

**MENDELOVA UNIVERZITA V BRNĚ  
AGRONOMICKÁ FAKULTA**

**DISERTAČNÍ PRÁCE**

**Mendelova univerzita v Brně**  
**Agronomická fakulta**  
**Ústav zemědělské potravinářské a environmentální techniky**

**Analýza energetických procesů v potravinářství pomocí  
termovizních metod**

**DISERTAČNÍ PRÁCE**

Vedoucí práce:  
prof. Ing. Jan Mareček, DrSc., dr. h. c.

Vypracoval:  
Bc. Ing. Lukáš Urban

Brno 2015

## Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem disertační práci Analýza energetických procesů v potravinářství pomocí termovizních metod vypracoval samostatně a veškeré použité prameny a informace uvádím v seznamu použité literatury. Souhlasím, aby moje práce byla zveřejněna v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách ve znění pozdějších předpisů a v souladu s platnou Směrnicí o zveřejňování vysokoškolských závěrečných prací.

Jsem si vědom/a, že se na moji práci vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, a že Mendelova univerzita v Brně má právo na uzavření licenční smlouvy a užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 autorského zákona.

Dále se zavazuji, že před sepsáním licenční smlouvy o využití díla jinou osobou (subjektem) si vyžádám písemné stanovisko univerzity, že předmětná licenční smlouva není v rozporu s oprávněnými zájmy univerzity, a zavazuji se uhradit případný příspěvek na úhradu nákladů spojených se vznikem díla, a to až do jejich skutečné výše.

V Brně dne:.....

.....  
Podpis doktoranda

## **Poděkování**

Rád bych touto cestou poděkoval panu prof. Ing. Janu Marečkovi, DrSc. dr. h. c. vedoucímu své disertační práce, za poskytnuté materiály, jeho trpělivost a v neposlední řadě také ochotu při konzultacích. Dál bych chtěl poděkovat panu Dr. Ing. Petru Maradovi za asistenci při měřeních a ústavu zemědělské potravinářské a environmentální techniky za vědomosti, které jsem za svoji dosavadní dobu studia získal.

Některé podklady pro práci vznikly při řešení výzkumného projektu „Sledování biotechnických parametrů anaerobní fermentace“ (IGA) a Funkčního úkolu s názvem „Hydrotermická stabilizace biologicky rozložitelných odpadů v podmínkách nových environmentálních technologií zemědělské a asanační praxe“, který řešil Ústav zemědělské, potravinářské a environmentální techniky Mendelovy univerzity v Brně na základě Smlouvy o dílo č. 178 – 2011 – 17412, č.j.: 101417/2011 – MZe – 17412 pro Odbor bezpečnosti potravin Ministerstva zemědělství.

Na závěr, nikoli však v poslední řadě, bych rád poděkoval své partnerce a rodině, která mi byla morální oporou během studia.

V práci jsou analyzovány energetické procesy u zařízení využívaných v asanačních podnicích, při nakládání s konfiskátem vedlejšího živočišného produktu. Biofiltr je zařízení určené pro čištění vzduchu od pachových emisí, které by za jiných okolností emitovaly do ovzduší. V průběhu provozu dochází tvorbě parciálních ploch biofiltru, což jsou místa, kde je nižší tlaková ztráta. Vzduch proudí těmito parciálními plochami a proschlá místa neobsahují aktivní mikroorganismy. Tím dochází k úniku velkého množství nevyčištěného vzduchu a snižuje se funkční účinnost biofiltru. Pro zjištění správné činnosti biofiltru je nutné stanovit vhodnou metodiku sledování. V práci budou prezentovány a porovnány výsledky metodického posuzování biofiltračního zařízení, získané na základě periodického termovizního monitoringu biofiltračního zařízení u asanačního podniku ASAP s.r.o., které budou konfrontovány s metodou odběru vzorků pachových částic za použití dynamické olfaktometrie definované evropskou normou EN 13725. K tomuto účelu bylo využito univerzitní termovizní zařízení ThermoCAM E 320. Při srovnání alternativních metod jako jsou dynamická olfaktometrie, termovizní metoda a kontaktní teploměr, byly stanoveny tyto závěry. Dynamická olfaktometrie koreluje z termovizními metodami. Termovizní metody byly shledány jako spolehlivou alternativou měření povrchové teploty materiálu, což dokazuje relativní odchylka teplot mezi naměřenými vzorky, která činí maximálně 4,3 °C a minimálně 0,9 °C, což při zprůměrování všech teplot činí 2,55 °C rozdílu. Vzhledem k malé časové náročnosti a vysoké efektivitě měření shledáváme termovizní metody pro monitoring půdních biofiltrů jako vhodný způsob posuzování funkčnosti a správné činnosti biofiltračního zařízení. V porovnání s metodou vzorkování pomocí dynamické olfaktometrie bylo prokázáno, že tepelně výraznější lokality na ploše půdního biofiltru tzv. místa s nižší tlakovou ztrátou představují kritické prostředí pro existenci mikrobiologických organismů potřebných pro zachování funkce dezodorace. Ve srovnání s dynamickou olfaktometrií nelze termovizní metodou stanovit kritickou hodnotu úniku pachových částic. Nicméně na základě dostupných informací o kultivačních podmínkách resp. teplotách vhodných pro život a množení mikroorganismů, lze identifikovat kritická místa úniku pachových emisí do ovzduší. Výhody termovizních metod spočívají v bezdotykovém způsobu měření, rychlém získávání výsledků a pořizování efektivních závěrů. Snadná a časově nenáročná analýza pořízených záznamů vede k možnosti bezprostřednímu stanovení opatření. Vzhledem k faktu, že pachové limity definované

platnou legislativou, zejména pak se zákonem o ovzduší č. 472/2005 Sb., vyhláškou č. 362/2006 Sb., a nařízením vlády o sledování a vyhodnocování kvality ovzduší č. 597/2006 Sb. lze ověřit dynamickou olfaktometrií, je sledována kombinace monitoringu půdních biofiltrů pomocí termovizních metod s dynamickou olfaktometrií jakožto žádoucí propojení diagnostických možností moderní doby. Po archivaci výsledků měření, navrhuji jako další krok opětovné měření v intervalu 3 měsíců a další po půl roce. Tento způsob sledování doporučuji všem majitelům, či provozovatelům podobného zařízení.

### **Annotation**

The paper analyzes energy processes and equipment used in the rendering plants, the handling of confiscated property of animal by-product. Biofilter is a device designed primarily for cleaning the air from odorous emissions that would otherwise be emitted into the atmosphere. During operation there is the formation of partial areas of the biofilter, which are places where a lower pressure loss. The air flows through the partial surfaces dry out and place do not contain active microorganisms. This leads to leakage of a large amount of unfiltered air and reduces the operational efficiency of the biofilter. To determine the correct operation of the biofilter is necessary to establish an appropriate methodology for monitoring. The work will be presented and compared the results methodical assessment biofiltračního devices based on periodic monitoring, thermography biofilter equipment for decontamination enterprise ASAP sro, which will be confronted with the method of sampling odorous particles using dynamic olfactometry defined by the European standard EN 13,725th for this purpose have been used University thermal imaging equipment ThermaCAM E 320th. When compared to alternative methods such as dynamic olfactometry, thermal method and touch thermometer, provided the following conclusions. Dynamic olfactometry correlates of thermal imaging methods. Thermal methods were found to be a credible alternative for measuring the surface temperature of the material which shows the relative temperature deviation between the measured samples, which is a maximum of 4.3 °C and minimum of 0.9 °C as at all temperatures averaging 2.55 °C makes the difference. Given the small time and high thermal efficiency measurements we find methods for monitoring soil biofilters as a convenient way of assessing the functionality and proper operation

dezodorizing equipment. Compared with the method using dynamic sampling olfactometry have shown that thermally significant locations on the surface of the soil biofilter space with lower pressure drop are critical environments for the existence of microbiological organisms required for maintaining deodorization function. Compared with dynamic olfactometry thermal method can determine the critical value of the escape of odorous particles. However, based on available information on the culture conditions respectively. temperatures suitable for life and reproduction of microorganisms, can identify critical points of leakage of odorous air emissions. Benefits of thermal imaging methods based on non-contact measurement method, the results of rapid acquisition and procurement of effective conclusions. Easy and time-saving analysis of captured records leads to the possibility of immediate identification of measures. Due to the fact that odor thresholds defined by current legislation, especially with the Clean Air Act No 472/2005 Coll. Decree No. 362/2006 Coll. And the Government on the monitoring and evaluation of air quality No. 597/2006 Coll. You can verify the dynamic olfactometry, is found a combination of monitoring soil biofilters using thermal methods with dynamic linking olfactometry as a desirable diagnostic possibilities of modern times. After archiving of measurement results, I suggest as a further step in the re-measurement interval of 3 months and after another half year. This method of tracking recommend all owners or operators of similar equipment.

#### **Klíčová slova**

Rychlost, vzduch, teplota, plocha, půdní, biofiltr, termovizní, zařízení, dynamická, olfaktometrie, kontaktní, teploměr

#### **Key words**

Velocity, air, temperature, surface, soil, biofilter, thermal, Imaging, dynamic, olfactometry, contact, thermometer

## OBSAH

|          |   |           |
|----------|---|-----------|
| <b>1</b> | <b>ÚVOD</b>   | <b>10</b> |
| <b>2</b> | <b>STANOVENÍ CÍLŮ A HYPOTÉZ</b>   | <b>12</b> |
| <b>3</b> | <b>LITERÁRNÍ PŘEHLED</b>  | <b>13</b> |
| 3.1      | PROBLEMATIKA BIOFILTRACE ODPADNÍHO VZDUCHU  | 13        |
| 3.1.1    | <i>Důvody tvorby parciálních ploch s nižší tlakovou ztrátou v loži biofiltru</i>                              | 14        |
| 3.1.2    | <i>Souhrn podstatných vlivů na účinnost biofiltrů je následující:</i>   | 16        |
| 3.1.2.1  | Vlhkost filtračního materiálu   | 16        |
| 3.1.2.2  | Doba zdržení zápašné vzdušniny v nosném médiu   | 16        |
| 3.1.2.3  | Koncentrace polutantu   | 16        |
| 3.1.2.4  | Poréznost nosného média biofiltru   | 16        |
| 3.1.2.5  | Vyrovnanost fyzikálních a chemických indikátorů prostředí   | 16        |
| 3.2      | BIOFILTR  | 17        |
| 3.2.1    | <i>Biofiltrace emisí pachových látek</i>  | 17        |
| 3.2.2    | <i>Technologický popis užívaných biofiltrů v zařízeních na využití VŽP</i>                                    | 17        |
| 3.2.3    | <i>Přívod odpadního vzduchu</i>   | 18        |
| 3.2.4    | <i>Náplň biofiltru</i>  | 19        |
| 3.2.5    | <i>Bakteriální kultura</i>  | 20        |
| 3.2.6    | <i>Princip bio rozložitelnosti</i>  | 20        |
| 3.2.6.1  | Biologicky odbouratelné látky   | 22        |
| 3.2.7    | <i>Princip biofiltrace</i>  | 23        |
| 3.3      | TEPLOTA   | 26        |
| 3.4      | VLHKOST BIOFILTRU   | 26        |
| 3.4.1    | <i>Vliv faktorů na difúzi tepla ve dřevě</i>  | 27        |
| 3.4.1.1  | Přenos tepla vedením  | 27        |
| 3.4.2    | <i>Proudění (konvekce) tepla</i>  | 29        |
| 3.4.3    | <i>Záření (radiace) tepla</i>   | 32        |
| 3.1      | EMISIVITA   | 34        |
| 3.1.1    | <i>Závislost emisivity na struktuře materiálu povrchu</i>   | 34        |
| 3.1.2    | <i>Závislost emisivity na teplotě</i>   | 35        |
| 3.1.3    | <i>Závislost emisivity na vlnové délce</i>  | 35        |
| 3.2      | TERMIVIZE   | 36        |
| 3.2.1    | <i>Základní termokamera</i>   | 39        |
| 3.2.2    | <i>Skenovací mechanismus</i>  | 41        |
| 3.2.3    | <i>Ohnisková vzdálenost</i>   | 44        |
| 3.2.4    | <i>přenos</i>   | 44        |
| 3.2.5    | <i>Relativní pole ozáření (RFI)</i>   | 45        |
| <b>4</b> | <b>MATERIÁL A METODIKA PRÁCE</b>  | <b>46</b> |
| <b>5</b> | <b>DYNAMICKÁ OLFAKTOMETRIE</b>  | <b>46</b> |
| 5.1      | MĚŘENÍ PACHOVÝCH LÁTEK  | 46        |
| 5.1.1    | <i>Vypracování návrhu metodiky měření zápachu na biofiltrech</i>  | 48        |
| 5.1.2    | <i>Metody vzorkování</i>  | 48        |
| 5.2      | KRITÉRIA EXPERIMENTU  | 50        |
| 5.2.1    | <i>Parametry zařízení</i>   | 50        |
| 5.2.2    | <i>Hranice místa, organizace</i>  | 52        |
| 5.2.3    | <i>Detailní plán místa a organizace včetně označení budov</i>   | 53        |
| 5.2.4    | <i>Kritéria posuzování vychází z platných legislativních ustanovení vztahujících se k životnímu prostředí</i> | 54        |
| 5.2.5    | <i>Biofiltry v podmínkách zařízení nakládající s vedlejšími živočišnými produkty a živočišnými odpady</i>     | 54        |
| <b>6</b> | <b>METODIKA TERMOVIZNÍHO MĚŘENÍ</b>   | <b>55</b> |
| 6.1      | MONITORING PŮDNÍCH BIOFILTRŮ  | 55        |
| 6.2      | KONSTRUKČNÍ PRINCIPY TERMOVIZNÍHO SNÍMÁNÍ   | 56        |
| 6.3      | KVALIFIKACE A ODBORNOST OBSLUHY   | 57        |
| 6.4      | VLASTNÍ POSTUP MĚŘENÍ   | 58        |
| 6.5      | VÝBĚR STANOVIŠTĚ A PLÁNOVÁNÍ DOBY MĚŘENÍ  | 58        |



|           |  |            |
|-----------|--|------------|
| 6.6       | ÚHEL SNÍMÁNÍ .....   | 59         |
| 6.7       | ČASOVÝ HARMONOGRAM.....  | 60         |
| 6.8       | ČETNOST MĚŘENÍ .....   | 61         |
| 6.9       | ZPRACOVÁNÍ VÝSLEDKŮ MĚŘENÍ .....                                   | 61         |
| 6.10      | MONITORING KRITICKÝCH MÍST A SLEDOVANÝCH OBLASTÍ .....             | 63         |
| 6.11      | ROZBOR TERMOVIZNÍ FOTOGRAFIE.....                                  | 65         |
| <b>7</b>  | <b>VÝSLEDKY PRÁCE .....</b>  | <b>66</b>  |
| 7.1       | AD HYPOTÉZA_1 .....  | 66         |
| 7.1.1     | <i>Srovnání vlivu teploty na koncentrace pachových látek .....</i> | 66         |
| 7.1.2     | <i>Vztah pro výpočet pachových jednotek: .....</i>                 | 68         |
| 7.2       | AD HYPOTÉZA_2 .....  | 70         |
| 7.2.1     | <i>Srovnání dotykového teploměru a termovize .....</i>             | 70         |
| 7.2.2     | <i>Kontaktní teploměr.....</i>                                     | 71         |
| 7.2.3     | <i>Povrchové i ponorné teplotní čidlo .....</i>                    | 71         |
| 7.3       | AD HYPOTÉZA_3 .....  | 77         |
| 7.3.1     | <i>Srovnání axiálního anemometru a termovizní kamery.....</i>      | 77         |
| 7.1       | AD HYPOTÉZA_4.....   | 82         |
| 7.1.1     | <i>Výpočet rozdílu teploty na vstupu a výstupu biofiltru .....</i> | 82         |
| 7.2       | AD HYPOTÉZA_5.....   | 89         |
| 7.2.1     | <i>Návrh řešení úniku pachových látek .....</i>                    | 89         |
| 7.2.2     | <i>Ekonomická kalkulace.....</i>                                   | 90         |
| 7.3       | AD HYPOTÉZA_6.....   | 91         |
| <b>8</b>  | <b>DISKUSE .....</b>   | <b>92</b>  |
| 8.1       | ROZBOR VÝSLEDKŮ MĚŘENÍ.....  | 92         |
| 8.1.1     | <i>Korelace dynamické olfaktometrie a termovizní metody.....</i>   | 96         |
| 8.1.2     | <i>Tepelné vlastnosti dřeva.....</i>                               | 97         |
| 8.2       | VYUŽITÍ TERMOGRAFIE V PRAXI.....                                   | 98         |
| <b>9</b>  | <b>ZÁVĚR.....</b>  | <b>100</b> |
| 9.1       | AD CÍL 1 .....   | 100        |
| 9.2       | AD CÍL 2 .....   | 100        |
| 9.3       | AD CÍL 3 .....   | 101        |
| 9.4       | AD CÍL 4 .....   | 101        |
| 9.5       | AD CÍL 5 .....   | 102        |
| 9.6       | AD CÍL 6 .....   | 102        |
| <b>10</b> | <b>LITERATURA:.....</b>  | <b>104</b> |
| <b>11</b> | <b>SEZNAM OBRÁZKŮ.....</b>   | <b>109</b> |
| <b>12</b> | <b>SEZNAM TABULEK .....</b>  | <b>110</b> |
| <b>13</b> | <b>SEZNAM GRAFŮ.....</b>   | <b>111</b> |
| <b>14</b> | <b>SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK.....</b>                               | <b>111</b> |
| <b>15</b> | <b>SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ.....</b>                               | <b>112</b> |

## 1 ÚVOD

Biofiltr je zařízení určené pro čištění vzduchu od pachových emisí, které by za jiných okolností emitovaly do ovzduší. Jako náplň biofiltru se používá přírodní substrát složený z dřevní štěpky, trhaného pařezu a drcené kůry stromů. Substrát je vrstven v loži. V průběhu provozu dochází k mineralizaci lože biofiltru, sesedání lože biofiltru, zvyšování tlakové ztráty vzduchu na loži, k vysychání lože biofiltru a k zarůstání lože biofiltru mikroorganismy v prostorách nadměrně zvlhčovaných. Jak předchozí výzkum prokázal, kritická místa by se dala charakterizovat jako tzv. plochy s nižší tlakovou ztrátou, tedy místa kde dochází ke snižování koncentrace mikrobiologických kultur. Tyto bakteriální kultury v procesu biofiltrace přestávají klíčovou úlohu. Jejich význam spočívá ve schopnosti rozkládat přiváděné biodegradabilní znečištění. Teplota má velký vliv na účinnost biofiltrace. Pro biofiltraci kontaminované vzdušiny *dosahujeme žádaného procesu při teplotách 10-25 °C*. Protože do biofiltru vstupuje teplý vzduch, dochází ke kolísání tohoto optimálního teplotního rozsahu. V případě, že by mikroorganismy, pro které představují odpadní polutanty zdroj živin a potravy, byly vystaveny krátkodobě teplotě přesahující 40 °C, bude docházet k nedostatečné výměně kyslíku, tedy k rapidnímu poklesu koncentrace tolik potřebných mikroorganismů. (Auterská 2007)

V roce 2010 byl zahájen monitoring povrchové plochy biofiltru tzv. *Termovizní metodou*, díky které je možné analyzovat plochu biofiltru a stanovit kritická místa s nižší tlakovou ztrátou. Tyto termovizní metody představují bezkontaktní způsob měření povrchové teploty materiálů. Jedná se o zařízení, které je určeno pro snímání povrchové teploty materiálu. V podstatě jde o transformaci teploty na elektromagnetické spektrum vlnového pásma infračerveného záření ležícího mezi hodnotami vlnové délky 0,8  $\mu\text{m}$  – 400  $\mu\text{m}$ . Výstupem z takového měření jsou fotografie v barevně oddělených teplotních úrovních. Po zpracování a rozboru těchto snímků lze definovat teplotu v jednotlivých parciálních plochách biofiltru. Díky tomuto zařízení je možné periodicky monitorovat plochu tělesa půdního biofiltru a následně s potřebnou přesností určit kritická místa, kde by mohlo dojít k úniku pachově znečištěného vzduchu do okolního ovzduší. Urban, Marada (2010)

V roce 2006 byl Ing. Petrou Auterskou, CSc. vypracován návrh metodiky měření zápachu na biofiltrech pomocí dynamické olfaktometrie. Princip olfaktometrie spočívá v naředění vzorku s pachem takovým množstvím čistého vzduchu, aby byla nalezena nejmenší koncentrace pachu, kterou jsou definovaní posuzovatelé (splňující kritéria normy ČSN EN 13725) ještě schopni vnímat, tzv. čichový práh. Čichový práh je roven jedné pachové jednotce. Koncentrace pachových jednotek vyjadřuje, kolikrát je nutné naředit 1 m<sup>3</sup> vzorku pachu čistým bezpachovým vzduchem tak, aby bylo dosaženo čichového prahu. (Auterská 2007) Odběr vzorků pachových látek prostřednictvím dynamické olfaktometrie spočívá v aplikaci tzv. příklopů, či plachet na ploše tělesa biofiltru. Do těchto prostor se po té jímá filtrovaná vzdušnina, která je podrobena čichové analýze. Kvalitu a přesnost měření zde ovlivňuje koncentrace a rozmístění příklopů na ploše biofiltru. Po zpracování výsledků je možné objektivně určit místa s nižší tlakovou ztrátou, kde dochází k nejvýznamnějšímu úniku pachových emisí do ovzduší.

## 2 STANOVENÍ CÍLŮ A HYPOTÉZ

### **Cíl 1.**

Srovnání výsledků měření dynamickou olfaktometrií a termovizní kamery.

### **Hypotéza 1.**

Teplota plochy biofiltru a koncentrace pachových částic spolu souvisí. Čím vyšší teplota, tím větší zápach.

### **Cíl 2.**

Srovnání výsledků měření termovizní kamery a kontaktního teploměru.

### **Hypotéza 2.**

Termovizní kamera a kontaktní teploměr jsou alternativní metody pro měření teploty povrchové plochy půdního biofiltru.

### **Cíl 3.**

Srovnání výsledků měření termovizní kamery a axiálního anemometru.

### **Hypotéza 3.**

V místech úniku pachových látek je vyšší teplota, bude tam i vyšší rychlost proudícího vzduchu.

### **Cíl 4.**

Provedení výpočtu tepelných ztrát při procesu biofiltrace.

### **Hypotéza 3.**

Teplota dna lože biofiltru je vyšší než teplota povrchové plochy biofiltru.

### **Cíl 5.**

Provedení ekonomické kalkulace vybudování přetlakové dekontaminační haly a pravidelnou výměnou náplně biofiltru.

### **Hypotéza 5.**

Pro dočištění unikajícího znečištěného vzduchu je vhodné vybudování přetlakové dekontaminační haly.

### **Cíl 6.**

Navrhnout vhodný způsob pro monitoring činnosti půdního biofiltru.

### **Hypotéza 6.**

Termovizní metoda je vhodným způsobem pro monitoring povrchové teploty biofiltru.

### 3 LITERÁRNÍ PŘEHLED

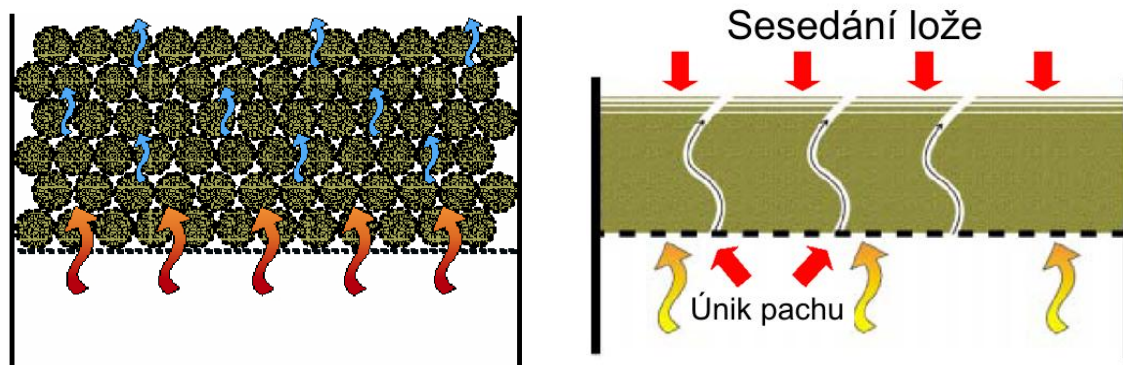
Pro testování byl zvolen a několikrát proměřen velkoplošný biofiltr asanační společností ASAP. V této kapitole se seznámíme s biofiltračním zařízením, dále jen „půdním biofiltrem“, jeho účelem, principem činnosti a konstrukčním schématem. Představíme si standardní metody využívané k monitoringu funkce a činnosti tohoto zařízení, uvedeme se do problematiky biofiltrace odpadního vzduchu a v neposlední řadě zasáhneme i do problematiky úlohy tepla a teploty ve vztahu k vysychání dřeva a jeho zápalnosti.

#### 3.1 Problematika biofiltrace odpadního vzduchu

Nejčastěji využívané systémy biofiltrů v podmínkách zařízení nakládajících s VŽP jsou koncipovány tak, že kontaminovaný vzduch je tlačěn do nádoby (nádrže biofiltru s pevným ložem) zpravidla přes mezidno, jehož účelem je vyrovnání proudu vzdušnin do laminárního proudění a následně do vrstvy lože biofiltru (náplně) s mikrobiální kulturou. Princip klasického biofiltru s pevným ložem biofiltru ukazuje obrázek č. 1. Marada, Mareček (2007)

Při použití přírodního substrátu dochází v průběhu provozu k mineralizaci lože biofiltru, sesedání lože biofiltru, zvyšování tlakové ztráty na loži, k vysychání lože biofiltru a k zarůstání lože biofiltru mikroorganismy v dobře zvlhčovaných prostorech. Tyto faktory vedou k tvorbě míst kde je nižší tlaková ztráta. Tato místa propustí více čištěného vzduchu, zvýší se rychlost proudění vzduchu, vzniká větší proschnutí místa, tím se ještě více sníží tlaková ztráta. Vzduch proudí cestou nejmenšího odporu, tedy místem s nižší tlakovou ztrátou. Snižuje se doba kontaktu kontaminované vzdušnin s ložem biofiltru, navíc proschlá místa neobsahují aktivní mikroorganismy. Tím dochází k úniku velkého množství nevyčištěného vzduchu a snižuje se účinnost biofiltru.

Příklady proudění v nehomogenním, nepropustném biofiltru a biofiltru s homogenní náplní ukazuje následující obrázek.



Homogenní lože biofiltru

Nehomogenní lože biofiltru, tvorba ploch s nižší tlakovou ztrátou

Obr. 1 Příklad proudění vzdušiny v homogenní a nehomogenní náplni biofiltru, Zdroj: (Auterská, 2006)

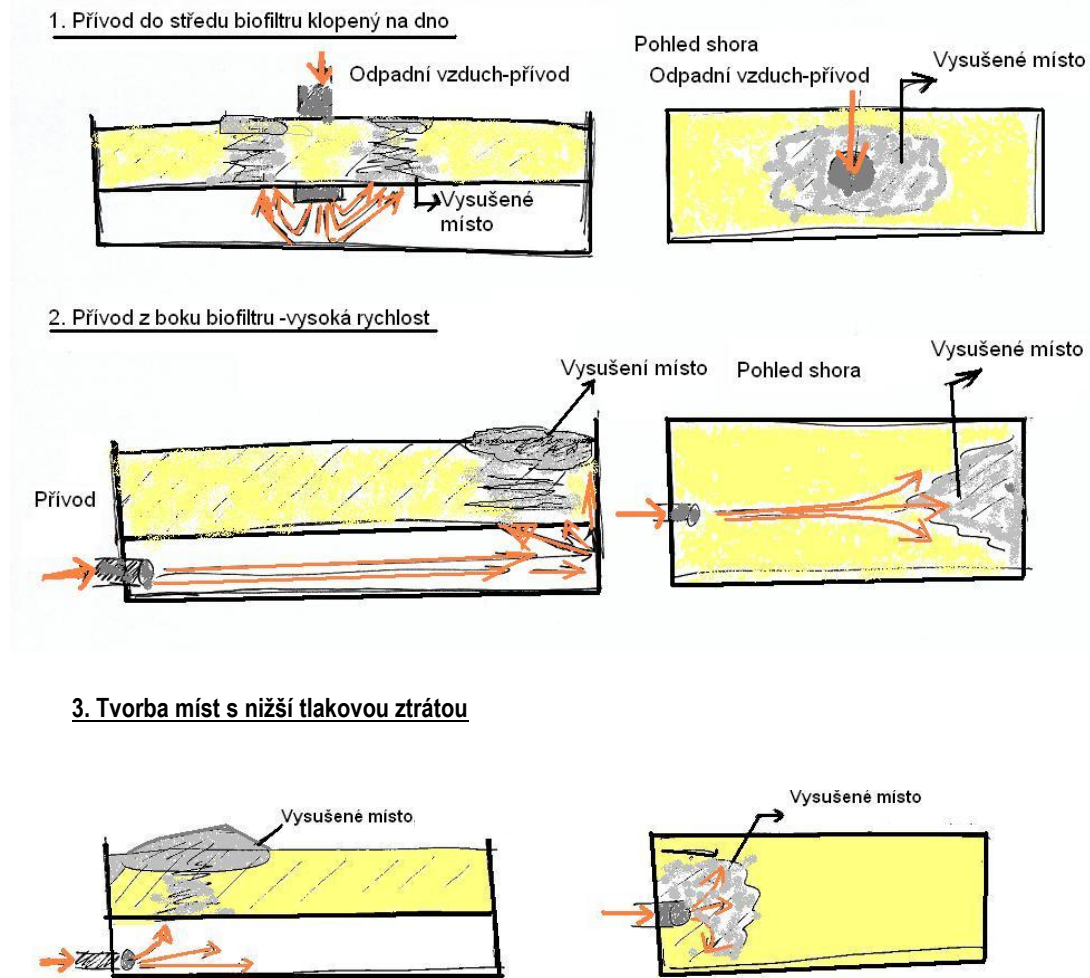
### 3.1.1 Důvody tvorby parciálních ploch s nižší tlakovou ztrátou v loži biofiltru

Významný vliv na účinnost biofiltru má kvalita distribuce odpadního vzduchu pod dno lože biofiltru. Rychlost proudění vzduchu pod dno biofiltru a jeho distribuce by měla splňovat podmínku zajištění rovnoměrného laminárního proudění po celém loži biofiltru.

Důležitá je rovněž homogenita nosiče biomasy. Nevyrovnaný povrch a nehomogenita vede k rozdílným tlakovým ztrátám ve vrstvě náplně a dochází opět k tvorbě míst s nižší tlakovou ztrátou. Důležitá je rovnoměrnost zvlhčení lože biofiltru.

Všechny tyto faktory snižují účinnost biofiltrů a jsou současně podstatou problému při vzorkování vyčištěného vzduchu při realizaci monitoringu na biofiltrech. Příklady proudění vzduchu ukazuje.

## Analýza energetických procesů v potravinářství pomocí termovizních metod



Obr. 2 Příklady nesprávné funkce rozvodu vzdušiny pod ložem biofiltru a průchodu filtračním materiálem, Zdroj: (Auterská, 2006)

I přes všechny snahy o minimalizaci míst s nižší tlakovou ztrátou neexistuje ideální biofiltr, který by nějaká "hluchá" místa neměl. Důležité je maximálně eliminovat všechny faktory, které mají vliv na tvorbu míst s nižší tlakovou ztrátou a tím zvýšit účinnost biofiltru.

Častým problémem je vysychání biofiltru u stěn nádrže, které je způsobeno nižším odporem lože biofiltru podél stěn. V takovémto případě je vhodné umístit na rošt u stěn cca 10 cm izolace ohrnuté na stěnu biofiltru, aby proudění nemohlo probíhat těsně podél stěn.

### **3.1.2 Souhrn podstatných vlivů na účinnost biofiltrů je následující:**

#### 3.1.2.1 Vlhkost filtračního materiálu

lože biofiltru (odstraňované látky z kontaminované vzdušiny zařízení nakládajících s vedlejšími živočišnými produkty jsou většinou rozpustné ve vodním prostředí; čím lépe jsou látky rozpustné ve vodě, tím bývá větší pravděpodobnost snadné bio rozložitelnosti. Podmínkou tohoto čištění je odpovídající, nejlépe stálá, vlhkost biofiltru, která je s ohledem na rychle se měnící klimatické podmínky regionů České republiky obtížně dosažitelná. (Auterská 2006)

#### 3.1.2.2 Doba zdržení zápašné vzdušiny v nosném médiu

(pro některé látky, které mají pevnou chemickou vazbu např. merkaptany, sulfan, aromáty apod. je potřebná delší doba kontaktu kontaminantu s konkrétními mikroorganismy. (Auterská 2006)

#### 3.1.2.3 Koncentrace polutantu

(významným parametrem určujícím účinnost biofiltru je tzv. látkové zatížení, tedy hodnota, která určuje, kolik polutantu je možné pomocí bio rozložitelnosti dané látky odstranit za časovou jednotku. (Auterská 2006)

#### 3.1.2.4 Poréznost nosného média biofiltru

(homogenita, zamezení zarůstání náletem rychle rostoucích bylin a dřevin) a především

#### 3.1.2.5 Vyrovnanost fyzikálních a chemických indikátorů prostředí

(vzhledem k téměř konstantnímu množství a složení kontaminovaného vzduchu je rychlost bio rozložitelnosti velice nízká; mezi klíčové ukazatele řadíme např. anaerobní prostředí, teplotu, změnu pH apod.). (Auterská 2006)

Z již provedených realizací biofiltrů především v podmínkách asanačních podniků je známo, že projekce těchto zařízení vycházela často pouze z empirických vztahů, čímž docházelo při jejich návrhu k jejich poddimenzování, takže třeba již zcela nové zařízení začalo pracovat jako přetížené. Důvodem je často podcenění úvodního monitoringu nebo jeho nesprávné provedení. Z tohoto a jiných důvodů je třeba provoz biofiltru monitorovat. (Auterská 2006)



## **3.2 Biofiltr**

### **3.2.1 Biofiltrace emisí pachových látek**

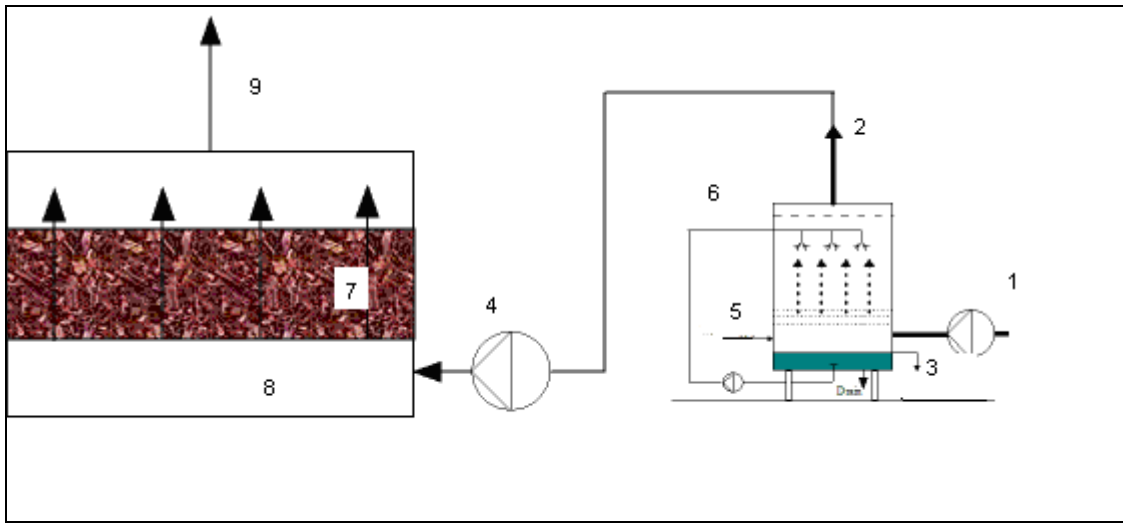
Biologické čištění odpadních plynů je využíváno při odstraňování zápašných látek ze vzdušiny vznikající v provozech zpracovávajících vedlejší živočišné produkty a živočišné odpady (VŽP). Jedná se o moderní způsob čištění organického znečištění, využívající enzymatického vybavení mikroorganismů na rozklad nežádoucích organických látek obsažených v plynech.

Biofiltrace, která je v podmínkách těchto zařízení prováděna převážně prostřednictvím biofiltru s pevným ložem biofiltru, patří mezi biotechnologie, kdy vzduch znečištěný pachovými látkami je vyčištěn pomocí aktivity mikroorganismů imobilizovaných na pevném nosiči. Využívá se zde bio rozložitelnost – rozkladu biologicky rozložitelných organických látek, resp. anorganických látek pomocí mikroorganismů.

Biofiltrace vzduchu je technologie, která se vzhledem k zdokonalování, inovacím a také nízkým provozním nákladům, stává stále častěji používanou technologií pro minimalizaci těkavých organických látek a některých anorganických polutantů. Vzhledem k tomu, že pachové látky se vyskytují často v přiměřeně nízkých koncentracích a patří mezi látky biologicky snadno odbouratelné, je biofiltrace optimálním a velmi účinným řešením jejich eliminace. (Auterská 2006)

### **3.2.2 Technologický popis užívaných biofiltrů v zařízeních na využití VŽP**

Nejčastěji využívané systémy biofiltrů v podmínkách zařízení nakládajících s VŽP jsou koncipovány tak, že kontaminovaný vzduch je tlačěn do nádoby (nádrže biofiltru s pevným ložem biofiltru) zpravidla přes mezidno, jehož účelem je vyrovnání proudu vzdušiny do laminárního proudění a následně do vrstvy lože biofiltru (náplně) s mikrobiální kulturou. Princip klasického biofiltru s pevným ložem biofiltru ukazuje. (Auterská 2006)



Obr. 3 Schéma biofiltru, Zdroj: (Auterská, 2006)

Legenda:

- 1 – Přívod odpadního vzduchu
- 2 – Zvlhčený vzduch po průchodu vodní pračkou, zbavený pevných nečistot a částečně pachových látek
- 3 – Přepad znečištěné odpadní vody
- 4 – Ventilátor
- 5 – Přívod čisté vody
- 6 – Recirkulace prací vody
- 7 – Náplň biofiltru
- 8 – Rozvod odpadního vzduchu
- 9 – Vyčištěný odpadní vzduch

### 3.2.3 Přívod odpadního vzduchu

Odpadní vzduch je zpravidla zvlhčován ve vodních pračkách před vlastním vstupem do biofiltru. Zvlhčený vzduch je nutný z důvodu přestupu polutantu k mikroorganismům přes kapalnou prostředí, ve kterém je polutant rozpustný.

Předřazené pračky jsou vhodné především tam, kde je vzdušina znečištěna tuhými nečistotami či kapénkami tuku. Tyto látky se ve vodních pračkách ve velkém množství

odloučí a sníží zatížení biofiltru. Poměr jednotek  $C_{OD}$  před a po vyčištění ve vodních pračkách bývá cca 60 – 80 %. Následně je zpravidla odpadní vzduch tlačěn do dna biofiltru. Tento systém je z hlediska kinetiky sorpce škodlivin na povrch náplně biofiltru vhodnější než systém, kdy je vzdušina odsávána až za biofiltrem.

### 3.2.4 Náplň biofiltru

Obecně lze shrnout funkce náplně biofiltru následujícím způsobem:

- je zásobárnou vody (pokud je tento řádně zavlažován – především v letních měsících; nadbytek vody však není s ohledem na degradaci materiálu nosiče vhodný)
- zásobuje mikroorganismy látkami nezbytnými pro jejich činnost, které nejsou obsaženy v přiváděné vzdušnině
- vyrovnává kolísání koncentrace polutantů přiváděných do biofiltru, snižuje kolísání teploty, vlhkosti a udržuje téměř konstantní pH
- sorbuje polutanty
- zásobuje mikroorganismy živinami v době odstávky biofiltru
- zásobuje mikroorganismy kyslíkem.

Nosič biomasy musí mít dostatečnou pórozitu a dostatečný objem dutin. Pórozita by se měla pohybovat v rozmezí 40 – 60 %. Materiály pro odstraňování zápachu ze zdrojů souvisejících s provozy nakládajícími s VŽP mají pórozitu až 90 %. Obě vlastnosti přispívají k nízké tlakové ztrátě a malému odporu pro procházející vzdušninu. Pórozita ovlivňuje odvádění vody a tím zvyšuje přestup kyslíku.

Náplň je tvořena přírodními materiály jako je například kůra stromů, štěpky, rašelina, humus apod. Materiál náplně biofiltru s pevným ložem biofiltru musí mít vysokou vodní kapacitu (schopnost zadržovat vodu), aby nedocházelo k rychlému vysychání.

Nedostatek vodní kapacity či přesycení náplně biofiltru jsou pro odpovídající chod biofiltru kvalifikovány jako nežádoucí události, které negativně působí na celkovou účinnost čištění.

Přírodní nosič nesmí podléhat rychlému biologickému rozkladu. Pokud nosič podléhá rychlému biologickému rozkladu, zkracuje se životnost filtračního lože biofiltru a zvyšuje se tlaková ztráta biofiltru. (Auterská 2006)



Obr. 4 Příklad nosiče – dřevní štěpka, Zdroj: (Auterská, 2006)

### 3.2.5 Bakteriální kultura

V procesu biofiltrace se na nosiči při dodržení obecných podmínek za určitou dobu vytvoří biologická kultura mikroorganismů, která je schopna rozkládat přiváděné biodegradabilní znečištění. (Auterská 2006)

### 3.2.6 Princip bio rozložitelnosti

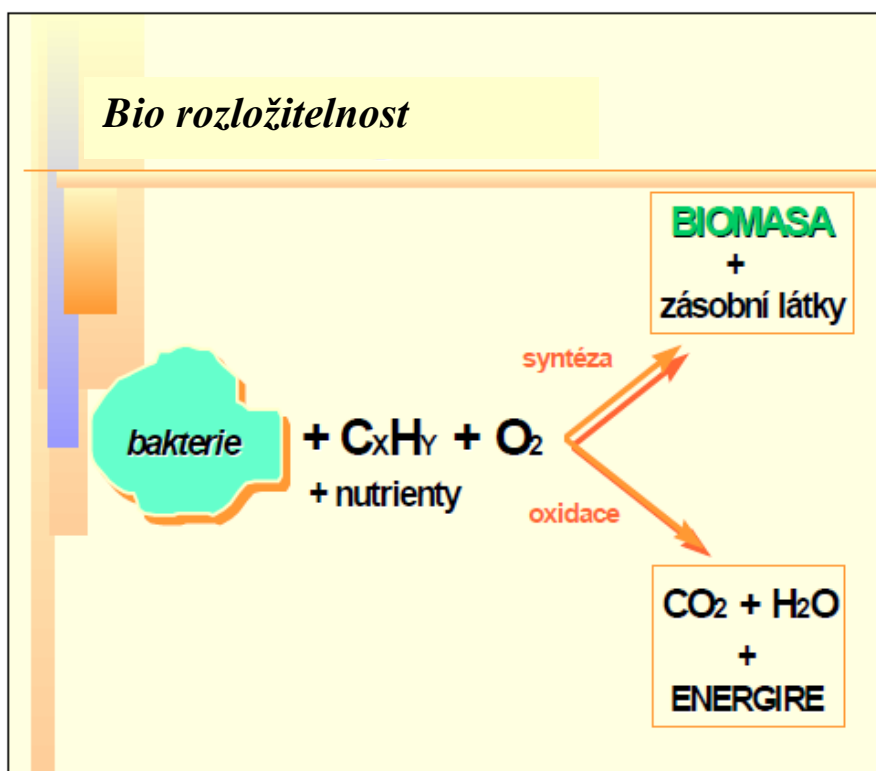
Biofiltrace patří mezi biotechnologie, kdy je vzduch znečištěný organickými, resp. anorganickými pachovými látkami vyčištěn pomocí aktivity mikroorganismů imobilizovaných na pevném nosiči. Rozklad biologicky rozložitelných organických látek, resp. anorganických látek pomocí mikroorganismů se nazývá- bio rozložitelnost.

Mikroorganismy schopné bio rozložitelnost organických látek se vyskytují běžně v prostředí kolem nás - voda, půda, vzduch. Jako nejznámější příklad lze uvést klasické

biologické čistírny odpadních vod. První biologická ČOV vznikla obyčejným provzdušňováním městských splašků.

Po určité době se vytvořilo optimální společenství mikroorganismů, které bylo schopno snižovat organické znečištění. Obecně se takto chová celá příroda a tento proces „samočištění“ je jen přirozený koloběh uhlíku. Biologicky rozložitelná je za určitých podmínek většina organického materiálu. Biodegradaci organické látky lze jednoduše schematicky popsat, obr.5. Bakterie využívá organickou látku, tzv. substrát, jako zdroj energie a uhlíku pro syntézu zásobních látek a nových buněk. Tedy, část substrátu se spotřebuje na tvorbu nové buněčné hmoty (biomasy), zbylou část buňka oxiduje za vzniku energie na neškodný oxid uhličitý a vodu.

Někdy dochází při průchodu vzdušiny biofiltrem pouze k částečnému rozkladu molekuly polutantu na meziprodukty, které často mívají nižší intenzitu zápachu než původní vzdušina. Některé anorganické polutanty v ovzduší jsou za přítomnosti organických látek biologicky oxidovány na soli, které jsou akumulovány v loži biofiltru (například sirovodík na síran, amoniak na dusičnany nebo dusitany). (Auterská 2006)



Obr. 5 Schéma bio rozložitelnosti, Zdroj: (Auterská 2007)

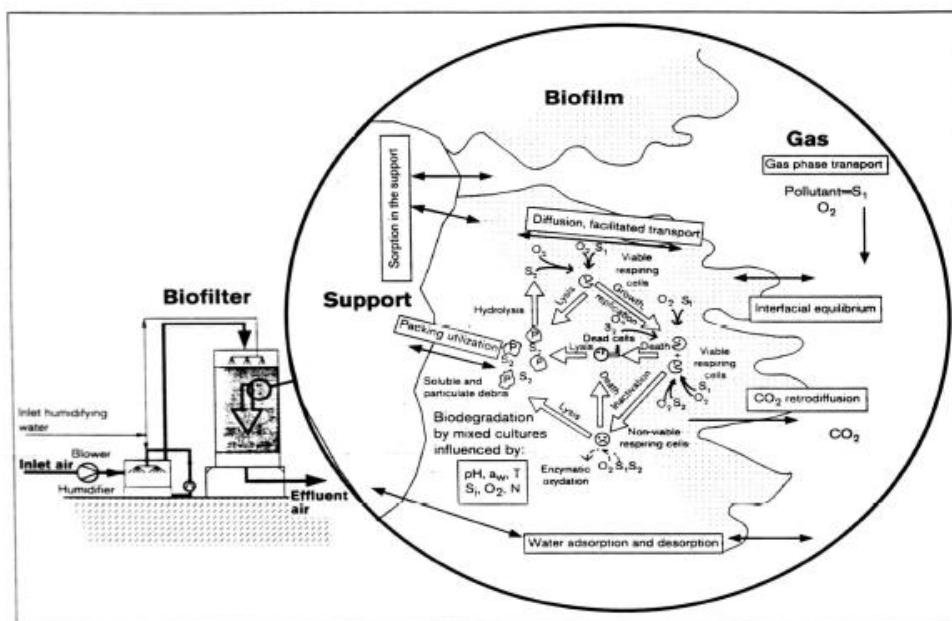
### 3.2.6.1 Biologicky odbouratelné látky

V odpadním vzduchu jsou pomocí biofiltru rozkládány především biologicky snadno odbouratelné organické látky. Za určitých specifických podmínek jsou pomocí mikroorganismů odbourávány i některé anorganické látky, jako jsou amoniak a sirovodík. Látky, které jsou biologicky odbouratelné, ať už organické nebo anorganické, nazýváme biodegradabilní látky. Podmínkou bio rozložitelnosti je, že odstraňované látky jsou alespoň částečně rozpustné ve vodním prostředí. Čím lépe jsou látky rozpustné ve vodě, tím bývá větší pravděpodobnost snadné bio rozložitelnosti.

Organické látky a výše uvedené anorganické látky jsou obvykle látky s nízkým čichovým prahem, tedy látky, které mohou zapáchat i při velmi nízkých koncentracích. Koncentrace některých polutantů, při kterých lze identifikovat zápach, mohou být až  $10^{-9}$  mg.m<sup>-3</sup>. Často velmi intenzivní zápach bývá tvořen směsí několika desítek organických látek o nízkých koncentracích. V případě zpracování živočišného odpadu jsou to zejména nízké mastné kyseliny, aminy a anorganické látky jako je sirovodík a amoniak. Rychlost biologického odbourávání jednotlivých látek je dána mnoha faktory, mezi které patří především skladba molekuly, typ mikroorganismů, které umí danou molekulu využít, fyzikální a chemické prostředí, ve kterém k biodegradacím dochází. U některých látek je však rychlost bio rozložitelnost velice nízká, někdy je zapotřebí výrazně specifických podmínek (např. anaerobní prostředí, vyšší teploty, změna pH apod.), někdy jsou meziproducty bio rozložitelnost toxičtější než výchozí látka a pak je likvidace bio rozložitelností zcela nevhodná (např. bio rozložitelnost polyaromátů). Vzhledem k tomu, že pachové látky se vyskytují často v přiměřeně nízkých koncentracích a často patří mezi látky biologicky snadno odbouratelné, je biofiltrace optimálním řešením eliminace pachových látek. (Auterská 2006)

### 3.2.7 Princip biofiltrace

Vzduch vstupující do biofiltru obsahuje molekuly polutantů. Tyto molekuly se sorbují na povrchu biofilmu, který se vytváří na pevných částicích náplně. Celý proces je velmi komplikovaný a je dobře patrný z obrázku 6.



Obr. 6 Charakter reakcí při průchodu kontaminantu ložem biofiltru, Zdroj: (Auterská 2006)

Na nosiči uvnitř biofiltru jsou imobilizovány mikroorganismy, které tvoří tzv. biofilm, slabou vrstvičku, ve které dochází k samotné biodegradaci. Biofilm je tvořen převážně bakteriemi, obsahuje však i nižší houby, prvoky a bezobratlé. Prvoci a bezobratlí se zpravidla živí bakteriemi a nižšími houbami. Odstraňování polutantů je několikastupňový proces. Prvním krokem je rozpouštění molekul polutantu v kapalně fázi (ve vodě), následuje transport molekuly biofilmem k bakteriální buňce a transport molekuly přes buněčnou membránu do bakterie, kde dochází k samotnému metabolismu a rozkladu polutantu. Získaná energie oxidací polutantu se využívá v buňce k syntéze buněčné hmoty a rozmnožování obr. 6.

Těžké organické polutanty mají většinou velmi malé molekuly stejně tak jako sirovodík a amoniak. Koncentrace polutantu jsou malé, tlak plynu je nízký, takže je možné předpokládat ideální chování.

Rychlosti proudění nejsou vysoké, takže proudění je laminární. Pro přenos kontaminantu ze vzduchu do kapalné fáze se používá dvoufilmová teorie popsaná následující rovnicí:

$$M_j = KL a (C_{sj} - C_{lj}) \quad (1)$$

kde

$M_j$ - Rychlost přenosu hmoty látky [ $\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ ]

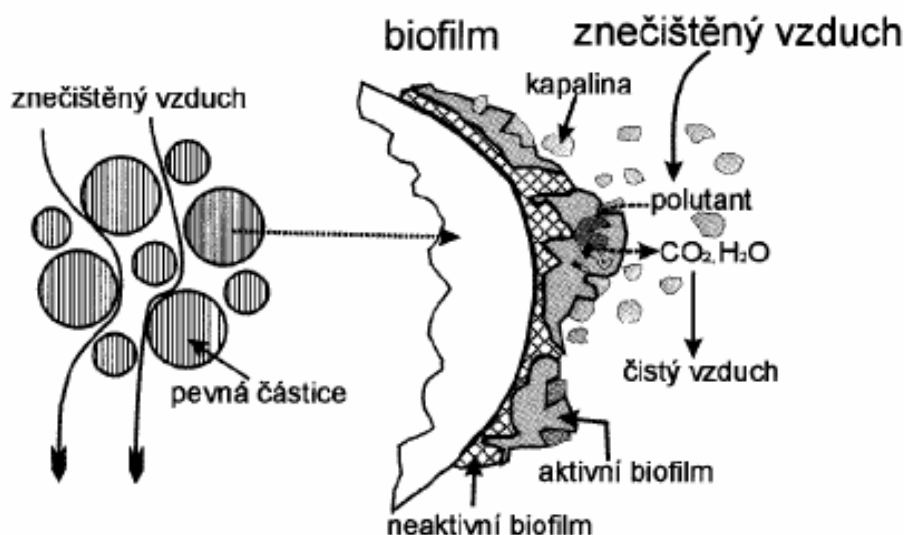
$KL$ - Koeficient rychlosti přenosu hmoty [ $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ]

$a$ - Specifický povrch náplně [ $\text{m}^2\cdot\text{m}^{-3}$ ]

$C_{sj}$ - Koncentrace látky v kapalné fázi za rovnovážných podmínek [ $\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ ]

$C_{lj}$ - Aktuální koncentrace látky v kapalné fázi [ $\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ ]

Rovnovážná koncentrace se odvozuje z Henryho zákona. Reakční rychlost v biofilmu se řídí Monodovou kinetikou. Pokud je biofiltr provozován za správných podmínek, je přenos hmoty limitujícím rychlostním faktorem. Toto přestává platit, pokud je biofiltr látkově přetěžován. (Schroeder 2002)



Obr. 7 Princip biofilmu: Zdroj (Matějů 2006)



Výše uvedený vztah lze zjednodušeně popsat tak, že každá látka má jinou rychlost přestupu do buňky pro konkrétní mikroorganismus a konkrétní podmínky. Pro některé látky, které mají pevnou chemickou vazbu, jako jsou merkaptany, sirovodík, aromáty apod. je potřebná delší doba kontaktu kontaminantu s konkrétními mikroorganismy, které je umí využít.

Často je problém mnohem složitější. V biofiltru se nikdy nevyskytuje jedna čistá kultura mikroorganismu, ale zpravidla jsou to mikroorganismy, které žijí v biofiltru v různých vzájemných vztazích zajišťujících rovnováhu procesu (symbióza, komercialismus, antagonismus apod). Některé mikroorganismy umí molekulu pouze naštěpnout a využít jen část molekuly. Vzniklý meziprodukt mohou například odstranit jiné druhy mikroorganismů. Proto je velmi důležitý parametr - doba zdržení vzdušiny v biofiltru. Druhým významným parametrem určujícím účinnost biofiltru je tzv. látkové zatížení, tedy hodnota, která určuje, kolik polutantu je možné pomocí bio rozložitelnosti dané látky odstranit za časovou jednotku. Jinými slovy, vysoké koncentrace polutantu mohou způsobit např. otravu substrátem (polutantem) nebo se účinnost biofiltrace výrazně sníží.

#### **Kdy je nevhodné použití biofiltrace**

- Pro látky s nízkou schopností adsorpce
- Pro látky nerozpustné ve vodě
- Pro látky biologicky odbouratelné za dlouhou dobu
- Pro látky, které mohou být toxické vůči mikroorganismům
- Pro extrémně nízké koncentrace polutantu, které mohou být příčinou

nedostatečného mikrobiálního osídlení náplně biofiltru

Velké kolísání vstupních koncentrací není pro biofiltraci vhodné, neboť mikrobiální populace v biofiltrační náplni nejsou schopné rychle reagovat na prudké kolísání koncentrace škodlivin v proudu vzdušiny. Biofiltrace vzduchu s nižšími koncentracemi polutantů (do 1500 ppm<sup>3</sup> –závisí na kvalitě odstraňovaných látek a výstupních limitech a může proto široce kolísat) a nižšími průtokovými rychlostmi (obecně od 10 000 do 75 000 Nm<sup>3</sup>.h<sup>-1</sup>) Biofiltry lze využít pro eliminaci organických těkavých polutantů a zápachových látek v nízkých koncentracích. (Adler 2001)

Obecně se uvádí hranice do 1000 ppm<sup>3</sup>, provozně však pracují biofiltry se vstupními koncentracemi až 5000 ppm<sup>3</sup>. (Schroeder 2002). Reálná vstupní koncentrace polutantů závisí ve většině případů na druhu polutantu, jeho biologické odbouratelnosti a konkrétních ekonomických podmínkách. Při vyšších koncentracích polutantů (zhruba nad 1500 až 2000 ppm<sup>3</sup>) se stávají konkurenční metody (termická a katalytická oxidace, oxidace indukovaná UV světlem, skrubry) z ekonomického hlediska výhodnější.

Porovnání biofiltrace s jinými technologiemi znázorňují dva grafy, které ukazují, kdy je ekonomicky výhodné použít tu kterou konkrétní technologii.

### 3.3 Teplota

Teplota má velký vliv na účinnost biofiltrace. Pro biofiltraci kontaminované vzdušiny z provozů nakládajících s VŽP dosahujeme žádaného procesu při teplotách 10 – 25 °C. U bakteriálních kultur se při teplotě pod – 10 °C exponenciálně snižuje aktivita těchto mikroorganismů. Lože biofitru umístěné v zemi zpravila nepromrzá, protože do biofitru vstupuje teplý vzduch. Problém může nastat, pokud jsou mikroorganismy vystaveny teplotě plynu dlouhodobě (v rozmezí dní) nad + 40 °C. V tomto případě dochází u bakteriálních kultur k nedostatečné výměně kyslíku.

### 3.4 Vlhkost biofiltru

Jak bylo již uvedeno, pro dobrý přestup polutantu k mikroorganismům je nutná dostatečná vlhkost lože biofiltru. Vhodná hodnota je 60 – 80 %. Samotné předřazené pračky vzduchu nejsou často schopny tuto podmínku zajistit. To se stává především v případech, kdy se jedná o velkoplošné biofiltry, o biofiltry, které čistí teplý suchý vzduch, otevřené biofiltry v letních horkých dnech. Proto je vhodné konstruovat jako součást biofiltrů též povrchové zkrápění. Náplň se zkrápí vodou. Základním principem přenosu tepla je, že k němu dochází v prostoru s nehomogenním teplotním polem. Podle 2. zákona termodynamiky dochází k samovolnému šíření tepla z oblasti o teplotě vyšší do oblasti o teplotě nižší, jedná se tedy o nevratný děj. Obecně lze tvrdit, že množství předané tepelné energie je tím větší, čím vyšší je rozdíl teplot mezi místy,

v nichž probíhá přenos tepla. Podle toho, zdali se v čase mění tento teplotní rozdíl nebo zůstává neměnný, lze v případě stálého teplotního rozdílu označit přenos tepla za stacionární (množství předané energie se v čase nemění) a naopak v případě měnícího se rozdílu teplot označujeme přenos tepla jako nestacionární (množství předané tepelné energie v čase stoupa nebo klesá). (Pavelek 2006)

Z hlediska fyzikálních principů existují 3 způsoby přenosu tepla:

- a) Přenos tepla vedením (kondukcí)
- b) Přenos tepla prouděním (konvekci)
- c) Přenos tepla zářením (radiací)

### 3.4.1 Vliv faktorů na difúzi tepla ve dřevě

#### 3.4.1.1 Přenos tepla vedením

Vedení tepla ve dřevě ovlivňuje mnoho faktorů, největší vliv však mají anatomická stavba dřeva, hustota a vlhkost dřeva. Vliv anatomické struktury dřeva vyjádřený anizotropií se projevuje rozdílnou tepelnou a teplotní vodivostí v podélném a příčném směru ( $\lambda_L, \alpha_L \gg \lambda_R, \alpha_R > \lambda_T, \alpha_T$ ). Na rozdíl od pohybu vody ve dřevě se přenos tepla ve směru a napříč vláken tolik neliší a v podélném směru je 1,5 - 2,5 krát větší než ve směru příčném (Tab. 1) Vysvětlení lze hledat v orientaci fibril v buněčné stěně, která kromě  $S_2$  vrstvy není příliš jednoznačná. Hodnoty koeficientu teplotní vodivosti a se ve směru radiálním a tangenciálním příliš neliší, rozdíl ( $\pm 15\%$ ) vzniká pouze u koeficientu tepelné vodivosti  $\alpha$  a to u dřev s vícevrstevnými dřeňovými paprsky (dub, buk), kde  $\lambda_R > \lambda_T$ , a u jehličnanů s vysokým procentem letního dřeva (modřín), kde  $\lambda_R < \lambda_T$ . (Pavelek 2006)

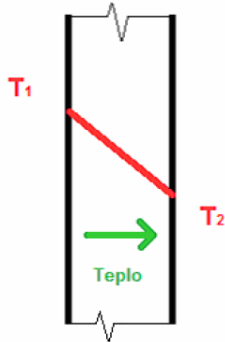
**Tab. 1 Příklady tepelně-fyzikálních charakteristik vybraných druhů dřev, Zdroj: Regináč a kol. (1990)**

| Druh dřeva<br>- směr | Teplota<br>$T$ (°C) | Vlhkost<br>$w$ (%) | Hustota<br>$\rho$ (kg.m <sup>-3</sup> ) | Měrné teplo<br>$c$ (kJ.kg <sup>-1</sup> .K <sup>-1</sup> ) | Tepelná<br>vodivost<br>$\lambda$ (W.m <sup>-1</sup> .K <sup>-1</sup> ) |
|----------------------|---------------------|--------------------|---|--|--|
| smrk - L             | 20                  | 12                 | 390 ... 467                             | 1,55 ... 2,28  | 0,229 ... 0,339  |
| - R                  | 20                  | 12                 | 390 ... 467                             | 1,55 ... 2,28  | 0,133 ... 0,157  |
| - T                  | 20                  | 12                 | 390 ... 467                             | 1,55 ... 2,28  | 0,113 ... 0,132  |
| jasan - L            | 20                  | 10                 | 608                                     | 1,92   | 0,300  |
| - R                  | 20                  | 10                 | 608                                     | 1,92   | 0,180  |
| - T                  | 20                  | 10                 | 608                                     | 1,92   | 0,180  |
| jasan - L            | 20                  | 10                 | 702                                     | 1,92   | 0,360  |
| - R                  | 20                  | 10                 | 702                                     | 1,92   | 0,180  |
| - T                  | 20                  | 10                 | 702                                     | 1,92   | 0,170  |

Vliv hustoty na tepelnou a teplotní vodivost je zcela odlišný. Se zvyšující se hustotou tepelná vodivost  $\lambda$  roste, ale teplotní vodivost  $a$  naopak klesá. Rozdílný průběh závislostí je dán rozdílnými hodnotami tepelné a teplotní vodivosti vzduchu a dřevní substance. Průměrná hodnota koeficientu tepelné vodivosti dřevní substance  $\lambda_s = 0,600 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$ ,  $\lambda_{\text{vzduchu}} = 0,026 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$ . S rostoucí hustotou dřeva roste podíl dřevní substance a klesá podíl vzduchu v daném objemu dřeva a tím i zákonitě roste tepelná vodivost  $\lambda$ . Teplotní vodivost vzduchu je až 100 krát větší než teplotní vodivost dřevní substance (suchý vzduch je téměř dokonalý tepelný izolant), proto je i závislost na hustotě dřeva opačná.

Závislost tepelné a teplotní vodivosti na vlhkosti dřeva je znázorněna na obr. Průběh obou veličin je obdobný jako při závislosti na hustotě, v případě tepelné vodivosti  $\lambda$  roste, u teplotní vodivosti  $a$  naopak klesá. Teplotní vodivost  $a$  klesá zvláště nad mezí hygroscopicity, teplotní vodivost vody je mnohem nižší než vzduchu (cca 150x). Závislost teplotní vodivosti  $a$  na vlhkosti do  $MH$  je složitější a souvisí s bobtnáním dřeva a malou změnou hustoty vlhkého dřeva do  $MH$ .

Obr. 8 ukazuje průběh teploty v rovinné stěně, ve které probíhá přenos tepla vedením při stacionárním vedení tepla.

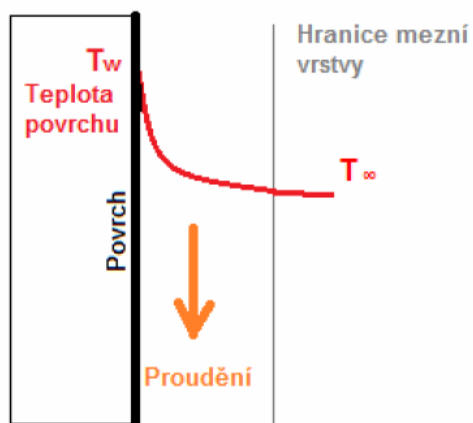


Obr. 8 Průběh teploty v rovinné stěně při stacionární kondukcí, Zdroj: (Pavelek 2006)

### 3.4.2 Proudění (konvekce) tepla

Přenos tepla prouděním je výměna tepelné energie mezi tělesem a okolní tekutinou. Z hlediska příčin pohybu tekutiny kolem tělesa lze konvekci rozdělit na:

- Přirozenou – tekutina se kolem tělesa pohybuje pouze působením změny hustoty v závislosti na změnách teplot v kapalině.
- Nucenou – tekutina se pohybuje působením vnějšího zdroje (např. ventilátoru).
- Kombinovanou – působení přirozené a nucené konvekce současně. Průběh teploty tekutiny v blízkosti povrchu tělesa je znázorněn na obr. 9. Hotel, Sarofim (1979)



Obr. 9 Průběh teploty tekutiny v blízkosti povrchu, Zdroj: (Pavelek 2006)

Proudění je přenos tepla hmotným prostředím, jehož objemové elementy vykonávají translační pohyb. Prouděním se tedy popisuje tepelný tok v tekutinách nebo na rozhraní tekutiny a pevné látky. Děj popisuje Newtonův zákon ochlazování.

$$\vec{q} = \alpha (T_s - T_\infty) S \quad (2)$$

$q$  - tepelný tok (W)

$\alpha$  - koeficient přestupu tepla ( $\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$ )

$T_s$  - teplota povrchu pevné látky (K)

$T_\infty$  - teplota kapaliny (K)

$S$  - plocha kolmá k tepelnému toku ( $\text{m}^2$ )

Teplo se při proudění přenáší pohybem makroskopických částic látky – tekutiny.

V závislosti na působení vnějších sil se proudění dělí na:

- proudění volné (přirozené) - pohyb tekutiny je vyvolán samovolnou změnou teploty (např. v důsledku změny hustoty tekutiny)
- proudění nucené - pohyb tekutiny je vyvolán působením vnějších sil (např. ventilátor, kompresor)

Při volném proudění plynů (např. vzduchu) lze pro výpočet koeficientu přestupu tepla  $\alpha$  ( $\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$ ) použít empirickou rovnici

$$\alpha = 1,4 \left( \frac{\Delta T}{2L} \right)^{0,25} \quad (3)$$

a při nuceném proudění

$$\alpha = 3,6 \frac{(\rho v)^{0,6}}{(2L)^{0,4}} \quad (4)$$

$\Delta T$  - průměrný teplotní spád mezi prostředím a materiálem ( $^{\circ}\text{C}$ )

$\rho$  - hustota ( $\rho_{\text{vzduchu}} = 1,1 - 1,3 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ ,  $\rho_{\text{vody}} = 955 - 1000 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ )

$v$  - rychlost proudění plynu ( $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ )

$2L \approx h$  - tloušťka materiálu (m)

**Tab. 2 Průměrné hodnoty koeficientu přestupu tepla  $\alpha$  v tekutinách, Zdroj: Turner, Holman (1976)**

| Tekutina        | Koeficient přestupu tepla $U$ ( $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$ ) |                 |
|-----------------|--|-----------------|
|                 | Přirozené proudění   | Nucené proudění |
| vzduch (plyn)   | 5 - 35   | 10 - 140        |
| voda (kapalina) | 100 - 1000   | 600 - 10000     |

Přenos tepla látkou – dřevem – je obvykle počítán jako stacionární děj podle I. Fourierova zákona. Tento postup je adekvátní pro dobře izolované a lehké konstrukce. Pro masivní tlusté zdi se značnou tepelnou kapacitou  $C_T = c \cdot U_L$  ( $\text{J}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$ ), jako je tomu u konstrukcí z masivních dřevěných trámů, jsou ztráty tepla v materiálu nezanedbatelné a proto musíme použít výpočtu II. Fourierova zákona pro nestacionární vedení tepla s odpovídajícími okrajovými podmínkami. Turner, Holman (1976)

Jiný postup výpočtu přestupu tepla přes dřevěnou stěnu nabízí srovnávání rychlosti výměny tepla na povrchu tělesa – Newtonův zákon ochlazování popisující proudění tepla – s vedením tepla přes materiál podle I. Fourierova zákona. Celkový přestup tepla  $q$  se skládá ze tří paralelních dějů, které lze popsat jako vedení tepla  $q_2$  a proudění tepla  $q_1$  a  $q_3$

$$\vec{q}_1 = \alpha_1 (T_1 - T_{1S}) S \quad (5)$$

$$\vec{q}_2 = \lambda \left( \frac{T_{1s} - T_{2s}}{L} \right) S \quad (6)$$

$$\vec{q}_3 = \alpha_2 (T_2 - T_{2S}) S \quad (7)$$

$T_i$  - teplota prostředí oddělených dřevěnou přepážkou

$T_{iS}$  - odpovídající teplota povrchu dřeva.

Vyjádřením povrchových teplot  $T_{1S}$  a  $T_{2S}$  z rovnic (5) a (6) a dosazením do rovnice (7) dostaneme vztah pro výpočet přestupu tepla přes jednovrstevný materiál (např. masivní dřevo) se zohledněním vedení i proudění tepla

$$\vec{q} = \frac{S(T_1 - T_2)}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{L}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2}} \quad (8)$$

Výraz ve jmenovateli nazýváme tepelným odporem nebo součinitelem prostupu tepla rovinou stěnou  $R_T$  ( $\text{m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$ )

$$\frac{1}{R_T} = \frac{1}{\alpha_1} + \frac{L}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2} \quad (9)$$

a rovnici (8) můžeme přepsat na tvar

$$\vec{q} = R_T S (T_1 - T_2) \quad (10)$$

### 3.4.3 Záření (radiace) tepla

Záření je přenos energie mezi dvěma tělesy o různé teplotě pomocí elektromagnetických vln. K přenosu energie není potřeba na rozdíl od kondukce a konvekce hmotného prostředí. Základní vztah pro tepelnou radiaci je

Stefan-Boltzmanův zákon pro černá tělesa udávající maximální tepelný tok, který může být emitován tělesem o povrchové teplotě  $T_s$

$$\vec{q} = \sigma T_s^4 S \quad (11)$$

$\sigma$  - Stefan-Boltzmanova konstanta =  $5,67 \cdot 10^{-8} \text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-4}$

$S$  - plocha ( $\text{m}^2$ )

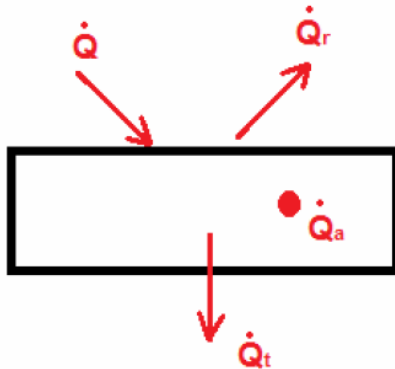
$T_s$  - absolutní teplota na povrchu tělesa (K)

Skutečné povrchy těles se od ideálního černého tělesa liší, proto je rovnice (11) doplněna o koeficient intenzity vyzařování  $\Sigma$ , jehož hodnoty se u dřeva pohybují kolem 0,8...0,9. Bereme-li v úvahu také povrch druhého tělesa k uskutečnění tepelného toku, získáme výslednou rovnici

$$\vec{q} = \varepsilon \sigma (T_s^4 - T_\infty^4) S \quad (12)$$

Pro tepelné vlastnosti dřeva nemá sálání téměř žádný význam s výjimkou ovlivnění koeficientu přestupu tepla  $\alpha$ , který může být díky radiaci zvýšen o  $4 \text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$ .





Obr. 10 Teplo dopadající na povrch tělesa Turner, Zdroj: (Pavelek 2006)

Obrázek naznačuje situaci, kdy celkový tepelný tok  $Q$  dopadá na povrch šedého tělesa. Po dopadení  $Q$  se část tepelného toku odrazí  $Q_r$ , část tepelného toku se v tělese naakumuluje a způsobí změnu teploty tělesa  $a$   $Q$  a část tepelného toku tělesem projde  $Q_t$ . Těleso přijímající tepelné záření má tak 3 hlavní vlastnosti:

$r$ -reflektaci (schopnost odrážet záření)

$a$ -absorbanci (schopnost akumulovat teplo ze záření)

$t$ -transmitanci (schopnost propouštět tepelné záření)

$r, a, t$  jsou veličiny v hodnotách od 0 do 1. Vypočítat je lze dle

$$1 = \frac{\dot{Q}_a}{\dot{Q}} + \frac{\dot{Q}_r}{\dot{Q}} + \frac{\dot{Q}_t}{\dot{Q}}. \quad (13)$$

Úpravou (14) získáme vztah:

$$a + r + t = 1. \quad (14)$$

Z hlediska praktických případů tedy může nastat, že:

- $a = 1$  Těleso je dokonale černé.
- $r = 1$  Těleso je dokonale bílé.
- $t = 1$  Těleso je dokonale průteplivé.  
Toto je běžné u dvouatomových plynů ( $H_2$ ,  $O_2$ ).
- $t = 0$  Těleso záření odráží a absorbuje. Až na výjimky tento případ nastává ve všech pevných látkách.
- $t < 1$  Těleso vykazuje všechny tři schopnosti. Případ víceatomových plynů ( $CO_2$ ,  $H_2O$ ). V případě zjišťování přenosu tepla z tělesa na těleso je pro nás nejdůležitější znát absorbanci.

U šedých těles tedy v tepelné rovnováze přibližně platí, že schopnost tělesa tepelnou energii vyzařovat je při stejné vlnové délce stejná, jako ji přijímat. Je nutné také počítat s tím, že plocha vyzařující teplo předává teplo všem, ze své pozice viditelným, povrchům. Tedy v případě, že budeme mít dvě rozlehlé desky v malé vzdálenosti naproti sobě, lze uvažovat, že v podstatě veškeré teplo vyzářené z povrchu teple desky dopadá na povrch desky studene. Pokud bychom však desky od sebe vzdálili, bude dopadat na povrch chladnější desky méně záření, protože část záření z teple desky bude dopadat také na okolní stěny v místnosti. Z tohoto důvodu se do výpočtu musí zahrnout i tzv. uhlový faktor. Hotel, Sarofim (1979)

### 3.1 Emisivita

Z hlediska výpočtu se v podstatě jedná o podíl tepelné energie vyzářené konkrétním reálným povrchem k energii vyzářené povrchem stejných rozměrů a teploty, ale uvažovaným jako černý povrch. Hodnota veličiny  $\varepsilon$  tak teoreticky může dosáhnout hodnot od 0 do 1 a závisí především na následujících faktorech:

- a) Struktury materiálu povrchu
- b) Teplotě povrchu
- c) Vlnové délce
- d) Směrových podmínkách

#### 3.1.1 Závislost emisivity na struktuře materiálu povrchu

Tepelná energie je v podstatě forma elektromagnetického záření. Jedná se o stejný typ záření, jakým je viditelné světlo, ale v oblasti větších vlnových délek. Pro tepelné záření tak platí obdobné fyzikální principy jako pro záření světelné. Lze tedy tvrdit, že stejně jako struktura povrchu ovlivňuje pohlcování a odrazení světelného záření, ovlivňuje také pohlcování a odrazení tepelného záření.

### 3.1.2 Závislost emisivity na teplotě

Emisivita jak už bylo uvedeno výše je také funkcí teploty. Obecně lze tvrdit, že závislost emisivity na teplotě je odvislá od vlnové délky pro kterou emisivitu sledujeme.

### 3.1.3 Závislost emisivity na vlnové délce

Z Planckova vyzařovacího zákona je patrné, že hustota zářivého toku černého tělesa je závislá nejen na teplotě, ale i na vlnové délce. Tato závislost je graficky znázorněna na obr. 11

Matematické vyjádření Planckova zákona je:

$$E_{0\lambda} = \frac{dE_0}{d\lambda} = f(\lambda, T) = c^2 h \frac{2\pi\lambda^5}{e^{ch/k\lambda T} - 1}, \quad (15)$$

Kde:

$E_{0\lambda}$  [W.m<sup>-3</sup>] je spektrální hustota zářivého toku

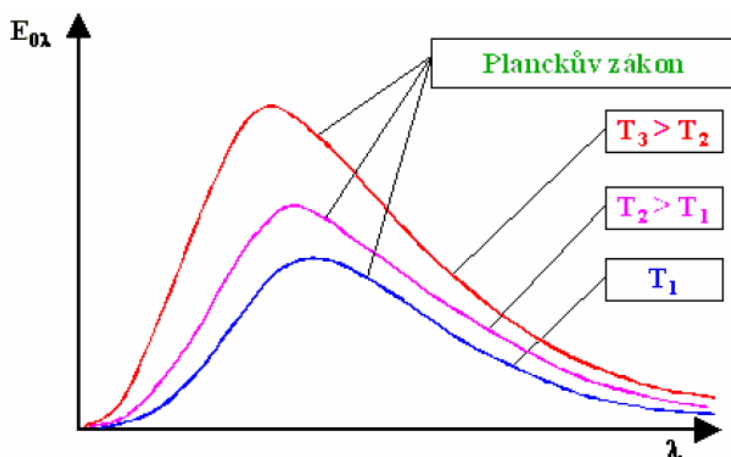
$\lambda$  [m] vlnová délka

$T$  [K] teplota

$c$  [m.s<sup>-1</sup>] rychlost světla ( $c = 2,998 \cdot 10^8$  m.s<sup>-1</sup>)

$k$  [J.K<sup>-1</sup>] Boltzmanova konstanta ( $k = (1,38054 \pm 0,00018) \cdot 10^{-23}$  J.K<sup>-1</sup>)

$h$  [J.s] je Planckova konstanta ( $h = (6,6256 \pm 0,0005) \cdot 10^{-34}$  J.s).



Obr. 11 Závislost emisivity na vlnové délce, Zdroj: Pavelek, Janotkova, Štětina (2007)

Jaký má ale vliv spektrum vlnové délky na emisivitu? Z hlediska závislosti emisivity těles na vlnové délce můžeme rozdělit vyzařující povrchy na povrchy dokonale šedé, reálné šedé a selektivní. U dokonale šedých povrchů je emisivita nezávislá na vlnové délce vysílaného záření. Naopak u povrchů selektivních je emisivita funkcí vlnové délky záření. Reálný případ dokonale šedého povrchu neexistuje, protože všechny povrchy se ve skutečnosti chovají jako selektivní, nicméně určité povrchy se svým selektivním chováním výrazně přibližují chování dokonale šedého tělesa a proto je označujeme jako reálné šedé. Pavelek, Janotkova, Štětina (2007).

Na obr. 11 je znázorněna závislost emisivity na vlnové délce pro různé druhy materiálů, při stejné teplotě povrchu.

### 3.2 Termovize

Infračervené záření je záření, které není možné vidět pouhým okem. Jeho vlnová délka je příliš dlouhá na to aby jej oko dokázalo zachytit a zpracovat. Jedná se o část elektromagnetického spektra, které vnímáme jako teplo. Každý materiál nad absolutní nulou teplo vyzařuje. Termografie nám dovoluje zobrazit ve viditelném spektru teplotní pole měřeného objektu, ale pouze na jeho povrchu. K zobrazení se využívají takzvané termogramy neboli termovizní snímky. Obor termografie<sup>1</sup> se rozvinul spolu s rozšířením prvních infračervených kamer, kterým se obecně říká termovizní kamery (termovize).

Termografie má již nenahraditelný význam v praxi. Její uplatnění se najde v mnoha vědních oborech i v běžném průmyslu či zdravotnictví.

Využití termografie:

---

<sup>1</sup> *Infračervená termografie je vědní obor, který se zabývá analýzou rozložení teplotního pole na povrchu tělesa a to bezkontaktním*

- Vyhledávání úniků tepla (stavebnictví)
- Sledování elektrických vedení a analýza jejich poškození (energetika)
- Detekce zánětů/nádorů pod kůží (zdravotnictví)
- Detekce pohybu osob nebo jiných organismů (bezpečnost)
- Měření rozložení teplot (věda a výzkum)
- Měření mechanicky namáhaných strojů (průmysl)
- Noční vidění (armádní využití)
- Detekce úniku plynu (bezpečnost)

### 3.1 Termogram<sup>2</sup>

Termogram/termovizní snímek je obraz pořízený termovizní kamerou na základě měřeného IR záření. IR záření je pro lidské oko neviditelné, a proto se termovizní snímky vizualizují do viditelného spektra za pomoci různých barevných palet, které přiřazují barvu jednotlivým teplotám. Jeden snímek lze zobrazit v odlišných barevných paletách, a tím zviditelnit jiná místa. Záleží na požadavcích při provádění analýze.

Základní barevné palety využívané v termografii:

- Rainbow (duha)
- Hot/Cold (teplo/zima)
- Iron (železo)
- Gray (stupně šedi)

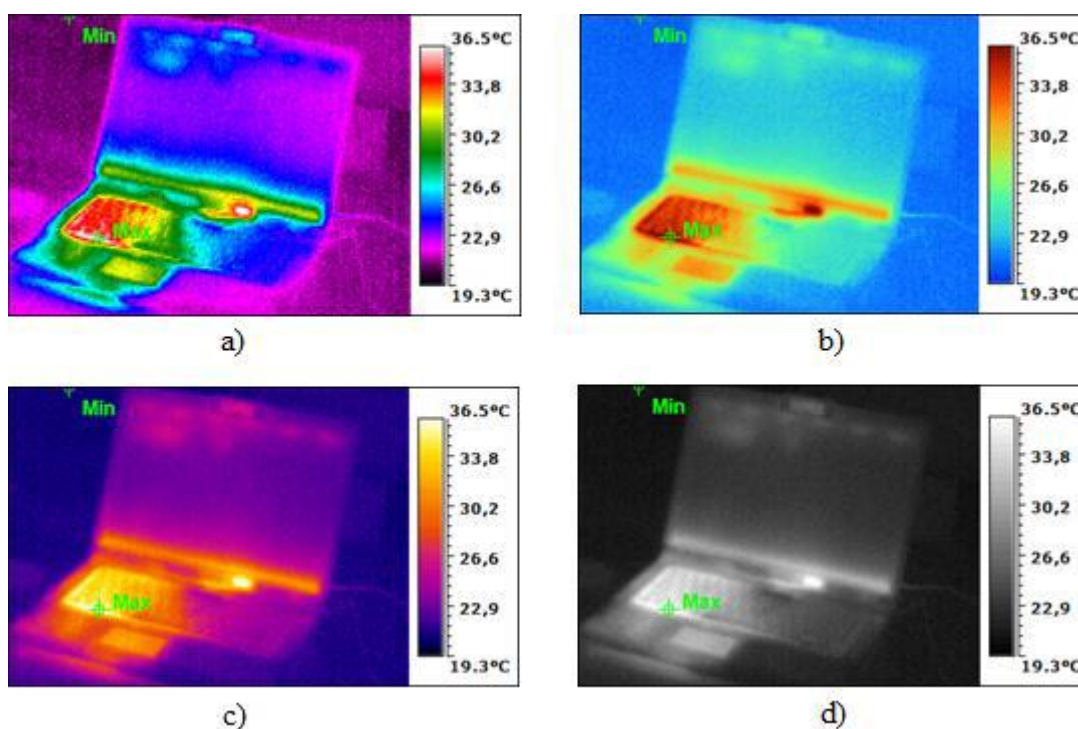
Termogramy se dělí na radiometrické (radiometric) a zobrazující (imaging). Zobrazující termogramy jsou určeny výhradně k bezpečnostním a sledovacím účelům, neprovádí se kvantitativní vyhodnocení termálních snímků.

---

<sup>2</sup> Termogram, nebo termovizní snímek, resp. infračervený snímek je obraz pořízený termokamerou. Infračervené záření je pro lidské oko neviditelné a proto se termovizní snímky vizualizují za použití okem viditelných palet, které přiřazují barvu různým teplotám (různému množství tepelného toku). Stejný snímek tak lze zobrazit v odlišných barevných paletách a tím zviditelnit nebo zdůraznit jiná místa.

Radiometrické termogramy lze kvantitativně vyhodnocovat, nesou údaj o teplotě v daném bodě. V plně radiometrickém termogramu lze upravovat parametry snímku (emisivitu) a měřit teploty i po jeho uložení.

Naměřenou teplotu v bodě může ovlivnit i velikost obrazového bodu detektoru. Pokud proběhne měření v příliš velké vzdálenosti, může měřený objekt dosáhnout velikosti menší než je obrazový bod detektoru. V daném případě se do měření vnese nejistota měření způsobená okolím a výsledek nelze dále interpretovat a zpracovávat.



Obr. 12 Barevné palety (a - Rainbow, b - Hot/Cold, c - Iron, d - Gray ), Zdroj: [www.flir.com](http://www.flir.com)

Paleta hot/cold zobrazená na obr. 12 - b je pro lidské oko nejlépe vnímána ve smyslu teplota/barva. Přechod mezi maximy je ale pozvolný. Pozvolný přechod barev degraduje rozlišovací schopnost ve středních teplotách, ale naopak jsou dobře rozpoznatelné chladné oblasti a oblasti s vysokou teplotou.

Paleta<sup>3</sup> gray definuje teplotu pouze na základě odstínu šedi. Šedotónový obraz je výhodný pro detekci oblastí nebo porozumění obrazu pomocí počítačových algoritmů. Každý obrazový bod je definován pouze jedním parametrem vystihujícím jeho intenzitu. Oproti barevným paletám odpadá potřeba jejich porozumění. Každý barevný

<sup>3</sup> Paleta: barvy z definovaného barevného prostoru v oboru počítačové grafiky

obraz se při zpracování rozkládá na tři složky R (red), G (green) a B (blue). Například paleta rainbow vzniká aditivním mícháním barev. Při počítačovém zpracování je potřeba nejprve identifikovat kombinace barevných složek tvořící teplotní rozsah a následně data zpracovat.

Termovizní metody představují bezkontaktní způsob diagnostiky povrchové teploty materiálů. V podstatě jde o snímání rozkladu teploty na infračervené spektrum a výstupem z takového měření jsou v našem případě fotografie v barevně oddělených teplotních rozdílech. Po zpracování a rozboru těchto snímků lze definovat přesná teplota v jednotlivých místech či skupinách daného zařízení podobně jako u dotykového čidla. V našem případě bylo využito univerzitní termovizní zařízení Therma CAM E 320.



Obr. 13 Therma CAM E 320, Zdroj: (www.flir.com), 2012



Obr. 14 Detail displaye Therma CAM E 320, Zdroj: (www.flir.com), 2012

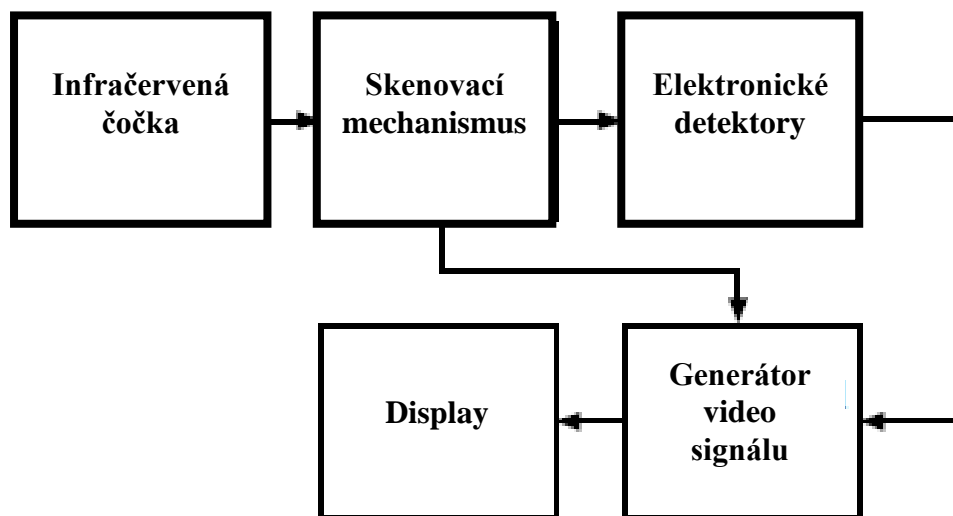
### 3.2.1 Základní termokamera

Základní prvky v původní podobě termokamery jsou znázorněny jako blokové schéma na Obrázku 15.

Jsou to:

- Optický systém, který může vytvořit představu o externí scéně pomocí záření v teplotním rozmezí vlnových délek.

- Jeden nebo více detektorů prvků, kterými lze převést toto záření na elektrickou energii signály úměrné záření dopadající na ně.
- Některé systémy vyžadují skenovací mechanismus, který snímá obraz tepelného pravidelném vzoru přes detekční prvek (prvky), ačkoli většina moderních snímačů to nevyžadují, protože používají velké sady detektorů, které zcela pokryjí zorné pole (viz níže).
- Elektronický procesor, který dokáže zpracovat výstupy detektoru ve spojení s daty a mechanismem skenování (pokud je použit tento) a může ho převést do obrazového signálu.
- Zobrazovací jednotka, která vytváří vizuální obraz z video signálu.



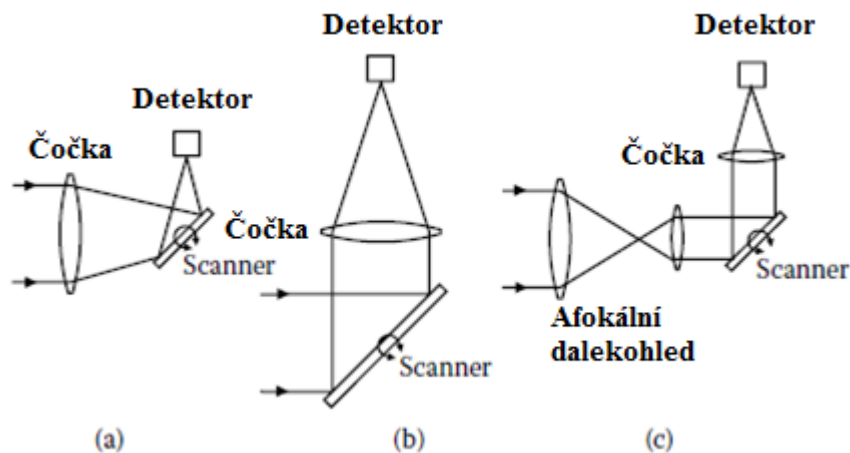
Obr. 15 Blokové schéma znázorňující hlavní podjednotky, Zdroj: (Williams 1999)



### 3.2.2 Skenovací mechanismus

Funkcí skenování mechanismu je posunut obraz vytvořený objektivem nad detekční prvek (y) dobře kontrolovaným způsobem. Skenovací systémy obvykle spadají do jedné ze tří tříd a jsou zastoupeny jednorozměrným (1D) oscilačním režimem, zrcadlo a skener ilustruje obrázek výši 15. V prvním z nich (obrázek 15 (a)) skener zabírá prostor mezi obrazem, je tvořen optickým systémem a detektorem. V dalším uspořádání (obrázek 15 (b)), že snímač je mezi vnějším objektem a obrazem, které tvoří optický systém, skener je umístěn mezi ohniskem a koncem optického systému. Každý z těchto režimů má své výhody a nevýhody, a ty se mohou lišit v případě, že snímač je 2D systém, spíše než 1D systémy ilustruje obrázek výši 15. Velmi stručně řečeno, jedná se o následující tři třídy skenování systémy:

(a) vzhled disku, (b) objekt prostor, (c) ohnisko



Obr. 16 Skenovací mechanismus, Zdroj: (Williams 1999)

A) Objekt prostor skener (16 (a)):

objektiv může být jednoduché konstrukce, běžně se používá s chlazenými detektory, aby se zabránilo odraženému záření. Optické systémy z vnějšího objektu, mohou být malé a efektivní. To umožňuje vysoký výkon, kterým má být dosažen z detektoru a snižuje přítomnost nežádoucích artefaktů v obraze. Nicméně, z různých důvodů, včetně velikosti, mají kamery pohyblivé části na předním konci. Toto uspořádání je zřídka používané u produkčních snímačů.

**B) Obrázek prostor skener (obrázek 16 (b)):**

Existuje několik problémů s tímto uspořádáním. První je, že efektivní pozice se zaměřením na detektoru se budou lišit, jak zrcadlo snímání se otáčí tak, že pokud některé zvláštní formy mechanické, nebo optické kompenzace jsou aplikovány, tak se kvalita obrazu zhorší k okraji pole. Druhá je, že objektiv je třeba provést i pro celé zorné pole, a proto může, nebo musí být složitější konstrukce. Pokud jsou clony na objektivu spíše než skenování zrcadla, záření dopadá na detektor v úhlech, které se mění v průběhu kontroly, což vede k větším problémům při výrobě účinných studených stop.

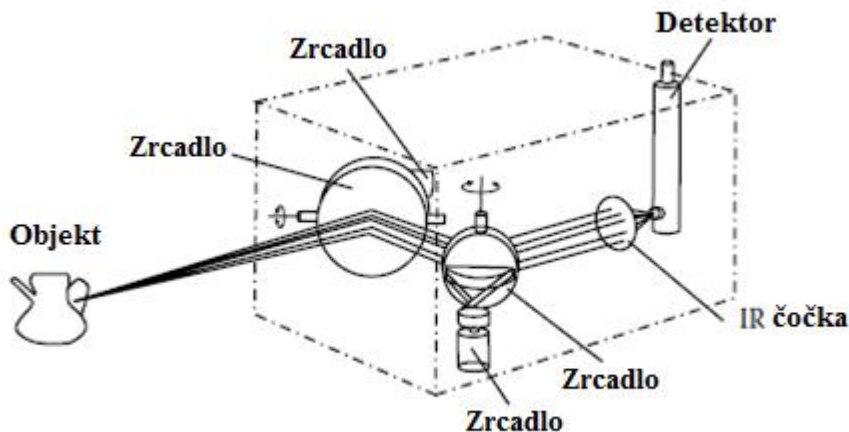
**C) Ohnisko (obrázek 16 (c)):**

To má podobné výhody k objektu prostor skener a další výhodou, že zorné pole a tím prostorové rozlišení lze měnit změnou zvětšení ohniska. Velmi jednoduchý objekt prostor 2D skener, uspořádání je znázorněn na obrázku 17.

Skládá se ze dvou rovinných zrcadel, z nichž jedna je otočná kolem vodorovné osy a další kolem svislé osy.

Záření z objektu přejde na první zrcadlo a odráží se do druhého zrcadla a potom se promítá do obrazu tváření objektivu. Ta tvoří obraz z původního objektu v jeho ohniskové rovině, kde v tomto případě existuje jeden detektorový prvek. Přesun na první zrcadlo a jeho vodorovné osy způsobí, že obraz se pohybuje svisle přes detektor a během pohybu druhého zrcadla a jeho svislé osy se bude obraz promítat vodorovně přes detektor. Použitím vhodných elektrických momentových motorů a hnacími obvody mohou být řízeny zrcátka a vytvářet typický televizní rastr skenovací vzor. Tento jednoduchý testovací mechanismus má řadu nevýhod, proto není vhodný, jestliže jde o vytvoření obrazu v typických sazbách televizních snímků z 25 nebo více snímků za sekundu. Konkrétní opatření by vyžadovalo poměrně velké zrcadla, aby zobrazovala velmi rychle vratným způsobem s lineárními pohyby. Skutečné 2D skenování systémy musí být složitější než toto a několik různých opatření byla navržena a začleněna do zobrazovacích systémů. Většina z nich jsou z velké míry jen z historických důvodů v důsledku přesunu k pohledu pole snímačů, nebo použití dlouhých polí ve spojení s 1D skenery.

Formou skeneru je používán na jednom z prvních průmyslových termo kamer (AGA termovize 680), je znázorněn na obrázku níže. Skládá se ze systému čoček, které tvoří obraz scény na:



Obr. 17 Základní termovizní systém, Zdroj: (Williams 1999)

technické a výkonnostní parametry složek termokamery.

Dvě z nejdůležitějších složek termokamery jsou detektory a čočky.

Výkon termokamery je určen výkonem těchto komponentů a v neposlední řadě, také displejem.

V konečném důsledku mají tyto výkonnostní parametry přímý vliv na jeden nebo více parametrů, které ovlivňují a určují výkon kompletního zařízení.

V této části si popíšeme účel a funkci těchto komponentů.

Posoudíme vhodnost použití kamery a dané aplikace. Tyto parametry jsou popsány a definovány v této kapitole. (Williams 1999)

### 3.2.3 Ohnisková vzdálenost

Jedná se o efektivní ohniskovou vzdálenost (EFL) pro odlišení od zpětné ohniskové vzdálenosti (BFD), což je vzdálenost od pólu poslední optického povrchu do obrazové roviny. Pro jednoduché tenké čočky, ohnisková vzdálenost je úzce rovna vzdálenosti od objektivu k obrazové rovině, pro objekt v nekonečnu. Pro tlusté čočky, nebo multi element objektivu je ohnisková vzdálenost definována jako vzdálenost od zadní části obrazové roviny pro objekt v nekonečnu. Skutečný význam ohniskové vzdálenosti je, že se jedná o efektivní rozměry. Obrazová rovina (v poli kamery by to byly rozměry pole), zorné pole (FOV) kamery. (Keyes 1977)

### 3.2.4 přenos

Někdy je to jen paraxiální přenos, protože se měří na nosníku záření s omezeným průměrem, který prochází centrálně přes objektiv bez stahování clony.

Přenos je poměr zářivého toku ukončení objektivu systém zářivý tok vstupující do objektivu systému, a je často vyjádřen v procentech. Přenos se bude lišit v závislosti na vlnové délce a je obvykle měřen jako funkce druhá. Přenos z objektivu, nebo objektiv systému bude záviset na materiálech, z kterých jsou optické členy vyrobené a co je nejdůležitější, na odrazy na optické povrchy. Ta závisí na kvalitě a vlastnostech tohoto antireflexního povlaku na tyto povrchy. Toto je obzvlášť důležité v tepelném zobrazování, protože většina použitých materiálů pro objektivy mají velmi vysoký index lomu a nátěry. Proto je klíčovou úlohou při poskytování vysoké úrovně přenosu. Odrazivost při běžném výskytu jednoho povrchu nepotažené indexem lomu  $n$  ve vzduchu je dána vztahem:

$$r = (n - 1)^2 / (n + 1)^2 \quad (16)$$

V případě materiálu, jako je germanium s  $n = 4$  vidíme, že  $r = 0,36$ , pokud je nenatíraný. (Williams 1999)

### 3.2.5 Relativní pole ozáření (RFI)

Je měřítkem toho, jak se liší ozáření v obrazové rovině optického systému podle postavení v obrazové rovině, kdy se objekt nachází v oblasti jednotného záření RFI je obvykle vyjádřen jako poměr pole záření na  $\theta$  do pole záření v ose, kde  $\theta$  je úhel pole.

V důsledku běžného geometricky vytvářeného obrazu, ozáření v obraze bude prostor odpadávat jako čtvrtá mocnina cosinus úhlu pole. Tento efekt může působit do určité míry ve speciálních objektivěch vzorů, kde účinná velikost objektivu se zvyšuje s úhlem pole. Odklon od ozáření může být také důsledkem antireflexní vrstvy stále méně efektivní, jak se zvyšuje pole úhlu. Odklon může způsobit také horší vinětaci objektivu. Viněta je pojem užívaný k popisu poklesu způsobenému mechanickými dorazy, nebo okraj čočky, bránící části paprsku, stejně jako zvýšením pole úhlu. Viněta je někdy záměrně zavedena do optického designu, ať už jako prostředek k odstranění části paprsku, který má úroveň vady, které by výrazně přispělo ke snížení kvality obrazu nebo v důsledku nutnosti omezit průměr velikosti objektivu systému. Význam variace pole záření je to, že omezí minimální teplotní rozsah, který může být při prohlížení tepelné scény (a tedy nejmenší teplotní rozdíly, které mohou být vyřešeny) bez ztráty části obrazu. To bude mít vliv i na přesnost měření teploty přes pole pohledu kamery, pokud zvláštní zpracování signálu se používá pro kompenzaci účinku. (Keyes 1977)

## 4 MATERIÁL A METODIKA PRÁCE

## 5 DYNAMICKÁ OLFAKTOMETRIE

### 5.1 Měření pachových látek

Pro měření pachu byla vyvinuta objektivní metoda, která vychází z dlouhodobých poznatků lidského vnímání. Jednotlivá chemická rezidua se vzájemně ovlivňují a výsledný pach neodpovídá součtu koncentrací jednotlivých látek ve směsi. Metoda je proto založena na subjektivním pozorování (podobně jako degustace vína, či hodnocení voňavek).

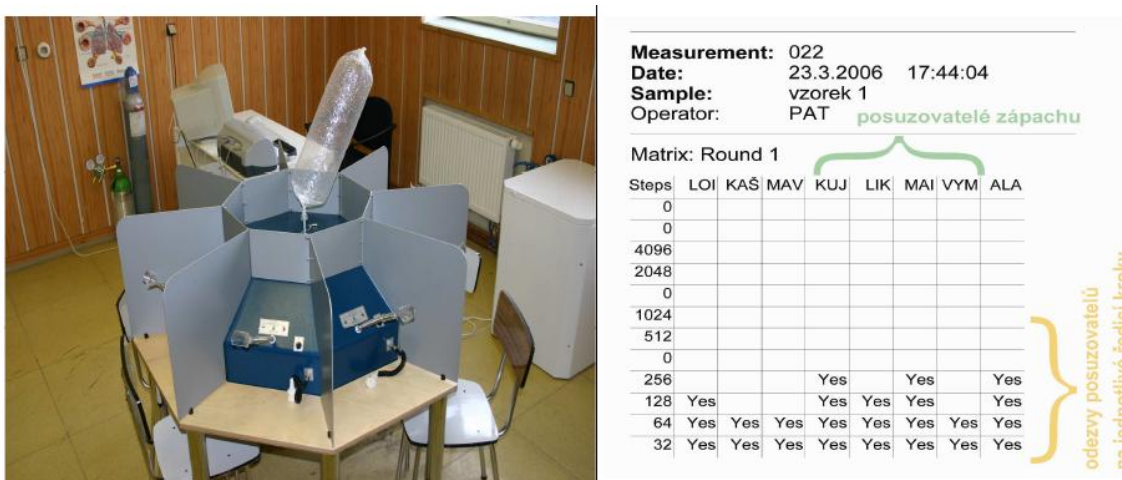
Dynamická olfaktometrie eliminuje maximum vnějších vlivů pomocí složitých statistických výpočtů vycházející z logaritmického vnímání intenzity pachu a přísných omezení při měření. O to nepřijatelnější je představa, že při objektivní analýze pachových jednotek není dostupná objektivní metoda odběru vzorku. Metoda dynamické olfaktometrie je definována evropskou normou EN 137253 a následně ČSN EN 13725. Kvalita ovzduší – stanovení koncentrace pachových látek dynamickou olfaktometrií. (Auterská 2006). Princip olfaktometrie spočívá v naředění vzorku s pachem takovým množstvím čistého vzduchu, aby byla nalezena nejmenší koncentrace pachu, kterou jsou definovaní posuzovatelé (splňující kritéria normy ČSN EN 13725) ještě schopni vnímat, tzv. čichový práh. Čichový práh je roven jedné pachové jednotce. Koncentrace pachových jednotek vyjadřuje, kolikrát je nutné naředit 1 m<sup>3</sup> vzorku pachu čistým bezpachovým vzduchem tak, aby bylo dosaženo čichového prahu. Jedna Evropská pachová jednotka je definována jako fyziologická reakce posuzovatelů vyvolaná dávkou 123 g n-butanolu rozptýleného v 1 m<sup>3</sup> neutrálního plynu (v molárním poměru 0,040 mmol n-butanolu na 1 mol neutrálního plynu) za normálních stavových podmínek.

V praxi to znamená, že mezi posuzovateli pachu mohou být jen prověřené osoby, které zaznamenají výše definovanou koncentraci n-butanolu v definovaném rozsahu koncentrace pachových látek po přesně definované období a dále před každým

měřením. Celý proces měření je relativně složitý. Obrázek 11. Olfaktometr TO8., a vzor výstupu z olfaktometru.

Každý vzorek je měřen ve třech sekvencích (3x měření celého rozsahu ředění jednoho vzorku) v minimálně 10 koncentracích ředění a teprve potom vyhodnocen statistickou metodou s 95% pravděpodobností. Ředění vzorku je prováděno počítačem pro několik (zpravidla 10) ředění, přičemž do portů je střídavě přiváděn ředěný vzorek a čistý vzduch ve 2,2s intervalech. Mezi vzorky s pachem je několikrát libovolně zařazen kontrolní vzorek s čistým vzduchem, na který musí respondent odpovědět negativně. Měření se zúčastňuje „panel“, tj. 6-8 respondentů (laicky nazývaných „čičači“). Pokud respondent odpoví na vzorek čistého vzduchu chybně (pozitivně) ve více než v jednom případě po dobu měření, je z měření vyloučen. Pokud je respondent vyloučen, musí se celé měření včetně testů

respondentů na n-butanol opakovat s jiným respondentem a celým „panelem“. Měření vyžaduje další přísná pravidla. Pro vlastní výpočet čichové prahu se vychází z celkového počtu dílčích výsledků – např. 10 ředění, 6 - 8 respondentů, 3 x měření jednoho vzorku, 3 vzorky na zdroji. Výsledek každého dílčího měření je uznatelný v případě, že odpoví kladně nejméně 50 % respondentů panelu.



Obr. 18 Olfaktometr TO8, Vzor výstupu z olfaktometru, Zdroj: (Auterská 2007)

### 5.1.1 Vypracování návrhu metodiky měření zápachu na biofiltrech

Některý z respondentů po statistickém přepočtu dílčích výsledů vykazuje velké odchylky od průměru, je z měření vyloučen a měření se opakuje. Z tohoto velkého počtu výsledků se statisticky vyhodnotí čichový práh a potřebné ředění k získání čichového prahu – koncentrace pachových jednotek. Olfaktometrie je v současné době nejobjektivnější metoda měření pachu. Systém měření vybírá respondenty, kteří odpovídají „průměrnému vzorku obyvatel“, tím že výběr respondentů je přesně ohraničen rozsahem ve kterém respondenti jsou schopni zápach vnímat. Dále jsou maximálně eliminovány vnější vlivy přísnými podmínkami měření a odběru vzorků. Vlastní přístroj představuje min. 4 čichací porty. Olfaktometr pro 8 posuzovatelů německé výroby ukazuje odkazů. Požadované provedení měření se soustředí na kvalitu stanovení uvnitř laboratoře a užití certifikovaného referenčního materiálu. Velký důraz se klade na porovnatelnost měření mezi laboratořemi - mezilaboratorní zkoušky. (Auterská 2007)

### 5.1.2 Metody vzorkování

Norma pro olfaktometrii popisuje základní zásady vzorkování pachových látek ve smyslu, jaké materiály používat, jaké čistoty, jak vzorky transportovat a jak rychle je změřit, aby se intenzita a koncentrace pachu neměnila. Nedefinuje však způsob odběru vzorku z plošných zdrojů, odběry z fugitivních zdrojů naopak tato norma přímo nedoporučuje. Kvalifikovaný odběr vzorků musí posoudit, zda se jedná o vzorek hodně koncentrovaný, vlhký, nebo velmi horký při odběru. Tyto faktory, a navíc i sluneční záření, mají velký vliv na charakter vzorku. Proto je nutné tyto problematické vzdušiny ředit do inertního prostředí, tedy do dusíkové atmosféry.



Ředění musí být zvoleno tak, aby ze vzorku vlivem vlhkosti, změny teploty a tlaku nezkondenzovala voda, ve které je většina pachových látek rozpustitelná. Speciální tlakové vzorkovací nádoby ukazuje Obrázek 19. (Auterská 2007)



Obr. 19 Odběrové nádoby, Zdroj: (Auterská 2007)

Nádoby jsou podtlakové, aby byl zamezen kontakt vzorku s čerpadlem a minimalizovala se vzorkovací trasa.



Obr. 20 Odběrné vaky, Zdroj: (Auterská 2007)

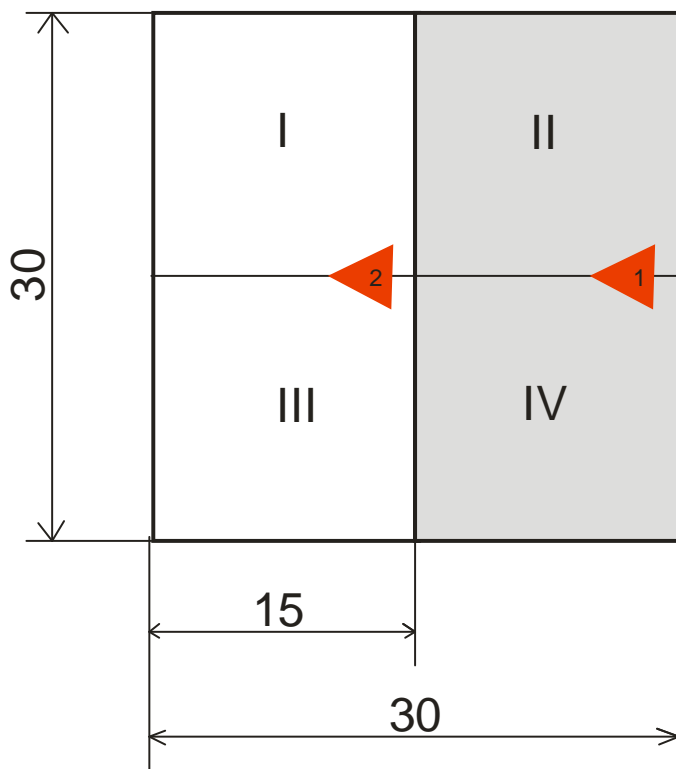
## 5.2 KRITÉRIA EXPERIMENTU

Při experimentu byla přezkoumána činnost asanačního podniku kafilérie ASAP s.r.o. ve Věži se zaměřením na kontrolu funkčnosti procesu likvidace polutantů využitím půdního biofiltru. K tomuto účelu bude využito univerzitní termovizní zařízení ThermaCAM E 320.

### 5.2.1 Parametry zařízení:

Půdní dvoukomorové biofiltrační zařízení dezodorační filtr asanačního podniku kafilerní stanice ASAP s.r.o. ve Věži.

- Celková plocha půdního biofiltru: 30 x 30m
- Plocha jedné komory: 30 x 15m
- Hloubka náplně: 1,5m
- Druh náplně: Štěpka, dřevitý substrát a drcený dolomitický vápenec pro úpravu pH
- Další informace: Výměna náplně probíhá jednou za cca. 5 let.
- V našem případě byla v první části náplň měněná před třemi lety a v druhé komoře před jedním rokem.





Obr. 21 Půdorysný náčrt plochy půdního biofiltru, Zdroj: Autor


**Legenda:**


Plocha půdního biofiltru byla rozdělena na pomyslné čtyři části nasnímané termovizním zařízením. Rozměry jsou v jednotkách délky [m]

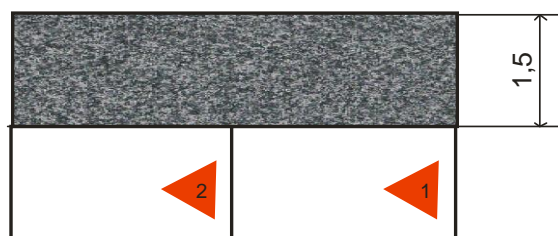
I. II. III. IV. Kvadranty


 Zdroj přiváděného podpodlažního vzduchu z první komory.

 Zdroj přiváděného podpodlažního vzduchu z druhé komory.

 První komora půdního biofiltru

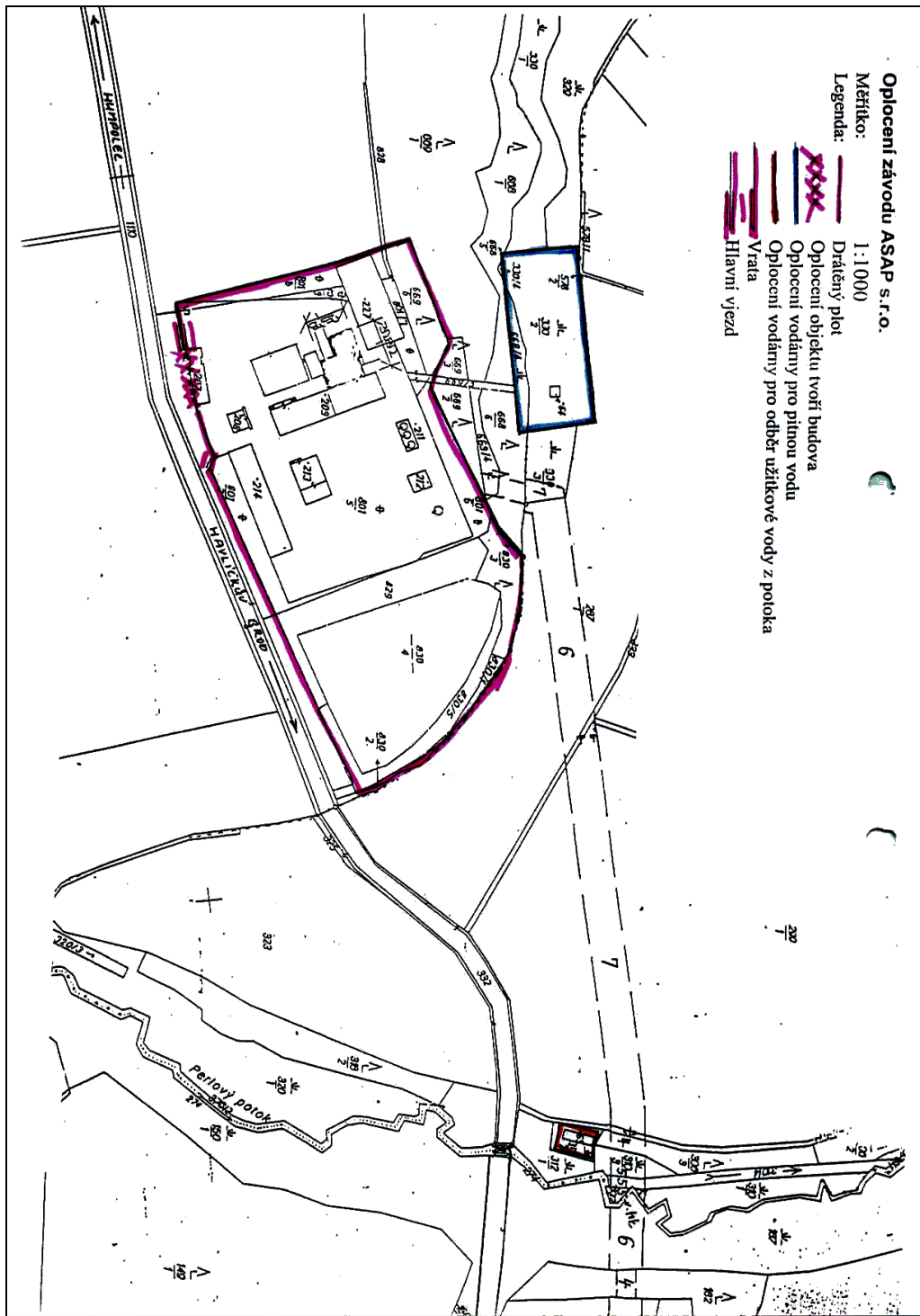
 Druhá komora půdního biofiltru



 Náplň půdního biofiltru

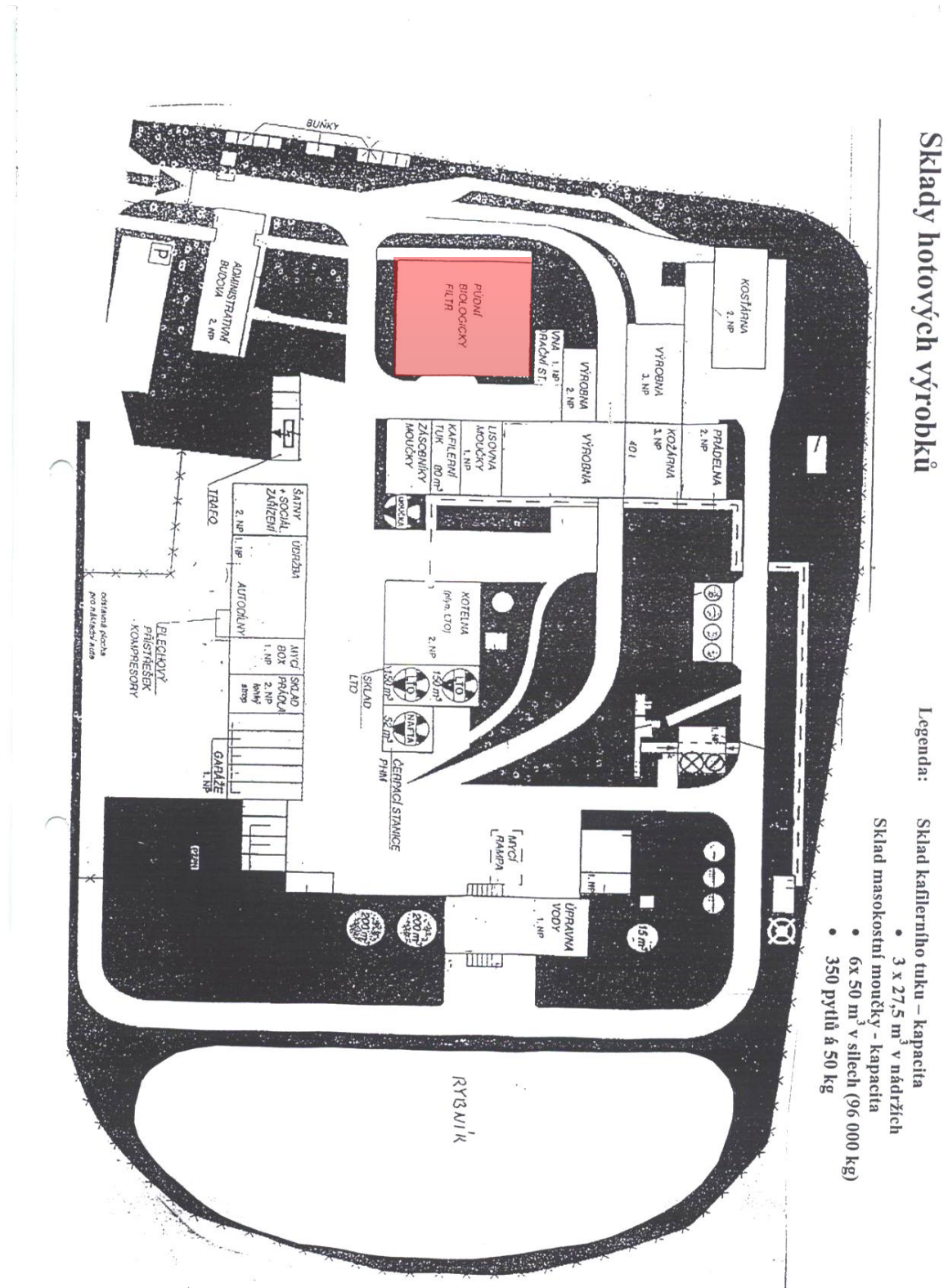
Obr. 22 Bokorys půdního biofiltru, Zdroj: Autor

## 5.2.2 Hranice místa, organizace



Obr. 23 Katastrální mapa místa a organizace ASAP s.r.o., Zdroj: průvodní dokumentace ASAP s.r.o.

## 5.2.3 Detailní plán místa a organizace včetně označení budov



Obr. 24 Sklady hotových výrobků, Zdroj: průvodní dokumentace ASAP s.r.o.

#### **5.2.4 Kritéria posuzování vychází z platných legislativních ustanovení vztahujících se k životnímu prostředí.**

Součástí posuzování místa a organizace kafilerní stanice ASAP s.r.o. bude i měření činnosti půdního biofiltru, který výše zmíněný asanační podnik využívá pro dočištění vzdušiny od polutantů vznikajících při finálním zpracování produktů živočišného charakteru. Čistota ovzduší je dle 597/2006 Sb. Nařízení vlády o sledování a vyhodnocování kvality ovzduší, jedním z hlavních kritérií úzce se vztahující ke kvalitě životního prostředí, tedy i environmentálním aspektem. Společnost ASAP s.r.o. byla prověřena podle postupů specifikovaných a uvedených v ČSN 14015.

#### **5.2.5 Biofiltry v podmínkách zařízení nakládající s vedlejšími živočišnými produkty a živočišnými odpady**

Z již provedených realizací biofiltrů především v podmínkách asanačních podniků je známo, že projekce těchto zařízení vycházela často pouze z empirických vztahů, čímž docházelo při jejich návrhu k jejich poddimenzování, takže třeba již zcela nové zařízení začínalo pracovat jako přetížené. Důvodem je často podcenění úvodního monitoringu nebo jeho nesprávné provedení.

Přes vysokou účinnost „správně pracujících“ biofiltrů při čištění pachových látek odchází z biofiltrů emise o různých koncentracích pachových látek. Emise pachů unikajících z biofiltru byly kvantifikovány, aby bylo možné říci jak biofiltr pracuje a zda je dostatečný. (Auterská 2006). Měřením byla prokázána nerovnoměrná distribuce vzduchu ve dnu biofiltru a častá tvorba míst s nižší tlakovou ztrátou u biofiltrů, které nebyly dodatečně zvlhčovány na povrchu lože biofiltru. Marada, Mareček (2011) Při snímání se používají hlavně krátkovlnné (2 – 5  $\mu\text{m}$ ) a dlouhovlnné (7 – 13 $\mu\text{m}$ ) pásmo vlnových délek. Přístroje pracující v krátkovlnné oblasti se hodí více pro měření vyšších teplot.<sup>4</sup>

---

<sup>4</sup> Prostřednictvím amplitudového diskriminátoru videosignálu lze u termovize nastavit pro libovolné rozmezí teplot libovolnou barvu nebo alespoň zvolit některou z volitelných barevných palet. Je nutno si uvědomit, že termovize pracuje v neviditelné části spektra záření, kde žádné barvy neexistují, takže přiřazení barev je umělé.

## 6 METODIKA TERMOVIZNÍHO MĚŘENÍ

### 6.1 Monitoring půdních biofiltrů

Vlivem nerovnoměrně proudícího vzduchu o vysoké teplotě filtrační médium složené z dřevní štěpky a kurných substrátů (tzv. výskyt míst s nižší tlakovou ztrátou) degraduje. Abychom zajistili, že bude biofiltr pracovat správně, je nutné stanovit vhodnou metodu sledování jeho činnosti a způsob jakým předejít vzniku tzv. míst s nižší tlakovou ztrátou, a tím zamezit nesprávné funkčnosti tohoto zařízení.

K tomuto účelu se nabízí využít termovizní zařízení, které je určeno pro snímání povrchové teploty materiálu. V podstatě jde o snímání rozkladu teploty na elektromagnetické spektrum vlnového pásma infračerveného záření ležícího mezi 0,8  $\mu\text{m}$  – 400  $\mu\text{m}$ . Výstupem z takového měření jsou v našem případě fotografie v barevně oddělených teplotních rozdílech.

Po zpracování a rozboru těchto snímků lze definovat přesnou teplotu v jednotlivých místech či skupinách míst daného zařízení, podobně jako u dotykového čidla. Termografickým zařízením je možné periodicky monitorovat plochu tělesa půdního biofiltru a následně s maximální přesností určit kritická místa, kde by mohlo dojít k úniku pachově znečištěného vzduchu do okolního ovzduší.



Obr. 25 Termovizní kamera Therma CAM E 320 Zdroj: (Urban 2010)

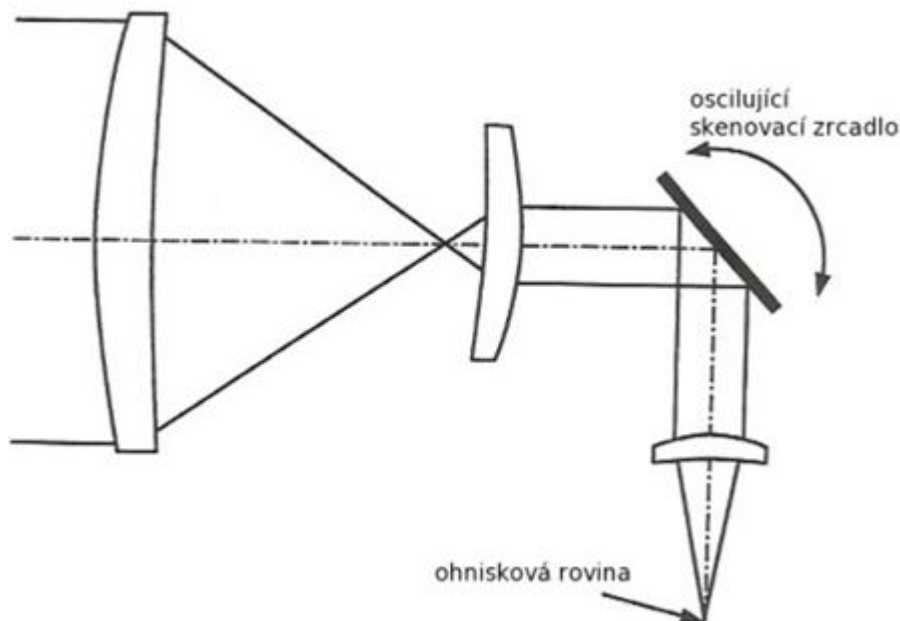


Obr. 26 Detail displaye Therma CAM E 320 Zdroj: (Urban 2010)

## 6.2 Konstrukční principy termovizního snímání

Registrace termovizního obrazu je analogická jako registrace obrazu na filmu nebo na CCD prvku digitálního fotoaparátu nebo v lidském oku. U všech těchto detektorů je společné, že v obrazové rovině jsou umístěny světlocitlivé elementy, které zachytí obraz. Do ohniskové roviny objektivu se tedy umísťuje registrační plocha detektoru – FPA (focal plane array). Mareček, Urban a kol. (2011)

Infračervené detektory pro tepelné záření vyžadují při výrobě speciální postupy a jsou velmi drahé. Z tohoto důvodu byly v počátku využívány k detekci jen "jednopixelové" prvky. Zorné pole bylo skenováno ve dvou na sobě kolmých směrech, takže obraz se zaznamenal v časové posloupnosti bod po bodu. Později byly realizovány lineární detektory, kdy v jedné lince byla umístěna řada detektorů a skenování probíhalo jen v jednom směru. Vlastní skenování bylo realizováno například kmitavým pohybem jednoho zrcadla tak, jak je to naznačeno na obr. 27.



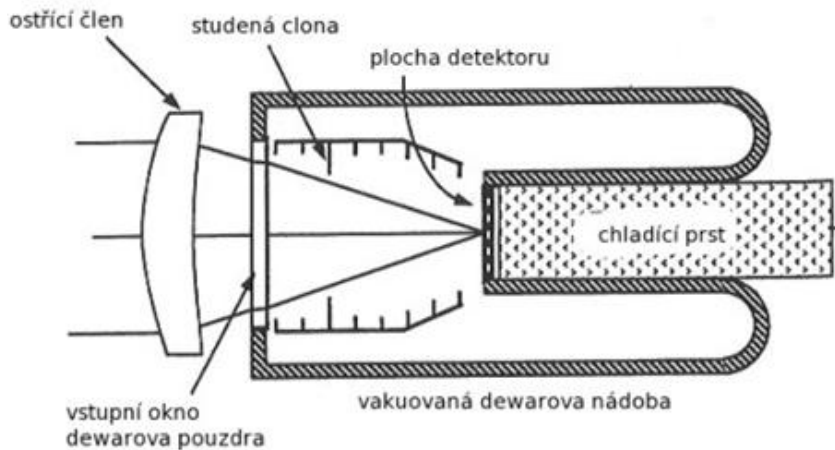
Obr. 27 Skenování kmitavým pohybem zrcadla, Zdroj: (www.termokamera.cz), 2011

Teprve nedávno se objevily dvourozměrné detektory, které umožňovaly současnou registraci celého zorného pole, jak je to obvyklé u CCD prvků. Další zvláštností



termovizního záznamu je okolnost, že tepelné záření vyzařuje vše, tedy i objímky objektivu, zobrazovací čočky a dokonce detektor sám.

Aby se zabránilo zobrazování nežádoucích defektů je nutno zahrnout další prvky, systém důsledně odclánět nežádivými clonami a zajistit dostatečné chlazení detektoru.



Obr. 28 Schéma objektivu termografického zařízení, Zdroj: (www.termokamera.cz), 2011

Materiál, ze kterého jsou vyrobeny zobrazovací prvky, musí být transparentní pro oblast vlnových délek tepelného záření. Optické sklo je pro tyto účely nepoužitelné. Typické materiály využívané u čoček pro termovizní objektivy jsou Ge, ZnS, ZnSe, safír, CSi. Tyto materiály jsou většinou nepropustné pro viditelné světlo. Mareček, Urban a kol. (2011)

### 6.3 Kvalifikace a odbornost obsluhy

Efektivnost aplikací technické diagnostiky závisí na schopnostech personálu, který je za ni zodpovědný a který ji provádí. Tento profil byl připraven pro stanovení kvalifikace a certifikace osob, jejichž specifické práce vyžadují odpovídající znalosti technických principů termodiagnostiky (**termografické diagnostiky**), které jí provádějí, dosvědčují, monitorují nebo vyhodnocují.

Tento profil byl sestaven Asociací technických diagnostiků ČR pro termodiagnostiku s uvažováním požadavků normy ČSN ISO 18436-8 a ČSN ISO 13372. Technické

a diagnostické činnosti mohou vykonávat certifikované osoby v souladu s normou ČSN ISO 18436-8, musí být klasifikovány v jedné z několika kategorií v závislosti na jejich kvalifikaci. Musí prokázat svou způsobilost v činnosti podle konceptů monitorování strojů a diagnostiky strojů podle své klasifikační kategorie. Viz. Asociace technických diagnostiků České republiky. Mareček, Urban a kol. (2011)

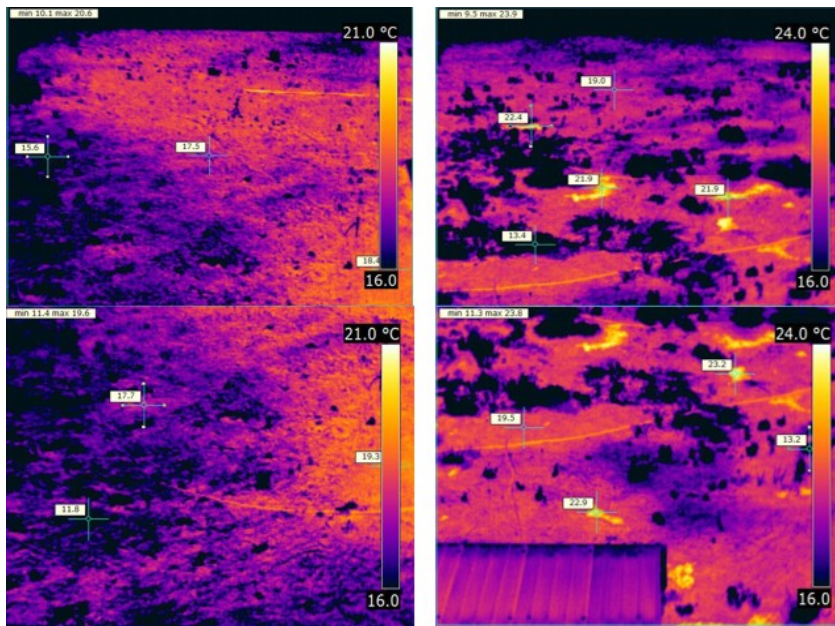
## 6.4 Vlastní postup měření

Pro úspěšné výsledky měření je třeba zadat výchozí parametry: emisivita, což je míra schopnosti daného tělesa vyzařovat tepelnou energii, dále pak teplota odraženého záření, (povrchová teplota materiálu může být ovlivněna okolními tepelnými zdroji nejen sáláním, ale i odrazem, pro absolutní přesnost je třeba všechny tyto možnosti eliminovat, v případě, pokud se jedná o vnitřní zdroj tepla, je možné díky jeho přenosu na obal/povrch detekovat i rozdíly v těchto teplotách), další důležitý faktor je vzdálenost mezi objektem a kamerou, relativní vlhkost a v neposlední řadě i teplota atmosféry. Pro tyto účely máme k dispozici rovněž příslušná diagnostická zařízení. Mareček, Urban a kol. (2011)

## 6.5 Výběr stanoviště a plánování doby měření

Důležité kritérium při výběru vhodného stanoviště bude ohnisková vzdálenost a úhel snímání. Pro snímek o velkém formátu je třeba dodržet dostatečnou vzdálenost objektivu termokamery a plochy půdního biofiltru.

Tato vzdálenost je závislá na plošné rozloze biofiltru a parametru ohniskové vzdálenosti termovizního zařízení. Jinými slovy se snažíme získat záběr maximální plochy a k tomu potřebujeme dostatečnou vzdálenost. Pokud není možné zajistit dostatečnou vzdálenost doporučuje se pořídit si více snímků, které se po následné analýze kombinují dohromady viz. Obr. 29. Pro zachování objektivitu doporučuji zvolit dvě až tři měřící stanoviště. Mareček, Urban a kol. (2011)



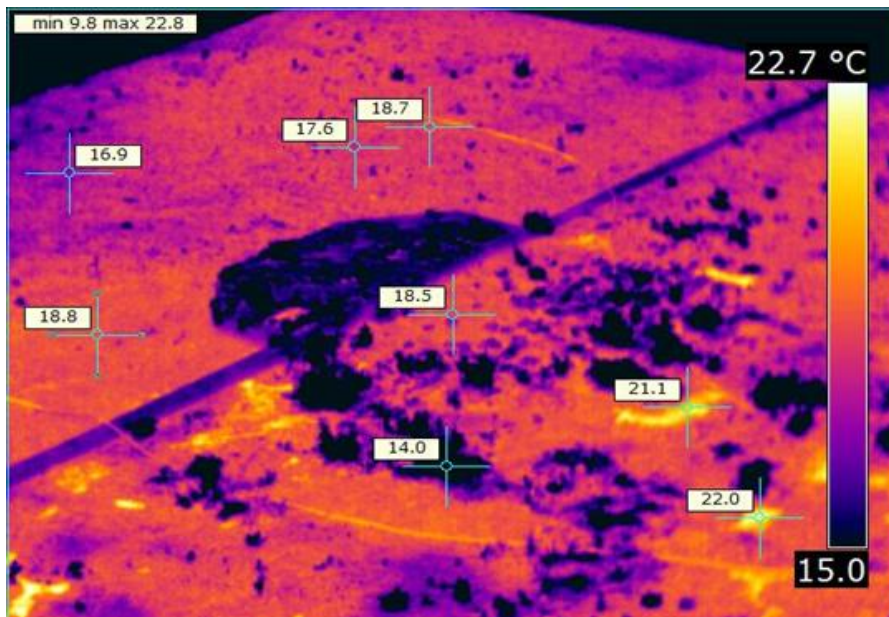
Obr. 29 Termovizní snímky plochy půdního biofiltru, Zdroj: (Urban 2010)

## 6.6 Úhel snímání

Úhel snímání je rovněž závislý na zorném úhlu termovizního zařízení, neboli ohniskové vzdálenosti. Technik vybere takový úhel, aby byl zajištěn maximální záběr plochy půdního biofiltru. Viz. Obr. 30. Platí, že úhel kolmo na tuto plochu je ideální. Pokud vlivem okolní infrastruktury není možné takový úhel zajistit platí stejně jako v předchozím příkladě pořízení více snímků.



Obr. 30 Digitální fotografie plochy půdního biofiltru, Zdroj: (Urban 2010)



Obr. 31 Plocha půdního biofiltru termovizní fotografie, Zdroj: (Urban 2010)

## 6.7 Časový harmonogram

Časový harmonogram zahrnuje plánování začátku a konce měření včetně příprav a vlastní realizace. Pro požadované výsledky je třeba tuto dobu stanovit ve vhodném časovém rozmezí. Nejvhodnější jsou brzké ranní hodiny, kdy se teplota okolního vzduchu pohybuje od 0 do 15 °C, rovněž přijatelné jsou pak večerní hodiny, kdy je zejména v letních měsících nutné se vyvarovat přímému slunečnímu svitu. Nežádoucí jev je tzv. ostrý světelný lom. Při tomto efektu dochází k vrhání ostrých stínů na těleso půdního biofiltru a tím se zkresluje rozložení povrchových teplot zařízení.

Pro úspěšné měření je třeba zajistit, aby celá plocha půdního biofiltru byla snímána za stejných podmínek. Co se povětrnostních podmínek týká, tak ideální je sucho a bezvětří. Vzhledem k možnosti nastavení parametrů diagnostického zařízení se ale nemusíme obávat mírného deště, chladu ani rychlosti větru. V těchto podmínkách je ale třeba při měření termovizní kamerou dostatečně zajistit bezpečnost jak technického pracovníka, tak i zařízení. Mareček, Urban a kol. (2011)

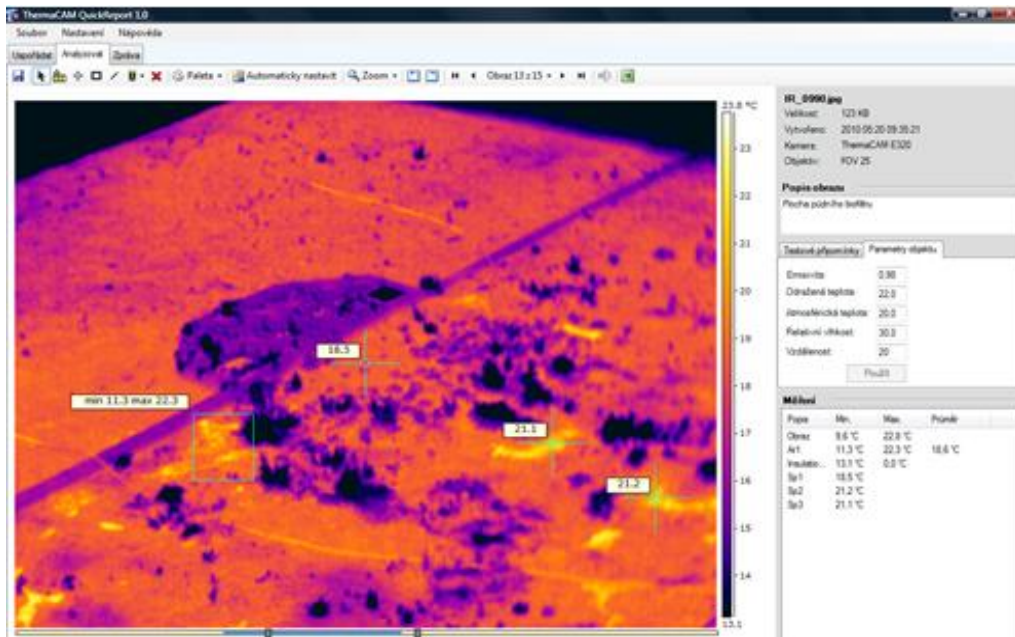
## 6.8 Četnost měření

Pro objektivitu je důležité nejen dodržet vzdálenost, úhel snímání a vhodnou denní dobu měření, ale také a to zejména četnost měření. Měření je třeba periodicky opakovat v předem stanovených intervalech. Ty navrhne měřicí technik v rozmezí třech měsíců až půl roku. Pravidlem zůstává, že v letních měsících bude četnost měření intenzivnější. Včasnou a systematicky opakovanou diagnostikou lze stanovit periodický plán výměny náplně biofiltru, nebo její periodické promísení, dále pak sestavení metodických zavlažovacích procedur, jejich intervalů a zacílenou aplikací na kritická místa tzv. míst s nižší tlakovou ztrátou. Mareček, Urban a kol. (2011)

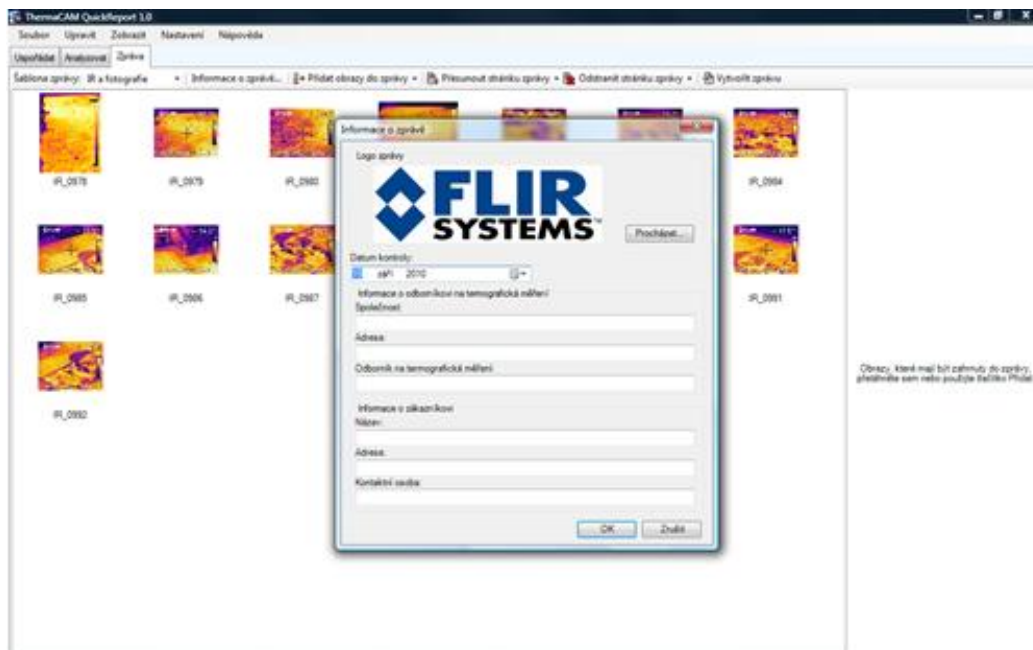
## 6.9 Zpracování výsledků měření

Výsledky měření je třeba zpracovat a vyhotovit zprávu o měření. K analýze snímků je možné využít program, jako je např. ThermaCAM QuickReport verze 0.1, který je součástí Instalačního softwaru termovizní kamery viz. *Obr. 33*. V tomto programu je třeba zadat výchozí parametry měření, upravit teplotní rozsah, dále pak označit kritická místa a pomocí vhodného nástroje určit jejich aktuální teplotu. Program umožňuje i export souboru do programu Excel. Po analýze dat potom vyhotovit zprávu o měření, určenou jak pro posuzovanou organizaci (zákazníka) tak i pro archivaci vlastních výsledků. Ve zprávě figurují údaje obou stran viz. *Obr. 33*.

Analýza energetických procesů v potravinářství pomocí termovizních metod



Obr. 32 Pracovní prostředí programu ThermoCAM QuickReport 0.1 , Zdroj: (Urban, 2010)



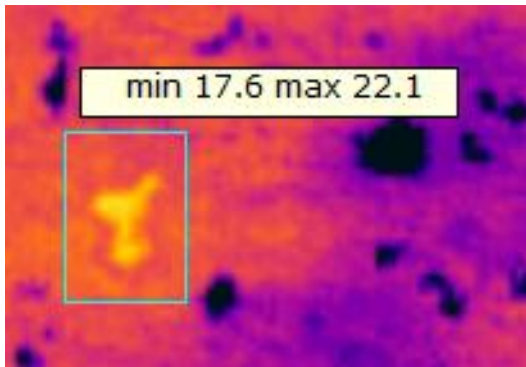
Obr. 33 Informace o zprávě termovizního měření programu ThermoCAM QuickReport 0.1 , Zdroj: (Urban 2010)

## 6.10 Monitoring kritických míst a sledovaných oblastí

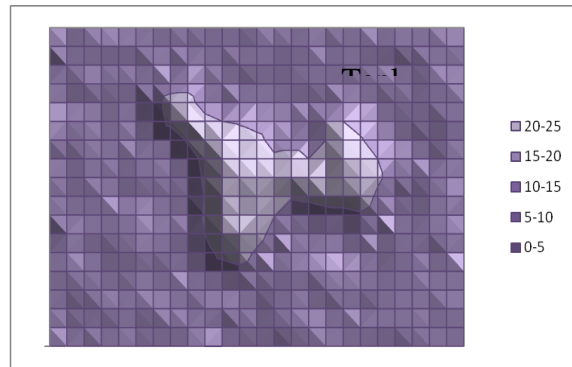
V tabulce 3 jsou parametry měření, při kterých byly termografy pořízeny. Na grafech jsou pak zobrazeny výsledky měření a lokalizovaná místa po úpravě v programu Excel 2007.

*Tab. 3 Podmínky měření, Zdroj: (Urban 2010)*

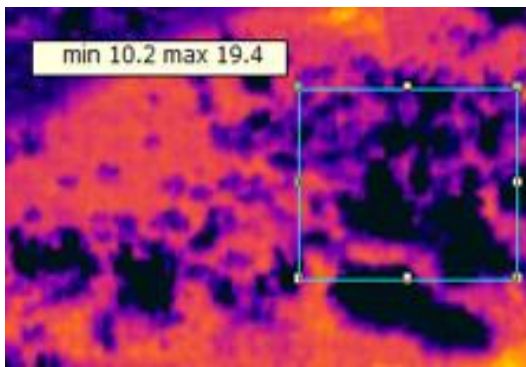
| Parametr                  | Hodnota | Jednotka        |
|---------------------------|---------|-----------------|
| Vzdálenost objektu        | 25      | m               |
| Teplota atmosféry         | 13      | °C              |
| Teplota odraženého záření | 22      | °C              |
| Relativní vlhkost         | 48      | %               |
| Emisivita objektu         | 0,91    | Poměrná hodnota |



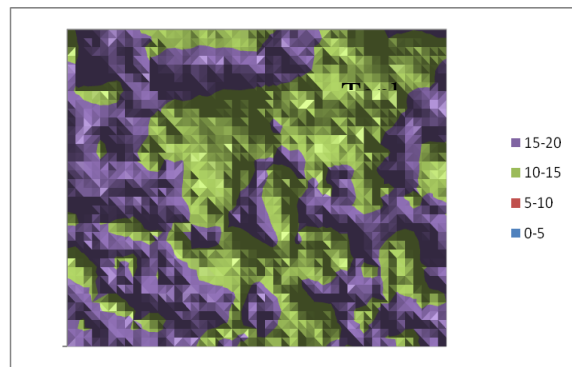
Obr. 34 Termograf: kritické míst: Ar1,  
Zdroj: (Urban 2010)



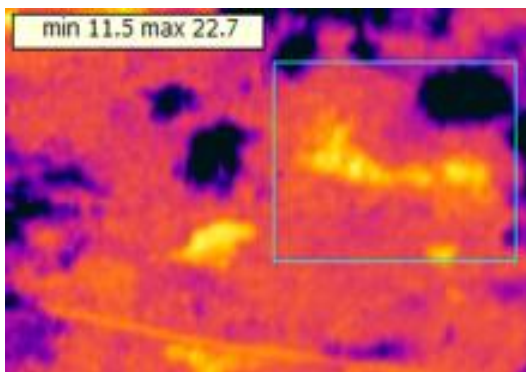
Graf. 1 Grafické znázornění kritického místa:  
(Excel 07) , Zdroj: (Urban 2010)



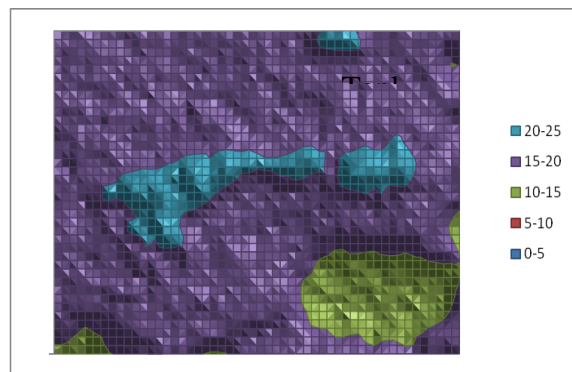
Obr. 35 Termograf: sledovaná oblast: Ar2,  
Zdroj: (Urban 2010)



Graf. 2 Grafické znázornění sledované oblasti:  
(Excel 07) , Zdroj: (Urban 2010)



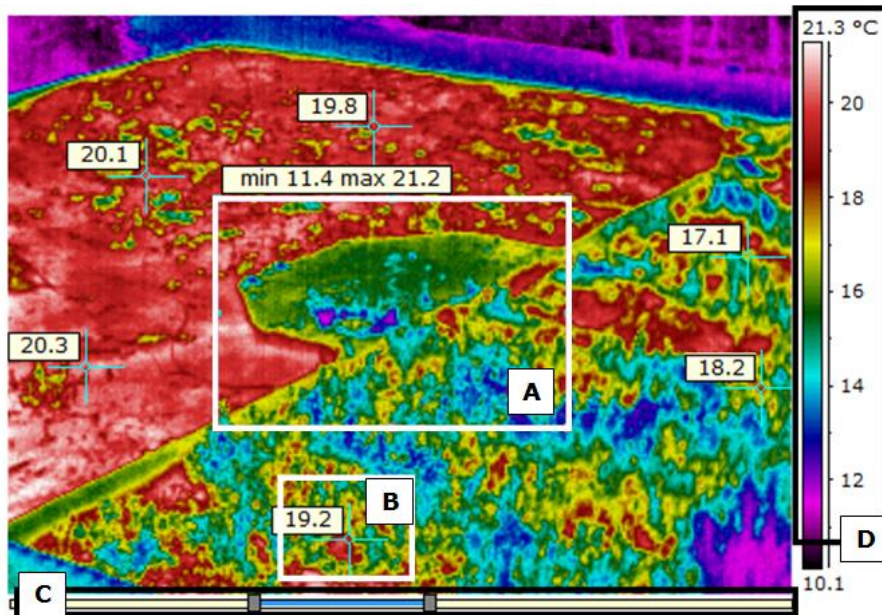
Obr. 36 Termograf: Nehomogenní oblast:  
Ar3 , Zdroj: (Urban 2010)



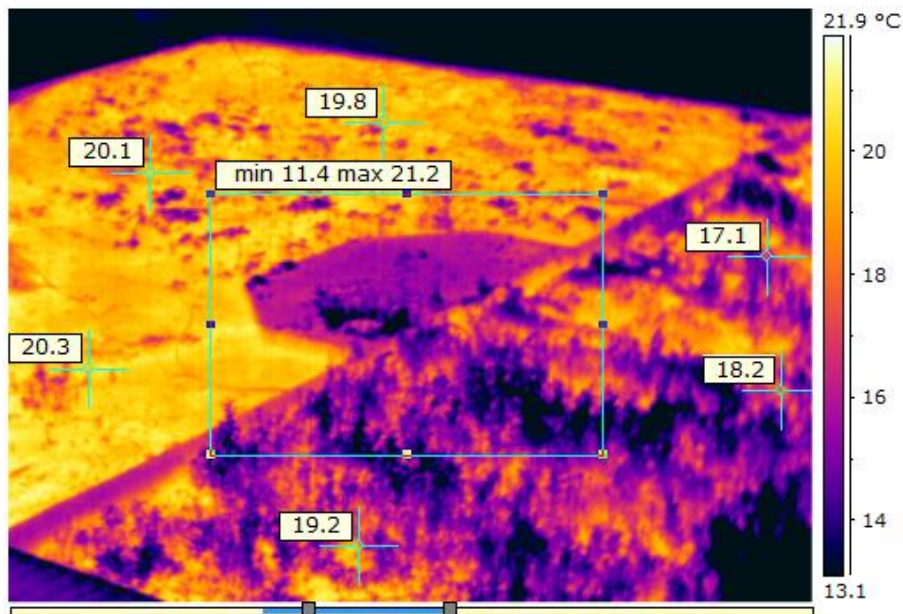
Graf. 3 Grafické znázornění nehomogenní oblasti:  
(Excel 07) , Zdroj: (Urban 2010)



## 6.11 Rozbor termovizní fotografie



Obr. 37 Termovizní fotografie ve zobrazení Rain Hi, Zdroj: (Urban 2010)



Obr. 38 Termovizní fotografie ve zobrazení Iron Hi, Zdroj: (Urban 2010)

### Legenda:

- A: Nástroj výběru plochy s vymezením maximální a minimální teploty
- B: Nástroj plovoucího měření v bodech s aktuální teplotou
- C: Nastavení osy rozsahu teploty v odstínech barvy a zobrazení
- D: Teplotní rozsah s maximem a minimem teplot v termografu včetně hodnot °C

## 7 VÝSLEDKY PRÁCE

V roce 2010 nebylo zjištěno překročení hraničních teplot jak v kladném, tak ani v záporném směru. Byla však lokalizována kritická místa s potenciálním rizikem úniku pachových emisí. Po archivaci výsledků měření, bylo navrženo jako další krok opětovné měření v alternativním intervalu. Měření v roce 2011 se uskutečnilo již po obnově, resp. překopání vsázky náplně biofiltru v kritických oblastech.

Na snímcích z tohoto měření viz. Urban, Marada (2010), lze pozorovat stávající kvalitu biofiltračního zařízení a po rozboru eventuálních kritických míst stanovit a navrhnout další opatření. Z výsledků práce vyplývá, že je činnost biofiltru v aktuálním období stabilizována a nehrozí zde nebezpečí poklesu efektivity činnosti.

### 7.1 AD Hypotéza\_1

#### 7.1.1 Srovnání vlivu teploty na koncentrace pachových látek

Při srovnání alternativních metod jako jsou dynamická olfaktometrie, termovizní metoda a kontaktní teploměr, byly stanoveny tyto výsledky.

Dynamická olfaktometrie koreluje s termovizními metodami. Termovizní metody byly shledány jako spolehlivou alternativou měření povrchové teploty materiálu, což dokazuje relativní odchylka teplot mezi naměřenými vzorky, která činí maximálně 4,3 °C a minimálně 0,9 °C, což při zprůměrování všech teplot činí 2,55 °C rozdíl, viz graf. 7.

Na grafech 5,6 jsou zpracované výsledky stanovení koncentrace pachových látek (Měření ODOUR, 2006) uvedené v tabulce 4. Na grafu 7. je patrná korelace mezi povrchovou teplotou a koncentrací pachových látek. Modrá křivka zobrazuje teplotu měřenou pod 10 cm povrchem plochy půdního biofiltru, která je pro názornost a přehlednost násobena číslem 10. Teplota je ve stupních Celsia. Na červené křivce jsou patrné rozdíly v hodnotách koncentrace pachových látek na metry krychlové. Graf 4. „Korelace teploty a koncentrace pachových látek linregresní křivka“ jsou původní křivky proloženy linregresní křivkou polynomem 3. st. Pomocí metody nejmenších

čtverců, které zobrazují tendenci trendu původního grafu 5. Korelace teploty a koncentrace pachových látek je patrná z grafu 6.

Vzhledem k malé časové náročnosti a vysoké efektivitě měření byla termovizní metoda pro monitoring půdních biofiltrů shledána jako vhodný způsob posuzování funkčnosti a správné činnosti dezodoračního zařízení. V porovnání s metodou vzorkování pomocí dynamické olfaktometrie bylo prokázáno, že tepelně výraznější lokality na ploše půdního biofiltru tzv. místa s nižší tlakovou ztrátou představují kritické prostředí pro existenci mikrobiologických organismů potřebných pro zachování funkce dezodorace.

**Tab. 4 Výsledky stanovení koncentrace pachových látek, Zdroj: (Měření ODOUR, 2006)**

|              | Ukazatel/jednotka  | t <sub>Bf</sub> | t <sub>g</sub> | RH  | čas odběru  | počet<br>assessorů | C <sub>OD</sub>                    |
|--------------|--------------------|-----------------|----------------|-----|-------------|--------------------|------------------------------------|
| Vzorek<br>č. | Místo odběru       | [°C]            | [°C]           | [%] | [hh:mm]     | n                  | [ou <sub>E</sub> /m <sup>3</sup> ] |
| 1            | Velký biofiltr     | 17,8            | 18,6           | >95 | 09:51-09:56 | 8                  | 172                                |
| 2            | Velký biofiltr     | 17,4            | 18,6           | >95 | 10:22-10:27 | 8                  | 197                                |
| 3            | Velký biofiltr     | 17,1            | 18             | >95 | 11:03-11:08 | 8                  | 87                                 |
| 4            | biofiltr R06.1a    | 22,5            | 22             | >95 | 10:10-10:15 | 7                  | 105                                |
| 5            | biofiltr R06.1b    | 21              | 21,5           | >95 | 10:32-10:37 | 8                  | 152                                |
| 6            | biofiltr R06.1c    | 22,3            | 21,8           | >95 | 10:39-10:44 | 8                  | 99                                 |
| 7            | biofiltr R06.2a    | 25,2            | 24             | >95 | 11:16-11:21 | 8                  | 189                                |
| 8            | biofiltr R06.2b    | 25,4            | 24,6           | >95 | 11:25-11:30 | 8                  | 140                                |
| 9            | biofiltr R06.2c    | 23              | 22,8           | >95 | 11:41-11:45 | 8                  | 103                                |
| 10           | kotelna            | N               | N              | N   | 11:58-12:03 | 8                  | 61                                 |
| 11           | kotelna            | N               | N              | N   | 12:09-12:25 | 8                  | 52                                 |
| 12           | kotelna            | N               | N              | N   | 12:20-12:25 | 7                  | 50                                 |
| 13           | Směšný vzorek 1-12 | N               | N              | N   | -           | 8                  | 189                                |
| 14           | vstup do pračky    | -               | 31             | 65  | 10:00-10:05 | 8                  | 325 546                            |

V tabulce jsou uvedeny naměřené hodnoty koncentrace pachových látek v evropských pachových jednotkách na 1 m<sup>3</sup> měřeného plynu. Tyto hodnoty jsou graficky zpracovány a proloženy linregresní křivkou, která zobrazuje jejich trendovou tendenci. Viz. graf 4.

#### Legenda:

**t<sub>Bf</sub>** - teplota náplně biofiltru měřená 10cm pod povrchem

**t<sub>g</sub>** - teplota odebíraného plynu

**RH** - relativní vlhkost vzduchu

**N** - Nezměřeno

**C<sub>OD</sub>** - koncentrace pachových látek v evropských pachových jednotkách na 1 m<sup>3</sup> měřeného plynu pod detekčním limitem olfaktometru a ověřených čichových schopností assessorů.

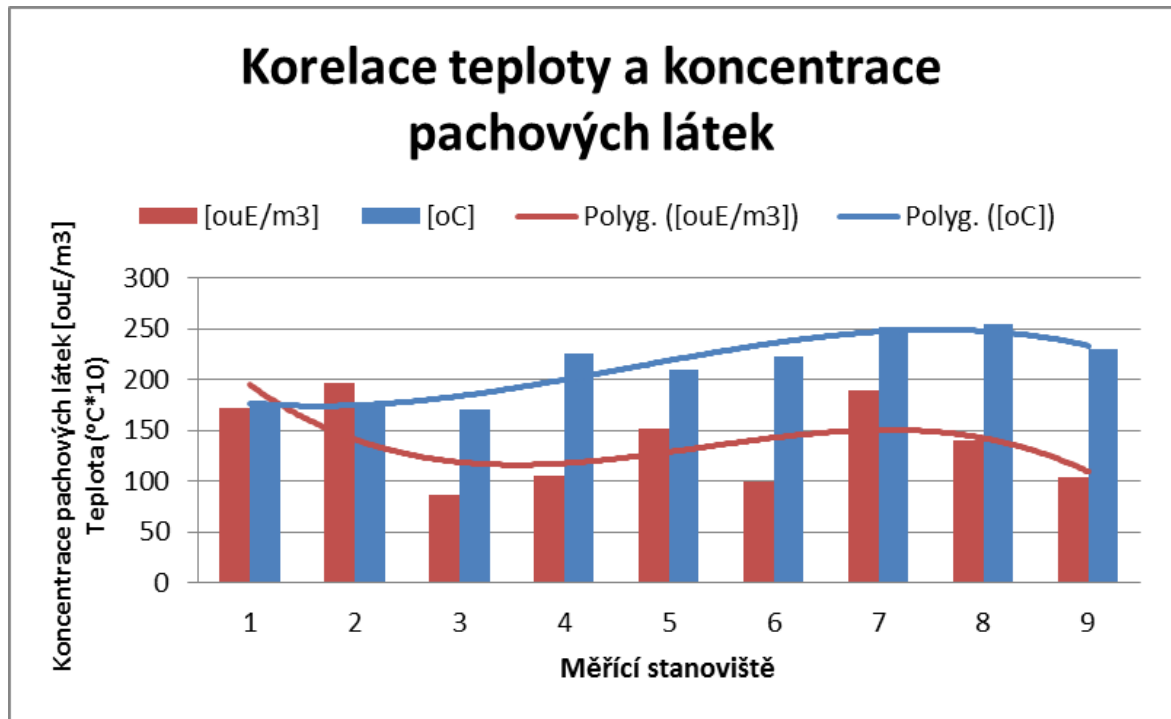
Počet assessorů udává počet platných započtených členů komise při měření jednoho vzorku během dvou kol.

## 7.1.2 Vztah pro výpočet pachových jednotek:

$$C_{DO} = \bar{Z}_{ITE,pan} \cdot 1 \text{ OUE/m}^3 \quad (15)$$

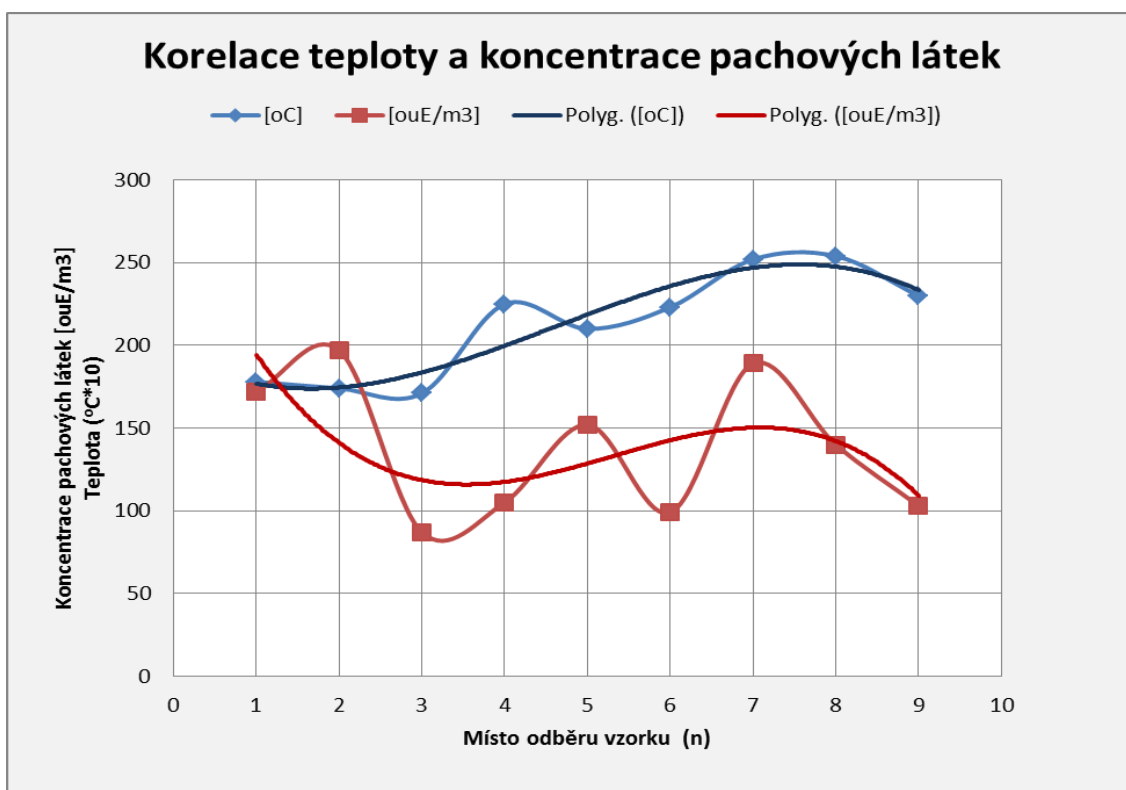
Kde:  $C_{DO}$  - koncentrace pachových látek v [ $\text{OUE/m}^3$ ]

$\bar{Z}_{ITE,pan}$  j - geometrický průměr všech platných členů komise pro jedno měření po zpětné zkoušce komise [-]

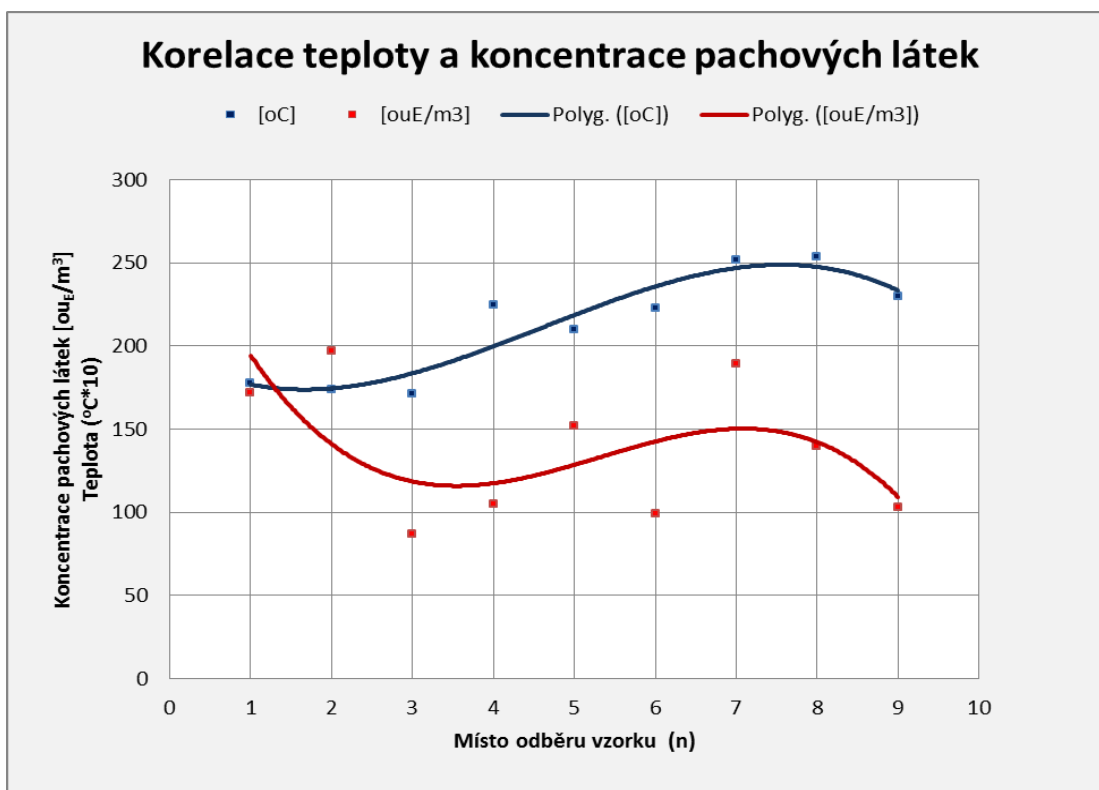


Graf. 4 Korelace teploty a koncentrace pachových látek

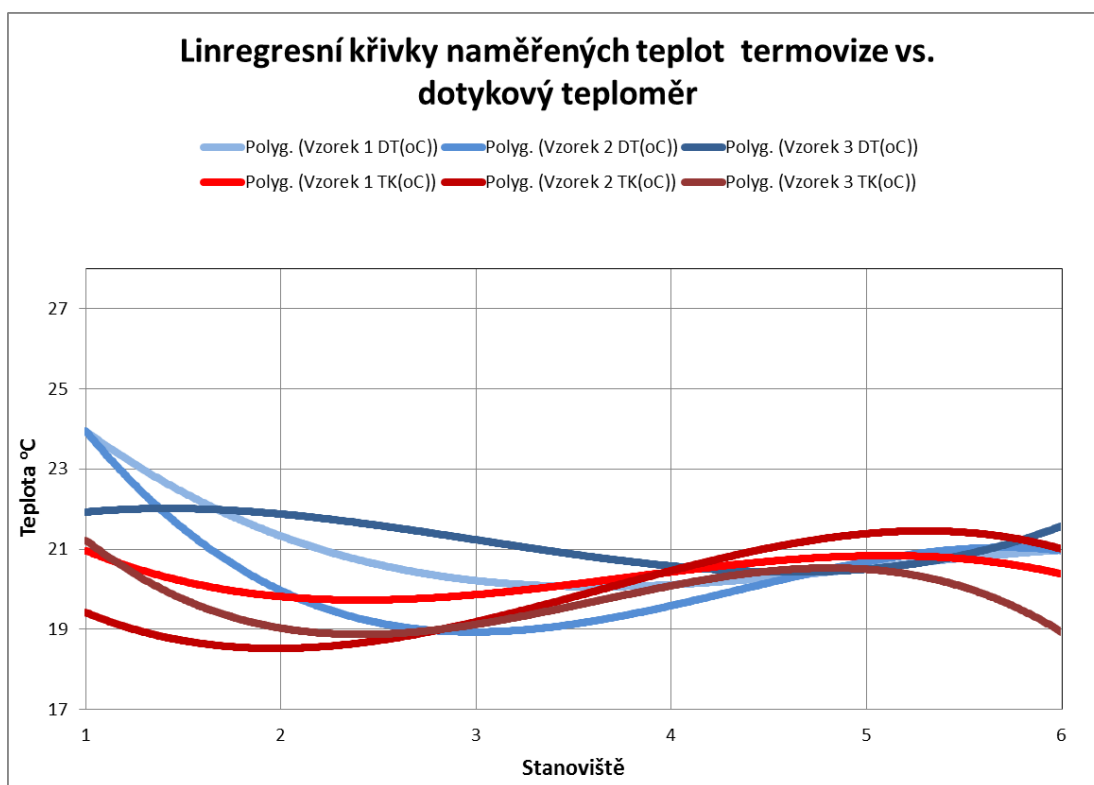
## Analýza energetických procesů v potravinářství pomocí termovizních metod



Graf. 5 Korelace teploty a koncentrace pachových látek (linregresní křivka)



Graf. 6 Korelace teploty a koncentrace pachových látek linregresní křivka



**Graf. 7** Korelace termovizní kamery a dotykového teploměru, linregresní křivky

Graf 7. Porovnává linregresní křivky teplot snímaných na povrchu půdního biofiltru pomocí dotykového teploměru [DT]-modrá a termovizní kamery [TK]-červená. Z grafu je patrná relativní odchylka  $\pm 2,55$  °C. Tedy korelace je prokázána s touto relativní odchylkou.

## 7.2 AD Hypotéza\_2

### 7.2.1 Srovnání dotykového teploměru a termovize

Dne 12. 10. 2011 se uskutečnilo další z řady měření povrchové teploty biofiltru, pomocí termovizních metod. Při tomto měření šlo především o ověření relevantnosti termovizního snímku a porovnání s metodou odběru teplotních vzorků pomocí dotykového teploměru. Teplota byla snímána na ploše rovnostranného trojúhelníku o délce jedné strany 700 mm a obsahu  $0,21 \text{ m}^3$ . Viz. obrázek 40,41. Před zahájením vlastního měření bylo na plochu půdního biofiltru rozmístěno celkem šest stanovišť. V každém sektoru byly tři stanoviště o ploše rovnostranného trojúhelníku. V první fázi

došlo k zjištění a zaznamenání vstupních parametrů tj. relativní vlhkost a teplota atmosféry ve vyznačené lokalitě. V druhé fázi měření byl použit kontaktní teploměr, kterým byly naměřeny tři hodnoty, (viz. tabulka 5.). V třetí fázi byl za použití termovizní kamery pořízen na každém stanovišti termografický snímek. V rámci experimentu byla získaná data zpracována v programu ThermoCAM QuickReport 0.1. Po dokončení analýzy, byla data zpracována do vizuální podoby v programu Excel 2010. Záznam je zobrazen na grafech 8, 9. Ze kterých je patrná lehká relativní odchylka v obou způsobech měření. V následujících tabulkách jsou uvedeny naměřené hodnoty. V jednotlivých sektorech biofiltru. Sektor 1 je ½ celkové plochy lože biofiltru, viz. obr. 42. 1-3, dále v sektoru 2 pak 4-6 jak z měření kontaktním teploměrem, tak i měřením termovizní kamerou.

### 7.2.2 Kontaktní teploměr

### 7.2.3 Povrchové i ponorné teplotní čidlo

#### HH11A a HH12A

Levné digitální teploměry

- **přepínání jednotek °C/°F**
- **rozdíl 0.1°C nebo 1°C**
- **funkce HOLD a MAX.**
- **nastavení offsetu přímo na přístroji**

Přístroje řady HH11A/12A jsou určeny pro měření teploty pomocí termočláňkových sond typu K. Vyrábí se v provedení s jedním vstupem nebo se dvěma vstupy. Oba modely mají na panelu možnost měnit zobrazení ve °C nebo °F, zobrazení max. a možnost zmrazení údaje na displeji. Měřicí rozsah je od -50 °C do 1300 °C. Měřená teplota může být zobrazena s rozlišením 0,1 °C nebo 1 °C. U modelu HH12A lze zobrazit buď jednotlivé teploty nebo rozdíl obou teplot.

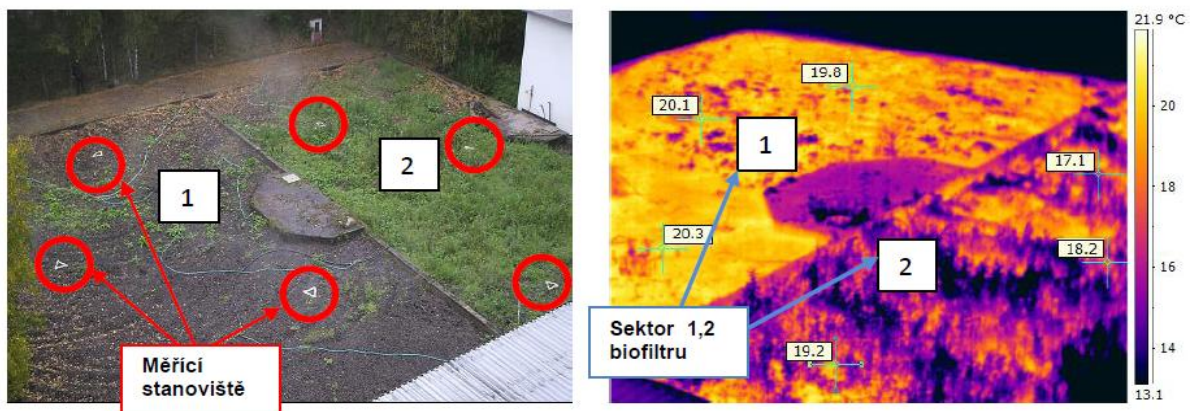


Obr. 39 Kontaktní teploměr

## Analýza energetických procesů v potravinářství pomocí termovizních metod

Tento termočlánek typu "K" je vhodný pro pevné povrchy všech druhů, pro vzduch a plyny.

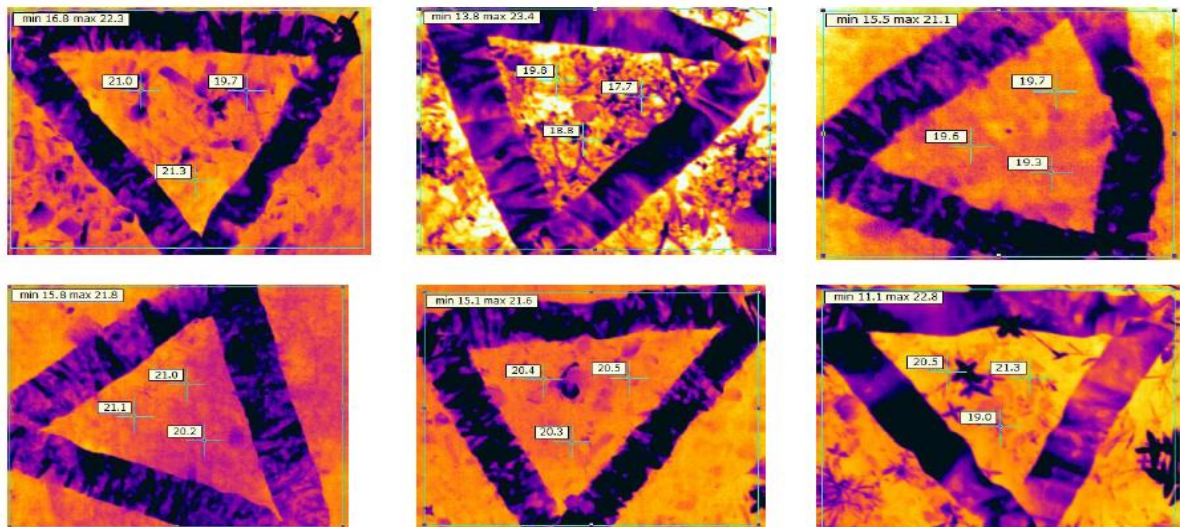
- Měřicí rozsah teploměru: - 65 + 500 °C
- Rychlost odezvy: T90 5 sec., třída přesnosti 1
- Pevná měděná ploška, rukojeť z umělé hmoty, silikonový kabel, standardizovaný konektor.



Obr. 40 Plocha lože biofiltru, digitální foto. (měřicí stanoviště), TERMOVIZE (SEKTOR 1,2)



Obr. 41 Stanoviště odběru vzorků (Digitální fotografie), z leva 1,2,3



Obr. 42 Stanoviště odběru vzorků (Termovizní fotografie), z leva 1,2,3,4,5,6



Tab. 5 Měření kontaktním teploměrem, termovizní kamerou

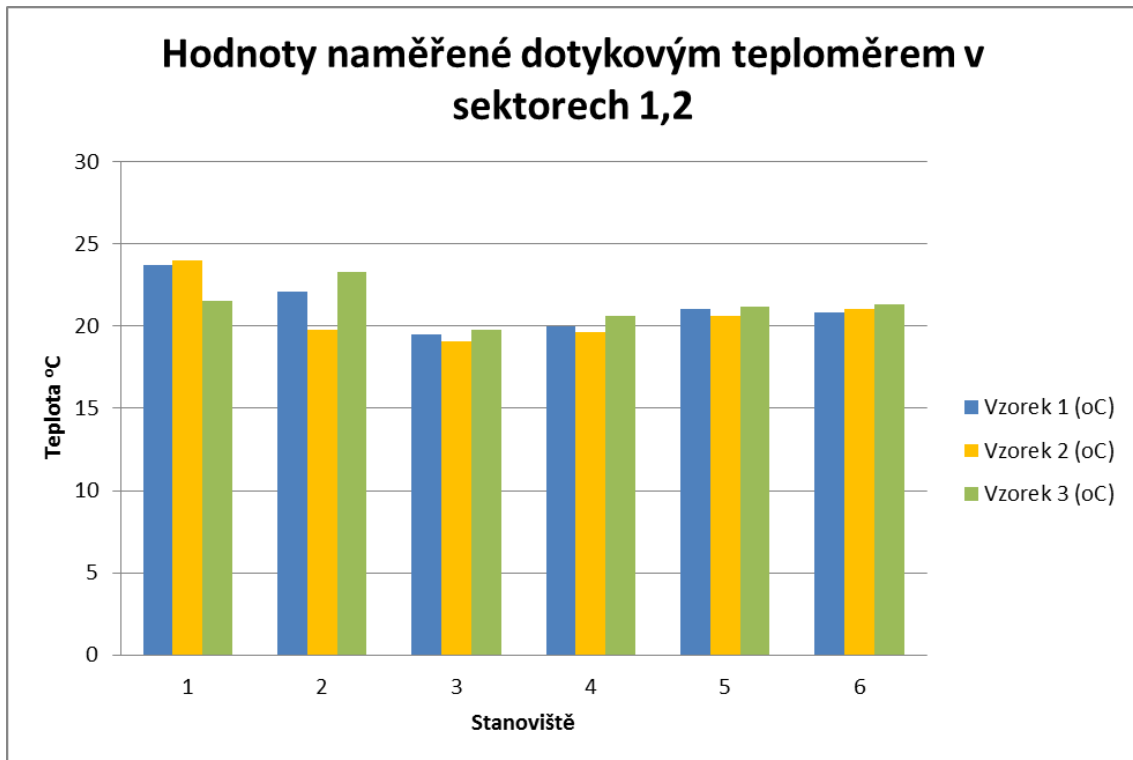
*Měření dotykovým teploměrem*

| Sektor 1       |               |               |               |        |                        |                               |
|----------------|---------------|---------------|---------------|--------|------------------------|-------------------------------|
| Pozice         | Vzorek 1 (°C) | Vzorek 2 (°C) | Vzorek 3 (°C) | Průměr | Teplota atmosféry (°C) | Relativní vlhkost vzduchu (%) |
| Stanoviště 1   | 23,7          | 24            | 21,5          | 22,6   | 16,3                   | 49,2                          |
| Stanoviště 2   | 22,1          | 19,8          | 23,3          | 22,7   | 11,3                   | 52,6                          |
| Stanoviště 3   | 19,5          | 19,1          | 19,8          | 19,65  | 11,9                   | 57                            |
| Průměr sektoru | 21,6          | 23,05         | 20,65         | 21,125 | 14,1                   | 53,1                          |
| Sektor 2       |               |               |               |        |                        |                               |
| Pozice         | Vzorek 1 (°C) | Vzorek 2 (°C) | Vzorek 3 (°C) | Průměr | Teplota atmosféry (°C) | Relativní vlhkost vzduchu (%) |
| Stanoviště 4   | 20            | 19,6          | 20,6          | 20,3   | 10,7                   | 60                            |
| Stanoviště 5   | 21            | 20,6          | 21,2          | 21,1   | 11,2                   | 61                            |
| Stanoviště 6   | 20,8          | 21            | 21,3          | 21,05  | 11,3                   | 64                            |
| Průměr sektoru | 20,4          | 20,3          | 20,95         | 20,675 | 11                     | 62                            |

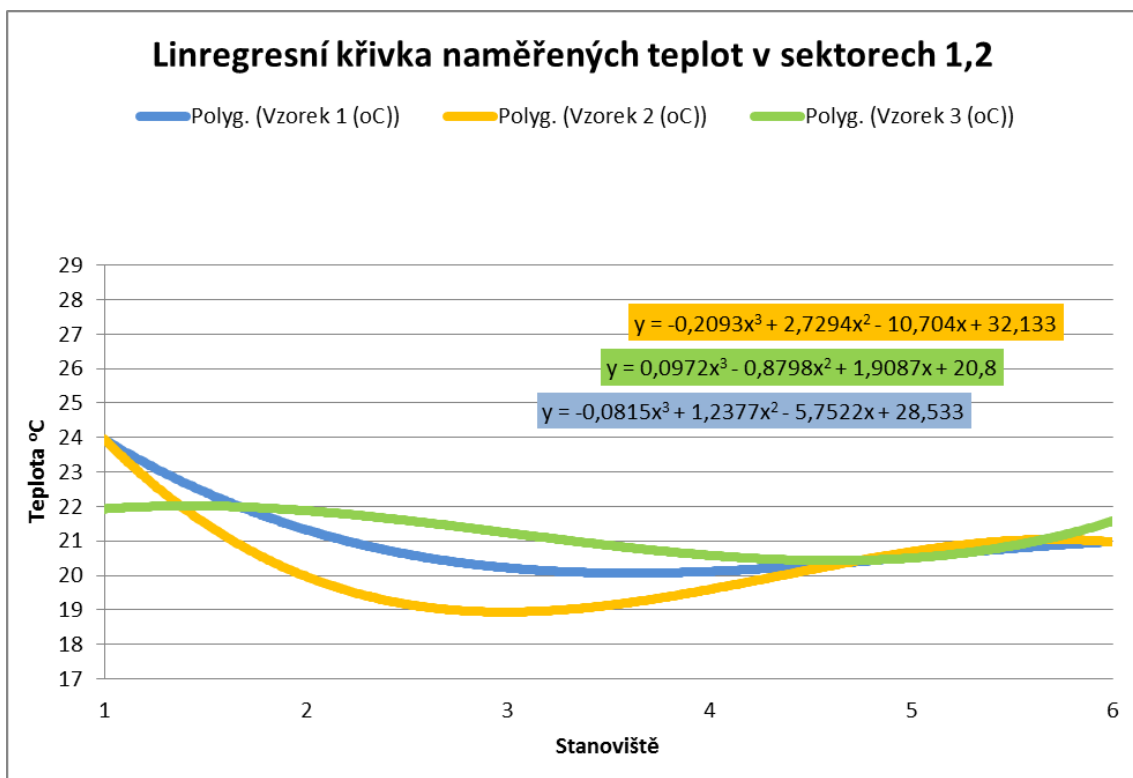
*Měření termovizní kamerou*

| Sektor 1       |               |               |               |        |                        |                               |
|----------------|---------------|---------------|---------------|--------|------------------------|-------------------------------|
| Pozice         | Vzorek 1 (°C) | Vzorek 2 (°C) | Vzorek 3 (°C) | Průměr | Teplota atmosféry (°C) | Relativní vlhkost vzduchu (%) |
| Stanoviště 1   | 21            | 19,7          | 21,3          | 21,15  | 16,3                   | 49,2                          |
| Stanoviště 2   | 19,8          | 17,7          | 18,8          | 19,3   | 11,3                   | 52,6                          |
| Stanoviště 3   | 19,6          | 19,7          | 19,3          | 19,45  | 11,9                   | 57                            |
| Průměr sektoru | 20,3          | 19,7          | 20,3          | 20,3   | 14,1                   | 53,1                          |
| Sektor 2       |               |               |               |        |                        |                               |
| Pozice         | Vzorek 1 (°C) | Vzorek 2 (°C) | Vzorek 3 (°C) | Průměr | Teplota atmosféry (°C) | Relativní vlhkost vzduchu (%) |
| Stanoviště 4   | 21            | 21,1          | 20,2          | 20,6   | 10,7                   | 60                            |
| Stanoviště 5   | 20,4          | 20,5          | 20,3          | 20,35  | 11,2                   | 61                            |
| Stanoviště 6   | 20,5          | 21,3          | 19            | 19,75  | 11,3                   | 64                            |
| Průměr sektoru | 20,75         | 21,2          | 19,6          | 20,175 | 11                     | 62                            |

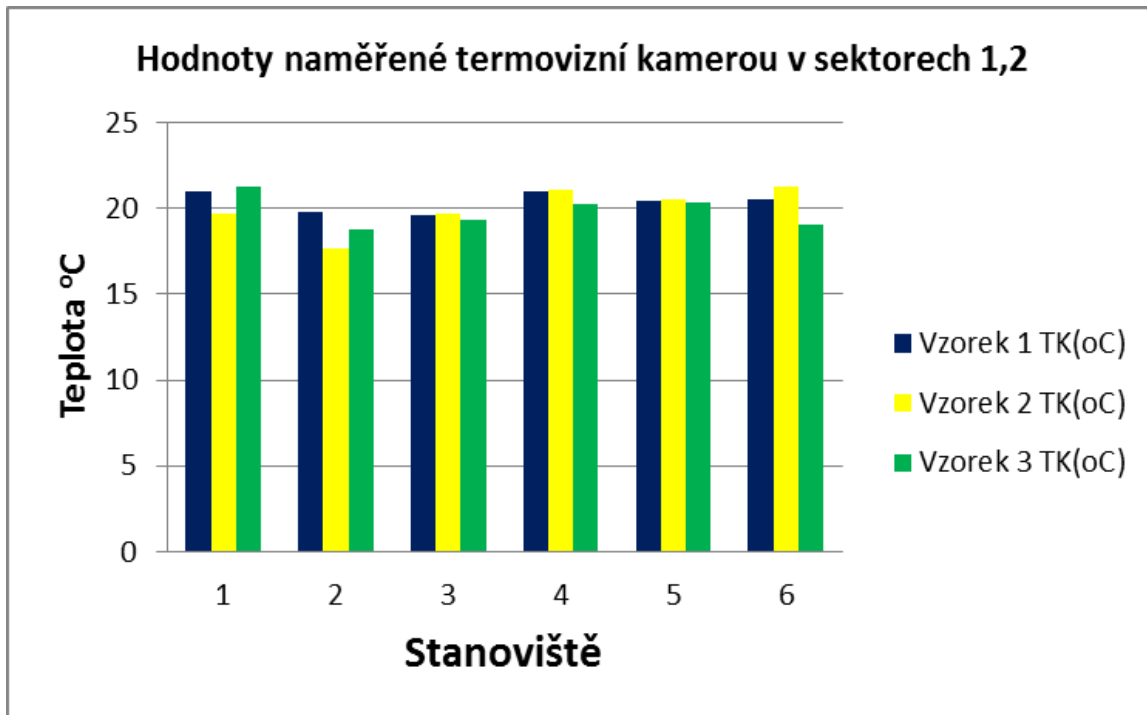
Získaná data ve výše uvedených tabulkách byla v programu Excel 2010, proložena lineárně regresní křivkou, díky čemuž je možné přehledně určit rozdíly naměřených teplot obou metod. Na grafech můžeme vidět křivky polynomu 3. St. Rovnice Vzorku TK (termokamery) jsou:  $y = -0,209x^3 + 2,729x^2 - 10,70x + 32,13$ ;  $y = -0,159x^3 + 1,736x^2 - 4,989x + 22,83$ ;  $y = -0,237x^3 + 2,567x^2 - 8,238x + 27,13$ . Rovnice Vzorku DT (Dotykového teploměru) jsou:  $y = -0,348x^3 + 4,455x^2 - 17,41x + 40,13$ ;  $y = 0,097x^3 - 0,879x^2 + 1,908x + 20,8$ ;  $y = -0,081x^3 + 1,237x^2 - 5,752x + 28,53$ . Viz. graf 14-19.



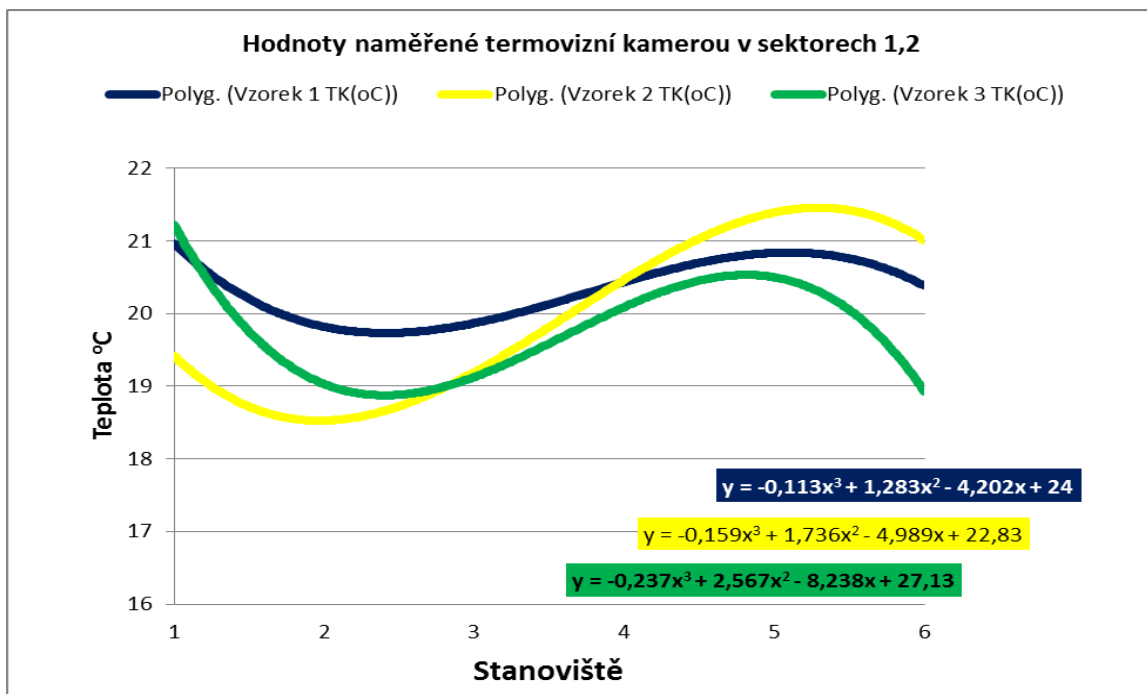
Graf. 8 Hodnoty naměřené kontaktním teploměrem v sektorech 1,2



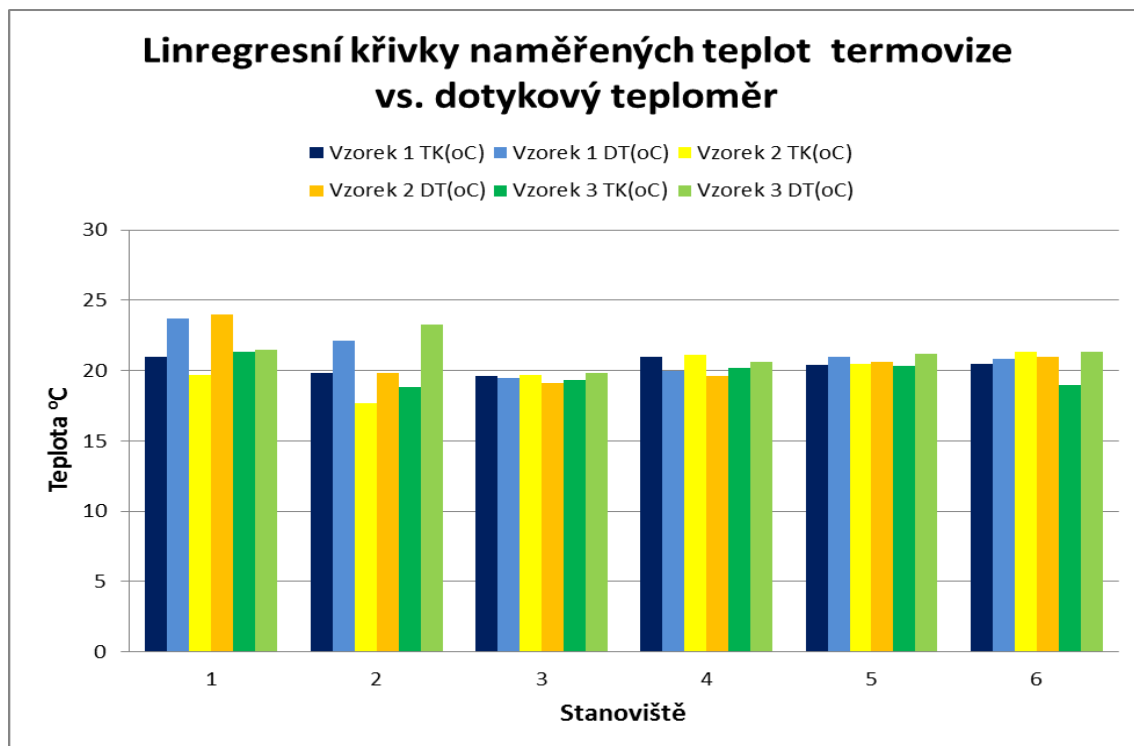
Graf. 9 Linregresní křivka naměřených teplot v sektorech 1,2



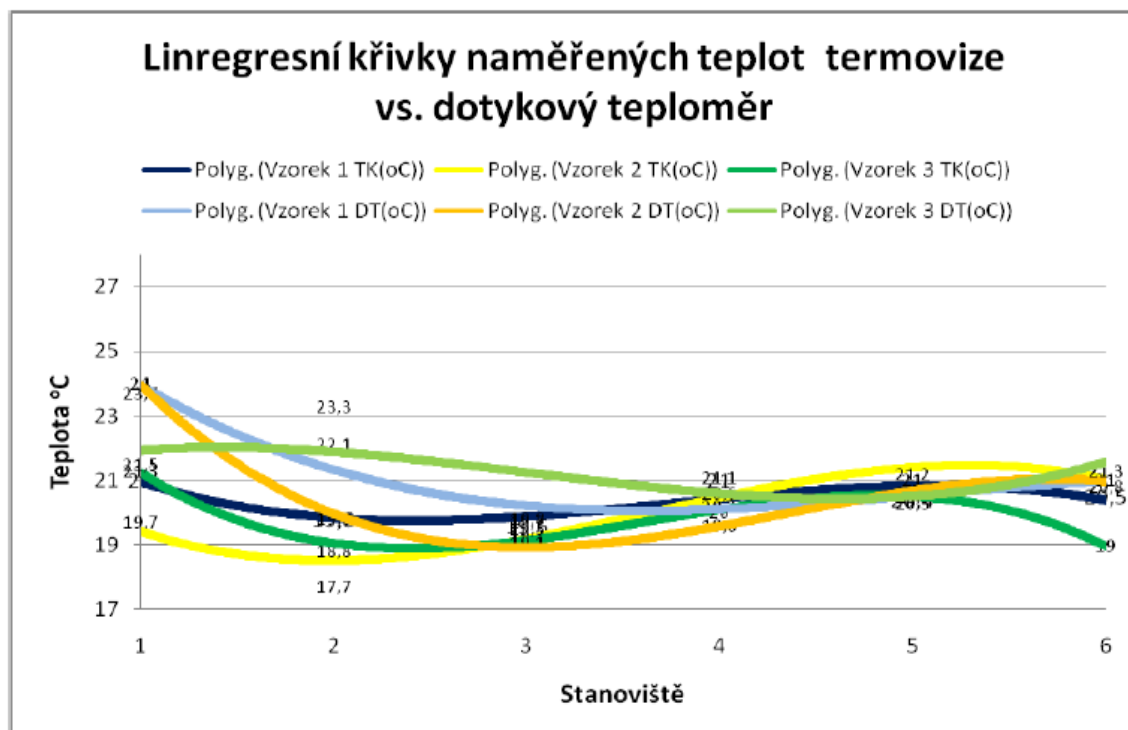
Graf. 10 Hodnoty naměřené termovizní kamerou v sektorech 1,2



Graf. 11 Linregresní křivka naměřených teplot v sektorech 1,2



Graf. 12 Hodnoty naměřené termovizní kamerou a kontaktním teploměrem v sektorech 1,2



Graf. 13 Linregresní křivky naměřených teplot termovize vs. kontaktní teploměr

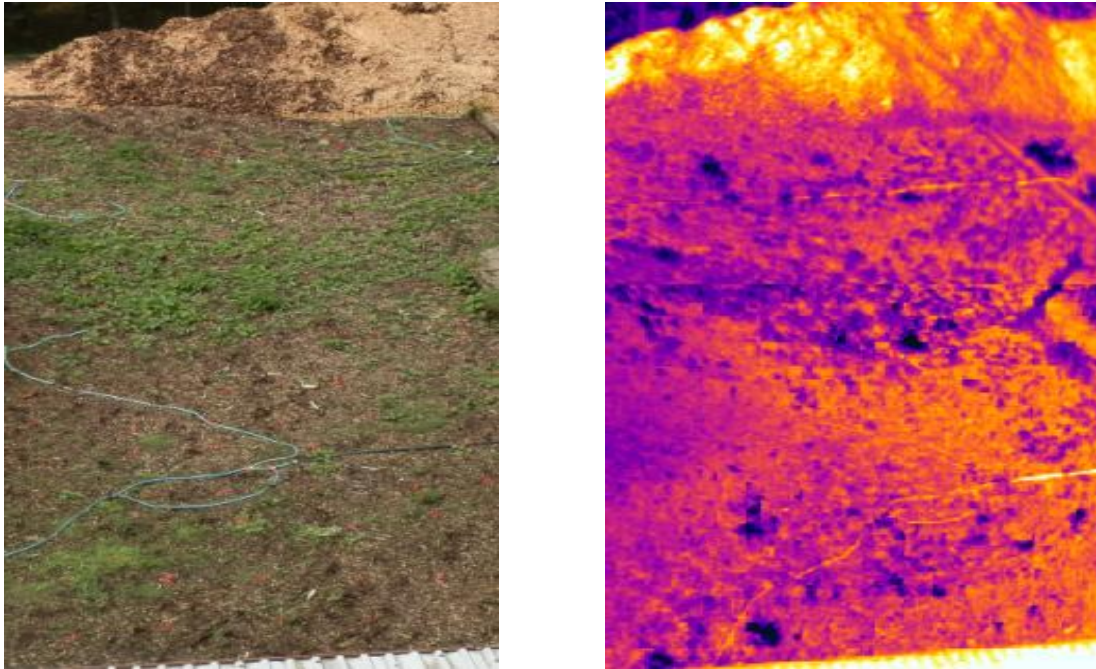
## 7.3 AD Hypotéza\_3

### 7.3.1 Srovnání axiálního anemometru a termovizní kamery

Měření, jehož cílem bylo ověření korelace termovizního snímku a rychlosti proudícího vzduchu proběhlo za následujících podmínek. Teplota byla snímána na ploše 30 x 15 m, (450 m<sup>2</sup>), tedy jedné polovině celkové plochy půdního biofiltru. Tato plocha byla rozdělena na pravidelnou čtvercovou síť, viz. obr 43. Jednotlivé body této sítě byly v rozteči 1,5 m, tvořily čtverce o obsahu 2,25 m<sup>2</sup>. Na ploše půdního biofiltru bylo rozmístěno celkem 308 měřících stanovišť. Stanoviště byla viditelně označena červenou barvou viz. obr.44. V první fázi došlo k zjištění a zaznamenání vstupních parametrů tj. relativní vlhkost, která činila 27 % a teplota atmosféry, která činila 30 °C ve vyznačené lokalitě. V druhé fázi měření byl použit axiální anemometr, kterým byly naměřeny hodnoty v každém měřícím stanovišti. Aby nedošlo k nežádoucímu ovlivnění výsledků měření vlivem bočního větru, byl použit blokovací prostředek. Jednalo se o plastovou rouru o délce  $l=0,5$  m a průměru  $d=15$  cm., do jejichž otvoru byl vložen axiální anemometr Testo 405-V1. Ve třetí fázi byl za použití termovizní kamery pořízen termografický snímek. Data získaná na základě měření termokamerou byly zpracovány v programu ThermaCAM QuickReport 0.1. a Excel do tabulky a spolu s hodnotami rychlosti proudícího vzduchu, naměřenými axiálním anemometrem, byly následně analyzovány v programu Unistat v.6. Po dokončení analýzy, jsme data zpracovali do grafu v programu Excel 2010. Záznam je zobrazen na grafu 15 a 16.



Obr. 43 Čtvercová síť pro měření axiálním anemometrem, zahájení měření (Zdroj: Urban, L, 2012)



**Obr. 44** Pohled z výchozího stanoviště pro termovizní měření, termovizní snímek, (Zdroj: Urban 2012)

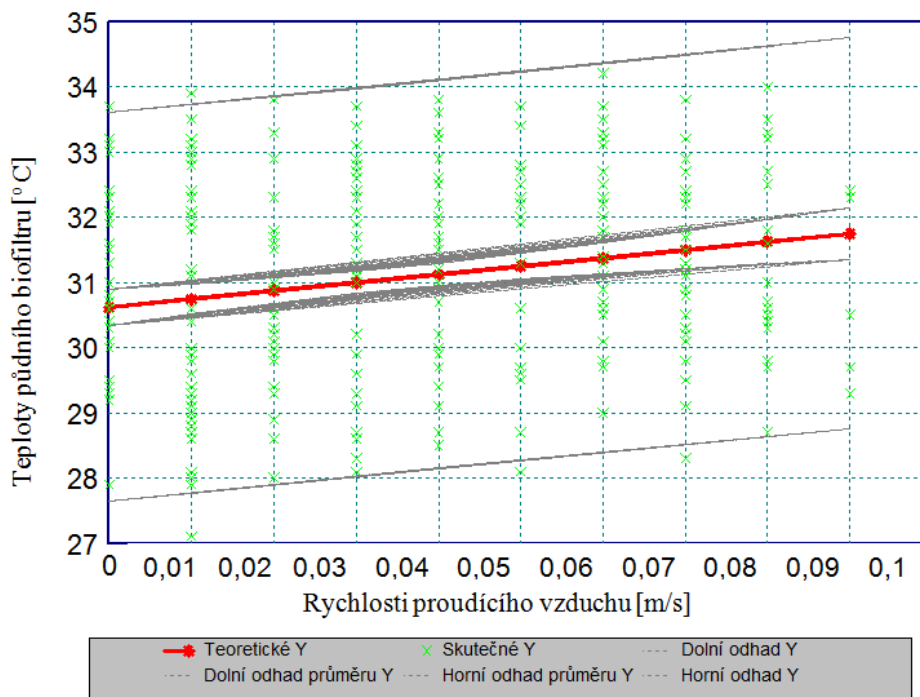
Výsledkem měření jsou data uvedená v tabulce 7., tedy hodnoty rychlosti proudícího vzduchu a v tabulce 8., teplota povrchu půdního biofiltru. Hodnoty byly znázorněny graficky viz. graf 15. a 16. Při pohledu na grafy lze zřetelně rozlišit hodnotu rychlostí proudícího vzduchu. Naměřené hodnoty byly analyzovány za použití statistického programu UNISTAT verze 6. Následoval test korelační závislosti, kde bylo cílem prověřit předpokládanou závislost teploty povrchu plochy půdního biofiltru na rychlosti proudícího vzduchu. Jednalo se o kladnou lineárně regresní korelaci. Viz. tabulka 6. níže. Na grafu 14., je patrný průběh lineárně rostoucí křivky. Na základě srovnání výsledků měření obyčejnou metodou nejmenších čtverců byla prokázána nízká korelační závislost termovizní metody a rychlostí proudícího vzduchu z plochy půdního biofiltru naměřené axiálním anemometrem.

## Analýza energetických procesů v potravinářství pomocí termovizních metod

Tab. 6 Výsledky testu obyčejné metody nejmenších čtverců

|           | koeficient     | Směrodatná<br>chyba | t-statistika   | významnost |
|-----------|----------------|---------------------|----------------|------------|
| Konstanta | 30,62565055762 | 0,141943785226      | 215,7590098711 | 0,0000     |
| C2        | 0,125421790106 | 0,0326423229729     | 3,842305898695 | 0,0001     |

Reziduální součet čtverců = 695,9632484987  
 Směrodatná chyba = 1,508107987173  
 Průměr Y = 31,05974025974  
 Směr odch y = 1,541542840699  
 Čtverec R = 0,0460255707135  
 upravené R-kvadrát = 0,0429080072191  
 F(1,306) = 14,76331461931  
 významnost F = 0,0001  
 Durbin-watsonova statistika = 0,911867874784  
 log fce věrohodnosti = -562,5766787584  
 Počet řádků = 308



Graf. 14 Závislost teploty půdního biofiltru na rychlosti proudícího vzduchu, Zdroj: (Urban 2012)

## Analýza energetických procesů v potravinářství pomocí termovizních metod

Tab. 7 Hodnoty rychlosti proudícího vzduchu v jednotkách (m/s), Zdroj: (Urban 2012)

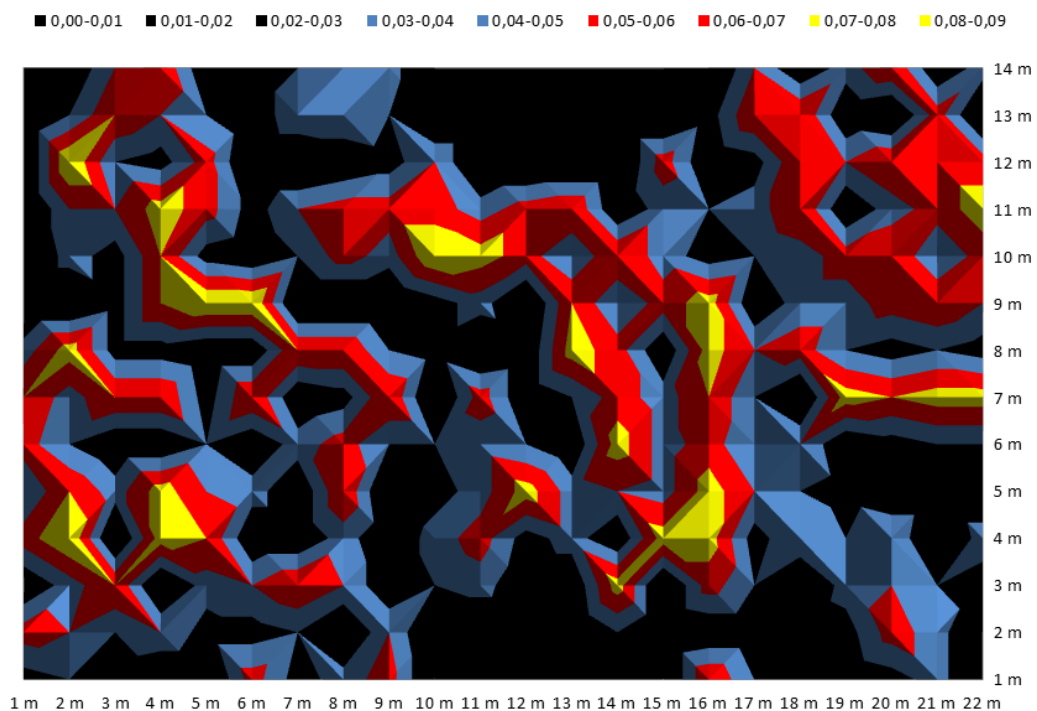
| ŠÍŘKA / DÉLKA [m] | 1    | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    | 7    | 8    | 9    | 10   | 11   | 12   | 13   | 14   |
|-------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 1                 | 0,02 | 0,06 | 0,01 | 0,06 | 0,03 | 0,06 | 0,07 | 0,04 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 2                 | 0,03 | 0,05 | 0,04 | 0,09 | 0,07 | 0,03 | 0,04 | 0,08 | 0,00 | 0,04 | 0,05 | 0,09 | 0,03 | 0,01 |
| 3                 | 0,01 | 0,03 | 0,07 | 0,00 | 0,04 | 0,01 | 0,07 | 0,02 | 0,02 | 0,02 | 0,05 | 0,03 | 0,07 | 0,05 |
| 4                 | 0,00 | 0,05 | 0,00 | 0,08 | 0,08 | 0,01 | 0,07 | 0,02 | 0,07 | 0,07 | 0,08 | 0,02 | 0,05 | 0,07 |
| 5                 | 0,00 | 0,02 | 0,04 | 0,07 | 0,05 | 0,03 | 0,02 | 0,01 | 0,09 | 0,02 | 0,06 | 0,06 | 0,03 | 0,01 |
| 6                 | 0,06 | 0,02 | 0,05 | 0,01 | 0,04 | 0,01 | 0,07 | 0,01 | 0,09 | 0,01 | 0,02 | 0,00 | 0,01 | 0,01 |
| 7                 | 0,02 | 0,03 | 0,07 | 0,01 | 0,01 | 0,04 | 0,01 | 0,07 | 0,00 | 0,03 | 0,05 | 0,00 | 0,05 | 0,03 |
| 8                 | 0,04 | 0,00 | 0,05 | 0,04 | 0,07 | 0,06 | 0,02 | 0,07 | 0,00 | 0,06 | 0,06 | 0,01 | 0,05 | 0,04 |
| 9                 | 0,06 | 0,05 | 0,01 | 0,01 | 0,00 | 0,03 | 0,07 | 0,03 | 0,00 | 0,04 | 0,06 | 0,02 | 0,03 | 0,04 |
| 10                | 0,00 | 0,00 | 0,03 | 0,04 | 0,02 | 0,03 | 0,00 | 0,02 | 0,02 | 0,09 | 0,06 | 0,05 | 0,00 | 0,00 |
| 11                | 0,02 | 0,00 | 0,04 | 0,06 | 0,04 | 0,04 | 0,06 | 0,00 | 0,04 | 0,08 | 0,04 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 12                | 0,01 | 0,00 | 0,01 | 0,02 | 0,08 | 0,03 | 0,01 | 0,01 | 0,00 | 0,06 | 0,06 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 13                | 0,02 | 0,00 | 0,01 | 0,04 | 0,04 | 0,01 | 0,03 | 0,08 | 0,07 | 0,03 | 0,07 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 14                | 0,02 | 0,03 | 0,08 | 0,01 | 0,05 | 0,08 | 0,06 | 0,06 | 0,03 | 0,07 | 0,01 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 15                | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,08 | 0,04 | 0,04 | 0,04 | 0,01 | 0,06 | 0,04 | 0,04 | 0,06 | 0,00 | 0,00 |
| 16                | 0,07 | 0,01 | 0,06 | 0,08 | 0,08 | 0,06 | 0,07 | 0,08 | 0,08 | 0,02 | 0,03 | 0,01 | 0,02 | 0,00 |
| 17                | 0,03 | 0,01 | 0,03 | 0,02 | 0,05 | 0,03 | 0,03 | 0,05 | 0,01 | 0,03 | 0,04 | 0,02 | 0,07 | 0,05 |
| 18                | 0,02 | 0,01 | 0,00 | 0,05 | 0,03 | 0,05 | 0,00 | 0,06 | 0,04 | 0,04 | 0,07 | 0,07 | 0,07 | 0,01 |
| 19                | 0,01 | 0,02 | 0,04 | 0,03 | 0,02 | 0,01 | 0,08 | 0,03 | 0,04 | 0,06 | 0,01 | 0,05 | 0,01 | 0,04 |
| 20                | 0,02 | 0,06 | 0,05 | 0,05 | 0,01 | 0,02 | 0,07 | 0,02 | 0,06 | 0,07 | 0,04 | 0,07 | 0,00 | 0,07 |
| 21                | 0,04 | 0,04 | 0,03 | 0,00 | 0,01 | 0,03 | 0,08 | 0,03 | 0,07 | 0,03 | 0,06 | 0,06 | 0,06 | 0,01 |
| 22                | 0,00 | 0,00 | 0,02 | 0,04 | 0,01 | 0,03 | 0,08 | 0,02 | 0,05 | 0,06 | 0,08 | 0,06 | 0,00 | 0,04 |

Tab. 8 Hodnoty teploty měřené termovizní kamerou na povrchu půdního biofiltru (°C), Zdroj: (Urban 2012)

| ŠÍŘKA / DÉLKA [m] | 1  | 2  | 3  | 4  | 5  | 6  | 7  | 8  | 9  | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 |
|-------------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| 1                 | 34 | 33 | 33 | 32 | 32 | 31 | 31 | 31 | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  |
| 2                 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 | 31 | 32 | 30 | 30 | 32 | 30 | 30 | 28 | 30 |
| 3                 | 33 | 32 | 32 | 32 | 31 | 32 | 31 | 31 | 31 | 32 | 30 | 29 | 32 | 32 |
| 4                 | 33 | 32 | 31 | 30 | 30 | 31 | 30 | 31 | 32 | 31 | 32 | 30 | 28 | 33 |
| 5                 | 33 | 32 | 31 | 30 | 31 | 32 | 29 | 29 | 29 | 29 | 31 | 32 | 30 | 28 |
| 6                 | 32 | 32 | 33 | 29 | 29 | 30 | 30 | 30 | 31 | 30 | 32 | 32 | 29 | 28 |
| 7                 | 31 | 33 | 30 | 29 | 29 | 30 | 27 | 28 | 32 | 29 | 30 | 30 | 32 | 30 |
| 8                 | 31 | 32 | 29 | 29 | 30 | 31 | 30 | 29 | 29 | 30 | 30 | 29 | 29 | 32 |
| 9                 | 32 | 30 | 28 | 28 | 31 | 30 | 32 | 33 | 32 | 32 | 29 | 32 | 30 | 30 |
| 10                | 31 | 29 | 29 | 29 | 29 | 29 | 33 | 33 | 33 | 32 | 30 | 29 | 0  | 0  |
| 11                | 30 | 29 | 29 | 31 | 30 | 31 | 33 | 34 | 34 | 33 | 31 | 0  | 0  | 0  |
| 12                | 29 | 28 | 29 | 30 | 32 | 33 | 34 | 32 | 31 | 31 | 31 | 0  | 0  | 0  |
| 13                | 28 | 30 | 30 | 32 | 32 | 33 | 33 | 30 | 32 | 31 | 31 | 0  | 0  | 0  |
| 14                | 29 | 30 | 31 | 32 | 34 | 34 | 34 | 34 | 33 | 33 | 33 | 0  | 0  | 0  |
| 15                | 28 | 30 | 30 | 31 | 32 | 33 | 34 | 33 | 33 | 34 | 31 | 32 | 0  | 0  |
| 16                | 29 | 29 | 31 | 33 | 33 | 33 | 31 | 34 | 33 | 30 | 33 | 32 | 30 | 32 |
| 17                | 28 | 30 | 31 | 32 | 32 | 32 | 34 | 33 | 34 | 31 | 32 | 31 | 33 | 33 |
| 18                | 29 | 31 | 32 | 32 | 33 | 32 | 32 | 33 | 33 | 33 | 32 | 32 | 33 | 33 |
| 19                | 29 | 31 | 32 | 31 | 32 | 32 | 31 | 31 | 33 | 33 | 32 | 32 | 31 | 33 |
| 20                | 29 | 31 | 33 | 31 | 32 | 31 | 30 | 30 | 31 | 34 | 33 | 33 | 30 | 31 |
| 21                | 30 | 33 | 32 | 33 | 32 | 30 | 29 | 30 | 31 | 31 | 34 | 34 | 32 | 33 |
| 22                | 30 | 30 | 30 | 32 | 31 | 31 | 31 | 29 | 32 | 31 | 33 | 32 | 32 | 33 |

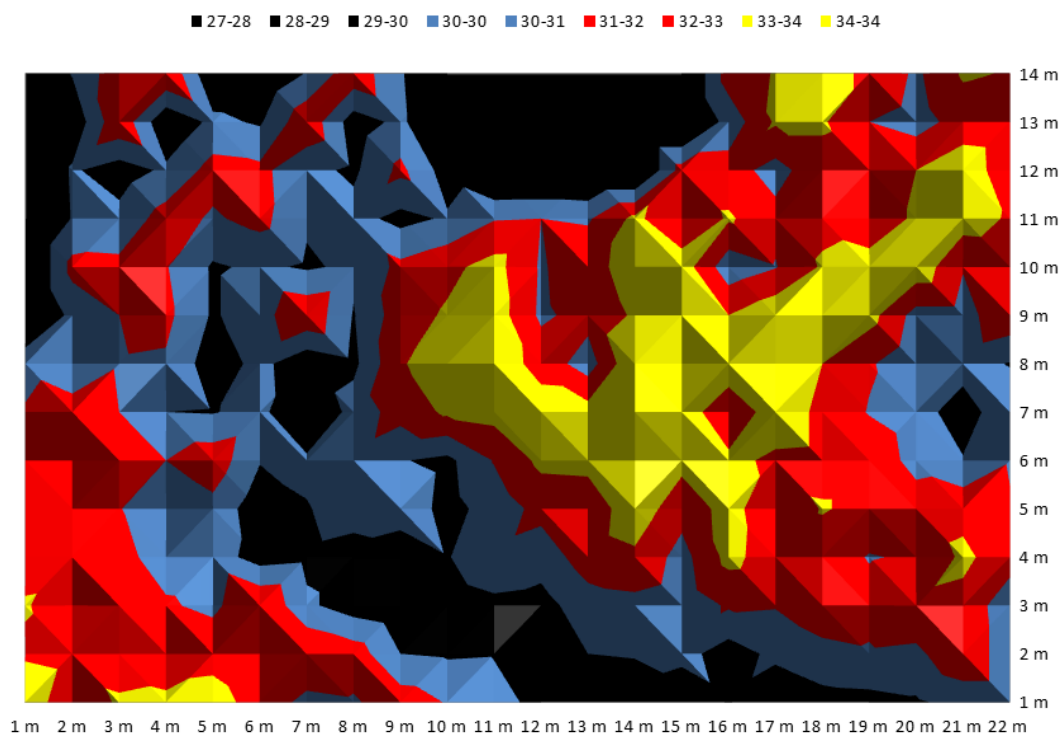


### Axiální anemometr



Graf. 15 Rychlost proudícího vzduchu z plochy půdního biofiltru v [m/s], Zdroj: (Urban 2012)

### Termovizní kamera



Graf. 16 Teplota povrchu půdního biofiltru °C, Zdroj: (Urban 2012)

## 7.1 AD hypotéza\_4

### 7.1.1 Výpočet rozdílu teploty na vstupu a výstupu biofiltru

#### Provozně technické parametry:

Ve vodní pračce se pomocí provozní vody oddělují ze vzdušiny mechanické částice jako je prachový úlet, např. zbytky chlupů a peří a tukové částice. Zde také dochází k sycení vzdušiny vodní parou, která je důležitá pro vlhčení náplně půdního filtru. Vlivem zkrápění je také odpadní vzdušina zchlazena na min 40 °C. Z vodní pračky, umístěné ve strojovně dezodorizace, je vypraná a nasycená vzdušina odváděna podzemními vzduchotechnickými kanály do komor pod ložem biofiltru.

Tab. 9 Charakteristika materiálu náplně biofiltru

| Materiál náplně biofiltru                | Součinitel<br>tepelné<br>vodivosti | Měrná<br>tepelná<br>kapacita | Hustota                        |
|--|------------------------------------|------------------------------|--------------------------------|
|  | $\lambda$<br>[W/m.K]               | c<br>[J/kg.K]                | $\rho$<br>[kg/m <sup>3</sup> ] |
| Dřevo měkké, tepelný tok // s vlákny     | 0,41                               | 2510                         | 400                            |
| Dřevo měkké, tepelný tok kolmo k vláknům | 0,18                               | 2510                         | 400                            |
| Dřevo tvrdé, tepelný tok // s vlákny     | 0,49                               | 2510                         | 600                            |
| Dřevo tvrdé, tepelný tok kolmo k vláknům | 0,22                               | 2510                         | 600                            |
| Aritmetický průměr                       | <b>0,325</b>                       | <b>2510</b>                  | <b>500</b>                     |

Tab. 10 Provozní podmínky v den měření

| Parametr                  | Hodnota | Jednotka        |
|---------------------------|---------|-----------------|
| Vzdálenost objektu        | 25      | m               |
| Teplota atmosféry         | 13      | °C              |
| Teplota odraženého záření | 22      | °C              |
| Relativní vlhkost         | 48      | %               |
| Emisivita objektu         | 0,91    | Poměrná hodnota |

Tab. 11 Provozně technické podmínky

| Asanační ústavy |                        |          |                   |                        |                            | Hmot.t<br>ok | Doba<br>zdržení | Rychl.<br>Proud. | Hydraul.<br>zatíž.                             | hmotn.<br>zat.                    |
|-----------------|------------------------|----------|-------------------|------------------------|----------------------------|--------------|-----------------|------------------|--|-----------------------------------|
| BIOFILTRY       | plocha, m <sup>2</sup> | výška, m | V, m <sup>3</sup> | Q, m <sup>3</sup> /hod | c (VOC), mg/m <sup>3</sup> | kg/hod       | t, sek          | m/s              | m <sup>3</sup> m <sup>-2</sup> h <sup>-1</sup> | kgm <sup>-3</sup> h <sup>-1</sup> |
| ASAP1           | 150                    | 1        | 150               | 20 000                 | 434                        | 8,68         | 27,00           | 0,037            | 133,33   | 0,058                             |
| ASAP2           | 900                    | 1        | 900               | 80 000                 | 400                        | 32,00        | 40,50           | 0,025            | 88,89  | 0,036                             |
| ASAVET          | 700                    | 1        | 700               | 60 000                 | 300                        | 18,00        | 42,00           | 0,024            | 85,71  | 0,026                             |
| AGRIS           | 630                    | 1        | 630               | 40 000                 | 642                        | 5,6          | 56,70           | 0,018            | 63,49  | 0,009                             |

a) Vedení tepla ( $q$ ): $t_1 = 40 \text{ °C}$  (vstupní teplota do vany biofiltru) $t_2 = 13 \text{ °C}$  (teplota atmosféry) $\lambda = 0,325 \text{ [W/m.K]}$  $S = 1,5 \text{ m}$ 

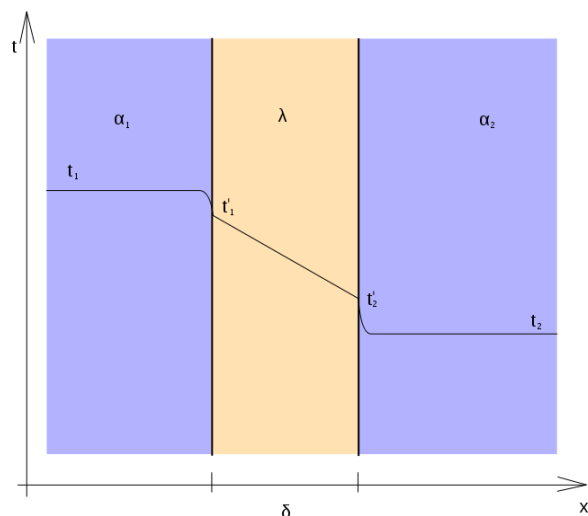
$$q = \frac{\lambda}{s} \cdot \Delta T$$

$$q = \frac{\lambda}{s} \cdot (t_1 - t_2)$$

$$q = \frac{0,325}{1,5} \cdot (40 - 13)$$

$$q = 0,216 \cdot 27$$

$$\underline{q = 5,835 \text{ [W} \cdot \text{m}^{-2}\text{]}}$$



Tab. 12 dynamická viskozita plynů

| Tabulka uvádí dynamické viskozity plynů: |                               |
|--|-------------------------------|
| Plyn                                     | $\eta_0 \cdot 10^{-6}$ [Pa.s] |
| Amoniak                                  | 9,18                          |
| Kyslík                                   | 18,9                          |
| Methan                                   | 10,26                         |
| Oxid siřičitý                            | 11,58                         |
| Sírovodík                                | 11,66                         |
| <b>Aritmetický průměr</b>                | <b>12,316</b>                 |

**b) Proudění:****Součinitel přestupu tepla ( $\alpha_1$ ):** $t_1 = 40$  °C (vstupní teplota do vany biofiltru) $t_2 = 13$  °C (teplota atmosféry) $\lambda = 0,325$  [W/m.K] $d = 1,5$  m (Tloušťka stěny) $\eta = 1,95 \cdot 10^{-5}$  (dynamická viskozita) $\rho = 1,112$  kg/m<sup>3</sup> (hmotnost vzduchu) $C_p = 2510$  [J/kg.K] (měrná tepelná kapacita) $\gamma = 3,200 \cdot 10^{-3}$ /K (součinitel objemové roztažnosti) $w = 0,037$  m/s (rychlost proudění) $g = 9,81$  m · s<sup>-1</sup> (gravitační konstanta)

$$\alpha_1 = 0,135 \cdot \frac{\lambda}{d} \cdot \left(\frac{d}{\lambda}\right)^{0,33} \cdot \left(\frac{v \cdot \rho \cdot C_p \cdot \gamma}{w^2}\right) \cdot \Delta t^{0,33} \cdot g^{0,33}$$

$$\alpha_1 = 0,135 \cdot g^{0,33} \cdot \left(\frac{\lambda}{d}\right)^{0,67} \cdot (\eta \cdot C_p \cdot \gamma)^{0,33} \cdot \frac{\Delta t^{0,33}}{w^{0,67}}$$

$$\alpha_1 = 0,289 \cdot \left(\frac{\lambda}{d}\right)^{0,67} \cdot \frac{\Delta t^{0,33}}{w^{0,67}} \cdot (\eta \cdot C_p \cdot \gamma)^{0,33}$$

$$\alpha_1 = 0,289 \cdot \left(\frac{0,325}{1,5}\right)^{0,67} \cdot \frac{27^{0,33}}{0,037^{0,67}} \cdot (1,95 \cdot 2510 \cdot 3,200)^{0,33}$$

$$\alpha_1 = 0,289 \cdot 0,358 \cdot 27,155 \cdot 24,227$$

$$\alpha_1 = \underline{\underline{67,066}}$$

**Součinitel přestupu tepla ( $\alpha_2$ ):** $t_1 = 40 \text{ }^\circ\text{C}$  (vstupní teplota do vany biofiltru) $t_2 = 13 \text{ }^\circ\text{C}$  (teplota atmosféry) $\lambda = 0,325 \text{ [W/m.K]}$  $d = 1,5 \text{ m}$  (Tloušťka stěny) $\nu = 1,79 \cdot 10^{-5}$  (kinetická viskozita) $C_p = 2510 \text{ [J/kg.K]}$  (měrná tepelná kapacita) $\gamma = 3,200 \cdot 10^{-3} / \text{K}$  (součinitel objemové roztažnosti) $w = 0,037 \text{ m/s}$  (rychlost proudění) $g = 9,81 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  (gravitační konstanta)

$$\alpha_2 = 0,54 \cdot g^{0,25} \cdot \frac{\lambda}{d} \cdot \left(\frac{d}{\lambda}\right)^{0,25} \cdot \left(\frac{\nu \cdot C_p \cdot \gamma}{w^2}\right)^{0,25} \cdot \Delta t^{0,25}$$

$$\alpha_2 = 0,995 \cdot \frac{\lambda^{0,75}}{d^{0,75}} \cdot \left(\frac{\nu \cdot C_p \cdot \gamma}{w^2}\right)^{0,25} \cdot \Delta t^{0,25}$$

$$\alpha_2 = 0,995 \cdot \frac{0,325^{0,75}}{1,5^{0,75}} \cdot \left(\frac{1,79 \cdot 2510 \cdot 3,200}{0,037^{0,5}}\right)^{0,25} \cdot 27^{0,25}$$

$$\alpha_2 = 0,995 \cdot \frac{0,43043}{1,35540} \cdot \left(\frac{14377,28}{0,192353}\right)^{0,25} \cdot 2,27950$$

$$\alpha_2 = 0,995 \cdot 0,317566 \cdot 16,534 \cdot 2,27950$$

$$\alpha_2 = \underline{\underline{11,908}}$$

**c) Sálání:**

$$\delta = 5,670400 \cdot 10^{-8} \text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-4} \text{ (Stefanova-Boltzmannova konstanta)}$$

$$\varepsilon_s = 0,91 \text{ (emisivita objektu)}$$

$$\varepsilon_t = 0,3 \text{ (emisivita okolního vzduchu)}$$

$$T_s = 313,15 \text{ °K (teplota objektu)}$$

$$T_t = 286,15 \text{ °K (teplota okolního vzduchu)}$$

$$I = (\delta \cdot \varepsilon_s \cdot T_s^4) - (\delta \cdot \varepsilon_t \cdot T_t^4); [W \cdot m^{-2}]$$

$$I = (5,670400 \cdot 0,91 \cdot 313,15^4) - (5,670400 \cdot 0,3 \cdot 286,15^4)$$

$$I = (5,670400 \cdot 0,91 \cdot 313,15^4) - (5,670400 \cdot 0,3 \cdot 286,15^4)$$

$$I = (5,670400 \cdot 0,91 \cdot 9616336769,241) - (5,670400 \cdot 0,3 \cdot 6704632855,921)$$

$$I = 49620913174,836 - 11405385043,864$$

$$I = 38215528130,972 [W \cdot m^{-2}]$$

**Sálání dle skript termomechaniky  $q_t$ :**

$$T_s = 313,15 \text{ °K (teplota objektu)}$$

$$T_t = 286,15 \text{ °K (teplota okolního vzduchu)}$$

$$A_s = 0,91 \text{ (emisivita objektu)}$$

$$A_t = 0,3 \text{ (emisivita okolního vzduchu)}$$

$$C = 5,670400 \cdot 10^{-8} \text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-4} \text{ (Stefanova-Boltzmannova konstanta)}$$

$$q_t = A \cdot c \cdot \left(\frac{T_n}{100}\right); [W \cdot m^{-2}]$$

$$q_t = A_s \cdot c \cdot \left(\frac{T_s}{100}\right) - q_t = A_t \cdot c \cdot \left(\frac{T_t}{100}\right)$$

$$q_t = 0,91 \cdot 5,670400 \cdot \left(\frac{313,15}{100}\right) - 0,3 \cdot 5,670400 \cdot \left(\frac{286,15}{100}\right)$$

$$q_t = 5,16 \cdot 3,1315 - 1,70 \cdot 2,8615$$

$$q_t = 16,158 - 4,864$$

$$q_t = 11,294 [W \cdot m^{-2}]$$

**d) Prostup tepla:**

Vedení tepla q:

$$q_t = \frac{\lambda}{s} \cdot (t_1 - t_2)$$

$$\underline{q = 5,835 [W \cdot m^{-2}]}$$

**Tepelný tok - k:** $t_1 = 40 \text{ }^\circ\text{C}$  (vstupní teplota do vany biofiltru) $t_2 = 13 \text{ }^\circ\text{C}$  (teplota atmosféry)

$$\alpha_1 = 67,066$$

$$\alpha_2 = 11,908$$

$$S = 1,5 \text{ m}$$

$$\underline{\lambda = 0,325 [W/m.K]}$$

$$k_1 = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{s}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_1}}$$

$$k_1 = \frac{1}{\frac{1}{67,066} + \frac{1,5}{0,325} + \frac{1}{67,066}}$$

$$k_1 = \frac{1}{0,0149 + 0,4875 + 0,0149}$$

$$k_1 = \frac{1}{0,5173}$$

$$\underline{k_1 = 1,933}$$

$$k_2 = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_2} + \frac{s}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2}}$$

$$k_2 = \frac{1}{\frac{1}{11,908} + \frac{1,5}{0,325} + \frac{1}{11,908}}$$

$$k_2 = \frac{1}{0,0839 + 4,6153 + 0,0839}$$

$$k_2 = \frac{1}{4,7831}$$

$$\underline{k_2 = 0,209}$$

**Výpočet teploty povrchu plochy:**

$$t_{s1} = ? \text{ } ^\circ\text{C} \text{ (teplota dna lože biofiltru)}$$

$$t_{s2} = ? \text{ } ^\circ\text{C} \text{ (teplota povrchu plochy lože biofiltru)}$$

$$t_1 = 40 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$t_2 = 13 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$q = 5,835 \text{ [W} \cdot \text{m}^{-2}\text{]}$$

$$\alpha_1 = 67,066$$

$$\alpha_2 = 11,908$$

$$k_1 = 1,933$$

$$\underline{k_2 = 0,209}$$

$$t_{s1} = t_1 - \frac{q_t}{\alpha_1}$$

$$t_{s1} = 40 - \frac{5,835}{67,066}$$

$$t_{s1} = 40 - 0,087$$

$$\underline{t_{s1} = 39,913 \text{ } ^\circ\text{C}}$$

$$t_{s2} = t_2 - \frac{q_t}{\alpha_2}$$

$$t_{s2} = 13 - \frac{5,835}{11,908}$$

$$t_{s2} = 13 - 0,49$$

$$\underline{t_{s2} = 12,764 \text{ } ^\circ\text{C}}$$

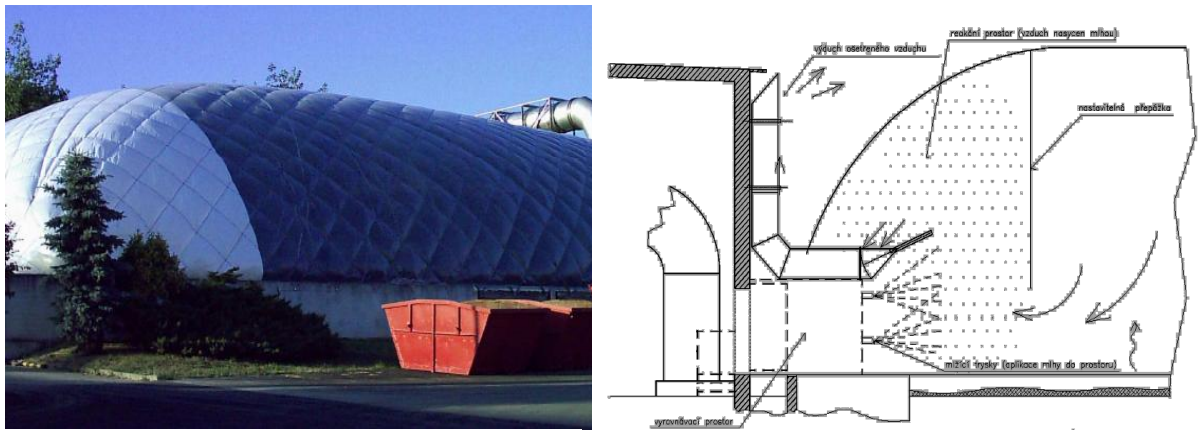


## 7.2 AD hypotéza\_5

### 7.2.1 Návrh řešení úniku pachových látek

Biofiltr je zařízení primárně určené pro čištění vzduchu od pachových emisí, které by za jiných okolností emitovaly do ovzduší. Jako náplň biofiltru se používá přírodní substrát složený z dřevní štěpky, trhaného pařezu a drcené kůry stromů. Substrát je vrstven v loži. V průběhu provozu tohoto zařízení byla zaznamenána nestabilita v homogenitě lože biofiltru. Přičemž dochází k mineralizaci lože biofiltru, sesedání lože biofiltru, zvyšování tlakové ztráty vzduchu na loži, k vysychání lože biofiltru a k zarůstání lože biofiltru mikroorganismy v prostorech nadměrně zvlhčovaných. Tyto faktory vedou k tvorbě parciálních ploch biofiltru, což jsou místa, kde je nižší tlaková ztráta. Tato místa propustí více čištěného vzduchu, zvýší se rychlost proudění vzduchu, dochází k většímu prosychání místa, čím se ještě více sníží tlaková ztráta. Vzduch proudí cestou nejmenšího odporu, tedy těmito parciálními plochami. Snižuje se doba kontaktu kontaminované vzdušiny s ložem biofiltru, navíc proschlá místa neobsahují aktivní mikroorganismy. Tím dochází k úniku velkého množství nevyčištěného vzduchu a snižuje se funkční účinnost biofiltru. Důsledkem defektní filtrační činnosti jsou nuceni provozovatelé a majitelé těchto zařízení přijmout dodatečná nápravná opatření vedoucí k dočištění kontaminované vzdušiny, unikající do okolní atmosféry.

Jedním ze způsobů jak docílit objektivních podmínek čistoty ovzduší a zajistit tak ochranu životního prostředí, je zařízení známé pod názvem „přetlaková dekontaminační hala.“ Náklady na pořízení a provozování dodatečných zařízení určených pro dočištění odpadního vzduchu jsou obecně vysokou finanční zátěží pro majitele a provozovatele asanačních podniků, potažmo pak půdních biofiltrů. Nejen tyto důvody nás vedou k výzkumu a vývoji odpovídající a dostatečně průkazné diagnostické metody.



**Obr. 45** Dvouplášťová folie potažená ocelovým lankem, Funkční schéma rozmlžovacího zařízení

Zdroj: (Auterská 2006)

### 7.2.2 Ekonomická kalkulace

Vzhledem ke skutečnosti, že filtrace pachových látek není dostatečná, tak je v současné době vyvinut způsob, jak docílit optimálních pachových limitů a neovlivňovat tak životní prostředí. Za účelem dočištění pachových látek z biofiltru bylo navrženo řešení, které spočívá v zakrytí biofiltru a vytvoření odpovídajícího prostředí pro bio rozložitelnost. Zařízení, které se k tomuto účelu používá, je v širší odborné veřejnosti známo jako přetlaková dekontaminační hala. Tato dekontaminace je prováděna prostřednictvím aplikace velmi jemné mlhy vytvářené pomocí speciálních trysek.

Do trysek je dopravována voda obohacená o koncentrát, který je schopen zapáchající složky ve vzduchu rozložit na soli a vodu. Marada, Mareček (2011). Vybavení biofiltru přetlakovou halou, za účelem efektivní dekontaminace zapáchajícího vzduchu před jeho rozptýlením do okolního (životního) prostředí, vyžaduje nemalé provozní náklady a její vybudování se stává značnou finanční zátěží pro majitele, či provozovatele asanačního podniku. Pořizovací cena přetlakové haly průměrně činí 2 000 000 Kč, přičemž náklady na její provoz každým rokem činí 300 až 400 tisíc korun. Vzhledem k tomu, že průměrná cena jednoho prostorového sypaného metru dřevní štěpky činí 500Kč. Pro celkovou obměnu náplně biofiltru o rozloze 600 m<sup>3</sup> to znamená náklad ve výši cca 300000 Kč / 1 rok. Je na první pohled patrná vysoká finanční náročnost bez nároku na rentabilitu. Předpokladem pro vybudování přetlakové haly je nežádoucí únik pachových látek do ovzduší. Příčinou takového jevu je nestabilní funkce filtru, který je

navržen a zřízen právě k tomuto účelu. Nehomogenní lože filtru vytváří defektní prostředí s parciálními plochami o nižší tlakové ztrátě. Při pravidelné periodické kontrole funkce a činnosti půdních biofiltrů pomocí termovizních metod, je možné za předpokládanou dobu sledování cca tří let, stanovit časový plán výměny náplně biofiltru, nebo pouze prokypření, tedy periodické promísení (překopání) náplně lože biofiltru v perspektivním horizontu a tím zajistit nejen homogenitu lože biofiltru, ale přednostně i dlouhodobou stabilitu primární funkce, tedy čištění kontaminované vzdušiny a zamezení její emitace do ovzduší.

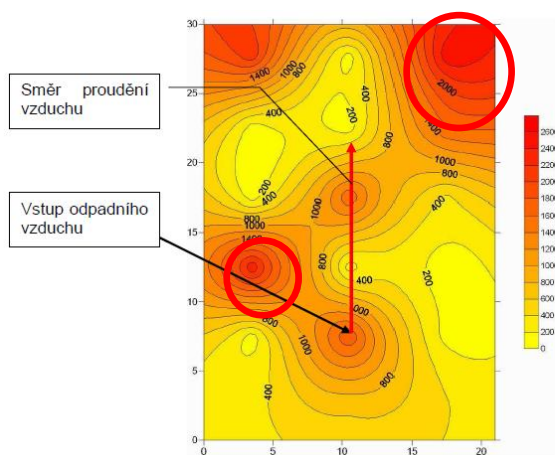
### 7.3 AD hypotéza\_6

Výhody termovizních metod spočívají v bezdotykovém způsobu měření, rychlém získávání výsledků a pořizování efektivních závěrů. Snadná a časově nenáročná analýza pořizovaných záznamů vede k možnosti bezprostřednímu stanovení opatření. Vzhledem k faktu, že pachové limity definované platnou legislativou, zejména pak se zákonem o ovzduší č. 472/2005 Sb. v platném znění, vyhláškou č. 362/2006 Sb. v platném znění, a nařízením vlády o sledování a vyhodnocování kvality ovzduší č. 597/2006 Sb. lze ověřit dynamickou olfaktometrií, je sledována kombinace monitoringu půdních biofiltrů pomocí termovizních metod s dynamickou olfaktometrií jakožto žádoucí propojení diagnostických možností moderní doby. Doporučujeme včasnou a systematicky opakovanou diagnostikou dle metodických pokynů, na jejichž základě lze stanovit periodický plán výměny náplně biofiltru, nebo její periodické promísení. Dále pak sestavení časových intervalů zavlažování a určení množství vody diferencovaně aplikované na kritická místa potenciálního vzniku ploch biofiltru s nižší tlakovou ztrátou. Po archivaci výsledků měření, navrhuje jako další krok opětovné měření v intervalu 3 měsíců a další po půl roce. Tento způsob sledování je doporučován všem majitelům, či provozovatelům podobného zařízení. Monitoring plochy půdního biofiltru je nedílnou součástí jeho provozování a zajištění bezpečnosti provozu. V souladu s environmentálními aspekty, tak i aspektu uvedeného v legislativě pod nařízením vlády č. 597/2006 Sb. o sledování a vyhodnocování kvality ovzduší, jsou uvažovány sankce: např. ztráta dobrého jména, finanční postih, zákaz nebo omezení činnosti. Doporučujeme provádět soustavně a systematicky před i po promísení směsi, tak i po výměně náplně půdního biofiltru.

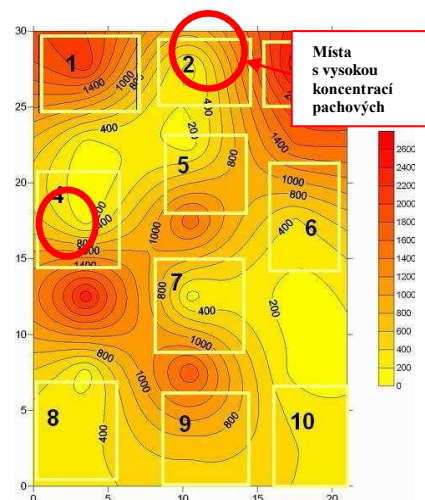
## 8 DISKUSE

### 8.1 Rozbor výsledků měření

Pro testování metodou dynamické olfaktometrie byl zvolen a několikrát proměřen velkoplošný biofiltr asanační společnosti<sup>5</sup> ASAP. Technika odběru vzorků byla pomocí stacionárního odběru plachtou o velikosti 4x5m, tedy o ploše 20 m<sup>2</sup> a kruhovou příklopou o průměru 0,6 m, tedy ploše odběru 0,3m<sup>2</sup>. Biofiltry byly rozděleny do čtverců o ploše 30 m<sup>2</sup>. (Auterská 2007). Výsledky tohoto měření prokázaly, že zde dochází k úniku pachových emisí do ovzduší. Dále byla definována místa s nižší tlakovou ztrátou s nejvýznamnějším únikem. Pomocí grafického programu SURFER byla vytvořena mapa povrchové plochy biofiltru s důrazem na místa úniku pachových částic. Urban, Marada, Mareček (2011)



**Obr. 46** Biofiltr s nerovnoměrným prouděním pod ložem biofiltru, Zdroj:(Auterská 2007)



**Obr. 47** Rozmístění měřících bodů pro velké a komplikované biofiltry, Zdroj: (Auterská 2007)

<sup>5</sup> Kafilérie je asanační podnik, ve kterém se neškodně odstraňují odpady živočišného původu (dnes označované jako vedlejší živočišné produkty, VŽP), jako např. zkažené maso, uhynulá zvířata a především pro lidskou výživu nevyužívané části zvířat porážených na jatkách.

V případě monitoringu pomocí termovizních metod bylo v roce 2010 zahájeno první z řady měření povrchových teplot plochy půdního biofiltru. Za pomoci termovizního zařízení Therma CAM E 320 bylo uskutečněno periodické měření. Výsledkem jsou fotografie zachycující povrchovou teplotu náplní biofiltru, resp. prostup vzdušiny. Tyto plochy vznikají na místech s nižší tlakovou ztrátou, následkem nerovnoměrně proudícího teplého vzduchu v prostoru lože biofiltru. Vzniklá místa s nižší tlakovou ztrátou nejen ovlivňují teplotu substrátu, ale také snižují požadovanou vlhkost substrátu potřebnou pro činnost a život mikrobiologických kultur.

Ve společnosti ASAP s.r.o., bylo ověřeno a prokázáno, že vzduch se plochou lože biofiltru rozprostírá nerovnoměrně. Dále, že tento vzduch cirkuluje a při filtraci tělesem biofiltru vznikají nežádoucí plochy s nižší tlakovou ztrátou. Na základě zpracování výsledků byl sestaven periodický plán měření. Opatření vedla k optimalizaci činnosti biofiltru a k eliminaci negativního dopadu na životní prostředí, únikem pachových emisí do ovzduší. Urban, Marada, Mareček (2010)

Při srovnání alternativních metod jako jsou dynamická olfaktometrie, termovizní metoda a kontaktní teploměr, byly stanoveny tyto závěry.

Dynamická olfaktometrie koreluje s termovizními metodami. Termovizní metody byly shledány jako spolehlivou alternativou měření povrchové teploty materiálu, což dokazuje relativní odchylka teplot mezi naměřenými vzorky, která činí maximálně 4,3 °C a minimálně 0,9 °C,

což při zprůměrování všech teplot činí 2,55 °C rozdílu.

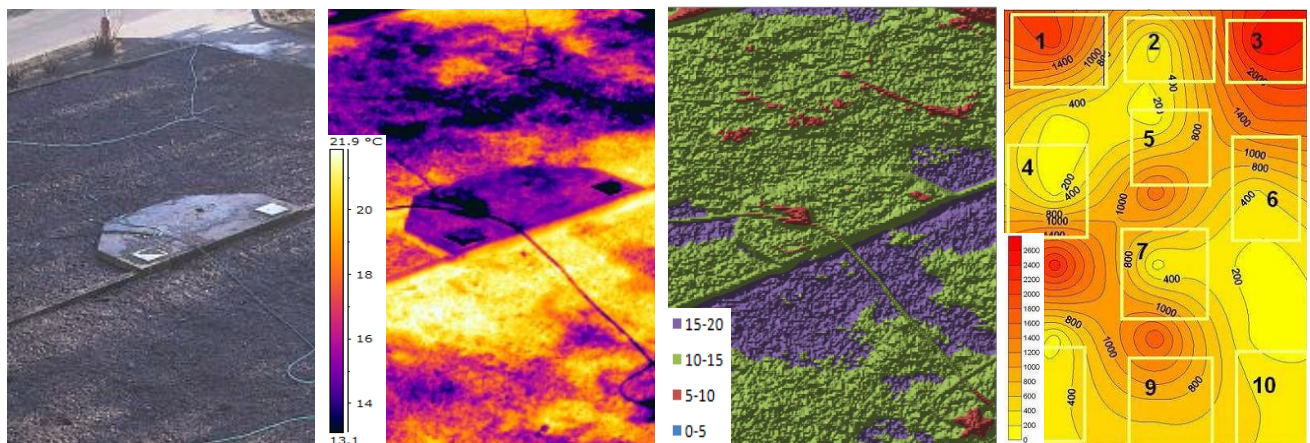
Vzhledem k malé časové náročnosti a vysoké efektivitě měření shledáváme termovizní metody pro monitoring půdních biofiltrů jako vhodný způsob posuzování funkčnosti a správné činnosti dezodoračního zařízení. V porovnání s metodou vzorkování pomocí dynamické olfaktometrie bylo prokázáno, že tepelně výraznější lokality na ploše půdního biofiltru, tzv. místa s nižší tlakovou ztrátou, představují kritické prostředí pro existenci mikrobiologických organismů potřebných pro zachování funkce dezodorace. Ve srovnání s dynamickou olfaktometrií nelze termovizní metodou stanovit kritickou hodnotu úniku pachových částic. Na základě dostupných informací o kultivačních podmínkách resp. teplotách vhodných pro život a množení mikroorganismů, lze identifikovat kritická místa úniku pachových emisí do ovzduší.

---

Výhody termovizních metod spočívají v bezdotykovém způsobu měření, rychlém získávání výsledků a pořizování efektivních závěrů. Tato analýza pořizovaných záznamů vede k možnosti bezprostřednímu stanovení opatření. Vzhledem k faktu, že pachové limity definované platnou legislativou, zejména pak se zákonem o ovzduší č. 472/2005 Sb., vyhláškou č. 362/2006 Sb., a nařízením vlády o sledování a vyhodnocování kvality ovzduší č. 597/2006 Sb. lze ověřit dynamickou olfaktometrií, je sledována kombinace monitoringu půdních biofiltrů pomocí termovizních metod s dynamickou olfaktometrií jakožto žádoucí propojení diagnostických možností moderní doby.

Doporučuji včasnou a systematicky opakovanou diagnostikou dle metodických pokynů, na jejichž základě lze stanovit periodický plán výměny náplně biofiltru, nebo její periodické promísení. Dále pak sestavení časových intervalů zavlažování a určení množství vody diferencovaně aplikované na kritická místa potenciálního vzniku ploch biofiltru s nižší tlakovou ztrátou. Urban, Marada, Mareček (2011).

Pro archivaci výsledků měření navrhuji jako další krok opětovné měření v intervalu 3 měsíců a další po půl roce. Tento způsob sledování doporučuji všem majitelům, či provozovatelům podobného zařízení. Urban, Marada, Mareček (2011)



**Obr. 48** Digitální fotografie, termovizní snímek, termograf (EXCEL) dynamická olfaktometrie (SURFER)

Biofiltrační zařízení v podniku ASAP s.r.o. bylo v minulých letech měřeno pomocí metody dynamické olfaktometrie, metody odběru vzorků kontaktním teploměrem, termovizní metodou a axiálním anemometrem. Došlo ke vzájemnému srovnání výše uvedených metod měření s následujícími závěry.

Princip dynamické olfaktometrie spočívá v naředění vzorku s pachem takovým množstvím čistého vzduchu, aby byla nalezena koncentrace pachu, kterou jsou definovaní posuzovatelé (splňující kritéria normy ČSN EN 13725) ještě schopni vnímat, tzv. čichový práh.<sup>6</sup> (Auterská 2007) Odběr vzorků pachových látek prostřednictvím dynamické olfaktometrie spočívá v aplikaci tzv. příklopů, či plachet na ploše tělesa biofiltru. Do těchto prostor se poté jímá filtrovaná vzdušnina, která je podrobena čichové analýze. Kvalitu a přesnost měření zde ovlivňuje koncentrace a rozmístění příklopů na ploše biofiltru. Po zpracování výsledků je možné objektivně určit místa s nižší tlakovou ztrátou (tedy místa, kde dochází ke snižování koncentrace mikrobiologických kultur.), odkud unikají pachové emise do ovzduší.

Mikrobiologické kultury v procesu biofiltrace představují klíčovou úlohu. Jejich význam spočívá ve schopnosti rozkládat biodegradabilní znečištění. Teplota má velký vliv na život a koncentraci mikroorganismů v náplni biofiltru, následně pak na účinnost biofiltrace. Pro biofiltraci kontaminované vzdušiny *dosahujeme žádaného procesu při teplotách 10-25 °C*. Mareček a kol. (2011)

Protože do biofiltru vstupuje teplý vzduch, dochází ke kolísání tohoto optimálního teplotního rozsahu. V případě, že by mikroorganismy, pro které představují odpadní polutanty<sup>7</sup> zdroj živin a potravy, byly vystaveny krátkodobě teplotě přesahující 40 °C, bude docházet k nedostatečné výměně kyslíku, tedy k rapidnímu poklesu koncentrace tolik potřebných mikroorganismů. (Urban, Marada 2010) K posouzení účinnosti biofiltru bylo zahájeno termovizní snímání povrchové plochy biofiltru. Termovizní metody představují bezkontaktním způsob měření povrchové teploty materiálů. V podstatě jde o zobrazení teploty v elektromagnetickém spektru vlnového pásma infračerveného záření ležícího mezi hodnotami vlnové délky 0,8  $\mu\text{m}$  – 400  $\mu\text{m}$ . Výstupem z takového měření jsou fotografie v barevně oddělených teplotních úrovních. Po zpracování a rozboru těchto snímků lze definovat teplotu v jednotlivých partiálních plochách biofiltru. Díky tomuto zařízení je možné periodicky měřit plochu tělesa půdního biofiltru a následně s potřebnou přesností určit kritická místa, kde by mohlo

---

<sup>6</sup> Čichový práh je roven jedné pachové jednotce. Koncentrace pachových jednotek vyjadřuje, kolikrát je nutné naředit 1 m<sup>3</sup> vzorku pachu čistým „bezpachovým“ vzduchem tak, aby bylo dosaženo čichového prahu.

<sup>7</sup> Polutant je znečišťující, odpadní látka

dojít k úniku pachově znečištěného vzduchu do okolního ovzduší. Urban, Marada, Mareček (2011)

Předpokladem pro nadměrný únik pachových látek do ovzduší je dosažení kritických teplot nad 40 °C, Při měření byla zjištěna průměrná teplota 31 °C. Průměrná rychlost proudícího vzduchu je 0,03 m/s. Korelační test potvrdil vysoce průkaznou závislost mezi teplotou plochy půdního biofiltru a rychlosti proudícího vzduchu.

Pokud budou brány v úvahu tyto výsledky, můžeme hovořit o vlivu rychlosti proudícího vzduchu na teplotu lože půdního biofiltru. Návrh opatření vedoucí ke snížení teploty je nastavení ventilačního systému na nižší výkon, tedy snížit rychlost vzduchu na vstupu do prostoru rozvodu pod ložem biofiltru a tím i rychlost, kterou se vzduch šíří přes náplň půdního biofiltru.

### 8.1.1 Korelace dynamické olfaktometrie a termovizní metody

Dynamická olfaktometrie koreluje s termovizními metodami. Termovizní metody byly shledány jako spolehlivou alternativou měření povrchové teploty. Vzhledem k malé časové náročnosti a vysoké efektivitě měření shledáváme termovizní metody pro monitoring půdních biofiltrů jako vhodný způsob posuzování funkčnosti a správné činnosti dezodoračního zařízení. V porovnání s metodou vzorkování pomocí dynamické olfaktometrie bylo prokázáno, že tepelně výraznější lokality na ploše půdního biofiltru tzv. místa s nižší tlakovou ztrátou představují kritické prostředí pro existenci mikrobiologických organismů potřebných pro zachování funkce dezodorace. Ve srovnání s dynamickou olfaktometrií nelze termovizní metodou stanovit kritickou hodnotu úniku pachových částic. Nicméně na základě dostupných informací o kultivačních podmínkách, resp. teplotách vhodných pro život a množení mikroorganismů, lze identifikovat kritická místa úniku pachových emisí do ovzduší. Výhody termovizních metod spočívají v bezdotykovém způsobu měření, rychlém získávání výsledků a pořizování efektivních závěrů. Snadná a časově nenáročná analýza pořizovaných záznamů vede k možnosti bezprostřednímu stanovení opatření. Vzhledem k faktu, že pachové limity definované platnou legislativou, zejména pak se zákonem o ovzduší č. 472/2005 Sb., vyhláškou č. 362/2006 Sb., a nařízením vlády o sledování a vyhodnocování kvality ovzduší č. 597/2006 Sb.



### 8.1.2 Tepelné vlastnosti dřeva

Vedle chemické složení ovlivňují hořlavost dřeva zejména anatomická stavba, hustota, vlhkost dřeva a kvalita povrchu. Anatomická stavba dřeva kromě svého ovlivnění tepelných vlastností dřeva má přímý vliv na hoření dřeva. Vliv je dán pórovitostí dřeva, velikostí mikro- a makrokapilár, které ovlivňují transport kyslíku do dřeva a odvod plyných produktů pyrolýzy. Degradace dřeva termickým rozkladem se projeví rostoucí pórovitostí dřeva.

Hustota dřeva ovlivňuje množství energie nutné na zapálení a hoření dřeva. Vliv hustoty se ale projeví jen při stejném chemickém složení dřeva. Např. dřeva s vyšším obsahem celulózy jsou hořlavější i v případě, že mají vyšší hustotu. Chemické složení je vždy důležitější než hustota dřeva.

S rostoucí vlhkostí se zvyšuje i odolnost dřeva proti zapálení a hoření. Vysvětlení spočívá ve skutečnosti, že se část tepelné energie spotřebuje na odpaření vody volné a narušení vazeb a odpaření vody vázané. Navíc vodní parou zředěné hořlavé plyny mají nižší koncentraci a tím i horší zápalnost. Voda obsažená ve dřevě je proto dobrým retardérem hoření, ale pro negativní vliv na většinu ostatních fyzikálních a mechanických vlastností je z praktického hlediska tato schopnost nevyužitelná.

Povrch materiálu je další fyzikální vlastností, která významnou měrou ovlivňuje hoření. Dřevo jako kapilárně-pórovitý materiál se vyznačuje drsností, která kromě způsobu opracování závisí na anatomické stavbě. Kvalita povrchu ovlivňuje zejména koeficienty přestupu tepla a vlhkosti ze dřeva do prostředí, což má význam při difúzi vody a tepla ve dřevě. Kvalitní a hladký povrch odráží tepelnou energii, a tím je hůře zápalný než povrch drsný při stejných zátěžových podmínkách. Broušené povrchy proto lépe odolávají působení tepelného zdroje a čas vzplanutí dosahuje nejvyšších hodnot. Důležitým faktorem z hlediska šíření tepla ve dřevě je poměr objemu tělesa k jeho povrchu. S klesající hodnotou tohoto poměru (štěpka, třísky, prachové částice) je zápalnost mnohem snadnější.

## 8.2 Využití termografie v praxi

Uvedené obory jsou pouze pro získání přehledu základních principů měření. Aplikací využívajících termovizního měření je mnohem více, ale využívají v zásadě stejných nebo podobných principů. (Šmíd 2007). Zejména v posledních letech se ve velkém využívá termografie k měření úniků tepla na povrchu stavebních konstrukcí. Pomáhají odhalit konstrukční vady vzniklé špatně odvedenou prací, stářím objektu, navlhání zdiva a tepelné mosty<sup>8</sup>. I při takto rozsáhlých měření je potřeba dbát na zásady bezchybného měření. Největší překážkou je samotná teplota okolí. Tento druh měření se může provádět pouze v zimním období, kdy je odstup venkovních teplot znatelný od teplot uvnitř konstrukce. (Šmíd 2007)

Diagnostika v odvětví:

- Elektroinstalace
- Mechanicky namáhané stroje
- Hledání potrubí, detekce úniků
- Fotovoltaické elektrárny

V průmyslu má termografie dvojí hlavní využití. Přesné měření vysokých teplot a jejich rozptýlení na povrchu materiálů popřípadě sledování procesu tuhnutí a bezpečnostní využití ve smyslu předcházení nákladných havárií průběžnými prevencemi.

První využití se uplatňuje hlavně v hutním průmyslu při slévání a tepelné úpravě kovů, měření rozložení teploty na plášti průmyslových strojů, měření rozložení teploty plamene hořáku atd. Zásadní výhodou je bezkontaktní měření, možné i přes transparentní materiály<sup>9</sup>.

plamene hořáku atd. Zásadní výhodou je bezkontaktní měření, možné i přes transparentní materiály. (Zembol 2010)

V oblasti bezpečnosti se termografie využívá převážně k monitoringu elektrických a mechanicky namáhaných zařízení, pro identifikaci případných závad již v prvotních

---

<sup>8</sup> *Tepelný most je místo v konstrukci, kde dochází k větším tepelným tokům než v jeho okolí. Projevuje se chladnějším povrchem.*

<sup>9</sup> *Průhledný materiál*

stádiích. Využití ve zdravotnictví. Lidské tělo jako většina organismů samo o sobě produkuje teplo. Pokud v organismu dochází k určitým změnám způsobeným onemocněním, neprokrvením nebo jiným změnám metabolismu<sup>10</sup>, projeví se tato změna i na teplotní struktuře. Pomocí termografických metod je možné předejít závažným onemocněním v prvotních stádiích vzniku. Diagnostika lze rozdělit do dvou skupin. V první skupině se jedná o nalezení ložisek zánětů a infekcí, které vedou k zvýšení teploty infikované oblasti. Druhou skupinou je nedokrvení, projevující se naopak snížením teploty postižené oblasti. (Šimko 2000)

Oblast vědy a výzkumu. Jedná se o další významnou oblast v termografii. Využití najde v následujících odvětvích:

- Vývoj materiálů
- Kontrola kvality
- Nedestruktivní defektoskopii
- Rozložení teplot na DPS

Využívá se hlavně v případech, kdy je potřeba nedestruktivní metodou otestovat materiály (elektronické součástky) a analyzovat termogramy v reálném čase s možností ukládání záznamů statických i dynamických dějů.

Termografie v slaboproudé elektronice<sup>11</sup> podává informace o rozložení teplot na DPS. Na základě této informace se upraví rozmístění součástek tak, aby se minimalizovalo ovlivnění tepelně závislých částí, případně se implementuje chladicí mechanismus. Jak již bylo v mnoha případech zmíněno, nesprávná funkce určitého zařízení, vada součástek, vada materiálů, vada vodičů a podobně, se ve většině případů projevuje teplotními změnami. Pokud není přímým důsledkem nesprávné funkce teplotní změna, je možné vady odhalit teplotním působením (ohřev, ochlazení) na objekt a následnou teplotní analýzou vady odhalit. (Šmíd 2007)

---

<sup>10</sup> *Metabolismus je soubor všech enzymových reakcí (tzv. metabolických drah), při nichž dochází k přeměně látek a energií v buňkách a v živých organismech. Podle směru probíhající změny, která se s komplexní organickou molekulou děje, rozdělujeme metabolismus na anabolismus (výstavbový proces, biosyntéza) a katabolismus (rozkladový proces).*

<sup>11</sup> *Slaboproudá elektronika je termín pro tu část elektrotechniky, která se zabývá nízkovýkonovou technikou a ne především elektrickým napájením. Elektrina je u ní prostředkem přenosu a zpracování signálu, informací, např. optických nebo zvukových (počítače, rozhlas, televize, zvukotechnika)*

## 9 ZÁVĚR

### 9.1 AD Cíl 1

Na základě srovnávací metody byla prokázána korelační závislost povrchové teploty biofiltru na hodnotách koncentrace pachových látek. Ve srovnání s dynamickou olfaktometrií nelze termovizní metodou stanovit kritickou hodnotu úniku pachových částic. Nicméně na základě dostupných informací o kultivačních podmínkách resp. teplotách vhodných pro život a množení mikroorganismů, lze identifikovat kritická místa úniku pachových emisí do ovzduší.

Výhody termovizních metod spočívají v bezdotykovém způsobu měření, rychlém získávání výsledků a pořizování efektivních závěrů. Snadná a časově nenáročná analýza pořizovaných záznamů vede k možnosti bezprostřednímu stanovení opatření. Vzhledem k faktu, že pachové limity definované platnou legislativou, zejména pak se zákonem o ovzduší č. 472/2005 Sb., vyhláškou č. 362/2006 Sb., a nařízením vlády o sledování a vyhodnocování kvality ovzduší č. 597/2006 Sb. lze ověřit dynamickou olfaktometrií, je shledána kombinace monitoringu půdních biofiltrů pomocí termovizních metod s dynamickou olfaktometrií jakožto žádoucí propojení diagnostických možností. (Auterská 2007) Hypotéza byla potvrzena.

### 9.2 AD Cíl 2

Při srovnání termovizní metody a dotykového teploměru lze konstatovat, že termovizní metody jsou spolehlivou alternativou měření povrchové teploty materiálu což dokazuje relativní odchylka teplot mezi termokamerou naměřenými vzorky a kontaktním teploměrem, která činí maximálně 4,3 °C a minimálně 0,9 °C což při zprůměrování všech teplot činí 2,55 °C rozdílu. Hypotéza byla potvrzena.

### 9.3 AD Cíl 3

V testu obyčejné metody nejmenších čtverců byla prokázána závislost teploty plochy půdního biofiltru na rychlosti proudícího vzduchu. Tato závislost je však velmi malá, ale statisticky vysoce průkazná. Lineárně regresní průběh křivky dokazuje, že teplota povrchu půdního biofiltru se zvyšuje současně, zvýší-li se rychlost vzduchu. Při srovnání alternativních metod jako jsou měření rychlosti proudícího vzduchu axiálním anemometrem a termovizní metodou, byly stanoveny tyto závěry. Měření rychlosti proudícího vzduchu axiálním anemometrem koreluje s termovizními metodami. Ve srovnání s termovizní metodou nelze axiálním anemometrem identifikovat kritickou hodnotu teploty půdního biofiltru. Metoda měření rychlosti proudícího vzduchu se podobně jako termovizní metoda, prokázala jako spolehlivý způsob lokalizování ploch s nižší tlakovou ztrátou. Hypotéza byla potvrzena.

### 9.4 AD Cíl 4

Při výpočtu teploty na povrchu plochy biofiltru byl zjištěn rozdíl teploty dna biofiltru, která činí 40 °C a teploty na povrchové ploše biofiltru, která je 12 °C. Na základě výpočtu je prokázáno, že vlivem sdílení tepla při proudění teplého vzduchu ložem biofiltru dojde k jeho ochlazení o 28 °C. Na změnu teploty vstupních a výstupních ploch mají vliv tepelné vlastnosti materiálu „dřevní štěpky“, který je v loži použit. Majitelům a provozovatelům biofiltračních zařízení doporučujeme používat kvalitní dřevní štěpku s vhodnými tepelnými vlastnostmi. Důležitým faktorem z hlediska šíření tepla ve dřevě je poměr objemu tělesa k jeho povrchu. S klesající hodnotou tohoto poměru (štěpka, třísky, prachové částice) je zápalnost mnohem snadnější. Hypotéza byla potvrzena.

## 9.5 AD Cíl 5

Je třeba konstatovat, že biofiltr plní účel, pro který je primárně určen a výstavba přetlakové dekontaminační haly, nebo kteréhokoli jiného zařízení pro dočištění pachových látek není nezbytně nutné.

Význam termovizního monitoringu povrchové plochy půdního biofiltru, tedy spočívá nejen v lokalizaci parciálních ploch a definování heterogenity substrátu, ale také ve snížení pořizovacích a provozních nákladů na výstavbu a údržbu dodatečných zařízení, které by za těchto okolností postrádaly vlastní smysl.

Což je zejména z hlediska ekonomické kalkulace ceny přetlakové haly, velmi významný a hospodárný závěr. Hypotéza byla vyvrácena.

## 9.6 AD Cíl 6

Na základě experimentu nebyly stanoveny žádné environmentální problémy, které by snad mohly nějakým způsobem negativně ovlivnit podnikatelskou činnost, nebo ze kterých by plynuly negativní důsledky pro podnikání.

Doporučuji opětovné měření a sledování půdního biofiltru asanačního podniku ASAP s.r.o., který by mohl v budoucnu svojí nesprávnou činností mít vliv na pachové znečištění ovzduší, což je negativní faktor ovlivňující životní prostředí, tedy by porušoval jeden z environmentálních aspektů. Důsledek by v takovém případě mohl představovat komplikace ze strany ochránců životního prostředí, nebo ze strany občanů žijících v blízkosti tohoto zařízení, tyto tlaky by se v budoucnu mohly vystupňovat až k hranici únosnosti pro podnikatelský subjekt, tedy by měly přímý vliv na podnikatelskou činnost společnosti ASAP s.r.o.

Za porušení tohoto aspektu uvedeného v legislativě pod nařízením vlády 597/2006 Sb. O sledování a vyhodnocování kvality ovzduší, jsou dány tyto sankce : např. ztráta dobrého jména, finanční postih, zákaz nebo omezení činnosti.

Včasnou a systematicky opakovanou diagnostikou lze stanovit periodický plán výměny náplně biofiltru, nebo její periodické promísení, dále pak sestavení metodických zavlažovacích procedur, jejich intervalů a zacílenou aplikací na kritická místa tzv. místa s nižší tlakovou ztrátou.

Jako další krok navrhuji opětovné měření v intervalu 3 měsíců a další po půl roce. Tento způsob sledování doporučuji všem majitelům, či provozovatelům podobného zařízení.

Měření upravuje publikace, Metodika pro hydrotermickou stabilizaci biologicky rozložitelných odpadů včetně podmínek provozu vhodného zařízení a zařízení pro minimalizaci / odstraňování pachových emisí souvisejících s provozem této techniky, která vznikla na základě vědecké činnosti jako jeden z výsledků této disertační práce.

V publikaci jsou využity výsledky výzkumných prací z projektu – funkčního úkolu s názvem „Hydrotermická stabilizace biologicky rozložitelných odpadů v podmínkách nových environmentálních technologií zemědělské a asanační praxe“, který řešil Ústav zemědělské, potravinářské a environmentální techniky Mendelovy univerzity v Brně na základě Smlouvy o dílo č. 178 – 2011 – 17412, č.j.: 101417/2011 – MZe – 17412 pro Odbor bezpečnosti potravin Ministerstva zemědělství. Hypotéza byla potvrzena.

## 10 LITERATURA:

- [1] ADLER, S.: *Biofiltration – a primer*, *Chemical Engineering Progress*, No. 4:33-41.2001
- [2] AUTERSKÁ P. *Provozování půdních biofiltrů v podmínkách zařízení na odstraňování nebo využití konfiskátů živočišného původu a živočišného odpadu*. Dokument o řešení funkčního úkolu pro MZe. MZLU v Brně. Brno 2007. 45 s.
- [3] AUTERSKÁ P. *Vypracování návrhu metodiky měření zápachu na biofiltrech*. Zpráva o řešení funkčního úkolu pro MZe. MZLU v Brně. Brno 2006. 19 s.
- [4] AUTOMA: *časopis pro automatizační techniku*. 2012, [online]. Dostupné z WWW: <[http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id\\_document=32519](http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id_document=32519)>.
- [5] ČSN 14015, *Specifikace pro navrhování a výrobu nadzemních vertikálních válcových svařovaných ocelových nádrží s plochým dnem, zhotovovaných na místě provozování, určených pro skladování kapalin při teplotě okolí a vyšší*
- [6] ČSN EN 13725, *česká technická norma: Kvalita ovzduší – Stanovení koncentrace pachových látek dynamickou olfaktometrií*, Český normalizační institut, Listopad 2003
- [7] ČSN EN ISO 7726. *Ergonomie tepelného prostředí – přístroje pro měření fyzikálních veličin*. Praha: Český normalizační institut.
- [8] ČSN EN ISO 7730. *Mírné tepelné prostředí. Stanovení ukazatelů PMV a PPD a popis podmínek tepelné pohody*. Praha: Český normalizační institut, 1997.
- [9] ČSN ISO 13372 *Monitorování stavu a diagnostika strojů - Slovník*
- [10] ČSN ISO 13372, *Monitorování stavu a diagnostika strojů – Slovník*
- [11] ČSN ISO 14015, *Environmentální posuzování míst a organizací (EPMO)*, 2003-06-01, 32 str.
- [12] ČSN ISO 18436-1 *Monitorování stavu a diagnostika strojů - Požadavky na kvalifikaci a posuzování pracovníků - Část 1: Požadavky na posuzující orgány a proces posuzování*
- [13] ČSN ISO 18436-8, *Monitorování stavu a diagnostika strojů - Požadavky na kvalifikaci a posuzování pracovníků*
- [14] EN 13725, *Air quality-Determination of odour concentration by dynamic olfactometer*, CEN TC 264 WG 2 N 251, 2003
- [15] EN 137253 *Metoda dynamické olfaktometrie*



- [16] FLIR, 2012. *www.flir.com*. [online]. Dostupné z WWW:  
<<http://www.flir.com/thermography/eurasia/en/content/?id=11430>>.69
- [17] FUKÁTKO, Tomáš: *Detekce a měření různých druhů záření*, BEN-technická literatura, Praha 2007
- [18] HONNER M.: *Infračervená kvantitativní termografie ve výzkumu fyzikálních technologií*. ZČU, Plzeň, 2004.
- [19] HOTEL, C. H., SAROFIM, F. A. *Přenos tepla zářením*. Praha : SNTL, 1979. 501 s.
- [20] CHUPÁČ, M.: *Diagnostika anténových systémů rozhlasových vysílačů s využitím termovize*. [Doktorandská dizertační práce.] ŽU Žilina, 2002.
- [21] ISO 9039: 2008 *Optics and photonics—Quality evaluation of optical systems—Determination of distortion*.
- [22] ISO 9358: 1994 *Optics and optical instruments; Veiling glare of image forming systems; Definitions and methods of measurement*.
- [23] KEYES, R. J., ed. 1977. *Optical and infrared detectors*. Berlin: Springer-Verlag.
- [24] LYSENKO, Vladimír: *Detektory pro bezdotykové měření teplot*, BEN-technická literatura, Praha 2005
- [25] MARADA, P.— MAREČEK, J. *Možnosti dočištění kontaminovaného vzduchu jímaného z výstupu biofiltru*, Mendelova univerzita, Brno 2011. 30 str.
- [26] MAREČEK, J. JUNGA, P. VOCILKOVÁ, P. KRČÁLOVÁ, E. URBAN, L. MARADA, P. HAVLÍČEK, Z. SLÁMA, P. SKLÁDANKA, J. *Metodika pro hydrotermickou stabilizaci biologicky rozložitelných odpadů včetně podmínek provozu vhodného zařízení a zařízení pro minimalizaci / odstraňování pachových emisí souvisejících s provozem této techniky*. 2011, ISBN:978-80-7375-581-2
- [27] MATĚJŮ V.: *Biofiltrace vzduchu*. *Biom.cz* [online]. 2005-01-31 [cit. 2006-10-09]. Dostupné z WWW:  
<<http://biom.cz/index.shtml?x=220910>>. ISSN: 1801-2655.
- [28] Nařízení vlády o sledování a vyhodnocování kvality ovzduší č. 597/2006 Sb.
- [29] PAVELEK, M, JANOTKOVA, E., ŠTĚTINA, J. *Vizualizační a optické měřicí metody* [online]. 2. vyd. 2007 [cit. 2012-05 09]. Dostupné z:  
<http://ottp.fme.vutbr.cz/~pavelek/optika/0202.htm>
- [30] PAVELEK, M. *Termomechanika*. Vyd. 3. přeprac. / . Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2003, 284 s. Učební texty vysokých škol (Vysoké učení technické v Brně). ISBN 80-214-2409-5.
-

- [31] PAVELEK, M. *Termomechanika*: 19. Přenos tepla záření [online]. 2006 [cit. 2012-05-09]. Dostupné z: [http://ottp.fme.vutbr.cz/users/pavelek/termo/19\\_Zareni.pdf](http://ottp.fme.vutbr.cz/users/pavelek/termo/19_Zareni.pdf)
- [32] PAVELEK, M. *Termomechanika*: Přenos tepla záření. [online]. [cit. 2013-06-30]. Dostupné z: [http://ottp.fme.vutbr.cz/~pavelek/termo/19\\_Zareni.pdf](http://ottp.fme.vutbr.cz/~pavelek/termo/19_Zareni.pdf)
- [33] PAVELEK, M., JANOTKOVÁ, E. *Teorie a praxe termovizních měření*. Brno: Testo, 2008. 49 s.
- [34] PEŠEK, M., PAVELEK, M. Měření 2D teplotních polí; *Zařízení pro měření teplotních polí ve 2D neizotermních vzduchových prouděch pomocí termovize*. FSI VUT v Brně Technická 2, Brno, A2/ 301. URL: <http://ottp.fme.vutbr.cz/vysledkyvyzkumu/>. (funkční vzorek)
- [35] PEŠEK, M., PAVELEK, M. uzavřené prostory; *Zařízení pro termovizní měření teplotních polí ve vzduchu uvnitř malých prostorů*. FSI VUT v Brně Technická 2, Brno, A2/ 301. URL: <http://www.energetickeforum.cz/fsi-vut-v-brne/vysledky-vyzkumu>. (funkční vzorek)
- [36] PEŠEK, M., PAVELEK, M., FIŠER, J., MLČÁK, R. Měření 3D teplotních polí; *Zařízení pro měření teplotních polí ve 3D neizotermních vzduchových prouděch pomocí termovize*. FSI VUT v Brně Technická 2, Brno, A2/ 301. URL: <http://ottp.fme.vutbr.cz/vysledkyvyzkumu/>. (funkční vzorek)
- [37] RADIAČNÍ TEPLOMĚR Testo 830-T1: *Návod k použití*. [online]. [cit. 2013-07-02]. Dostupné z: [http://marcomplet.cz/docs/Testo/testo\\_830\\_T1\\_T2\\_n%C3%A1vod.pdf](http://marcomplet.cz/docs/Testo/testo_830_T1_T2_n%C3%A1vod.pdf)
- [38] REGINÁČ, L. a kol. : 1990. *Nauka o dřevě II*. VŠLD - ES, Zvolen, 424 s. ISBN 80-228- 0062-7.
- [39] SCHROEDER, E.D. (2002): *Trends in application of gas-phase bioreactors*, Rev/Views Environ. Sci.Bio/Technol., 1:65-74
- [40] SVOBODA, J.: *Využívanie infračervenej techniky v procese diagnostického sledovania strojov a zariadení v prediktívnej údržbe*. Dni novej techniky, Žilina, 1999.
- [41] ŠIMKO M. a kol. *Aplikační možnosti termovize v praxi*. Žilinská univerzita v Žiline, Žilina, Slovensko: [online] Dostupné z WWW: [http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id\\_document=26599](http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id_document=26599)
- [42] ŠIMKO, M. – ŠEBOK, M. – CHUPÁČ, M.: Využitie infračervenej techniky v diagnostike. In: Medzinárodná konferencia TD-2000 DIAGO, Zlín.
- [43] ŠMID, R. *Termovize*. 2007 [cit. 2012-05-09]. Dostupné z: <http://measure.feld.cvut.cz/usr/staff/smid/lectures/thermo07.pdf>
-

- [44] TERMOWIKY: [online]. c2010.  
Dostupný z WWW: <http://termowiki.termogram.cz>
- [45] TMVSS SPOL S.R.O, Praha. [www.tmvss.cz](http://www.tmvss.cz). [online]  
Dostupné z WWW: <<http://www.tmvss.cz/Aplikace/Termovize/veda-a-vyvoj.html>>
- [46] TRUKSA, L. *Měření střední radiační teploty*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, 2012, 43 s.
- [47] TSILINGIRIS, P. T. *Comparative evaluation of the infrared transmission of polymer films. Energy Conversion and Management: Volume 44, Issue 18*. 2003, s. 2839-2990.
- [48] TUBBS, L., GASPAROVIC, R. F., EMMONS, G. *Measured spatial variations of transmittance and emissivity of infrared windows. JOURNAL OF THE OPTICAL SOCIETY OF AMERICA Volume: 65: Issue: 10*. 1975, s. 1162-1169.
- [49] TURNER, J. F. *Chemical imaging and spectroscopy using tunable filters: Instrumentation, methodology, and multivariate analysis*. USA, 1999. 286 s.  
Doctoral thesis. UNIVERSITY OF PITTSBURGH.
- [50] TURNER, R. C., AND R. R. HOLMAN. "Insulin rather than glucose homoeostasis in the pathophysiology of diabetes." *The Lancet* 307.7972 (1976): 1272-1274.
- [51] URBAN, L. MARADA, P. *Enviromentální posuzování místa a organizace (EPMO)*, Protokol o provedení auditu, Brno 2010. 21 str.
- [52] URBAN, L. MARADA, P. MAREČEK, J. *Komperace alternativních metod monitoringu provozu a funkce dezodoračních filtrů*. Brno: Mendelova univerzita, 2011. ISBN 978-80-7375-563-8.
- [53] URBAN, L. MARADA, P. MAREČEK, J. *Metodika a monitoring pudního biofiltru pomocí termovizních metod*. In MendelNet 2010 Proceedings of International Ph.D. Students Conference. s. 105. ISBN 978-80-7375-453-2.
- [54] URBAN, L. MARADA, P. MAREČEK, J. *Metodika a monitoring půdních biofiltrů pomocí termovizních metod*. [DVD ROM]. In Pollution and Environment - Treatment of Air. 2011, ISBN 978-80-02-02293-0.
- [55] VDOLEČEK, F. *Nejistoty nepřímých měření. Měřicí technika* [online]. Automa. 2001 [cit. 2013-07-02]. Dostupné z: <http://www.odbornecasopisy.cz/download/au120128.pdf>
- [56] VDOLEČEK, F. *Zdroje nejistot a chyb při měření v provozech. Měřicí technika* [online]. Automa. 2003 [cit. 2013-07-02]. Dostupné z: <http://www.odbornecasopisy.cz/download/au010354.pdf>
-

- [57] Vyhláška o způsobu stanovení koncentrace pachových látek, přípustné míry obtěžování zápachem a způsobu jejího zjišťování č. 362/2006 Sb.
- [58] WILLIAMS, T. L. 1999. *The optical transfer function of imaging systems*. Bristol and Philadelphia: IOP Publishing.
- [59] YANG, C., YU, Y., ZHAO, D., ZHAO, G. *Study on modeling of multispectral emissivity and optimization algorithm*. IEEE Transactions on Neural Networks, Volume 17. 2006, s. 238-242.
- [60] YUNG, R. M., GOODY, Y. L. *Atmospheric radiation: theoretical basis*. 2nd ed. New York: Oxford University Press, 1995. ISBN 978-019-5102-918.
- [61] Zákon o ochraně ovzduší č. 472/2005 Sb.
- [62] ZEMBOL, F. *Analýza parametrů infračerveného zobrazení*, Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2010. 44 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Petr Čech

**11 SEZNAM OBRÁZKŮ**

|  |    |
|--|----|
| Obr. 1 Příklad proudění vzdušiny v homogenní a nehomogenní náplni biofiltru, Zdroj: (Auterská, 2006) .....                           | 14 |
| Obr. 2 Příklady nesprávné funkce rozvodu vzdušiny pod ložem biofiltru a průchodu filtračním materiálem, Zdroj: (Auterská, 2006)..... | 15 |
| Obr. 3 Schéma biofiltru, Zdroj: (Auterská, 2006) .....   | 18 |
| Obr. 4 Příklad nosiče – dřevní štěpka, Zdroj: (Auterská, 2006).....  | 20 |
| Obr. 5 Schéma bio rozložitelnosti, Zdroj: (Auterská 2007) .....  | 21 |
| Obr. 6 Charakter reakcí při průchodu kontaminantu ložem biofiltru, Zdroj: (Auterská 2006) .....                                      | 23 |
| Obr. 7 Princip biofilmu: Zdroj (Matějů 2006).....  | 24 |
| Obr. 8 Průběh teploty v rovinné stěně při stacionární kondukcii, Zdroj: (Pavelek 2006).....  | 29 |
| Obr. 9 Průběh teploty tekutiny v blízkosti povrchu, Zdroj: (Pavelek 2006) .....  | 29 |
| Obr. 10 Teplo dopadající na povrch tělesa Turner, Zdroj: (Pavelek 2006).....   | 33 |
| Obr. 11 Závislost emisivity na vlnové délce, Zdroj: Pavelek, Janotkova, Štětina (2007) .....   | 35 |
| Obr. 12 Barevné palety (a - Rainbow, b - Hot/Cold, c - Iron, d - Gray ), Zdroj: www.flir.com .....                                   | 38 |
| Obr. 13 Therma CAM E 320, Zdroj: (www.flir.com), 2012 .....  | 39 |
| Obr. 14 Detail displaye Therma CAM E 320, Zdroj: (www.flir.com), 2012 .....  | 39 |
| Obr. 15 Blokové schéma znázorňující hlavní podjednotky, Zdroj: (Williams 1999).....  | 40 |
| Obr. 16 Skenovací mechanismus, Zdroj: (Williams 1999) .....  | 41 |
| Obr. 17 Základní termovizní systém, Zdroj: (Williams 1999) .....   | 43 |
| Obr. 18 Olfaktometr TO8, Vzor výstupu z olfaktometru, Zdroj: (Auterská 2007) .....   | 47 |
| Obr. 19 Odběrové nádoby, Zdroj: (Auterská 2007).....   | 49 |
| Obr. 20 Odběrné vaky, Zdroj: (Auterská 2007).....  | 49 |
| Obr. 21 Půdorysný náčrt plochy půdního biofiltru, Zdroj: Autor .....   | 51 |
| Obr. 22 Bokorys půdního biofiltru, Zdroj: Autor .....  | 51 |
| Obr. 23 Katastrální mapa místa a organizace ASAP s.r.o., Zdroj: průvodní dokumentace ASAP s.r.o. ....                                | 52 |
| Obr. 24 Sklady hotových výrobků, Zdroj: průvodní dokumentace ASAP s.r.o. ....  | 53 |
| Obr. 25 Termovizní kamera Therma CAM E 320 Zdroj: (Urban 2010) .....   | 55 |
| Obr. 26 Detail displaye Therma CAM E 320 Zdroj: (Urban 2010) .....   | 55 |
| Obr. 27 Skenování kmitavým pohybem zrcadla, Zdroj: (www.termokamera.cz), 2011 ..   | 56 |
| Obr. 28 Schéma objektivu termografického zařízení, Zdroj: (www.termokamera.cz), 2011 .....   | 57 |
| Obr. 29 Termovizní snímky plochy půdního biofiltru, Zdroj: (Urban 2010).....   | 59 |
| Obr. 30 Digitální fotografie plochy půdního biofiltru, Zdroj: (Urban 2010) .....   | 59 |
| Obr. 31 Plocha půdního biofiltru termovizní fotografie, Zdroj: (Urban 2010) .....  | 60 |
| Obr. 32 Pracovní prostředí programu ThermaCAM QuickReport 0.1 , Zdroj: (Urban, 2010).....  | 62 |
| Obr. 33 Informace o zprávě termovizního měření programu ThermaCAM QuickReport 0.1 , Zdroj: (Urban 2010).....                         | 62 |
| Obr. 34 Termograf: kritické míst: Ar1, Zdroj: (Urban 2010).....  | 64 |
| Obr. 35 Termograf: sledovaná oblast: Ar2, Zdroj: (Urban 2010) .....  | 64 |
| Obr. 36 Termograf: Nehomogenní oblast: Ar3 , Zdroj: (Urban 2010).....  | 64 |
| Obr. 37 Termovizní fotografie ve zobrazení Rain Hi, Zdroj: (Urban 2010) .....  | 65 |
| Obr. 38 Termovizní fotografie ve zobrazení Iron Hi, Zdroj: (Urban 2010).....   | 65 |

|  |    |
|--|----|
| Obr. 39 Kontaktní teploměr .....   | 71 |
| Obr. 40 Plocha lože biofiltru, digitální foto. (měřící stanoviště), TERMOVIZE (SEKTOR 1,2) .....                       | 72 |
| Obr. 41 Stanoviště odběru vzorků (Digitální fotografie), zleva 1,2,3 .....   | 72 |
| Obr. 42 Stanoviště odběru vzorků (Termovizní fotografie), zleva 1,2,3,4,5,6.....                                       | 72 |
| Obr. 43 Čtvercová síť pro měření axiálním anemometrem, zahájení měření (Zdroj: Urban. L, 2012).....                    | 77 |
| Obr. 44 Pohled z výchozího stanoviště pro termovizní měření, termovizní snímek, Zdroj: Urban 2012) .....               | 78 |
| Obr. 45 Dvouplášťová folie potažená ocelovým lankem, Funkční schéma rozmlžovacího zařízení Zdroj: (Auterská 2006)..... | 90 |
| Obr. 46 Biofiltr s nerovnoměrným prouděním pod ložem biofiltru, Zdroj:(Auterská 2007) .....                            | 92 |
| Obr. 47 Rozmístění měřících bodů pro velké a komplikované biofitry, Zdroj: (Auterská 2007).....                        | 92 |
| Obr. 48 Digitální fotografie, termovizní snímek, termograf (EXCEL) dynamická olfaktometrie (SURFER) .....              | 94 |

## 12 SEZNAM TABULEK

|   |    |
|---|----|
| Tab. 1 Příklady tepelně-fyzikálních charakteristik vybraných druhů dřev, Zdroj: Regináč a kol. (1990).....                      | 28 |
| Tab. 2 Průměrné hodnoty koeficientu přestupu tepla $\alpha$ v tekutinách, Zdroj: Turner, Holman (1976).....                     | 31 |
| Tab. 3 Podmínky měření, Zdroj: (Urban 2010).....  | 63 |
| Tab. 4 Výsledky stanovení koncentrace pachových látek, Zdroj: (Měření ODOUR, 2006) .....  | 67 |
| Tab. 5 Měření kontaktním teploměrem, termovizní kamerou .....   | 73 |
| Tab. 6 Výsledky testu obyčejné metody nejmenších čtverců .....  | 79 |
| Tab. 7 Hodnoty rychlosti proudícího vzduchu v jednotkách (m/s), Zdroj: (Urban 2012) .....                                       | 80 |
| Tab. 8 Hodnoty teploty měřené termovizní kamerou na povrchu půdního biofiltru ( $^{\circ}\text{C}$ ), Zdroj: (Urban 2012) ..... | 80 |
| Tab. 9 Charakteristika materiálu náplně biofiltru.....  | 82 |
| Tab. 10 Provozní podmínky v den měření.....   | 83 |
| Tab. 11 Provozně technické podmínky .....   | 83 |
| Tab. 12 dynamická viskozita plynů .....   | 84 |

### 13 SEZNAM GRAFŮ

|  |    |
|--|----|
| Graf. 1 Grafické znázornění kritického místa: (Excel 07) , Zdroj: (Urban 2010) .....                   | 64 |
| Graf. 2 Grafické znázornění sledované oblasti: (Excel 07) , Zdroj: (Urban 2010) .....                  | 64 |
| Graf. 3 Grafické znázornění nehomogenní oblast: (Excel 07) , Zdroj: (Urban 2010)....                   | 64 |
| Graf. 4 Korelace teploty a koncentrace pachových látek .....   | 68 |
| Graf. 5 Korelace teploty a koncentrace pachových látek (linregresní křivka) .....                      | 69 |
| Graf. 6 Korelace teploty a koncentrace pachových látek linregresní křivka .....                        | 69 |
| Graf. 7 Korelace termovizní kamery a dotykového teploměru, linregresní křivky .....                    | 70 |
| Graf. 8 Hodnoty naměřené kontaktním teploměrem v sektorech 1,2 .....                                   | 74 |
| Graf. 9 Linregresní křivka naměřených teplot v sektorech 1,2 .....                                     | 74 |
| Graf. 10 Hodnoty naměřené termovizní kamerou v sektorech 1,2 .....                                     | 75 |
| Graf. 11 Linregresní křivka naměřených teplot v sektorech 1,2 .....                                    | 75 |
| Graf. 12 Hodnoty naměřené termovizní kamerou a kontaktním teploměrem v sektorech 1,2 .....             | 76 |
| Graf. 13 Linregresní křivky naměřených teplot termovce vs. kontaktní teploměr .....                    | 76 |
| Graf. 14 Závislost teploty půdního biofiltru na rychlosti proudícího vzduchu, Zdroj: (Urban 2012)..... | 79 |
| Graf. 15 Rychlost proudícího vzduchu z plochy půdního biofiltru v [m/s], Zdroj: (Urban 2012).....      | 81 |
| Graf. 16 Teplota povrchu půdního biofiltru °C, Zdroj: (Urban 2012).....                                | 81 |

### 14 SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK

|   |  |
|---|--|
| 1. field of view (FOV),                             | zorného pole (FOV)                               |
| 2. modulation transfer function (MTF),              | modulační přenosová funkce (MTF),                |
| 3. minimum resolvable temperature difference (MRTD) | nejmenšího rozlišitelného teplotní rozdíl (MRTD) |
| 4. parameters covered                               | parametry, na které se vztahuje                  |
| 5. comprehensive                                    | komplexní  |
| 6. slits response function (SRF)                    | štěrbiny odezva(SRF)                             |
| 7. scene of the impact factor (SIF)                 | scéna impakt faktoru(SIF)                        |

**15 SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ**

1. Mj- Rychlost přenosu hmoty látky [ $\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ ]
2. KL- Koeficient rychlosti přenosu hmoty [ $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ]
3. a- Specifický povrch náplně [ $\text{m}^2\cdot\text{m}^{-3}$ ]
4. C<sub>sj</sub>- Koncentrace látky v kapalně fázi za rovnovážných podmínek [ $\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ ]
5. Cl<sub>j</sub>- Aktuální koncentrace látky v kapalně fázi [ $\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ ]
6. q - tepelný tok (W)
7. α- koeficient přestupu tepla ( $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$ )
8. T<sub>S</sub> - teplota povrchu pevné látky (K)
9. T<sub>∞</sub> - teplota kapaliny (K)
10. S - plocha kolmá k tepelnému toku ( $\text{m}^2$ )
11. ΔT - průměrný teplotní spád mezi prostředím a materiálem (°C)
12. ρ - hustota ( $\rho_{\text{vzduchu}} = 1,1 - 1,3 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ ,  $\rho_{\text{vody}} = 955 - 1000 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ )
13. v - rychlost proudění plynu ( $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ )
14. 2L ≈ h - tloušťka materiálu (m)
15. T<sub>i</sub> - teplota prostředí oddělených dřevěnou přepážkou
16. T<sub>IS</sub> - odpovídající teplota povrchu dřeva.
17. S - plocha ( $\text{m}^2$ )
18. T<sub>S</sub> - absolutní teplota na povrchu tělesa (K)
19. kde Eoλ [ $\text{W}\cdot\text{m}^{-3}$ ] je spektrální hustota zářivého toku ,
20. λ<sub>S</sub> -[m] vlnová délka,
21. T -[K] teplota, c [ $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ]
22. t<sub>1</sub> -vstupní teplota do vany biofiltru
23. t<sub>2</sub> -teplota atmosféry
24. λ -Součinitel tepelné vodivosti
25. α<sub>1</sub>-Součinitel přestupu tepla
26. α<sub>2</sub> -Součinitel přestupu tepla
27. d -Tloušťka stěny
28. η -dynamická viskozita
29. ρ -hmotnost vzduchu
30. C<sub>p</sub>- měrná tepelná kapacita
31. γ -součinitel objemové roztažnosti
32. w - rychlost proudění
33. g -gravitační konstanta
34. ν -kinetická viskozita
35. δ -Stefanova – Boltzmannova konstanta
36. ε<sub>s</sub> -emisivita objektu
37. ε<sub>t</sub> -emisivita okolního vzduchu
38. T<sub>s</sub> .teplota objektu
39. T<sub>t</sub> .teplota okolního vzduchu
40. S - hloubka lože
41. k<sub>1</sub> -Koeficient prostupu tepla na vstupu
42. k<sub>2</sub> -Koeficient prostupu tepla na výstupu
43. t<sub>s1</sub> - teplota dna lože biofiltru
44. t<sub>s2</sub> - teplota povrchu plochy lože