Bezkontaktní měření teploty lidského těla pomocí termokamery

Ing. Petra Dostálová

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, Fakulta aplikované informatiky

Nad Stráněmi 4511, 760 05 Zlín

pdostalova@utb.cz

Abstrakt: Tento článek je zaměřen na současnou problematiku s šířením nákazy covid-19. Po příchodu pandemie bylo důležité, aby se organizace efektivně zorientovali, přehodnotili své nároky a přizpůsobili je současné situaci. Měření tělesné teploty zaměstnanců v organizacích, pomocí termokamery, pomáhá eliminovat šíření nákazy. První část článku je zaměřena na teoretické vymezení parametrů termografie a termokamery. V druhé části je srovnání možností použití bezkontaktních měřičů tělesné teploty od žádaných výrobců.

Klíčová slova: termografie, termokamery, měření teploty těla, Covid-19

Abstract: This article focuses on the current issue of the spread of covid-19. After the onset of the pandemic, it was important for the organization to orientate itself effectively, re-evaluate its demands and adapt them to the current situation. Measuring the body temperature of employees in organizations, using a thermal camera, helps eliminate the spread of infection. The first part of the article is focused on the theoretical definition of the parameters of thermography and thermal imager. The second part is a comparison of the possibilities of using non-contact body temperature meters from the desired manufacturers.

Keywords: thermography, thermal cameras, body temperature measurement, Covid-19

Úvod

V současné době čelí celý svět obrovské výzvě. Naše země byla zaplavena řadou nezbytných omezení a opatření, po vypuknutí boje s okem neviditelným nepřítelem. Pandemie Covid-19 se rozšířila napříč celým světem a omezila náš běžný život, a také společnosti zaměřené různými obory a odvětvími.

Většina společností se dokázala rychle a efektivně přizpůsobit zdánlivě dočasným opatřením. Všichni, u kterých je to možné, pracují z domova. Je řada povolání, u kterých práce z domova není možná. Tito zaměstnanci přijdou do styku s velkým množstvím lidí – ať už při přesunu z domova do zaměstnání a zpět, nebo také při pracovním nasazení, při styku s kolegy, či se zákazníky. Riziko nákazy je u nich vysoké.

Vzhledem ke skutečnosti, že první příznaky onemocnění pandemií Covid-19 mohou být velmi mírné, či dokonce může být osoba zcela bez příznaků, dochází k neúmyslnému šíření nákazy. Základním příznakem je i nepatrně zvýšená teplota (nad 37,5 °C), avšak nemusí si být zaměstnanec této skutečnosti vědom, a může nevědomě docházet dál do práce. V této fázi je nakažený jedinec však silně infekční a představuje tak hrozbu v šíření nákazy. Aby nedocházelo k opakovaným přenosům nákazy, ohrožování lidského zdraví, je dobré, aby společnosti měly vytyčené režimové opatření a bezpečnostní technologie pro automatické měření teploty zaměstnanců pomocí termokamery.

Teorie termografie

Elektromagnetické spektrum je rozděleno na určitý počet oddílů vlnových délek rozlišených podle metody vytvoření a zjištění záření.

Není žádný podstatný rozdíl mezi zářením různých částí elektromagnetického spektra. Všechny podléhají stejným zákonům, a tím pádem jediný rozdíl mezi těmito skupinami je různá vlnová délka.

Termografie používá infračervenou část elektromagnetického spektra. Tato část elektromagnetického spektra sousedí u kratších vlnových délek s viditelným zářením barvy sytě červené. U větších vlnových délek tato infračervená část přechází do mikrovlnné části. [1]

Infračervená část se dále rozděluje na 5 menších částí. Hranice těchto oblastí nejsou s přesností stanoveny.

Nejznámější norma Deutsche Industrie-Norm: [2].

- Blízké (near) infračervené záření – NIR – vlnová délka 0,76–1,4 μm, definováno podle vodní absorpce; často používané v telekomunikacích optických vláken
- krátké (short wave) IR – SWIR – vlnová délka 1,4–3 μm, při 1450 nm značně roste vodní absorpce
- střední (medium wave) IR – MWIR – též prostřední (intermediate-IR neboli IIR), vlnová délka 3–8 μm
- dlouhé (long wave) IR – LWIR – vlnová délka 8–15 μm,
- extrémně dlouhé (far) IR – FIR – vlnová délka 15–1000 μm

Termokamery

Termokamery (termovize či termovizní kamery) = přístroje pro bezdotykové měření povrchové teploty.

Používají se pro screening horečnatých stavů. Tohle onemocnění je až v 90 % indikovaných případů doprovázeno zvýšenou tělesnou teplotou (37,5 °C), či dokonce horečnatým stavem (nad 38 °C), přičemž tento projev, při propuknutí onemocnění, patří mezi první příznaky.

Záření měřené termokamerou nezávisí pouze na teplotě objektu, ale také na velikosti emisivity (zářivosti). Infračervené záření vzniká i z okolí a je odráženo objektem. Záření objektu a odražené záření z okolí je také ovlivňováno tím, jak rychle dokáže vzduch tyto paprsky pohlcovat [3].

Abychom mohli přesně měřit teplotu, je třeba kompensovat vliv dalších zdrojů záření. To je prováděno kamerou automaticky.

Kameře však musí být dodány následující parametry pro správné vyhodnocení a vypočítání teploty objektu [1]:

- vyzařování objektu (emisivita),
- odražená teplota jiných objektů,

- vzdálenost objektu od kamery,
- relativní vlhkost vzduchu,
- teplota vzduchu.

Emisivita

Jde o nejdůležitější parametr objektu, který se dá popsat jako množství infračerveného záření, které objekt vyzařuje do prostoru. Zjišťuje se porovnáním s emisivitou dokonalého černého zářiče.

Za normálního stavu materiál objektu a jeho povrchové úpravy vyzařuje emisivitu přibližně v rozsahu od 0.1 do 0.98. Vysoce odrazivé povrchy mají emisivitu pod hranicí 0.1, zatímco zoxidované nebo pomalované plochy mají vyšší emisivitu. Olejomalby, bez ohledu na to jako barvou jsou namalované, mají emisivitu v infračerveném spektru větší jak 0.9. Lidská kůže má emisivitu od 0.97 do 0.98.[1]

Nezoxidované kovy reprezentují krajní případ dokonalé neprůhlednosti a vysoké odrazivosti, která se příliš neliší v závislosti na zkoumaných vlnových délkách. Následkem toho je emisivita kovů nízká. Zvyšuje se pouze se zvětšující se teplotou. U nekovových předmětů zaznamenáváme vysokou emisivitu, která se zmenšuje s teplotou. [1]

Odrážená teplota jiných subjektů

Jedná se o parametr používaný pro kompenzaci vlivu odráženého záření na objekt. Mohou nastat případy, kdy je emisivita nízká a teplota objektu velmi různá od té, která je zrcadlena na sledovaném objektu. V těchto případech je důležité, mít nastavenou kompenzaci zrcadlového záření. [1]

Vzdálenost od objektu

Tento parametr je důležitý pro kompenzaci vlivu na termografické měření ze dvou důvodů:

- Vzduch samotný vyzařuje určité záření, které kamera detekuje a zaznamenává,
- Záření objektu je pohlcováno vzduchem, nacházejícím se mezi objektem a kamerou.

Relativní vlhkost vzduchu

Kamera dokáže kompenzovat vlhkost vzduchu, jelikož prostupnost záření závisí na vlhkosti vzduchu. Aby byl tento vliv na měření kompenzován, je zapotřebí přesnějšího nastavování kamery. Například pro kratší vzdálenosti a normální vlhkost vzduchu je nutno nastavit relativní vlhkost vzduchu na 50 % [1].

Další parametry

Existují další parametry, které je možné nastavit pro kompenzování negativního vlivu na měření [1]:

- Teplota vzduchu – teplota vzduchu, nacházejícího se mezi čočkou a objektem
- Teplota externí optiky – při použití přídavných čoček a jiných zařízení
- Přenos záření externí optikou – při použití přídavných čoček a jiných zařízen

Parametry termokamery

Parametry termokamery nemají vliv na kvalitu záznamu, podobně jako je to u klasických kamer, ale na to nejdůležitější – na přesnost měření teploty.

Horší termokamera neznamená, že má horší kvalitu záznamu, ale obvykle se jedná snížení přesnosti, či určité omezení při jejím užívání (například: nutnost měření z menší vzdálenosti).

Z hlediska screeningu tělesné teploty jsou hlavními parametry každé termokamery:

- nejistota měření (s ní spojená metrologická návaznost),
- teplotní citlivost,
- rozlišení obrazového senzoru.

Metodika pro screening horečnatých stavů pomocí termokamery

Teplota vzduchu by se měla pohybovat v rozmezí 18 °C–24 °C, s relativní vlhkostí vzduchu 10 % - 75 %. Ideální je co nejmenší pohyb vzduchu a zcela nezbytné je zabránění přímému vlivu slunečního záření. [4]

Kontrolovaná osoba se čelně dívá do objektivu termokamery a nesmí mít na očích brýle. Ty jsou pro LWIR termokamery (pro screening horečnatých stavů se používá právě tento typ s mikrobolometrickými senzory a pásmem citlivosti v rozsahu přibližně 7–14 μm) neprůhledné. [4]

V termokameře jsou správně nastaveny parametry měření – především emisivita a odražená zdánlivá teplota.

Prostorové rozlišení na tváři měřené osoby by mělo být alespoň 1 mm – pixel. To je požadavek na vzdálenost mezi objektivem termokamery a kontrolovanou osobou. Pro termokameru s běžným rozlišením 320×240 px vychází (záleží na zorném úhlu objektivu) okolo 25–30 cm (přestože v účelově zavádějících materiálech některých výrobců můžeme vidět měření teploty na vzdálenost několika desítek metrů). [4]

Metrologickou návaznost zajišťuje BlackBody, které je při měření vždy přítomno a pomocí kterého dochází ke kontinuální rekalibraci termokamery. Tato rekalibrace se opakuje minimálně každých 5 sekund. Černé těleso musí vykazovat vysokou teplotní stabilitu, nízkou nejistotu udávané teploty a v obraze termokamery by mělo zabírat plochu alespoň 20×20 px. To je požadavkem na vzdálenost mezi termokamerou a černým tělesem. [4]

Nejvyšší přesnost v obraze vykazuje termokamera v blízkosti místa, kde je zachyceno černé těleso. Tvář kontrolované osoby se proto musíme snažit umístit tak, aby v obraze byl snímaný povrch černého tělesa co nejblíže černého tělesa (to je obvykle fyzicky za ramenem kontrolované osoby). [4]

Na tváři kontrolované osoby je nutné odečíst teplotu v oblasti mediálně sousedící s vnitřním koutkem oka. Je tomu tak díky stabilitě teploty v této oblasti, neboť ta se nachází přímo nad procházející krční tepnou. Nejedná se sice o měření tzv. “teploty jádra”, jak bychom si mohli myslet, ale na povrchu lidského těla jsou místa s blízkostí krční tepny obvykle nejblíže této teplotě jádra. [4]

Komparace jednotlivých technologií pro bezkontaktní měření tělesné teploty

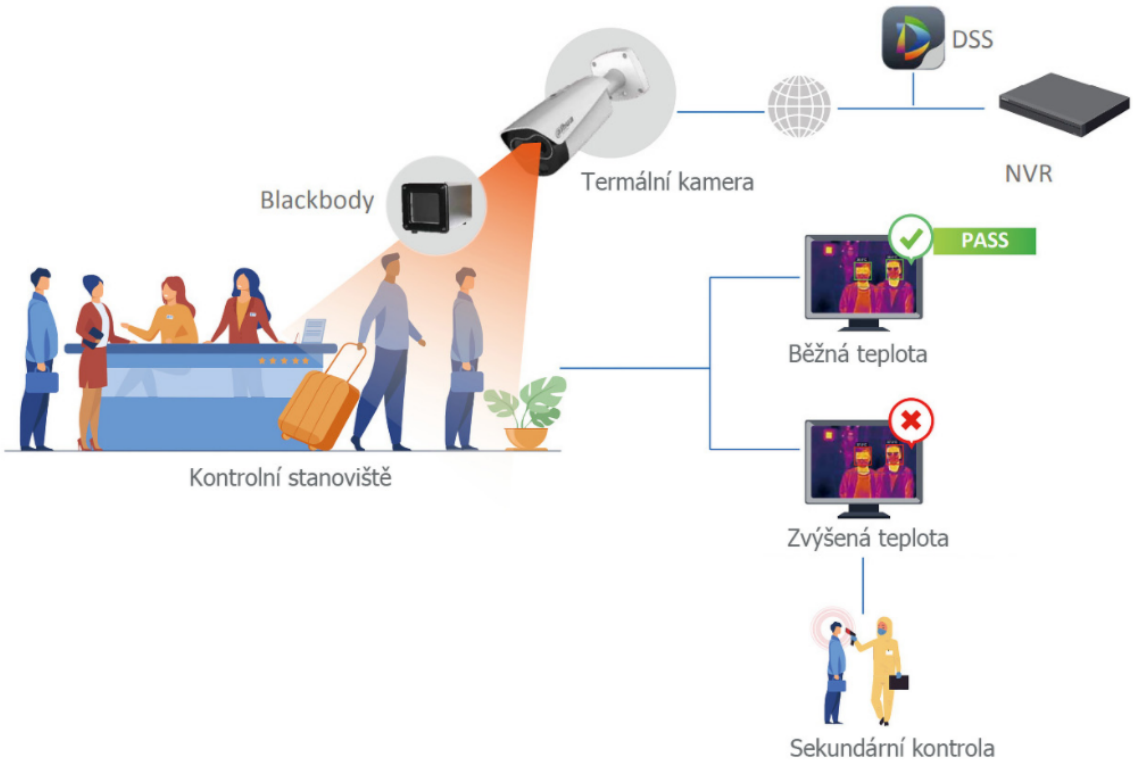
Výrobce Dahua

Jedná se o kvalitní termokameru, která dokáže zachytit a změřit tělesnou teplotu až patnácti zaměstnanců v jeden okamžik.

Dahua vyrábí sety sloužící pro měření teploty zaměstnanců. Takovýto set se skládá z bi-spektrální kamery, kalibrační jednotky (Blackbody), nahrávacího zařízení (NVR) a PC se softwarem, kterým se celý systém ovládá. [5]

Výrobce Dahua jako první přinesl na trh tento druh technologie, a proto je nejdále především ve vývoji algoritmů, kterými termokamera měření teploty provádí. Jedná se o zcela automatizované a bezkontaktní měření teploty. Tento výrobce myslel i na detaily, které by mohly měření teploty těla ovlivnit. Pokud zaměstnanec ponese horký hrnek s kávou, v oblasti, která je vyhrazená pro měření teploty, systém rozpozná tuto anomálii a odfiltruje jí. [5]

Výhodou je rychlé a efektivní měření teploty u většího počtu zaměstnanců, které dokáže zachytit v jeden okamžik. Algoritmy fungují tak, že termokamera při měření teploty, vyhledává na tváři osob koutky očí, ve kterých měření teploty provádí primárně. Jelikož oční sliznice je jediná viditelná část těla, která navzdory venkovní teplotě nejlépe a nejrychleji koreluje s vnitřní teplotou těla. Jde o špičkové technologické řešení s celou řadou dalších funkcí – upozornění na nošení roušky nebo také možnost spustit návazné opatření při vyvolání alarmu – třeba znemožnit průchod zaměstnanců turniketem. Nevýhodou je vyšší pořizovací cena. [5]



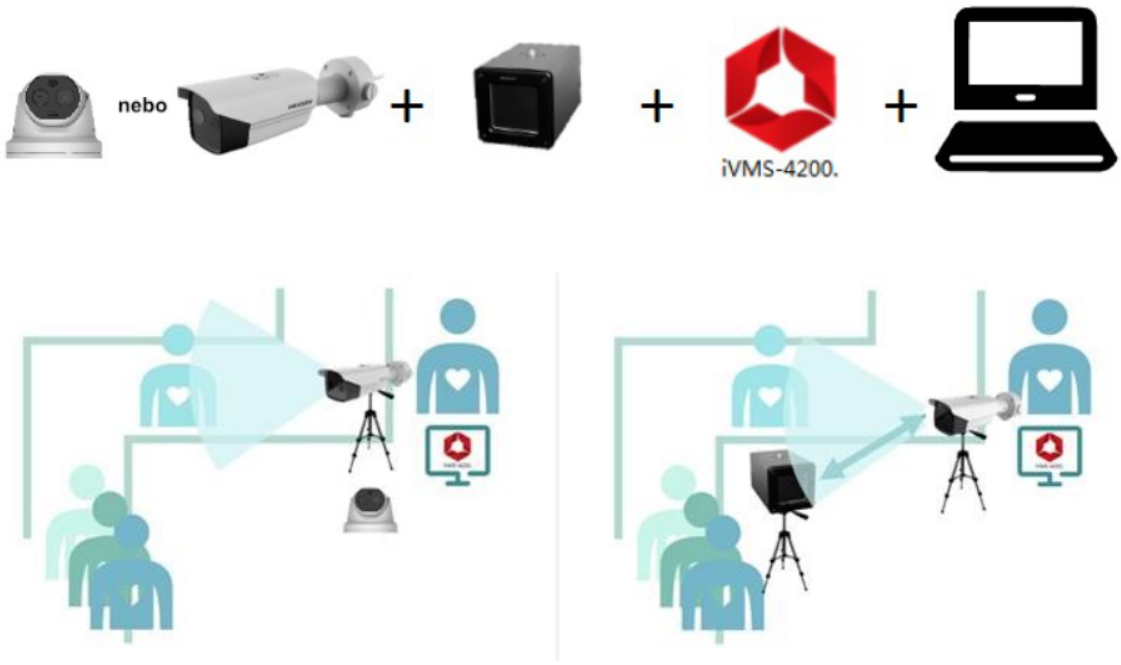
Obrázek č. 1 – Grafické znázornění technologie termokamery Dahua [5]

Výrobce Hikvision

Jde aktuálně o největšího světového výrobce kamerových systémů. Přišel s vlastním řešením pro měření teploty zaměstnanců o týden později než výrobce Dahua. Hikvision je obecně masivně dotován čínskou vládou a kvalita hardwaru je na vysoké úrovni. Dle výrobce patří měření teploty termokamerou od výrobce Hikvision s odchylkou pouhých 0,3 °, mezi nejpřesnější systémy měření tělesné teploty na trhu. [5]

Set se skládá standardně z bi-spektrální kamery, kalibrační jednotky (Blackbody), nahrávacího zařízení (NVR) a PC. Měření tělesné teploty je automatické a bezkontaktní.

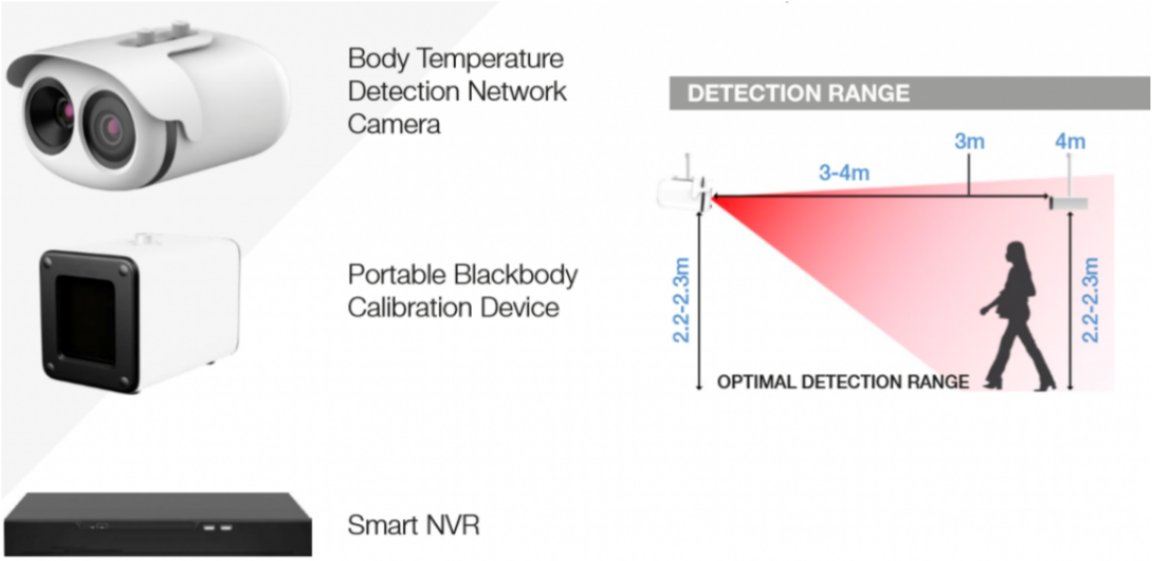
Výhodou je rychlost měření – maximálně jedna vteřina. Systém je schopen změřit 10 lidí současně do vzdálenosti 4-10 metrů, to může pomoci při nutnosti rychle odbavit nápor vstupujících zaměstnanců. Přesnost měření výrobce Hikvision udává +/- 0,3°C. Lze zakoupit i set bez kalibrační jednotky (BlackBody). Cena je potom nižší, nicméně výrobcem uváděna odchylka měření stoupá na 0,5°C. [5]



Obrázek č. 2 – Grafické znázornění technologie termokamery Hikvision [5]

Výrobce ConceptPro

Jedná se o britského výrobce. Je znám především ve Velké Británii a také ve Francii. Termokamera na měření teploty je také doplněna o kalibrační jednotku (BlackBody), nahrávací zařízení a PC se softwarem. Měření je plně automatické a bezkontaktní. Systém umí měřit několik osob najednou – až deset osob na vzdálenost až 4 metry. Přesnost měření termokamerou uvádí výrobce s odchylkou jen 0,3 °C. [5]



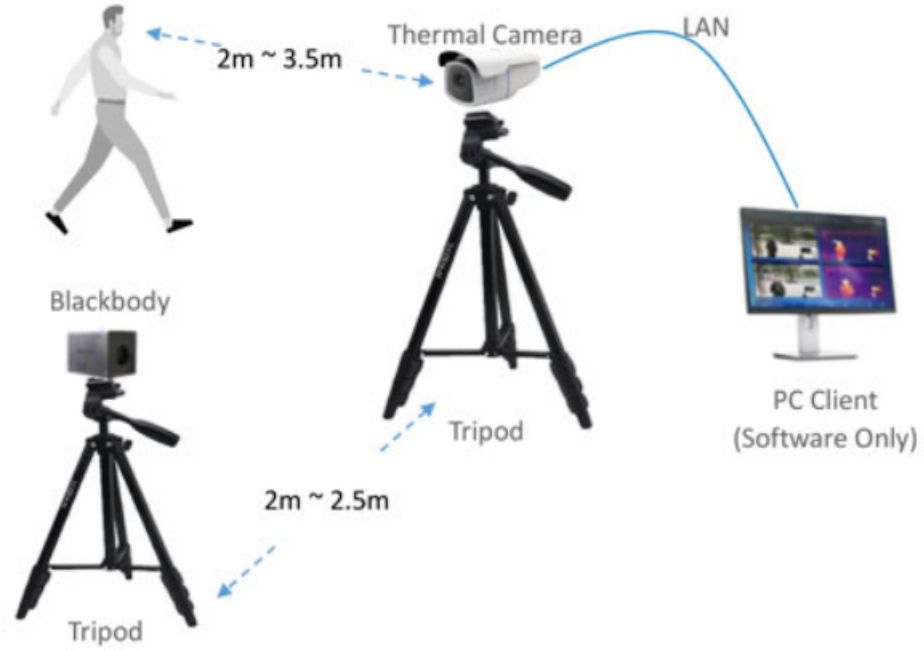
Obrázek č. 3 – Grafické znázornění technologie termokamery ConceptPro [5]

Výrobce Uniview

Jde o čínského výrobce, kterému se každoročně navyšují obraty, jelikož se při kamery pro bezkontaktního měření teploty jedná o tzv. „zlatou střední cestu“.

Set pro měření tělesné teploty se skládá z bi-spektrální kamery, BlackBody a NVR. Měří do vzdálenosti 4-10 metrů, výrobce uvádí odchylku 0,2 °C, rychlost měření 0,5 – 1 vteřinu. [5]

Tento systém je adekvátní pro aplikování do náročného provozu s vyšší frekvencí pohybu.



Obrázek č. 4 – Grafické znázornění technologie termokamery Uniview [5]

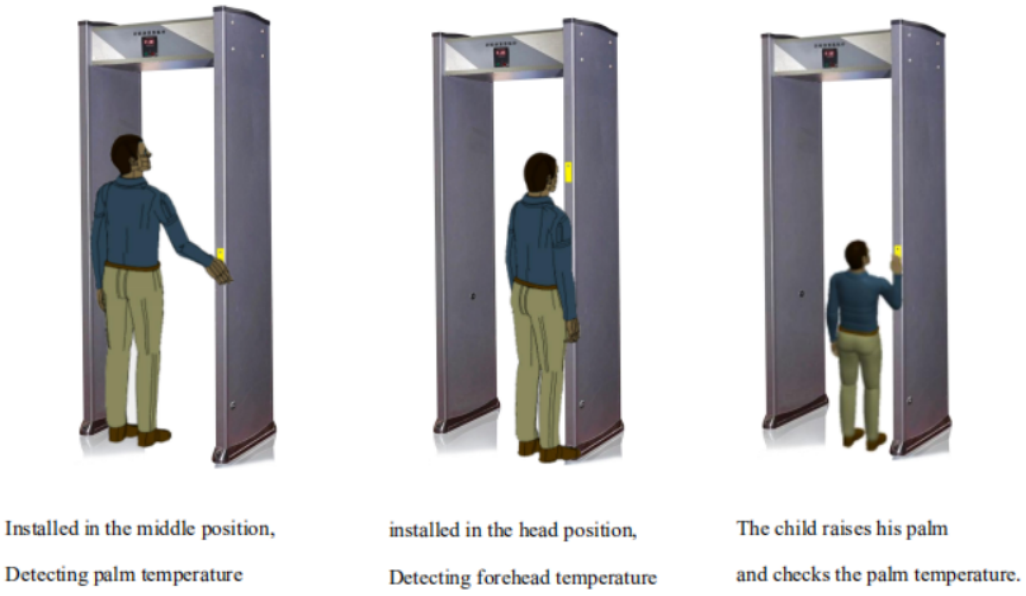
Výrobce Axis

Švédský výrobce vyrábí set kamery pro bezkontaktní měření teploty těla s nahrávacím zařízením a softwarem vyhodnocujícím vstupní data z kamery na pozadí. V setu není oblažena kalibrační jednotka. Odchylka měření je 0,3 °C – 0,5°C. Je vhodné tento systém používat v méně frekventovaných prostorách. [5]

Obrázek č. 5 – Termokamera Axis [5]

Bezpečnostní rámy

Bezpečnostní rámy – technologie vyrobená v Číně. Rámy s termometrickými senzory jsou ekonomicky přijatelnou variantou pro měření teploty zaměstnanců podniku. Rám je opatřen termometrickým senzorem, ke kterému přistupují osoby a na vzdálenost 5-15 cm přikládají hřbet ruky či zápěstí. Samotné měření trvá zhruba 1,5 vteřiny a odchylka je 0,2°C. Pokud je teplota vyšší, než jaká je nastavená přijatelná (referenční) hodnota, systém spustí alarm. Je vhodný do provozů s nižší frekvencí pohybu osob. [5]



Obrázek č. 6 – Bezpečnostní rámy s termometrickým senzorem [5]

Mobilní terminál

Jedná se o kompaktní a mobilní systém vyvinutý v Číně. Mobilní telefon či tablet opatřený kamerou a softwarem, který vyhodnocuje teplotu osoby. [5]

Výhodou tohoto systému je jednoznačně jeho velikost a mobilita. Umí také rozpoznat, zda má měřená osoba nasazenou roušku, pokus nemá, upozorní na to. Tento systém je vhodný do prostor s menší frekvencí pohybu osob. [5]

Obrázek č. 7 – Mobilní terminál [5]

	Dahua	Hikvision	Concept Pro	Uniview	Axis	Bezpečnostní rám	Mobilní terminál
Přesnost měření	+/- 0,3 °C	+/- 0,3 °C	+/- 0,3 °C	+/- 0,2 °C	+/- 0,5 °C	+/- 0,2 °C	+/- 0,2 °C
Rychlost měření	0,5-1 vteřina	1 vteřina	0,5 vteřiny	0,5-1 vteřina	1-2 vteřiny	1-2 vteřin	1-2 vteřina
Rozlišení	2 MP	4 MP	2 MP	2MP	2 MP	-	-
Vzdálenost měření	3 metry	4-9 metrů	4 metry	4-10 metrů	1-3 metry	10-25 metrů	10-25 metrů
WDR	WDR	WDR	True WDR	WDR	WDR	-	-
Alarmové vstupy/výstupy	2x IN/OUT	2x IN/OUT	2x IN/OUT	2x IN/OUT	2x IN/OUT	neumožňuje	neumožňuje
Napájení	PoE	PoE	PoE	PoE	PoE	220-240 V	220-240 V
Cena	610.000-670.000 Kč bez DPH	520.000-575.000 Kč bez DPH	445.000-495.000 Kč bez DPH	395.000-435.000 Kč bez DPH	285.000-315.000 Kč bez DPH	115.000-148.000 Kč bez DPH	85.000-105.000 Kč bez DPH

Tabulka č. 1 – Komparace jednotlivých technologií pro bezkontaktní měření tělesné teploty[1] (vlastní zpracování)

[1] WDR – Wide Dynamic Range (kompenzace protisvětla)
PoE – Power over Ethernet (síťová funkce)

Společnost by měla mít stanoveného pracovníka, který by dohlížel na dodržování režimových opatření. Pokud termokamera zachytí osobu se zvýšenou teplotou, či bez roušky, není žádoucí, aby pokračovala ve vstupu do areálu firmy.

Pokud je u osoby vstupující do areálu společnosti naměřena vyšší teplota: [5]

- Osoba se zvýšenou teplotou nesmí opustit stanoviště sekundární kontroly,
- Osoba se zvýšenou teplotou musí být izolována od ostatních zaměstnanců,
- Zaměstnanci sekundární kontroly neprodleně kontaktují bezpečnostního ředitele objektu nebo přímého nadřízeného daného zaměstnance,
- Po vyhodnocení je buď zaměstnanec poslán domů a je mu nařízen home-office,
- U tohoto zaměstnance by měla být nařízena karanténa nebo požadavek stanovení výsledku z testu na přítomnost covid-19. Testovat by se měl zaměstnanec nechat nejdříve 6 dní od dne, kdy byly odhaleny první příznaky (v tomto případě ode dne, kdy u něho systém odhalil zvýšenou tělesnou teplotu),
- Tělesná teplota by měla být přeměřena všem zaměstnancům, se kterými daný člověk přišel v předchozích 2-4 dnech do kontaktu. Test je proveden digitálním bezkontaktním teploměrem.

Je také nutné, aby se na pracovištích dodržovalo následující: [5]

- Vstup na pracoviště a pohyb po pracovišti vždy v roušce a jednorázových rukavicích,
- Aby systém fungoval správně, musí být dodržování opatření vyžadováno od všech, bez ohledu na jejich pozici ve firmě, věk, národnost nebo důležitost jejich pracovní náplně.

Poděkování

Tento článek vznikl za podpory Interní grantové agentury Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, projekt IGA/FAI/2021/008, Ústav bezpečnostního inženýrství, Fakulta aplikované informatiky.

Závěr

Hrozba šíření pandemie Covid-19 je stále na velmi vysoké úrovni. Je důležité, aby lidé dodržovali vládní nařízení a také požadavky svého zaměstnavatele v prostorách podniku. Jelikož mnozí nevěnují svému zdravotnímu stavu dostatečnou pozornost, je dobré pořídit do vstupních prostor preferovanou technologii pro bezkontaktní měření teploty lidského těla.

Zaměstnavatel tak může již při vstupu osob do budovy odhalit zaměstnance či návštěvníky se zvýšenou teplotou a preventivním zásahem zabránit dalšímu šíření viru mezi pracovníky v podniku, v továrně.

Použitá literatura

[1] FLIR system, ThermaCAM Reporter – user's manual, Professional Edition. Version 8.1, publ. No. 1558567, Language English, 2007

[2] Jain K. A., Flynn P., Ross A. A.: Handbook of biometrics, New York, Springer Science+Business Media 2008, ISBN-13: 978-0-387-71040-2.

[3] Vojáček A.: Co jsou BOLOMETRY a MIKROBOLOMETRY? [online], Dostupné z: https://automatizace.hw.cz/clanek/2005111601, [cit. 20. 03. 2021]

[4] Metodika pro screening horečnatých stavů za použití termokamery [online], Dostupné z: https://workswell.cz/metodika-pro-screening-horecnatych-stavu-za-pouziti-termokamery [cit. 27. 03. 2021]

[5] Termokamera na bezkontaktní měření teploty zaměstnancům na pracovišti [online], Dostupné z: https://www.pro-security.cz/koronavirus-automaticke-mereni-teploty-zamestnancu-termokamerou/ [cit. 25. 03. 2021]