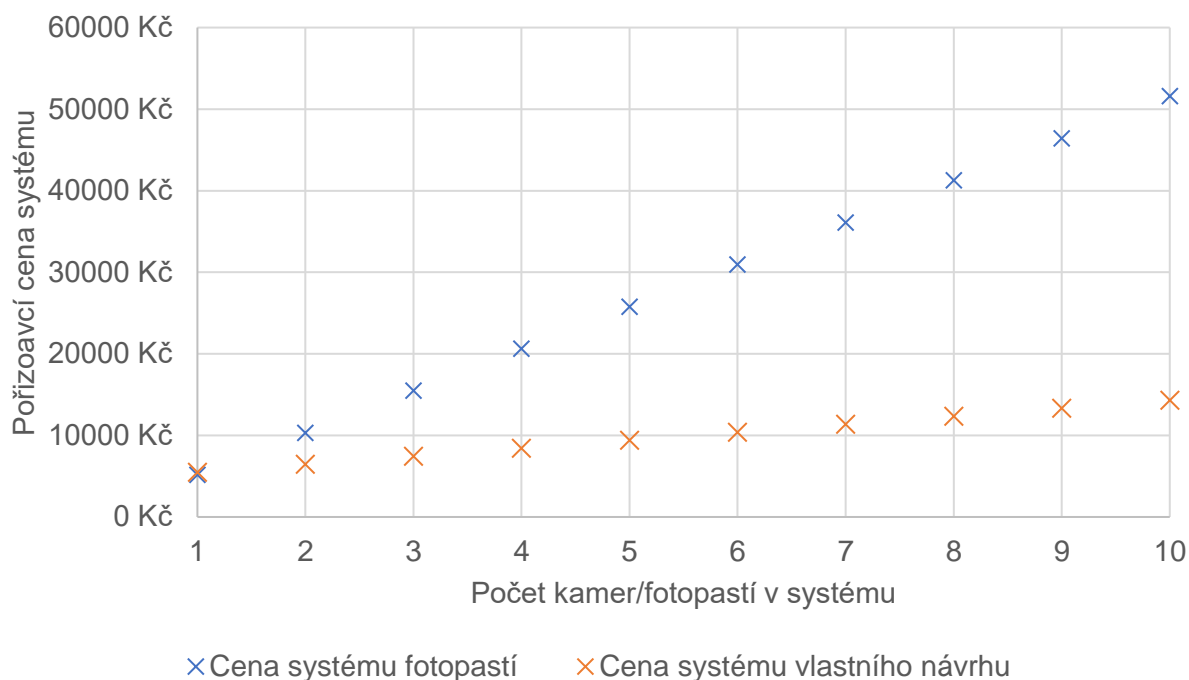
Tabulka 6 Seznam a ceny položek kamery a lokálního serveru

Celkové náklady na materiál jedné kamery jsou 979 Kč a náklady na pořízení lokálního serveru jsou 4511 Kč. Provozní náklady pak tvoří pouze kredit pro jednu SIM kartu USB LTE modemu. Z těchto čísel jde už na první pohled vidět, že stavět tento systém pouze s jednou nebo dvěma kamerami se nevyplatí oproti systému z fotopastí. Avšak jakmile je systém rozšířen na více kamer, je zjevné, že cena takového systému v porovnání se systémem fotopastí je nižší. Navíc má tento systém výhodu mnohem pohodlnějšího ovládání a větší funkcionality

Pro účely následující porovnání byla vybrána fotopast Bentech 3.0CG se stejnou SD kartou jako je v lokálním serveru. Následující graf zobrazuje, jak by byla pořizovací cena při nákupu systému s různým počtem kamer nebo fotopastí.

$$CenaVlastníSystem = 4511 \text{ Kč} + PočetKamer \cdot 979 \text{ Kč} \quad (9)$$

$$CenaSystémFotopastí = PočetFotopastí \cdot (4690 \text{ Kč} + 199 \text{ Kč}) \quad (10)$$



Graf 1 Porovnání ceny systémů

2.1.10 FIRMWARE KAMERY

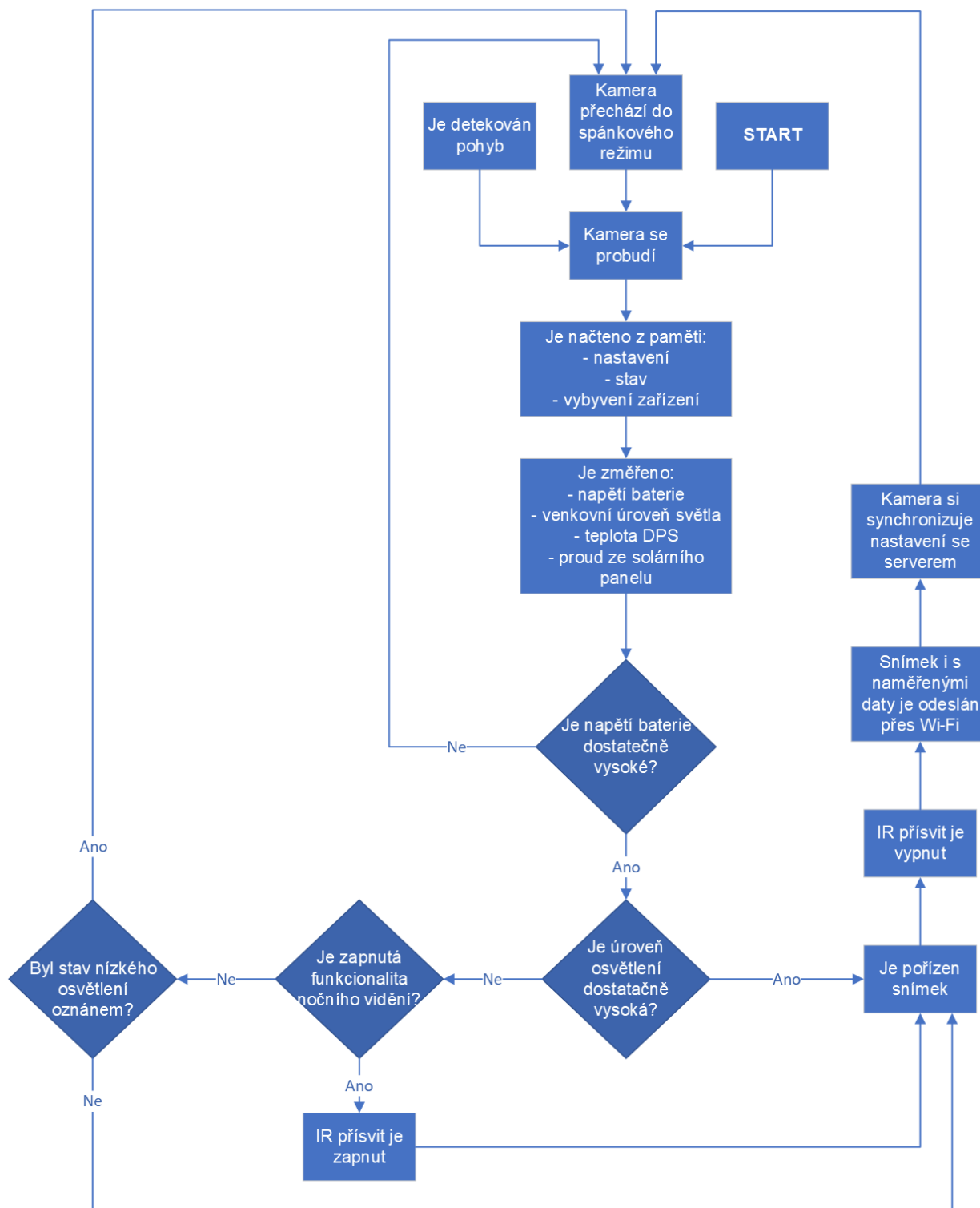
Firmware kamery byl vytvořen v prostředí Platform.io v jazyku C++ ve frameworku Arduino. Tento framework byl zvolen pro svou jednoduchost, velké množství ukázkového kódu a podpory komunity. To však souvisí s nižší konfigurovatelností a výkonem. Ale protože firmware kamery nevyžaduje tak vysoký výkon, je toto řešení dobrým kompromisem.

Po probuzení z režimu spánku si kamera načte z paměti nastavení, vybavení dané kamery, např. přítomnost IR LED nebo jiného vybavení, a stav, ve kterém se kamera nacházela před vstupem do spánku. Po probuzení se totiž mikrokontroler restartuje, což neumožňuje uchovávat data o stavu v dočasných proměnných.

Následně provede měření napětí baterie, intenzity vnějšího osvětlení, teploty a proudu dodávaného do baterie. Pokud by se napětí baterie nacházelo pod bezpečnou hranicí, existuje riziko, že při připojování k Wi-Fi by mohlo dojít k restartu mikrokontroleru. Z tohoto důvodu mikrokontroler přejde zpět do režimu spánku.

Pokud je intenzita vnějšího osvětlení pod nastavenou hranicí, režim nočního vidění je povolen a kamera je vybavena IR LED přísvitem, kamera zapne přísvit a pořídí snímek. V opačném případě kamera nastaví stav nočního provozu, ohlásí serveru tuto skutečnost, aby uživatel měl indikaci o tom, že kamera nepořizuje nové snímky vlivem nízkého osvětlení a přejde do režimu spánku. Toto hlášení lokálnímu serveru se koná jen při prvním poklesu osvětlení.

Jestliže je ovšem vnější osvětlení dostatečné a napětí baterie taktéž, kamera vyfotí snímek, který následně pošle přes Wi-Fi na lokální server. Poté si ze serveru stáhne novou konfiguraci a aktualizuje nastavení v paměti. Toto nastavení obsahuje informace o časovém intervalu mezi snímkováním, Wi-Fi SSID, Wi-Fi heslo a další nastavení. Kamera se následně odpojí od Wi-Fi a přechází do režimu spánku na dobu jednoho časového intervalu mezi snímkováním zkráceným o čas, po který kamera běžela.



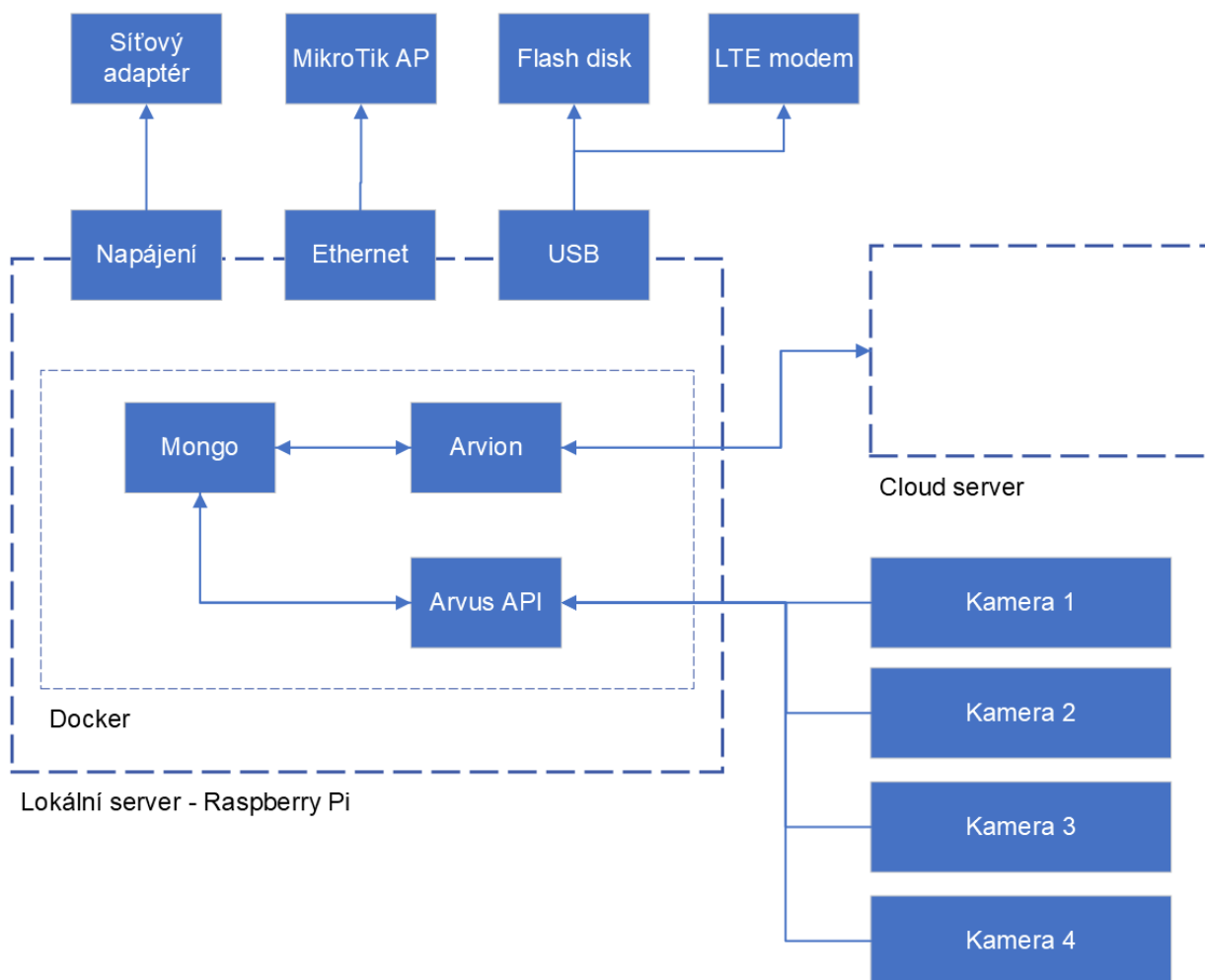
Obrázek 12 Schéma firmwaru kamery

2.2 LOKÁLNÍ SERVER

Lokální server slouží k ukládání snímků ze všech kamer v systému. Každá kamera generuje snímek každých pár minut, to je velký objem dat, které by bylo obtížné přenést na server pomocí mobilního připojení. Takto se všechna data uloží na USB flash disk a uživatel

si může zobrazit jen vybrané snímky nebo vyjmout flash disk a zkopírovat si všechny pořízené snímky na počítač. Ke cloudovému serveru je připojen pomocí protokolu MQTT a čeká na příkazy ze serveru. Každý lokální server má vlastní ID, kterým se identifikuje serveru.

Lokální server má největší spotřebu z celého systému, a je tedy nutné, aby byl připojen k síti. Naměřená spotřeba Raspberry Pi a přístupového bodu je 12 W.



Obrázek 13 Schéma lokálního serveru

2.2.1 VYBRANÝ HARDWARE

Jako počítač byl vybrán Raspberry Pi 3B, k němuž bude připojen LTE Modem Huawei E3531 a router Mikrotik RBwAPG-5HacD2HnD. Raspberry Pi je připojeno k routeru pomocí síťového kabelu pro zajištění co nejlepšího spojení. Router je nakonfigurovaný se statickou IP adresou 192.168.2.1 a serveru je přidělena statická adresa 192.168.2.100. LTE model je pak připojený pomocí prodlužovacího USB kabelu k Raspberry Pi, aby mohl být umístěn na víko krabičky, kde bude mít nejlepší signál.

2.2.2 SOFTWARE

Všechny služby lokálního serveru jako jsou API a databáze budou spouštěny a spravovány pomocí softwaru Docker. Jedná se o open-source platformu která umožňuje spouštět a spravovat aplikace v izolovaném prostředí nazývaném kontejner. Hlavní výhodou kontejnerizace je to, že poskytuje konzistentní prostředí pro spouštění aplikací bez ohledu na to, na jakém operačním systému běží hostitelský počítač. V kontejneru jsou obsaženy všechny závislosti a konfigurační soubory. S hostitelským systémem na rozdíl od virtuálních strojů sdílí kernel jádro, což minimalizuje zdroje, které kontejner potřebuje [9].

Docker navíc poskytuje nástroje, které umožňují vytvářet obrazy pro kontejnery pro různé platformy, včetně platformy arm/v7, kterou využívá Raspberry Pi. To znamená, že vývojář může programovat aplikaci na výkonném osobním počítači s platformou x86-64, a poté vytvořit obraz pro Raspberry Pi. Tento přístup umožňuje efektivní a snadný vývoj aplikací a zajišťuje, že aplikace bude správně kompatibilní s cílovým zařízením [10].

Arvus je kódové označení API, které slouží ke komunikaci s kamerami. Je psáno v jazyku Python 3.9 a využívá knihovnu FastAPI pro implementaci funkcionality REST API. Jeho hlavním úkolem je přijímat snímky z kamer a ukládat je na disk a připojené informace ukládat do databáze. V těle požadavku z kamery je obsažen samotný snímek a v hlavičkách požadavku jsou obsaženy naměřená data jako je teplota, napětí baterie apod.

Arvion je kódové označení softwaru, který slouží jako prostředník pro komunikaci s cloudovým serverem. Arvion s cloudovým serverem komunikuje pomocí protokolu MQTT. Na základě požadavku z cloudového serveru Arvion odešle zpět požadovaná data. Tuto funkcionalitu je možno implementovat díky protokolu MQTT v5, který obsahuje model požadavek-odpověď (request-response). Tento model umožňuje, aby cloudový server odeslal požadavek do některého z témat a zařízení odpoví v tématu specifikovaném v parametrech zprávy jako téma odpovědi. Pro správnou asociaci požadavku a odpovědi obsahuje každý takový požadavek unikátní identifikační číslo [11].

MongoDB je dokumentová NoSQL databáze navržená pro ukládání a správu nestrukturovaných dat. Byla vybrána, protože její NoSQL struktura umožňuje velmi rychlý a pružný vývoj [12].

Docker Compose je nástroj umožňující definovat a spravovat více kontejnerové aplikace. Konfigurace aplikace je standardně v souboru „Docker-compose.yml“. Tento soubor obsahuje definici jednotlivých služeb, obrazů použitých pro vytvoření kontejnerů, proměnných prostředí, nastavení sítě a nastavení úložiště [13]

Na přiloženém obrázku je část souboru Docker-compose.yml použitého na lokálním severu. Ukazuje nastavení kontejneru pro Arvus API. Následuje tabulka, která vysvětluje použité nastavení.

```

1 services:
2   arvus:
3     image: r.orebolt.cz/arvus-api:armv7
4     restart: always
5     volumes:
6       - /mnt/usbdisk:/mnt/usbdisk
7     env_file:
8       - backend.env
9     mem_limit: 300M
10    cpus: 2

```

Obrázek 14 Nastavení služby Arvus API v docker-compose

Nastavení	Vysvětlení
arvus:	Název aplikace
image: r.orebolt.cz/arvus-api:armv7	Obraz použitý pro vytvoření kontejneru
restart: always	Kontejner se vždy po zastavení restartuje
volumes: - /mnt/usbdisk:/mnt/usbdisk	Složka <i>/mnt/usbdisk</i> hostitele bude dostupná v kontejneru ve složce <i>/mnt/usbdisk</i>
env_file: - backend.env	Do proměnných prostředí kontejneru se přidají proměnné ze souboru <i>backend.env</i>
mem_limit: 300M cpus: 2	Limity zdrojů kontejneru. V případě, kdy by se kontejner dostal do nějakého nespecifikovaného stavu a začal by spotřebovávat příliš moc zdrojů systému, bude restartován.

Tabulka 7 Vysvětlení konfigurace docker-compose

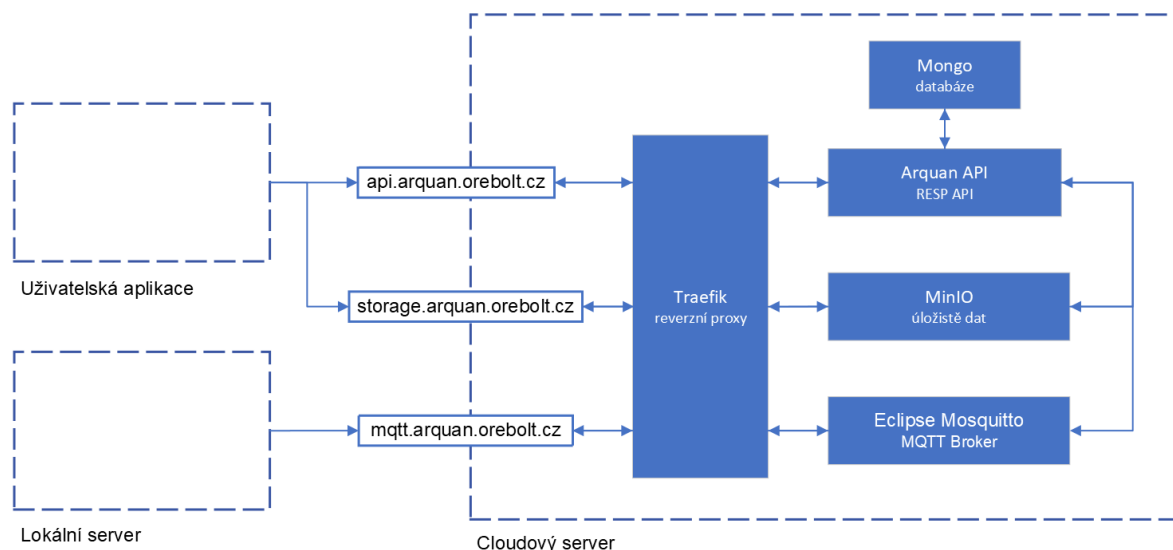
2.3 CLOUDOVÁ INFRASTRUKTURA

Aby bylo zajištěno spojení mezi lokálními servery a aplikací, musí být vybudována určitá infrastruktura. Jedná se o sadu několika softwarových aplikací, které zprostředkovávají spojení s lokálním serverem.

Pro účel databáze byl vybrán software **MongoDB**. Je to dokumentová NoSQL databáze navržená pro ukládání a správu nestrukturovaných dat. Byla vybrána, protože její NoSQL struktura umožňuje velmi rychlý a pružný vývoj [12]. Jako úložiště souborů byl vybrán software **MinIO**. Jedná se o open-source software pro ukládání objektů, který nabízí široké množství nástrojů pro manipulaci se soubory a monitorování souborů [14].

Pro účely zprostředkovatele zpráv mezi lokálními zařízeními a cloudovým serverem byl vybrán software **Eclipse Mosquitto**. Je to zprostředkovatel pro komunikační protokol MQTT. V případě MQTT se zařízení nepřipojují k sobě navzájem, ale připojí se k centrálním zprostředkovateli, tzv. brokeru. Protokol MQTT funguje na principu zasílání zpráv na základě publikačního předplatitelského (pub-sub) modelu. To znamená, že zařízení může publikovat (pub) zprávy na určité téma a další zařízení si mohou na toto téma předplatit (sub) a přijímat publikované zprávy [15].

Arquan je kódové označení API, které zastřešuje většinu funkcionality aplikace. Je napsáno v jazyce Python 3.9 a na implementaci funkcionality RESP API bylo použita knihovna FastAPI. Arquan poskytuje širokou škálu HTTP endpointů pro správu lokálních serverů a kamer pro administrátory systému. Díky tomu mohou administrátoři měnit nastavení kamer a zařízení bez nutnosti upravovat záznamy v databázi. Uživatelé pak mohou pomocí Arquanu získávat snímky z kamer nebo měnit jejich nastavení.



Obrázek 15 Schéma cloudové infrastruktury

2.3.1 API

Jak už bylo zmíněno v předchozí kapitole Arquan API je kódové označení softwaru, který zastřešuje většinu funkcionality aplikace. Stará se o získávání dat z lokálních serverů,

ukládání těchto dat do cloudu a přihlašování. Data sbírá z lokálních serverů na základě požadavků, které přijímá z mobilní aplikace a ukládá do objektového úložiště MinIO.

Obsahuje množství HTTP endpointů jak pro správce systému, tak pro koncové uživatele. Všechny endpointy pro správce začínají /admin a pro uživatele všechny endpointy začínají /user.

Autorizace je řešena pomocí JWT tokenů. Uživatel na endpoint /user/login pošle přihlašovací údaje a pokud souhlasí s těmi v databázi, tak je mu vystaven JWT token. Tento token pak musí přiložit ke všem požadavkům, aby mu server odpověděl s požadovanými daty.

Admin endpointy	Metoda	Popis
/admin/cameras	GET	Vrátí seznam všech kamer včetně všech informací o kameře v databázi
	POST	Přidá novou kameru do databáze
/admin/cameras/{camera_id}	GET	Vrátí informace o specifické kameře
	DELETE	Vymaže specifikovanou kameru z databáze
	PATCH	Upraví specifikovaná data jedné kamery v databázi
/admin/devices	GET	Vrátí seznam všech lokálních serverů v databázi a informace o nich
	POST	Přidá nový lokální server do databáze
/admin/devices/{device_id}	GET	Vrátí informace o specifickém lokálním serveru
	DELETE	Vymaže specifikovaný lokální server z databáze
	PATCH	Upraví specifikovaná data jednoho lokálního serveru v databázi

Tabulka 8 Seznam endpointů dostupných pro administrátory systému

Uživatelské endpointy	Metoda	Popis
/user/login	POST	Při poskytnutí správných přihlašovacích údajů vrátí token, který aplikace bude používat k autorizaci
/user/devices	GET	Vrátí seznam všech lokálních serverů asociovaných s daným uživatelem a informace o nich
/user/devices/{device_id}	GET	Vrátí informace o specifickém lokálním serveru, pokud je asociovaný s daným uživatelem
/user/devices/claim	POST	Asociuje volný lokální server k účtu uživatele
/user/devices/{device_id}/cameras	GET	Vrátí seznam všech kamer daného lokálního serveru včetně všech informací o nich
/user/devices/{device_id}/cameras/{camera_id}	GET	Vrátí informace o specifické kameře daného lokálního serveru včetně všech informací o ní
/user/devices/{device_id}/cameras/{camera_id}/config	POST	Aktualizuje nastavení kamery daného lokálního serveru
/user/media/image	POST	Vrátí data vztahující se k požadovanému snímku z požadované kamery z požadovaného času
/user/media/list	POST	Vrátí seznam všech snímků z požadované kamery z požadovaného dne

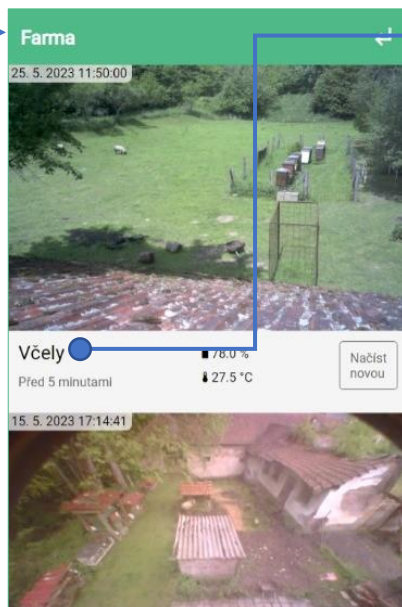
Tabulka 9 Seznam endpointů dostupných pro koncové uživatele

2.4 APLIKACE

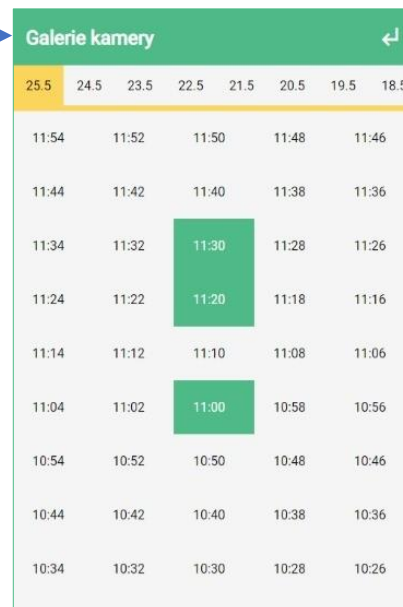
Pro vytvoření aplikace byl použit javascriptový framework Vue.js, který slouží k tvorbě uživatelských rozhraní. Využívá technologie HTTP, CSS, javascript a poskytuje vývojáři nástroje a modely které umožňují jednoduchou tvorbu komplexních uživatelských rozhraní. Pro splnění požadavku na mobilní aplikaci byl framework rozšířen o modul PWA. Ten umožní uživatelům si webovou aplikaci na svůj mobilní telefon či počítač nainstalovat. Díky tomuto modulu je zaručena kompatibilita aplikace s mobilními telefony se systémem Android i iOS [16].



Obrázek 16 Úvodní obrazovka aplikace



Obrázek 17 Náhled na kamery



Obrázek 18 Galerie jedné z kamery

Po spuštění aplikace se zobrazí úvodní obrazovka se seznamem všech lokálních serverů připojených k účtu uživatele. Po kliknutí na jeden z nich se zobrazí seznam náhledů kamer, přičemž zobrazený snímek je ten, který byl poslední stažen z lokálního serveru. V levém horním rohu snímku je zobrazen čas pořízení. Pod snímek jsou uvedeny informace o názvu kamery, času od pořízení snímku, úrovni baterie a teploty kamery. Dále je zde umístěno tlačítko pro vyžádání nového snímku. Po jeho stisknutí se změní jeho barva v závislosti na výsledku požadavku. Pokud už kamera zachytila nový snímek, zobrazený snímek se aktualizuje a tlačítko na chvíli zezelená, jestliže není žádný nový snímek k dispozici, tlačítko na chvíli zoranžoví a jestliže nastala chyba v komunikaci s lokálním serverem, tak tlačítko zčervená.

Pokud uživatel klikne na název kamery, zobrazí se mu seznam všech pořízených snímků za ten den. V horní části je zobrazeno datum a uživatel se může vracet v historii i několik dní zpět. Pokud byl snímek již přenesen do cloudu, zobrazuje se zeleně, aby uživatel věděl, které už viděl a které nespotřebují žádná mobilní data lokálního serveru navíc. Po kliknutí na kterýkoliv z časů se zobrazí snímek na celou obrazovku.

ZÁVĚR

Cílem této práce bylo navrhnout a vytvořit systém na monitorování dobytka a majetku v odlehlých oblastech. Z řešení dostupných na trhu se nabízí fotopasti nebo kamery s 3G/4G konektivitou. Obě tato řešení ale mají svoje určité nevýhody a nesplňují požadavky autora. Jakmile je potřeba hlídaný dobytek nebo objekt zabrat z více úhlů, provozní náklady a komplexita obsluhy systému postaveného na fotopastech velmi rychle roste. Kamery zase mají tu nevýhodu, že potřebují být připojené k síti kvůli jejich vysoké spotřebě, a navíc přenos živého videa není potřebný.

To vedlo autora k návrhu vlastního systému, který je jednoduchý na obsluhu, levný a každá kamera je napájena plně ze solárního panelu. Výsledkem je komplexní systém sestávající se z Raspberry Pi, kamery vlastního návrhu, podpůrné cloudové infrastruktury a mobilní aplikace.

Raspberry Pi je použito jako lokální server pro několik kamer. Ten je umístěn ve sledované oblasti a kamery se k němu připojují přes Wi-Fi. Ukládají se do něj snímky z kamer a běží na něm software, který komunikuje s cloudem.

Samotné kamery jsou založeny na vlastním návrhu DPS, která je osazena mikrokontrolerem ESP32-S3, kamerovým modulem OV5640 a podpůrnou elektronikou. Kameru napájí 6V solární panel o rozměrech 110x110 mm a výkonu 2 Wp. Když zrovna nesvítlí slunce, stará se o napájení kamery 2500mAh Li-Pol baterie. Všechny tyto součástky jsou umístěny uvnitř 3D vytisklé vodotěsné krabičky. Tato kamera se budí na základě detekce pohybu PIR čidlem nebo pomocí časovače. Tento časovač může uživatel nastavit na libovolnou hodnotu. Po probuzení vyfotí snímek, přes Wi-Fi ho odešle na lokální server a zase se vrací do režimu spánku.

Cloudová infrastruktura se stará o komunikaci mezi aplikací a lokálními servery. Přes protokol MQTT se spojí s lokálními servery a posílá jim požadavky na odeslání nových snímků, změnu nastavení kamer atd. Přijaté snímky pak ukládá do objektového úložiště, aby nemuseli být znovu vyžadovány a byla ušetřena mobilní data lokálního serveru.

Aplikace, pomocí které si uživatel může prohlížet snímky z kamer a měnit nastavení kamer, byla vytvořena pomocí frameworku Vue.js a připojuje se k REST API cloudu. Rozšířením Vue.js o modul PWA je možné aplikaci nainstalovat do mobilních telefonů se systémem Android i iOS.

Předchozí iterace tohoto systému již několik let pracují na rodinné farmě autora. Systém se osvědčil a zachránil život několika ovcím, které uvízly v plotě, umožnil odhalit rojení včel, chytil zloděje, a to vše za velmi přijatelnou cenu. Systém má navíc díky Raspberry Pi obrovský

potenciál na rozšíření. Díky GPIO pinům je možné k němu připojit externí periferie jako je třeba RF přijímač, který může sbírat data ze senzorů jako jsou například senzory pohybu, dveřní senzory nebo váhy včelích úlů. Výkon Raspberry Pi umožňuje spuštění softwaru na rozpoznávání objektů, čímž by se dále dala zlepšit bezpečnost systému.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] BRIAN KENNEDY a MARK CANTREL. *Recommendations for Control of Radiated Emissions with iCoupler Devices* [online]. 25. květen 2023 [vid. 2023-05-25]. Dostupné z: <https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/application-notes/an-1109.pdf>
- [2] *OV5640 Datasheet* [online]. květen 2011 [vid. 2023-05-25]. Dostupné z: https://cdn-learn.adafruit.com/assets/assets/000/118/994/original/OV5640_datasheet.pdf?1677598686
- [3] *OV5640 Camera Module Hardware Application Notes* [online]. 19. duben 2010 [vid. 2023-05-25]. Dostupné z: https://ica123.com/wp-content/uploads/2021/01/OV5640_Camera_Module_Hardware_Application_Notes_R1.0%E8%8B%B1%E6%96%87%E6%89%8B%E5%86%8C.pdf
- [4] ESPRESSIF SYSTEMS. *ESP32-S3-WROOM-1 ESP32-S3-WROOM-1U Datasheet* [online]. 2023 [vid. 2023-05-25]. Dostupné z: https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32-s3-wroom-1_wroom-1u_datasheet_en.pdf
- [5] MICROCHIP. *MIC5219 Datasheet* [online]. 2018 [vid. 2023-05-25]. Dostupné z: <https://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/MIC5219-500mA-Peak-Output-LDO-Regulator-DS20006021A.pdf>
- [6] ADAFRUIT. *Li-Ion & LiPoly Batteries* [online]. 1. prosinec 2022 [vid. 2023-05-25]. Dostupné z: <https://cdn-learn.adafruit.com/downloads/pdf/li-ion-and-lipoly-batteries.pdf>
- [7] TOP POWER ASIC. *TP4054 Standalone Linear Li-Ion Battery Charger with Thermal Regulation in SOT* [online]. [vid. 2023-05-26]. Dostupné z: https://www.laskakit.cz/user/related_files/tp4054.pdf
- [8] MICROCHIP. *Practical Guide to Implementing Solar Panel MPPT Algorithms*. 2013.
- [9] *Docker docs* [online]. [vid. 2023-05-26]. Dostupné z: <https://docs.docker.com/>
- [10] *Docker buildx docs* [online]. [vid. 2023-05-26]. Dostupné z: <https://docs.docker.com/engine/reference/commandline/buildx/>
- [11] OASIS. *MQTT Version 5.0 standard* [online]. 7. března 2019 [vid. 2023-05-26]. Dostupné z: <https://docs.oasis-open.org/mqtt/mqtt/v5.0/mqtt-v5.0.pdf>
- [12] *MongoDB* [online]. [vid. 2023-05-26]. Dostupné z: <https://www.mongodb.com/>

- [13] *Docker compose* [online]. [vid. 2023-05-26]. Dostupné z: <https://docs.docker.com/compose/>
- [14] *MinIO* [online]. [vid. 2023-05-26]. Dostupné z: <https://min.io/>
- [15] *Mosquitto* [online]. [vid. 2023-05-26]. Dostupné z: <https://mosquitto.org/>
- [16] *Vue JS* [online]. [vid. 2023-05-26]. Dostupné z: <https://vuejs.org/>

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK

Zkratka	Vysvětlení zkratky
2G	Síť druhé generace
3G	Síť třetí generace
4G	Síť čtvrté generace
API	Application programming interface
CC/CV	Constant current, constant voltage
CMOS	Complementary Metal–Oxide–Semiconductor
CSS	Cascading Style Sheets
DPH	Daň z přidané hodnoty
DPS	Deska plošných spojů
FDM	Fused deposition modeling
FTP	File transfer protocol
GND	Ground
GPIO	General purpose input output
GPS	Global positioning systém
HTTP	Hypertext Transfer Protocol
ID	Identification
IR	Infrared
JS	Javascript
JTAG	Joint Test Action Group
LCD	Liquid crystal display
LED	Light emitting diode
Li-Pol	Lithium polymer
LTE	Long term evolution (typ mobilní sítě)
MOSFET	Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor
MPPT	Maximum power point tracking
Mpx	Megapixel
MQTT	MQ Telemetry Transport
NoSQL	Non Structured Query Language
PIR	Passive infrared
PSRAM	Pseudostatic random access memory
PWA	Progressive web application
REST	Representational State Transfer
RF	Radio frequency
SCCB	Serial Camera Control Bus
SD	Secure digital
SIM	Subscriber identity module

SMS	Short message service
SoC	System on a chip
UART	Universal asynchronous receiver-transmitter
USB	Universal service bus
USB-C	Universal service bus, connector type C
Wi-Fi	Wireless fidelity

SEZNAM POUŽITÝCH OBRÁZKŮ, TABULEK A GRAFŮ

Obrázek 1 Fotopast Bentech 3.0CG	10
Obrázek 2 Schéma hardwaru kamery	13
Obrázek 3 Render návrhu DPS ze softwaru KiCad	14
Obrázek 4 Kamerové moduly OV5640.....	14
Obrázek 5 ESP32-S3-WROOM-1U [4].....	15
Obrázek 6 Schéma zapojení termistoru	16
Obrázek 7 Schéma zapojení IR LED.....	16
Obrázek 8 Model krabičky.....	17
Obrázek 9 Závislost kapacity baterie na jejím napětí [6].....	20
Obrázek 10 Vývojová deska s CN3791 použita v porovnání	21
Obrázek 11 Vybraný solární panel.....	22
Obrázek 12 Schéma firmwaru kamery	26
Obrázek 13 Schéma lokálního serveru	29
Obrázek 14 Nastavení služby Arvus API v docker-compose	31
Obrázek 15 Schéma cloudové infrastruktury.....	32
Obrázek 16 Úvodní obrazovka aplikace.....	35
Obrázek 17 Náhled na kamery.....	35
Obrázek 18 Galerie jedné z kamery	35
Tabulka 1 Seznam cen a vybavení vybraných fotopastí s 3G/4G konektivitou	10
Tabulka 2 Seznam kamer s 3G/4G konektivitouNávrh vlastního řešení.....	11
Tabulka 3 Spotřeba kamery v různých režimech	18
Tabulka 4 Spotřeba kamery při různých periodách snímkování.....	18
Tabulka 5 Porovnání výkonu TP4054 a CN3791	21
Tabulka 6 Seznam a ceny položek kamery a lokálního serveru.....	23
Tabulka 7 Vysvětlení konfigurace docker-compose	31
Tabulka 8 Seznam endpointů dostupných pro administrátory systému.....	33
Tabulka 9 Seznam endpointů dostupných pro koncové uživatele	34
Graf 1 Porovnání ceny systémů	24

SEZNAM PŘÍLOH

Soubor	Popis
elektro/schema_revD.pdf	Elektrické schéma revize D DPS kamery
elektro/gerbers_revD.zip	Výrobní soubory poslední revize D DPS kamery
soft/firmware.zip	Zdrojový kód firmwaru kamery. Obsahuje celé prostředí pro vývoj v platform.io
soft/arvus_api.zip	Zdrojový kód Arvus API
soft/arquan_api.zip	Zdrojový kód Arquan API
soft/arvion_daemon.zip	Zdrojový kód Arvion servisu
soft/Docker-compose.zip	Docker-compose soubory pro spuštění kontejnerů
soft/app.zip	Zdrojový kód aplikace
misc/solar_calculator.pdf	Výsledek ze solární kalkulačky