

Návrh požárně bezpečnostního řešení s infračervenou kamerou Safetis EV pro vodohospodářské stavby

Bc. Pavel Kříž



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta aplikované informatiky

Ústav elektroniky a měření

Akademický rok: 2024/2025

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení:	Bc. Pavel Kříž
Osobní číslo:	A23392
Studijní program:	N1032A020003 Bezpečnostní technologie, systémy a management
Specializace:	Bezpečnostní technologie
Forma studia:	Kombinovaná
Téma práce:	Návrh požárně bezpečnostního řešení s infračervenou kamerou SafetisEV pro vodohospodářské stavby
Téma práce anglicky:	Design of a Fire Safety Solution with SafetisEV Infrared Camera for Water Management Buildings

Zásady pro vypracování

1. Seznamte se problematikou měření teploty v oblasti infračerveného spektra.
2. Pro vybraný objekt proveďte zhodnocení požárních rizik.
3. Pro daný objekt navrhnete hardwarové a softwarové řešení požárně bezpečnostního systému s kamerou SafetisEV.
4. Otestujte vzdálené programování systému pomocí desktopové aplikace na PC a přenos infrasinímů do PC s kamerou SafetisEV.
5. S využitím mikropočítačového systému Arduino realizujte systém, který bude přijímat poplachové zprávy z kamery přes RS485 a odesílat tyto zprávy formou SMS na mobilní telefon.
6. Proveďte celkové technické a ekonomické zhodnocení systému.

Forma zpracování diplomové práce: **tištěná/elektronická**

Seznam doporučené literatury:

1. VOLLMER, Michael a MÖLLMANN, Klaus-Peter. *Infrared thermal imaging: fundamentals, research and applications*. Weinheim: Wiley, 2010. ISBN 978-3-527-40717-0.
2. RUDDOCK, Robert Wayne. *Basic infrared thermography principles*. Ft. Myers: Reliabilityweb.com, 2012. ISBN 978-0-9832258-1-2.
3. VODA, Zbyšek. *Průvodce světem Arduina*. Vydání druhé. Bučovice: Martin Stříž, 2017. ISBN 978-80-87106-93-8.
4. MARGOLIS, Michael. *Arduino Cookbook*. 2nd ed. Sebastopol, Calif.: O'Reilly, 2012. ISBN 978-1-449-31387-6.
5. HEROUT, Pavel. *Učebnice jazyka C. 1. díl*. 6. vyd. České Budějovice: Kopp, 2010. ISBN 978-80-7232-383-8.
6. FLAJZAR, Tomáš. *GSM alarm: přenos poplachu na mobilní telefon : kompletní stavební návod GSM pageru včetně zdrojového programu*. Praha: BEN, 2005. ISBN 80-7300-183-7.

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Stanislav Goňa, Ph.D.**
Ústav elektroniky a měření

Datum zadání diplomové práce: **29. listopadu 2024**
Termín odevzdání diplomové práce: **30. května 2025**

doc. Ing. Jiří Vojtěšek, Ph.D. v.r.
děkan



Ing. Milan Navrátil, Ph.D. v.r.
ředitel ústavu

Ve Zlíně dne 29. listopadu 2024

PROHLÁŠENÍ AUTORA DIPLOMOVÉ PRÁCE

Beru na vědomí, že

- odevzdáním diplomové práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., v platném znění bez ohledu na výsledek obhajoby;
- diplomová práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému a bude dostupná k nahlédnutí;
- jedno vyhotovení diplomové práce v listinné podobě bude ponecháno Univerzitě Tomáše Bati ve Zlíně k uložení;
- na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3;
- podle § 60 odst. 1 autorského zákona má Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- podle § 60 odst. 2 a 3 mohu užít své dílo – diplomovou práci – nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- pokud bylo k vypracování diplomové práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tj. k nekomerčnímu využití), nelze výsledky diplomové práce využít ke komerčním účelům;
- pokud je výstupem diplomové práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá; neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Prohlašuji, že

- jsem na diplomové práci pracoval(a) samostatně a použitou literaturu jsem řádně citoval(a); v případě publikace výsledků budu uveden(a) jako spoluautor;
- odevzdaná verze diplomové práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou obsahově totožné.

Ve Zlíně, dne

.....
podpis autora

ABSTRAKT

Tato diplomová práce se věnuje návrhu a realizaci autonomního požárně-bezpečnostního monitorovacího systému využívajícího infračervenou kameru na vodohospodářských objektech. Systém je postaven na platformě Arduino a tvořen čtyřmi hlavními komponenty: IR kamerou Safetis EV, mikrokontrolérem Arduino UNO, komunikačním rozhraním RS485 a GSM modulem pro vzdálený přenos dat. V úvodní fázi byly jednotlivé prvky samostatně testovány v laboratorním prostředí. Poté proběhla jejich integrace a nasazení do reálného provozu, kde byl systém ověřen jak za běžných, tak zátěžových podmínek. Součástí práce je také technické a ekonomické zhodnocení celého řešení, včetně analýzy jeho přínosů pro zvýšení požární bezpečnosti na čerpacích stanicích odpadních vod.

Klíčová slova: IR kamera, požární bezpečnost, čerpací stanice odpadních vod, Safetis EV, RS485, Arduino, programovací jazyk C++, ROI, GSM, bezpečnostní systém

ABSTRACT

This thesis focuses on the design and implementation of an autonomous fire safety monitoring system utilizing an infrared camera for water management facilities. The system is built on the Arduino platform and consists of four main components: Safetis EV IR camera, Arduino UNO microcontroller, RS485 communication interface, and GSM module for remote data transmission. In the initial phase, the individual components were tested separately in a laboratory environment. Then, they were integrated and deployed in real operation, where the system was verified under both normal and load conditions. The work also includes a technical and economic evaluation of the entire solution, including an analysis of its benefits for enhancing fire safety at wastewater pumping stations.

Keywords: IR camera, fire safety, wastewater pumping stations, Safetis EV, RS485, Arduino, programming language C++, ROI, GSM.

„Konečným měřítkem člověka není to, kde stojí ve chvílích pohodlí, ale kde stojí ve chvílích výzev a kontroverzí.“

Martin Luther King Jr.

Rád bych touto cestou poděkoval svému vedoucímu diplomové práce, Ing. Stanislavu Goňovi, Ph.D. za podnětné připomínky, pomoc a rady, které mi v průběhu tvorby této práce poskytoval. Dále bych chtěl poděkovat vedení firmy VHZ – DIS a svým kolegům za podporu ve studiu a poskytnuté materiály. Panu Lud'ku Hořavovi z Vodárenské akciové společnosti a.s., divize Brno venkov za umožnění provedení praktické části na Čerpací stanici odpadních vod Ponětovice. A v neposlední řadě celé své rodině za podporu a trpělivost během celého mého studia.

OBSAH

ÚVOD.....	11
I TEORETICKÁ ČÁST	12
1 MĚŘENÍ TEPLoty V OBLASTI INFRAČERVENÉHO SPEKTRA	13
1.1 ELEKTROMAGNETICKÉ VLNY A SPEKTRUM.....	13
1.2 IR ZÁŘENÍ	14
1.2.1 Fyzikální principy	14
1.2.2 IR záření dělení	17
1.3 IR KAMERA A JEJÍ VYUŽITÍ	18
1.3.1 Princip a konstrukce	19
1.3.2 Využití termokamer	21
2 POPIS OBJEKTU A ZHODNOCENÍ POŽÁRNÍCH RIZIK	22
2.1 ČERPAČÍ STANICE ODPADNÍCH VOD PONĚTOVICE.....	22
2.1.1 Technologické části čerpačící stanice	23
2.1.2 Popis automatizovaného systému řízení technologického procesu (ASŘTP) a přenos dat na dispečink	38
2.1.3 Zabezpečovací systém ČS	40
2.2 ZHODNOCENÍ POŽÁRNÍCH RIZIK	42
2.2.1 Základní pojmy	42
Vstupní údaje.....	46
2.2.2 Opatření na základě výpočtu SPB.....	49
2.2.3 Seznam použitých norem a právních předpisů.....	50
3 POPIS HARDVEROVÉHO A SOFTVÉROVÉHO ŘEŠENÍ ČSOV PONĚTOVICE	51
3.1 KAMERA SAFETIS EV	51
3.1.1 Technické vybavení	52
3.2 ARDUINO UNO R3.....	54
3.2.1 Software Arduino IDE	57
3.2.2 Modul RS485	58
3.2.3 Modul GSM	62
3.3 TECHNICKÝ SLOVNÍK	67
3.3.1 Programovací jazyk C/C++	67
3.3.2 Rozhraní RS485	69
3.3.3 Protokol Modbus RTU	70
3.3.4 Protokol Modbus TCP/IP	71
II PRAKTICKÁ ČÁST	72
4 TEST HARDWAROVÉHO VYBAVENÍ.....	73
4.1 ZPROVOZNĚNÍ KAMERY SAFETIS EV	73
4.1.1 První spuštění	73

4.1.2	ROI (Region of Interest) menu.....	78
4.1.3	Interface menu.....	81
4.1.4	Stream menu.....	84
4.1.5	Systém menu	86
4.1.6	Testovací úloha – ověření funkce ROI a alarmů (kamery SAFETIS EV)	93
4.2	ZPROVOZNĚNÍ ARDUINA UNO	97
4.2.1	Zprovoznění schieldu RS485	100
4.2.2	Zprovoznění schieldu GSM.....	106
4.3	KOMPLETNÍ INTEGRACE ARDUINA S IR KAMEROU SAFETIS EV	116
5	INSTALACE SYSTÉMU DO REÁLNÉHO PROVOZU.....	121
5.1	INSTALACE A SLEDOVANÉ PARAMETRY	122
5.1.1	Průběh testování a výsledky měření.....	123
5.2	DŮLEŽITÉ UPOZORNĚNÍ: PRAKTICKÉ ZKUŠENOSTI Z INTEGRACE	126
6.1	TECHNICKÉ ZHODNOCENÍ SYSTÉMU	130
6.2	EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ SYSTÉMU	131
6.2.1	Materiálové náklady	132
6.2.2	Časový a finanční rozpočet práce technika	133
6.2.3	Celkové náklady na systém	134
	ZÁVĚR.....	135
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	137
	SEZNAM OBRÁZKŮ	144
	SEZNAM TABULEK.....	147
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	148
	SEZNAM PŘÍLOH.....	153

ÚVOD

Rostoucí složitost systémů požární bezpečnosti v průmyslových a vodohospodářských zařízeních vyžaduje inovativní přístupy využívající moderní technologie. Infračervené kamery, představují zásadní pokrok v detekci teplotních anomálií a potenciálního nebezpečí požáru. Tato práce se zabývá návrhem a začleněním protipožárního systému využívajícího infračervené kamery pro zlepšení schopností včasné detekce a zmírnění rizik spojených s požáry ve vodohospodářských zařízeních, ale i jiných průmyslových provozech.

Jedním z moderních a stále dostupnějších nástrojů pro tento účel jsou právě termokamery, které umožňují bezkontaktní a kontinuální měření teploty na vybraných místech. Infračervené zobrazování přináší nový pohled na diagnostiku zařízení, přičemž výrazně rozšiřuje možnosti prediktivní údržby a bezpečnostního dohledu. Vhodnou kombinací kamery, komunikačních modulů a řídicí jednotky lze vytvořit relativně jednoduchý, ale velmi účinný monitorovací systém.

Tato práce se zabývá návrhem, sestavením a ověřením funkčního systému pro termální monitoring, využívajícího infračervenou kameru pro sledování teplotních změn na technologii čerpací stanice odpadních vod (ČSOV). Součástí řešení bude i upozornění přes GSM síť.

Teoretická část práce bude rozdělena do tří kapitol. V první kapitole bude rozebrán princip infračerveného měření a základní vlastnosti IR kamer. Druhá kapitola se bude soustředit na popis reálného provozu ČSOV Ponětovice a analýzu požárních rizik vybrané části objektu. Třetí kapitola bude zaměřena na popis jednotlivých komponent systému – Arduino UNO, sběrnice RS485, GSM modul a termokamera Safetis EV.

Praktická část bude obdobně sestávat ze tří kapitol. Čtvrtá kapitola bude věnována oživení jednotlivých komponent, jejich programování a otestování funkčnosti. Následně budou komponenty integrovány do jednoho funkčního celku. Závěrem bude systém otestován v laboratorních podmínkách. V páté kapitole bude systém umístěn do reálného provozu, kde bude snímat teplotní rozdíly na FM měniči jednoho z čerpadel. Krom reálného provozu, proběhne i simulace výpadku chlazení a dalších dvou čerpadel. Šestá kapitola bude věnována zhodnocení technického přínosu i ekonomické efektivity řešení.

I TEORETICKÁ ČÁST

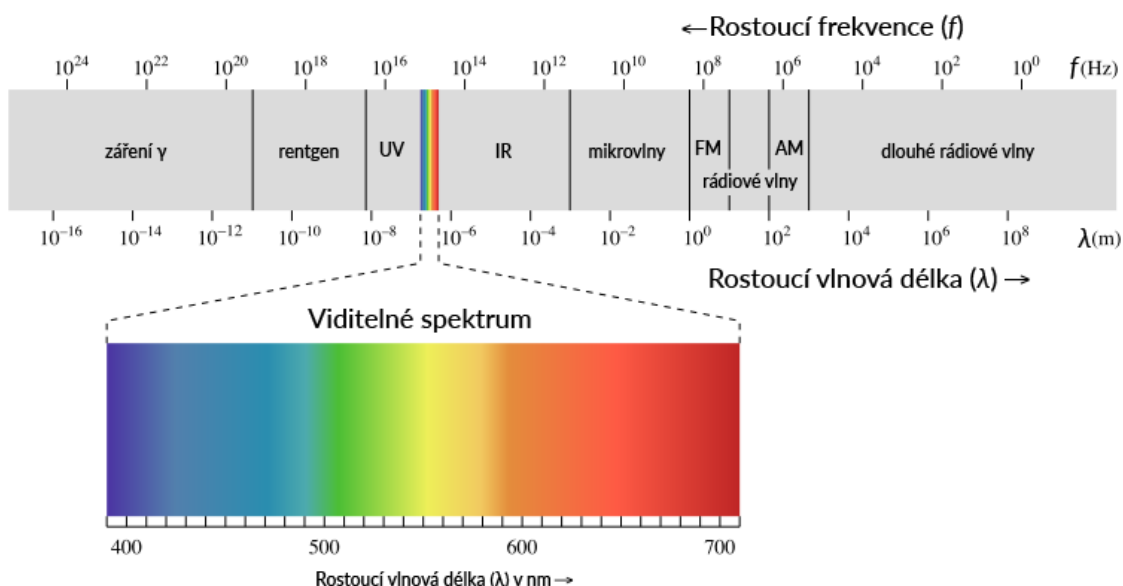
1 MĚŘENÍ TEPLOTY V OBLASTI INFRAČERVENÉHO SPEKTRA

Tato kapitola se věnuje seznámení s problematikou měření teploty pomocí infračerveného spektra včetně jejího fyzikálního principu. Měření teploty je klíčové v mnoha průmyslových, vědeckých a lékařských aplikacích. Infračervená termografie poskytuje možnost bezkontaktního měření teploty a umožňuje vizualizaci teplotních rozložení na povrchu objektů.

Infračervené (IR) kamery jsou zařízení schopná detekovat infračervené záření a převádět ho na viditelný obraz. Tyto kamery jsou široce využívány v průmyslu, medicíně, bezpečnosti, stavebnictví a dalších odvětvích.

1.1 Elektromagnetické vlny a spektrum

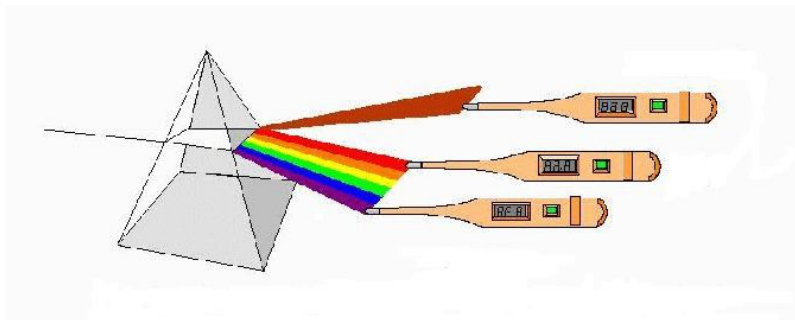
Vlna, složená z magnetického a elektrického pole, které jsou na sebe navzájem kolmé, se nazývá elektromagnetická. Jejím základním parametrem je frekvence či vlnová délka, kdy mezi těmito veličinami je nepřímá úměra. Elektromagnetické spektrum zahrnuje: kosmické záření, gama paprsky, rentgenové (rtg) záření, ultrafialové (UV) záření, viditelné světlo, IR záření, mikrovlny terahertzové a rádiové vlny. [1]



Obrázek 1 Elektromagnetické spektrum [2]

1.2 IR záření

IR záření objevil v roce 1800 britský astronom Sir William Herschel. Tehdy pomocí optického hranolu rozložil světlo na jednotlivé barvy. Herschela napadlo do jednotlivých barev vložit rtuťový teploměr, kdy teplota se postupně zvyšovala směrem k červené barvě a jelikož teplota rostla i za červeným okrajem viditelného světla, dokázal tak, že zde musí existovat nějaké oku neviditelné záření, které přenáší teplo. [1]



Obrázek 2 Objev IR záření [1]

Elektromagnetické vlnění o vlnové délce větší, než je viditelné světlo a zároveň kratší než mikrovlny, nazýváme infračervené záření. IR záření je často považováno za „tepelné“ záření, nicméně povrchy jsou zahřívány absorpcí jakéhokoli elektromagnetického záření, v rámci spektra se jedná cca o 50:50 s viditelným světlem. Na druhou stranu předměty o pokojové teplotě vyzařují nejvíce záření právě v IR spektru. [1]

1.2.1 Fyzikální principy

Stefan – Boltzmannův zákon – intenzita vyzařování roste se čtvrtou mocninou termodynamické teploty zářícího tělesa. Na základě tohoto zákona lze vypočítat výkon vyzařovaného tělesa. [1]

$$I = \sigma T^4 [\text{W}] \quad (1)$$

I – celková intenzita záření [$\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$]

σ - Stefan – Boltzmannova konstanta [$\text{Watt} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-4}$]

T – termodynamická teplota [K]

Wienův posunovací zákon – se změnou povrchové teploty objektu, dochází ke změně spektrálního rozložení vyzařovaného výkonu. Při vyšší absolutní teplotě se maximum vyzařování posouvá k menším vlnovým délkám (např. k viditelnému či UV záření), zatímco při nižších teplotách se maximum posouvá k větším vlnovým délkám (např. k infračervenému záření). [3]

$$\lambda_{max} \times T = 2,8978 \times 10^{-3} mK \quad (2)$$

Planckův vyzařovací zákon – dívá se na problematiku komplexněji než dva výše zmíněné zákony. Stanovuje, kolik energie těleso vyzaří na jednotlivých vlnových délkách. [3]

$$E_{0\lambda} = \frac{c_1 \times \lambda^{-5}}{\exp\left(\frac{c_2}{\lambda \times T}\right) - 1} \quad (3)$$

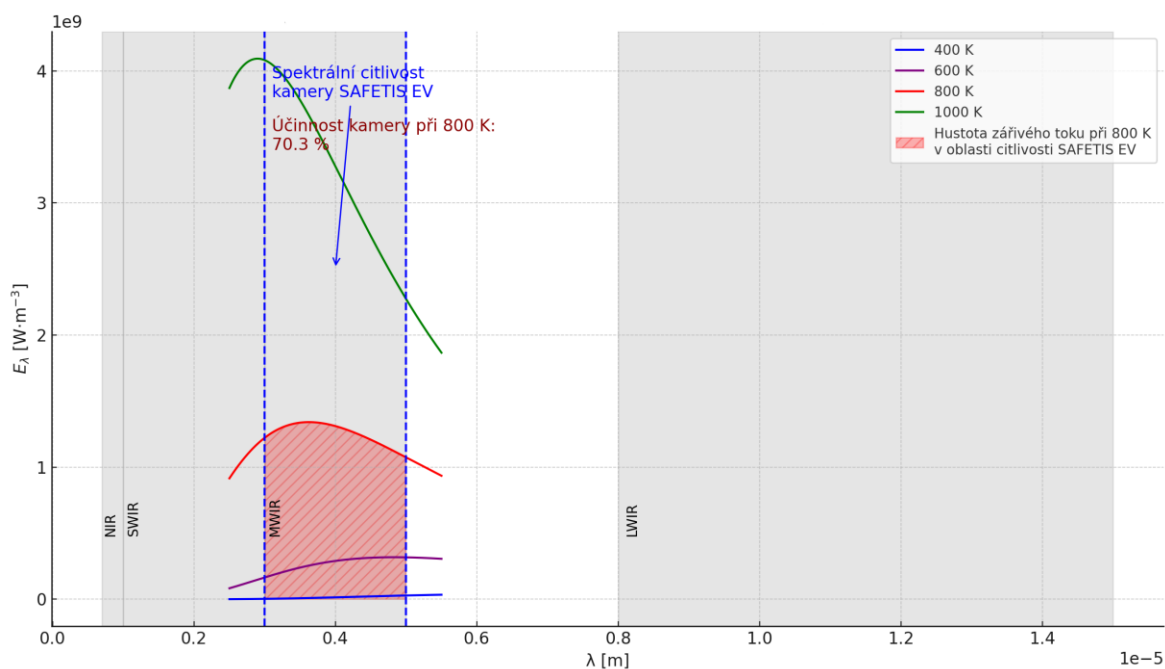
$E_{0\lambda}$ - spektrální hustota zářivého toku černých objektů do prostoru

T - teplota objektu

λ - vlnová délka záření

c_1 - konstanta $3,74 \times 10^{-16} \text{ W} \cdot \text{m}^2$

c_2 - konstanta $1,44 \times 10^{-2} \text{ K} \cdot \text{m}$



Obrázek 3 Planckův vyzařovací zákon a spektrální citlivost kamery Safetis EV, vytvořeno na základě [3]

První Kirchhoffův zákon říká, že součet reflektance r a absorpance a a transmittance t daného objektu je vždy roven jedné. [3]

$$r + a + t = 1 \quad (4)$$

Druhý Kirchhoffův zákon praví, že objekt je tak dokonalým zářičem, jak dokáže záření pohlcovat, platí tedy [3]

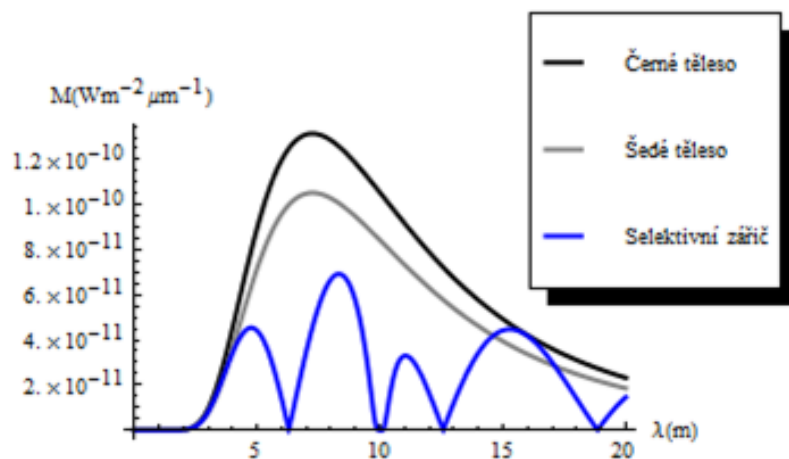
$$\varepsilon = a \quad (5)$$

Emisivita je optická vlastnost materiálu, která popisuje množství světla vyzařeného z materiálu v poměru k množství, které vyzařuje černé těleso při stejné teplotě. Emisivita souvisí jaks typem materiálu, chemickým složením, strukturou materiálu i jeho povrchem. Velikost emisivity měřeného povrchu, zásadně ovlivňuje výsledek měření termokamerou. [4]

Černé těleso nebo též ideální černé těleso, je objekt, který pohlcuje veškeré na něj dopadající světlo. Pohlcuje tedy veškeré elektromagnetické záření (tedy i IR) bez odrazu a potom ji vysílá pouze ve formě tepelného záření, které je vyzařováno po určitých kvantech. Používá se ke kalibraci IR kamer. [5, 6]

Šedé těleso na všech vlnových délkách vyzařuje energii, která je při stejné teplotě v určitém poměru k zářivé energii absolutně černého tělesa. Jeho emisivita je nezávislá na vlnové délce. [7]

Selektivní zářič – všechna tělesa jsou vlastně selektivními zářiči, protože jejich emisivita je vždy závislá na vlnové délce. [8]



Obrázek 4 Zářiče [8]

1.2.2 IR záření dělení

IR záření můžeme ještě rozdělit na jednotlivá pásma (různí autoři se však v tomto dělení úplně neshodnou).

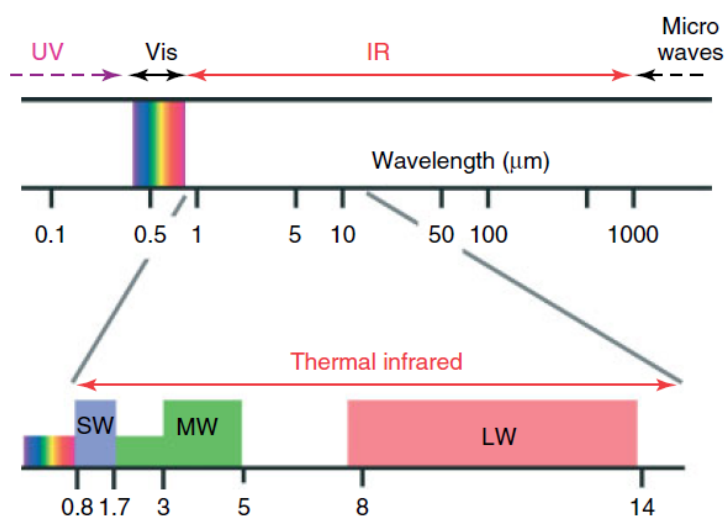
Zjednodušeně lze IR záření rozdělit na:

- blízké ($0,7 - 5 \mu\text{m}$)
- střední ($5 - 30 \mu\text{m}$)
- dlouhé ($30 - 100 \mu\text{m}$)

Pásmu $100 \mu\text{m} - 1\text{mm}$ se někdy označuje jako terahertzové záření nebo submilimetrové vlny.

Jiné, podrobnější dělení nahlíží na problematiku IR záření takto:

- NIR – blízké IR záření, nebo také IR – A, vlnová délka $0,76 - 1,4 \mu\text{m}$, používané hojně v rámci optických vláken
- SWIR – IR záření krátké vlnové délky, nebo také IR- B, vlnová délka $1,4 - 3 \mu\text{m}$
- MWIR – IR střední vlnové délky, nebo také IR – C, někdy též označované jako IIR, vlnová délka $3 - 8 \mu\text{m}$
- LWIR – IR dlouhé vlnové délky, nebo také IR – C, vlnová délka $8 - 15 \mu\text{m}$
- FIR – dlouhé infračervené záření, vlnová délka $15 - 1000 \mu\text{m}$ [1, 9, 10]



Obrázek 5 IR záření [10]

1.3 IR kamera a její využití

Infračerveného spektra je v současné době hojně využíváno v moderních technologiích. Využívá se jako perimetrická ochrana formou infračervených závor či bariér, jako PIR detektory (pasivní infračervená čidla) a zejména jako termovize. Ta je využívána k doplnění kamerových systémů, výsledkem takového záznamu je termogram. Jelikož je IR záření pro lidské oko neviditelné, je potřeba jeho vizualizace. Těchto kamer je hojně využíváno v bezpečnostním průmyslu – hlídání důležitých objektů, na letištích, pátrání po osobách, armádní využití, ve stavebnictví – rozložení teplot na povrchu stavebních konstrukcí, měření oteplení rozvaděče atd. [1, 14]

V literatuře se lze setkat s pojmy infrakamera a termokamera. Obecně infrakamerou nazýváme kameru, která má schopnost snímat v infračerveném spektru. Termokamera obvykle z tohoto spektra využívá pásmo LWIR a zachycuje tepelné záření vyzařované objekty a následně jej převádí na obraz. IR kamera může pracovat i v pásmech NIR a MIR, často potřebuje přisvětlení (IR LED diody), aby mohla snímat i v noci. IR kamera vidí odražené IR světlo – aktivní noční vidění (výstup je často černobílý nebo v odstínech šedi), zatímco termokamera vidí vyzařované teplo objektů – pasivní termovize (výstup je teplotní mapa, kde rozdílné teploty reprezentují rozdílné barvy). Z toho lze tedy vyvodit, že termokamera patří mezi IR kamery, ale ne každá IR kamera je také termokamerou.

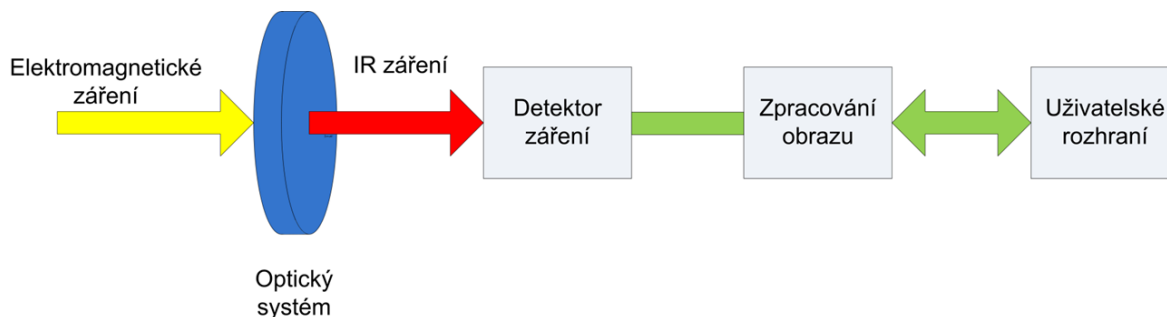
Principem termokamery je bezdotykové měření teploty. Do obrazové roviny jsou umístěny světlocitlivé elementy, zachycující obraz. A do ohniskové roviny objektivu se umísťuje FPA (Focal Plane Array) – registrační plocha detektoru. Každé těleso, jehož teplota je vyšší než absolutní nula, vydává IR záření. Termokamera ve svém zorném poli měří dlouhovlnné IR záření. Jelikož i samotná čočka, objektiv atd vyzařují tepelné záření a tudíž by obraz byl tímto zkreslený, je nutno systém odclánět nezářivými clonami nebo zajistit dostatečné chlazení detektoru. Navíc čočka musí být vyrobena z materiálu, který je propustný pro oblast vlnových délek tepelného záření. Pro termovize jsou tedy čočky vyráběny z germania, safíru či jiných vhodných materiálů. Sklo je pro tyto účely nevhodné. [11, 12, 13, 14]

Tabulka 1 Rozdíl mezi IR kamerou a termokamerou [vlastní]

	IR kamera	Termokamera
Princip?	odražené IR světlo	tepelné záření vyzařované objekty
Vlnové délky?	0,7 - 5 μm (NIR, SWIR, MWIR)	8 - 14 μm (LWIR)
Senzory	CCD nebo CMOS	mikrobolometrové
Potřebuje IR přisvětlení?	ANO	NE
Pracuje ve tmě?	jen s přísvitkem	ANO
Vidí za špatných podmínek (mlha, kouř)?	příliš dobře NE	ANO
Využití	noční vidění, bezpečnost, astronomie, vojsko, záchrana osob	diagnostika teplotních rozdílů, průmysl, medicína, astronomie, vojsko, záchrana osob
Cena	nižší	vyšší

1.3.1 Princip a konstrukce

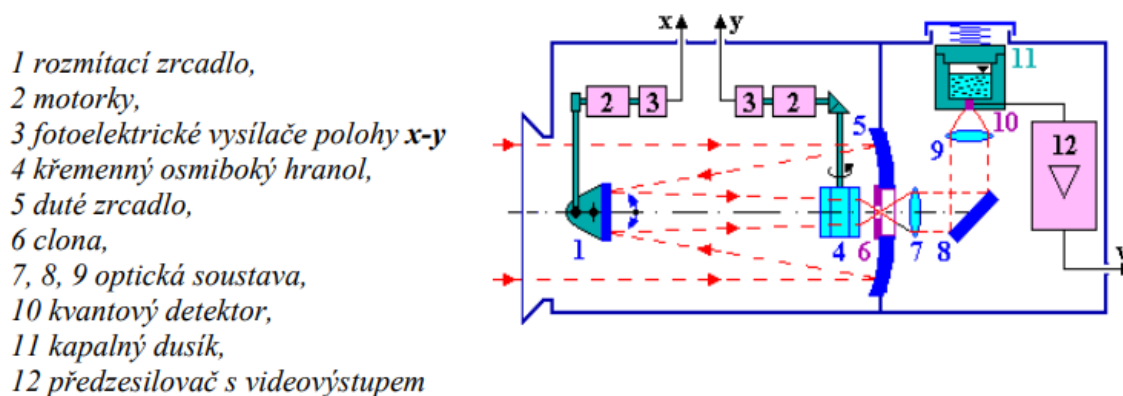
Teplotní pole je snímáno kamerou, která je vybavena detektorem záření a následně je zobrazeno na monitoru. Základními součástmi termokamer jsou optická zobrazovací část, detekční část (dopadající tepelnou energii převádí na elektrický náboj), zobrazovací a záznamová část. Rozlišujeme termokamery s rozkladem obrazu skenerem na jednobodový detektor a s promítáním obrazu na maticový detektor. Monitory termovizního systému zobrazují teplotní pole barevně nebo ve škále šedi. [3, 12]



Obrázek 6 Blokové schéma termokamery [12]

Konstrukce je hodně podobná jako digitálního fotoaparátu. Optický systém, obvykle z Germánie, který propouští pouze IR spektrum z dopadajícího elektromagnetického záření. Na povrchu optického systému je také antireflexní vrstva, aby se zabránilo odrazu IR záření od čočky, tím dochází ke zvýšení propustnosti na více než 90 %. Z hlediska principu lze detektory rozdělit na tepelné a fotonové.

- **tepelné** – jejich principem je změna elektrických vlastností v závislosti na intenzitě IR záření (mikrobolometr), jsou širokopásmové, nejčastější typ, až 95 % termokamer
- **fotonové** – pracují na principu počítání fotonů, kvant elektronového záření, jsou mnohem citlivější, ale je u nich potřeba chlazení, úzkopásmové [12, 13]



Obrázek 7 IR kamera s rozkladem obrazu a chlazeným detektorem [3]

1.3.2 Využití termokamer

Tyto kamery dokážou zobrazit celé teplotní pole sledovaného objektu, což umožňuje lépe sledovat souvislosti pozorovaných jevů nebo zkoumat dynamický vývoj teplotního pole. Přesto, že jsou tato zařízení drahá, mají širokou škálu využití např. ve stavebnictví, medicína, energetika, noční vidění. Dálkový výzkum Země atd.

Pro účely této práce nás zajímá hlavně:

Měření elektrických obvodů termokamerou - jakýkoli přechodový odpor v elektrických kontaktech nebo přetížení vyvolá lokální ohřev. Termokamera je schopna detekovat rozdíly v řádu desetin stupně a tudíž lokalizovat poruchu již v zárodku. Velkou výhodou je bezkontaktní a bezdemontážní diagnostika bez omezení provozu zařízení. [15]



Obrázek 8 Měření elektrických obvodů [15]

Komunikace - pro přenos dat IrDA na krátkou vzdálenost je využíváno právě IR záření, např. mobilní telefony, dálkové ovladače. [13]

2 POPIS OBJEKTU A ZHODNOCENÍ POŽÁRNÍCH RIZIK

V této kapitole je podrobně popsán vybraný objekt ČSOV Ponětovice a následně provedeno jeho zhodnocení požárních rizik. Tento objekt byl zvolen s ohledem na jeho technickou specifikaci, význam v rámci vodohospodářské infrastruktury a potenciální rizika související s jeho provozem.

ČSOV Ponětovice je vodohospodářská stavba, která byla realizována společností VHZ - DIS. Klíčovým prvkem tohoto objektu jsou vysoce výkonná čerpadla, která jsou řízena systémem FM. Díky své technologické úrovni a kapacitě jsou tato čerpadla zásadní pro zajištění plynulého a efektivního provozu objektu.

Výběr tohoto objektu pro naši práci byl motivován několika faktory:

- **Vodohospodářský význam** – ČSOV Ponětovice je důležitým prvkem vodohospodářské infrastruktury, jehož správná funkce ovlivňuje širší okolí.
- **Technologická vyspělost** – použití výkonných čerpadel s řízením FM představuje moderní přístup k řízení čerpacích stanic, což přináší specifická požární rizika.
- **Analýza bezpečnostních aspektů** – vzhledem k přítomnosti silných elektrických zařízení, řídicích systémů a pohyblivých částí čerpadel je nutné zhodnotit potenciální požární hrozby a navrhnout odpovídající preventivní opatření.

Následující části této kapitoly se proto zaměřují na detailní popis objektu, jeho hlavních technologických prvků a zhodnocení požárních rizik, která mohou vzniknout při provozu této vodohospodářské stavby. Technologické schéma, viz Příloha P1.

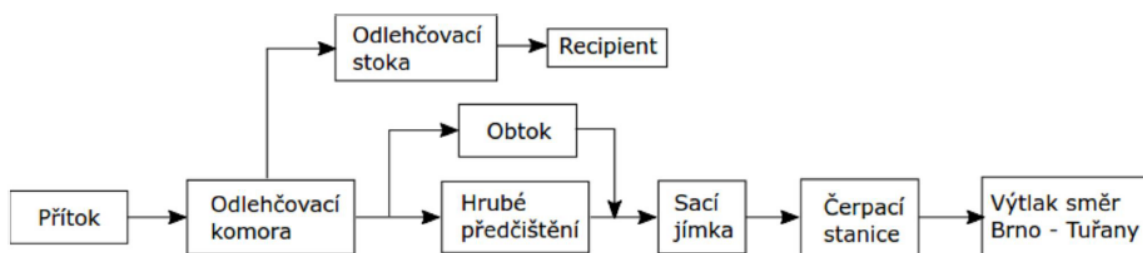
2.1 Čerpací stanice odpadních vod Ponětovice

Čerpací stanice odpadních vod (ČSOV) Ponětovice se nachází v obci Ponětovice, okres Brno-venkov, Jihomoravský kraj. Stanice slouží k přečerpávání odpadních vod z jednotné kanalizační sítě Svazku obcí pro vodovody a kanalizace – Šlapanicko, do brněnské kanalizační sítě, odkud jsou dále odváděny na Čistírnu odpadních vod (ČOV) Modřice, kde probíhá vlastní čištění odpadní vody.

Čerpací stanice byla původně navržena pro 17 000 obyvatel, ale v současné době přečerpává odpadní vody od více než 30 000 obyvatel, což je přibližně 40 000 ekvivalentních obyvatel (EO). [16]

Hlavní části čerpací stanice zahrnují:

- **Nátokovou šachtu a odlehčovací komoru** – reguluje přítok odpadních vod a zajišťuje, že při vyšších průtocích dochází k jejich odlehčení do odlehčovací stoky.
- **Hrubé předčištění** – zahrnuje česlové zařízení pro odstranění hrubých nečistot z přitékajících vod.
- **Sací jímku** – hlavní akumulací prostor pro přečerpávání odpadních vod do kanalizace.
- **Armaturní komoru** – obsahuje uzavírací armatury a měřicí techniku pro regulaci průtoku.
- **Automatický řídicí systém** – sleduje a ovládá technologii čerpací stanice, včetně měření průtoku, hladiny a provozních stavů.
- **Náhradní zdroj elektrické energie** – dieselový agregát, který zajišťuje nepřetržitý provoz i při výpadku elektrického proudu. [16]

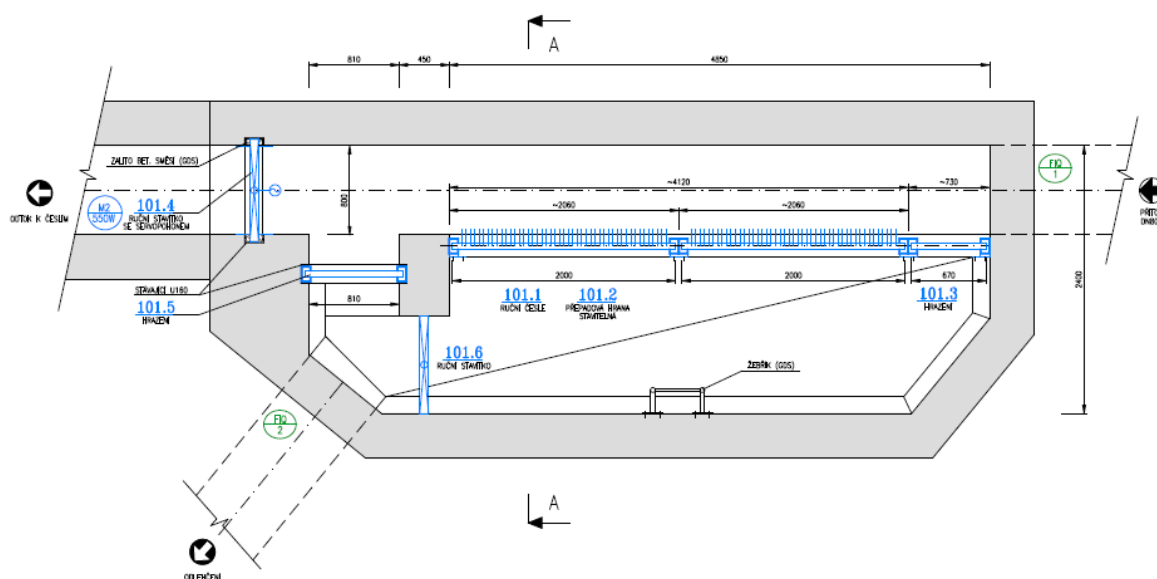


Obrázek 9 Schéma sestavy ČSOV Ponětovice [16]

2.1.1 Technologické části čerpací stanice

- **Přívodní stoka a odlehčovací komora:**

Jak je vidět z výše uvedeného schématu, je prvním objektem na ČSOV (s technologickým vybavením) odlehčovací komora. Hlavní funkcí této komory, jak již z názvu vyplývá, je odlehčení odpadních/dešťových vod v době nárůstu přítoku nad maximální kapacitu čerpání z této stanice. Tato kapacita je 270 l/s. [16]

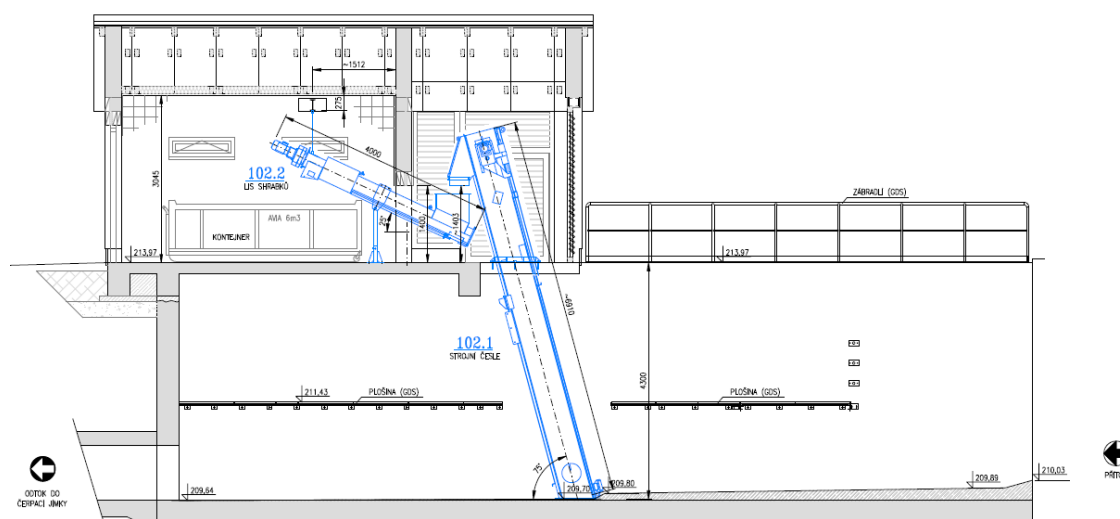


Obrázek 10 Odlehčovací komora [17]

Druhou nezanedbatelnou funkcí odlehčovací komory je možnost uzavřít, pomocí stavítka, nátok do vlastní ČS a umožnit tak nezbytný krátkodobý servis/opravy. V případě překročení nátoků 270 l/s budou odpadní/dešťové vody přepadat přes přelivnou hranu a odtékat stávající stokou DN800 do blízkého potoka Říčka. V přívodní stoce DN800, před nátokem do odlehčovací komory i na odlehčovací stoce z této komory, je umístěno měření průtoku. Provozovatel tak má přesnou kontrolu, jaký podíl přitékajících odpadních vod je odlehčován a může si i upravovat nastavení přelivu. [16]

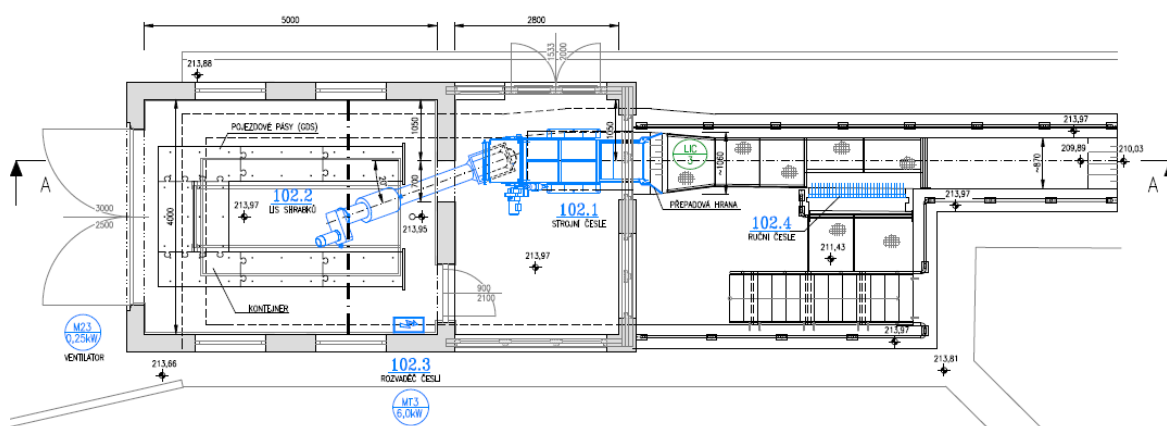
- **Hrubé předčištění:**

Z odlehčovací komory přitékají odpadní vody otevřeným žlabem šířky 870 mm do hrubého předčištění. V tomto objektu jsou osazeny strojně stírané česle. Zachycené shrabky jsou vynášeny nad korunu žlabu, kde padají do šnekového lisovacího dopravníku a jsou transportovány do přepravních kontejnerů. [16]



Obrázek 11 Řez umístění česlí [18]

V případě poruchy česlí, nebo provádění nezbytných oprav je možné strojní česle obtokovat. Obtokový žlab je vybaven ručními česlemi. Opět jsou v provedení s negativním sklonem, který má snižovat možnost jejich zanesení a usnadňovat jejich čištění. [16]



Obrázek 12 Půdorys předčištění [18]

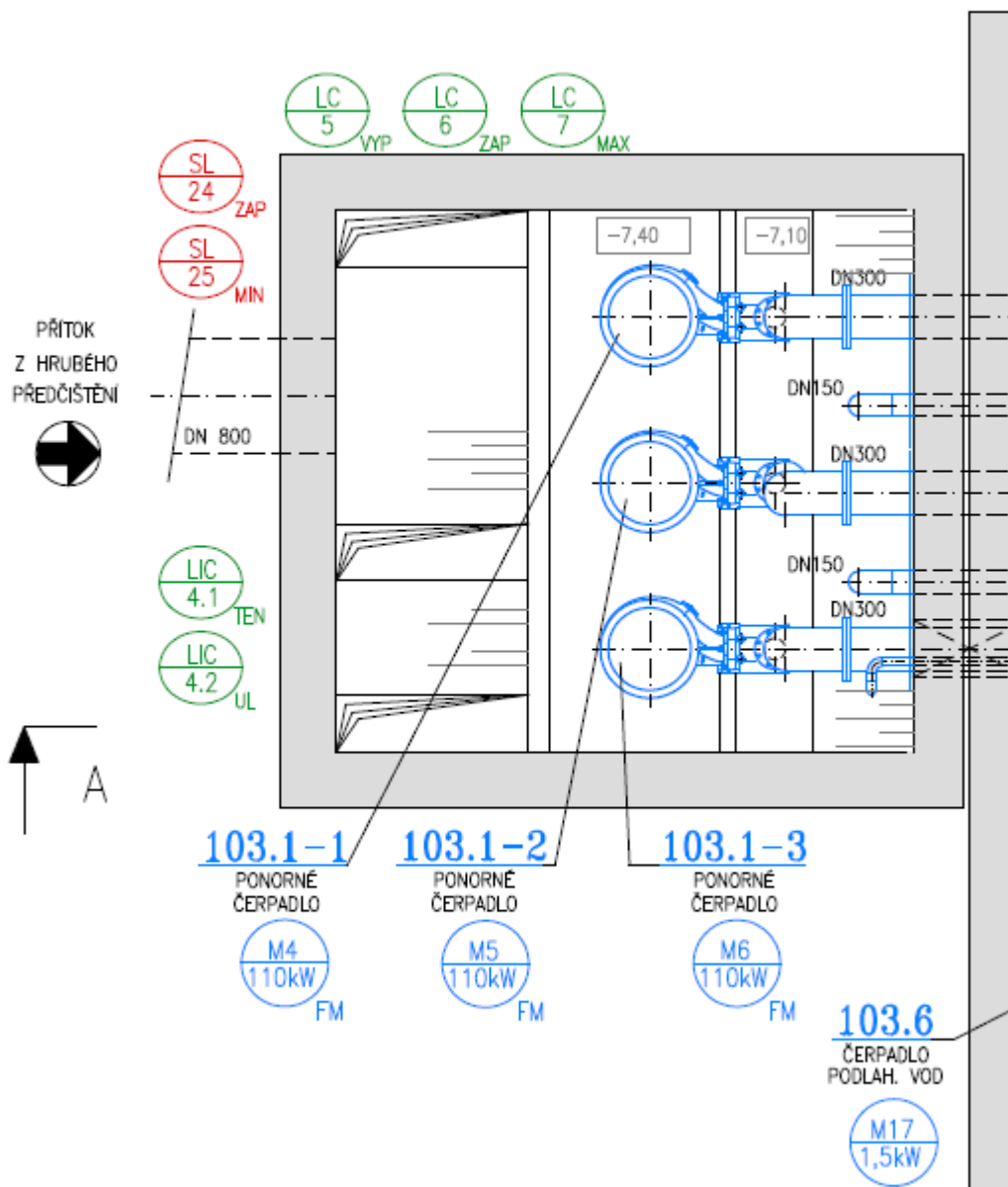
- Čerpací stanice odpadních vod:

Vlastní čerpací stanici odpadních vod je možné rozdělit na tři navazující části:

- mokrou komoru s ponornými čerpadly
- suchou armaturní komoru
- protirázovou ochranu výtlaku [16]

- **Mokrý sací jímka s ponornými čerpadly**

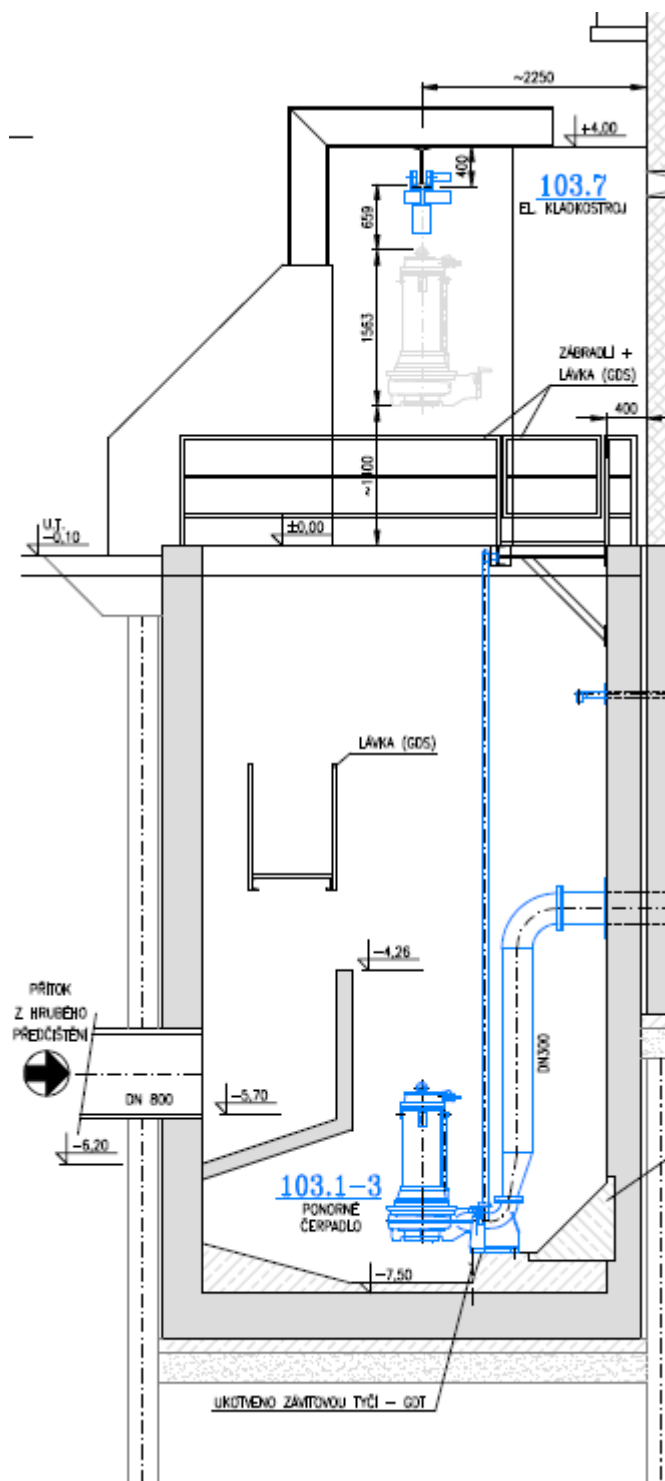
Hrubě předčištěné odpadní vody přitékají do sací jímky čerpací stanice. Ta je vybavena trojicí ponorných kalových čerpadel o výkonu **110kW**. Všechna tři čerpadla mají možnost regulace pomocí frekvenčního měniče (FM) s čerpacím rozsahem **40–135 l/s**. [16]



Obrázek 13 ČSOV půdorys [19]

Čerpadla pracují v režimu 2+1 (dvě provozní, jedno záložní). Tento stav znamená, že čerpání bezdeštných průtoků může zajišťovat kterékoliv z instalovaných čerpadel. Čerpadla

se střídají podle naměřených motohodin, aby jejich opotřebení bylo rovnoměrné, což je výhodné i v rámci servisu. Při zvýšení nátoku nad 135 l/s, dojde k připnutí i druhého čerpadla. Maximální čerpaný průtok je tak 270 l/s. Při poruše kteréhokoliv čerpadla je v záloze ještě třetí instalované čerpadlo stejných parametrů. [16]



Obrázek 14 Řez ČS [20]



Obrázek 15 Instalace čerpadla Willo [21]

Přesná specifikace čerpadel a frekvenčních měničů osazených v ČS a rozvodně:

Tabulka 2 Parametry čerpadel M4, M5, M6 [vlastní]

Čerpadlo Willo	
P-Typ EMU FA 15.98D	
M-Typ FK 42.1-4/42G-E3	
Napětí [U]	3~400V
Výkon [P ₂]	110 kW
Proud [In]	195 A
Účinnost [cos φ]	0,89
Požadovaný provoz	Řízení s FM

Požadované měření a indikace čerpadla:

- Teplotní čidlo ve vinutí motoru
- Teplotní čidlo spodního ložiska
- Čidlo průsaku do motoru
- Čidlo průsaku do svorkovnice

Frekvenční měnič:

Instalovaný typ: Danfoss VLT® AQUA Drive, FC 202

- slouží k řízení otáček a momentu asynchronních a synchronních elektromotorů (v našem případě čerpadel),
- optimalizuje spotřebu energie, prodlužuje životnost čerpadel,
- nabízí funkce pro ochranu motoru i systému (např. detekce chodu nasucho, přetížení, ucpání apod.).

Je určen přímo pro aplikace v čerpadlech, vodárnách, kanalizacích a úpravách vody.

[22]



Obrázek 16 Frekvenční měnič v rozvaděčovém poli [vlastní]

Hlavní funkce FM:

- **Řízení otáček motoru**
 - Měníč plynule reguluje otáčky motoru podle potřeby systému (např. podle hladiny, tlaku, průtoku).
 - Chrání čerpadla před **hydraulickými rázy** a zbytečným opotřebením.
- **Funkce pro čerpadla (Pump Control)**
- **Sleep mode:** Vypnutí motoru při nízké potřebě → úspora energie.
- **Dry Run Protection:** Ochrana proti chodu na sucho.
- **Pipe Fill & Pre-lube:** Pomalejší náběh pro zaplnění potrubí bez hydraulických rázů.
- **Anti-jam:** Pravidelné protočení čerpadla, aby se nezaseklo.
- **Startovací a optimalizační funkce**
- **Automatic Motor Adaptation (AMA):** Samonastavení parametrů motoru (ideální při prvním spuštění).
- **Automatic Energy Optimization (AEO):** Optimalizuje napětí motoru podle aktuálního zatížení = nižší spotřeba.
- **Komunikace**
 - Vestavěný **Modbus RTU**, volitelné další průmyslové protokoly (PROFINET, BACnet, apod.).
 - Umožňuje **vzdálené řízení a monitoring**. [22]



Obrázek 17 Ovládací displej FM [vlastní]

Výkon motoru:	90 kW / 125 HP – v režimu vysokého přetížení
Napájení:	3× 380–480 V AC, 50/60 Hz
Výstupní napětí:	0–V_{in}, 0–590 Hz
Jmenovitý výstupní proud (při 400V):	Vysoké přetížení: 154 A Normální přetížení: 183 A
Teplota okolí:	Bez omezení: až do 40 °C S deratingem: max. 55 °C [22]

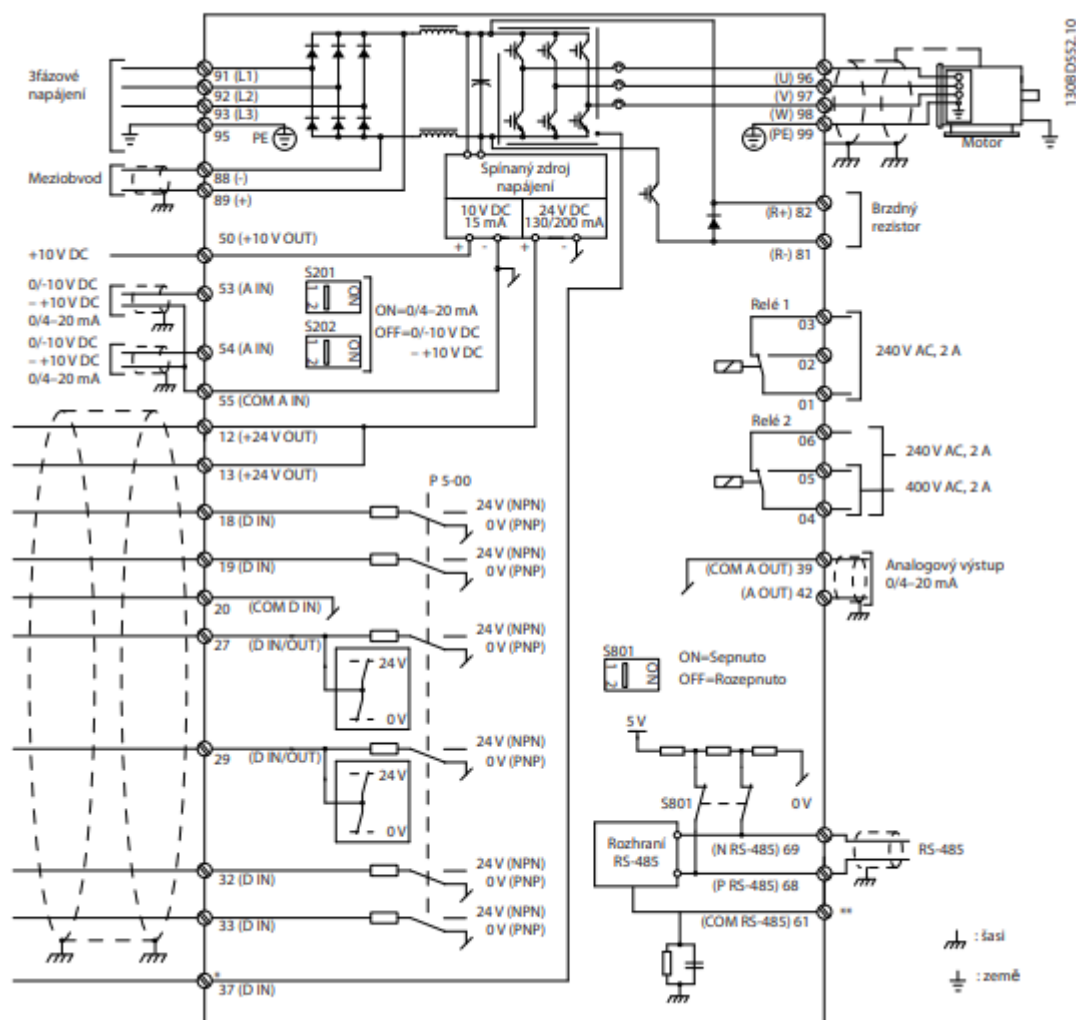
Důležité funkce:

- **SmartStart:** Usnadnění uvedení do provozu
- **AMA (Automatic Motor Adaptation):** Automatické přizpůsobení parametrům motoru
- **AEO (Automatic Energy Optimization):** Optimalizace spotřeby energie
- **Možnost řízení různých typů motorů:**
 - Asynchronní

- PM (permanentní magnety)
- SynRM (synchronní reluktanční)

Rozhraní a připojení:

- **Řídicí vstupy/výstupy:**
 - Digitální i analogové I/O
 - RS485 (Modbus RTU)
- **Volitelné rozšíření:** Profibus, Profinet, BACnet, EtherNet/IP atd.
- **LCP panel:** Grafický s menu v češtině, možnost uložení a přenosu nastavení [22]



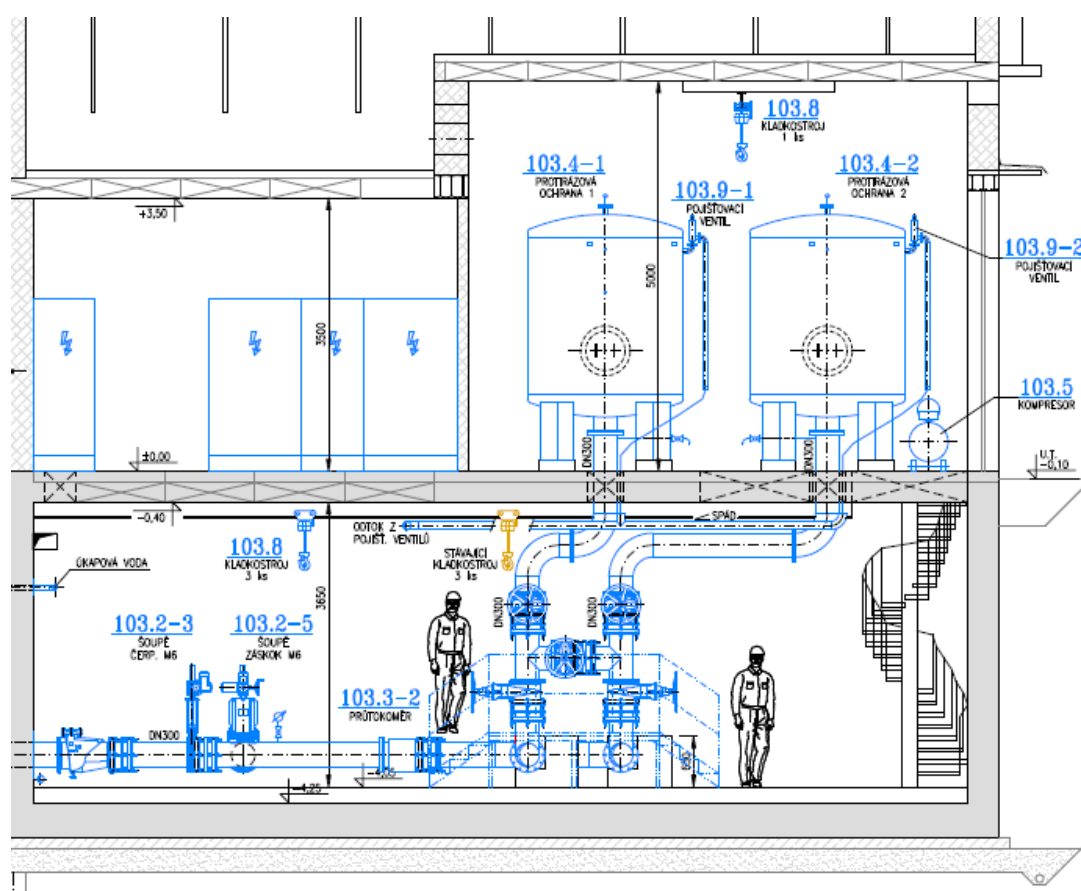
Obrázek 18 Základní schéma zapojení [22]

Použitá čerpadla Wilo jsou robustní, určená pro kanalizační a čistírenské provozy. Měníč FC 202 nám umožní:

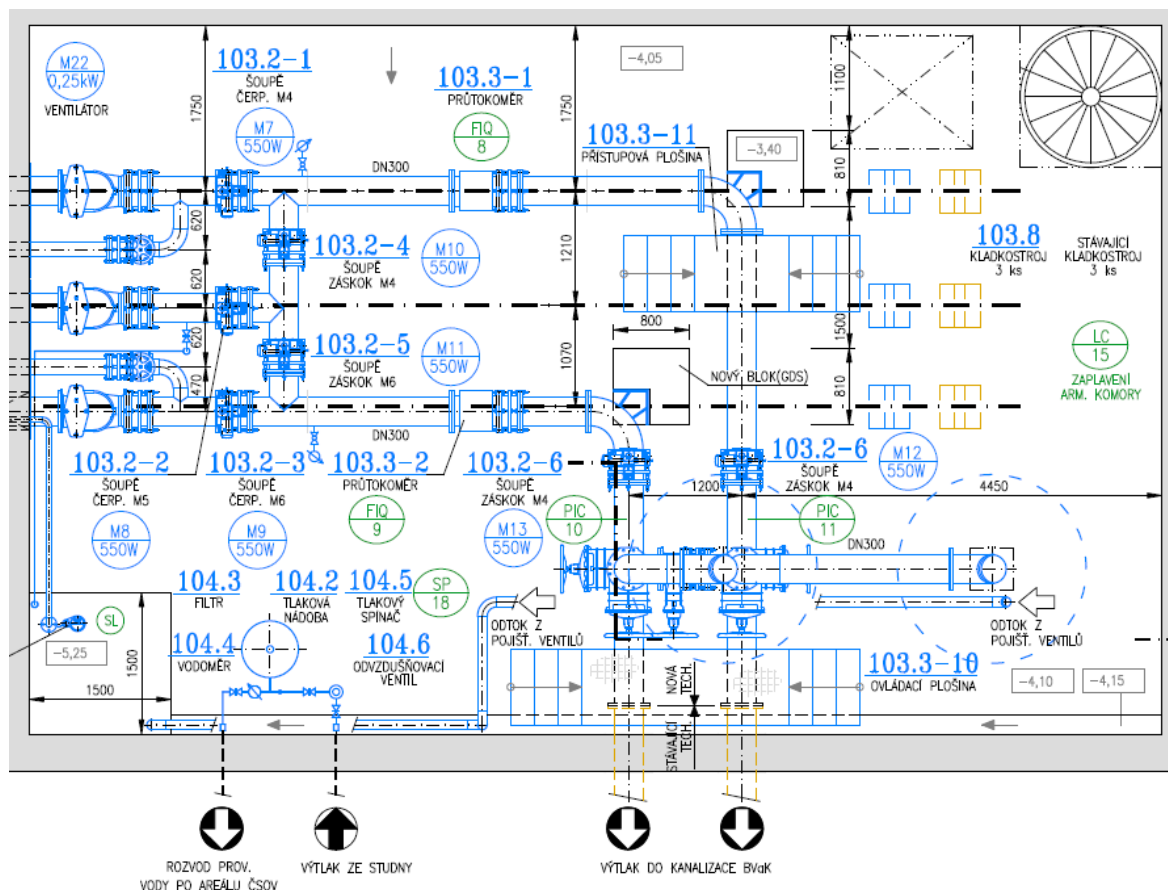
- Regulaci výkonu čerpadel podle potřeby, např. podle hladinového čidla.
- Zabrání poškození motoru při extrémních podmínkách (ucpání, chodu naprázdno, přetížení).
- Šetří náklady díky nižší spotřebě energie a delší životnosti. [22]

Armaturní komora

Zapojení je provedeno takové, aby kterékoliv čerpadlo mohlo čerpat odpadní vodu do libovolného výtláčného řadu. Při souběhu dvojice čerpadel, čerpá každé do samostatného výtlaku, aby se čerpadla vzájemně neovlivňovala. Na výtlaku z jednotlivých čerpadel je osazena zpětná klapka a uzavírací armatura s elektrickým pohonem. Výtlak prostředního čerpadla má uzavírací armatury s elektrickým pohonem, dvě pro volbu výtláčné trasy – viz technologické schéma. Na každém ze dvojice výtlaků je osazeno měření průtoku a uzavěr. [16]



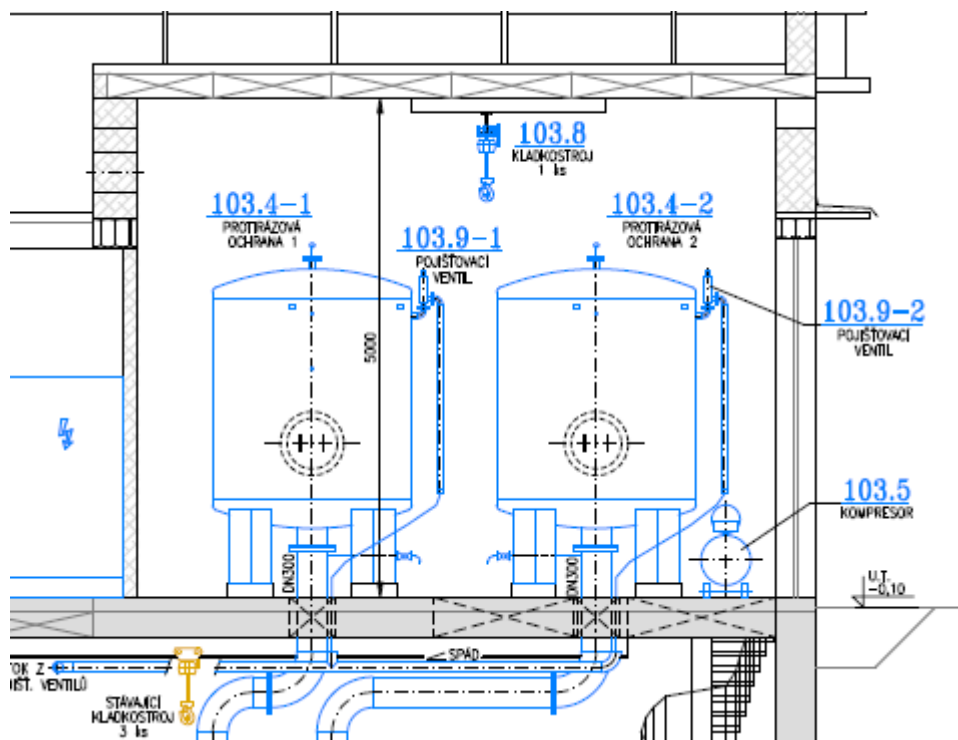
Obrázek 19 Řez armaturní komorou [20]



Obrázek 20 Půdorys armaturní komory [23]

- **Protirázová ochrana výtlaku**

Za řádného provozu (plynulému náběhu a odstavení čerpadel) by nemělo docházet ke vzniku významnějších rázů. K vytvoření rázu však může dojít při nestandardním odstavení čerpadel např. při výpadku elektrické energie. Protirázová ochrana slouží k akumulaci takto vzniklých rázů a předchází poškození potrubí a příslušenství. Součástí celku je i kompresorová stanice pro udržování vzduchového „polštáře“ v tlakových nádržích. To je prováděno pouze za přítomnosti obsluhy ručně, ale tlak a rozhraní voda vzduch je v nádržích snímáno a přenášeno do řídicího systému. [16]



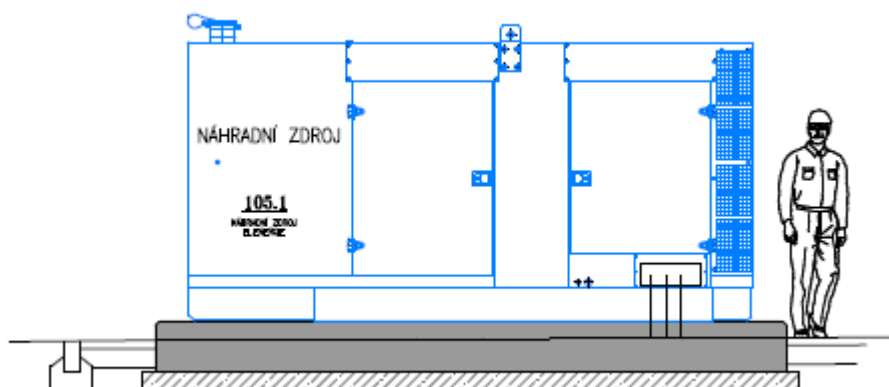
Obrázek 21 Protirázová ochrana výtlaku [20]

- **Studna užitkové vody:**

Do objektu ČSOV není přivedena pitná voda. Jako zdroj provozní vody je proto využívána podzemní voda ze stávající studny vybudované v areálu ČS.

- **Náhradní zdroj elektrické energie:**

Náhradní zdroj (NZ) elektrické energie hraje klíčovou roli v zabezpečení nepřetržitého provozu ČSOV Ponětovice v případě výpadku hlavního elektrického napájení. Vzhledem k velikosti agregátu a požadavkům na chlazení je NZ umístěn v blízkosti hlavního objektu ČS. [24]



Obrázek 22 Náhradní zdroj projektová dokumentace [25]

- **Technická specifikace náhradního zdroje:**

Typ agregátu: Diesellový generátor s automatickým startem

Výkon: **500 kVA** (umožňuje chod dvou čerpadel současně)

Palivová nádrž: Standardní kapacita umožňuje **provoz po dobu 8 hodin** při plném zatížení, s možností rozšíření na **25 hodin** při doplnění paliva

Automatická regulace: Agregát je vybaven systémem **automatického startu (ATS)**, který umožňuje okamžitou reakci na výpadek napájení

Zvuková izolace: Generátor je umístěn v **odhlučněném krytu**, což minimalizuje hlukový dopad na okolí

Ochranné prvky: Přepět'ová ochrana, monitoring provozních parametrů, systém nouzového vypnutí. [16, 24, 26]



Obrázek 23 Náhradní zdroj [vlastní]

Provozní režimy Náhradního zdroje:

- **Normální stav** – agregát je v pohotovostním režimu, pravidelně testován a udržován.
- **Výpadek elektřiny** – automatický systém detekuje výpadek a spustí generátor do několika sekund.
- **Obnovení napájení** – po návratu hlavního napájení se agregát automaticky vypne a přepne spotřebiče zpět na hlavní síť. [24, 26]



Obrázek 24 Panel náhradního zdroje [vlastní]

Provozní řád: Stanovuje konkrétní provozní pravidla NZ v souladu s bezpečnostními předpisy a pokyny výrobce. Aby byl náhradní zdroj vždy připraven k okamžitému použití, je nutné jeho pravidelná kontrola a údržba. Tato zahrnuje:

Pravidelné testování – automatizovaný systém provádí **zkoušky jednou měsíčně** pro ověření funkčnosti.

Kontrola hladiny paliva – zajištění dostatečné zásoby na minimálně **8 hodin provozu**.

Údržba akumulátorů – agregát je vybaven **nabíjecím systémem**, který udržuje startovací baterii v optimálním stavu.

Výměna oleje a filtrů – doporučený servisní interval podle výrobce agregátu. [16, 24, 26]

2.1.2 Popis automatizovaného systému řízení technologického procesu (ASŘTP) a přenos dat na dispečink

Řídicí systém je založen na průmyslovém automatu firmy Siemens, řada Simatic S7-1500 se vstupně/výstupními moduly typu ET200SP. Automat je umístěn v rozvaděči DT1, který se nachází v rozvodně ČS.

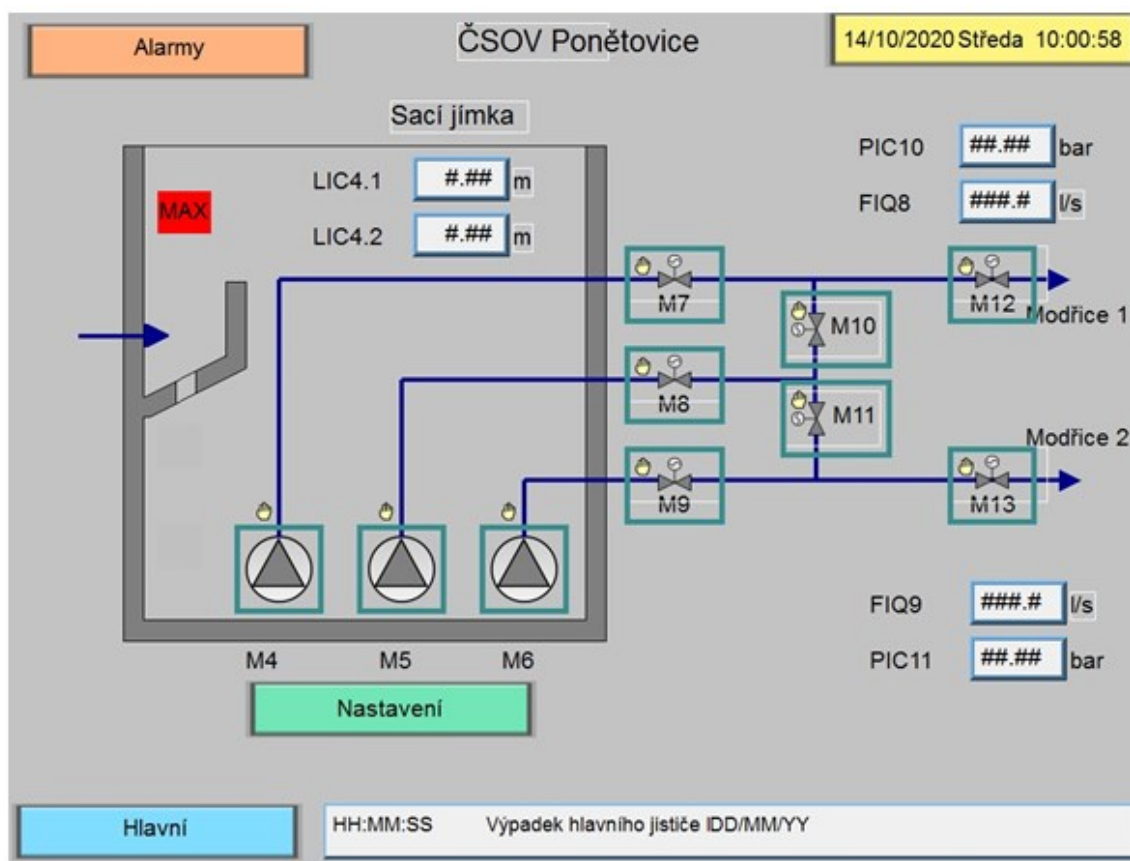


Obrázek 25 PLC Siemens [27]

V/V moduly získávají **informace od snímačů** (hladiny, teploty, průtoky atd.) a **stavu motorů, čerpadel a dalších zařízení**. Následně **ovládá akční členy** (ventily, klapky, čerpadla atd.).

Pro **monitorování, zadávání parametrů a sledování průběhů** je na dveřích rozvaděče DT1 umístěn **dotykový LCD displej firmy Weintek**.

Součástí rozvaděče DT1 je **radiomodem Conel CDA 70 pro komunikaci s vodárenským dispečinkem VaS Brno**. Data jsou na dispečink přenášena **protokolem ModBus RTU**. Radiomodem je propojen po komunikaci RS232 s řídicím systémem ET200SP. Řeší řízení, snímání provozních a poruchových stavů technologie ČSOV Ponětovice a přenos stavových a poruchových signálů na dispečink provozovatele. [27, 28]



Obrázek 26 Operátorský panel 1 [29]

Operátorský panel umožňuje sledování stavů zařízení, okamžitých hodnot měřených veličin a aktuálních poruchových stavů. Umožňuje zadávání požadovaných parametrů a mezí. [28, 29]

Alarmy **ČSOV Ponětovice** 14/10/2020 Středa 10:17:19

Nastavení

Čidlo hladiny (LIC4.1=1, LIC4.2=2) :	#	Timeout čištění :	##	min
Režim čerpání:	#	Denní doba čištění M4 :	##	hod ## min
Vypínací hladina :	##.##	m	Počet cyklů čištění M4:	##
Žádaná hladina :	##.##	m	Denní doba čištění M5 :	## hod ## min
Zapínací hladina :	##.##	m	Počet cyklů čištění M5:	##
Optimální průtok :	####	l/s	Denní doba čištění M6 :	## hod ## min
Výtlak čerpadla M5 :	#	Počet cyklů čištění M6:	##	
Zapínací hladina pro čištění :	##.##	m	Tlak výtlaku Modřice 1 - MIN :	##.## bar
Maximální hladina při čištění :	##.##	m	Tlak výtlaku Modřice 2 - MIN :	##.## bar
Doběh ventilátoru RM1 - M24 :	##	min		
Hladina před česlema pro alarm :	##.##	m		

Hlavní **Zpět**

Obrázek 27 Operátorský panel 2 [29]

2.1.3 Zabezpečovací systém ČS

Na čerpací stanici je nainstalován elektronický poplachový zabezpečovací systém (PZS), které slouží jak pro vnitřní ochranu, tak i pro ochranu (venkovního) perimetru. Systém je navržen, aby včas detekoval neoprávněný vstup a zajistil rychlou reakci bezpečnostních složek.

Technické řešení (obecný popis)

- Systém je tvořen ústřednou PZS, která zajišťuje napájení a řízení všech detekčních prvků.
- Vnitřní ochranu zajišťují pohybové PIR detektory rozmístěné v objektu ČS.
- Venkovní ochranu (perimetr) tvoří duální detekční bariéry (IR+MW) osazené na betonových patkách.
- Ovládání systému je realizováno pomocí klávesnice a zadáním přístupového kódu (zastřežení a dostřežení),

- Systém je propojen s řídicím systémem ČS, který eviduje stavy tohoto zařízení, konkrétně, zda je objekt zastřežen (zabezpečen) nebo zda došlo k narušení objektu. Informace o stavech se zobrazují na operátorském panelu na rozvaděči. Je schopný hlásit stav objektu v reálném čase. Zobrazuje tyto informace na dispečinku provozovatele ČS. [30]



Obrázek 28 Duální bariéra s dosahem až 200m [31]

- **Přenos dat a komunikace**

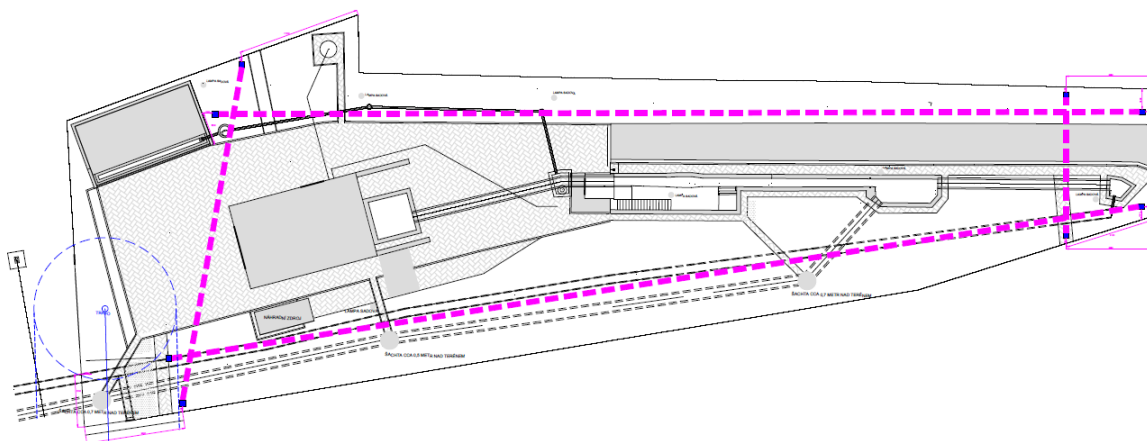
Systém je napojen na dohledové centrum firmy. SecuritMonit pomocí více komunikačních kanálů. Základ přenosu tvoří **komunikátor NEXUS**, který využívá **rádiový přenos dat** a zajišťuje přímé spojení s dispečinkem. Dále je zde **GSM modul**, který slouží jako **záložní komunikační linka**. V případě výpadku nebo narušení hlavní (rádiové) trasy se systém automaticky přepne na mobilní síť a odesílá stavová hlášení přes SMS. Automaticky je i informován provozovatel ČS ze svého ŘS.

Díky tomu má systém **dva nezávislé komunikační kanály**, což výrazně zvyšuje spolehlivost:

- **Nepřetržitou dostupnost** informací pro dohledové centrum
- **Zvýšenou bezpečnost a odolnost proti sabotáži**
- **Rychlé přepnutí** při poruše nebo výpadku hlavního přenosu

- Možnost vzdáleného monitoringu a ovládání systému

Tím je dosaženo vysoké úrovně bezpečnosti a spolehlivosti, která odpovídá požadavkům na ochranu kritické infrastruktury, jako je čerpací stanice odpadních vod. [28, 30]



Obrázek 29 Sřežený perimetr [32]

2.2 Zhodnocení požárních rizik

V této podkapitole jsou zhodnocena požární rizika na základě výpočtu, který je uveden v normě ČSN 73 0804 ed.2 – požární bezpečnost staveb, výrobní objekty. Sofistikovaným řešením by bylo tento výpočet realizovat pomocí některého z programů, jako je Winfire office 4 nebo NX804 – PRO. Bohužel po vyzkoušení demo verze programu Winfire, která nefungovala, bylo od tohoto záměru upuštěno a výpočet byl realizován na základě normy.

Hodnocen bude pouze požární úsek rozvodny, kde je umístěno vybrané zařízení, které bude v rámci práce testováno.

2.2.1 Základní pojmy

Pro stanovení požárního rizika požárního úseku rozvodna v rámci objektu ČSOV Ponětovice, využijeme normu ČSN 73 0804 ed.2. Výpočet je založen na experimentálních požárech a matematických modelech. V normě je uveden jak zjednodušený postup, tak i podrobný výpočet. Požární riziko u výrobních objektů se vyjadřuje buď ekvivalentní dobou požáru (τ_e) nebo pravděpodobnou dobou trvání požáru (τ). K výpočtu využíváme tyto parametry:

Požární zatížení vyjadřuje množství hořlavých látek v požárním úseku. U zjednodušené metody je použito prosté požární zatížení (**p**), které je součtem nahodilého

požárního zatížení (**pn**) a stálého požárního zatížení (**ps**). Nahodilé zatížení se vztahuje na látky, které nejsou trvale součástí konstrukcí (kabely, zařízení, dokumentace v rozvodně atd.). Stálé zatížení zahrnuje hořlavé látky v konstrukcích, které nejsou nosné nebo požárně dělící (podlahy, okna atd.). Hodnoty **pn** lze použít z normovaných tabulek nebo stanovit podrobně, **ps**.

Při podrobném výpočtu používáme průměrné požární zatížení **p** pro celý požární úsek, zohledňuje se zde i výhřevnost látek. Pokud se v části požárního úseku vyskytuje výrazně vyšší koncentrace hořlavých látek provozního charakteru, stanoví se místně soustředěné požární zatížení (**pm**). Podmínky pro vznik **pm** jsou definovány plochou a hodnotou zatížení ($S_s > 50 \text{ m}^2$ a zároveň $2p$ nebo $2\bar{p} < p_m < 50 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$). [33, 34, 35, 36, 37]

Parametr odvětrání F_o charakterizuje přísun kyslíku do prostoru požáru. Stanovuje se na základě plochy a výšky otvorů (okna, dveře atd.) v obvodových a střešních konstrukcích daného požárního úseku. Pro požární úsek bez otvorů nebo s malými otvory je uvažována minimální hodnota. Naopak pro úseky s velkými otvory pak maximální hodnoty.

Součinitel c vyjadřuje vliv aktivních požárně bezpečnostních zařízení a opatření (PBZ) na intenzitu požáru a ekonomické riziko. Intenzitu požáru snižují činitelé jako: samočinné stabilní hasicí zařízení, rychlý zásah jednotek požární ochrany, samočinné odvětrávací zařízení. U rozvodny mohou hrát roli např. detekční a signalizační systémy nebo specifické hasicí zařízení.

Součinitel k_3 je poměrem mezi povrchovou plochou stavebních konstrukcí (**S_k**) a půdorysem požárního úseku (**S**). Povrchová plocha zahrnuje i plochy požárně dělících konstrukcí, které ohraničují požární úsek (stěny, stropy atd.), lze sem zahrnout i jiné příčky bez požární odolnosti.

Rychlost odhořívání (v_v, v_p) se využívá u podrobného výpočtu pravděpodobné doby požáru. Rozlišuje se rychlost odhořívání řízená kyslíkem (**v_v**) a rychlost odhořívání řízená povrchem paliva (**v_p**).

Přepočtové parametry odvětrání F_1 a F_2 slouží k úpravě parametru **F_o** s ohledem na tepelně – technické vlastnosti stavebních konstrukcí při stanovení teplotní křivky a k přepočítání pravděpodobné doby trvání požáru na ekvivalentní dobu požáru pomocí normových tabulek. [33, 34, 35, 36, 37]

Na základě výše uvedených parametrů se stanoví ekvivalentní doba požáru (τ_e) nebo pravděpodobná doba požáru (τ , τ_m), která se přepočítá na ekvivalentní dobu požáru. Vypočítaná ekvivalentní doba požáru slouží ke stanovení stupně požární bezpečnosti (SPB) daného požárního úseku. Z toho následně vyplývají požadavky na požární odolnost stavebních konstrukcí. V případě výskytu místně soustředěného zatížení se požární riziko stanoví pro vymezenou část požárního úseku a konstrukce v této části se navrhuje s ohledem na vyšší riziko.

Stupeň požární bezpečnosti (SPB) vyjadřuje odolnost stavebních konstrukcí jako celku čelit požáru jak co do stability konstrukce objektu, tak i šíření požáru. Podle normy **ČSN 73 0804** u výrobních a skladovacích objektů, existuje **5 stupňů (SPB 1–5)**: Dále je ještě zohledněn počet pater budovy, kdy při počtu vyšším než 2, bereme v potaz ještě SPB 6 a 7.

Tabulka 3 Stupně SPB [vlastní, dle 33]

SPB	Riziko	Min.požární odolnost	Požární zařízení (EPS, EZS)	Příklad
1	Velmi vysoké (hořlaviny, výbušniny)	REI 120	Povinné	Výroba výbušnin
2	Vysoké (hořlavý materiál)	REI 90	Většinou povinné	Lakovna
3	Střední (běžná výroba, dílna)	REI 60	Dle rozsahu výroby	Montážní hala, kovovýroba
4	Nízké (lehká výroba, málo hořlavin)	REI 30	Většinou se nevyžaduje	Ruční dílna
5	Velmi nízké (rozvodny, montáže bez hořlavin)	Neurčuje se	Nepovinné (doporučeno)	Elektro rozvodna

Kromě požárního rizika intenzity požáru se stanovuje a posuzuje také ekonomické riziko. To vyjadřuje potenciální škody na majetku a je vyjádřeno pomocí indexu pravděpodobnosti vzniku a rozšíření požáru (**P1**) a indexu pravděpodobnosti rozsahu škod (**P2**). Stanovuje se pro každý požární úsek, výjimkou je např. otevřené technologické zařízení, které se posuzuje jako celek. Pro výpočet je potřeba znát tyto parametry:

- pravděpodobnost vzniku a rozšíření požáru p_1 , která je zvolena podle druhu provozu (elektrická rozvodna)
- pravděpodobnost rozsahu škod (p_2) dle druhu provozu
- součinitel c , který zohledňuje vliv aktivních PBZ
- půdorys požárního úseku (S)
- součinitel vlivu počtu podlaží (k_5)
- součinitel vlivu konstrukčního systému (k_6)
- součinitel vlivu následných škod (k_7), který závisí na charakteru potenciálních škod v požárním úseku

Na základě hodnot P_1 a P_2 se stanovuje mezní půdorysná plocha požárního úseku (**S_{max}**) a případně se uvažuje nezbytná instalace dalších požárně bezpečnostních zařízení. [33, 34, 35, 36, 37]

Jelikož z projektové dokumentace nelze přesně určit konkrétní hodnoty požárního zatížení – typy a množství kabelů, transformátorů atd., bude pro výpočet použita standardizovaná hodnota nahodilého požárního zatížení, která se nachází v příloze A normy ČSN 73 0802 ed.2.

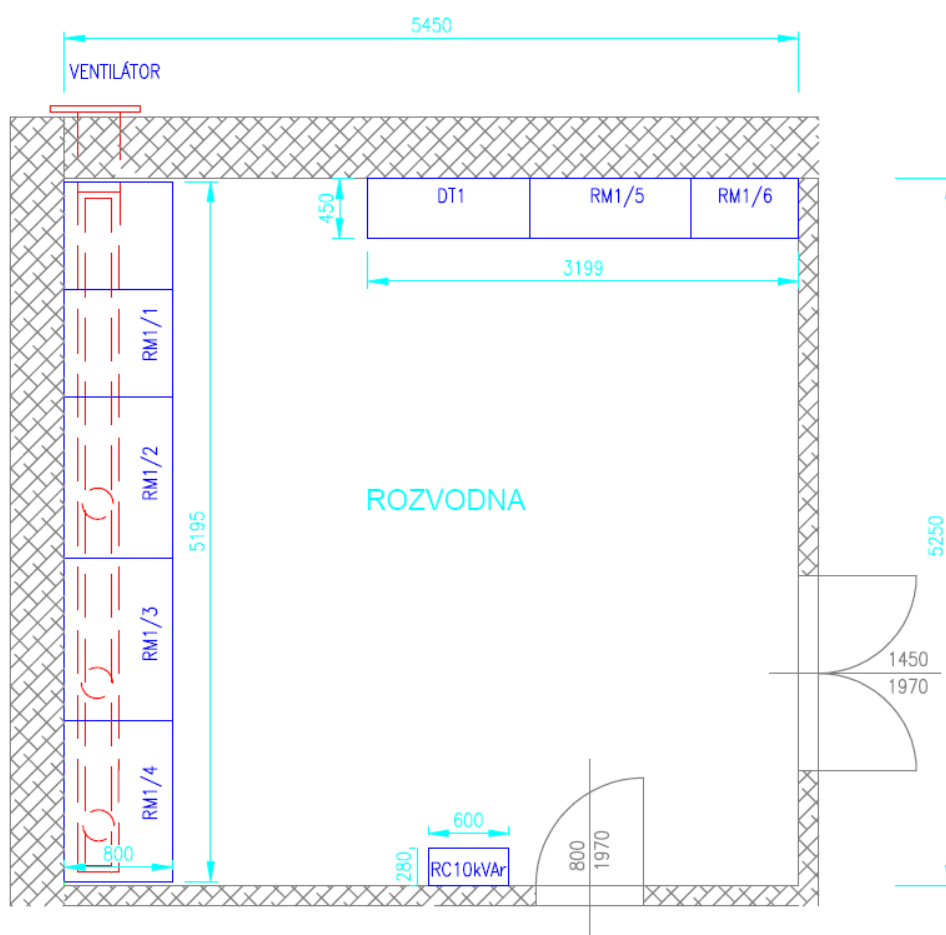
15.2	Energocentra, rozvodny:		
	a) bez olejových vypínačů	0,8	25
	b) s olejovými vypínači	0,9	35

Obrázek 30 ČSN 73 0802 ed.2 Příloha A [34]

Vstupní údaje

Základní údaje:

- Plocha místnosti: $5,45 \times 5,25 \text{ m} = 28,6125 \text{ m}^2$
- Výška místnosti (hs): **3,5 m**
- Otvory: dveře $800 \times 1970 \text{ mm}$ (**$1,576 \text{ m}^2$**), vrata $1450 \times 1970 \text{ mm}$ (**$2,8565 \text{ m}^2$**)
- Celková plocha otvorů: **$4,4325 \text{ m}^2$**
- Konstrukce: **železobetonová** (nehořlavá)
- Počet podlaží: **2** (přízemí + patro)



Obrázek 31 Půdorys rozvodny s rozmístěním rozvaděčů [vlastní]

Požární zatížení:

- **Nahodilé požární zatížení (pn):** Rozvodna bez olejových vypínačů:
 $p_n = 25 \text{ kg/m}^2$ (dle ČSN 73 0802 ed.2, příloha A – standardizované hodnoty provozního zatížení). Další případnou uvažovanou hodnotou z tabulky by mohly být Prostory měničů a usměrňovačů: $p_n = 55 \text{ kg/m}^2$.
- **Stálé požární zatížení (ps):** Betonová konstrukce s běžnými dveřmi a podlahou: $p_s \approx 5 \text{ kg/m}^2$ (Hodnoty stálého požárního zatížení lze určit dle ČSN 73 0804 ed.2, čl. 6.3.1–6.3.5 a tabulky 1).

Celkové požární zatížení: $p = p_n + p_s = 25 + 5 = 30 \text{ kg/m}^2$ (nebo 60 kg/m^2) (Celkové požární zatížení odpovídá představě hmotnosti suchého dřeva ekvivalentní výhřevnosti na 1 m^2 - viz poznámka k čl. 6.3.6 ČSN 73 0804 ed.2). [33, 34, 35, 36, 37]

Parametr odvětrání Fo:

- $F_o = \Sigma(S_{oi} \times \sqrt{h_{oi}}) / S_k$
 - $S_k = 28,61 \text{ m}^2 \times k_3 \approx 85,83 \text{ m}^2$ (kde k_3 odhadnuto dle ČSN 73 0804 ed.2, čl. 6.4.5 a tabulky 2)
 - Kde S_{oi} je plocha otvoru v m^2 , h_{oi} jeho výška v m a S_k celková plocha obklopujících konstrukcí v m^2
 - V našem případě: $F_o = 6,22 / 85,83 \approx 0,0725 \text{ m}^{1/2}$ [33, 34, 35, 36, 37]

Vypočet ekvivalentní doby požáru (τ_e):

- Použita zjednodušená rovnice dle ČSN 73 0804 ed.2, čl. 6.2.2:
 - $\tau_e = (p \times c) / (k_3 \times F_o)$
 $p = 30 \text{ kg/m}^2$ (součet p_s a p_n)
 $c = 1,0$ (bez aktivních požárních bezpečnostních zařízení, viz čl. 6.3.6)
 $k_3 = 3,0$ (poměr S_k/S , viz čl. 6.4.5)
 $F_o = 0,0725 \text{ m}^{1/2}$
 - Výpočet: $\tau_e = (30 \times 1) / (3 \times 0,0725) \approx 138 \text{ minut}$

Ekvivalentní doba požáru je doba, po kterou normový požár působí na konstrukce stejnou teplotou jako reálný požár (definice dle čl. 2.2 ČSN 73 0804 ed.2). [33, 34, 35, 36, 37]

Stupeň požární bezpečnosti (SPB):

- Podle tabulky G.1 přílohy G ČSN 73 0804 ed.2
- $\tau_e = 138$ minut $\rightarrow$ odpovídá **V. stupni požární bezpečnosti (SPB)** – budova má 2 patra, viz. obr. 32
- Vyšší SPB znamená přísnější požadavky na požární odolnost konstrukcí

Počet podlaží podle 5.3.6	Nejnižší stupeň požární bezpečnosti požárního úseku nebo jeho vymezené části						
	I.	II.	III.	IV.	V.	VI.	VII.
	podle součinu ekvivalentní doby trvání požáru a součinitele bezpečnosti k_8 $\tau_e \cdot k_8$, popř. $\tau_e \cdot k_8$ nebo $\tau_{em} \cdot k_8$						
do dvou podlaží	do 25	50	80	120	>120	–	–
nad dvě podlaží	do 15	30	45	60	90	120	> 120

Obrázek 32 Stanovení stupně požární bezpečnosti dle ČSN 73 0804 ed.2, Tabulka 8 [33]

Ekonomické riziko:

- Výpočet indexů podle ČSN 73 0804 ed.2, čl. 6.6.1 a příloha F:
 - $p_1 = 0,4$ (elektrozvodna, viz tabulka F.2)
 - $p_2 = 0,5$ (střední rozsah škod)
 - $c = 1,0$ (bez PBZ)
 - $k_5 = 1,0$ (do 2 podlaží)
 - $k_6 = 1,0$ (nehořlavý konstrukční systém, viz tab. F.4)
 - $k_7 = 1,0$ (běžné následné škody, viz tab. F.5)
- Výpočty:
 - $P_1 = 0,4 \times 1 \times 1 = 0,4$
 - $P_2 = 0,5 \times 1 \times 1 \times 1 = 0,5$

Mezní plocha požárního úseku:

- Podle ČSN 73 0804 ed.2, příloha F:
 - Pro $P_1 = 0,4$ a $P_2 = 0,5$ vychází maximální půdorysná plocha požárního úseku **$S_{max} \approx 150 \text{ m}^2$** .
- Místnost rozvodny s plochou **$28,61 \text{ m}^2$** je bezpečně pod tímto limitem → není nutné dělení požárního úseku. [33, 34, 35, 36, 37]

2.2.2 Opatření na základě výpočtu SPB

Na základě výpočtů objekt spadá do SPB V. stupně, což znamená nejnižší riziko. Nicméně v rozvodně jsou umístěny frekvenční měniče, takže pro detailnější výsledek by mělo být zpracováno samostatné technické posouzení požárního rizika zařízení (dle ČSN 33 2000-5-51, není předmětem této práce), zajištěno větrání a chlazení, ideálně i detekce přehřátí a vhodné hasicí přístroje v dosahu.

Návrh základních opatření:

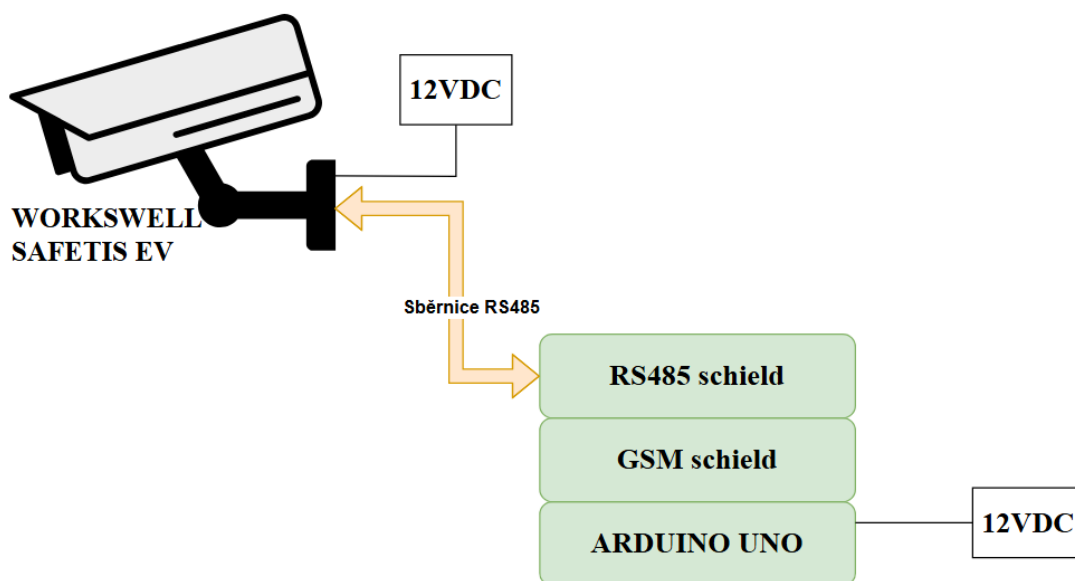
- **technologická a konstrukční:** provoz FM dle doporučení výrobce, chlazení, odvětrání, kabely s odpovídající třídou reakce na oheň, utěsnění kabelových prostupů, rozvodna konstrukčně oddělena od jiných provozů
- **hasební prostředky:** hasicí přístroj, každoroční revize, správné umístění a označení
- **detekce, signalizace:** instalace teplotních detektorů, požárních hlásičů, EPS, signalizace při zvýšení teploty či poruše chlazení
- **únikové cesty:** označení únikových cest, přístup pouze oprávněné osoby
- **školení a dokumentace:** zpracované PBŘ, pravidelné revize elektro a hasicích přístrojů, školení zaměstnanců

2.2.3 Seznam použitých norem a právních předpisů

- **ČSN 73 0804 ed.2** – Požární bezpečnost staveb – Výrobní objekty
- **ČSN 73 0802 ed.2** – Požární bezpečnost staveb – Nevýrobní objekty (pro tabulky požárního zatížení)
- **ČSN 33 2000-6** – Elektrické instalace nízkého napětí – Revize
- **ČSN EN 61936-1 ed.2** – Elektrická zařízení – Obecné požadavky (pro zařízení VN a VVN)
- **Zákon č. 250/2021 Sb.** – o bezpečnosti práce v souvislosti s provozem vyhrazených technických zařízení
- **Nařízení vlády č. 194/2022 Sb.** – o požadavcích na odbornou způsobilost v elektrotechnice
- **ISO 13790** – Energy performance of buildings – Calculation of energy use for space heating and cooling (pouze orientačně pro návrh tepelné zátěže)

3 POPIS HARDWEROVÉHO A SOFTVÉROVÉHO ŘEŠENÍ ČSOV PONĚTOVICE

V této kapitole budou popsány parametry a technické vybavení kamery Safetis EV. Dále se kapitola bude věnovat popisu open source platformě Arduino, a popisu modulu RS 485 a jeho propojení s Arduinem.



Obrázek 33 Základní schéma sestavy [vlastní]

V jednotlivých podkapitolách budou detailně rozebrány komponenty sestavy, které jsou znázorněny na schématu výše.

3.1 Kamera Safetis EV

Kamera firmy Workswell SAFETIS EV, je chytrá stacionární termokamera, navržená pro včasnou detekci horkých bodů a prevenci požárů v náročných průmyslových i bezpečnostních provozech. Díky svému vestavěnému vyhodnocovacímu systému funguje kamera zcela samostatně – bez nutnosti napojení na externí počítač nebo jiný hardware. Je ideální pro nepřetržité monitorování strojů, skladovacích prostor, technologií i kritických zařízení, kde hrozí vznik přehřátí nebo požáru. Kamera SAFETIS EV je vybavena pokročilým systémem výpočtů a alarmů a je schopna samostatně monitorovat teplotní anomálie. V případě potřeby dokáže aktivovat výstupy jako relé nebo tranzistorový signál. [38]



Obrázek 34 Kamera Sefetis EV [38]

3.1.1 Technické vybavení

Schopnosti detekce

Kamera SAFETIS EV je vybavena 19 200 aktivními teplotními čidly, která zajišťují rozsáhlé a podrobné monitorování prostředí, čímž zvyšují schopnost rychlé detekce požáru. Tato hustá síť čidel umožňuje zařízení účinně identifikovat bezpečnostní rizika a reagovat na ně, čímž se zvyšuje celková ochrana a bezpečnost ve sledovaném prostoru. Poskytuje komplexní pokrytí v širokém rozsahu teplot od -10 °C do 400 °C (14 °F až 752 °F) s teplotní citlivostí 0,1 °C. Kamera podporuje rozsáhlé možnosti přizpůsobení – až 32 ROI s možností duálního alarmu, otáčení obrazu o 180° a intuitivní signalizace LED pro okamžitou indikaci stavu. [38]

Inteligentní vyhodnocování

Kamera je vybavena vestavěným vyhodnocovacím systémem SMART, což znamená, že její operační systém je samostatný a ke svému fungování nevyžaduje připojení k žádnému dalšímu počítači nebo hardwaru. Tato funkce umožňuje efektivní a nezávislý provoz zařízení, zjednodušuje instalaci a snižuje potřebu dalšího vybavení. [38]

Dvojitá detekce poplachu

Kamera je vybavena dvouúrovňovým alarmovým systémem pro rychlou detekci teploty, který umožňuje přizpůsobit nastavení včetně digitálních nebo reléových výstupů pro každou oblast zájmu (ROI), což zahrnuje jak varovné, tak kritické alarmy. Tato funkce nabízí přizpůsobitelnou ochranu a účinnou reakci na teplotní anomálie, což zvyšuje bezpečnost a možnosti reakce v případě rizik. [38]

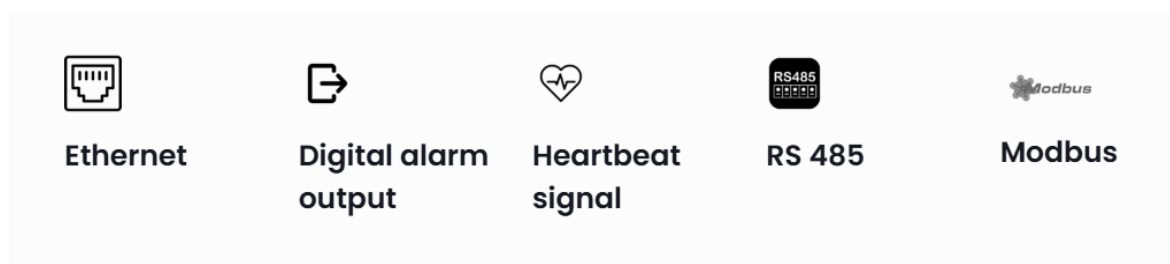
Řídicí protokol

Kamera komunikuje s ostatními zařízeními pomocí standardního protokolu Modbus RTU, a to buď prostřednictvím kabelového rozhraní RS485, nebo sítě Ethernet. Přestože je součástí balení speciální servisní software pro nastavení systému, díky univerzálnosti protokolu Modbus RTU lze použít jakýkoliv jiný kompatibilní software. [38]

Skenování oblasti

Funkce automatického skenování v reálném čase umožňuje nepřetržitě monitorovat a analyzovat prostředí a provádět až 9 skenů za sekundu. Tato vysoká rychlost skenování zajišťuje vysokou přesnost a okamžitou reakci na jakékoli změny ve sledované oblasti, což je klíčové pro účinnou prevenci a detekci rizik. [38]

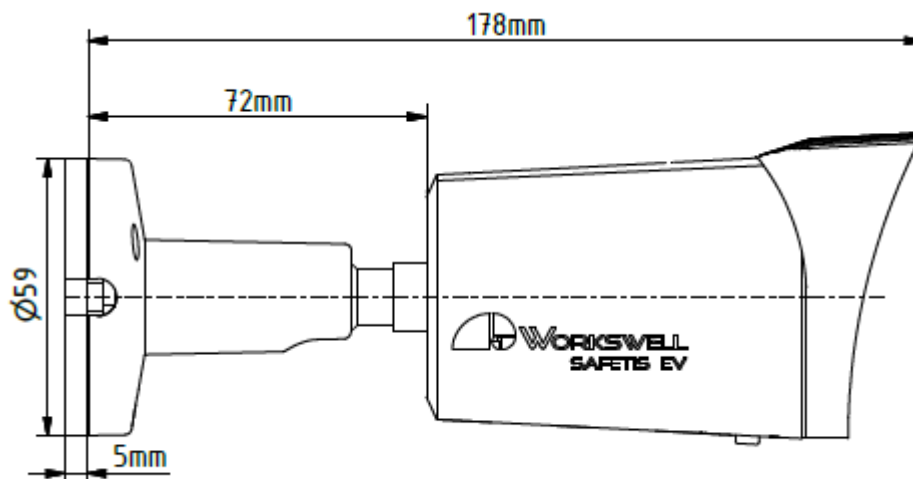
Připojení & rozhraní



Obrázek 35 Přípojná rozhraní kamery [39]

Konstrukce

Konstrukce kamery je navržena tak, aby vydržela i v nejnáročnějších průmyslových podmínkách. Je zapouzdřena v robustním hliníkovém těle, s krytím IP65 pro odolnost proti prachu a vodě. Rozsah provozních teplot: -5 °C až 50 °C, rozsah skladovacích teplot -35 °C až 80 °C. [38]



Obrázek 36 Rozměry Safetis EV [40]

Tabulka 4 Parametry Safetis EV [vlastní, vytvořeno 38, 39, 40]

Teplotní rozsah	-10 – 400 °C
Webový server	Integrovaný, vyhodnocovací funkce
Alarm	Duální – varovný a kritický
Detekce	9x/s
Kontrola aktivity kamery	Pulzní signál
HW	Integrovaný přímo v kameře

3.2 Arduino UNO R3

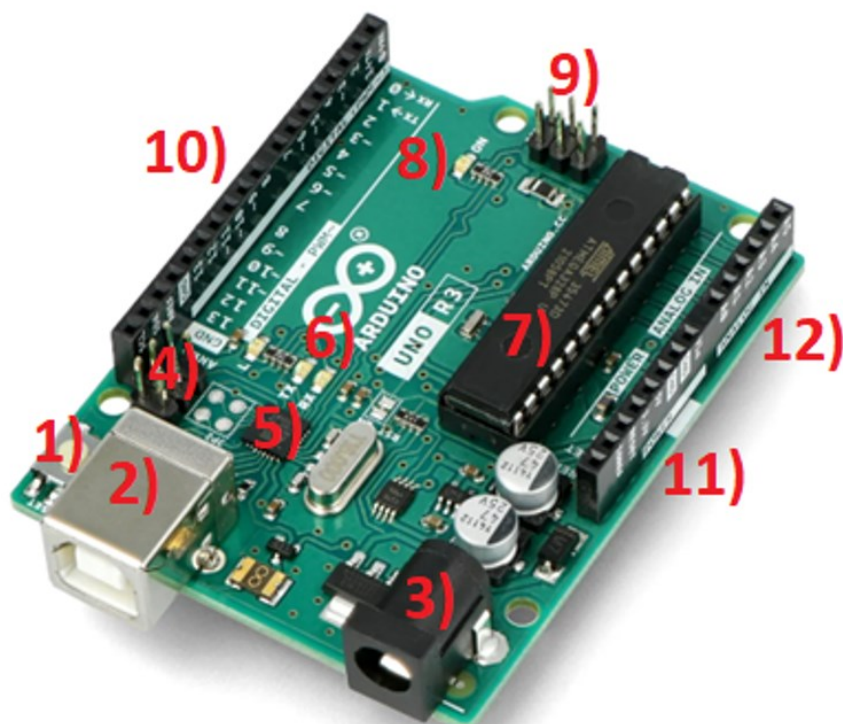
Arduino UNO R3 Arduino je oblíbená open-source platforma pro hobbyisty, inženýry a studenty, která umožňuje snadno programovat a sestavovat různé elektronické projekty. Návrhy hardwaru i zdrojové kódy softwaru jsou veřejně dostupné. Pro programování Arduina se používá vývojové prostředí (IDE), které vychází z projektů Wiring a Processing a nabízí zjednodušený jazyk podobný C/C++. Tyto desky byly primárně navrženy pro usnadnění výuky informatiky a elektroniky ve školách. Studenti mohli prakticky zkoumat, jak pomocí počítače ovládat různé elektronické součástky a zařízení. Silnou stránkou je snadné propojování s různými elektronickými komponentami, jako jsou LED diody, LCD displeje, servomotory, senzory atd. Důležitou součástí jsou standardizované patice, které umožňují snadné připojování rozšiřujících modulů, takzvaných "shieldů". Díky snadnému použití a široké podpoře komunity se Arduino stalo ideální volbou pro ty, kteří s elektronikou teprve začínají.

Arduino je mikrokontrolér, který funguje jako malý počítač a umožňuje ovládat různá elektronická zařízení a komponenty. Nejoblíbenějším modelem je Arduino Uno, k dispozici jsou ale i další verze, např. Arduino Nano nebo Mega 2560. Každý model má své specifické vlastnosti, ale všechny jsou navrženy tak, aby je zvládli bez problémů používat i začátečníci. [41]



Obrázek 37 Arduino UNO [42]

Pro náš projekt byl vybrán model **Arduino UNO** na webovém eschopu www.botland.cz. Přesný typ je Arduino® Uno Rev3 – je to originální modul od Arduino® Uno s mikrokontrolérem AVR ATmega328 ve vyjímatelném krytu. Jeho výbava je 32 KB Flash paměti, 2 KB RAM, 14 digitálních vstupů / výstupů, z nichž 6 lze použít jako kanály PWM, 6 analogových vstupů a populární komunikační rozhraní. [43]



Obrázek 38 Arduino UNO R3 [vlastní, upraveno z 43]

1) Číslo jedna označuje **resetovací tlačítko**. Toto tlačítko využíváme ke spuštění programu znovu od začátku. U různých typů Arduina se můžeme setkat i s odlišným umístěním tohoto tlačítka. Obvykle je ale toto tlačítko popsáno nápisem RESET.

2) **USB konektor typu B**. U nejstaršího modelu nalezneme místo USB sériový port. U některých novějších modelů se lze setkat s micro USB. Na některých deskách konektor chybí úplně, protože mají buď jiný způsob připojení (Ethernet, Bluetooth), nebo pro programování vyžadují připojení externího programátoru.

3) **Napájecí konektor**. V případě, že Arduino nebude napájeno z USB, lze pro tento účel využít tohoto konektoru.

4) **ICSP hlavice pro externí programování USB-serial převodníku**. U verzí bez převodníku nebo s převodníkem obsaženým v hlavním čipu ji nenajdeme. Pro běžného uživatele nemá využití.

5) **USB-serial převodník**. Je zodpovědný za komunikaci mezi hlavním čipem a PC. Zastává roli jakéhosi tlumočníka. Tento komponent opět nenajdeme u verzí bez převodníku nebo s převodníkem obsaženým v hlavním čipu.

6) **Indikační LED diody L, RX a TX**. Dioda s popisem L je hojně využívána. Je totiž připojena k výstupu číslo 13. Dá se s ní tedy otestovat blikání i bez připojené externí LED. Některá Arduina ji ale vůbec neobsahují. Diody s popisem TX a RX blikají v případě, že probíhá komunikace přes sériovou linku.

7) **Hlavní čip** celé desky. V různých podobách a typech se nachází na všech deskách.

- 8) **Indikační LED dioda ON.** Svítí, v případě připojeného napájení.
- 9) **ICSP hlavice pro externí programování hlavního čipu.** Využívají ji některé shieldy.
- 10) **Digitální piny.** Do těchto zdírek lze připojovat různé obvody. Vývody označené vlnovkou podporují PWM modulaci.
- 11) S velké většiny **napájecí výstupy Arduina.**
- 12) **Analogové vstupy.** Zde se připojují vodiče, na kterých budeme chtít měřit nějakou analogovou hodnotu. Dají se využít i jako digitální vstupy a výstupy. [43, 44]

3.2.1 Software Arduino IDE

Arduino IDE (zkratka pro integrated development environment, integrované vývojové prostředí) je software používaný pro práci s deskami Arduino. Jde o nástroj pro **psaní, ladění a nahrávání programů** (nazývaných skeče) do desky Arduino.

Arduino IDE je napsané v jazyce Java a vzniklo z výukového prostředí Processing, které bylo upraveno o určité funkce a podporu jazyka Wiring

Ačkoliv se často mluví o "programovacím jazyku Arduino", základem pro programování v Arduino IDE je ve skutečnosti jazyk C++, přičemž se pro zjednodušení používá knihovna Wiring, která je velmi rozšířená a občas se o ní mluví jako o samostatném jazyku. [44, 45, 46]

Arduino IDE si můžete **stáhnout ze dvou zdrojů**: Arduino.cc nebo Arduino.org, přičemž oba weby nabízejí vlastní verze IDE: <https://www.arduino.cc/> nebo <http://www.arduino.org>.

Doporučuje se stáhnout si poslední verzi pro váš operační systém (Windows, Linux, macOS).

Pro Arduino Uno není obvykle potřeba instalovat ovladače u originálních desek, zatímco neoriginální kopie nebo starší operační systémy (jako Windows 7, 8, 8.1 nebo macOS) mohou vyžadovat dodatečnou instalaci ovladačů, které naleznete ve složce Drivers v balíčku Arduino IDE.

Po připojení desky Arduino k počítači pomocí USB kabelu a spuštění Arduino IDE je nutné **nastavit správnou vývojovou desku** v menu Nástroje (Tools) -> Vývojová deska (Board) (např. Arduino Uno) a také vybrat **správný sériový port**, ke kterému je Arduino připojeno (obvykle v Tools -> Serial Port).... Pokud je v seznamu více portů, lze Arduino odpojit a zjistit, který port zmizel. [47]

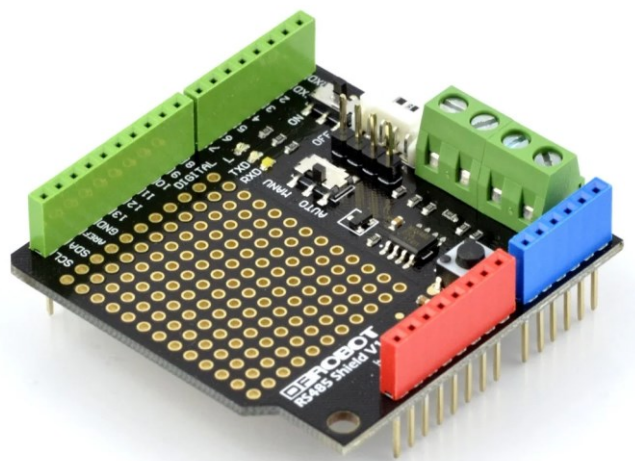
Kromě psaní a nahrávání programů nabízí Arduino IDE další funkce. Lze v něm **otevírat a nahrávat příklady** programů, jako je například základní příklad "BareMinimum" nebo "Blink". [44]

Arduino IDE také umožňuje **instalovat a spravovat knihovny**, které obsahují zdrojové kódy (zpravidla v jazyce C) a zjednodušují práci s různými komponentami. Knihovny lze instalovat ručně ze ZIP souboru do složky libraries v pracovním adresáři Arduina (např. v Dokumentech) nebo pomocí Správce knihoven v menu IDE. Pro práci s některými moduly, jako je ESP8266, je nutné **přidat URL adresy do Správce dalších desek** v nastavení IDE a nainstalovat příslušné nástroje. Arduino IDE také obsahuje **sériový monitor** (Serial monitor), který je důležitým nástrojem pro ladění programů a komunikaci s Arduinem za běhu programu, například pro čtení hodnot ze senzorů nebo posílání jednoduchých textových příkazů.

Arduino IDE je navrženo tak, aby zjednodušilo výuku programování. Je to základní a vhodný nástroj pro začátečníky v programování i elektronice. [44, 46]

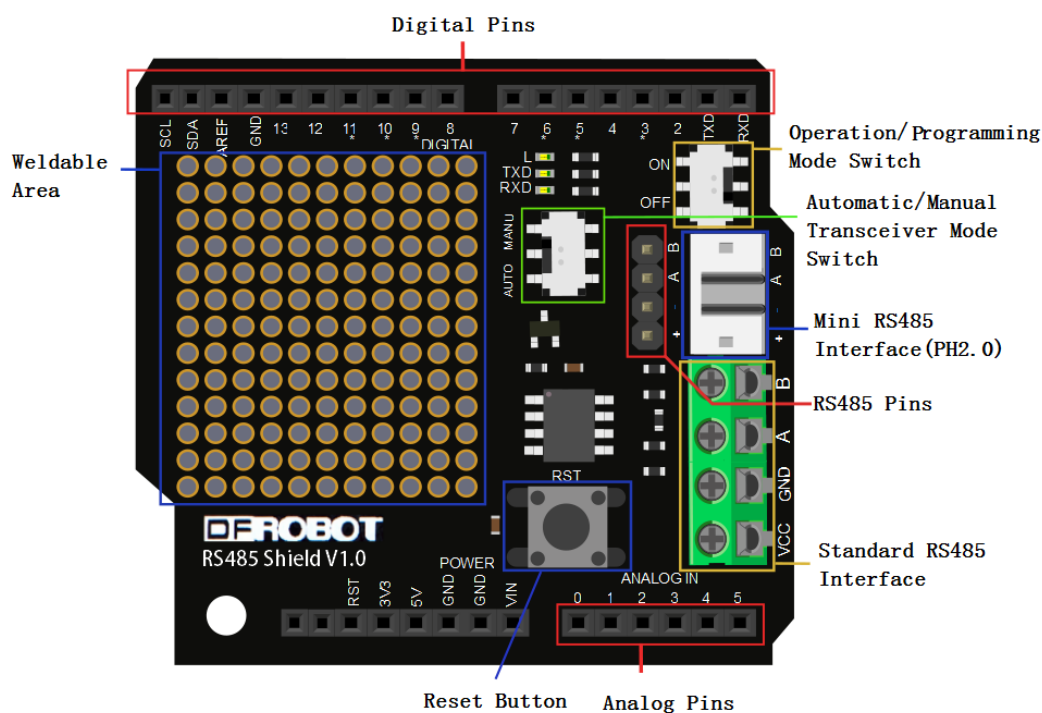
3.2.2 Modul RS485

Pro náš projekt a správné a jednoduché spojení s Arduinem byl vybrán kompatibilní shield, který se pomocí pinů přímo nasune na desku Arduina, typ: DFRobot RS485 Shield MAX485ESA, Index: DFR-02986, z <https://botland.cz>.



Obrázek 39 DFRobot RS485 [48]

Tento shield je speciálně navržený pro řídicí desku Arduino. Může snadno převést UART na RS485. Tento shield integruje standardní port RS485, mini port RS485 (rozhraní PH2.0), hlavičky RS485 a poskytuje pájecí oblasti pro další rozšíření projektů. Jedno tlačítko mění automatický a manuální režim přenosu, což rozšiřuje rozsah použití. Umožňuje přenos dat pomocí protokolu RS485, který umožňuje připojení až 32 zařízení na stejné lince o délce až 1 km s maximální rychlostí 10 Mb/s. [48, 49]



Obrázek 40 Detail modul RS485 [49]

Přepínač provozního a programovacího režimu: ON / OFF

Na desce jsou 4DIP přepínače, označené většinou SW1 – SW4 nebo 1 – 4. Tímto jsou propojeny konkrétní piny z Arduina s RS485 čipem.

Funkce dle dokumentace:

Tabulka 5 Funkce [vlastní, na základě 48, 49]

Přepínač	Funkce	Význam
SW1	TX	Připojí TX (D1) Arduina k RS485 čipu
SW2	RX	Připojí RX (D0) Arduina k RS485 čipu
SW3	DE	Připojí pin D2 (nebo jiný) pro řízení přenosu
SW4	RE	Připojí pin D3 (nebo jiný) pro řízení příjmu

Toto určuje **směr řízení komunikace (přenos nebo příjem)** na RS485.

Provozní režim (ON) vs. programovací režim (OFF)

Provozní režim (ON)

- Přepínače SW1 a SW2 jsou ON → Arduino je připojeno k RS485 → může komunikovat. Pozor, ale v tomto režimu nelze nahrávat program přes USB, protože jsou obsazené piny RX a TX.

Programovací režim (OFF)

- Přepínače SW1 a SW2 jsou OFF → Arduino není připojeno k RS485 → lze nahrávat nový kód (program) přes USB bez kolize na RX/TX. SW3 a SW4 lze nechat ON/OFF podle toho, jestli je nutné řídit DE/RE z Arduina i během programování. [48, 49]

Přepínač AUTO / MAN: (automatický vs. manuální režim)

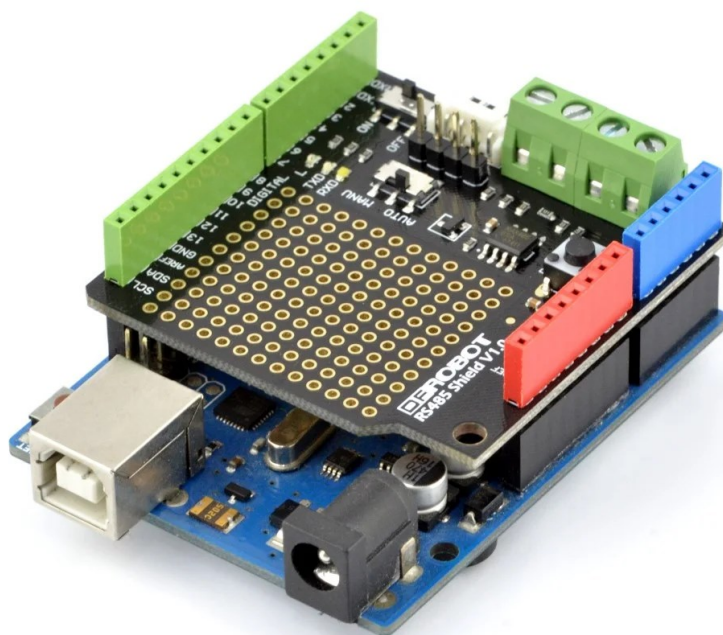
- AUTO
 - RS485 shield automaticky přepíná mezi vysíláním a přijímáním, bez nutnosti ovládat piny DE/RE
 - nejjednodušší použití, vhodné pro většinu běžných aplikací.
- MAN
 - je nutno řídit piny DE (Data Enable) a RE (Receive Enable) z Arduina (např. pinem D2/D3)

- pokud je potřeba mít plnou kontrolu nad časováním přenosu, nebo v náročném prostředí

Pokud to shrneme, tak režim AUTO zjednodušuje práci a celý proces řídí sám, v některých případech ale může být MAN režim přesnější, pokud je potřeba přesně řídit směr komunikace (např. v half-duplex protokolech). [48, 49]

Tabulka 6 Přepínač AUTO/MAN [vlastní, na základě 48, 49]

Režim	Co dělá	Kdy použít
AUTO	RS485 shield automaticky přepíná mezi vysíláním a přijímáním, bez nutnosti ovládat piny DE/RE	Nejjednodušší použití, vhodné pro většinu běžných aplikací
MAN	Musíš sám řídit piny DE (Data Enable) a RE (Receive Enable) z Arduina – např. pinem D2/D3	Pokud chceš mít plnou kontrolu nad časováním přenosu, nebo v náročném prostředí



Obrázek 41 Ukázka Arduina s RS485 schieldem [48]

- UART (Universal Asynchronous Receiver/Transmitter) je běžné sériové rozhraní, které používá Arduino (piny TX a RX).
- RS485 je průmyslový sériový komunikační standard – umožňuje komunikaci na velkou vzdálenost a mezi více zařízeními (např. ve sběrníkové topologii).
- Tento shield převádí signály z UARTu na RS485 – tzn. Arduino může komunikovat s jinými zařízeními přes RS485 sběrnici. [50]

3.2.3 Modul GSM

Pro odesílání hlášení teplot z měřené oblasti byl vybrán GSM shield, který je navržený pro spolupráci jak s Arduinem tak i Raspberry Pi, umožňuje komunikaci prostřednictvím GSM/GPRS sítí. Díky tomuto jsme schopni s mikrokontrolérem nebo jednodeskovým počítačem odesílat a přijímat SMS, uskutečňovat hlasové hovory, přenášet data přes GPRS a využívat funkce jako DTMF.

Typ: A-GSM II Shield GSM / GPRS / SMS / DTMF v.2.105 verze s pájenými konektory, Index: RPI-05405 z www.botland.cz. [51]



Obrázek 42 A-GSM II Shield GSM [51]

Hlavní vlastnosti GSM shieldu:

Dual SIM sloty: Umožňují připojení dvou SIM karet, což poskytuje flexibilitu při výběru operátora nebo záložnímu připojení (850 / 900 / 1800 / 1900 MHz).

Podpora GSM/GPRS: Zajišťuje hlasové hovory, SMS a datové přenosy.

DTMF dekodér: Umožňuje detekci tónů z telefonního hovoru, což je užitečné pro dálkové ovládání.

Slot pro microSD kartu: Umožňuje ukládání dat, například logování senzorových údajů (až 32 GB).

Audio vstup/výstup: Pro připojení mikrofону a reproduktoru, což umožňuje hlasovou komunikaci.

USB port: micro USB (typ B), použitelný i pro napájení

Spojení s Arduinem pomocí standardních konektorů přímo nasazením na hlavní desku, které lze vidět na obrázku č.38. [51]



Obrázek 43 Arduino s GSM shieldem [51]

Ovládací prvky a rozhraní:

Tlačítka: POWER ON/OFF, RESET, USER.

LED indikace:

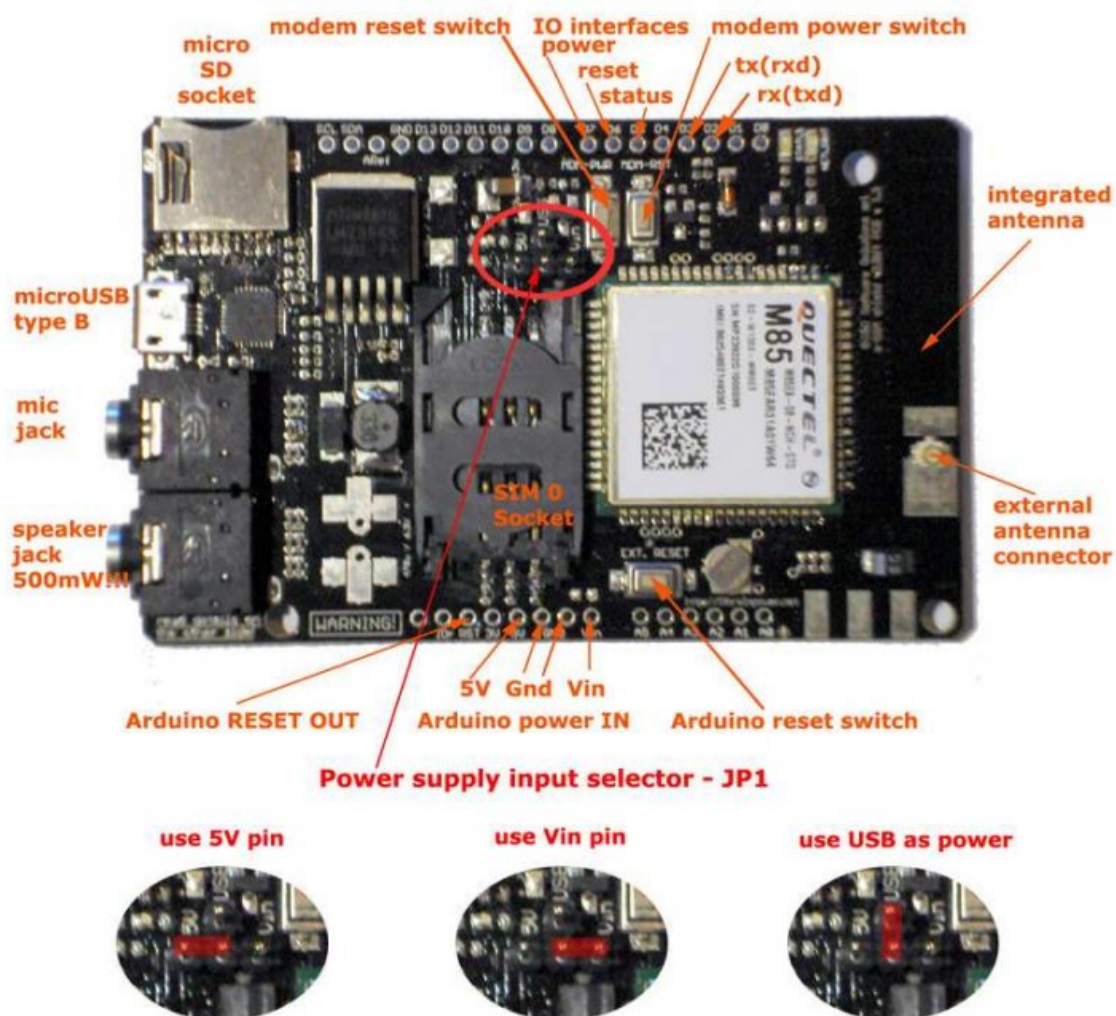
- status LED – ukazuje stav napájení modulu (žlutě svítí)
- GSM mode LED – bliká podle stavu připojení do sítě (vyhledávání sítě bliká 2x /s červeně, pokud je GSM připojen bliká červeně cca 1x /3 s)

Napájení: GSM moduly potřebují během odesílání SMS / GPRS až 2 A ve špičce, a to stabilní 3.6–4.2 V:

- Přes Arduino 5V, (jumper nastavený na Vin),
- USB konektor na GSM modulu (jumper nastavený na USB).

Ovládání přes piny (Arduino):

- D2 = TX (z Arduina do modulu)
- D3 = RX (z modulu do Arduina)
- D5 = STATUS
- D6 = RESET modulu
- D7 = POWER ON/OFF
- RST = reset Arduina
- GND, 5V, Vin – napájení



Obrázek 44 GSM shield popis částí [51]

Pro zlepšení signálu byla použita externí anténa MiniMag GSM 3G 4G 6dbi SMA. Anténa pracuje na frekvencích od 890 do 960 MHz, od 1710 do 2150 MHz, od 2600 do

2670 MHz. Anténa je vybavena magnetickou základnou pro snazší instalaci v průmyslu např. na rozvaděčích, její zisk je až 6dbi. [51]



Obrázek 45 Externí anténa 6dbi [52]

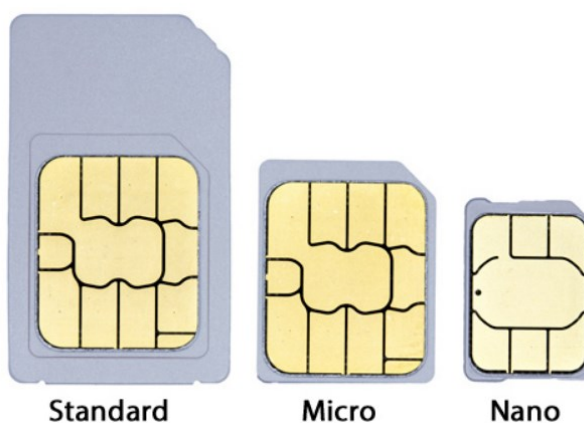
Pro vybraný GSM Shield potřebujeme klasickou (standardní) SIM kartu, tedy největší velikost SIM – **standard**.

Typy SIM karet:

Standardní SIM (Full-size), rozměry cca 25 x 15 mm

Micro SIM (menší), rozměry cca 15 x 12 mm

Nano SIM (nejmenší), rozměry cca 12,3 x 8,8 mm



Obrázek 46 Velikosti SIM karet [53]

Dále je nutno zvolit mobilní tarif. Z důvodu spolehlivosti je dobré volit paušální tarif. Je dobré se vyhnout předplaceným SIM kartám z důvodu potřebné kontroly a častého dobíjení kreditu. Někteří operátoři nabízejí tarif pro zabezpečovací (tzv. mlčících) zařízení nebo pro ovládání inteligentních zařízení.

Aktuální nabídka O2 a Vodafone:

O2 – Tarif Machine

Měsíční paušál: 19 Kč

Cena SMS: 1,94 Kč

Aktivační poplatek: 99 Kč jednorázově

Je přímo určen pro zařízení komunikující přes SMS. Navíc je dostupný pro jednotlivce bez nutnosti firemní smlouvy. [54]

Vodafone – Business Mini

Měsíční paušál: 25 Kč

Volné jednotky: 20 minut volání do všech sítí

Cena SMS: 1,51 Kč

Aktivační poplatek: není

Tento tarif je vhodný pro zařízení, která potřebují minimální objem volání a odesílání SMS, jako jsou zabezpečovací systémy atd. Je však třeba poznamenat, že tarif je součástí nabídky pro stávající zákazníky (je tedy neveřejný, sjednání možné pouze telefonicky).

Z porovnání těchto tarifů, vychází lépe tarif od O2, má nižší měsíční paušál, je dostupný pro jednotlivce, díky potřebě pouze odesílat SMS z vybraného zařízení.

3.3 Technický slovník

Níže jsou stručně vysvětleny základní pojmy, které jsou nutné pro pochopení problematiky.

3.3.1 Programovací jazyk C/C++

- **Jazyk C je procedurální programovací jazyk**, který byl vyvinut v 70. letech. Je velmi **nízkoúrovňový** (blízko strojovému kódu), a proto se používá pro psaní **systémového softwaru**, jako jsou operační systémy např. Unix, části Windows, Linux.
 - **Hlavní vlastnosti jazyka C:** rychlý a efektivní, velmi dobrý přístup k hardwaru (např. paměť, adresování), jednoduchá syntaxe, není objektově orientovaný, není "bezpečný" – programátor si musí sám hlídat paměť (např. malloc/free).
- **Jazyk C++ je rozšíření jazyka C**, které přidává **objektově orientované programování** (OOP). Vyvinut byl v 80. letech. Můžeš v něm psát jak **nízkoúrovňové**, tak **vysokoúrovňové** programy.
 - **Hlavní vlastnosti jazyka C++:** zahrnuje vše z jazyka C (C++ je „nadstavba“), má objekty, třídy, dědičnost, polymorfismus, podporuje šablony (generické programování), má standardní knihovny s kontejnery (např. std::vector, std::map), lepší nástroje pro správu paměti (např. new/delete, chytré ukazatele). [55, 56]

Tabulka 7 Hlavní rozdíly mezi C a C++ [55, 56]

Vlastnost	C	C++
Styl	Procedurální	Objektově orientovaný i procedurální
Třídy / objekty	Ne	Ano
Šablony	Ne	Ano
Knihovna STL	Ne	Ano (Standard Template Library)
Správa paměti	Ručně (malloc/free)	New/delete + chytré ukazatele
Použití	Systémové programy, firmware	Hry, aplikace, GUI, knihovny

Ukázka jednoduchého kódu v C a pak v C++ pro srovnání:

Program, který načte dvě čísla, sečte je, a vypíše výsledek.

Verze C:

```
#include <stdio.h>

int main() {
    int a, b, suma;

    printf("Zadej první číslo: ");
    scanf("%d", &a);

    printf("Zadej druhé číslo: ");
    scanf("%d", &b);

    suma = a + b;
    printf("Součet je: %d\n", suma);

    return 0;
}
```

Používá printf, scanf, žádné objekty, všechno se děje "procedurálně".

Verze C++:

```
#include <iostream>

int main() {
    int a, b;

    std::cout << "Zadej první číslo: ";
    std::cin >> a;

    std::cout << "Zadej druhé číslo: ";
    std::cin >> b;

    int suma = a + b;
    std::cout << "Součet je: " << suma << std::endl;

    return 0;
}
```

Používá `std::cin`, `std::cout`, což je modernější způsob práce s konzolí. [55, 56]

3.3.2 Rozhraní RS485

V průmyslu se často používá rozhraní RS-485, protože umožňuje propojit více zařízení (např. senzory, řídicí jednotky) na jednu komunikační linku. To je možné díky tzv. vícebodové topologii, kde může být na sběrnici připojeno až 32 zařízení – a ještě víc, pokud použijeme zesilovače signálu.

RS-485 pracuje s diferenciálním signálem, což znamená, že data jsou přenášena po dvou vodičích (A a B) jako rozdíl napětí. Díky tomu je odolný proti rušení a funguje spolehlivě i na větší vzdálenosti.

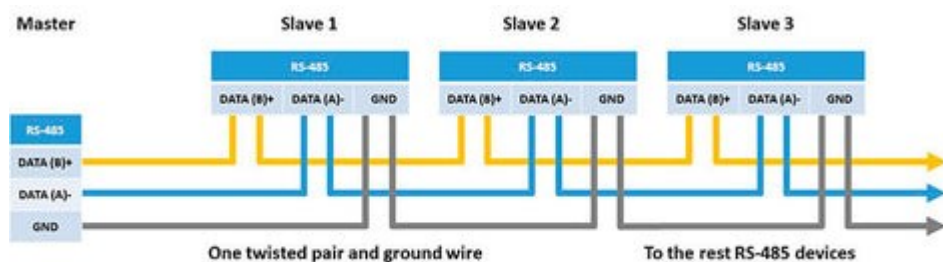
Existují dvě hlavní varianty:

- dvouvodičové zapojení – funguje v režimu poloduplex (v jednu chvíli může zařízení buď vysílat, nebo přijímat),
- čtyřvodičové zapojení – funguje v plně duplexním režimu (vysílání i příjem současně).

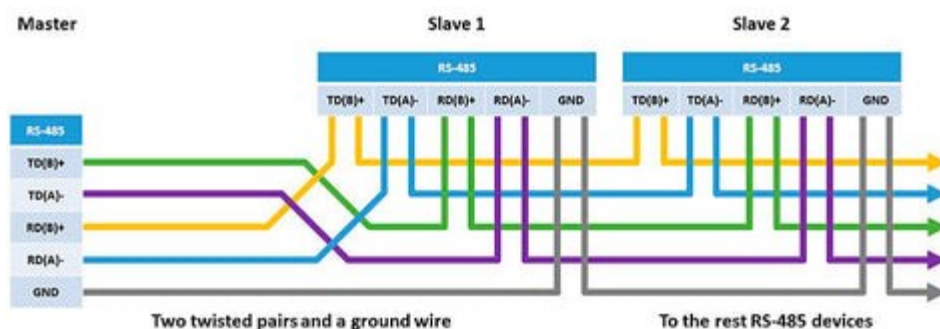
Přenosová rychlost závisí na délce kabelu – na krátkou vzdálenost (např. 10 metrů) může dosahovat až 10 Mbit/s. Napětíové úrovně na lince se obvykle pohybují mezi -7 V a +12 V.

RS-485 nemá předepsaný konektor, často se používají svorkovnice nebo konektory DB9, ale zapojení se může lišit podle výrobce – vždy je třeba nahlédnout do jeho dokumentace.

Pro správnou funkci sběrnice je důležité na oba konce vedení připojit zakončovací rezistory (většinou 120 ohmů), které zamezí odrazům signálu. [57]



Obrázek 47 Zapojení RS485 se 2 vodiči [62]

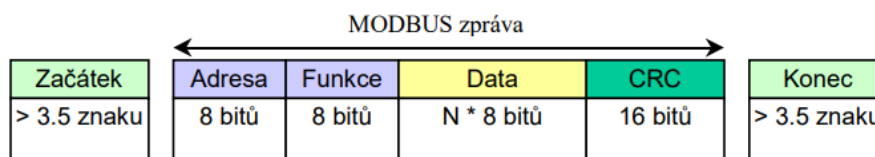


Obrázek 48 Zapojení RS485 se 42 vodiči [57]

Pro správné fungování na větší vzdálenosti je u rozhraní RS485 rovněž nutné nainstalovat na oba konce linky zakončovací rezistory s odporem 120 Ω .

3.3.3 Protokol Modbus RTU

Modbus RTU je jednoduchý a velmi rozšířený komunikační protokol, který se často používá v průmyslové automatizaci. Nejčastěji běží nad rozhraním RS485, kde umožňuje výměnu dat mezi řídicím systémem (master) a připojenými podřízenými zařízeními (slaves), jako jsou senzory, měřiče nebo moduly I/O. Každé zařízení má svou adresu, takže může komunikovat s řídicím prvkem bez rušení ostatních. Protokol využívá binární přenos dat a zprávy obsahují mimo jiné i kontrolní součet CRC pro odhalení chyb. Modbus RTU funguje v režimu master-slave a podporuje pouze to, aby v jednom okamžiku komunikovalo právě jedno zařízení. Díky své jednoduchosti, otevřenosti a široké podpoře se stal standardem v mnoha průmyslových aplikacích. [58]



Obrázek 49 RTU rámeček zprávy [58]

3.3.4 Protokol Modbus TCP/IP

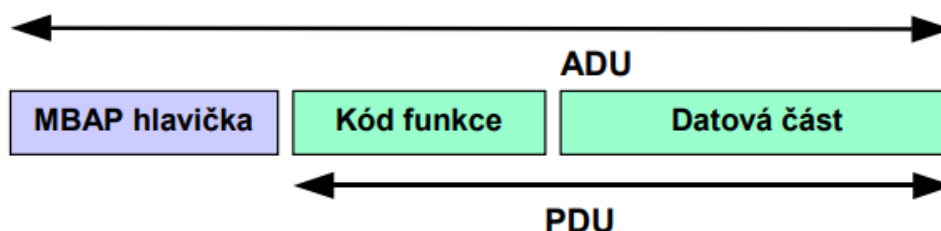
Modbus TCP/IP je varianta protokolu Modbus, která je určena pro komunikaci přes standardní počítačové sítě – Ethernet. Oproti Modbus RTU, který se používá převážně na sériových linkách (např. RS485), využívá Modbus TCP/IP síťovou vrstvu modelu TCP/IP. To umožňuje snadné propojení zařízení v průmyslových aplikacích s počítačovými systémy a vzdáleným přístupem.

Zpráva Modbus TCP/IP je rozdělena do dvou hlavních částí:

- MBAP hlavička (Modbus Application Protocol Header) – obsahuje informace jako identifikaci požadavku (Transaction ID), délku zprávy a identifikátor zařízení (Unit ID).
- PDU (Protocol Data Unit) – obsahuje funkční kód a datovou část, která se neliší od varianty RTU.

Na rozdíl od Modbus RTU neobsahuje Modbus TCP kontrolní součet CRC, protože kontrolu integrity dat zajišťuje samotný TCP protokol. Ke komunikaci se standardně používá port 502, který je pro Modbus TCP/IP rezervován.

Tento protokol je vhodný pro aplikace, kde je vyžadována rychlá, spolehlivá a vzdálená komunikace mezi zařízeními jako jsou PLC, HMI panely, PC nebo servery. [58]



Obrázek 50 MODBUS zpráva na TCP/IP [58]

II PRAKTICKÁ ČÁST

4 TEST HARDWAROVÉHO VYBAVENÍ

V této kapitole je podrobně popsán proces testování a oživování jednotlivých částí navrženého systému. Cílem bylo ověřit funkčnost veškerého použitého hardwaru, otestovat komunikaci mezi zařízeními a připravit systém na finální integraci a praktické nasazení.

Testování probíhalo postupně – od zprovoznění hlavní termokamery **Safetis EV**, přes základní funkce mikrokontroléru **Arduino UNO** s jednotlivými rozšiřujícími shieldy (RS485, GSM), až po jejich vzájemnou komunikaci a integraci.

4.1 Zprovoznění kamery Safetis EV

V první fázi testování byl důraz kladen na správné zprovoznění termokamery SafetisEV konkrétně modelu **SEV-160-W-CAB** od společnosti Workswell. Tato kamera představuje klíčový prvek celého systému, protože umožňuje nepřetržitý dohled nad teplotními změnami v monitorované oblasti.

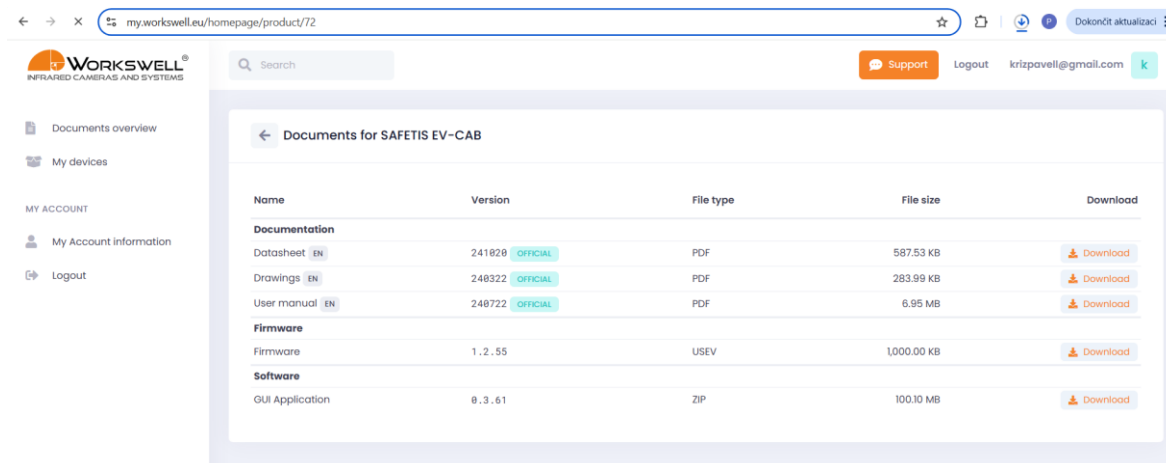
Cílem bylo ověřit napájení, fyzické připojení a funkčnost komunikačního rozhraní RS485 i Ethernet.

Důraz byl kladen na porozumění principu fungování kamery, její integraci do systému a ověření schopnosti spolehlivě reagovat na překročení teplotních prahů. Úspěšné zprovoznění vytvořilo pevný základ pro navazující integraci s mikrokontrolérem Arduino.

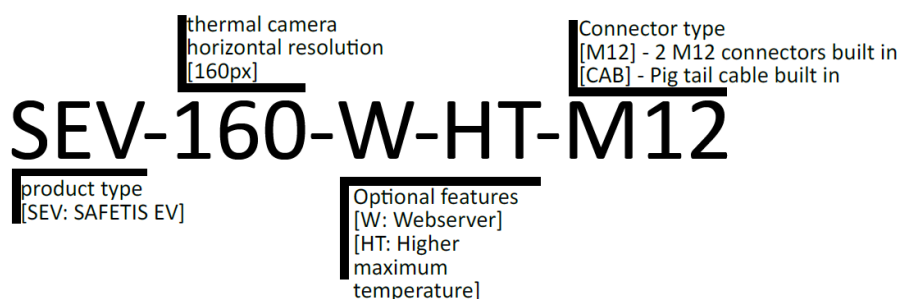
4.1.1 První spuštění

Po registraci na stránkách výrobce firmy Workswell přejdeme do sekce technické podpory na možnost stažení návodu výrobce a celkové podpory pro zařízení od firmy Workswell, je nutné se zaregistrovat na oba weby, jedná o dva samostatné a technicky nezávislé systémy.

- <https://support.workswell.cz/>
- <https://my.workswell.eu>



Obrázek 51 Uživatelské rozhraní my.workswell [59]



Obrázek 52 Vysvětlení označení kamery [60]

První připojení a přihlášení CAB verze

Napájení: Kamera je připojena k napájecímu zdroji 12-24 VDC pomocí červeného vodiče pro napájení a černého vodiče pro zem (GND), Status LED by měla po připojení napájení svítit modře. Spotřeba kamery je < 2,5 W (maximální špička 5 W).

Ethernet připojení: kamera je připojena přímo k PC, na kterém je nainstalovaná aplikace GUI, pomocí Ethernetových kabelů. Pro Ethernet se používají bílo-oranžový vodič (Tx+), oranžový (Tx-), zelený (Rx-) a bílo-zelený (Rx+). Ethernetové připojení je nutné pro komunikaci přes Modbus TCP/IP protokol a také pro streamování videa. [60]

Tabulka 8 Barevné značení kabelů a jejich funkce [vlastní, vytvořeno na základě 60]

Barva vodiče	Funkce	Poznámka
Bílá/oranžová	Ethernet TX+	Spojit s RJ45 pinem 1
Oranžová	Ethernet TX–	Spojit s RJ45 pinem 2
Bílá/zelená	Ethernet RX+	Spojit s RJ45 pinem 3
Zelená	Ethernet RX–	Spojit s RJ45 pinem 6
Červená	Napájení +12–24 VDC	Napájecí kladný pól
Černá (GND)	Zem (napájení) + společná zem	GND pro napájení i RS-485
Bílá/žlutá	RS-485 A	Pozor na záměnu A/B
Žlutá	RS-485 B	Pozor na záměnu A/B
Růžová	Heartbeat (pulzní výstup)	Diagnostický signál
Modrá	Relé výstup 1	Kontakt relé – jeden pól (spínací)
Fialová	Relé výstup 2	Kontakt relé – druhý pól (spínací)
Hnědá	Transistorový OC výstup	Alarmový výstup
Černá (druhý)	GND (další vodič)	Duplikát, propojit s GND

Nastavení IP adresy na PC: Výchozí IP adresa kamery závisí na jejím sériovém čísle (např. sériové číslo XXXYY-072-2312 bude mít IP 192.168.XXX.YY). Pro připojení ke kameře s výchozím nastavením, je nutné na PC nastavit statickou IP adresu.

Sériové číslo (SN): 20006-072-2411.

IP adresa: 192.168.200.6

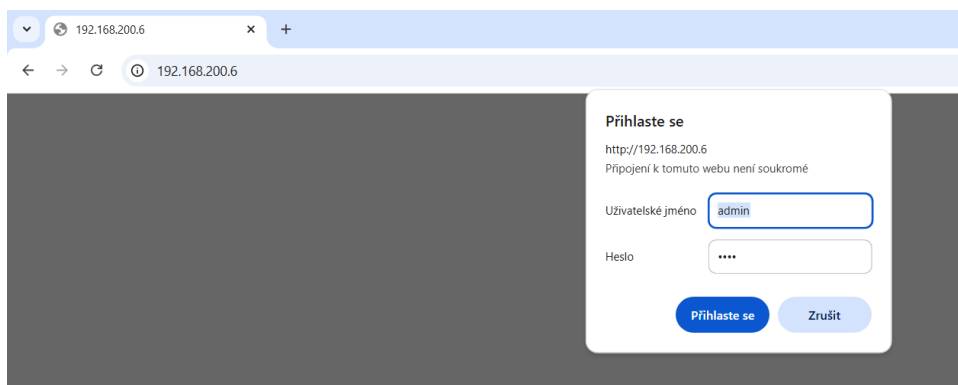
Maska: 255.255.0.0

Nastavení IP adresy v PC musí být 192.168.200.x (x číslo od 0 do 255, pozor na stejné číslo jako má kamera, aby nebyl konflikt s IP adresami, doporučené nastavení je tedy 192.168.200.1 a masku 255.255.0.0). [60]

Připojení přes Webserver (pro modely s 'W')

Jelikož kamera (SEV-160-W-CAB) zahrnuje 'W', může být místo aplikace GUI přístupné přes webserver. Pro připojení přes webserver stačí zadat IP adresu kamery do adresního řádku webového prohlížeče. Je nezbytné být připojeni ke kameře přes Ethernet.

Při prvním připojení (ať už přes GUI nebo webserver) je potřeba se přihlásit pomocí PINu. Výchozí PIN je 1234. Kamera nebude reagovat na žádné požadavky, dokud se klient nepřihlásí. Přihlášení přes webserver používá uživatelské jméno 'admin', které nelze změnit je pevně nastaveno. [60]



Obrázek 53 Přihlášení [vlastní]

Pokud je PIN ztracen, lze kameru hardwarově resetovat (pod šroubkem), čímž se vrátí na výchozí PIN 1234 a všechna nastavení se obnoví na výchozí hodnoty. PIN je možné změnit v GUI nebo webserveru. [60]



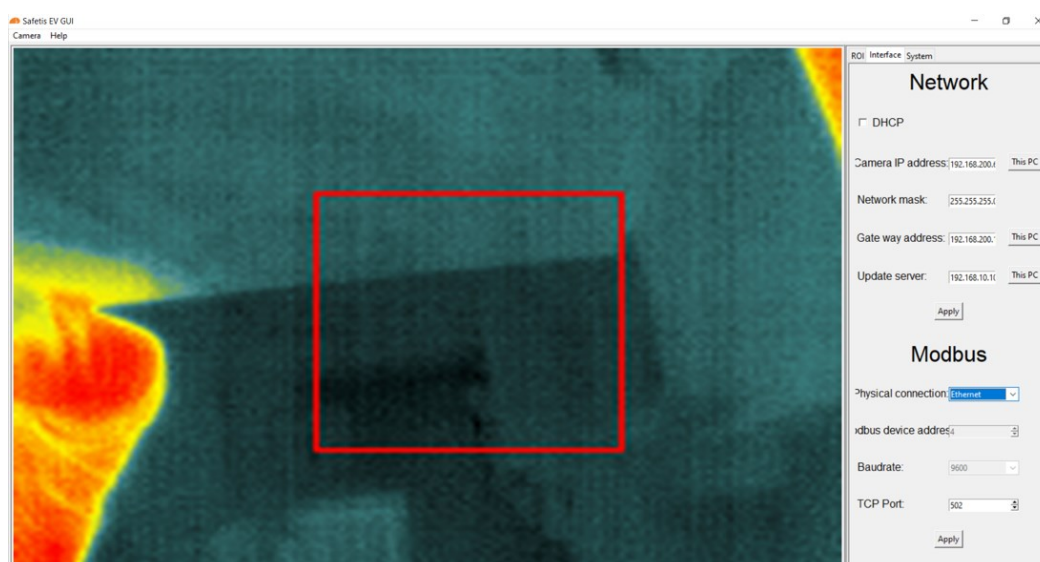
Obrázek 54 Úvodní obrazovka po přihlášení [vlastní]

Připojení pomocí Safetis EV GUI

- Stáhněte si uživatelský manuál a GUI aplikaci (Safetis EV GUI)
- Spustěte aplikaci **Safetis EV GUI** (např. v.0.3.61).

V úvodním okně zvolte **Connect video** a nastavte port (např. 5000). Dále vyberte typ Modbus rozhraní – typicky **Ethernet**. Zvolte správný síťový adaptér (např. Ethernet adaptér s IP 192.168.200.x). Vyberte detekovanou kameru ze seznamu (podle SN a IP). Zadejte přístupový PIN (výchozí: 1234) a potvrďte **Apply**.

Po připojení se zobrazí živý termální obraz a ovládací panely, velmi podobné webserveru. [60]



Obrázek 55 Ukázka z GUI Network menu [vlastní]

Konfiguraci kamery lze provádět pomocí Modbus registrů, webserveru (pro modely s 'W') nebo aplikace GUI (Modbus desktop application). Následující popis je zaměřen na nastavení ve webserveru, protože je uživatelsky přívětivější a odpovídá naší kameře. [60]

4.1.2 ROI (Region of Interest) menu

Sekce ROI umožní definovat a konfigurovat oblasti zájmu na termálním obraze. Kamera využívá ROIs pro detekci horkých míst.

ROI configuration

Sekce Region

Show All: zobrazí všechny definované ROIs (regiony zájmu) v živém videostreamu. Typicky využito pro vizuální kontrolu všech sledovaných oblastí.

Show Alarmed: zobrazí pouze ty ROIs, které jsou momentálně ve stavu alarmu (splňují prahovou hodnotu teploty). Používá se pro zvýraznění jen kritických oblastí bez rušení ostatními.

Sekce Extremes

Tyto vizualizace jsou viditelné pouze, pokud je aktivní „Show All“ nebo „Show Alarmed“ a ROI je aktivní.

Region settings: umožní individuálně nastavit zobrazování extrémů (min/max/avg) v jednotlivých ROI, pokud je vypnuto, extrémy se spravují globálně.

Show Values: zobrazí číselnou hodnotu teplotních extrémů přímo v obraze (např. Max: 38.5 °C).

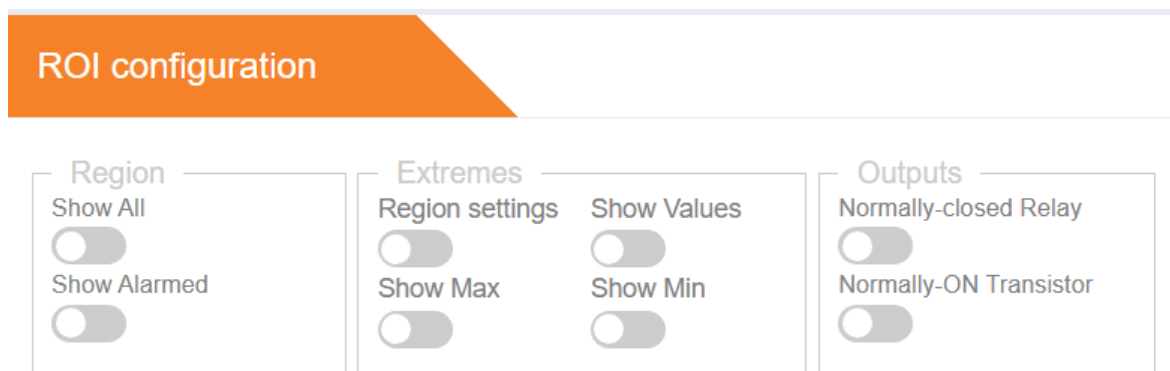
Show Max: zobrazí křížek nebo značku v místě nejvyšší teploty v rámci ROI.

Show Min: zobrazí křížek nebo značku v místě nejnižší teploty v rámci ROI.

Sekce Outputs (výstupy)

Normally-closed Relay: relé bude ve výchozím stavu sepnuté a rozepne se při alarmu (logika NC), typické využití tam, kde je detekce výpadku napájení důležitá.

Normally-ON Transistor: výstupní OC tranzistor bude ve výchozím stavu spojen s GND, při alarmu se rozpojí (vysoká impedance), opak výchozího nastavení, lze použít dle logiky požadované systémem. [60]



Obrázek 56 ROI konfigurace [vlastní]

Tabulka ROI

Tato část slouží ke správě oblastí zájmu ROI (Region of Interest). Např. ROI1, ROI2, ROI3 jsou jednotlivé definované oblasti zájmu, které již jsou přidány obrazu. Každá má své vlastní nastavení (souřadnice, velikost, alarmy...). Kliknutím na některou z ROI (např. ROI 2) je vybrána a zobrazí se její nastavení dole v části „ROI settings“. Následně je možné pak upravit (pozici, velikost, alarmy...). [60]

Tabulka 9 Nastavení ROI [vlastní]

Tlačítko	Funkce
Add	Přidá novou oblast ROI – objeví se jako „ROI 4“, kterou můžeš nastavit
Delete	Smaže aktuálně vybranou oblast ROI (oranžově zvýrazněná v seznamu)

Každá ROI funguje nezávisle – je možné mít různá pravidla pro různé části obrazu. Maximální počet ROI, který lze nastavit, je 64 dle manuálu.

ROI1 settings

Označením provedeme výběr např. ROI1 a ta se bude nastavovat.

Sekce Left upper corner X / Y: určuje souřadnice levého horního rohu oblasti ROI v pixelech.

Maximální hodnoty: (protože rozlišení kamery je 160×120 px)

X: max 159

Y: max 119

Sekce Width / Height: definuje šířku a výšku ROI v pixelech. Hodnoty musí být takové, aby nepřesahovaly rozlišení kamery (tj. $X + \text{Width} \leq 160$, $Y + \text{Height} \leq 120$).

Sekce Alarms

Každé ROI může mít dvě úrovně alarmů (Preventivní a Kritický), které reagují na teplotní podmínky v dané oblasti.

Alarm 1 - Preventive

Threshold: teplotní práh ve °C. Jakmile počet pixelů překročí tuto teplotu, může se aktivovat výstup (pokud je nastaven).

Minimum number of pixels: počet pixelů, které musí být nad prahem, aby se alarm spustil.

Outputs: možnost nastavit výstup: LED, relé nebo otevřený kolektor (OC), je možná i kombinace např. LED + relé.

Alarm 2 – Critical

Funguje stejně jako preventivní, ale může být nastaven na jiný práh a výstup. Typicky se používá pro závažnější stav.

Outputs (výstupy)

Každý alarm může aktivovat výstupy, může je libovolně kombinovat, výběr výstupu je dostupný v rozbalovacím menu vedle každého alarmu, může být spojen s kombinací všech 3 výstupů:

LED – fialová kontrolka na zařízení, pokud je aktivní alarm.

Relay – přepíná kontakt na výstupním konektoru (např. aktivuje zvukový/vizuální alarm), (modrý a fialový vodič ve verzi CAB). [60]

ROI 1 settings

Left upper corner X: 0 px Left upper corner Y: 0 px

Width: 160 px Height: 120 px

Alarms:

Alarm 1 - Preventive
Threshold: 30,0 °C Minimum number of pixels: 20 px Outputs: Select one or more options

Alarm 2 - Critical
Threshold: 33,0 °C Minimum number of pixels: 10 px Outputs: Relay

Obrázek 57 Nastavení ROI 1 [vlastní]

4.1.3 Interface menu

Sekce Interface ve webserveru slouží k nastavení síťového připojení a Modbus komunikace.

Ethernet protocol (síťová konfigurace)

Zde je možné změnit IP adresu dle požadované sítě, a to buďto formou DHCP (automaticky od routeru) anebo statickou IP adresou (fixní). Pro tyto zařízení je vždy vhodnější používat statickou IP adresu. Pokud je potřeba přístup do kamery i z jiných sítí, je nutné nastavit IP adresu brány (Gateway). Tímto způsobem je kamera připojena do LAN. [60]

Ethernet protocol

DHCP: ☐

Camera IP address: 192.168.200.6 Network mask: 255.255.0.0

Gateway address: 192.168.1.1 Update server: 192.168.10.10

Apply settings

Obrázek 58 Ukázka Interface Ethernet protocol [vlastní]

Modbus protocol

Výběr typ Modbus kontroléru, jakým způsobem je prováděna komunikace Modbus TCP (přes Ethernet) nebo Modbus RTU (přes RS485):

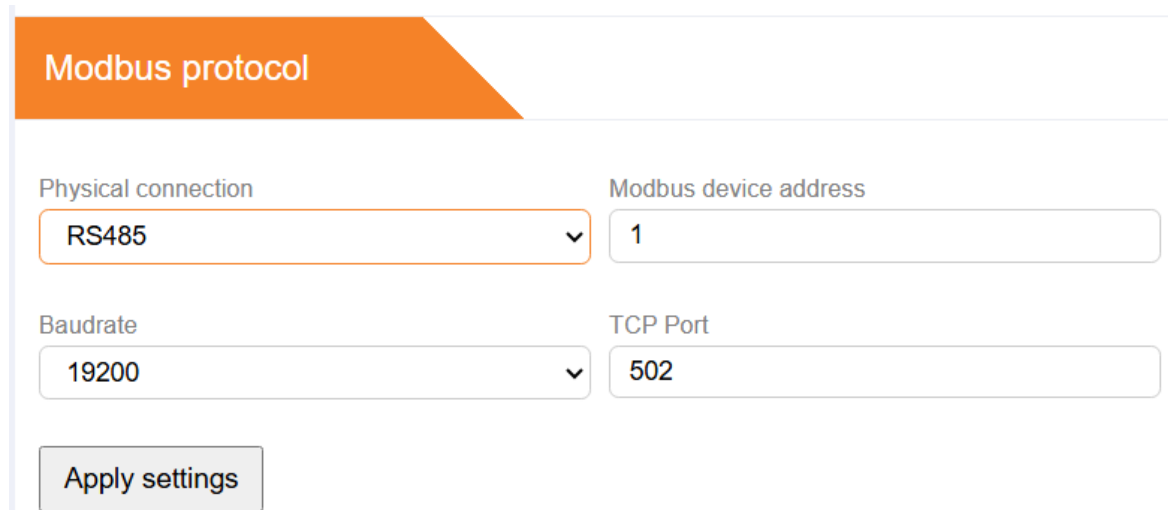
TCP/IP – například pro GUI nebo SCADA

RS485 – typicky pro mikrokontroléry, PLC nebo Arduino, důležité je zkontrolovat polaritu (SEV používá označení podle Evropy) a zajistit použití správných 120 Ω zakončovacích rezistorů na koncích sběrnice [60]

Nastavení RS485

Kamera bude komunikovat přes Modbus RTU po sběrnici RS485. Arduino bude fungovat jako Modbus Master, kamera jako Slave. Nastavení parametrů:

- Baudrate (přenosová rychlost): 19200 (běžné, spolehlivé) (možnosti: 9600, 19200, 115200, 460800)
- Modbus address: např. 1 (pozor, v síti musí být unikátní)
- TCP port: není třeba řešit – to je pro TCP [60]



Modbus protocol

Physical connection: RS485

Modbus device address: 1

Baudrate: 19200

TCP Port: 502

Apply settings

Obrázek 59 Interface Modbus protocol [vlastní]

Důležité upozornění:

Jakmile kamera přejde do režimu RS485, webové rozhraní přestává být dostupné, protože TCP/IP komunikace je tímto krokem deaktivována. Od tohoto momentu je kamera ovladatelná výhradně po sběrnici RS485.

Znovu zpřístupnění webového rozhraní je možné pouze po hardwarovém resetu kamery. Ten se provádí stisknutím a podržením resetovacího tlačítka (nachází se vzadu pod šroubkem) po dobu 10 sekund. Kamera se tím přepne zpět do továrního nastavení včetně aktivního TCP režimu. [60]

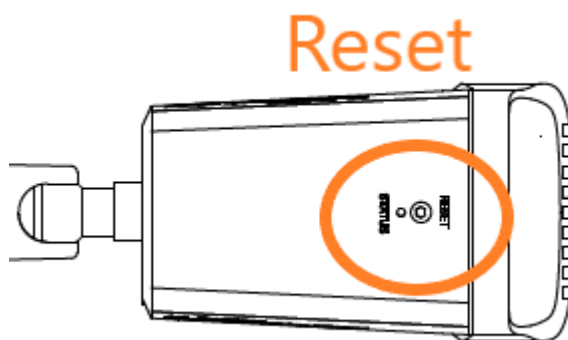
Doplnění:

Pokud je přepnutí do RS485 režimu provedeno pomocí oficiálního softwarového nástroje (GUI), kamera se korektně odhlásí z nastavovacího režimu a přechod proběhne stabilně (kamera se odpojí a již se nejde přihlásit).

Naopak při změně režimu přes webové rozhraní dochází v některých případech k situaci, kdy kamera "zamrzne" ve stavu přepínání – rozhraní zůstane aktivní, ale zařízení už je v nekompletním stavu přepnuto. Následkem toho kamera může vysílat nedefinované nebo chybně škálované hodnoty (např. extrémní teploty nebo záporné hodnoty), které jsou mimo fyzický měřicí rozsah senzoru. Tato situace může být obtížně detekovatelná a způsobuje nesprávné alarmy nebo logování chybných dat. [60]

Doporučení:

- Vždy používat oficiální konfigurační software pro přepínání režimů.
- Vyhnout se změnám režimu přes webové rozhraní, pokud není nutné.
- Po přepnutí na RS485 ověřit, že kamera skutečně komunikuje korektně (např. validní data v očekávaném rozsahu).
- V případě podezření na nekorektní stav provést reset kamery do továrního nastavení. [60]



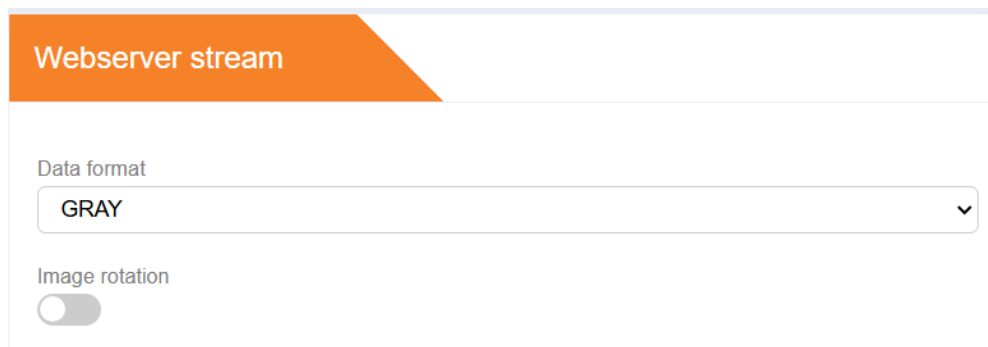
Obrázek 60 Reset tlačítko [60]

4.1.4 Stream menu

Sekce Stream slouží k nastavení video streamu.

Webserver stream

U kamery SAFETIS EV slouží k přímému zobrazení živého termálního obrazu prostřednictvím webového prohlížeče, bez nutnosti použití externích aplikací jako např. VLC nebo GStreamer. Tato funkce je užitečná pro rychlý přístup k obrazu kamery a základní monitorování. Po připojení k webovému rozhraní kamery zadáním její IP adresy (např. <http://192.168.200.6>) do prohlížeče a přihlášení se zobrazí živý termální obraz. Tento obraz je generován přímo kamerou a poskytuje vizuální přehled o monitorovaném prostoru. [60]



Obrázek 61 Ukázka Webserver stream [vlastní]

Data format: k dispozici je škála termálních zobrazovacích palet pro vizualizaci teplotních rozdílů (např. IRON, RAINBOW, GRAY a další...).

Výhody webserver streamu:

Okamžitý přístup – stačí prohlížeč, žádná instalace dalšího software

Jednoduché ovládání – přehledné a intuitivní uživatelské prostředí (GUI)

Rychlá diagnostika – ideální pro rychlou kontrolu nebo nastavení ROI

Omezení webserver streamu:

Nižší obnovovací frekvence – obraz může být méně plynulý ve srovnání s RTP streamem.

Omezené možnosti integrace – není určen pro pokročilé analýzy nebo integraci do komplexních systémů např. SCADA.

Pro základní sledování a rychlý přístup k obrazu je webserver stream ideální. [39, 60, 61]

Kamera využívá RTP stream k odesílání živého obrazu přes síť. Tento stream může být přijímán a zobrazován na počítači pomocí aplikací jako GStreamer (pro vývoj, automatizaci a analýzu) nebo VLC media player (jednoduchý přehrávač s podporou síťových streamů). To umožňuje:

Sledování živého obrazu z kamery na dálku

Analýzu teplotních změn v reálném čase

Integraci s dalšími systémy pro automatizaci nebo záznamová řešení nebo vývojové platformy. [39, 60, 61]



Obrázek 62 Ukázka RTP stream [vlastní]

RTP stream

Zaškrtně se možnost povolení pro aktivaci RTP streamu.

Host IP address: zadá se IP adresa zařízení, které bude stream přijímat (např. IP adresa vašeho počítače).

Port: zadat číslo portu, na kterém bude zařízení naslouchat, neboli cílový port UDP (např. 5002).

Data format: vybrat požadovaný formát streamu (např. IRON, GRAY, RAINBOW) určuje barevné schéma, ale neovlivňuje datový formát RTP streamu.

Image rotation: lze otočit obraz o 180°.

Výhoda: Vhodný pro profesionální zpracování, vzdálené sledování nebo integraci do systémů.

Nevýhoda: Vyžaduje externí aplikaci, nenabízí přímou vizualizaci jako webserver stream.

Důležité: RAW výstup není ve standardním GUI dostupný, ale formáty streamu pro vizualizaci fungují i zde. [39, 60, 61, 62, 63, 64]

4.1.5 Systém menu

Sekce System poskytuje informace o zařízení a další nastavení.

System configuration

Zde naleznete základní informace o kameře, provozních stavů.

Tabulka 10 [vlastní, 60]

Položka	Význam
Serial number	Unikátní výrobní číslo kamery (např. 20006-072-2411) – důležité pro identifikaci a servis.
Firmware version	Verze firmwaru zařízení – zde 1.2.55. Důležitá pro kompatibilitu a aktualizace.
Webserver version	Verze webového GUI, např. 0.2.24. Řídí vzhled a funkce rozhraní.
Article number	Katalogové označení modelu, např. SEV-160-W-CAB. Nemění se.
Device name	Uživatelský název zařízení – lze přejmenovat (např. „Měnič 1“) pro přehlednost v síti.
Internal temperature	Teplota uvnitř kamery (např. 35 °C) – ukazuje stav vlastního senzoru/elektroniky, nikoli měřeného objektu! Je to provozní teplota modulu uvnitř krytu.

System configuration

Serial number: 20006-072-2411
Firmware version: 1.2.55
Webserver version: 0.2.24
Internal temperature: 35.5 °C
Device name: SEV_20006-072-24
FFC Mode: Adaptive NUC
NUC Period: 3 min

Article number: SEV-160-W-CAB
Uptime: 00:02:44:48
Status: 11
Reset: 1
Status LED Heartbeat ☐
Change PIN
Manual NUC

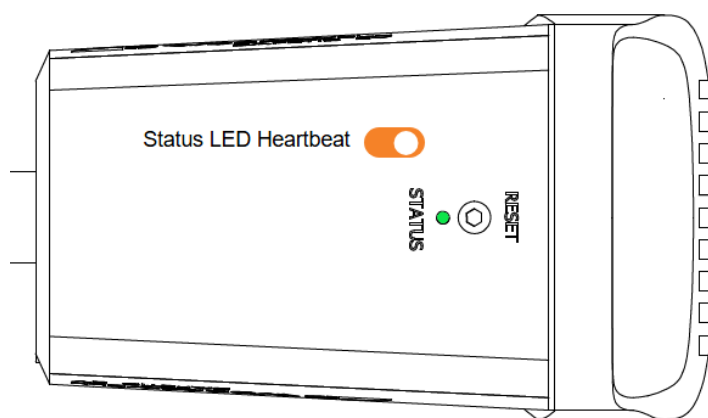
Obrázek 63 Ukázka System konfigurace [vlastní]

Tabulka 11 Provozní stavy kamery [vlastní, 60]

Položka	Význam
Uptime	Doba od posledního restartu – ve formátu dny:hodiny:minuty:vteřiny , např. 00:02:57:09 = běží 2 hodiny, 57 minut, 9 vteřin.
Status	Stavový kód – číslo vyjadřující stav systému. 11 může znamenat „běžný provoz“. Přesný význam je interní, ale často: 0 = nečinný, 1x = aktivní.
Reset	Počet hardwarových resetů zařízení (např. 1) – tedy počet úplných restartů od posledního „factory resetu“.

Význam tlačítka Heartbeat:

Na kameře je stavová LEDka, která pomocí barev a blikání ukazuje, co kamera právě dělá. Aktivací tlačítka „Heartbeat“ kamera začne blikáním LED signalizovat, že je v provozu. Není to trvalé svícení, ale krátké zabliknutí v časovém intervalu (většinou 1-2 s). Ideální v provozu pro zjištění, že kamera je aktivní, i když žádný alarm zrovna neběží. Tato LED je tedy multifunkční, barva říká, co se děje (běží, alarm, napájení), blikání znamená „jsem naživu“.



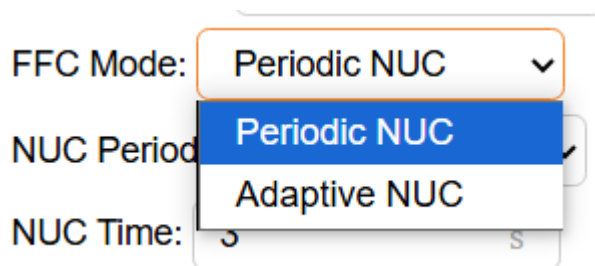
Obrázek 64 Aktivní LED na kameře [60 upraveno]

Tabulka 12 LED signalizace kamery [vlastní, 60]

Barva LED	Význam
Zelená	Kamera je připojena a běží v normálním režimu – není aktivní alarm
Modrá	Napájení je přítomno, ale kamera není plně inicializovaná nebo nepřihlášený uživatel
Fialová	Aktivní alarm – některý ROI právě překročil prahovou teplotu
Blikání	Heartbeat aktivní – kamera pravidelně blikne = známka „živosti“ systému

FFC Mode (kalibrace detektoru)

V softwaru SAFETIS označováno jako NUC (Non-Uniformity Correction = korekce nerovnoměrností). Tato funkce slouží ke kompenzaci optických a senzorových nerovnoměrností. Je to běžný proces u termokamer. Při NUC si kamera „zarovná“ obraz proti sobě – srovná teplotní odchylky mezi pixely, čímž se zlepší obrazová stabilita a přesnost měření.



Obrázek 65 Kalibrace detektoru [vlastní]

Tabulka 13 Režimy kalibrace [vlastní, 60]

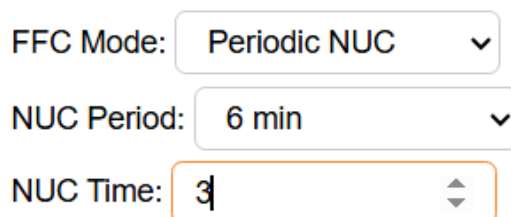
Režim	Význam
Periodic NUC	Kalibrace se provádí v pravidelných časových intervalech. Dle nastavení.
Adaptive NUC	Kalibrace probíhá automaticky na základě změn scény nebo okolní teploty (např. při náhlém skoku teplot).

Periodic NUC:

NUC Period – interval v minutách, přednastavené hodnoty 3,6, 15, 30, 60 min, (např. 6 min = každých 6 minut proběhne kalibrace), ideální nastavení je 6 min nebo 15 min (záleží na dynamice prostředí – čím více se mění teploty a scéna, tím kratší)

NUC Time = délka kalibrace 3 s, (typická délka trvání kalibrace, výchozí hodnota)

Vhodné do stabilního prostředí, kde nejsou časté teplotní výkyvy. Automaticky provede kalibraci v daném intervalu.



FFC Mode: Periodic NUC

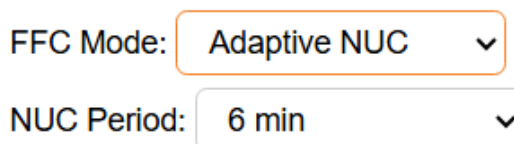
NUC Period: 6 min

NUC Time: 3

Obrázek 66 Nastavení Periodic NUC [vlastní]

Adaptive NUC:

NUC Period – říká, jak často se má adaptivní algoritmus vyhodnotit, přednastavené hodnoty 3,6, 15, 30, 60 min (např. každých 6 min), ideální nastavení 3 min nebo 6 min, (čím kratší, tím častěji kamera vyhodnocuje, zda je třeba kalibraci spustit). Doporučeno hlavně tam, kde se scéna častěji mění – např. lidé, zařízení, pohyb.



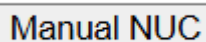
FFC Mode: Adaptive NUC

NUC Period: 6 min

Obrázek 67 Nastavení Adaptive [vlastní]

Manual NUC

Ruční spuštění kalibrace (NUC) → kliknutím na tlačítko se kamera ihned překalibruje. Viditelně se nic nemusí stát, ale obraz se v pozadí „zarovná“. Vhodné spustit při větší změně prostředí nebo při „duchovém“ obrazu.



Manual NUC

Obrázek 68 Tlačítko NUC [vlastní]

System configuration

Serial number: 20006-072-2411

Firmware version: 1.2.55

Webserver version: 0.2.24

Internal temperature: 35.3 °C

Device name:

FFC Mode:

NUC Period:

NUC Time: s

Article number: SEV-160-W-CAB

Uptime: 00:02:47:43

Status: 11

Reset: 1

Status LED Heartbeat ☐

Obrázek 69 Ukázka System konfigurace [vlastní]

Radiometry

Radiometrie je funkce termokamery umožňující přesné měření teploty v jednotlivých bodech nebo oblastech obrazu (ROI). Na rozdíl od běžné vizualizace zobrazuje skutečné teplotní hodnoty s ohledem na emisivitu povrchu.

Kamera počítá teploty pro každý pixel, nejen barvy.

Je možné měřit, sledovat a vyhodnocovat teploty ve vybraných oblastech (ROI).

Umožňuje nastavit alarmy při překročení teploty.

Bere v úvahu i emisivitu sledovaného materiálu, aby byly hodnoty přesné.

Radiometry

Alarm ROI count:0

All ROI count:4

Emissivity: %

Temperature unit:

ROIs:

1: Min= 25.7 °C [13, 30] Avg= 27.0 °C Max= 29.5 °C [159, 0]

2: Min= 26.3 °C [50, 50] Avg= 26.8 °C Max= 27.3 °C [68, 61]

3: Min= 26.3 °C [50, 50] Avg= 26.8 °C Max= 27.3

Obrázek 70 Radiometrie [vlastní]

Alarm ROI count: např. 0

Počet oblastí ROI (Region of Interest), které právě překročily teplotní alarmový práh. Lze využít k nastavení výstupů (relé, OC) při překročení teploty.

0 znamená, že žádná z aktivních ROI oblastí v tuto chvíli nespustila alarm.

All ROI count: např. 4

Celkový počet aktivních (nakreslených a uložených) oblastí ROI.

V tomto případě jsou definovány čtyři obdélníky (ROI 1 až ROI 4), které sledují teplotu ve svých částech obrazu.

Emissivity: 91%

Hodnota emisivity (emisního koeficientu) materiálu v dané scéně. To znamená, že emisivita je vlastnost materiálu, povrchu, vyzařovat infračervené záření. Je to bezrozměrná hodnota v rozsahu 0 až 1 (nebo 0–100 %). Čím vyšší emisivita, tím realističtěji a přesněji kamera změří teplotu. [65]

Tabulka 14 Tabulka vlastností běžných materiálů [65]

Materiál	Emisivita [-]
Asfaltová vozovka	0,93
Bavlněná látka	0,77
Beton	0,94
Cihla	0,93
Dřevo	0,8–0,9
Hedvábná látka	0,78
Hliník (leštěný)	0,05
Jídlo (organické materiály)	0,95–0,97
Led	0,98
Měď (leštěná)	0,05
Ocel (nerez)	0,34
Papír (bílý)	0,9
Plasty	0,94
Plexisklo	0,86
Pokožka	0,98
Polystyren	0,3–0,5
Sklo	0,9
Voda	0,95

Hodnota emisivity odpovídá též hodnotě pohltivosti. Údaje emisivity v tabulce platí pro infračervené záření v rozsahu 7 - 14 μm . [65]

Temperature unit: °C / F

Přepíná jednotky teploty mezi Celsia a Fahrenheita. Výběr podle regionu nebo zvyklostí.

ROIs (Oblasti měření)

- Hodnoty se **průběžně aktualizují v reálném čase**, jak se mění teploty ve scéně.
- Sleduje teplotu jednotlivých oblastí ve scéně.
- Emisivita se nastavuje podle materiálu – pro přesné měření.
- Avg pomáhá najít rovnoměrně zahřáté nebo ochlazené části zařízení.
- Každý nastavený ROI má tři teplotní hodnoty a souřadnice v obraze.

ROIs:

1: Min= 25.5 °C [16, 30] Avg= 26.8 °C Max= 29.3
°C [159, 0]
2: Min= 26.2 °C [53, 69] Avg= 26.6 °C Max= 27.1
°C [66, 58]
3: Min= 26.2 °C [53, 69] Avg= 26.6 °C Max= 27.1

Obrázek 71 ROI oblasti měření [vlastní]

Tabulka 15 Nastavení hodnot ROI [vlastní, 60]

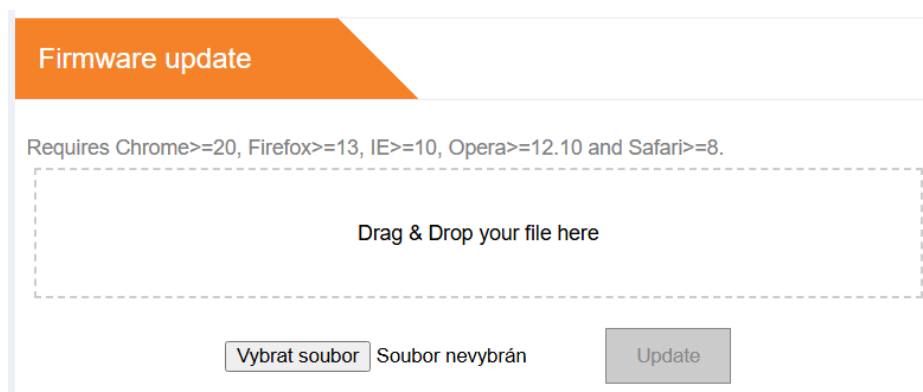
Položka	Význam
Min	Nejnižší teplota naměřená v daném ROI
Avg	Průměrná teplota v ROI
Max	Nejvyšší teplota v ROI
[X, Y]	Pozice (souřadnice) bodu s nejvyšší teplotou Max v dané ROI

Firmware update

Tato sekce slouží k nahrání nové verze firmwaru do kamery SAFETIS EV. Slouží ke zlepšení funkcí, opravě chyb nebo doplnění nových možností.

Je potřeba aktualizovat, pokud výrobce vydal novou verzi s opravou nebo novými funkcemi, pokud to doporučí technická podpora (např. kvůli chybě), po domluvě se správcem systému, pokud se mění bezpečnostní politika.

Důležité před aktualizací je ujistit se, že máme správný firmware pro daný typ zařízení (např. SEV-160-W-CAB), nevypínat napájení během aktualizace – přerušení procesu může znefunkčnit kameru, soubor s firmwarem obvykle získáme od výrobce (např. Workswell support nebo distribuční portál).



Obrázek 72 Update [vlastní]

4.1.6 Testovací úloha – ověření funkce ROI a alarmů (kamery SAFETIS EV)

Ověřit funkčnost alarmových výstupů kamery SAFETIS EV (režim relé a LED) při detekci teplotního nárůstu na vzorku (sklenice s ohřívanou vodou) před nasazením do reálného provozu.

Popis postupu:

Sklenice s vodou je umístěna do zorného pole kamery. Vytvořena ROI1 pokrývající oblast sklenice a ROI2 která je zaměřena na střed sklenice. Do sklenice je postupně přidávána teplá voda – dochází ke zvyšování teploty v ROI.

Sklenice s vodou byla umístěna před kameru (naplněna studenou vodou cca do poloviny).

Pomocí webového rozhraní byly nastaveny dvě oblasti zájmu (ROI):

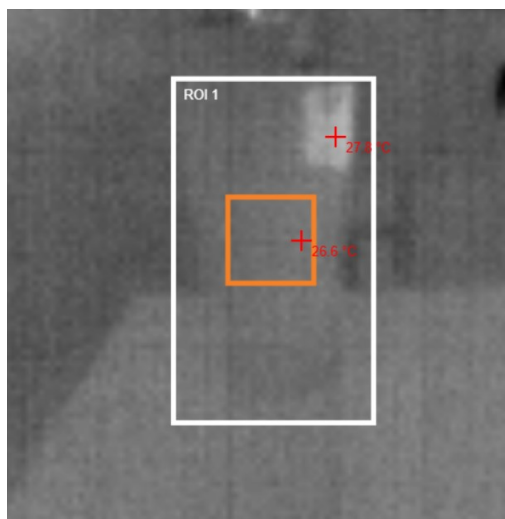
ROI 1: celý tvar sklenice – pro celkové sledování objemu.

ROI 2: menší oblast ve středu – pro přesnější kontrolu teplotního jádra.

Každý ROI má aktivovány dva alarmy:

Do sklenice bude postupně přilévána teplá voda.

Kamera zachytila teplotní změny a aktivuje definované výstupy LED a relé.



Obrázek 73 Oblasti ROI1 a ROI2 [vlastní]

Nastavení kamerového systému:

Systém:

FFC mode: Adaptive NUC

NCC period: 3 min

Emissivity: 96% (voda/sklo)

Temperature unit: °C

Stream:

Data format: BWRGB

Image rotation: ON (kamera je otočena tak, aby bylo vidět na signalizační LED)

ROI:

Region – Show All: ON

Extremes – Show Values: ON

Extremes – Show Max: ON

Extremes – Show Min: ON (volitelně)

ROI1:

Rozměr: 35 x 60 px

Alarm 1 (Preventive): 30 °C, min. 30 px – Výstup: LED + relé

Alarm 2 (Critical): 35 °C, min. 20 px – Výstup: LED + relé

ROI2:

Rozměr: 15 x 15 px

Alarm 1 (Preventive): 38 °C, min. 30 px – Výstup: LED + relé

Alarm 2 (Critical): 45 °C, min. 30 px – Výstup: LED + relé

ROI 2 settings

Left upper corner X	Left upper corner Y
61 px	52 px
Width	Height
15 px	15 px

Alarms:

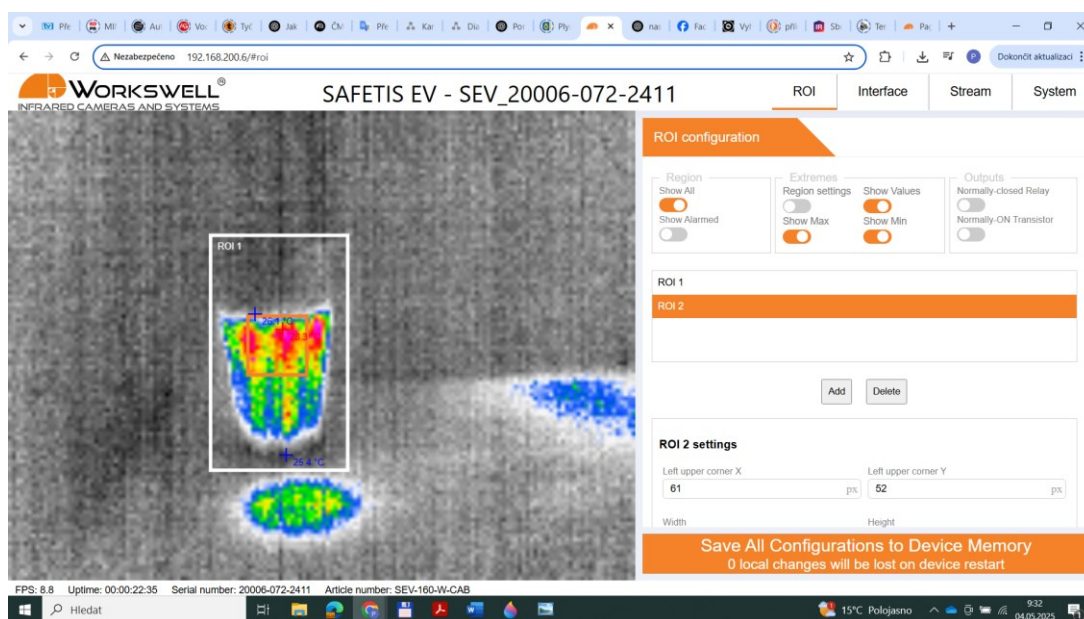
Alarm 1 - Preventive

Threshold:	Minimum number of pixels:	Outputs:
38,0 °C	30 px	Status LED, Relay

Alarm 2 - Critical

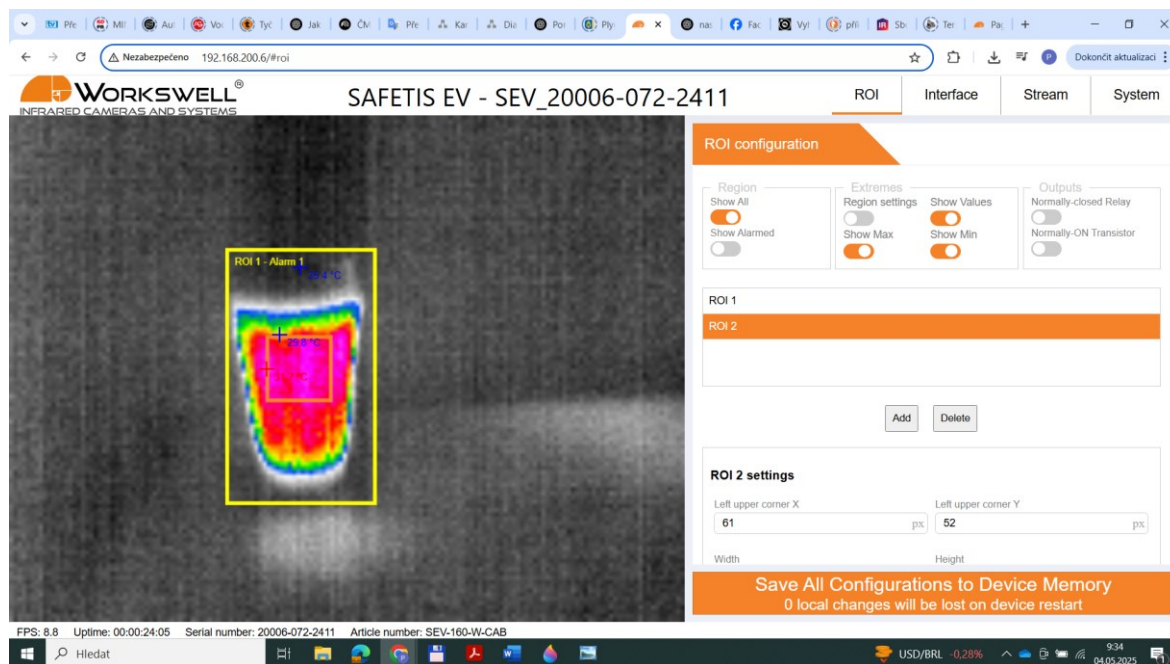
Threshold:	Minimum number of pixels:	Outputs:
45,0 °C	30 px	Status LED, Relay

Obrázek 74 Ukázka nastavení ROI2 [vlastní]



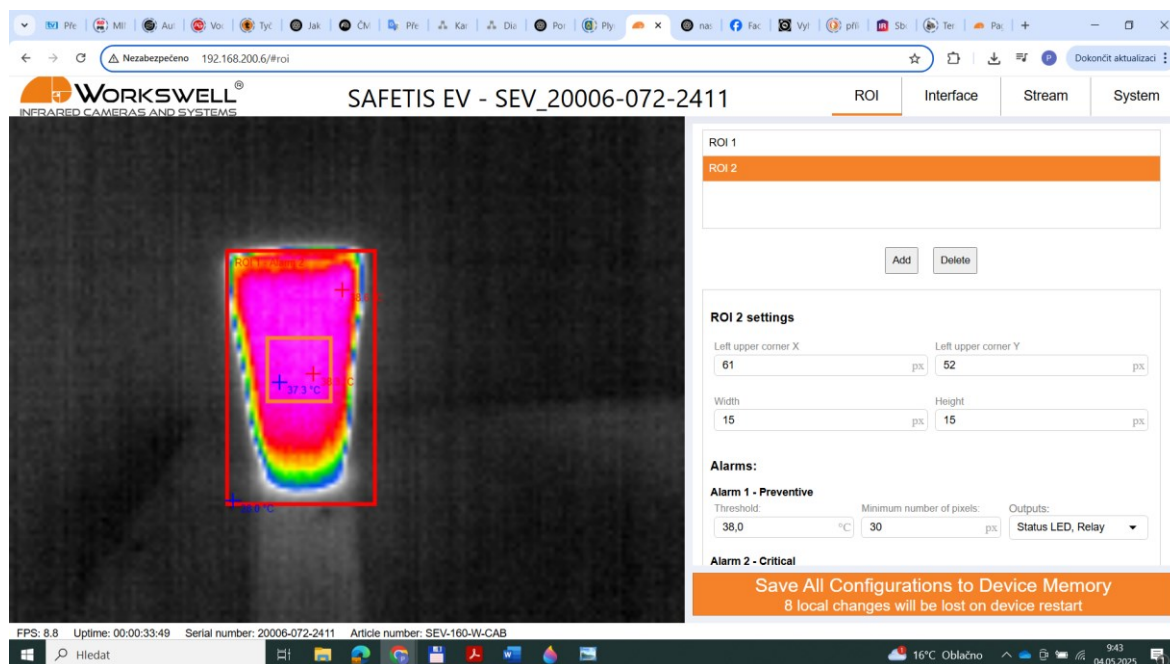
Obrázek 75 Fáze 1 [vlastní]

Fáze 1: bylo přidáno 60ml teplé vody – v oblasti ROI2 (střed) začíná narůstat teplota. LED a relé zůstávají vypnuty.



Obrázek 76 Fáze 2 [vlastní]

Fáze 2: bylo opět přidáno 60ml teplé vody – teplota v ROI1 aktivace critical Alarm2 (od 35 °C), teplota ROI2 aktivace preventive Alarm1 (od 38 °C), LED a relé aktivovány.



Obrázek 77 Fáze 3 [vlastní]

Fáze 3: bylo přidáno dalších 80ml teplé vody – teplota v ROI1 překračuje preventivní práh aktivace critical Alarm2 (od 35 °C), teplota ROI2 aktivace preventive Alarm1 (od 38 °C), pokud bychom mohli přidat více teplé vody, bez problému bychom i aktivovali Alarm2, LED a relé aktivována.

Závěrem lze konstatovat, že termokamera správně reaguje na nárůst teploty v definovaných oblastech ROI, a test potvrdil funkčnost alarmů i výstupů (LED, relé).

Kamera správně zaznamenala nárůst teploty.

Po překročení prahu teploty došlo k aktivaci alarmu a rozsvícení LED + cvaknutí relé.

Zvolená barevná paleta (např. BWRGB) poskytla jasnou vizualizaci rozložení teplot.

4.2 Zprovoznění Arduina UNO

Před začátkem používání Arduino UNO k praktickým úlohám, je nutné připravit potřebné prostředí. K tomu slouží vývojové prostředí **Arduino IDE**, které umožňuje nahrávání kódu do desky, komunikaci s periferiemi a ladění chování jednotlivých programů.

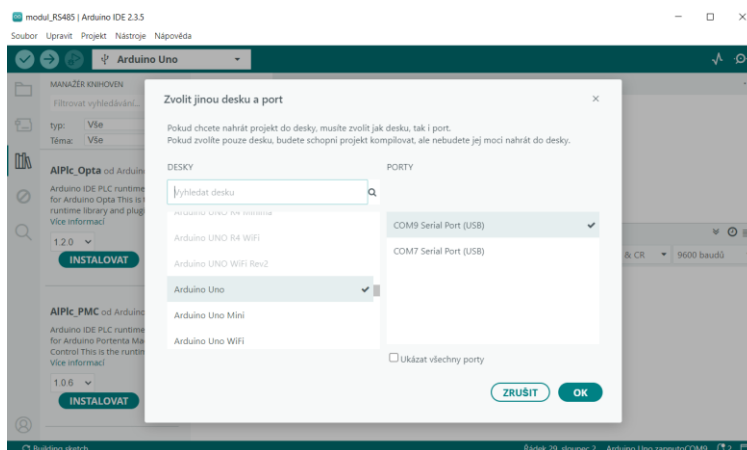
Instalace Arduino IDE a připojení desky

Arduino IDE lze stáhnout z oficiálních stránek <https://www.arduino.cc/download>, kde je zvolena odpovídající verze podle operačního systému (Windows, macOS, Linux). Během instalace se doporučuje ponechat zaškrtnuté všechny volby, včetně ovladačů USB a asociací souborů. Arduino UNO je připojeno k počítači pomocí USB kabelu typu B (tzv. „tiskárenský“ kabel). Operační systém obvykle automaticky rozpozná zařízení a nainstaluje potřebné ovladače.

Po spuštění Arduino IDE je potřeba nastavit:

typ desky: Nástroje → Deska → Arduino UNO

port: Nástroje → Port → COMx (např. COM3, COM5 – zobrazí se po připojení zařízení) [44]



Obrázek 78 Arduino IDE nastavení [vlastní]

Arduino IDE využívá jazyk, který vychází z C++, ale je upraven pro potřeby embedded programování. Programátor používá zjednodušenou syntaxi, která skrývá složitosti běžného C++ a umožňuje snadný přístup k periferiím, funkcím a knihovnám. Kód je překládán pomocí překladače C++, díky čemuž lze využívat objekty, knihovny a konstrukce známé z tohoto jazyka (např. Serial, String, LiquidCrystal_I2C). [44]

Zprovoznění Arduino UNO a první test s LED

Touto úlohou se začíná úplně od základů – přípravou vývojové desky Arduino UNO, instalací vývojového prostředí a ověřením základní funkčnosti. Než začneme realizovat složitější projekty a komunikace po sběrnicích, je potřeba mít jistotu, že deska funguje správně a že zvládne nahrát jednoduchý program.

Jako první test je použita klasická a osvědčená úloha: blikání LED diody. Tento příklad je základní vstupní bod do světa Arduino – jednoduchý, rychlý a přitom užitečný. Pomáhá ověřit, že deska správně reaguje na instrukce, že funguje kompilace i nahrání kódu, a že ovládáme výstupní pin.

Pro zapojení byl zvolen pin D12 – je volně dostupný, nijak systémově neblokovaný a dobře se připojuje na nepájivé pole.

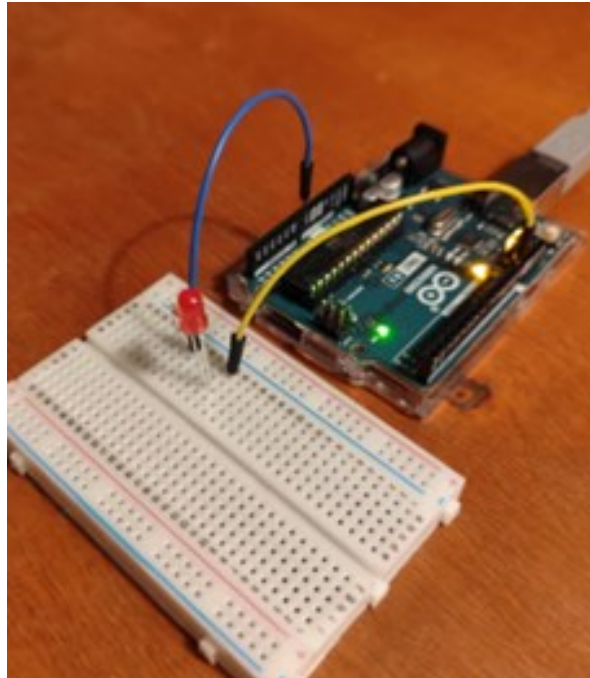
Takto jednoduchá úloha tvoří pevný výchozí bod pro všechno, co bude následovat. Ať už půjde o senzory, komunikaci nebo vlastní řízení zařízení, vždy budeme vycházet z těchto základních principů – nastavení pinu, jeho stav, reakce na kód. [44]

Tabulka 16 Hardwarová specifikace 1 [vlastní]

Komponenty	Popis / Poznámka
Arduino UNO R3	Hlavní mikrokontrolér pro nahrání a spuštění kódu
LED dioda	Signalizační prvek pro ověření výstupu
Rezistor 330 Ω	Omezuje proud přes LED, chrání ji před poškozením
Nepájivé pole	Nepájivé pole pro snadné zapojení
Propojovací vodiče	Spojení mezi Arduinem, LED a rezistorem
USB kabel typu B	Pro napájení desky a nahrání kódu z PC
PC s Arduino IDE	Vývojové prostředí a ovladače pro desku

Schéma zapojení LED

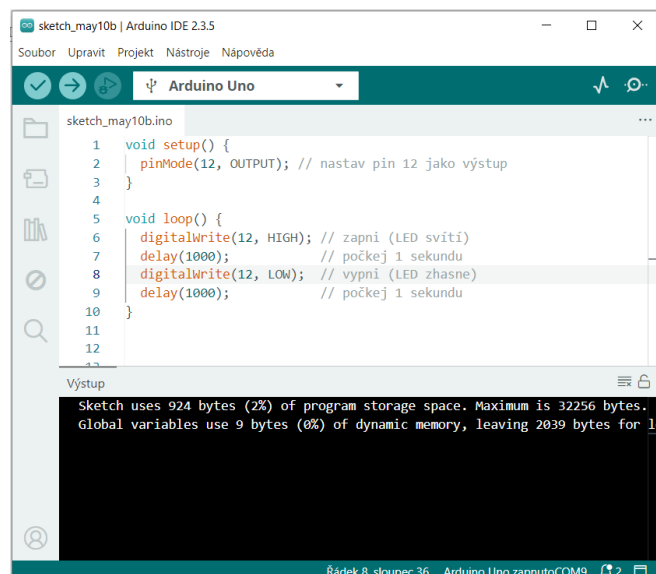
Digitální výstup D12 je propojen s anodou LED diody (delší noha). Katoda LED (kratší noha) je spojena s rezistorem 330 Ω , jehož druhý konec vede do pinu GND na Arduino.



Obrázek 79 Zapojení Arduino a LED [vlastní]

Zdrojový kód – blikání LED diody přes pin D12:

```
void setup() {  
    pinMode(12, OUTPUT); // nastaví pin 12 jako výstup  
}  
  
void loop() {  
    digitalWrite(12, HIGH); // zapni (LED svítí)  
    delay(1000);             // počkej 1 sekundu  
    digitalWrite(12, LOW);  // vypni (LED zhasne)  
    delay(1000);             // počkej 1 sekundu  
}
```



Obrázek 80 Ukázka kódu v Arduino IDE [vlastní]

Touto úlohou bylo ověřeno, že Arduino je správně nainstalováno, rozpoznáno počítačem a dokáže řídit výstupní pin podle nahraného kódu. Jedná se o základní a důležitý krok při seznamování s Arduinem, první praktickou úlohou, na které bezpečně stavíme další úlohy/projekty. [44]

4.2.1 Zprovoznění schieldu RS485

Po úspěšném spuštění Arduina a ověření základní funkčnosti (např. blikání LED pomocí jednoduchého programu) přistupujeme k první praktické zkoušce komunikačního rozhraní RS485. Tento způsob sériové komunikace je v průmyslových systémech velmi oblíbený – nabízí vysokou odolnost proti rušení a umožňuje přenos dat na vzdálenosti v řádu stovek metrů, což je v běžném provozu často nezbytné.

Zprovoznění RS485: jednosměrná komunikace z PC do Arduina

V této úloze se pokusíme navázat jednosměrnou komunikaci mezi počítačem a deskou Arduino UNO, která je osazena RS485 shieldem (využíváme konkrétně modul s čipem MAX485 od DFRobot). Celé propojení bude řízeno pomocí vývojového prostředí Arduino IDE a terminálového programu RealTerm běžícího na PC.

Cílem je odeslat textový příkaz z počítače přes RS485 sběrnici do Arduina a ověřit jeho příjem tím, že Arduino provede jednoduchou fyzickou akci – rozsvítí nebo zhasne LED diodu na základě příkazů ON nebo OFF. Tato LED dioda tak bude sloužit jako přehledný a rychlý způsob, jak potvrdit, že komunikace skutečně probíhá a že Arduino data správně přijímá a zpracovává.

Tabulka 17 Hardwarová specifikace 2 [vlastní]

Komponenty	Popis / poznámka
Arduino UNO R3	Hlavní mikrokontrolér pro zpracování příkazů
RS485 shield	Pro komunikaci po sběrnici RS485, nasazený přímo na Arduino
LED dioda + rezistor (220 Ω)	Pro indikaci přijatého příkazu (ON/OFF), připojeno na pin D13
USB–RS485 převodník	Slouží k propojení RS485 sběrnice s PC (z PC do Arduina)
Propojovací vodiče	Pro případné spojení vývodů (např. RE/DE nebo externí LED), podle potřeby
PC s RealTerm	Terminálový program pro odesílání a příjem zpráv přes RS485

Provedené kroky a dosažené výsledky:

- **Zprovoznění RS485 komunikačního kanálu**

Arduino bylo připojeno k RS485 sběrnici pomocí převodníku MAX485 a nakonfigurováno do přijímacího režimu. Komunikace probíhala prostřednictvím USB–RS485 převodníku a programu RealTerm.

- **Příjem a dekodování dat**

Příkazy ve formě textových zpráv byly odesílány z PC a Arduino je přijímalo přes sériový port. Pomocí funkce Serial.read() byly jednotlivé znaky skládány do řetězce a vyhodnocovány po přijetí ukončovacího znaku.

- **Reakce na příkaz – ovládání LED diody**

Po detekci příkazu ON došlo k rozsvícení LED diody na pinu D13, příkaz OFF ji naopak zhasl. Tento mechanismus sloužil jako vizuální zpětná vazba o správném příjmu a zpracování dat.

- **Řízení směru komunikace (RE/DE)**

Komunikační čip MAX485 vyžaduje pro správné fungování RS485 sběrnice nastavení režimu pomocí pinů RE (Receiver Enable) a DE (Driver Enable). Oba jsou propojeny s pinem D2, který byl při příjmu nastaven do stavu LOW, čímž se zařízení přepnulo do přijímacího režimu.

- **Test stability spojení**

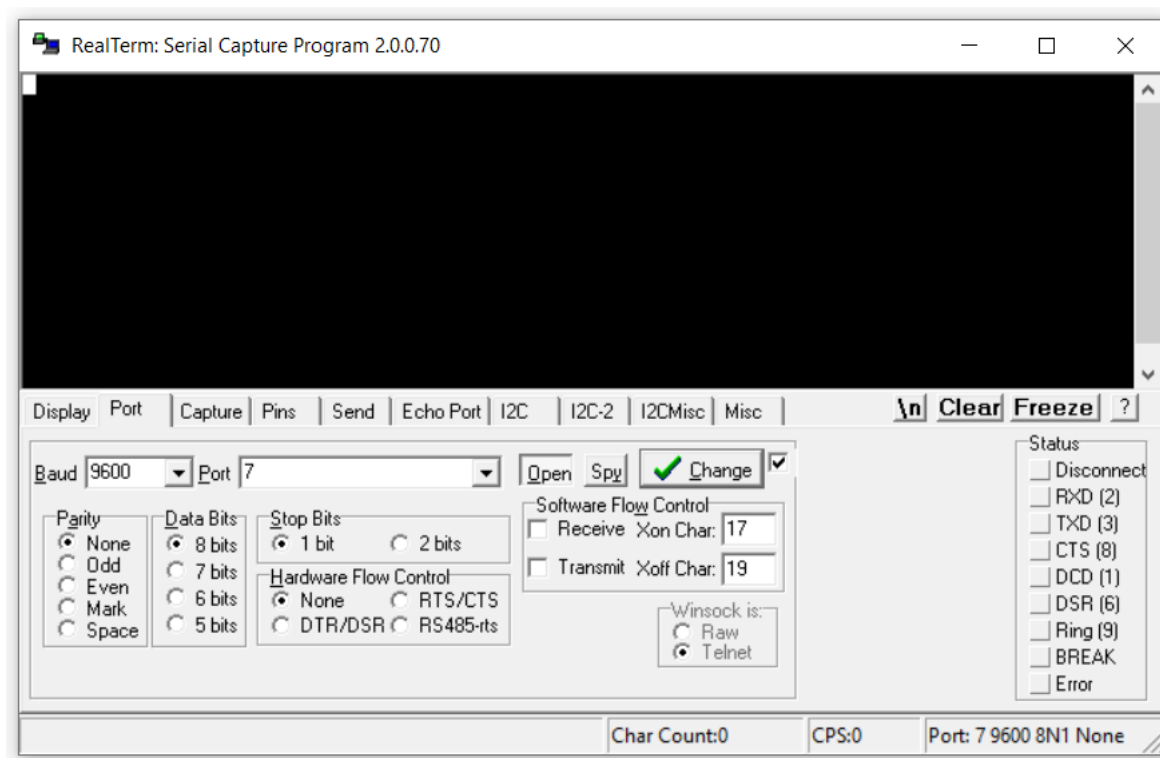
Komunikace z PC do Arduina probíhala bez chyb a všechny příkazy byly korektně přeneseny, rozpoznány a zpracovány.

Obrázek 81 Zapojení Arduino UNO s RS485 [vlastní]

Klíčová část kódu zachytává textové příkazy a podle jejich hodnoty přepíná stav LED diody. V níže uvedené ukázce je vidět, jak Arduino reaguje na přijaté zprávy:

```
if (prijem == "ON") {  
    digitalWrite(LED, HIGH);  
} else if (prijem == "OFF") {  
    digitalWrite(LED, LOW);  
}
```

Kompletní kód, včetně inicializace sériového přenosu a příjmové logiky, je uveden v Příloze P II.



Obrázek 82 Ukázka programu RealTerm [vlastní]

Touto úlohou jsme ověřili, že Arduino UNO s RS485 shieldem dokáže správně přijmout textový příkaz po sběrnici, rozpoznat jeho význam a provést na základě něj

jednoduchou fyzickou akci, což potvrzuje funkčnost základní jednosměrné komunikace mezi PC a Arduinem v prostředí RS485.

Rozšíření RS485 – obousměrná komunikace (PC – Arduino)

V předchozí úloze jsme úspěšně navázali **jednosměrné spojení** po sběrnici RS485 z počítače na Arduino. V této části projekt rozšíříme o **obousměrnou komunikaci**, tedy možnost, aby Arduino po přijetí příkazu mohlo odpovědět zpět do PC.

Tento krok je zásadní pro reálné použití RS485 v praxi – například při ověřování stavu zařízení, sběru dat nebo potvrzování přijatých instrukcí.

Tabulka 18 Hardwarová specifikace 3 [vlastní]

Komponenty	Popis / Poznámka
Arduino UNO R3	Řídicí jednotka
RS485 shield	Pro obousměrné zapojení přes RE/DE piny
LED dioda + rezistor	Pro zpětnou vizuální indikaci jako v předchozí úloze
USB–RS485 převodník	Pro propojení Arduina s PC přes RS485
Počítač s RealTerm	Terminál pro odesílání a příjem zpráv
Propojovací vodiče	Pouze pro napájení a případné ladění

Poznámka: Na RS485 shieldu DFRobot MAX485ESA jsou vývody RE a DE interně propojeny na pin D2 Arduina. Pokud je přepínač nastaven do režimu MAN, Arduino může plně řídit směr komunikace pomocí tohoto pinu – není nutné žádné další propojení.

Funkce systému

- Arduino přijímá příkaz po RS485 (např. ON, OFF, PING, GET TEMP)
- Zpracuje příkaz a provede odpovídající akci (např. rozsvítí LED)
- Přepne směr komunikace (RE/DE HIGH) a odešle zpět potvrzení (LED ZAP, PŘÍKAZ NEZNÁMÝ, Teplota: 24.7 °C)
- Po odeslání se přepne zpět do příjmového režimu (RE/DE LOW)

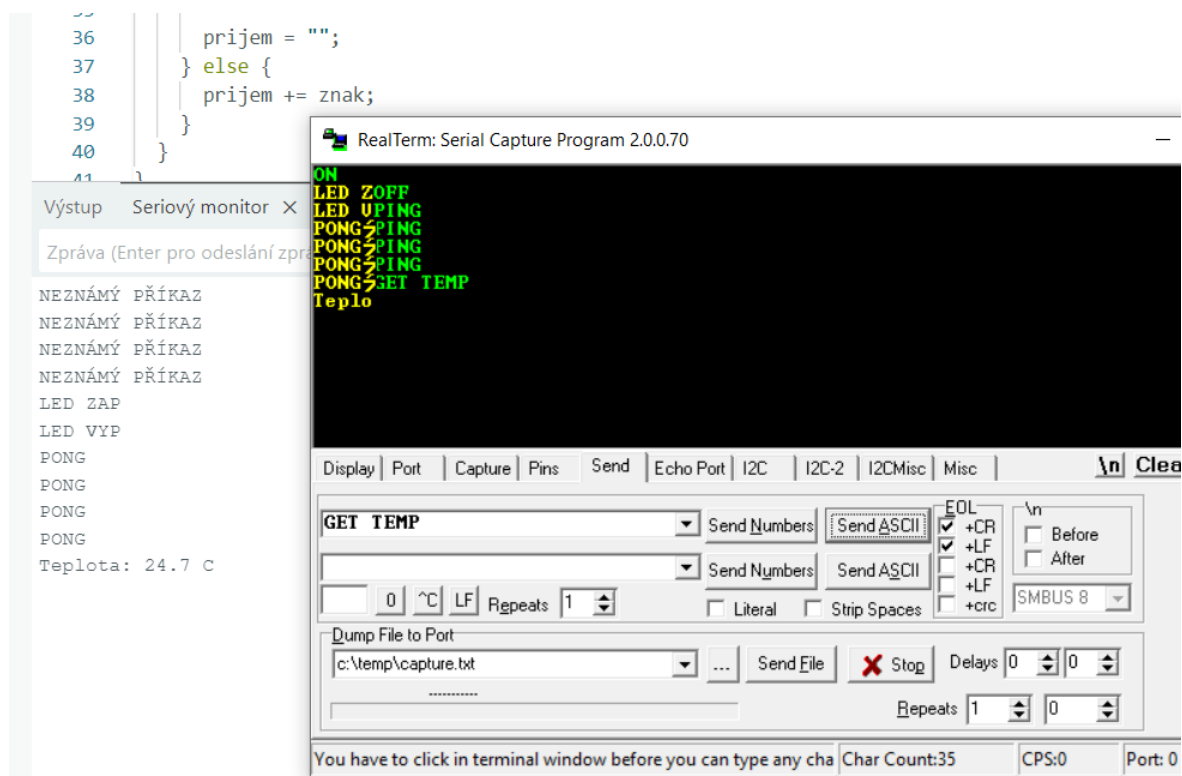
Na rozdíl od předchozí úlohy Arduino nyní nejen přijímá příkazy, ale také na ně aktivně odpovídá. Následující ukázka znázorňuje funkci, která se stará o odeslání odpovědi zpět do sériové linky. Kód přepne RS485 modul do vysílacího režimu, odešle zprávu a opět se vrátí do režimu příjmu:

```
void odesliZpravu(String zprava) {
    digitalWrite(RE_DE, HIGH);
    delay(2);
    Serial.println(zprava);
    delay(5);
    digitalWrite(RE_DE, LOW);
}
```

Celý proces obousměrné komunikace včetně reakce na různé příkazy je podrobně rozveden v Příloze P III.

Tabulka 19 Ukázka příkazů z RealTermu [vlastní]

Příkaz z PC	Odezva z Arduina	Akce
ON	LED ZAP	Rozsvítí LED
OFF	LED VYP	Zhasne LED
PING	PONG	Test spojení
GET TEMP	Teplota: 24.7 C	Simulovaná teplota
BLAH	NEZNÁMÝ PŘÍKAZ	Zpracování chyby



Obrázek 83 Ukázka komunikace [vlastní]

Touto úlohou jsme rozšířili komunikaci po RS485 na plnohodnotný obousměrný režim. Arduino nejen přijímá příkazy z PC, ale dokáže na ně i reagovat zprávou zpět – ať už jako potvrzení, odezvu nebo data. Díky tomu jsme připraveni systém dále rozšiřovat o čidla a interaktivní funkce.

4.2.2 Zprovoznění schieldu GSM

V této úloze sestavíme funkční monitorovací jednotku postavenou na Arduino UNO, která bude sbírat data z teplotního a vlhkostního senzoru DHT22, zobrazovat je na LCD displeji a zároveň odesílat informace pomocí SMS přes GSM síť.

Systém je navržen tak, aby fungoval samostatně a bez zásahu uživatele – periodicky hlásí naměřené hodnoty a v případě náhlé změny teploty dokáže okamžitě odeslat varovnou zprávu na zadané telefonní číslo.

Celá úloha je rozdělena do tří hlavních částí, které postupně řeší jednotlivé kroky potřebné ke zprovoznění celého systému:

Zprovoznění GSM modulu – odesílání SMS

V této úloze připojíme ke stavebnici Arduino UNO GSM/GPRS shield A-GSM II a ověříme, že je možné odeslat SMS zprávu na určené telefonní číslo. Modul komunikuje pomocí AT příkazů přes sériové rozhraní a vyžaduje připojenou SIM kartu s PIN kódem a externí anténu pro spolehlivý signál.

Cílem je mít ověřenou schopnost Arduino komunikovat s GSM modulem a odesílat textové zprávy (SMS) pomocí AT příkazů:

- zapnout GSM modul automaticky z Arduino
- zadáním PIN kódu přihlásit SIM kartu
- ověřit připojení do sítě
- odeslat testovací SMS na zvolené telefonní číslo

Tabulka 20 Hardwarová specifikace 4 [vlastní]

Komponenty	Popis / Poznámka
Arduino UNO R3	Hlavní řídicí jednotka (mikrokontrolér)
A-GSM II shield	GSM modul nasazený přímo na Arduino
SIM karta	Číslo: +420 XXX XXX XXX, PIN: XXXX
Anténa SMA 6 dBi	Připojena k SMA konektoru GSM modulu
Cílové telefonní číslo	+420 XXX XXX XXX
Externí zdroj 12V/2,5A/30W	Pro stabilní chod GSM modulu přes VIN

Není potřeba žádná speciální knihovna – komunikace probíhá přes AT příkazy pomocí SoftwareSerial.

Tabulka 21 Schéma zapojení GSM modulu [vlastní]

Pin Arduina	Spojeno s GSM modulem	Funkce
D2	TXD (GSM)	Arduino přijímá data
D3	RXD (GSM)	Arduino posílá data
D7	PWRKEY	Automatické zapnutí modulu
VIN	Napájení shieldu	přes externí adaptér

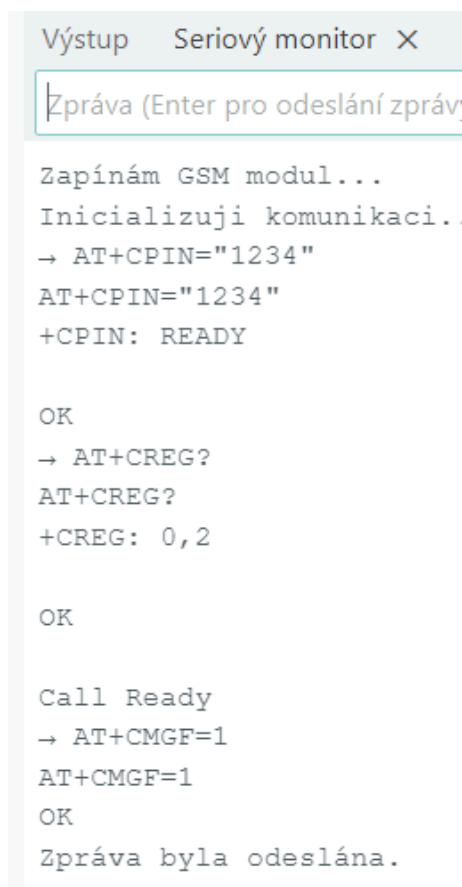
Funkční princip:

- Arduino zapne modul digitálním impulzem na pinu D7.
- Inicializuje komunikaci pomocí AT příkazů.
- Zadá PIN k SIM kartě (AT+CPIN="1234").
- Ověří přihlášení do sítě (AT+CREG?).
- Přepne modul do režimu textových SMS (AT+CMGF=1).
- Odešle zprávu (AT+CMGS="číslo" + zpráva + Ctrl+Z).

Pro odesílání SMS zprávy se využívá sekvence AT příkazů, které jsou posílány do GSM modulu přes sériovou komunikaci. Základní komunikační funkce, která odesílá příkaz a čeká na odpověď modulu, je následující:

```
void odesliPrikaz(String prikaz, int pauza = 2000) {
    gsm.println(prikaz);
    Serial.print("→ "); Serial.println(prikaz);
    delay(pauza);
    while (gsm.available()) {
        Serial.write(gsm.read());
    }
}
```

Pomocí této funkce lze zadat např. PIN, přepnout modul do textového režimu a následně odeslat samotnou SMS. Kompletní sekvenci inicializace a odeslání zprávy najdete v Příloze P IV.



```
Výstup  Serialový monitor X
Zpráva (Enter pro odeslání zpráv)

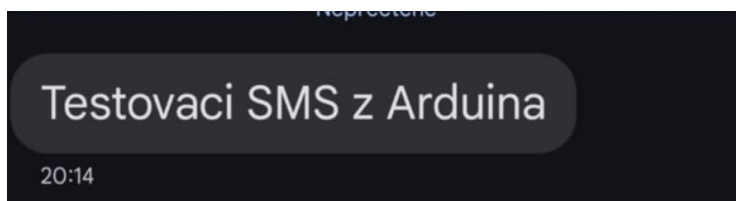
Zapínám GSM modul...
Inicializuji komunikaci..
→ AT+CPIN="1234"
AT+CPIN="1234"
+CPIN: READY

OK
→ AT+CREG?
AT+CREG?
+CREG: 0,2

OK

Call Ready
→ AT+CMGF=1
AT+CMGF=1
OK
Zpráva byla odeslána.
```

Obrázek 84 Výpis z Arduina IDE [vlastní]



Obrázek 85 Testovací SMS 1 [vlastní]

Touto úlohou jsme ověřili, že Arduino dokáže komunikovat s GSM modulem a odeslat jednoduchou textovou SMS na zadané číslo. Tím máme připravený základ pro další krok – čtení hodnot z čidla a jejich odesílání automaticky podle situace.

Zobrazení dat z čidla teploty a vlhkosti na LCD displeji

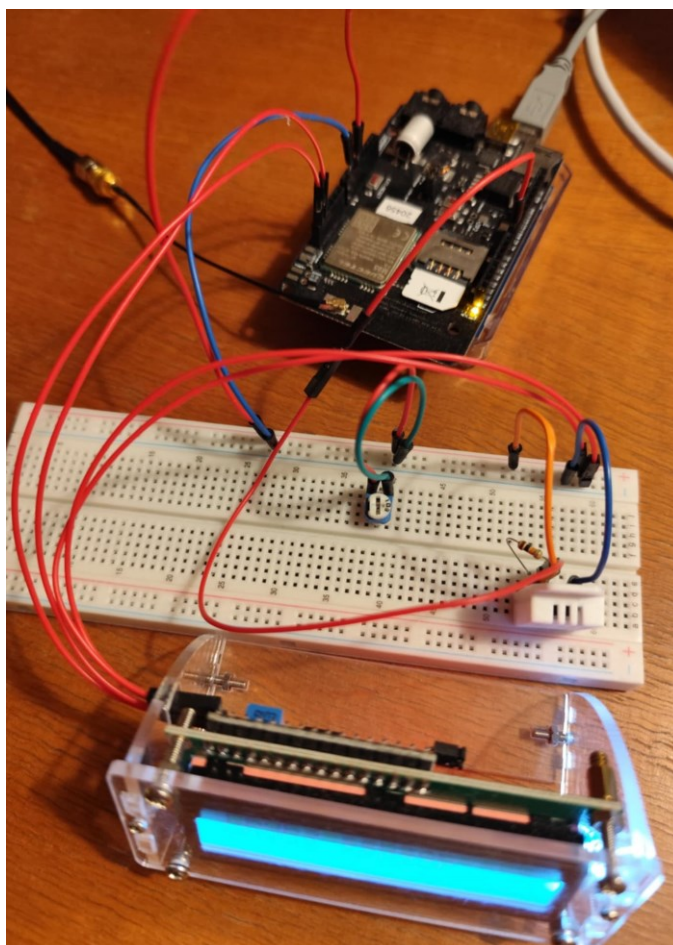
V této úloze si ukážeme, jak pomocí Arduina UNO změřit aktuální teplotu a vlhkost vzduchu pomocí digitálního senzoru **DHT22** a zobrazit tyto hodnoty na **16x2 LCD displeji s I2C převodníkem**. Displej umožní zobrazovat data přímo bez nutnosti připojení k počítači.

Jedná se o základní, ale praktickou aplikaci pro jednoduchý domácí monitor prostředí nebo základ měřicího modulu. Měření probíhá v pravidelných intervalech a výsledek se každé tři sekundy aktualizuje na displeji.

Kromě samotného zobrazení si ověříme i správnou funkci I2C sběrnice, strukturu čtení z DHT senzoru a zpracování naměřených dat. Tato část projektu navazuje na předchozí úlohy a připravuje půdu pro jejich propojení – například automatické odeslání naměřených hodnot pomocí GSM.

Tabulka 22 Hardwarová specifikace 5 [vlastní]

Komponenta	Funkce
Arduino UNO	Hlavní řídicí jednotka
LCD displej 16x2 (I2C)	Zobrazení textových dat (teplota, vlhkost)
DHT22	Senzor teploty a vlhkosti
I2C převodník	(součást LCD) – komunikace přes SDA/SCL
Propojovací vodiče	Spojení komponentů



Obrázek 86 Zapojení Arduina s displejem a čidlem DHT22 [vlastní]

Tabulka 23 Zapojení LCD displeje IC DHT22 [vlastní]

LCD pin	Arduino pin
GND	GND
VCC	5V
SDA	A4
SCL	A5

LCD komunikuje přes I2C, využívá knihovnu LiquidCrystal_I2C.

Tabulka 24 Zapojení čidla DHT [vlastní]

DHT pin	Arduino pin	Funkce
VCC	5V	napájení
DATA	D4	datový pin
GND	GND	zem

V kódu použijeme knihovnu DHT.h.

Po načtení teploty a vlhkosti ze senzoru DHT22 se hodnoty pravidelně zobrazují na LCD displeji. Následující část kódu ukazuje, jak jsou tyto hodnoty zformátovány a vypsány:

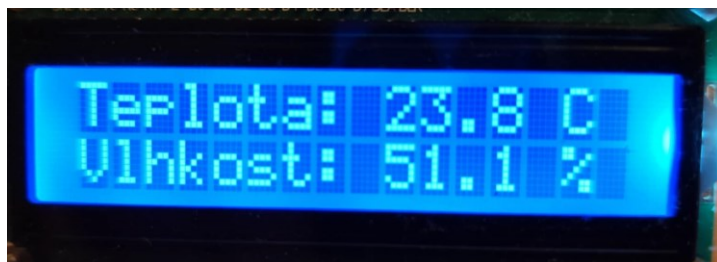
```

lcd.setCursor(0, 0);
lcd.print("Teplota: ");
lcd.print(teplota, 1);
lcd.print(" C");

lcd.setCursor(0, 1);
lcd.print("Vlhkost: ");
lcd.print(vlhkost, 1);
lcd.print(" %");

```

Tato logika je volána každé tři sekundy v nekonečné smyčce loop(). Celý zdrojový kód této úlohy je k dispozici v Příloze P V.



Obrázek 87 Zobrazení naměřených hodnot z čidla DHT22 [vlastní]

Úloha byla úspěšně realizována. Arduino UNO ve spojení se senzorem DHT22 a LCD displejem 16x2 I2C splnilo následující cíle:

- Správně načítá aktuální teplotu a vlhkost v reálném čase
- Zajišťuje vizuální výstup pro uživatele bez externího zařízení
- Pracuje autonomně a pravidelně aktualizuje hodnoty na displeji
- Systém je stabilní a připraven pro další rozšíření (např. o SMS hlášení)

Tato část projektu tvoří základní blok pro měřicí systém. V další fázi bude rozšířena o odesílání těchto hodnot prostřednictvím GSM modulu.

Automatické odesílání SMS s měřením teploty

V této části projektu propojujeme tři základní funkce systému do jednoho celku: **senzorické měření, vizuální zobrazení a vzdálené hlášení pomocí SMS**. Arduino UNO je doplněno o digitální senzor teploty a vlhkosti **DHT22**, který umožňuje pravidelné měření prostředí. Naměřené hodnoty jsou zobrazovány na **LCD displeji s I2C rozhraním** a zároveň jsou **každé tři minuty automaticky odesílány pomocí GSM modulu** na zvolené telefonní číslo.

Systém je navržen tak, aby fungoval zcela autonomně – po zapnutí se inicializují všechny komponenty, systém se přihlásí do mobilní sítě a cyklicky sbírá data. Kromě pravidelného zasílání zpráv systém také sleduje změny teploty v reálném čase. Pokud dojde k náhlému nárůstu (např. skok o více než 2 °C oproti předchozímu měření), odešle varovnou SMS okamžitě, bez ohledu na interval. Tím se ověřuje připravenost systému reagovat na kritické situace

Tato úloha navazuje na předchozí kroky projektu a představuje první plně funkční kombinaci všech dosud použitých modulů. Výsledkem je základní verze **vzdáleného monitorovacího zařízení**, které může být dále rozšířeno o sběr dat z IR kamery nebo ukládání hodnot do paměti.

Tabulka 25 Hardwarová specifikace 6 [vlastní]

Komponenty	Funkce / Popis
Arduino UNO	Řídící jednotka celého systému
DHT22	Senzor pro měření teploty a vlhkosti
LCD displej 16x2 (I2C)	Zobrazení aktuálních hodnot
GSM modul	Odesílání SMS přes mobilní síť (přes AT příkazy)
SIM karta	Aktivní, s PIN kódem xxxx, odesílá na číslo +420 xxx xxx xxx
Externí SMA anténa	Stabilní příjem GSM signálu
Propojovací vodiče	Spojení jednotlivých komponent
Zdroj 12V/2,5A/30W	Napájení přes VIN – nutné kvůli GSM modulu

Poznámky k napájení

GSM modul vyžaduje vyšší proud při přenosu dat → doporučeno externí napájení přes VIN (např. 12V/1–2A adaptér), nebo se může stát, že se GSM nebude schopen přihlásit do sítě a odesílat SMS.

Tabulka 26 Zapojení [vlastní]

Arduino pin	Připojeno k	Funkce
D2	RXD (GSM modul)	Arduino → GSM (odesílání AT příkazů)
D3	TXD (GSM modul)	Arduino ← GSM (příjem odpovědí)
D7	PWRKEY (GSM modul)	Automatické zapnutí modulu
D8	Data pin DHT22	Čtení teploty a vlhkosti
D4	SDA (LCD)	I2C datová linka
D5	SCL (LCD)	I2C hodinový signál
5V	VCC (DHT22, LCD)	Napájení senzoru a displeje
GND	GND všech zařízení	Společná zem
VIN	Napájecí adaptér	Stabilní napájení celého systému

Funkce tohoto kódu:

- Každé 3 minuty změří teplotu a vlhkost → zobrazí na LCD → odešle SMS
- Pokud se teplota od posledního měření zvýší o více než 2 °C, pošle varovnou SMS ihned.
- Posílá výstrahu při překročení absolutního limitu 45 °C.
- Zprávy byly přehledně formátovány na dvě desetinná místa.
- GSM modul se automaticky zapne
- LCD neustále aktualizuje hodnoty

Automatizovaný dohled nad prostředím zajišťuje funkce, která analyzuje teplotu při každém měření a v případě splnění výstražných podmínek odešle varovnou SMS. Ukázka níže obsahuje klíčové rozhodovací větve:

```
if (!isnan(predchoziTeplota) && (teplota - predchoziTeplota >=
SKOK_TEPL)) {
    String msg = "UPOZORNENI: Skok teploty!\nNyni: " + String(teplota,
2) + " C";
    Serial.println("!! Výstraha: Skok teploty.");
    odesliSMS(msg);
    delay(10000);
}

if (teplota >= LIMIT_TEPL) {
    String msg = "UPOZORNENI: Teplota prekrocila limit!\nNyni: " +
String(teplota, 2) + " C";
    Serial.println("!! Výstraha: Limit teploty.");
    odesliSMS(msg);
    delay(10000);
}
```

Tento kód ukazuje, jak může být Arduino použito jako jednoduchý varovný systém. Kompletní implementace včetně měření, zobrazení a živých zpráv je uvedena v Příloze P VI.

```

Výstup   Seriový monitor X
Zpráva (Enter pro odeslání zprávy do 'Arduino Uno' na 'COM8')

Teplota: 23.50 °C | Vlhkost: 51.30 % | Odeslání SMS za: 152 s
Zapínám GSM modul (PWRKEY)...
Teplota: 23.50 °C | Vlhkost: 51.40 % | Odeslání SMS za: 0 s
Odesílám SMS:
Teplota: 23.5 C | Vlhkost: 51.4 %
AT+CPIN="1234"
+CPIN: READY

OK
AT+CMGF=1
OK

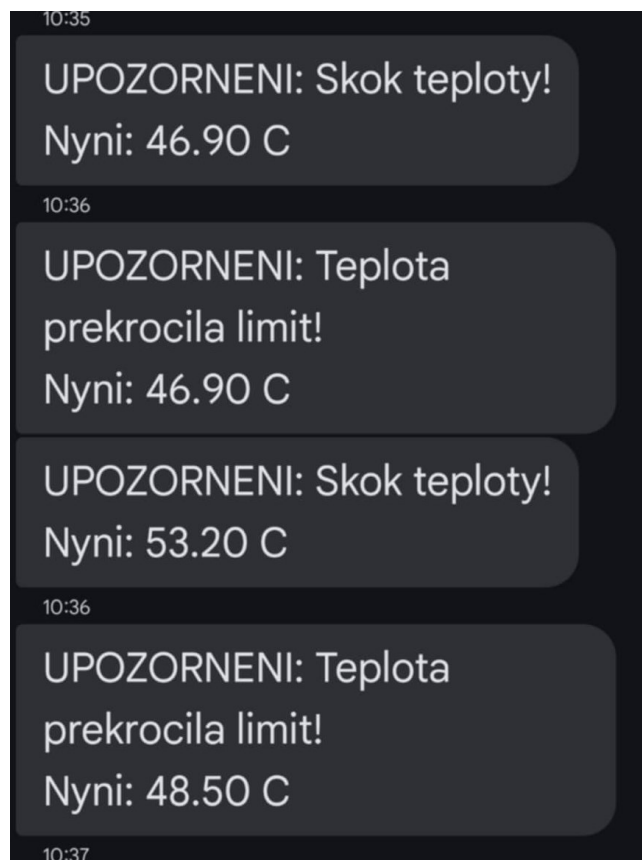
Call Ready
AT+CMGS="+420776001669"
> Teplota: 23.5 C | Vlhkost: 51.4 %SMS odeslána.
Pravidelná SMS odeslána.
Teplota: 23.50 °C | Vlhkost: 51.30 % | Odeslání SMS za: 176 s
Teplota: 23.50 °C | Vlhkost: 51.40 % | Odeslání SMS za: 173 s
Teplota: 23.50 °C | Vlhkost: 51.30 % | Odeslání SMS za: 170 s
Teplota: 23.50 °C | Vlhkost: 51.30 % | Odeslání SMS za: 167 s
Teplota: 23.50 °C | Vlhkost: 51.30 % | Odeslání SMS za: 164 s
Teplota: 23.50 °C | Vlhkost: 51.30 % | Odeslání SMS za: 161 s
Teplota: 23.50 °C | Vlhkost: 51.30 % | Odeslání SMS za: 158 s
Teplota: 23.50 °C | Vlhkost: 51.30 % | Odeslání SMS za: 155 s
Teplota: 23.50 °C | Vlhkost: 51.30 % | Odeslání SMS za: 152 s
Teplota: 23.50 °C | Vlhkost: 51.30 % | Odeslání SMS za: 149 s

```

Obrázek 88 Výpis hodnot v Serial monitor [vlastní]



Obrázek 89 Odesílání SMS v 3 min intervalu [vlastní]



Obrázek 90 Odesílání SMS hlášení [vlastní]

Na závěr lze konstatovat, že jsme úspěšně navrhli a realizovali monitorovací systém teploty a vlhkosti na bázi platformy Arduino s využitím senzoru DHT22, LCD displeje a GSM modulu. Systém umožňuje:

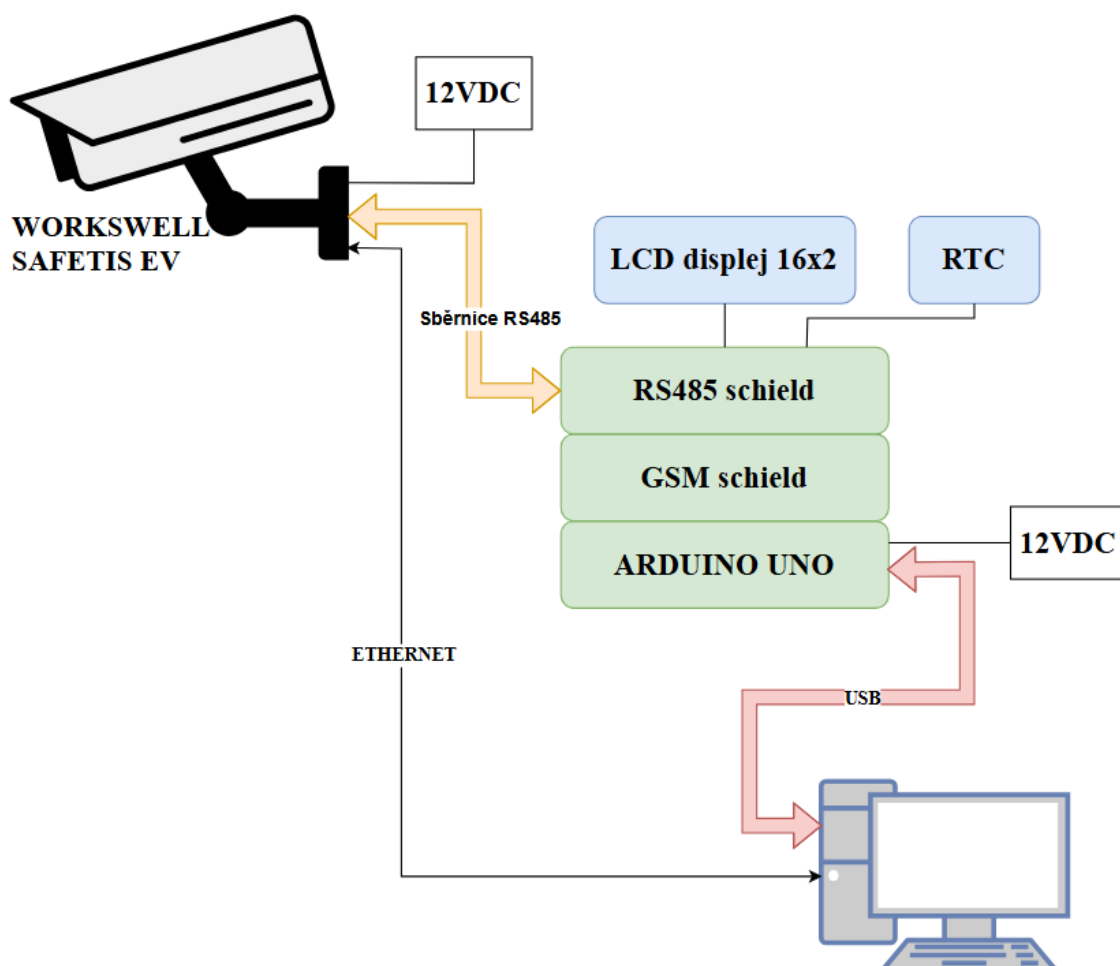
- zobrazovat aktuální hodnoty na displeji (teplota a vlhkost),
- odesílat pravidelné SMS zprávy každé 3 minuty s aktuálními daty,
- aktivovat výstražné SMS při:
 - skokovém nárůstu teploty (o více než 2 °C),
 - překročení nastaveného teplotního limitu (např. 45 °C).

Součástí vývoje byla také integrace základní ochrany proti chybám senzoru a kontrola správné inicializace GSM modulu. Kód byl průběžně laděn a ověřován v reálném provozu.

4.3 Kompletní integrace Arduina s IR kamerou Safetis EV

V závěrečné úloze jsme realizovali plnou integraci systému založeného na Arduinu s infračervenou kamerou Safetis EV, včetně podpory LCD displeje, GSM modulu a reálného času. Cílem bylo sestavit komplexní systém, který:

- **komunikuje s IR kamerou přes rozhraní RS485** a získává data o aktuální teplotě,
- **vyhodnocuje teplotní data**, včetně detekce **nejvyšší hodnoty (MAX ROI)**,
- **zobrazuje aktuální a maximální teplotu** na LCD displeji,
- **odesílá výstražné SMS zprávy** při překročení teplotních mezí nastavených ROI,
- a zároveň **zajišťuje spolehlivý provoz** všech komponent (Arduina a jeho modulů s IR kamerou) v jednom celku.



Obrázek 91 Finální sestava systému [vlastní]

Tabulka 27 Hardwarová specifikace 7 [vlastní]

Komponenty	Funkce / Popis
Arduino UNO	Hlavní řídicí jednotka
IR kamera SafetisEV	Zdroj teplotních dat přes RS485
RS485 modul	Převod signálu mezi IR kamerou a Arduinem
LCD displej 16x2 (I2C)	Zobrazení teplotních hodnot
GSM modul + SIM	Odesílání SMS přes síť
RTC modul DS3231	Časové značkování dat
Propojovací vodiče	Fyzické propojení komponent
Zdroj 12V / 2.5A	Napájení celého systému

Co systém zvládá:

- **Komunikuje s IR kamerou SafetisEV** přes rozhraní RS485. Z kamery čte čtyři klíčové registry:
 - ROI1P (reg 17): teplota v ROI1 – preventivní sledování
 - ROI1C (reg 20): teplota v ROI1 – kritická úroveň
 - ROI2P (reg 22): teplota v ROI2 – preventivní sledování
 - ROI2C (reg 25): teplota v ROI2 – kritická úroveň

Vyhodnocení alarmů probíhá nezávisle pro každou oblast (ROI). Pokud je překročena preventivní nebo kritická teplota, systém odešle jednorázovou SMS zprávu s upozorněním. Opětovné vyhodnocení nastává až po poklesu teploty pod předdefinovaný resetovací práh.

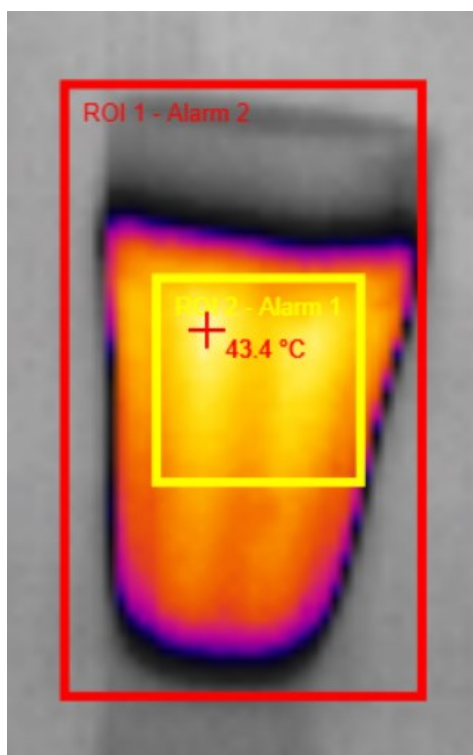
```

if (temps[0] > ROI1_PREV && !alarm2_sent) {
    sendSMS("ALARM PREVENTIVE ROI1: " + String(temps[0], 1) + "C");
    alarm2_sent = true;
}

if (temps[1] > ROI1_CRIT && !alarm1_sent) {
    sendSMS("ALARM CRITICAL ROI1: " + String(temps[1], 1) + "C");
  
```

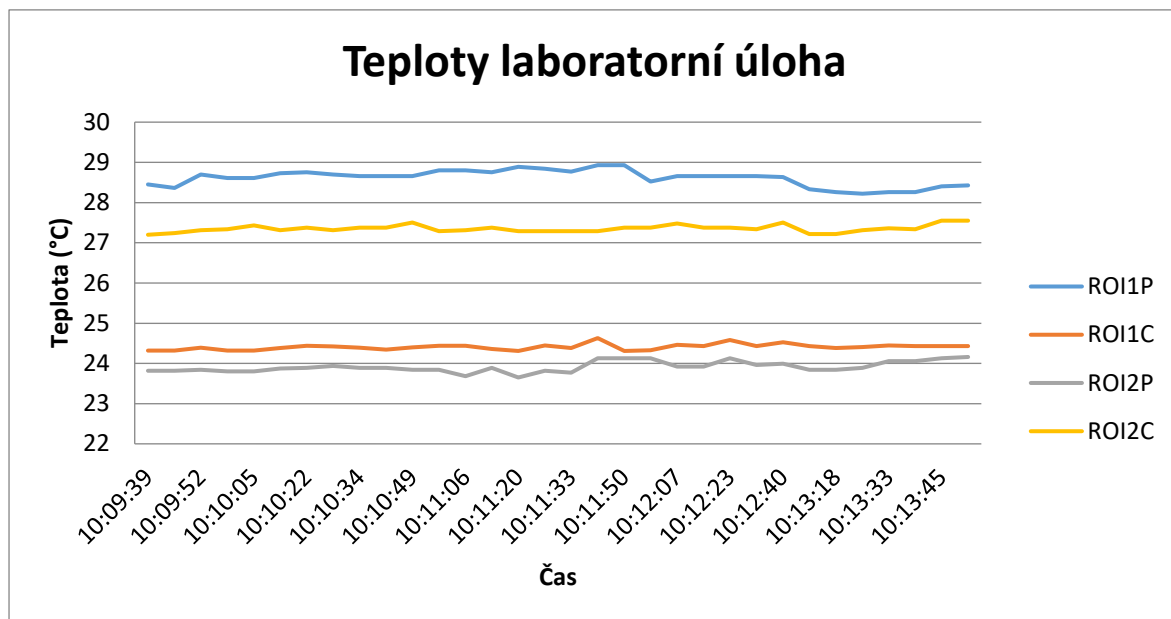
```
alarm1_sent = true;  
}
```

Tento úsek je jádrem varovného systému: rozhoduje o tom, kdy systém skutečně vyhodnotí situaci jako rizikovou a upozorní na ni uživatele pomocí SMS. V reálném nasazení to může znamenat např. včasné varování před přehřátím zařízení, požárem nebo poruchou. Kompletní implementace je uvedena v Příloze P VII.



Obrázek 92 Detail ROI1 a ROI2 [vlastní]

- **Zobrazuje hodnoty na LCD displeji (16x2, I2C)**
 - displej sice původně nebyl součástí návrhu, ale v praxi se ukázalo jako velmi užitečné mít možnost přímo na zařízení vidět aktuální stav měření
 - zobrazuje čtyři aktuální teplotní údaje získané z kamerového systému
- **Vyhodnocení alarmových stavů**
 - alarm PREVENTIVE při překročení definovaného prahu (např. 30 °C/35 °C)
 - alarm CRITICAL při překročení vyššího limitu (např. 40 °C/45 °C)
 - opětovné povolení alarmu až po poklesu teploty pod určenou mez (-2 °C)



Obrázek 93 Graf teplot laboratorní úlohy

- **Zobrazení hodnot na LCD displeji:**
 - i když displej nebyl původně součástí projektu, byl dodatečně integrován na základě praktické potřeby – umožňuje obsluze vidět aktuální stav přímo na místě.
 - zobrazuje hodnoty R1P, R1C, R2P, R2C ve zkráceném formátu např.:
 - R1P:28.5 R1C:31.2
 - R2P:29.0 R2C:30.7
- **GSM komunikace**
 - po přihlášení do sítě přes PIN odešle úvodní zprávu
 - každých 5 minut odesílá stavovou SMS s aktuálním měřením
 - při výstražné situaci okamžitě odešle SMS a odpojí GSM kvůli minimalizaci rušení RS485
- **RTC modul (DS3231):**
 - přidán pro časové značkování všech měření a SMS hlášení
 - přesný čas umožňuje zpětnou analýzu teplotních jevů a tvorbu grafů

Jak jsme testovali:

- Měření probíhalo na sklenici s vodou, do které jsme postupně přilévali teplou vodu. Tak jsme simulovali jak pozvolný, tak náhlý nárůst teploty.
- Hodnoty jsme ověřovali na displeji a v Serial monitoru, zároveň jsme sledovali odesílání zpráv přes GSM.
- Zjistili jsme, že při běhu systému s připojeným PC a neaktivním Serial monitorem může dojít k výpadku komunikace a chodu kódu.
- Proto jsme v ostrém provozu všechny Serial.print() příkazy zakomentovali – systém nyní běží plně samostatně, bez závislosti na počítači.

Shrnutí:

Tato úloha byla zásadní, protože jsme v ní poprvé spojili všechny klíčové moduly – IR kameru, displej, GSM komunikaci a hodiny reálného času – do jednoho autonomního a spolehlivě fungujícího systému.

Systém je schopen sbírat a vyhodnocovat teplotní data z IR kamery, zobrazovat data na LCD, odesílat výstražné i informativní SMS, ukládat měření s přesným časem, funguje nezávisle na počítači a je připravený pro reálné nasazení.

Díky tomu je vhodný například pro monitorování strojoven, technologických zařízení nebo jiných míst s požadavkem na dohled nad teplotními změnami a přenosu důležitých dat například na dispečink pro další zpracování.

5 INSTALACE SYSTÉMU DO REÁLNÉHO PROVOZU

V rámci dokončování vývoje systému pro teplotní monitoring byl proveden zátěžový test přímo v terénu, na ČSOV Ponětovicích. Cílem bylo ověřit, jak se zařízení chová v reálném provozu – tedy ne v laboratorních podmínkách, ale tam, kde čerpadla skutečně běží, střídají se a občas i selžou.

Hlavní zaměření bylo na sledování teplotního nárůstu na FM řízeném čerpadlo M5. Systém měl pomocí termokamery s přesně nastavenými oblastmi sledování (ROI) rozpoznat případné přehřívání. Během testu se čerpadla střídala podle běžného provozního scénáře, a následně byla simulována i porucha – kdy zůstalo v chodu pouze čerpadlo M5 a zároveň bylo vypnuto chlazení ventilátorem.

Test byl důležitý nejen kvůli samotnému měření, ale i kvůli ověření, že celý systém funguje spolehlivě – že kamera zobrazuje správně teploty, že přicházejí SMS zprávy o stavu, a že se zařízení zvládne chovat předvídatelně i bez zásahu obsluhy.



Obrázek 94 Instalace kamery na ČSOV Ponětovice [vlastní]

5.1 Instalace a sledované parametry

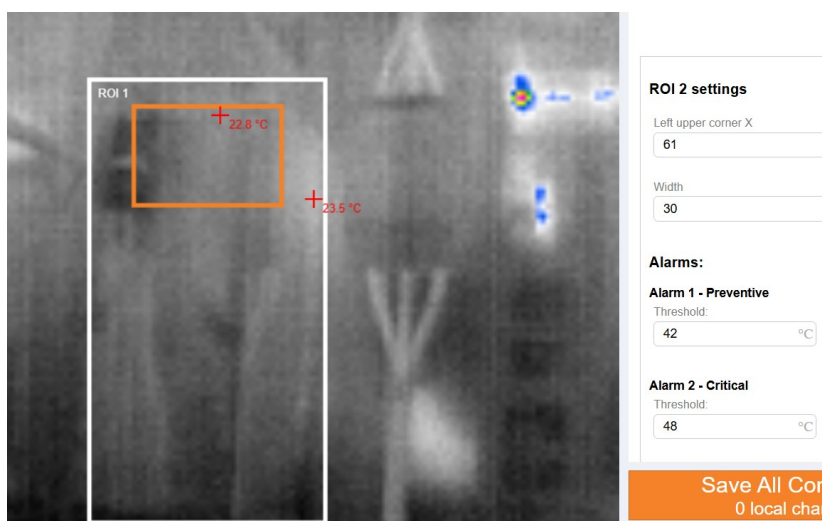
Termokamera SAFETIS EV byla dočasně nainstalována přímo do prostoru rozvodny ČSOV tak, aby měla dobrý výhled na FM čerpadla M5, zároveň byla chráněna proti nechtěnému poškození a minimalizaci rušení od okolních teplých ploch.



Obrázek 95 Oblasti ROI na FM čerpadla M5 [vlastní]

Na kameře byly definovány dvě oblasti zájmu ROI viz obrázek 95, obě zaměřené přímo na frekvenční měnič (FM).

- **ROI1** sloužila jako širší záběr pro celkový přehled nad čelní částí FM
- **ROI2** byla přesněji nasměrována na svorkovnici FM – tedy na místo, kde se očekával největší teplotní nárůst



Obrázek 96 Detail z kamery oblasti ROI [vlastní]

Pro obě oblasti byly nastaveny dva stupně teplotních alarmů, rozlišené jako preventivní a kritické. Konkrétní hodnoty byly zvoleny na základě technických parametrů FM:

- **ROI1:**
 - Preventivní práh: **38 °C**
 - Kritický práh: **45 °C**
- **ROI2:**
 - Preventivní práh: **42 °C**
 - Kritický práh: **48 °C**

Cílem bylo zachytit nejen překročení limitních hodnot, ale i delší trend zvyšující se teploty, který by mohl indikovat vznikající problém dříve, než dojde k poškození komponent.

5.1.1 Průběh testování a výsledky měření

Test probíhal ve dvou fázích:

- **Běžný provoz**

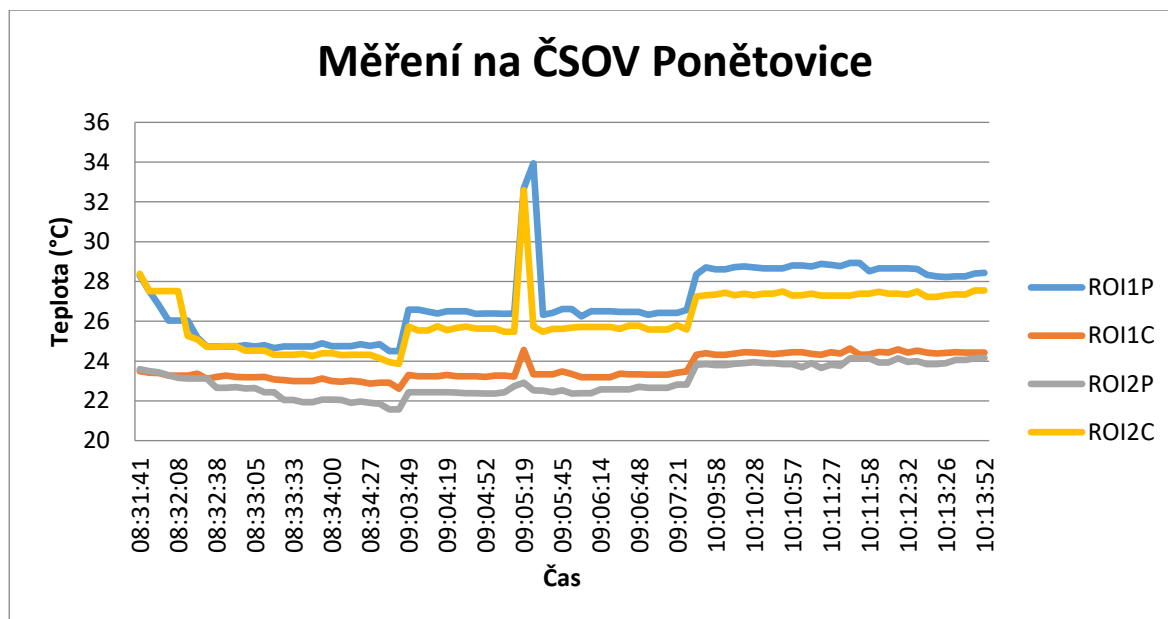
Čerpadla (M4, M5, M6) se střídala v automatickém režimu, přičemž každé absolvovalo jeden čerpací cyklus. Během tohoto provozu byl spuštěn termální monitoring, přičemž teploty se pohybovaly v očekávaných mezích. Ventilátor chlazení byl aktivní.

- **Simulovaný poruchový stav**

Došlo k manuálnímu vyřazení čerpadel M4 a M6. Provoz byl zajišťován pouze čerpadlem M5, které absolvovalo opakované čerpací cykly bez přestávek. Zároveň bylo vypnuto aktivní chlazení ventilátorem, čímž se simuloval stav výpadku chlazení nebo ztráty účinnosti odvodu tepla.

V rámci této fáze byl ponechán dostatečný čas k tomu, aby akumulární prostor dosáhl maximální hladiny – přibližně 10 cm pod MAX přepad, tedy téměř plného stavu před zahájením odčerpávání. Následně bylo čerpadlo vystaveno intenzivnímu záběru, kdy pracovalo na vyšší zátěži s čerpáním většího objemu vody.

Níže uvedený graf ukazuje průběh teplot v ROI během této simulace:

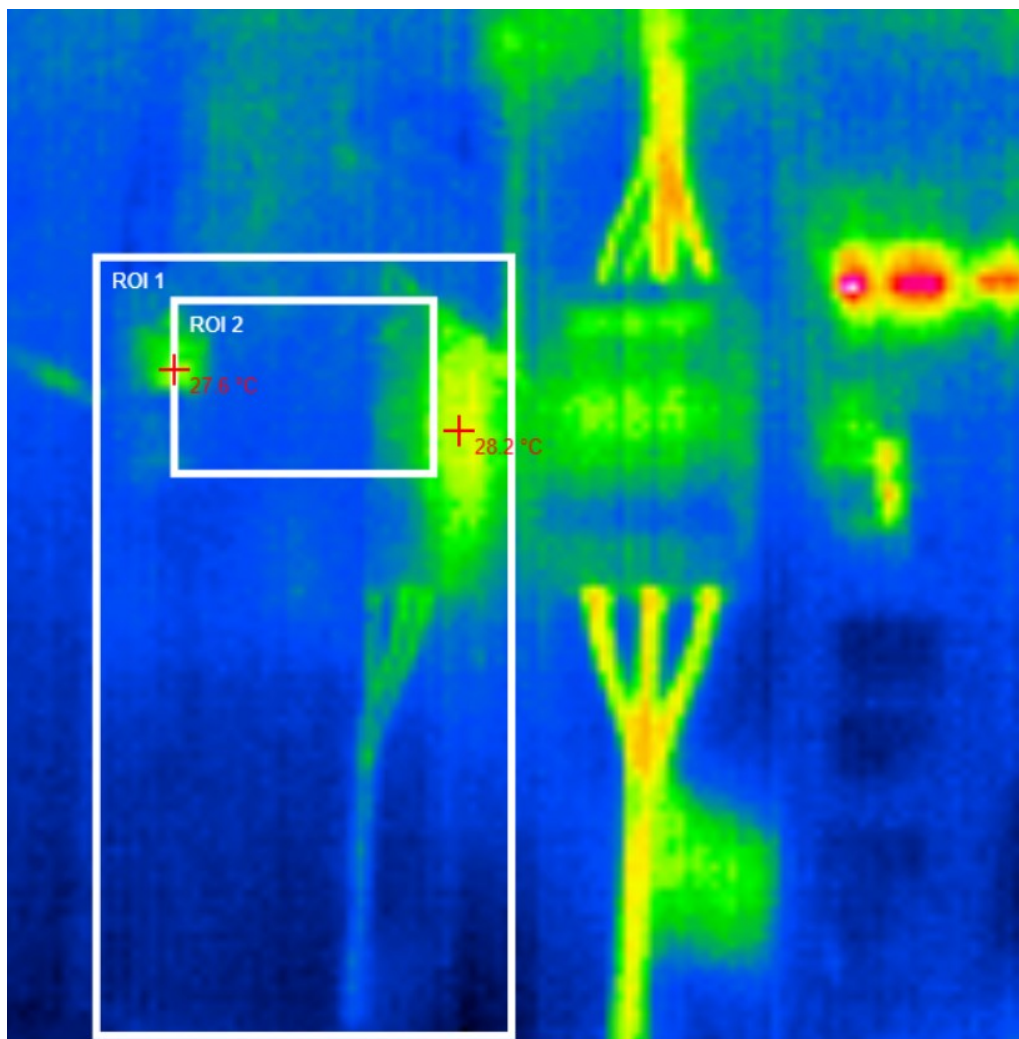


Obrázek 97 Graf teplot v průběhu simulace

Na grafu vidíme – skutečně naměřené teploty během čerpacího cyklu zobrazuje vývoj teplot na čtyřech měřených místech ROI:

- Po většinu času jsou teploty stabilní a rozdíly mezi kanály jsou malé.
- Uprostřed grafu je výrazný teplotní nárůst (peak) – typický pro zátěžovou fázi našeho testování. Tento peak odpovídá fázi, kdy došlo k aktivaci čerpadla v režimu MAX záběru. Prostor před čerpadlem byl záměrně naplněn až přibližně 10 cm pod přepad (téměř maximální stav), čerpadlo poté čerpalo větší objem vody ve vyšší zátěži. Tento typ provozu je záměrně simulovaný stav – za běžných podmínek nenastává.

Tento test potvrdil, že při maximálním zatížení může dojít ke krátkodobému nárůstu teplot, ale je zřejmé, že systém je navržený (naddimenzovaný), aby zvládl toto krátkodobé přetížení. Za běžného provozu je termická stabilita zajištěna díky rozdělení výkonu mezi dvě čerpadla.



Obrázek 98 Ukázka kabeláže za chodu čerpadla [vlastní]

Závěrem lze říci, že systém se během testu osvědčil jako spolehlivý nástroj pro vizuální a teplotní diagnostiku. Alarmy fungovaly dle očekávání a vizualizace teplot v reálném čase umožnila snadné vyhodnocení situace i bez nutnosti připojení k nadřazenému řídicímu systému.

Nutno ovšem podotknout, že se nepodařilo dosáhnout předpokládaného přetížení frekvenčního měniče. Měření bylo prováděno v průběhu standardního provozu, kdy se bohužel nevyskytly ani větší srážky. Z tohoto důvodu nebylo ani možné delší dobu simulovat přetížení čerpadla, abychom se alespoň přiblížili ke kritickým hodnotám. Na tento nezdar se lze dívat i z pozitivního hlediska, jelikož z tohoto měření a testu přetížení je zřejmé, že systém je navržen tak, aby odolával i případným krátkodobým krizovým situacím.

Během měření bylo navíc zaznamenáno vyšší tepelné zatížení kabeláže a vnitřní výzbroje rozváděče – v některých případech dokonce vyšší než na samotném FM měniči.

Tato skutečnost potvrzuje, že termální monitoring může sloužit nejen ke kontrole stavu pohonů, ale i k širšímu dohledu nad celým elektrickým systémem.

V průmyslových provozech, kde je zařízení napojeno na dispečerské nebo SCADA systémy, by šlo toto řešení snadno rozšířit o komunikační vrstvu pro přenos dat do řídicího centra. Tím by se stal systém plnohodnotnou součástí trvalého diagnostického prostředí s možností okamžité reakce na vznikající problémy.

Zároveň je ale třeba zdůraznit, že díky své kompaktnosti a jednoduché instalaci se nabízí také druhý přístup, využít systém jako mobilní nástroj pro cílenou diagnostiku v rámci celého objektu nebo více zařízení v majetku či správě provozovatele. Takové nasazení by umožnilo pravidelné kontroly elektroinstalace i na místech, která nejsou trvale pod dohledem, a významně tak přispělo k prevenci poruch, ztrát provozní dostupnosti a v krajním případě i k předejití vzniku požáru způsobeného přehřátím.

5.2 Důležité upozornění: praktické zkušenosti z integrace

Při integraci systému jsme narazili na několik důležitých problémů, které mohou ovlivnit funkčnost komunikace mezi Arduinem a IR kamerou Safetis EV. Níže popisujeme hlavní poznatky a doporučení:

- **Přechod kamery do režimu RS485**

Jakmile se kamera přepne do režimu RS485, její webové rozhraní přestává fungovat, protože tím dojde k deaktivaci TCP/IP komunikace. Je však důležité upozornit, že při přepínání přes webové rozhraní občas nastane situace, kdy kamera přechod do režimu RS485 neprovede úplně správně – a to může vést k tomu, že začne vykazovat chybové hodnoty, jako jsou nesmyslně vysoké nebo záporné teploty mimo reálný rozsah. Tato chyba je specifická pro přepnutí přes web a neprojevuje se při přepnutí přes oficiální software (GUI)

- Vždy používejte oficiální software pro přepínání režimů.
- Nepřepínejte a znovu se nepřihlašujte se přes webové rozhraní, pokud to není nezbytné.
- Po přepnutí zkontrolujte, že kamera skutečně odesílá validní data.
- Pokud ne, proveďte hardwarový reset kamery (tlačítko pod šroubkem na zadní straně, podržet 10 sekund).

```

Teplota ROI1: 106.17 C
Teplota ROI1: 106.17 C
Teplota ROI1: 179.32 C
Teplota ROI1: 179.32 C

```

Obrázek 99 Ukázka nekorektních hodnot [vlastní]

- **Problémy se stabilitou sběrnice RS485**

Již od začátku jsme zaznamenávali nestabilitu sběrnice RS485 mezi kamerou a Arduinem. Pomocí přídavného RS485 převodníku a softwaru Modbus Poll jsme otestovali přímé spojení mezi kamerou a PC. Tím jsme potvrdili, že kamera odesílá korektní data a problém je na straně propojení s Arduinem.

Zásadní zjištění přišlo po odpojení ladicího převodníku – sběrnice se začala opět chovat nestabilně. Ukázalo se, že tento převodník obsahoval vnitřní rezistory, které neplánovaně zajišťovaly stabilitu signálu. Jakmile jsme jej odpojili, sběrnice ztratila referenční úroveň a vznikla tzv. "plovoucí" sběrnice bez definovaného logického stavu.

Byl doplněn bias rezistor – konkrétně 1 kΩ mezi vodiče:

A a +5 V (pull-up)

B a GND (pull-down).

Tím se obnovila stabilita signálu a komunikace běží spolehlivě.

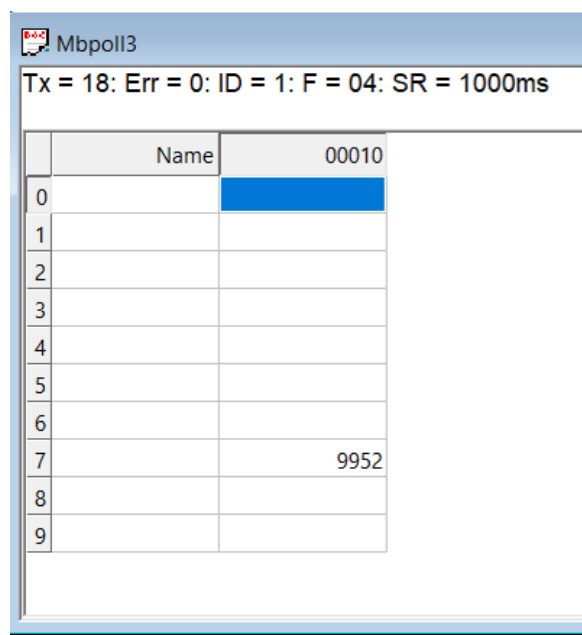
Vysvětlení: Bias rezistory drží sběrnici v definovaném logickém stavu, když nikdo neposílá data. Doporučuje se umístit je jen na jednom místě sběrnice (vždy u master, v našem případě tedy Arduina).

- **Přepočet Modbus hodnoty na teplotu °C, pomocí software Modbus Poll**

Kamery řady **SAFETIS** odesílají teplotní hodnoty ve formátu 16bitového čísla po Modbus sběrnici. Tyto hodnoty nejsou přímo ve °C, ale v interním formátu, který je třeba přepočítat.

$$\text{Teplota } [^{\circ}\text{C}] = (\text{Hodnota} / 100) + 200 - 273.15 \quad (6)$$

Hodnota	Číselná hodnota načtená z Modbus registru (např. 9952)
/ 100	Převod ze setin stupňů na celé číslo s desetinnou přesností
+ 200	Posun do teplotního rozsahu
- 273.15	Převod výsledku z Kelvinů na °Celsia



	Name	00010
0		
1		
2		
3		
4		
5		
6		
7		9952
8		
9		

Obrázek 100 Modbus Poll monitorink sběrnice [vlastní]

$$\text{Teplota} = (9952 / 100) + 200 - 273.15 = 99.52 + 200 - 273.15 = \mathbf{26.37\text{ }^{\circ}\text{C}}$$

Tento vzorec je standardní pro teplotní data z kamer SAFETIS připojených přes RS485/Modbus. Umožňuje správně převést data z registru do fyzikálně smysluplných jednotek. Správné použití je klíčové pro alarmy, logování a řízení na základě teplot.

- **Kolize na portu při přihlašování PINem**

Přístup do IR kamery je z bezpečnostních důvodů chráněn PINem – bez jeho zadání kamera odmítá komunikaci. PIN musí být odeslán ihned po spuštění systému, jinak nedojde k navázání spojení.

Při testování jsme současně spustili Serial monitor, který zachytával data ze sběrnice. V důsledku toho komunikace mezi Arduinem a kamerou nefungovala správně – všechny zprávy (včetně PINu) šly do monitoru a nikoli do samotné kamery. Kamera tak PIN nikdy neobdržela a spojení se nepodařilo navázat. Tato situace vznikla kolizí na portu, kdy byl výstup nesprávně přesměrován.

- Ujistěte se, že vysílací port kamery je správně propojen na vstupní pin Arduina (SoftwareSerial), nikoliv do monitoru nebo debuggeru.
- Po správném propojení kamera přijala PIN a začala posílat data bez problémů.
- K této situaci by pravděpodobně vůbec nedošlo, pokud by kamera ihned po startu začala vysílat validní data. Kvůli předchozím problémům s chybným přepínáním režimu jsme však chtěli mít možnost sledovat průběh komunikace přes Serial monitor – právě to vedlo ke kolizi, která zabránila správnému odeslání PINu.

- **Napájení Arduina a práce s GSM modulem**

Při používání GSM modulu jsme narazili na další klíčové poznatky:

GSM modul vyžaduje dostatečný proudový odběr, zvláště při odesílání SMS nebo navazování spojení. Spotřeba může krátkodobě překročit 1–2 A, což běžné napájení z USB portu nezvládne. Proto byl celý systém napájen stabilním externím zdrojem 12V / 2,5A.

Pozor při připojování a odpojování Arduina k PC přes USB, pokud už je systém napájen z externího zdroje! Pokud není správně uzemněno nebo nejsou zdroje galvanicky odděleny, může vzniknout rozdíl potenciálů, který způsobí zkrat přes USB port – hrozí tím poškození Arduina nebo PC.

6 TECHNICKÉ A EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ SYSTÉMU

Tato kapitola poskytuje celkový přehled o navrženém systému jak z technického, tak z ekonomického hlediska. Cílem je zhodnotit realizované řešení z pohledu funkčnosti, technické náročnosti, možnosti dalšího rozvoje i finanční efektivity. Systém byl navržen s důrazem na spolehlivost, modularitu a dostupnost použitých komponent.

6.1 Technické zhodnocení systému

Navržený systém využívá termokameru **Safetis EV-C** od společnosti Workswell, která umožňuje detekci teplotních anomálií v reálném čase prostřednictvím až 19 200 senzorů. Díky integrovanému operačnímu systému není potřeba připojení k externímu PC, což snižuje nároky na instalaci a zvyšuje bezpečnost dat.

Kamera disponuje:

- detekcí na bázi duálního alarmu (varování/kritický stav),
- protokolem Modbus RTU přes RS485 nebo Ethernet,
- možností streamování videa a připojení přes webserver nebo desktopovou aplikaci,
- IP krytím IP65, odolností proti povětrnostním vlivům a hmotností pod 300 g.

Pro komunikaci a vizualizaci stavu systému je využito Arduino Uno Rev3, doplněné o GSM shield pro bezdrátovou komunikaci, RS485 převodník pro komunikaci s kamerou a alfanumerický displej pro základní výstupy. Celý systém je navržen jako modulární a rozšiřitelný, s možností budoucí integrace dalších prvků, například databázového zázemí nebo online vizualizace.

Výhody systému:

- vysoká přesnost a citlivost měření (citlivost 0.1 °C),
- autonomní provoz bez nutnosti externího zpracování,
- flexibilní napájení 12–24 V,
- možnost vzdáleného dohledu (GSM, Ethernet),
- snadné rozšíření o další funkce.

Nevýhody systému:

- vyšší pořizovací cena kamery Safetis EV,
- potřeba přesné konfigurace komunikace a napájení,
- závislost na stabilitě GSM signálu pro vzdálenou správu.

6.2 Ekonomické zhodnocení systému

V tabulce níže je položkový rozpočet jednotlivých komponent celého systému, započítána je hodinová sazba technika v rámci programování celého systému.

Níže je uveden orientační položkový rozpočet na jednotlivé komponenty systému. Uvedené ceny zahrnují technický hardware včetně napájecích zdrojů a antén, ale nezahrnují cenu práce technika (ta je zohledněna samostatně).

Ochranný box pro řídicí jednotku je navržen pro umístění kompletní sestavy Arduino s rozšiřujícími moduly (RS485, RTC, GSM, SD karta) a LCD displejem. Box bude vytištěn na 3D tiskárně z materiálu PETG nebo ABS, což zajišťuje dostatečnou mechanickou a tepelnou odolnost pro použití v průmyslovém prostředí (např. rozvodna). Součástí návrhu je výřez pro displej 16×2 znaků, vstupy pro napájení a komunikaci, a možnost uchycení ke stěně nebo na DIN lištu. Vnitřní prostor krabičky je dimenzován tak, aby bylo možné bezproblémově osadit všechny komponenty a zajistit jejich větrání.

SIM kartu zajišťuje provozovatel podle vlastních požadavků, a to včetně výběru operátora a tarifu, který odpovídá standardům nebo interním pravidlům dané organizace.

6.2.1 Materiálové náklady

Tabulka 28 Materiálové náklady [43, 48, 51, 52, 66 - 70]

Komponenty	Cena s DPH
Arduino Uno Rev3	684 Kč
DFRobot RS 485 Shield MAX485ESA	275 Kč
GSM Shield v2.105 (verze s pájenými konektory)	1.028 Kč
MiniMag GSM 3G 6 dBi SMA anténa 3 m	152 Kč
U.FL – RP-SMA adaptér – samec – 10 cm	80 Kč
DM1602AB alfanumerický LCD displej	119 Kč
Převodník USB na RS485 s čipem CH340C	41 Kč
Kontaktní deska JustPi – 400 otvorů	40 Kč
justPi 12V/2,5A napájecí zdroj pro Arduino	224 Kč
Kamera Safetis EV-C	45.000 Kč
Ochranný box, návrh (tisk 3D)	850 Kč
Kabeláž, napájecí zdroj pro kameru (odhad)	1.000 Kč
CELKEM (včetně DPH, bez práce)	49 493 Kč

6.2.2 Časový a finanční rozpočet práce technika

Zde je návrh **časového rozpočtu s oceněním prací** pro celý systém v přehledné tabulce. Předpokládáme hodinovou sazbu technika **700 Kč/h** (běžná sazba pro embedded systémy, automatizaci nebo průmyslové aplikace).

Tabulka 29 Časový a finanční rozpočet

Fáze práce	Odhad hodin	Sazba/h	Cena celkem (Kč)	Poznámky
Studie proveditelnosti, návrh systému	5 h	700 Kč	3.500 Kč	Návrh zapojení, výběr komponent
Nákup, příprava, kompletace dílů	3 h	700 Kč	2.100 Kč	Pájení, konektory, testy napájení
Mechanická a elektrická montáž	5 h	700 Kč	3.500 Kč	Včetně instalace kamery
Programování Arduina, logika alarmů	8 h	700 Kč	5.600 Kč	GSM notifikace, čtení z RS485
Konfigurace Safetis EV (SW, ROI, alarmy)	5 h	700 Kč	3.500 Kč	Modbus, IP síť, výstupy
Testování systému	4 h	700 Kč	2.800 Kč	Simulace alarmů, výpadky, rušení
Tvorba technické dokumentace	4 h	700 Kč	2.800 Kč	Uživatelský návod, montážní list
CELKEM	34 h		23.800 Kč	

6.2.3 Celkové náklady na systém

Tabulka 30 Celkové náklady

Položka	Cena s DPH
Materiál a hardware	49.493 Kč
Práce technika (realizace)	23.800 Kč
CELKOVÉ NÁKLADY NA SYSTÉM	73.293 Kč

Celkově lze říci, že za částku přibližně **73 000 Kč** je možné realizovat **plně funkční a technicky sofistikovaný systém** pro detekci teplotních anomálií v reálném čase. Systém kombinuje profesionální průmyslovou termokameru, autonomní řízení a vzdálenou komunikaci, a je tak vhodný pro aplikace v oblasti požární prevence, bezpečnostního dohledu nebo monitoringu zařízení v náročných provozních podmínkách.

ZÁVĚR

Cílem této práce bylo navrhnout, sestavit a ověřit funkční systém pro bezkontaktní teplotní monitorování s možností včasného varování před tepelným přetížením technologických zařízení ve vodohospodářském provozu. Navržený systém byl postaven na kombinaci čtyř základních komponent: mikrořadiče Arduino UNO, komunikační sběrnice RS485, GSM modulu a termokamery Safetis EV.

Komunikace mezi kamerou Safetis EV a mikrokontrolérem Arduino UNO probíhala prostřednictvím sběrnice RS485, a to za použití protokolu Modbus RTU. Arduino ve zvolených intervalech odesílalo požadavky na čtení vstupních registrů kamery, konkrétně s ohledem na teplotní data ze sledovaných oblastí ROI a stav alarmu. Na základě získaných hodnot je v programu vyhodnocován aktuální stav a v případě potřeby aktivován výstupní alarm přes GSM modul. Přidanou hodnotou po aktivaci bylo odeslání hlášení, že kamera je aktivní. Dále se ve zvoleném intervalu odesílalo hlášení o aktivitě systému s aktuálními měřenými hodnotami. Ostatní komponenty (RS485 převodník, GSM modul) jsou s Arduinem plně propojeny přes standardní digitální I/O a sériové piny. Komunikační logika je realizována přímo v programu mikrokontroléru, který byl napsán v jazyce C++ s využitím vývojového prostředí Arduino IDE. Pro ladění a testování přenosu dat byl využit sériový monitor v prostředí Arduino IDE, který umožnil sledovat načítané hodnoty a testovat odezvu systému v různých režimech.

Před samotným nasazením systému do provozu byla provedena série laboratorních simulací. V rámci těchto testů byl systém vystaven simulovaným alarmovým situacím, ve kterých byly testovány teplotní limity, stabilita komunikace a funkčnost výstupních SMS hlášení. V průběhu programování a testování systému vyvstaly některé problémy a kolizní situace, které ve své práci také popisují.

Po úspěšném ověření všech funkcí byl systém nasazen do reálného provozu ČSOV Ponětovice. Termokamera byla nainstalována v prostorách technologické rozvodny tak, aby měla přímý výhled na FM měnič jednoho ze tří hlavních čerpadel. S ohledem na přehlednost a minimalizaci vnějších vlivů bylo zvoleno stabilní uchycení kamery v dostatečné vzdálenosti s možností přesného zaměření oblastí zájmu (ROI).

Testování probíhalo ve dvou základních režimech. Nejprve byl systém provozován za běžného provozu stanice, kdy se čerpadla M4, M5 a M6 střídají v pravidelných čerpacích

cyklech. V tomto režimu bylo cílem ověřit stabilitu měření a správnou identifikaci běžných provozních teplot.

Následně byla provedena simulace poruchového stavu. Dvě z čerpadel byla záměrně vyřazena z provozu a čerpací cykly probíhaly výhradně pomocí jednoho čerpadla. Zároveň bylo deaktivováno nucené chlazení, čímž došlo k nárůstu teploty. Teplota v těchto kritických bodech byla sledována pomocí dvou nastavených oblastí ROI.

Systém v průběhu testování spolehlivě reagoval na teplotní změny, a to jak za standardních podmínek, tak během simulovaného zatížení. Získaná data prokázala, že navržený monitoring je schopen včas identifikovat teplotní nárůst a informovat obsluhu dříve, než by mohlo dojít ke kritickému přehřátí nebo provoznímu selhání zařízení. Zajímavým zjištěním během testu bylo i pozorování výraznějšího tepelného zatížení kabeláže a prvků v rozváděči.

Z praktického hlediska se ukázalo, že nasazený systém je nejen funkční a přesný, ale také flexibilní. Lze jej využít buď jako trvale integrovaný prvek v rámci provozu, nebo jako mobilní zařízení pro diagnostiku v různých objektech pod správou provozovatele. Kromě sledování FM měničů se během testu prokázal i jeho potenciál v oblasti kontroly kabeláže a rozváděčů, kde byly zaznamenány vyšší teplotní zatížení než na samotném zařízení.

Mezi hlavní výhody systému patří vysoká přesnost měření (citlivost 0,1 °C), autonomní provoz, flexibilní napájení a možnost vzdáleného dohledu. Naopak nevýhodou může být vyšší pořizovací cena kamery a nutnost přesného nastavení komunikace a napájecích prvků. Systém je však navržen modulárně a lze jej dále rozšiřovat například o online vizualizaci, databázové úložiště nebo napojení na stávající dispečerské systémy.

Navržený systém, jehož celková cena činí přibližně 73 000 Kč, kombinuje průmyslovou termokameru Safetis EV, řídicí jednotku Arduino UNO s připojenými moduly pro GSM komunikaci, RS485 převodník a základní displej. Díky vyššímu krytí IP65 je vhodná i pro provoz ve zhoršených podmínkách.

Z výsledků testování v provozu ČSOV Ponětovice i z analýzy technického přínosu je zřejmé, že nasazení tohoto typu monitoringu má potenciál významně zvýšit úroveň požární bezpečnosti a spolehlivosti technologických zařízení, a to jak v rámci trvalé instalace, tak jako mobilní nástroj pro diagnostiku v rámci rozsáhlejší infrastruktury.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] *Infračervené záření z pohledu fyziky*. Online. Sun of Hope. Dostupné z: <http://sun-of-hope-topne-panely.sunofhope.cz/pohled-fyziky.pdf>. [cit. 2025-03-04].
- [2] *Světlo: Elektromagnetické vlnění, spektrum a fotony*. Online. Khan Academy. Dostupné z: <https://cs.khanacademy.org/science/obecnachemie/xfed2aace53b0e2de:atomy-a-jejich-vlastnosti/xfed2aace53b0e2de:fotoelektronova-spektroskopie/a/light-and-the-electromagnetic-spectrum>. [cit. 2025-02-17].
- [3] PAVELEK, Milan. *Teorie termovizních měření*. Online. Energetický ústav FSI VUT v Brně. 2025. Dostupné z: <https://eu.fme.vutbr.cz/file/vomm/0700-z01.pdf>. [cit. 2025-03-04].
- [4] SMETANA, Jaroslav. *EMISIVITA – potíž přesného radiometrického měření*. Online. Blue Panther academy. 2009. Dostupné z: <https://www.blue-panther.cz/emisivita>. [cit. 2025-03-05].
- [5] *Co je absolutně černé těleso?* Online. Lampax. 2025. Dostupné z: https://www.lampax.cz/absolutne-cerne-teleso?srsId=AfmBOooKAJDResUr8x2IIKCsYmqEobn4PwyYqOPAler0yJ_dhcqGtxy. [cit. 2025-03-31].
- [6] *Záření černého tělesa*. Online. Fyzika007. 2025. Dostupné z: <https://www.fyzika007.cz/optika/z%C3%A1%C5%99en%C3%AD-%C4%8Dern%C3%A9ho-t%C4%Blesa>. [cit. 2025-03-31].
- [7] 6. *Termografie*. Online. Pozemní stavitelství III. 2025. Dostupné z: <http://otto.vsb.cz/~acad/studijni-materialy/ps3/6.html>. [cit. 2025-03-31].
- [8] *Tepelné záření*. Online. Termokamera.cz. 2025. Dostupné z: <https://www.termokamera.cz/princip-a-funkce/tepelne-zareni/>. [cit. 2025-03-31].
- [9] *Infračervené záření*. Online. Multimediaexpo.cz. Dostupné z: <http://www.multimediaexpo.cz/mmecz/index.php/Infra%C4%8Derven%C3%A9-z%C3%A1%C5%99en%C3%AD>. [cit. 2025-03-05].
- [10] VOLLMER, Michael a MÖLLMANN, Klaus-Peter. *Infrared thermal imaging: fundamentals, research and applications*. Weinheim: Wiley, 2010. ISBN 978-3-527-40717-0.

- [11] *Jak funguje termovize?* Online. Puma knives. 2024. Dostupné z: <https://www.pumaknives.cz/content/33-jak-funguje-termovize>. [cit. 2025-03-05].
- [12] *Konstrukce termokamery.* Online. Termokamera.cz. Dostupné z: <https://www.termokamera.cz/princip-a-funkce/konstrukce-termokamery/>. [cit. 2025-03-05].
- [13] *Jsou IR a termokamery stejné?* Online. Savgood. 2021. Dostupné z: <https://www.savgoodtech.com/cs/news/are-ir-and-thermal-cameras-the-same-/?>. [cit. 2025-03-05].
- [14] *IR přísvit: Tichý hrdina bezpečnostních kamer.* Online. Nejkam.cz. 2025. Dostupné z: <https://www.nejkam.cz/a/ir-prisvit-tichy-hrdina-bezpecnostnich-kamer>. [cit. 2025-03-05].
- [15] *Termovizní měření infkakamerou elektrických rozvodů.* Online. Etem. Dostupné z: <http://www.etem.cz/index.php?stranka=Termovizn%C3%AD%20m%C4%9B%C5%99en%C3%AD%20infrakamerou%20elektrick%C3%BDch%20rozvod%C5%AF>. [cit. 2025-03-05].
- [16] Interní materiály VHZ – DIS, technická zpráva ČSOV Ponětovice D.2.1.1_TZ.pdf
- [17] Interní materiály VHZ – DIS, Odlehčovací komora – půdorys, D.2.1.4.pdf
- [18] Interní materiály VHZ – DIS, Hrubé předčištění – půdorys, řez A-A, D.2.1.6.pdf
- [19] Interní materiály VHZ – DIS, Čerpací stanice odpadních vod – půdorys 1.NP, D.2.1.7.pdf
- [20] Interní materiály VHZ – DIS, Čerpací stanice odpadních vod – řez A-A, D.2.1.9.pdf
- [21] Interní materiály VHZ – DIS, fotodokumentace stavby
- [22] *Návod k používání VLT® AQUA Drive FC 202.* Online. Danfoss. 2016. Dostupné z: <https://assets.danfoss.com/documents/latest/270774/AQ267037400115cs-002301.pdf>. [cit. 2025-05-12].

- [23] Interní materiály VHZ – DIS, Čerpací stanice odpadních vod – půdorys 1.PP, D.2.1.8.pdf
- [24] Interní materiály VHZ – DIS, Ponětovice - PŘ NZ.pdf
- [25] Interní materiály VHZ – DIS, 8--Náhradní zdroj.pdf
- [26] Interní materiály VHZ – DIS, D.2.1.2_SZ.pdf
- [27] *Siemens 6ES7512-1DK01-0AB0 6ES75121DK010AB0 konstrukční sestava PLC centrály.* Online. Conrad. 2016. Dostupné z: <https://www.conrad.cz/cs/p/siemens-6es7512-1dk01-0ab0-6es75121dk010ab0-konstrukcni-sestava-plc-centraly-1759611.html?refresh=true>. [cit. 2025-05-12].
- [28] Interní materiály VHZ – DIS, technická zpráva ČSOV Ponětovice D.2.2.1_TZ.pdf (elektro)
- [29] Interní materiály VHZ – DIS, Návod RS.doc
- [30] Interní materiály VHZ – DIS, technická zpráva ČSOV Ponětovice D.2.2.3.1_TZ.pdf (PZS)
- [31] *IMN200/2.* Online. Sicurit. Dostupné z: https://www.sicurit.cz/cs/p/imn200_2-sicurit-alarmitalia-imn200_2. [cit. 2025-03-31].
- [32] Interní materiály VHZ – DIS, EZS patky model.pdf
- [33] ČSN 73 0804. Online. ČSN online. 2024, 2025. Dostupné z: <https://csnonlinefirmy.agentura-cas.cz/vystaven.aspx?k=517953>. [cit. 2025-05-11].
- [34] ČSN 73 0802. Online. ČSN online. 2024, 2025. Dostupné z: <https://csnonlinefirmy.agentura-cas.cz/vystaven.aspx?k=517952>. [cit. 2025-05-11].
- [35] MUSIL, Jan. *Vývoj výpočetního nástroje pro stanovení požárního rizika ve výrobních objektech.* Online, Diplomová práce, vedoucí Štefan Radek. Praha: ČVUT v Praze, 2019. Dostupné z: <https://dspace.cvut.cz/handle/10467/80909>. [cit. 2025-05-11].

- [36] VORLÍČKOVÁ, Eliška. *Požární rizika při výstavbě dřevostavby*. Online, Diplomová práce, vedoucí Petr Hejtmánek. Praha: ČVUT v Praze, 2022. Dostupné z: <https://dspace.cvut.cz/handle/10467/99644> [cit. 2025-05-11].
- [37] VRÁNA, Luděk. *Postup návrhu a posouzení výrobních objektů. Rozdíly v posuzování výrobních a nevýrobních objektů*. Online. Fakulta stavební VUT v Brně. 2009. Dostupné z: https://www.fce.vutbr.cz/pst/mstud/VUTc_8.pdf. [cit. 2025-05-11].
- [38] *Workswell Safetis EV*. Online. Workswell. 2024. Dostupné z: <https://my.workswell.eu/download/file/167/en>. [cit. 2025-03-31].
- [39] *SAFETIS EV-C*. Online. Workswell. 2024. Dostupné z: <https://workswell.eu/early-fire-detection-thermal-sensor-safetis-ev-c/>. [cit. 2025-04-11].
- [40] *Workswell infrared cameras and systems*. Online. In: Workswell. 2025. Dostupné z: <https://my.workswell.eu/download/file/168/en>. [cit. 2025-04-06].
- [41] *Základy Arduina: Průvodce pro ty, kteří začínají s elektronikou*. Online. Miltra. 2024. Dostupné z: <https://www.miltra.cz/zaklady-arduina-pruvodce-pro-ty-kteri-zacinaji-s-elektronikou/>. [cit. 2025-04-11].
- [42] *Originál Arduino Uno Rev3*. Online. Drátek.cz. 2025. Dostupné z: <https://dratek.cz/arduino/1511-original-arduino-uno-rev3.html>. [cit. 2025-04-11].
- [43] *Arduino Uno Rev3*. Online. Botland. 2025. Dostupné z: <https://botland.cz/zakladni-rada-arduino-originalni-desky/1060-arduino-uno-rev3-a000066-7630049200050.html>. [cit. 2025-04-11].
- [44] VODA, Zbyšek, tým HW KITCHEN. *Průvodce světem Arduina*. Online. 2. vydání. 2018. Dostupné z : www.hwkitchen.cz/arduino-kniha-pruvodce-svetem-arduina-2-vydani/. [cit. 2024-04-11]
- [45] *Arduino – příručka programátora*. Online. Hugepdf. Dostupné z: https://hugepdf.com/download/arduino-prirucka-programatora_pdf. [cit. 2024-04-11]
- [46] NOVÁK, Milan a PECH, Jiří. *Robotika pro střední školy: programujeme Arduino*. Online. České Budějovice: Jihočeská univerzita, 2020. Dostupné z:

- <https://www.scribd.com/document/768209156/Ucebnice-Arduino-Full-Text-Reduce-for-Web>. [cit. 2024-04-11]
- [47] MALÝ, Martin. *Hradla, volty, jednočipy*. Online. Praha: CZ.NIC, z.s.p.o., 2017. ISBN 978-80-88168-26-3. Dostupné z: www.nic.cz. [cit. 2024-04-11]
- [48] *DFRobot RS485 Shield MAX485ESA - štít pro Arduino*. Online. Botland. 2025. Dostupné z: <https://botland.cz/arduino-shield-komunikace/2986-dfrobot-rs485-shield-max485esa-stit-pro-arduino-6959420902323.html>. [cit. 2025-04-28].
- [49] *Arduino RS485 shield*. Online. DFRobot. 2025. Dostupné z: https://wiki.dfrobot.com/Arduino_RS485_Shield_SKU_DFR0259. [cit. 2025-04-28].
- [50] *Sériová komunikace RS485 mezi Arduino Uno a Arduino Nano*. Online. Cs.amen-technologie. 2025. Dostupné z: <https://cs.amen-technologies.com/rs485-serial-communication-between-arduino-uno>. [cit. 2025-04-28].
- [51] *A-GSM II Shield GSM / GPRS / SMS / DTMF v.2.105 - pro Arduino a Raspberry Pi - verze s pájenými konektory*. Online. Botland. 2025. Dostupné z: <https://botland.cz/raspberry-pi-hat-komunikace/5405-a-gsm-ii-shield-gsm-gprs-sms-dtmf-v2105-pro-arduino-a-raspberry-pi-verze-s-pajeny-mi-konektory-5904422363215.html>. [cit. 2025-05-26].
- [52] *MiniMag GSM 3G 4G 6dbi SMA anténa - 3m*. Online. Botland. 2025. Dostupné z: <https://botland.cz/anteny/14772-minimag-gsm-3g-4g-6dbi-sma-antena-3m-5904422322496.html>. [cit. 2025-04-25].
- [53] *What Are the Sizes of SIM Cards?* Online. Whistleout. 2025. Dostupné z: <https://www.whistleout.com/CellPhones/Faqs/218195558-What-are-the-different-SIM-sizes-and-which-phones-use-which-SIM-size->. [cit. 2025-04-25].
- [54] *Tarify pro chytrá zařízení*. Online. O2. 2025. Dostupné z: <https://www.o2.cz/osobni/internet/machine-tarify>. [cit. 2025-04-25].
- [55] HEROUT, Pavel. *Učebnice jazyka C*. 6.vydání. České Budějovice: Kopp, 2013. ISBN 978-80-7232-383-3.
- [56] *Introduction to C/C++*. Online. Learn C++. 2024. Dostupné z: <https://www.learncpp.com/cpp-tutorial/introduction-to-cplusplus/>. [cit. 2025-05-11].

- [57] *Základní rozdíly mezi RS-232, RS-422 a RS-485*. Online. Ipc2U.cz. 2025. Dostupné z: <https://ipc2u.cz/blogs/news/zakladni-rozdily-mezi-rs-232-rs-422-a-rs-485?srsId=AfmBOoq36OmIKuxEpU0wzHPNctjgyG4hFHn0GGvWlMSxovEInORycWv>. [cit. 2025-05-11].
- [58] RONEŠOVÁ, Andrea. *Přehled protokolu MODBUS*. Online. Home.zcu.cz. 2005. Dostupné z: <https://home.zcu.cz/~ronesova/bastl/files/modbus.pdf>. [cit. 2025-05-11].
- [59] *My.Workswell home page*. Online. My.Workswell. 2025. Dostupné z: <https://my.workswell.eu/homepage/product/72>. [cit. 2025-04-30].
- [60] *Workswell Safetis EV*. Online. My.workswell.eu. 2025. Dostupné z: <https://my.workswell.eu/link/latest/1705499558zAsTIwcatUnflvk8iG18>. [cit. 2025-04-30].
- [61] WORKSWELL. *SAFETIS EV: Advanced Fire Safety Thermal Sensor*. Online. YouTube.com. 2023. Dostupné z: https://www.youtube.com/watch?v=Pbki6cai_bc. [cit. 2025-05-01].
- [62] *Transportní protokol v reálném čase*. Online. In: Wikipedia: the free encyclopedia. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001-. Dostupné z: https://ru.wikipedia.org/wiki/Real-time_Transport_Protocol. [cit. 2025-05-01].
- [63] *RTP: What is It (and How Does It Work?)*. Online. Cloudinary. 2025. Dostupné z: <https://cloudinary.com/guides/live-streaming-video/real-time-protocol>. [cit. 2025-05-28].
- [64] NOVOTNÝ, Roman. *Přenos zvukových dat pomocí protokolu RTP*. Online. Vysoké učení technické v Brně. 2025. Dostupné z: https://www.vut.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=9295. [cit. 2025-05-28].
- [65] *Glosář základních pojmů pro práci s termokamerou*. Online. Lab IR Edu. 2024. Dostupné z: <https://edu.labir.cz/wp-content/uploads/2024/05/Glosar-v1.pdf>. [cit. 2025-05-28].
- [66] *U.FL - RP-SMA adaptér - samec - 10cm - ITBP-0017*. Online. Botland. 2025. Dostupné z: <https://botland.cz/anteny/21278-ufi-rp-sma-adapter-samec-10cm-itbp-0017.html>. [cit. 2025-05-14].

- [67] *Kontaktní deska JustPi - 400 otvorů.* Online. Botland. 2025. Dostupné z: <https://botland.cz/kontaktni-desky/19942-kontaktni-deska-justpi-400-otvoru-5904422328627.html>. [cit. 2025-05-14].
- [68] *JustPi 12V/2,5A napájecí zdroj pro Arduino - DC 5,5/2,1mm zástrčka.* Online. Botland. 2025. Dostupné z: <https://botland.cz/plug-in-napajeci-zdroje/22694-justpi-12v-25a-napajeci-zdroj-pro-arduino-dc-55-21mm-zastrcka-5904422383787.html>. [cit. 2025-05-14].
- [69] *Převodník USB na RS485 čip CH340C.* Online. Drátek.cz. 2025. Dostupné z: <https://dratek.cz/arduino/1171-prevodnik-usb-na-rs485-chip-ch340c.html>. [cit. 2025-05-14].
- [70] *DM1602AB alfanumerický LCD displej.* Online. GM Electronic. 2025. Dostupné z: <https://www.gme.cz/v/1495825/dm1602ab-alfanumericky-lcd-displej>. [cit. 2025-05-14].

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1 Elektromagnetické spektrum [2]	13
Obrázek 2 Objev IR záření [1]	14
Obrázek 3 Planckův vyzařovací zákon a spektrální citlivost kamery Safetis EV, vytvořeno na základě [3]	15
Obrázek 4 Zářiče [8]	16
Obrázek 5 IR záření [10]	17
Obrázek 6 Blokové schéma termokamery [12]	20
Obrázek 7 IR kamera s rozkladem obrazu a chlazeným detektorem [3]	20
Obrázek 8 Měření elektrických obvodů [15]	21
Obrázek 9 Schéma sestavy ČSOV Ponětovice [16]	23
Obrázek 10 Odlehčovací komora [17]	24
Obrázek 11 Řez umístění česlí [18]	25
Obrázek 12 Půdorys předčištění [18]	25
Obrázek 13 ČSOV půdorys [19]	26
Obrázek 14 Řez ČS [20]	27
Obrázek 15 Instalace čerpadla Willo [21]	28
Obrázek 16 Frekvenční měnič v rozvaděčovém poli [vlastní]	29
Obrázek 17 Ovládací displej FM [vlastní]	31
Obrázek 18 Základní schéma zapojení [22]	32
Obrázek 19 Řez armaturní komorou [20]	33
Obrázek 20 Půdorys armaturní komory [23]	34
Obrázek 21 Protirázová ochrana výtlaku [20]	35
Obrázek 22 Náhradní zdroj projektová dokumentace [25]	35
Obrázek 23 Náhradní zdroj [vlastní]	36
Obrázek 24 Panel náhradního zdroje [vlastní]	37
Obrázek 25 PLC Siemens [27]	38
Obrázek 26 Operátorský panel 1 [29]	39
Obrázek 27 Operátorský panel 2 [29]	40
Obrázek 28 Duální bariéra s dosahem až 200m [31]	41
Obrázek 29 Střežený perimetr [32]	42
Obrázek 30 ČSN 73 0802 ed.2 Příloha A [34]	45
Obrázek 31 Půdorys rozvodny s rozmístěním rozvaděčů [vlastní]	46
Obrázek 32 Stanovení stupně požární bezpečnosti dle ČSN 73 0804 ed.2, Tabulka 8 [33]	48
Obrázek 33 Základní schéma sestavy [vlastní]	51

Obrázek 34 Kamera Sefetis EV [38]	52
Obrázek 35 Přípojná rozhraní kamery [39]	53
Obrázek 36 Rozměry Safetis EV [40]	54
Obrázek 37 Arduino UNO [42]	55
Obrázek 38 Arduino UNO R3 [vlastní, upraveno z 43]	56
Obrázek 39 DFRobot RS485 [48]	58
Obrázek 40 Detail modul RS485 [49]	59
Obrázek 41 Ukázka Arduina s RS485 schieldem [48]	61
Obrázek 42 A-GSM II Shield GSM [51]	62
Obrázek 43 Arduino s GSM shieldem [51]	63
Obrázek 44 GSM schield popis částí [51]	64
Obrázek 45 Externí anténa 6dbi [52]	65
Obrázek 46 Velikosti SIM karet [53]	65
Obrázek 47 Zapojení RS485 se 2 vodiči [62]	70
Obrázek 48 Zapojení RS485 se 42 vodiči [57]	70
Obrázek 49 RTU rámec zprávy [58]	71
Obrázek 50 MODBUS zpráva na TCP/IP [58]	71
Obrázek 51 Uživatelské rozhraní my.workswell [59]	74
Obrázek 52 Vysvětlení označení kamery [60]	74
Obrázek 53 Přihlášení [vlastní]	76
Obrázek 54 Úvodní obrazovka po přihlášení [vlastní]	76
Obrázek 55 Ukázka z GUI Network menu [vlastní]	77
Obrázek 56 ROI konfigurace [vlastní]	79
Obrázek 57 Nastavení ROI 1 [vlastní]	81
Obrázek 58 Ukázka Interface Ethernet protocol [vlastní]	81
Obrázek 59 Interface Modbus protocol [vlastní]	82
Obrázek 60 Reset tlačítko [60]	83
Obrázek 61 Ukázka Webserver stream [vlastní]	84
Obrázek 62 Ukázka RTP stream [vlastní]	85
Obrázek 63 Ukázka System konfigurace [vlastní]	86
Obrázek 64 Aktivní LED na kameře [60 upraveno]	87
Obrázek 65 Kalibrace detektoru [vlastní]	88
Obrázek 66 Nastavení Periodic NUC [vlastní]	89
Obrázek 67 Nastavení Adaptive [vlastní]	89
Obrázek 68 Tlačítko NUC [vlastní]	89

Obrázek 69 Ukázka System konfigurace [vlastní].....	90
Obrázek 70 Radiometrie [vlastní]	90
Obrázek 71 ROI oblasti měření [vlastní]	92
Obrázek 72 Update [vlastní]	93
Obrázek 73 Oblasti ROI1 a ROI2 [vlastní].....	94
Obrázek 74 Ukázka nastavení ROI2 [vlastní].....	95
Obrázek 75 Fáze 1 [vlastní]	95
Obrázek 76 Fáze 2 [vlastní]	96
Obrázek 77 Fáze 3 [vlastní]	96
Obrázek 78 Arduino IDE nastavení [vlastní].....	97
Obrázek 79 Zapojení Arduino a LED [vlastní].....	99
Obrázek 80 Ukázka kódu v Arduino IDE [vlastní].....	100
Obrázek 81 Zapojení Arduino UNO s RS485 [vlastní]	102
Obrázek 82 Ukázka programu RealTerm [vlastní]	102
Obrázek 83 Ukázka komunikace [vlastní]	105
Obrázek 84 Výpis z Arduina IDE [vlastní].....	108
Obrázek 85 Testovací SMS 1 [vlastní]	108
Obrázek 86 Zapojení Arduina s displejem a čidlem DHT22 [vlastní]	109
Obrázek 87 Zobrazení naměřených hodnot z čidla DHT22 [vlastní]	110
Obrázek 88 Výpis hodnot v Serial monitor [vlastní]	114
Obrázek 89 Odesílání SMS v 3 min intervalu [vlastní]	114
Obrázek 90 Odesílání SMS hlášení [vlastní]	115
Obrázek 91 Finální sestava systému [vlastní].....	116
Obrázek 92 Detail ROI1 a ROI2 [vlastní]	118
Obrázek 93 Graf teplot laboratorní úlohy	119
Obrázek 94 Instalace kamery na ČSOV Ponětovice [vlastní]	121
Obrázek 95 Oblasti ROI na FM čerpadla M5 [vlastní].....	122
Obrázek 96 Detail z kamery oblasti ROI [vlastní].....	122
Obrázek 97 Graf teplot v průběhu simulace	124
Obrázek 98 Ukázka kabeláže za chodu čerpadla [vlastní].....	125
Obrázek 99 Ukázka nekorektních hodnot [vlastní].....	127
Obrázek 100 Modbus Poll monitorink sběrnice [vlastní]	128

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1 Rozdíl mezi IR kamerou a termokamerou [vlastní]	19
Tabulka 2 Parametry čerpadel M4, M5, M6 [vlastní]	28
Tabulka 3 Stupně SPB [vlastní, dle 33]	44
Tabulka 5 Parametry Safetis EV [vlastní, vytvořeno 38, 39, 40]	54
Tabulka 6 Funkce [vlastní, na základě 48, 49]	60
Tabulka 7 Přepínač AUTO/MAN [vlastní, na základě 48, 49]	61
Tabulka 8 Hlavní rozdíly mezi C a C++ [55, 56]	68
Tabulka 9 Barevné značení kabelů a jejich funkce [vlastní, vytvořeno na základě 60]	75
Tabulka 10 Nastavení ROI [vlastní]	79
Tabulka 11 [vlastní, 60]	86
Tabulka 12 Provozní stavy kamery [vlastní, 60]	87
Tabulka 13 LED signalizace kamery [vlastní, 60]	88
Tabulka 14 Režimy kalibrace [vlastní, 60]	88
Tabulka 15 Tabulka vlastností běžných materiálů [65]	91
Tabulka 16 Nastavení hodnot ROI [vlastní, 60]	92
Tabulka 17 Hardwarová specifikace 1 [vlastní]	98
Tabulka 18 Hardwarová specifikace 2 [vlastní]	101
Tabulka 19 Hardwarová specifikace 3 [vlastní]	104
Tabulka 20 Ukázka příkazů z RealTermu [vlastní]	105
Tabulka 21 Hardwarová specifikace 4 [vlastní]	106
Tabulka 22 Schéma zapojení GSM modulu [vlastní]	107
Tabulka 23 Hardwarová specifikace 5 [vlastní]	109
Tabulka 24 Zapojení LCD displeje IC DHT22 [vlastní]	110
Tabulka 25 Zapojení čidla DHT [vlastní]	110
Tabulka 26 Hardwarová specifikace 6 [vlastní]	112
Tabulka 27 Zapojení [vlastní]	112
Tabulka 28 Hardwarová specifikace 7 [vlastní]	117
Tabulka 29 Materiálové náklady [43, 48, 51, 52, 66 - 70]	132
Tabulka 30 Časový a finanční rozpočet	133
Tabulka 31 Celkové náklady	134

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

IR	InfraRed
RTG	rentgenové
UV	UltraViolet
W	Watt
m ²	metr čtvereční
K	Kelvin
μm	mikrometr
mm	milimetr
NIR	Near InfraRed
SWIR	ShortWave InfraRed
MWIR	MidWave InfraRed
LWIR	LongWave InfraRed
FIR	Far InfraRed
PIR	Passive Infrared Detector
LED	Light Emitting Diode
FPA	Focal Plane Array
CCD	Charge Coupled Device
CMOS	Complementary Metal–Oxide–Semiconductor
IrDA	Infrared Data Association
ČSOV	Čerpací stanice odpadních vod
VHZ – DIS	Vodohospodářské zařízení – dodavatelsko inženýrské služby
FM	Frekvenční Měnič
ČOV	Čistírna odpadních vod
EO	Ekvivalentní obyvatel
l	litr

s	sekunda
DN	diameter nominal – jmenovitá světlostHorsePower
kW	kiloWatt
AMA	Automatic Motor Adaptation
AEO	Automatic Energy Optimization
RTU	Remote Terminal Unit
HP	HorsePower
V	Volt
AC	Alternating Current
Hz	Hertz
A	Ampér
°C	Stupeň Celsia
PM	Permanent Magnet
I/O	Input/Output
IP	Internet Protocol
LCP	Lighting Control Panel
ČS	Čerpací stanice
NZ	Náhradní zdroj
kVA	kiloVoltAmpér
ATS	Automatický start
ASŘTP	Automatický systém řízení technologického procesu
V/V modul	Vstupně/Výstupní modul
VAS	Vodárenská akciová společnost
PZS	Poplachové zabezpečovací zařízení
MW	MicroWave
GSM	Groupe Spécial Mobile

ŘS	Řídicí systém
ČSN	Česká technická norma
SPB	Stupeň požární bezpečnosti
PBZ	Požárně bezpečnostní zařízení
m	Metr
kg/m ²	Kilogram na metr čtvereční
EPS	Elektrická požární signalizace
PBŘ	Požárně bezpečnostní řešení (stavby)
EN	Mezinárodní norma
°F	Stupeň Fahrenheita
ROI	Region of Interest
SMART	Specific Measurable Achievable Relevant Time
RS485	Standard sériové komunikace
IDE	Integrated Development Enviroment
C/C++	Strukturovaný, procedurální programovací jazyk
ISO	International Organization for Standardization
LCD	Liquid Crystal Display
KB	Kilobyte
RAM	Random-Access Memory
PWM	Pulzně šířkovou modulaci
USB	Universal Serial Bus
ON	Zapnuto
OFF	Vypnuto
AUTO	Automatický
MAN	Manuál
GPRS	General Packet Radio Service

SMS	Short Message Service
DTMF	Dual-tone multi-frequency
SIM	Subscriber Identity Module
G	Giga
dbi	Decibel
MHz	Megahertz
Kč	Koruna česká
PDU	Protocol data unit
Mbit/s	Megabit za sekundu
CRC	Cyclic redundancy check
PLC	Programmable Logic Controller
HMI	Human Machine Interface
PC	Personal Computer
VDC	Voltage Direct Current
GND	Ground / zem
SN	Seriál Number
PIN	Personal Identification Number
OC	Otevřený kolektor
CAB	Cabinet
DHCP	Dynamic Host Configuration Protocol
LAN	Local Area Network
TCP	Transmission Control Protocol
TCP/IP	Transmission Control Protocol/Internet Protocol
VLC	Media player
RTP	Return To Player
SCADA	Supervisory Control and Data Acquisition

RAW	Surový neupravený formát
NUC	Next Unit of Computing
%	Procento
COM	Sériový port
AT	Dvojice znaků příkazů
VIN	Napájecí adaptér
M5	Označení čerpadla 5
M4	Označení čerpadla 4
M6	Označení čerpadla 6
cm	Centimetr
MAX	Maximum
k Ω	Kiloohm
SD	Secure Digital
3D	Trojrozměrný
PETG	Glykolem modifikovaný Polyethylene Terephthalate
ABS	Akrylonitrilbutadienstyren
DIN	Speciální kovový profil pro upevnění různých zařízení
Kč/h	Koruna česká za hodinu

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha P I:	Technologické schéma ČS
Příloha P II:	RS485 jednosměrná komunikace
Příloha P III:	RS485 obousměrná komunikace
Příloha P IV:	Odeslání SMS
Příloha P V:	LCD displej a zobrazení teplot
Příloha P VI:	Automatické odesílání SMS
Příloha P VII:	Integrace Arduina a kamery Safetis EV

PŘÍLOHA P I: TECHNOLOGICKÉ SCHÉMA ČS

PŘÍLOHA P II: RS485 JEDNOSMĚRNÁ KOMUNIKACE

Tato příloha obsahuje zdrojový kód Arduino programu pro příjem dat přes sériovou linku RS485. Kód reaguje na příkazy „ON“ a „OFF“ a přepíná LED diodu na základě příchozích znaků. Podrobnosti o testování a využití tohoto kódu jsou uvedeny v kapitole 4.2.1.

Zdrojový kód:

```
#define RE_DE 2
#define LED 13

String prijem = "";

void setup() {
    pinMode(RE_DE, OUTPUT);
    pinMode(LED, OUTPUT);

    digitalWrite(RE_DE, LOW); // přepnutí do přijímacího režimu
    Serial.begin(9600);
}

void loop() {
    while (Serial.available()) {
        char znak = Serial.read();
        if (znak == '\n' || znak == '\r') {
            prijem.trim(); // odstraní případné mezery nebo konce řádků
            if (prijem == "ON") {
                digitalWrite(LED, HIGH);
            } else if (prijem == "OFF") {
                digitalWrite(LED, LOW);
            }
            prijem = ""; // vyprázdnění bufferu po zpracování příkazu
        } else {
            prijem += znak;
        }
    }
}
```

PŘÍLOHA P III: RS485 OBOUSMĚRNÁ KOMUNIKACE

Tato příloha obsahuje kód, který umožňuje obousměrnou komunikaci mezi Arduino a počítačem přes RS485. Kromě přepínání LED odesílá Arduino i odpovědi podle přijatého příkazu. Použití tohoto mechanismu je popsáno v kapitole 4.2.1.

Zdrojový kód:

```
#define RE_DE 2
#define LED 13

String prijem = "";
unsigned long posledniOdeslani = 0;

void setup() {
    pinMode(RE_DE, OUTPUT);
    pinMode(LED, OUTPUT);

    digitalWrite(RE_DE, LOW); // Příjmový režim
    Serial.begin(9600);
}

void loop() {
    while (Serial.available()) {
        char znak = Serial.read();
        if (znak == '\n' || znak == '\r') {
            prijem.trim();

            if (prijem == "ON") {
                digitalWrite(LED, HIGH);
                odesliZpravu("LED ZAP");
            } else if (prijem == "OFF") {
                digitalWrite(LED, LOW);
                odesliZpravu("LED VYP");
            } else if (prijem == "PING") {
                odesliZpravu("PONG");
            } else if (prijem == "GET TEMP") {
                // Prozatím odesíláme pevnou hodnotu – později doplníme o čidlo
                odesliZpravu("Teplota: 24.7 C");
            } else {
                odesliZpravu("NEZNÁMÝ PŘÍKAZ");
            }
        }
    }
}
```

```

    }

    prijem = "";
} else {
    prijem += znak;
}
}
}

void odesliZpravu(String zprava) {
    digitalWrite(RE_DE, HIGH);    // Přepni do vysílacího režimu
    delay(2);                     // Krátká pauza na přepnutí
    Serial.println(zprava);       // Odeslání zprávy
    delay(5);                     // Po odeslání malá prodleva
    digitalWrite(RE_DE, LOW);     // Zpět do příjmu
}

```

PŘÍLOHA P IV: ODESLÁNÍ SMS

Tato příloha obsahuje zdrojový kód Arduino programu pro odeslání SMS zprávy přes GSM modul. Po inicializaci komunikace GSM modul obdrží několik AT příkazů, včetně zadání PIN kódu a přepnutí do textového režimu. Následně je odeslána testovací SMS na předdefinované číslo. Tato úloha slouží jako první test GSM modulu. Další rozšíření bude řešit měření a automatické hlášení údajů ze senzorů. Použití tohoto mechanismu je popsáno v kapitole 4.2.2.

Zdrojový kód:

```
#include <SoftwareSerial.h>

#define GSM_RX 2           // Arduino přijímá (TX z GSM)
#define GSM_TX 3           // Arduino vysílá (RX do GSM)
#define PWRKEY 7           // Automatické zapnutí modulu

SoftwareSerial gsm(GSM_RX, GSM_TX);

void zapniGSM() {
    pinMode(PWRKEY, OUTPUT);
    digitalWrite(PWRKEY, LOW);
    delay(2000);           // simulace podržení tlačítka
    digitalWrite(PWRKEY, HIGH);
    Serial.println("Zapínám GSM modul...");
    delay(5000);           // čas na přihlášení
}

void odesliPrikaz(String prikaz, int pauza = 2000) {
    gsm.println(prikaz);
    Serial.print("→ "); Serial.println(prikaz);
    delay(pauza);
    while (gsm.available()) {
        Serial.write(gsm.read());
    }
}

void setup() {
    Serial.begin(9600);
```

```

gsm.begin(9600);
zapniGSM();

Serial.println("Inicializuji komunikaci...");

odesliPrikaz("AT+CPIN=\"XXXX\"", 3000);      // Zadej PIN
odesliPrikaz("AT+CREG?", 3000);              // Přihlášení do sítě
odesliPrikaz("AT+CMGF=1", 1000);             // SMS textový režim

gsm.println("AT+CMGS=\"+420XXXXXXXXXX\"");    // Cílové číslo
delay(1000);                                  // Čekaj na výzvu k zadání
zprávy
gsm.print("Testovací SMS z Arduina");         // Zpráva
delay(500);
gsm.write(26);                                // Ctrl+Z pro odeslání

Serial.println("Zpráva byla odeslána.");
}

void loop() {
    // nic zde neděláme
}

```

PŘÍLOHA P V: LCD DISPLEJ A ZOBRAZENÍ TEPLOT

Tato příloha obsahuje Arduino program pro měření teploty a vlhkosti pomocí senzoru DHT22 a zobrazení naměřených hodnot na LCD displeji připojeném přes I2C sběrnici. Program každé 3 sekundy aktualizuje zobrazené údaje, což umožňuje sledovat změny v reálném čase. Tato úloha ověřuje správnou funkci senzoru, komunikaci po I2C a výstupní vizualizaci dat na LCD. Použití tohoto mechanismu je popsáno v kapitole 4.2.2.

Zdrojový kód:

```
#include <Wire.h>
#include <LiquidCrystal_I2C.h>
#include <DHT.h>

#define DHTPIN 8                // datový pin DHT22
#define DHTTYPE DHT22          // typ senzoru

DHT dht(DHTPIN, DHTTYPE);
LiquidCrystal_I2C lcd(0x27, 16, 2); // adresa I2C (často 0x27 nebo 0x3F)

void setup() {
    Serial.begin(9600);
    dht.begin();

    lcd.init();                // inicializace LCD
    lcd.backlight();            // zapni podsvícení
    lcd.clear();

    lcd.setCursor(0, 0);
    lcd.print("Inicializace...");
    delay(2000);
}

void loop() {
    float teplota = dht.readTemperature();
    float vlhkost = dht.readHumidity();

    if (isnan(teplota) / isnan(vlhkost)) {
```

```
    lcd.clear();  
    lcd.setCursor(0, 0);  
    lcd.print("Chyba senzoru");  
    return;  
}
```

```
    lcd.clear();  
    lcd.setCursor(0, 0);  
    lcd.print("Teplota: ");  
    lcd.print(teplota, 1);  
    lcd.print(" C");
```

```
    lcd.setCursor(0, 1);  
    lcd.print("Vlhkost: ");  
    lcd.print(vlhkost, 1);  
    lcd.print(" %");
```

```
    delay(3000); // aktualizace každé 3 sekundy  
}
```

PŘÍLOHA P VI: AUTOMATICKÉ ODESÍLÁNÍ SMS

Tato příloha obsahuje kód rozšířený oproti předchozí úloze o automatické odesílání SMS při překročení kritických hodnot teploty nebo při náhlém skoku teploty o více než 2 °C. Systém pravidelně měří hodnoty pomocí senzoru DHT22 a zobrazuje je na LCD. Pokud je splněna výstražná podmínka, odešle upozornění přes GSM modul. Každé tři minuty se také automaticky odesílá aktuální teplota a vlhkost ve formě „živé zprávy“. Tato úloha kombinuje měření, logiku rozhodování a komunikaci do jednoho automatizovaného systému. Použití tohoto mechanismu je popsáno v kapitole 4.2.2.

Zdrojový kód:

```
#include <Wire.h>
#include <LiquidCrystal_I2C.h>
#include <DHT.h>
#include <SoftwareSerial.h>

#define DHTPIN 8
#define DHTTYPE DHT22

#define GSM_RX 2
#define GSM_TX 3
#define PWRKEY 7

DHT dht(DHTPIN, DHTTYPE);
LiquidCrystal_I2C lcd(0x27, 16, 2);
SoftwareSerial gsm(GSM_RX, GSM_TX);

unsigned long posledniSMS = 0;
const unsigned long interval = 3 * 60 * 1000UL; // 3 minuty
float predchoziTeplota = NAN;

const float LIMIT_TEPL = 45.0; // Absolutní teplotní limit
const float SKOK_TEPL = 2.0; // Zvýšení o X stupňů pro varovni

bool inicializujGSM() {
    pinMode(PWRKEY, OUTPUT);
    digitalWrite(PWRKEY, LOW);
    delay(2000);
    digitalWrite(PWRKEY, HIGH);
    Serial.println("Zapínám GSM modul (PWRKEY)...");
    delay(5000);
}
```

```

gsm.println("AT");
delay(1000);
if (gsm.available()) {
    String odpoved = gsm.readString();
    if (odpoved.indexOf("OK") != -1) {
        Serial.println("GSM modul odpověděl.");
        return true;
    }
}
Serial.println("GSM modul neodpovídá!");
return false;
}

void odesliSMS(String zprava) {
    Serial.println("Odesílám SMS:");
    Serial.println(zprava);

    gsm.println("AT+CPIN=\"xxxx\""); // zadat PIN
    delay(3000);
    gsm.println("AT+CMGF=1");
    delay(1000);
    gsm.println("AT+CMGS=\"+420xxxxxxxxx\""); // kam je SMS odeslaná
    delay(1000);
    gsm.print(zprava);
    delay(500);
    gsm.write(26); // Ctrl+Z
    delay(3000);

    Serial.println("SMS odeslána.");
}

void setup() {
    Serial.begin(9600);
    gsm.begin(9600);
    dht.begin();

    lcd.init();
    lcd.backlight();
    lcd.clear();

```

```

lcd.setCursor(0, 0);
lcd.print("Inicializace...");

if (!inicializujGSM()) {
    lcd.setCursor(0, 1);
    lcd.print("GSM CHYBA");
} else {
    lcd.setCursor(0, 1);
    lcd.print("GSM OK");
}

delay(3000);
lcd.clear();
}

void loop() {
    float teplota = dht.readTemperature();
    float vlhkost = dht.readHumidity();

    if (isnan(teplota) || isnan(vlhkost)) {
        Serial.println("Chyba senzoru!");
        lcd.clear();
        lcd.setCursor(0, 0);
        lcd.print("Chyba senzoru");
        delay(3000);
        return;
    }

    lcd.setCursor(0, 0);
    lcd.print("Teplota: "); lcd.print(teplota, 1); lcd.print(" C");
    lcd.setCursor(0, 1);
    lcd.print("Vlhkost: "); lcd.print(vlhkost, 1); lcd.print(" % ");

    unsigned long aktualniCas = millis();
    unsigned long zbyva = (posledniSMS == 0) ? 0 : ((interval >
aktualniCas - posledniSMS) ? (interval - (aktualniCas - posledniSMS))
/ 1000 : 0);

    Serial.print("Teplota: "); Serial.print(teplota);
    Serial.print(" | Vlhkost: "); Serial.print(vlhkost);
    Serial.print(" | Za: "); Serial.print(zbyva); Serial.println(" s");

```

```

// Výstraha: skokový nárůst teploty
if (!isnan(predchoziTeplota) && (teplota - predchoziTeplota >=
SKOK_TEPL)) {
    String msg = "UPOZORNENI: Skok teploty!\nNyni: " + String(teplota,
2) + " C";
    Serial.println("!! Výstraha: Skok teploty.");
    odesliSMS(msg);
    delay(10000);
}

// Výstraha: překročení absolutního limitu
if (teplota >= LIMIT_TEPL) {
    String msg = "UPOZORNENI: Teplota prekrocila limit!\nNyni: " +
String(teplota, 2) + " C";
    Serial.println("!! Výstraha: Limit teploty.");
    odesliSMS(msg);
    delay(10000);
}

// Pravidelná zpráva každé 3 minuty
if (zbyva == 0) {
    String zprava = "Teplota: " + String(teplota, 1) + " C / Vlhkost:
" + String(vlhkost, 1) + " %";
    odesliSMS(zprava);
    Serial.println("Pravidelná SMS odeslána.");
    posledniSMS = aktualniCas;
}

predchoziTeplota = teplota;
delay(3000);
}

```

PŘÍLOHA P VII: INTEGRACE ARDUINA A KAMERY

Komplexní úloha integruje IR kameru (RS485, Modbus), modul reálného času (RTC), GSM komunikaci a LCD displej. Systém každých pět sekund čte čtyři registry teploty z kamery, vyhodnocuje preventivní a kritické alarmy pro dvě sledované oblasti (ROI1 a ROI2), a na jejich základě odesílá upozornění přes SMS. Každých pět minut je také odesílána 'živá' zpráva s aktuálními daty. Alarmy se neopakují, dokud nedojde ke snížení teploty pod resetovací prahy. Použití tohoto mechanismu je popsáno v kapitole 4.3.

Tento kód bude použit jako finální verze pro nasazení na reálný objekt ČSOV Ponětovice. Při reálném nasazení dojde k úpravě oblastí ROI podle provozních požadavků FM. Interval pravidelných SMS (tzv. živý systém) bude prodloužen na jednu hodinu.

Zdrojový kód:

```
// ===== ČSOV KÓD PRO IR KAMERU, ALARMY A GSM =====
// Měří 4 teploty z IR kamery přes RS485 + Modbus
// Při inicializaci aktivuje GSM, po PIN odešle startovací SMS
// Každých 5 s kontroluje ROI teploty a vyhodnocuje alarmy
// ROI1M - Preventive: 30°C, Critical: 40°C
// ROI2M - Preventive: 35°C, Critical: 45°C
// Po alarmu se SMS odešle jen 1x a opakuje se až při poklesu o 2°C
// Každých 5 minut odešle „živá“ SMS s aktuálními hodnotami

#include <Wire.h>
#include <LiquidCrystal_I2C.h>
#include <ModbusMaster.h>
#include <SoftwareSerial.h>
#include <RTCLib.h>

#define RS485_TX 9
#define RS485_RX 8
#define RS485_CONTROL_PIN 4
#define GSM_PWRKEY 7

SoftwareSerial rs485Serial(RS485_RX, RS485_TX);
SoftwareSerial gsmSerial(2, 3);
ModbusMaster node;
```

```

LiquidCrystal_I2C lcd(0x27, 16, 2);
RTC_DS3231 rtc;

uint16_t regs[] = {17, 20, 22, 25}; // registry z IR Kamery
float temps[4] = {-99.99, -99.99, -99.99, -99.99};
uint8_t errorCount[4] = {0, 0, 0, 0};
const uint8_t maxErrors = 3;

const float ROI1_PREV = 30.0;
const float ROI1_CRIT = 40.0;
const float ROI2_PREV = 35.0;
const float ROI2_CRIT = 45.0;
const float ROI1_RESET = ROI1_PREV - 2.0;
const float ROI2_RESET = ROI2_PREV - 2.0;

bool alarm1_sent = false;
bool alarm2_sent = false;
bool alarm3_sent = false;
bool alarm4_sent = false;

unsigned long lastHeartbeatTime = 0;
const unsigned long heartbeatInterval = 300000; // každých X min odešle
SMS (5min=300000)
// 1 hodina = 60 × 60 × 1000 ms = 3600000

void preTransmission() { digitalWrite(RS485_CONTROL_PIN, HIGH); }
void postTransmission() { digitalWrite(RS485_CONTROL_PIN, LOW); }

void flushGSM() {
    while (gsmSerial.available()) gsmSerial.read();
}

bool checkGsmConnected() {
    gsmSerial.println("AT+CREG?");
    delay(1000);
    String response = "";
    unsigned long timeout = millis() + 1500;
    while (millis() < timeout) {
        if (gsmSerial.available()) response += (char)gsmSerial.read();
    }
    //Serial.println(response); // // v reálnem provozu vypnuté

```

```

    return response.indexOf("+CREG: 0,1") != -1 ||
    response.indexOf("+CREG: 0,5") != -1;
}

void sendSMS(const String &text) {
    //Serial.println("[GSM] Odesilam SMS: " + text); // // v reálnem
    provozu vypnuté
    rs485Serial.end();
    delay(500);
    pinMode(2, INPUT_PULLUP);
    gsmSerial.begin(9600);
    digitalWrite(GSM_PWRKEY, HIGH); delay(1500);
    digitalWrite(GSM_PWRKEY, LOW); delay(6000);

    gsmSerial.println("AT+CPIN=xxxx"); // zadej PIN SIM karty
    delay(3000);
    flushGSM();

    for (int i = 0; i < 10; i++) {
        if (checkGsmConnected()) {
            gsmSerial.println("AT+CMGF=1");
            delay(1000);
            gsmSerial.println("AT+CMGS=\"+420xxxxxxxxxx\""); // kam je SMS
            odeslaná
            delay(1000);
            gsmSerial.print(text);
            gsmSerial.write(26);
            delay(5000);
            //Serial.println("[GSM] SMS odeslana, cekam odpoved:"); // // v
            reálnem provozu vypnuté
            while (gsmSerial.available()) {
                char c = gsmSerial.read();
                //Serial.write(c); // // v reálnem provozu vypnuté
            }
            break;
        } else {
            // Serial.println("[GSM] Cekam na registraci..."); // // v reálnem
            provozu vypnuté
        }
        delay(1000);
    }
    gsmSerial.end();
}

```

```

    delay(1000);
    rs485Serial.begin(9600);
    node.begin(1, rs485Serial);
}

void setup() {
    Serial.begin(9600);
    rs485Serial.begin(9600);
    pinMode(RS485_CONTROL_PIN, OUTPUT);
    digitalWrite(RS485_CONTROL_PIN, LOW);
    pinMode(GSM_PWRKEY, OUTPUT);
    digitalWrite(GSM_PWRKEY, LOW);

    node.begin(1, rs485Serial);
    node.preTransmission(preTransmission);
    node.postTransmission(postTransmission);

    lcd.init();
    lcd.backlight();
    lcd.setCursor(0, 0);
    lcd.print("Zapis PIN...");

    delay(1000);
    bool pinOK = false;
    for (int i = 0; i < 5; i++) {
        uint8_t result = node.writeSingleRegister(5, 1234);
        if (result == node.ku8MBSuccess) { pinOK = true; break; }
        delay(2000);
    }

    lcd.clear();
    if (!pinOK) {
        lcd.print("CHYBA PIN");
        while (1);
    }

    lcd.print("PIN OK");
    rtc.begin();
    if (rtc.lostPower()) rtc.adjust(DateTime(F(__DATE__), F(__TIME__)));
}

```

```

DateTime now = rtc.now();
String startMsg = "CSOV IR Kamera aktivni: ";
startMsg += now.timestamp();
sendSMS(startMsg);

lastHeartbeatTime = millis();
delay(2000);
lcd.clear();
}

void loop() {
    DateTime now = rtc.now();
    //Serial.print(now.timestamp()); Serial.print(" -> "); // // v
    reálnem provozu vypnuté

    for (uint8_t i = 0; i < 4; i++) {
        uint8_t result = node.readInputRegisters(regs[i], 1);
        if (result == node.ku8MBSuccess) {
            uint16_t raw = node.getResponseBuffer(0);
            temps[i] = (raw / 100.0) + 200.0 - 273.15;
            errorCount[i] = 0;
        } else {
            errorCount[i]++;
        }
        //Serial.print("T"); Serial.print(i+1); Serial.print("="); // // v
        reálnem provozu vypnuté
        //Serial.print(temps[i]); Serial.print("; "); // // v
        reálnem provozu vypnuté
        delay(300);
    }
    //Serial.println(); // // v reálnem provozu vypnuté

    lcd.clear();
    lcd.setCursor(0, 0);
    lcd.print("R1P:");    lcd.print(errorCount[0]    <    maxErrors    ?
    String(temps[0],1) : "ERR"); // temps[0] = reg 17 ROI1 preventive
    lcd.setCursor(9, 0);
    lcd.print("R1C:");    lcd.print(errorCount[1]    <    maxErrors    ?
    String(temps[1],1) : "ERR"); // temps[1] = reg 20 ROI1 critical
    lcd.setCursor(0, 1);
    lcd.print("R2P:");    lcd.print(errorCount[2]    <    maxErrors    ?
    String(temps[2],1) : "ERR"); // temps[2] = reg 22 ROI2 preventive

```

```

    lcd.setCursor(9, 1);
    lcd.print("R2C:");    lcd.print(errorCount[3]    <    maxErrors    ?
String(temps[3],1) : "ERR"); // temps[3] = reg 25 ROI2 critical

// ROI1: preventivní = průměr (temps[0]), kritický = maximum (temps[1])
if (temps[1] > ROI1_CRIT && !alarm1_sent) {
    sendSMS("ALARM CRITICAL ROI1: " + String(temps[1], 1) + "C");
    alarm1_sent = true;
}
if (temps[0] > ROI1_PREV && !alarm2_sent) {
    sendSMS("ALARM PREVENTIVE ROI1: " + String(temps[0], 1) + "C");
    alarm2_sent = true;
}

// ROI2: preventivní = průměr (temps[2]), kritický = maximum (temps[3])
if (temps[3] > ROI2_CRIT && !alarm3_sent) {
    sendSMS("ALARM CRITICAL ROI2: " + String(temps[3], 1) + "C");
    alarm3_sent = true;
}
if (temps[2] > ROI2_PREV && !alarm4_sent) {
    sendSMS("ALARM PREVENTIVE ROI2: " + String(temps[2], 1) + "C");
    alarm4_sent = true;
}

if (temps[0] < ROI1_RESET) { alarm1_sent = false; alarm2_sent = false;
} // ROI1 reset
if (temps[2] < ROI2_RESET) { alarm3_sent = false; alarm4_sent = false;
} // ROI2 reset

if (millis() - lastHeartbeatTime >= heartbeatInterval) {
    String msg = "ZIVY SYSTEM: "; // SMS po pevnem casovem useku
    msg += "R1P=" + String(temps[0],1) + ", ";
    msg += "R1C=" + String(temps[1],1) + ", ";
    msg += "R2P=" + String(temps[2],1) + ", ";
    msg += "R2C=" + String(temps[3],1);
    sendSMS(msg);
    lastHeartbeatTime = millis();
}

delay(5000);
}

```