

**Česká zemědělská univerzita v Praze**

**Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů**

**Katedra etologie a zájmových chovů**



**Fakulta agrobiologie,  
potravinových a přírodních zdrojů**

**Schopnost psů detekovat individuální cílové pachy kapalin  
o různé tenzi par, poté co byli naučeni detekovat jejich  
binární směs**

**Bakalářská práce**

**Autor práce: Pavel Kuliha**

**Obor studia: Kynologie**

**Vedoucí práce: Ing. Ludvík Pinc, Ph.D.**

© 2021 ČZU v Praze

## **Čestné prohlášení**

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci „Schopnost psů detekovat individuální cílové pachy kapalin o různé tenzi par poté, co byli naučeni detekovat jejich binární směs" jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce. Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušil autorská práva třetích osob.

V Praze dne

## **Poděkování**

Rád bych touto cestou poděkoval Ing. Ludvíku Pincovi, Ph.D. za odborné vedení mé bakalářské práce a za vstřícnost při pomoci s vyhledáváním relevantních zdrojů.

Dále bych chtěl poděkovat doc. Ing. Heleně Chaloupkové, Ph.D. za pomoc při statistickém vyhodnocení výsledků experimentu.

Doc. Ing. Robertu Matyášovi, Ph.D. z Ústavu energetických materiálů Univerzity Pardubice za pomoc při volbě cílových pachů a jejich samotné výrobě.

V neposlední řadě patří dík všem kolegům z pracoviště speciální kynologie Velitelství Ochranné služby Vojenské policie, kteří se tohoto experimentu zúčastnili a bez jejichž pomoci by tento experiment nemohl vůbec vzniknout.

Velké poděkování patří mé rodině, a to především mé ženě, za podporu a trpělivost během celého studia.



# Schopnost psů detekovat individuální cílové pachy kapalin o různé tenzi par poté, co byli naučeni detekovat jejich binární směs

## Souhrn

Pes domácí je díky svým jedinečným olfaktorickým schopnostem využíván při detekci výbušných látek a jejich prekurzorů. Jelikož je v různých výbušných směsích velmi často zastoupena totožná chemická látka (hexogen, dusičnan amonný, pentrit), je snahou naučit psa ji detekovat vždy, ať už je v jakémkoli poměru s jinými, byť i inertními látkami. Tím je zabezpečena mnohonásobně vyšší úspěšnost psa při reálném nasazení. Tato práce je zaměřená na tuto problematiku, a to u kapalných prekurzorů výbušných směsí, konkrétně na schopnost psů detekovat jednotlivé komponenty z binární směsi. Tato schopnost byla sledována na základě vtisknutí pachu binární směsi kapalných látek tvořené nitrometanem a nitropropanem v poměru 1:1 a na následném ověření schopnosti detekovat čisté látky tvořící původní binární směs.

V první fázi experimentu byli psi vycvičeni na detekci pachu binární směsi, kterou dříve neznali. Vzorek této směsi byl umístěn ve snifferu (malá plechovka uzavřená děrovaným víčkem).

V druhé fázi experimentu byl sniffer obsahující binární směs uzavřen do sklenice s děrovaným víčkem a umístěn mezi dalších šest sklenic obsahujících různé klamné vzorky (léčiva, potraviny, osobní věci psůvůdů atd.) do stojanů vyrobených z plastových odpadních trubek umístěných na dřevěném podstavci. Psi prohledávali jednotlivé stojany tak, že před každým novým pokusem bylo pozmeněno pořadí vzorků z důvodu zamezení nežádoucího dynamického stereotypu. Psůvodi nebyli o pozici vzorku předem informováni, aby nemohlo dojít k nežádoucímu ovlivnění psa. Experiment byl prováděn metodou double blind, tzn. v místnosti, kde probíhalo vyhledávání, nebyl přítomen nikdo, kdo by věděl o pozici, na které je uložena sklenice se snifferem obsahujícím vzorek kapaliny. Číslo sklenice, kterou pes zaznačil, ohlašoval psůvod pomocí handsfree telefonického rozhovoru vedoucímu experimentu.

Ve třetí fázi experimentu byl sniffer obsahující nejprve vzorek nitrometanu a následně nitropropanu uzavřen do sklenice, jež byla uzavřena proděravěným víčkem. Ta byla umístěna do řady šesti sklenic, které obsahovaly různé klamné vzorky (léky, potraviny, předměty psůvůdů apod.) a jedna sklenice s pachovou novinkou. Postup při provádění třetí fáze experimentu byl totožný jako ve fázi dvě.

Všech pět psů v každém z pěti kontrolních čichání, kromě jednoho psa a jeho pátého pokusu, označilo vzorek nitropropanu. Vzorek nitrometanu označili pouze tři psi a každý z nich jen jednou z pěti kontrolních čichání.

**Klíčová slova:** pachové směsi, nitrometan, nitropropan, olfakce

# **The ability of dogs to detect individual target odors of liquids of different vapor pressures after they have learned to detect their binary mixture**

## **Summary**

Domestic dogs possess unique olfactory abilities, which make them extremely useful for the purposes of detecting explosives and their precursors. Since the same chemical substance (hexogen, ammonium nitrate, penta erythritol tetra nitrate or PETN -  $C_5H_8N_4O_{12}$ ) is extremely often present within the various explosive mixtures, the goal is to train the dog to always identify it, whatever the ratio may be relative to any other, even inert, chemical substances. This skill would ensure a significantly higher degree of success of the dog during the actual deployment. This particular topic is also the main focus of this thesis, specifically relative to the liquid precursors of the explosive mixtures and more specifically on the ability of dogs to detect the individual components of any binary mixture. This ability was observed and analyzed based on the initial imprint of the binary mixture of nitromethane and nitropropane at 1:1 ratio and the subsequent verification of the ability to detect the pure chemical substances, which were a part of the original binary mixture.

In the first part of the experiment, the dogs were trained to detect the scent of the binary mixture they had not been familiar with before. A sample of this mixture was placed in the sniffer (a small container covered by a perforated lid).

In the second part of the experiment, the sniffer containing the binary mixture was put inside a glass container with another perforated lid and lined up along with additional six (6) glass containers filled with other varying samples (drugs, food items, personal items of the dog handlers, etc.) in the holders made of plastic drainage pipes on top of a wooden stand. The dogs were asked to search the individual holders while making sure that prior to each sniff test the sequence of the samples was changed to avoid the misleading dynamic stereotype. The dog handlers were never informed about the placement of any control sample to also avoid any undesired influence on the dogs. The experiment was conducted using the double blind method, i.e. there was nobody in the room with the samples where the sniff tests were performed who would have been aware of the position of the particular liquid sample in the overall lineup. The number of the glass container the dog identified was communicated by the dog handler to the experiment supervisor using handsfree telephone conversation.

In the third part of the experiment, first, the sniffer containing a sample of nitromethane and then subsequently, the sniffer containing a sample of nitropropane, were placed inside a glass container with another perforated lid. This glass container was then lined up along with other six (6) glass containers with other varying samples (drugs, food items, personal items of the dog handlers, etc.) with one of the glass containers introducing a new scent. The process during the third phase was the same as outlined for the second part above.

All five (5) dogs participating in each of the five (5) control sniff tests detected the sample of nitropropane, with one exception of a single dog during the very final sniff test. The

nitromethane sample was detected only by three (3) dogs and even that only during one single control sniff test of the total of five (5) by each dog.

**Keywords:** scent mixtures, nitromethane, nitropropane, olfaction

# Obsah

1 Úvod.....	10
2 Cíl práce .....	11
3 Literární rešerše.....	12
3.1 Pachové směsi .....	12
3.1.1 Interakce pachů .....	13
3.1.2 Pachové individuum či směs .....	14
3.1.3 Alternativní výcvikové vzorky (pomůcky).....	15
3.2 Olfakce .....	16
3.3 Anatomie čichového ústrojí .....	18
3.3.1 Zevní nos ( <i>Nasus externus</i> ) .....	18
3.3.2 Nosní předsíň ( <i>Vestibulum nasi</i> ).....	18
3.3.3 Dutina nosní ( <i>cavum nasi</i> ) .....	18
3.3.4 Vomeronazální orgán.....	20
4 Metodika .....	21
4.1 Psi na vyhledávání výbušin.....	21
4.1.1 Metodika výcviku psů na vyhledávání výbušin.....	21
4.2 Pomůcky pro testování.....	22
4.2.1 Nitrometan, nitropropan .....	23
4.2.2 Výroba .....	23
4.2.3 Skladování a doprava.....	24
4.2.4 Využití nitroalkanů .....	24
4.3 Průběh experimentu .....	25
4.3.1 Příprava experimentu.....	25
4.3.2 Experiment.....	26
5 Výsledky .....	28
5.1 Statistické výsledky.....	29
6 Diskuze .....	30
7 Závěr .....	32
8 Literatura.....	33





# 1 Úvod

Pes domácí (*Canis familiaris*) je využíván díky svým jedinečným olfaktorickým schopnostem ozbrojenými složkami celého světa. Již několik desetiletí se výcvik psů u těchto složek zaměřuje především na jejich schopnost detekovat výbušné látky (Ensminger 2012). Počátky tohoto výcviku se objevují již v průběhu 2. světové války (Gero & Milligan 2006). Tehdy začalo používání psů na vyhledávání výbušnin. Většina států se v této době zaměřila na výcvik psů k vyhledávání ženíjných min (Buchstein 2019). Postupně byly vytvořeny výcvikové programy a psi byli cvičeni k detekci min, nástražných výbušných zařízení a různého výbušného materiálu. V tehdejší Československu se výcvik psů na vyhledávání ženíjných min datuje do 50. let minulého století (Štůla 1957). V druhé polovině 20. století došlo k velkému rozvoji využívání olfaktorických schopností psů v řadě odvětví, a to nejen u psů policejních či vojenských. K rozšíření využívání těchto schopností mohlo docházet jen díky vědeckým experimentům, které postupně rozkrývají jejich fungování. Vzhledem k velmi náročné problematice zkoumání fungování psiho olfaktorického systému nejsou některé otázky v této oblasti spolehlivě vysvětlené dodnes.

V průběhu času se neustále mění druhy výbušnin, které jsou zneužívány k bombovým útokům jako nástražné výbušné systémy (dále jen NVS). Na to musí reagovat i lidé cvičící psy na jejich vyhledávání a přizpůsobovat také repertoár látek, které se psi učí vyhledávat. Druhů výbušnin je nepřehledné množství, avšak mnoho z nich obsahuje jednu či více společných komponent.

Cílem tohoto experimentu bylo potvrdit, nebo vyvrátit schopnost psů detekovat jednotlivé složky z binární kapalné sloučeniny prekursorů výbušných látek, přičemž má každá z nich jinou tenzi par. Chce tedy prověřit, zda budou psi vyhodnocovat pach spíše synteticky, či analyticky. Na základě takových poznatků se může následně upravit metodika výcviku při vtiskávání pachů pro zajištění její maximální efektivity. Vybrat psovi správný repertoár látek, který se následně bude učit detekovat, je jednou z nejdůležitějších a nejkomplicovanějších fází výcviku u psů na detekci cílových pachů.

## **2 Cíl práce**

Cílem tohoto experimentu bylo potvrdit, nebo vyvrátit schopnost psů detekovat individuální cílové pachy kapalin o různé tenzi par, poté co byli naučeni detekovat jejich binární směs.

## 3 Literární rešerše

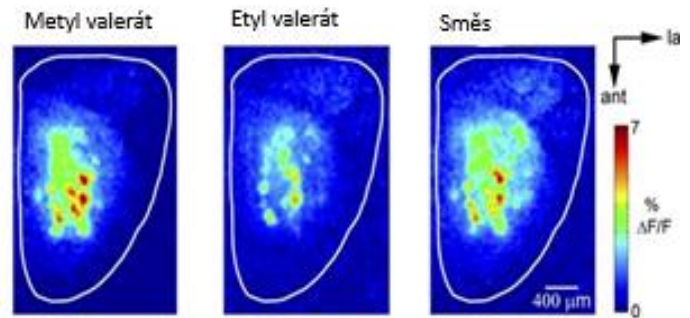
### 3.1 Pachové směsi

Pachovou směsí můžeme označit téměř každý pach. Z této naprosto převládající skupiny musí být vyjmuta pouze pachová individua. Za základní pachovou směs by se dala považovat směs binární. Vlastnosti pachové směsi určuje několik aspektů, např. množství odorantů tvořících směs, jejich intenzita a koncentrace. Rozlišujeme tzv. homogenní a heterogenní směsi (Berglund et al. 1976). U homogenní jsme schopni zaznamenat jediný pach, u heterogenní směsi několik. Homogenní směs vzniká buď smícháním několika pachů, přičemž vznikne úplně nový pach, nebo v případě, kdy pach jedné komponenty směsi má tak silnou intenzitu, že ostatní zcela překryje neboli celkově zastíní (Kay et al. 2005). Složitost rozpoznání jednotlivých pachů tvořících směs je dána jak jejich počtem (Laing & Francis 1989), tak především výrazností pachu jednotlivých komponent a interakcemi mezi jednotlivými odoranty tvořícími pachovou směs, které probíhají v jednotlivých fázích zpracování pachů.

Lidé jsou schopni rozeznat obvykle směs tvořenou maximálně třemi komponentami. Pokud se jedná o komponenty známé, jsou lidé v některých případech schopni detekovat i osm až dvanáct komponent (Jinks & Laing 1999). Další podmínkou je, že komponenty tvořící pachovou směs musí být zastoupeny v takovém množství, aby je lidský čich byl schopný detekovat. Musí být tedy vyšší než prahová hodnota detekce dané komponenty. Lidé jsou řazeni mezi mikrosmatické druhy, jež mají čichovou citlivost obecně nižší než druhy makrosmatické, mezi něž řadíme i psa (Craven et al. 2010). To může být mimo jiné způsobeno tzv. čichovým výklenkem, jenž umožňuje na nějaký čas zadržet nasátý vzduch s molekulami odorantu a jejich transport k čichovým receptorům. Tímto čichovým výklenkem disponují pouze makrosmatické druhy, ale to, že mají lepší čichovou citlivost, neplatí patrně ve všech případech. Ukazuje se, že čichová citlivost může být značně specifická s ohledem na biologickou relevantnost vnímaných odorantů (Laska et al. 2000). Z tohoto důvodu mohou mít u některých odorantů olfaktorický práh nižší makrosmatická zvířata (Laska et al. 2003).

Jednou z možností pozorování zpracování pachu, a to jak jednotlivých komponent, tak směsí, je sledování reakce glomerulů. Do nich je za pomoci axonů neuronů přenášen vzruch, jenž byl způsoben depolarizací čichového neuronu v důsledku kontaktu čichového receptoru s ligandem. Z čichového kyje, v němž jsou glomeruly umístěny, je signál přes složitou soustavu projekčních neuronů veden do primární čichové kůry, kde vzniká vlastní čichový vjem (Martinez 2009).

Obrázek č.1: Porovnání glomerulárních map vyvolaných směsí se součtem map komponent Experimentálně odvozené odpovědi na MV (0,25 % s. v.), EV (0,25 % s. v.) a jejich směsi zobrazené v pseudobarvě (Fletcher 2011)

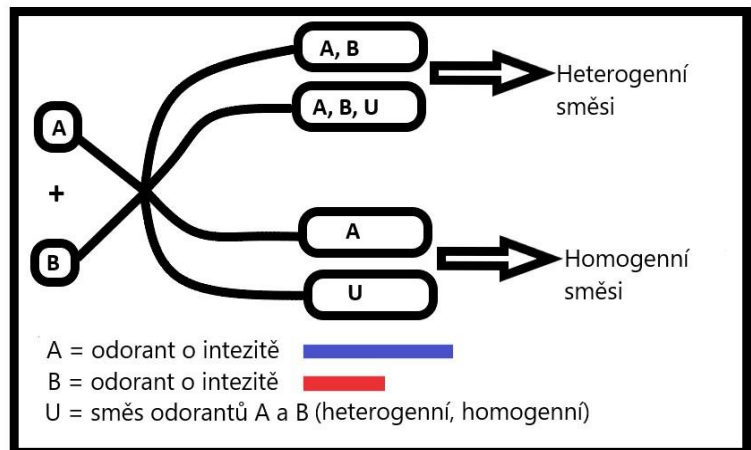


Díky tomu je možné následně vyhodnotit, zda jsou lépe vnímány jednotlivé složky, nebo následná směs daných komponent. V případě ideálního stavu by se do vyhodnocení pachových individuů i pachové směsi z nich vytvořené měly zapojit stejné glomeruly v totožném množství a intenzitě. Na základě provedených experimentů (Fletcher 2011) se prokázalo, že v případě vyhodnocování pachové směsi jinak reagují glomeruly reagující pouze na jednu složku směsi a jinak tzv. překrývající glomeruly reagující na více složek tvořících směs. Mapy odezvy směsi obsahovaly totožné glomeruly jako v každé ze složek mapy. Nikdy se nezapojily nové glomeruly v mapách odezvy směsi, ale vždy jen ty, co byly pozorovány ve složkách mapy. Co se však změnilo, byla intenzita jednotlivých glomerulů. Pozorováním se také zjistilo, že většina glomerulů je tzv. překrývající, navíc mají ještě schopnost ovlivňovat glomeruly ve svém blízkém okolí. Může tak docházet k interakcím mezi jednotlivými glomeruly (Aungst et al. 2003).

### 3.1.1 Interakce pachů

Na periferii čichového systému dochází k počátku kódování pachové informace. U binárních směsí může nastat několik pachových interakcí.

Obrázek č.2: Zobrazení teoretických možností vzniku binární pachové směsi (částečně převzato od Ethomas-Danguin et al. 2014)



Např. může dojít k potlačení výsledného pachu směsi oproti očekávané kumulativní intenzitě pachu jednotlivých odorantů tvořících směs (Steullet & Derby 1997),

či naopak mohou být jednotlivé odoranty tvořící směs v kompetici a tím neočekávaně jeden, nebo druhý pach zesílí. Rovněž může nastat reakce dvou pachů a následný vznik naprosto nového. Tyto interakce tak mohou způsobovat odlišnou reakci psů při detekci pachu látky čisté a následně látky v binární směsi či naopak (Chaput et al. 2012). Interakce mezi jednotlivými odoranty byly zaznamenány již na samém počátku zpracování pachů (Rosparset et al. 2008). Na úrovni receptorů jsou však interakce jen malé a zpracování pachu je spíše analytické. K mnohem komplexnějším a častějším interakcím mezi jednotlivými odoranty tvořících směs

dochází v hlubších úrovních zpracování pachu, zejména u čichových výstupních neuronů (Giraudet et al. 2002).

### 3.1.2 Pachové individuum či směs

Vzhledem k tomu, že jsou velmi často zneužívány tzv. improvizované výbušiny, kde není nikdy přesně daný poměr a složení výbušné směsi (Östmark et al. 2012), je znalost jednotlivých pachů komponent tvořících výbušné směsi pro výcvik psů na vyhledávání výbušin zásadní. K ověření teorie, že psi na detekci mohou chybně vyhodnocovat cílové pachy v případě, kdy byly při výcviku použity jen čisté cílové pachy, ale nenásledoval výcvik detekce cílového pachu ve směsi pachů jiných výbušných či inertních látek, bylo provedeno několik výzkumů (Lazarowski & Dorman 2014; Fletcher 2011). K tomu byly vytvořeny unikátní výcvikové pomůcky, za jejichž pomoci mohly být experimenty provedeny.

Obrázek č.3: Výcviková pomůcka pro vytváření společného pachu dvou odorantů bez fyzického propojení (Lazarowski & Dorman 2014)



I díky nim se ukázalo, že psi, kteří byli cvičeni pouze na pach čisté látky (pachové individuum), mohou mít následně problém s označením pachového individua, pakliže se k němu přidá třeba jen jeden odorant navíc (Lazarowski & Dorman 2014). Platí to i v případě, kdy je cvičný vzorek používán

ve spojitosti se stále stejným přidruženým pachem, jímž může být pach obalového materiálu nebo také pach psovoda. Výsledek však nebyl jednoznačný, jelikož se projevíly individuální rozdíly ve zkušenosti (vycvičenosti) jednotlivých psů i v jejich citlivosti vnímání stimulů (Laska & Hudson 1993; Rabin et al. 1989). Zároveň však bylo potvrzeno, že psi, kteří byli seznámeni s pachem výbušiny ve směsi (nikoliv však fyzicky propojené viz obrázek č.3 s dalším odorantem, následně projevovali lepší schopnost detekovat pach výbušiny v různých směsích. Bylo tím tak poukázáno na zcela zásadní problém při výcviku psů.

Výbušiny používané k výrobě NVS se od sebe značně liší, a to především kvůli dostupným zdrojům v dané lokalitě. Mohou obsahovat různé organické látky, anorganická oxidační činidla. Například původní vojenská výbušina se může dále modifikovat za využití různých vazelin, vosků či hořlavin jako petrolej či nafta. Tak se psi v praxi s pachem výbušiny setkávají především v kombinaci s pachem celé řady dalších látek. U detekce výbušných směsí může nastat podobný problém jako u pachového individua. Pakliže je pes naučen detekovat výbušnou směs (např. bezdýmný prach) pouze na základě jednoho cvičného vzorku, je velice pravděpodobné, že jiný bezdýmný prach např. od jiného výrobce detekovat nebude (Lazarowski & Dorman 2014). Pakliže dojde u psa k zobecnění s požadovaným cílem (výbušinou), měl by být schopen detekovat i látky podobné, nikoliv však identické. V případě, že pes nebyl při výcviku seznámen s pachem požadovaného cíle (výbušiny) ve více variantách, např. dodaného od různých výrobců, dochází u něj zpravidla k zobecnění pouze na konkrétní

směs. Jedná se o syntetickou percepci. Pakliže je u každé komponenty směsi vytvořena asociace podnět – reakce a pes je schopen je rozlišit mezi jinými podněty, jedná se o percepci analytickou. I když byla do současné doby provedena již řada experimentů zabývajících se detekcí výbušnin za pomoci psů, není stále zcela jasně vysvětleno vnímání výbušnin psím čichem, protože v případě syntetické percepce by to znamenalo, že by výbušnina byla vnímána psím čichem jako jeden komplexní pach. Oproti tomu u analytické percepce se předpokládá schopnost rozpoznání jednotlivých komponent tvořících výslednou výbušninu.

Z tohoto důvodu se provádějí rovněž experimenty s cílem stanovit komponentu či komponenty z pachových směsí, na jejichž základě psi tuto směs detekují. Takové komponenty jsou označovány jako aktivní pachová signatura. Dle prováděných experimentů by se za ni daly označit komponenty mající nejvyšší tenzi par, dále pak komponenty mající nejvýraznější pach (Harper et al. 2005). Tyto výsledky mohou výcvikáři následně implementovat do metodiky při výcviku psů (vtiskávání pachů) na vyhledávání výbušnin. Jelikož je řada výbušnin, které obsahují stejné komponenty, např. plastické výbuštiny, jsou poznatky o aktivní pachové signatuře velmi důležité, protože mohou výrazně zjednodušit výcvik psa, a to především snížením počtu vzorků výbušnin potřebných navtiskat psovi při základním výcviku. S aktivní pachovou signaturou velmi úzce souvisí výzkum na zjištění tenze par výbušnin (Moore 2004; Cundall et al. 1978). Výsledky jsou však často velmi rozdílné, nebo se výzkumy soustředily jen na určité spektrum výbušnin (vojenské, civilní, improvizované). Velký vliv na výsledek má také zvolená technika pro zjištění tenze par výbušnin a podmínky, při nichž výzkum probíhal, zásadním údajem je především teplota, při které se zjišťují hodnoty tenze par.

Östmark et al. (2012) sumarizují a porovnávají výsledky prací řady výzkumníků, kteří se touto problematikou zabývali, přičemž poukazují i na možné chybné údaje a zdůvodňují jejich příčiny.

Avšak vnímání pachů se liší i u jedinců stejného druhu (Frumin et al. 2014). Tuto různorodost může způsobovat mnoho faktorů (věk, zkušenosti, genetické předpoklady, zdravotní stav). Z tohoto důvodu nelze přistupovat ke všem cvičeným psům na vyhledávání výbušnin stejným způsobem, ale u každého by měla být volena metodika výcviku individuálně.

### **3.1.3 Alternativní výcvikové vzorky (pomůcky)**

Ať už se jedná o psy na vyhledávání výbušnin, drog, zbraní, lidských ostatků, ohrožených živočichů nebo na detekci různých onemocnění, všichni jejich cvičitelé jsou postaveni před stejný problém, a to – jaký zvolit způsob vtisknutí cílového pachu. Všeobecně uznávaným způsobem je využití skutečného materiálu, jehož pach bude následně cílový. To s sebou ovšem u většiny výbušnin, zakázaných návykových látek či lidských ostatků nese řadu podmínek a omezení. Především získání povolení k držení těchto látek je podmíněno splněním přísných zákonných podmínek, které jsou ovšem v řadě států pro běžné občany záměrně nesplnitelné. Dále je potřeba mít vyřešeno skladování, obměnu a likvidaci nepotřebných vzorků. Jelikož bylo již potvrzeno, že v průběhu času probíhají u některých látek takové změny, které mají zásadní vliv na jejich pachový profil díky přirozenému rozpadu molekul (DeGreeff et al. 2017). Z již zmíněných důvodů jsou k výcviku psů používány různé alternativní cvičební pomůcky (vzorky). Dalším důvodem může být extrémní nebezpečí hrozící při manipulaci se skutečným materiálem, ať už se jedná o výbušné látky citlivé na otřes, či jiné chemické látky, které mohou



být přímo život ohrožující. Cílem při přípravě či výrobě alternativních pomůcek je dosažení co nejdlejší stálosti pachu a zároveň minimálního přidání dalších vedlejších pachů, které by mohly odvádět pozornost psů při detekci požadovaného cílového. Tyto tzv. pseudovzorky se mohou stát dosažitelnou alternativou pro širší veřejnost, jelikož se na ně zpravidla nevztahují tak přísná legislativní omezení jako na skutečný výcvikový materiál.

Jednou z možností, jak vytvořit alternativní vzorek, je příprava chemické sloučeniny na základě chemického rozboru skutečného materiálu. Na jeho základě je určen pachový profil a dle něj je vytvořena chemická sloučenina, jež se svým pachovým profilem, pokud možno shoduje se skutečným materiálem. Jde tedy o vzorky, které neobsahují původní materiál. Jak již bylo zmíněno výše, u některých skutečných vzorků (materiálů) dochází v průběhu času k výrazným změnám v pachovém profilu, což velmi komplikuje vytvoření jeho přesné kopie za pomoci pseudovzorků (materiálů). Oproti skutečným vzorkům (výbušin, drog, lidských ostatků atd.) mají pseudovzorky ještě několik nevýhod. Velmi často obsahují mnohem více pachů než skutečný materiál, což může psům na detekci komplikovat rozpoznání cílového pachu. Dále intenzita cílového pachu bývá v praxi velmi různorodá dle množství skutečného materiálu (drogy, výbušiny), kdežto u pseudovzorků je stanovená při výrobě a dále ve většině případů neměnná, což je při výcviku detekčních psů nežádoucí. Využití pseudovzorků v praxi je stále dosti diskutabilní, jelikož existují vědecké studie, které uvádějí, že pseudovzorky nefungují (Harper et al. 2005), vedle toho byly publikovány studie, které naopak potvrzují jejich funkčnost (Furton et al. 1997).

Druhou skupinou alternativních vzorků skutečného materiálu jsou ty, které obsahují původní materiál, ale v takovém množství, aby manipulace s nimi byla bezpečná, nebo obsahují jen jeho pach. Vznikají ředěním původního materiálu, mícháním nebo extrakcí či absorpcí pachu původního materiálu (Simon et al. 2020). Vzorky vzniklé ředěním či tzv. zapouzdrěním fyzicky obsahují malé či stopové množství původního materiálu. Velmi podstatným kritériem je volba látky (materiálu), která je použita na ředění či zapouzdrění, jelikož žádný materiál se neukázal být jako univerzální (Prada et al. 2011) a použitelný pro všechny druhy vzorků, jako jsou výbušniny, drogy, zbraně.

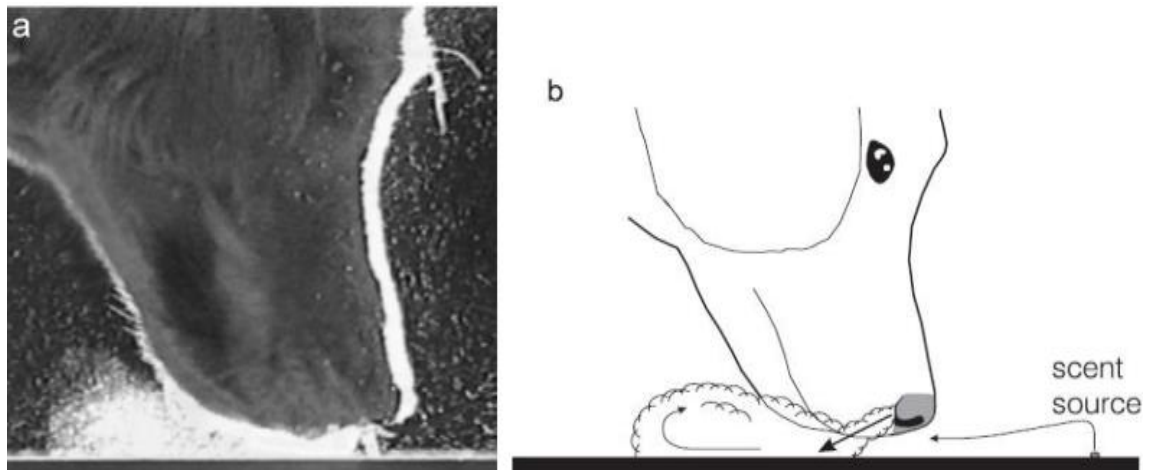
## 3.2 Olfakce

Čich je mezi ostatními smysly výjimečný počtem typů jednotlivých receptorů, které se na sensorickém vnímání podílejí. Předpokládá se, že čichový systém není limitovaný počtem pachových molekul, které na něj mohou působit (Brewer et al. 2006). Vdechované molekuly pachu se párují se specifickými receptory. Je dokázáno, že každý čichový receptor může reagovat s několika různými molekulami odorantů a na druhé straně jedna pachová molekula může stimulovat několik typů čichových receptorů (Araneda et al. 2004). Na olfaktorické percepci se podílí několik sensorických systémů, jako je hlavní olfaktorický systém, vomeronasální systém, septální orgán, Gruenbergrovo ganglium či trigeminální percepční systém. Olfaktorický systém u psa se stejně jako u všech savců vyvíjí již v prenatálním období (Wells & Hepper 2006).

Funkčnost olfaktorického systému u psů je do značné míry ovlivněn chybějícími potními žlázami, takže v případě potřeby ochlazování organismu dochází ke snížení počtu vdechovaných molekul odorantů, jelikož pes se ochlazuje zrychleným vdechováním



a vydechováním vzduchu ústy, aby mohlo docházet ke zvýšenému odpařování vody z dýchacích cest (Crawford JR. 1962). Oproti tomu při sumování (čichání) pes vdechuje i vydechuje vzduch s molekulami odorantu nosem. Psi jsou schopni ovládat své nozdry, což jim umožňuje regulovat proud vzduchu inhalovaný i exhalovaný nosem (čenicem). To jim umožňuje ověřovat pachy prověřovaných předmětů a zároveň šikmo za sebe vydechovat vzduch. Z tohoto důvodu nedochází k ředění a rozptylování ověřovaného pachu vzduchem vycházejícím ven při výdechu (Settles et al. 2002).



Obrázek č.4: Exhalace a inhalace vzduchu nozdrami (Settles 2002)

V dutině nosní jsou molekuly pachu přichycovány na čichový epitel, jehož velikost se u jednotlivých plemen psů značně liší. V novodobé historii nebyl bohužel proveden žádný relevantní výzkum, který by stanovil přibližnou velikost čichového epitelu u různých plemen psů. Stejný problém s nedostatkem informací je i v případě počtu olfaktorických neuronů u psů. S narůstající fyzickou únavou a zvyšující se tělesnou teplotou klesá spolehlivost olfaktorického systému psa. Při sumování v klidném stavu dochází k 2,5–3krát větší absorpci vysoce a středně rozpustných odorantů v sensorické oblasti za jednotku času (Rygg et al. 2017). Vzhledem k tomu, že ozbrojené složky využívají psy na vyhledávání výbušnin, zbraní a drog často ve velmi fyzicky náročných prostředích, je kladen značný důraz na fyzickou kondici psů, čímž se prodlužuje doba využitelnosti psa při vyhledávání cílových odorantů (výbušiny, zbraně a drogy).

### 3.3 Anatomie čichového ústrojí

Čichové ústrojí psa se skládá z hlavního olfaktorického systému a vomeronasálního olfaktorického systému. Přítomnost septálního orgánu či Gruenebergova ganglia, které se nachází u některých savců, nebyla u psů potvrzena (Barrios et al. 2014). Čichové ústrojí psa se vyznačuje několika velmi specifickými vlastnostmi. Pes dokáže zamířit proud teplého vydechovaného vzduchu na očichávané místo a tím zdvihnout ze země molekuly s vyšší molekulovou hmotností. Dále je pes schopen vnímat pachy i za nízkých teplot tím, že se zvýší vypařování látek. Následkem toho je pes schopen vnímat pachy pod bodem mrazu (Müller-Schwarze 2006). Struktura hrotu zevního nosu je u každého psa zcela unikátní a mohla by být použita k identifikaci psa podobně jako otisky prstů u lidí (Evans & De Lahunta 2013).

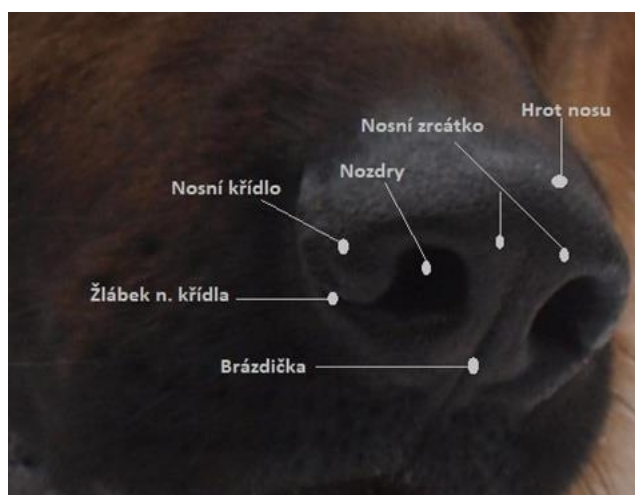
#### 3.3.1 Zevní nos (*Nasus externus*)

Zabezpečuje transport vzduchu s pachovými molekulami do dutiny nosní. Skládá se z pevné nepohyblivé kostěné a pohyblivé chrupavčité části. Nos psa tvoří hrot nosu (*apex nasi*), hřbet nosu (*dorsum nasi*), nosní zrcátko (*planum nasale*), nozdry (*nares*) a brázdička (*philtrum*). Nosní hrot tvoří horní část nosu, pod ním je umístěno zploštělé a neosrstěné nosní zrcátko. To je rozděleno brázdičkou na levou a pravou polovinu. Další částí zevního nosu jsou kruhové nozdry, které zajišťují vstup do dutiny nosní. Na vnějších stranách nozder jsou umístěna dobře pohyblivá nosní křídla (*ala nasi*) se žlábkem nosního křídla (*sulcus alaris*). Dorzálně od nosního hrotu se nachází nosní hřbet. Ten po stranách přechází v pravou a levou nosní krajinu. Kaudálně pak přechází do čelní krajiny (Najbrt et al. 1980).

Obrázek č.5: Popis zevního nosu psa (foto autora)

#### 3.3.2 Nosní předsíň (*Vestibulum nasi*)

Tvoří přechod mezi nozdrami a dutinou nosní. Přední část je vystlána kůží a zadní část nosní sliznicí. Její hlavní funkcí je distribuce vdechovaného a vydechovaného proudu vzduchu (Negus 1958). Společně s ventrální skořepou dále napomáhá jeho zvlhčování, ohřívání a filtraci (Evans 1993).

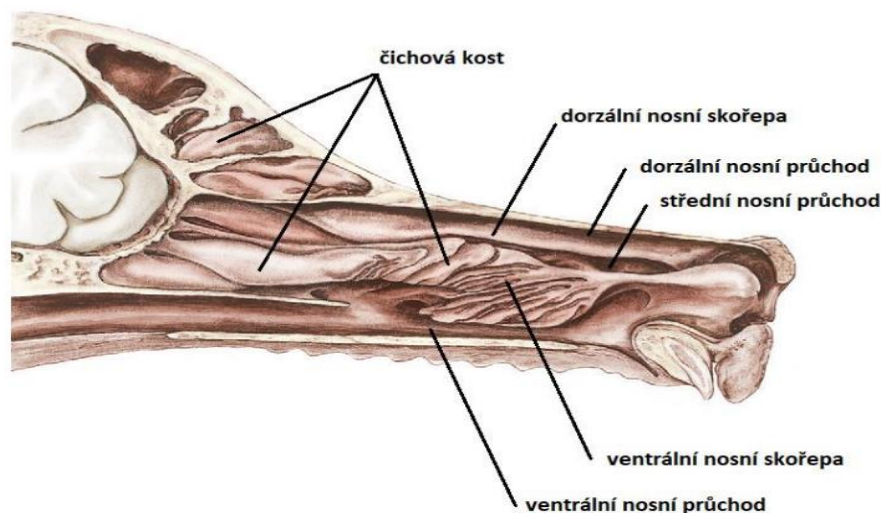


#### 3.3.3 Dutina nosní (*cavum nasi*)

Počátek nosní dutiny je tvořen nosní předsíní. Kaudálně je zakončena v základně nosu (*fundus nasi*) a kaudoventrálně přechází přes choany v nosohltan (*nasopharynx*). Je svisle rozdělena na dvě bilaterálně symetrické poloviny pomocí nosní přepážky (*septum nasi*). Každá polovina má svou dýchací i čichovou část. Dutinu nosní vyplňují skořepky (*conchae nasales*),

kteřé mají mezi sebou volné prostory nazývané nosní průchody. Skrz nosní průchody prochází vdechovaný vzduch do čichové části nosu a přes nosohltan do dalších oddílů dýchacích cest. Dle Cravena et al. (2007; 2010) jsou makrosomatictí živočichové schopni díky zduření nosního septálního tělesa umístěného na ventrální části septa v oblasti ventrální skořepy usměrnit při čichání proud vzduchu s odoranty z nosní předsíně rovnou do dorzálního průchodu a rychleji ho tak přivést k čichovým skořepkám. Při dýchání, tzn. v okamžiku, kdy není nosní septální těleso zduřené, prochází vdechovaný vzduch primárně skrz ventrální nosní průchod do ventrální skořepy. Ventrální nosní průchod (*meatus nasi ventralis*) se nachází mezi ventrální nosní skořepou a dorzální částí tvrdého patra a je částečně rozdělen bazální řasou (*plica basalis*). Kaudálně se spojuje s nosohltanovým průchodem. Dalším průchodem je střední nosní průchod (*meatus nasi medius*), který se nachází mezi dorzální a ventrální nosní skořepou.

Nosní skořepy (konchy) – Jedná se o chrupavčité nebo částečně osifikované svitky lamel, pokryté nosní sliznicí. Rozdělují se na dorzální (*concha nasalis dorsalis*), střední (mediální) a ventrální (*concha nasalis ventralis*). V oblasti ventrální konchy dochází k ohřívání, zvlhčování a filtraci vdechovaného vzduchu, který se sem dostává ventrálním nosním průchodem (Evans 1993). Zadní část dutiny nosní je vyplněna čichovým labyrintem (*labyrinthus ethmoidalis*), který je kaudálně ohraničen příčně postavenou řesetnou ploténkou (*lamina cribrosa*), která odděluje dutinu nosní od dutiny lebeční a obsahuje velké množství otvorů. Tudy do mozku prochází svazky nervových vláken vycházejících z čichových buněk. Čichové buňky jsou součástí olfaktorické sliznice, která se nachází na povrchu čichového labyrintu, jehož součástí jsou tenké kostěné svitky nazývané čichové skořepky (*ethmoturbinalia*). Vnitřek dutiny nosní je pokryt sliznicí (*tunica mucosa nasi*). Ta je tvořena čtyřmi typy epitelů, jejichž rozdělení je u většiny savců podobné. V oblasti nosní předsíně se vyskytuje dlaždicový epitel, který se v zadní části mění v přechodný epitel. Ten pokrývá i přední část ventrální skořepy. Za ním následuje víceřadý cylindrický epitel s pohyblivými řasinkami (dýchací epitel), který kaudálně přechází v čichový epitel. Podle stavby a funkce se sliznice (*tunica mucosa nasi*) rozděluje na dva typy: sliznice dýchací a sliznice čichová (Najbrt et al. 1980). Na povrchu obou typů sliznic se nachází vrstva sekretu, který zajišťuje transport tepla, zvlhčování či vysušování vzduchu a absorpci odorantů. Rovněž plní funkci ochrannou a napomáhá odstraňování vdechnutých částic.



Obrázek č.6: Mediální řez nosní dutinou (Evans & De Lahunta 2013)

Dýchací sliznice (*regio respiratoria*) lemuje většinu dutiny nosní a je bohatě prokrvená, což jí dává za klinicky běžného stavu charakteristickou světle červenou barvu. Nacházejí se v ní tuboalveolární žlázy, produkující vodnatý sekret, a pohárkové buňky, produkující hlen. Ten pokrývá povrch sliznice a zachytává nečistoty obsažené ve vdechovaném vzduchu a plní tak především ochrannou funkci dýchací soustavy. Čichová sliznice (*regio olfactoria*) se nachází v čichovém bludišti, má žlutohnědou barvu a je tvořena speciálním smyslovým (čichovým) víceřadým cylindrickým epitelem. Ve sliznici se nacházejí trubicovité (tubulózní) žlázy, které produkují sekret rozpouštějící odoranty. Smyslové buňky jsou totiž schopny zpracovat čichové podněty pouze z roztoku. V čichové sliznici se v různé hustotě nacházejí 3 typy buněk: čichové (receptorové), podpůrné (sustentakulární) a bazální (Najbrt et al. 1980; Craven et al. 2007). Nejvýznamnější jsou čichové buňky, z nichž každá je neuron, jenž má tělo, jeden dendrit a jeden dlouhý axon. Dendrit čichové buňky vyčnívá do prostoru nad čichovou oblastí nosní sliznice ve štěrbinách mezi podpůrnými buňkami. Ty poskytují hlavní oporu pro dendritické výběžky a oddělují těla čichových buněk od prostoru dutiny nosní. Řasinky smyslové čichové buňky vyčnívají do nosní dutiny z rozšířeného konce dendritů. Obvykle jsou řasinky pokryty tenkou vrstvou sekretu subepitelových žláz. Vývody těchto žláz vedou (skrz epitel) na povrch nosní sliznice. Jejich sekret trvale obnovuje tenkou vrstvičku tekutiny, která neustále oplachuje řasinky čichových buněk na povrchu čichové sliznice. Axony čichových buněk se navzájem spojují a tvoří svazky nervových vláken, které procházejí řešetnou ploténkou do čichového kyje (Galibert et al. 2016).

### 3.3.4 Vomeronazální orgán

Vomeronazální orgán (dále jen VNO), dříve nazývaný Jacobsonův, je párový orgán umístěný rostrálně na základně nosní přepážky septum nasi. Rozkládá se na úrovni třetího horního řezáku a druhého premoláru (Yilmaz et al. 2008). Jeho velikost závisí na délce nosu. Je tvořen tubulárním váčkem čichového epitelu a částečně ohraničen chrupavkou (*cartilago vomeronasalis*). VNO komunikuje jak s nosní dutinou, tak s dutinou ústní na řezákové papile. Na rozdíl od jiných zvířat nemají u psů mikrotubuly v řasinkách receptorových buněk radiální paprsky a nejsou schopny pohybu. Význam VNO nebyl dlouhou dobu známý. V současné době je již prokázáno, že hraje roli v sexuálním chování a rozpoznávání příbuzných jedinců pomocí feromonů (Evans & De Lahunta 2013). Rozdíl oproti hlavnímu olfaktorickému systému spočívá v tom, že primární axony z VNO nesměřují do olfaktorického kyje, ale směřují do přídatného olfaktorického kyje (Døving & Trotier 1998). Receptory VNO se všeobecně nazývají receptory feromonů vzhledem k faktu a nespočtu důkazů, že se VNO zapojuje do jejich detekce (Dulac 1997).

## 4 Metodika

Experiment byl prováděn ve výcvikových prostorách Velitelství ochranné služby Vojenské policie) v měsících listopad 2020 až leden 2021.

Vzhledem k tomu, že experiment byl vždy prováděn ve vnitřních prostorech, byly tak zajištěny téměř identické podmínky, týkající se jak teploty, tak proudění vzduchu pro jednotlivá kontrolní čichání všech psů.

### 4.1 Psi na vyhledávání výbušnin

Využito bylo pět psů ve věku 2–11 let plemen německý ovčák a belgický ovčák malinois. Tito psi absolvovali základní výcvik pro psy na vyhledávání výbušnin a jsou pravidelně využíváni při služební činnosti Vojenské policie ČR (dále jen VP).

Jméno psa	Plemeno	Pohlaví	Věk
Array	Belgický ovčák (BO)	pes	11 let
Scotty	Kříženec (NO)	pes	7 let
Tim	Kříženec (NO)	pes	6 let
Erro	Německý ovčák (NO)	pes	4 roky
Ciro	Kříženec (NO)	pes	2 roky

Tabulka č.1: Seznam psů použitých při experimentu

Každý pes musí společně se svým psovodem jedenkrát ročně prokázat připravenost úspěšným absolvováním zkoušek (obhajoba kategorie), které jsou posuzovány tříčlennou komisí dle platného zkušebního řádu. Úspěšným zvládnutím obhajob kategorie získává pes oprávněnost nasazení do služební činnosti VP.

#### 4.1.1 Metodika výcviku psů na vyhledávání výbušnin

Všichni psi, kteří se účastnili tohoto experimentu, byli vycvičeni metodou pozitivního posilování hrou, operantním podmiňováním či klasickým podmiňováním. Hru zde představuje možnost zakousnout se či pronásledovat a přinést aport (míček, pešek). Tato metoda využívá jako motivaci hru, která vychází z geneticky determinovaných vloh psa. Psi na vyhledávání výbušnin využívaní u VP musí úspěšně absolvovat výběrové řízení, při němž jsou prověřeny jak jejich povahové vlastnosti, tak i zdravotní stav.

Vzhledem k plánované výcvikové metodě je výběrové řízení zaměřeno především na geneticky determinované vlohy (vytrvalost při vyhledávání, ochota překonávat překážky při snaze dostižení kořisti, přetahování a boj o kořist apod.). Pomyslnou kořist zde představuje zpravidla míček nebo pešek. Prověřovaný pes musí své kořistnické či lovecké dovednosti prokázat v různých prostředích, tedy i za působení rušivých vlivů, jakými jsou např. tma, hluk a změny povrchu, na kterém se pes pohybuje. Prověřeny jsou nejen kořistnické vlohy, ale rovněž povaha a ovladatelnost. Pes nesmí projevoval zjevné známky agresivního chování vůči lidem a jiným psům. Stejně tak i známky bázlivosti jsou důvodem k vyřazení psa z výběrového řízení. Psi, kteří úspěšně absolvují výběrové řízení, jsou zařazeni do kurzu dle stanovené odbornosti. Výcvik psů na detekci výbušnin je rozdělen do tří fází.

Vtiskávání pachů výbušin. Pes je cvičen tak, aby reagoval požadovaným způsobem na vybrané cílové pachy. V této fázi výcviku je důležitá vysoká frekvence expozice psa s pachem výbušiny a následná odměna. Tu pes dostává na základě akustického signálu (klikru) či povelu psovoda v okamžiku, kdy je pes v kontaktu s cílovým pachem. Později je pes odměňován až po zaujetí požadované pozice značení. Psi na detekci výbušnin musí značit pasivním způsobem, což znamená sednutím, lehnutím či vystavením. V žádném případě se pes nesmí aktivně dostávat k cílovému pachu.

Následuje vyhledávání cílových pachů výbušin v prostředí. V této velmi náročné fázi výcviku je pes často vystaven velmi složitému a pro psy stresujícímu prostředí. Od psů je vyžadováno, aby se přesto dokázali plně soustředit na detekci cílového pachu, aby se pohybovali v takovém prostředí sebejistě a nedocházelo tak k ovlivnění jejich reakcí na cílový pach. Projevy nejistoty se dají za pomoci opakované expozice takového prostředí a současného pozitivního posílení částečně či úplně eliminovat. Přesto však pes nebývá schopen podat zcela optimální výkon (Pinc 2014).

Rozlišování cílových pachů od rušivého pozadí. Tato fáze výcviku se může překrývat již s fází vtiskávání cílových pachů, kdy je pes od počátku cvičen nereagovat na tzv. klamné vzorky. Tím je nucen správně diferenciovat cílový pach od rušivých pachů prostředí. Zdrojem klamných nebo rušivých pachů bývají velice často lidé. Při výcviku se téměř nelze vyhnout kontaminaci cílového pachu vzorku lidským pachem. Přestože pomocníci při zakládání (ukrývání) vzorku používají pinzety či rukavice, vlivem zdržení se na místě ukrývání vzorku zanechají silné ložisko lidského pachu, což může pro psa posloužit jako nechtěné vodítko. Dalšími zdroji rušivých pachů mohou být chemikálie, jiná zvířata či potraviny.

## 4.2 Pomůcky pro testování

K realizaci experimentu bylo potřeba těchto pomůcek:

- binární směs nitrometanu a nitropropanu v poměru 1:1,
- kapalný nitromethan,
- kapalný nitropropan,
- injekce na dávkování kapaliny,
- sklenice o obsahu 0,75 l s děrovaným víčkem,
- sniffer (malá plechovka s děrovaným víčkem),
- stojany na sklenice.

Cílové pachy:

- binární směs nitrometanu a nitropropanu v poměru 1:1,
- kapalný nitromethan,
- kapalný nitropropan.

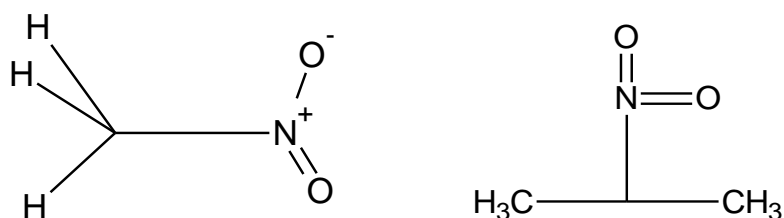
Jako klamné vzorky byly použity tyto látky od firmy Alfa Aesar:

- Vanillin 99% (krystalický prášek bílé až žluté barvy),
- Riboflavin 98% (Riboflavin),
- Potassium hydrogen L – tartrate 98+% (hydrogenuhlíčan draselný),

- Maltitol 97% (Maltitol),
- Potassium nitrite 97%,
- Peroxid zinečnatý, přibližně 50% ZnO<sub>2</sub>,
- Potassium L-tartrate hemihydrate 99% (hemihydrát vinanu draselného),
- Starch, modified, insolubles (modifikovaný škrob),
- Acacia, Total ash <4% powder (arabská guma).

#### 4.2.1 Nitrometan, nitropropan

Nitrometan a nitropropan patří mezi alifatické nitrosloučeniny, nazývané rovněž nitroalkany. Za standardních laboratorních podmínek jsou to bezbarvé, ve vodě částečně rozpustné kapaliny. Přítomnost nitroskupiny je zodpovědná za vzestup bodu zápalnosti a bodu varu oproti alkanům, od kterých jsou nitroalkany odvozené. Nitroalkany se široce uplatňují v další organické syntéze a ve směsích organických látek.



Obrázek č.7: Strukturální vzorce nitrometanu a nitropropanu (vytvořeno autorem)

#### 4.2.2 Výroba

Výroba nitropropanu probíhá nitrací propanu při teplotě 350–450 °C a tlaku 0,8–1,2 MPa, jako nitrační činidlo se používá kyselina dusičná. Při této teplotě jsou všechny komponenty směsi v plynném stavu. Produktem tohoto procesu je nitroalkanová směs bohatá na nitropropany, která opouští reaktor v kapalném stavu.

Regulace teploty exotermické reakce může být zajištěna několika způsoby:

- pomocí přebytku propanu (molární poměr propanu ke kyselině dusičné alespoň 4:1),
- postřikem kyseliny dusičné do zahřátého propanu,
- použitím 60–70% kyseliny dusičné (vytvoří se velké množství páry, která působí jako inertní médium v reaktoru),
- úpravou doby pobytu (čím kratší je doba pobytu, tím nižší je potřebná teplota).

Krátká doba pobytu je důležitá kvůli maximální tvorbě nitroalkanů a minimální tvorbě vedlejších produktů (alkoholy, aldehydy, ketony) při rychlé reakci. V plynné fázi nitrace se na nitroalkany přetvoří necelých 50 % kyseliny dusičné. Lepších výsledků lze dosáhnout přidáním malého množství kyslíku nebo halogenu. Rychlé ochlazení bezprostředně po nitraci vede ke zkapalnění nitroalkanů a vedlejší produkty obsahující kyslík. Takto získané nitroalkany následně prochází chemickým čištěním (k odstranění rozpuštěných nečistot obsahujících kyslík s vyšší teplotou varu) a poté se promyjí vodou. Zbývající voda je odstraněna průchodem sušicí věží a jednotlivé nitroalkany pak jsou získávány jako čisté produkty frakční kolony destilace (Markofsky 2011).

### 4.2.3 Skladování a doprava

Všeobecně skladování nitroalkanů nepřináší žádná velká rizika a nevyžaduje žádná speciální zacházení. Ale přesto je potřeba určitá opatření dodržovat. Nemělo by dojít ke kontaktu s přímým ohněm. Rovněž by nemělo docházet k větším otřesům s nádobami, v nichž jsou nitroalkany skladovány. Především nitromethan je na otřesy oproti ostatním nitroalkanům citlivější. Zvláštní pozornost by se měla věnovat zamezení vzniku suchých solí alkalických kovů, např. při kontaktu s hydroxidem sodným. Směs nitromethanu a aminu nebo oxidu těžkých kovů (oxid olova, stříbra, rtuti) způsobuje násilný rozklad, k čemuž by nemělo docházet. Dále by se u nitromethanu mělo předcházet vzniku adiabatické komprese. To je potřeba zohlednit především při transportu nitromethanu za pomoci potrubí a čerpadel. Nádoby s nitromethanem se oproti ostatním nitroalkanům (nitroethan, nitropropan) nesmí vrstvit na sebe.

### 4.2.4 Využití nitroalkanů

Jedním z nejdůležitějších je využití nitroalkanů ve směsích, kde působí jako stabilizátory halogenových uhlovodíků. Konkrétně se tyto směsi vyskytují v čistících přípravcích s antikorozními účinky, používají se k vnitřnímu potahování kovových lahví, dále se užívají ke stabilizaci pohonných hmot pro aerosoly (ve sprejích). Nitrometan se užívá jako rozpouštědlo akrylátových lepidel a nátěrů. Jak čisté, tak v různých směsích jsou nitroalkany využívány jako palivo pro závody „drugsterů“ a pro rádiem řízené modely letadel. Ve směsi s anorganickými dusičnany tvoří výbušniny používané například k podmořským odstřelům. Nitrometan se užívá v syntéze látek s různorodým použitím – látek s biocidními účinky, k výrobě rentgen kontrastní látky známé pod názvem Iopamidol a k lékům proti žaludečním vředům zastoupeným přípravkem Ranitidine.

Nitroetan je vynikající rozpouštědlo, často je součástí tiskařských barev. Také se přimíchává k nitrometanu, čímž se snižuje jeho tendence k detonaci. Vzniklá směs se využívá jako palivo do spalovacích motorů.

Nejvýznamnější využití 1-nitropropanu je ve farmaceutickém průmyslu, užívá se při syntéze léku na tuberkulózu, ale i dalších léků. Dále se stejně jako ostatní nitroalkany i nitropropan používá jako rozpouštědlo, přidává se do barev a lepidel. Užívá se i v textilním průmyslu k vytvoření stálých skladů na látkách.



## 4.3 Průběh experimentu

### 4.3.1 Příprava experimentu

Ve vnitřních prostorech kasáren Praha Kbely, jež jsou využívány k výcviku služebních psů Vojenské policie, bylo před každým kontrolním pokusem připraveno pracoviště tak, aby neobsahovalo žádné nežádoucí předměty. Do připraveného prostoru byly umístěny stojany na sklenice.

Obrázek č.8: Řada stojanů obsahujících pachové vzorky (foto autora)



K samotnému experimentu byla použita binární směs nitrometanu a nitropropanu 1:1 uložená ve skleněné uzavřené nádobě, dále vzorek nitrometanu a nitropropanu, rovněž uložené ve skleněných uzavřených nádobách, aby nedocházelo ke kontaminaci nežádoucími odoranty.



Obrázek č.9 a č.10: Chemické látky použité při experimentu jako cílové pachy (foto autora)

Pro testovací čichání byly do sklenic umístěny jak klamné vzorky, tak cílový pach. V řadě sklenic se vždy nacházel klamný vzorek, s nímž pes nebyl před experimentem seznámen. Pro každé jednotlivé čichání byly využity nové sklenice z důvodu zamezení kontaminace vzorků nežádoucími odoranty.

### 4.3.2 Experiment

V první fázi experimentu byli psi vycvičeni na detekci pachu binární směsi nitrometanu a nitropropanu. Vzorek binární směsi byl umístěn ve snifferu (malá plechovka s děrovaným víčkem). Dávkování kapaliny bylo prováděno za pomoci stříkačky pro jasně definované množství. To se při vtiskávání měnilo v nahodilém pořadí, aby nedošlo k zobecnění jen na jedno definované množství kapaliny a tím způsobenou úroveň intenzity odorantů.

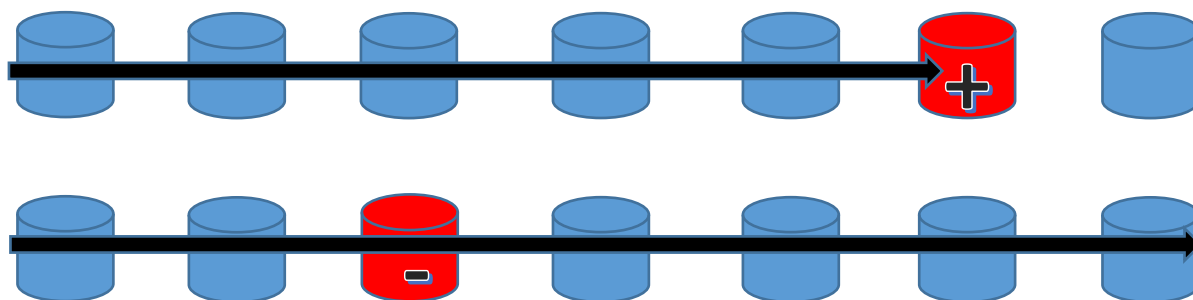
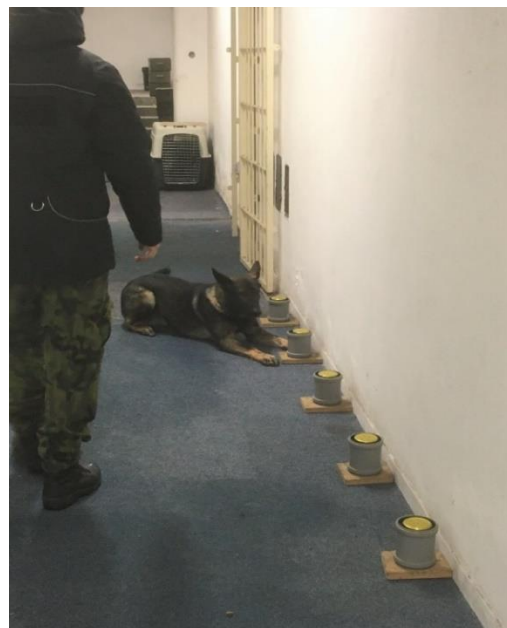


Obrázek č.11 a č.12: Pomůcky použité pro uložení a dávkování kapalin sniffer, injekční stříkačka (foto autora)

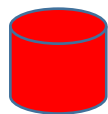
V druhé fázi byl sniffer obsahující binární směs uzavřen do sklenice s děrovaným víčkem a umístěn mezi dalších šest sklenic obsahujících různé klamné vzorky (léčiva, drogerie, osobní věci psovodů atd.) do stojanů vyrobených z PVC odpadních trubek umístěných na dřevěném podstavci. Cílem bylo ověření, zda jsou psi schopni správně diferenciovat pach binární směsi. Psi prohledávali jednotlivé stojany tak, že před každým novým pokusem bylo pozměněno jejich pořadí z důvodu zamezení nežádoucího dynamického stereotypu. Psovodi nebyli o pozici vzorku předem informováni, aby nemohlo dojít k nežádoucímu ovlivnění psa. Experiment byl prováděn metodou double blind, tzn. v místnosti, kde probíhalo vyhledávání, nebyl přítomen nikdo, kdo by věděl o pozici, na které byla uložena sklenice se snifferem obsahujícím vzorek s cílovým pachem. Bylo provedeno celkem deset opakování v průběhu tří dnů u každého psa. Při každém opakování byl do řady přidán nový klamný vzorek, se kterým pes nebyl ještě seznámen. Tím bylo prověřováno, zda nemají psi tendenci značit nové a neznámé pachy, čímž by mohl být výsledek testu ovlivněn nežádoucím způsobem.

Ve třetí fázi experimentu byl do stojanu mezi klamné vzorky umístěn vzorek nitrometanu či nitropropanu. Každý pes provedl v průběhu jednoho dne maximálně dvě kontrolní čichání, a to jedenkrát nitrometan a jedenkrát nitropropan. Protože ani při značení nebyl pes odměňován, neprovádělo se více čichání za den, aby nedocházelo k falešným značením z důvodu přílišného vydráždění, tzv. přemotivování psů. Celkem bylo provedeno pět kontrolních čuchání na každou látku, takže deset na jednoho psa.

Obrázek č.13: Pes při označení cílového pachu nitropropanu (foto autora)



Sklenice s klamným vzorkem



Sklenice se vzorkem nitrometanu, nitropropanu



Směr pohybu psa při kontrolním čichání



Pes označil



Pes neoznačil

Obrázek 14: Grafické znázornění průběhu kontrolního čichání

## 5 Výsledky

Experiment probíhal ve vnitřních prostorech, které se standardně využívají pro výcvik psů VP na speciální pachové práce. Tím byl eliminován jakýkoliv nežádoucí vliv prostředí. Testovací čichání bylo prováděno během několika dní v průběhu měsíců říjen 2020 až leden 2021 za téměř identických tepelných a povětrnostních podmínek. Při zakládání byly použity rovněž klamné vzorky, které však ani v jednom případě žádný pes nezaznačil.

V první fázi testování všech pět psů bezpečně zaznačilo v každém z deseti pokusů binární směs pasivním způsobem, který se u psů na vyhledávání výbušnin vyžaduje. Žádný pes nereagoval na klamné vzorky, které představovaly chemické látky, obalové materiály (polyetylen aluminiová fólie). Každý pes v průběhu testovacích čichání pracoval jak na vodítku, tak na volno, přičemž psovodi dodržovali standardní postup, který se aplikuje jak v praxi, tak při výcviku. Při správném označení sklenice s cílovým pachem binární směsi byl pes po vydání signálu experimentátora psovodem odměněn. Tento průběh je zcela shodný se standardním výcvikem služebních psů na vyhledávání výbušnin.

Na základě těchto poznatků se pokračovalo do další fáze experimentu. V následujících testovacích čicháních byla v řadě sedmi stojanů vždy umístěna čistá látka nitrometan nebo nitropropan. Mezi jednotlivými testovacími dny probíhalo opakované čichání binární směsi nitrometanu a nitropropanu s variabilním scénářem odměňování.

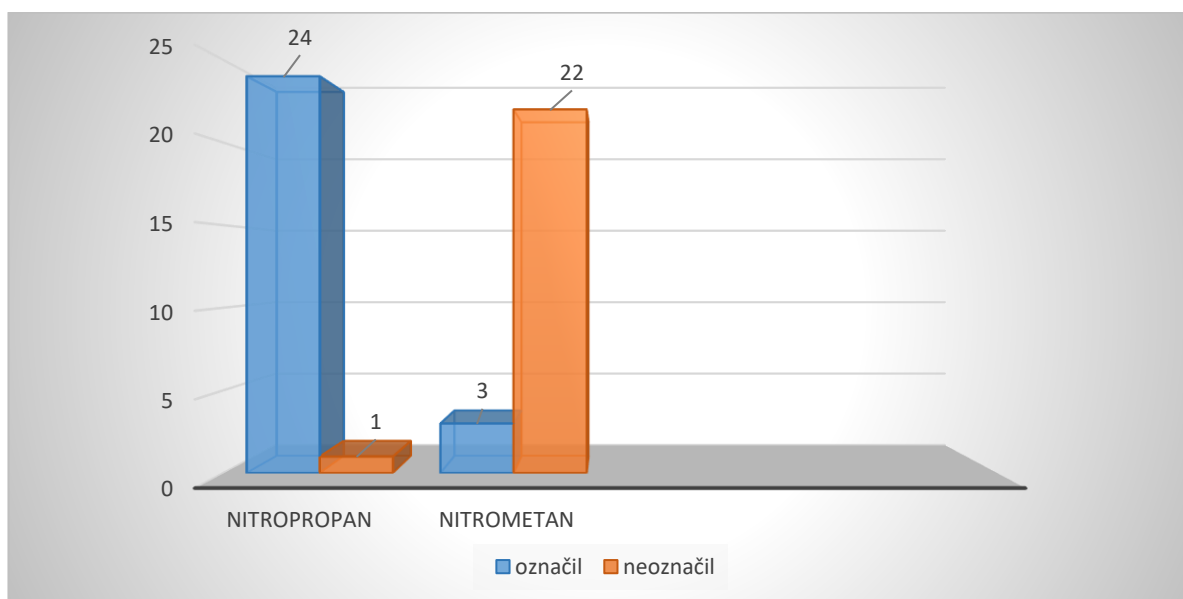
Všech pět testovaných psů v každém z pěti pokusů označilo sklenici se vzorkem nitropropanu až na pátý pokus psa Arryho. Sklenici se vzorkem nitrometanu označili jen tři psi, a to pouze každý jednou z pěti kontrolních čichání.

Pes	Binární směs			
	Počet čichání	Označil	Neoznačil	Falešné značení
Scotty	10	10	0	0
Arry	10	10	0	0
Tim	10	10	0	0
Ciro	10	10	0	0
Erro	10	10	0	0
Celkem	50	50	0	0

Tabulka č.2: Reakce jednotlivých psů v průběhu testování detekování binární směsi

Jméno psa	Počet pokusů	Nitropropan		Nitrometan	
		Označil	Neoznačil	Označil	Neoznačil
Scotty	5	5	0	1	4
Arry	5	4	1	0	5
Tim	5	5	0	1	4
Ciro	5	5	0	1	4
Erro	5	5	0	0	5
Celkem	25	24	1	3	22

Tabulka č.3: Reakce jednotlivých psů v průběhu kontrolních čichání



Graf č.1: Výsledky kontrolních čichání jednotlivých složek binární směsi

## 5.1 Statistické výsledky

Vliv detekované látky byl analyzován v programu SAS, verze 9.4 pomocí PROC FREQ.

Byl zjištěn signifikantní vliv typu detekované látky na schopnost správné detekce ( $\chi^2_1 = 14.44$ ;  $P = 0.0001$ ).

NP	1	NM	0	22x	88%
NP	1	NM	1	3x	12%

Tabulka č. 4. Kombinace výsledků detekce nitropropanu (NP) a nitrometanu (NM)

## 6 Diskuze

Na počátku experimentu bylo zásadní naučit psy detekovat binární kapalnou směs. Pro psy, kteří se zúčastnili tohoto experimentu, to byla první kapalná látka, kterou se učili detekovat. Následným testovacím čicháním bylo potvrzeno, že všech pět psů bylo úspěšně vycvičeno detekovat požadovanou binární směs. To bylo prověřeno u každého psa za pomoci deseti kontrolních čichání, při kterých byla vždy spolehlivě detekována požadovaná binární směs.

Výsledky testovacích čichání jednotlivých složek binární směsi byly vzhledem k velkému množství možných variant výsledků nečekaně jednoznačné. Všeobecně se totiž předpokládá, že nejlépe jsou pro psy detekovatelné odoranty s vyšší tenzí par (Harper et al. 2005). V tomto experimentu se tento názor nepotvrdil. Dle základních fyzikálních vlastností viz tabulka č.5, byl předpoklad reakce psů spíše u nitrometanu.

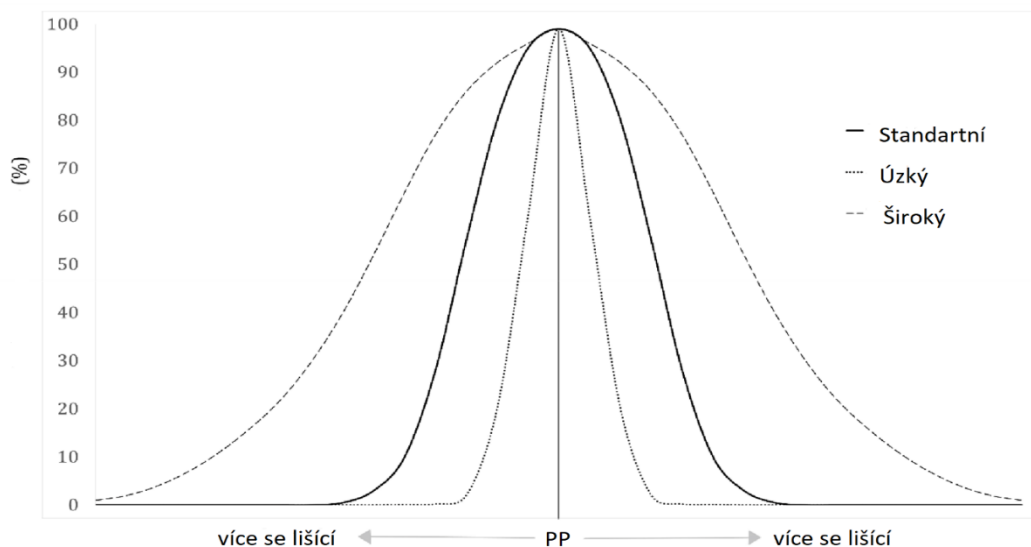
Vlastnosti	Nitrometan	Nitropropan
tlak páry při 25 °C, Mpa	4,89	2,29
míra vypařování (butyl acetát = 1)	1,39	1,1
hustota g/cm <sup>3</sup> při 20 °C	1,138	0,998

Tabulka č.5: Základní fyzikální vlastnosti nitrometanu a nitropropanu (Markofsky 2011)

Všech pět psů ve všech kontrolních čicháních, vyjma posledního kontrolního čichání u psa Arryho zcela jednoznačně označili sklenici s nitropropanem. Poslední čichání u psa Arryho mohlo být reakcí na průběh testovacího čichání. Psi nebyli za žádné označení samotných látek nitrometanu či nitropropanu v průběhu testovacího čichání odměňováni, aby nedošlo k nežádoucímu ovlivnění výsledků testovacích čichání. Již jediné odměnění označení vzorku nitrometanu či nitropropanu mohlo vyvolat asociaci naučeného chování, které je u těchto psů záměrně vybudované výcvikem (osobní zkušenost autora).

Při výcviku psů na detekci cílových pachů, je velmi důležité věnovat pozornost generalizaci a diskriminaci (Guttman & Kalish 1956). V praxi se od psů vyžaduje, aby byli schopni zaznačit skutečné cílové pachy, které se však velmi často poněkud liší od těch, kterými byli cvičeni. Psi mohou být cvičeni na určitou výbušinu či výbušnou směs a následně musí být schopni detekovat i podomácku vyrobenou výbušinu. Schopnost reagovat na podobné pachy stejným způsobem, jako by reagovali na původní cvičený pach se nazývá zobecnění. Ačkoli je zobecnění do určité míry žádoucí, je potřeba, aby psi také rozlišovali od nežádoucích pachů, které nejsou cílem.

Při tomto prováděném experimentu, tedy psi po vycvičení detekovat pach kapalně směsi, následně dokázali generalizovat pach jedné komponenty a to nitropropanu. Naopak na pach nitrometanu reagovali diskriminačně. Jak bylo již prokázáno (Cleland et al. 2009) v případě potřeby, by bylo možné naučit psy vhodným výcvikem generalizovat rovněž druhou komponentu z kapalně směsi (nitrometan). Detekční psi se reakci na cílový pach učí nejlépe v případě, že se setkali s různými variacemi naučeného pachu (Lazarowski & Dorman 2014), čímž u nich dochází k rozšíření gradientu generalizace. Tendence psů zobecňovat reakci na jiné pachy, než na kterých byli trénováni může ovšem značně ovlivnit výsledky detekčních psů. Příliš malá generalizace může vést k neoznačení cílového pachu. Naopak příliš mnoho generalizace může vést ke zvýšení falešných označení (Moser et al. 2019).



PP – podmíněný podmět  
 (%) – pravděpodobnost reakce

Obrázek č.15: Tři teoretické generalizační gradienty ilustrující pravděpodobnost reakce na podmíněný podmět (cílový pach). Úzký vrchol zobrazuje nejmenší zevšeobecnění, s méně reakcemi na podněty, které se odchyľují od naučeného cílového pachu. Široký vrchol zobrazuje nejvíce zobecnění s největší pravděpodobností reakce na podněty odlišné od naučeného cílového pachu. (částečně převzato od Moser et al. 2019)

V našem experimentu byla použita pouze jedna a ta samá binární směs, rovněž vzorky nitrometanu a nitropropanu, byly v průběhu celého experimentu totožné. Výsledky jasně naznačují, že psi se naučili na pachovou směs reagovat analyticky, tedy na každou složku směsi samostatně. Byť jsou psi schopni používat oba způsoby (Hall & Wynne 2018) o konfigurační reakci zcela zjevně nešlo. V tom případě by psi reagovali pouze na pach směsi ale nikoliv na samotné komponenty, které jí tvoří. Čemuž neodpovídají výsledky našeho experimentu. Naopak ty nám ukazují jednu z možností analytickou reakce na směs. Jedná se o analytické zpracování, při němž je vnímána jedna hlavní složka, zatím co ostatní ne.

Tím se výsledky toho experimentu liší od výsledků zjištěných v experimentu Gazit et al. (2021). V tomto experimentu bylo zjištěno, že psi dokážou detekovat všechny komponenty tvořící jednotlivé pachové směsi. Možným důvodem jiného výsledku mohla být jiná metodika při detekování cílových pachů. V tomto experimentu nebylo psům umožněno opětovné očichání již prověřených sklenic, kdežto v experimentu Gazit et al. (2021) ano. Poté, co jsme vyzkoušeli umožnit psům opětovné očichání již prověřených sklenic, došli jsme ke stejnému výsledku jako Gazit et al. (2021). Psi skutečně detekovali i druhou složku (nitrometan) binární směsi. Toto bylo provedeno jen u dvou psů. U každého z nich pouze dva pokusy, jelikož tato metodika nebyla primárním zájmem experimentu. Toto srovnání však jasně naznačuje, že pes je sice schopen analytické reakce na pachovou směs, ale neznamená to, že bude detekovat každou její komponentu při prvním kontaktu, což je v praxi velmi zásadní. Při prověřování prostoru či různých objektů v praxi pes na detekci výbušnin zpravidla nemá příležitost opětovného prověření.



## 7 Závěr

Cílem tohoto experimentu bylo potvrdit, nebo vyvrátit schopnost psů detekovat individuální cílové pachy kapalin o různé tenzi par, poté co byli naučeni detekovat binární směs.

Vzhledem k dosti jednoznačnému výsledku testování, je zcela zřejmé, že psi spolehlivě nedetekovali všechny komponenty tvořící směs, jenž byli vycvičeni detekovat. Přesto jsou používány výcvikové metody, které jsou založené právě na principu vycvičení psa detekovat nejprve pachovou směs tvořenou z jednotlivých cílových pachů a následného rozdělení pachové směsi na jednotlivé komponenty, přičemž se předpokládá, že by je pes měl být schopen detekovat.

Jak z našeho experimentu vyplývá, je více než pravděpodobné, že psi nebudou detekovat všechny komponenty, a tudíž bude potřeba vycvičit psi v detekci jednotlivých komponent samostatně. Je proto zbytečné vytvářet na počátku výcviku pachovou směs, u které je navíc velmi složité predikovat jakou komponentu psi detekovat budou a jakou nikoli. Naopak je žádoucí na počátku výcviku vtiskávání cílového pachu použít absolutně čistou chemickou látku. Jen to může zaručit, že se pes naučí detekovat skutečný cílový pach, který požadujeme.

Až v další fázi výcviku dochází k rozšíření generalizačního gradientu tím, že učíme psa detekovat již naučený čistý cílový pach v nejrůznějších kombinacích a poměrech s jinými látkami, v odlišných obalových materiálech nebo od různých výrobců. To v praxi zaručuje několikanásobně větší pravděpodobnost požadované reakce detekčního psa. Měl by totiž reagovat na veškeré látky obsahující cílový pach (čistou chemickou látku), kterou byl pes naučen detekovat na samém počátku výcviku.

Na základě výsledků celého experimentu pro budoucí využití při výcviku detekčních psů by bylo vhodné vytvořit experiment se směsí tvořenou nejméně třemi komponenty, aby byla možnost ještě větší variability výsledků, ze kterých by bylo jasně patrné, zda výsledky tohoto experimentu a následné závěry, tedy zvolení dané metodiky při první fázi výcviku detekčních psů byly správné či nikoli. Není totiž těžké naučit psa cokoliv detekovat, ale zvolit tu správnou chemickou látku, která zaručí, že pes bude opravdu detekovat jen požadovaný cílový pach.



## 8 Literatura

- Araneda RC, Peterlin Z, Zhang X, Chesler A, Firestein S. 2004. A pharmacological profile of the aldehyde receptor repertoire in rat olfactory epithelium. *The Journal of physiology* **555**(Pt 3):743-756.
- Aungst JL, Heyward PM, Puche AC, Karnup SV, Hayar A, Szabo G, Shipley MT. 2003. Centre-surround inhibition among olfactory bulb glomeruli. *Nature* **426**(6967):623-629.
- Barrios AW, Sãınchez-Quinteiro P, Salazar I. 2014. Dog and mouse: toward a balanced view of the mammalian olfactory system. *Frontiers in Neuroanatomy* **8**:106.
- Berglund B, Berglund U, Lindvall T. 1976. Psychological processing of odor mixtures. *Psychological Review* **83**(6):432-441.
- Breer HJ, Fleischer A, Strotmann J. 2006. Signaling in the Chemosensory Systems. *Cellular* **63**(13):1465-1475.
- Brewer W, Castle D, Pantelis C. 2006. *Olfaction and the brain*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Cleland TA, Narla VA, Boudadi K. 2009 Multiple learning parameters differentially regulate olfactory generalization. *Behavioral Neuroscience* **123**(1):26-35.
- Craven BA, Neuberger T, Paterson EG, Webb AG, Josephson EM, Morrison EE, Settles GS. 2007. Reconstruction and Morphometric Analysis of the Nasal Airway of the Dog (*Canis familiaris*) and Implications Regarding Olfactory Airflow. *Anatomical Record: Advances in Integrative Anatomy* **290**(11):1325-1340.
- Craven BA, Paterson EG, Settles GS. 2010. The fluid dynamics of canine olfaction: unique nasal airflow patterns as an explanation of macrosmia. *Journal of the royal society interface* **7**(47):933-943.
- Crawford JR, Eugene G. 1962. Mechanical aspects of panting in dogs. *Journal of Applied Physiology* **17**(2):249-251.
- Cundall RB, Frank Palmer T, Wood CEC. 1978. Vapour pressure measurements on some organic high explosives. *Journal of the Chemical Society, Faraday Transactions 1: Physical Chemistry in Condensed Phases* **74**:1339-1345
- Degreeff LE, Cerreta MM, Katilie CJ. 2017. Variation in the headspace of bulk hexamethylene triperoxide diamine (HMTD) with time, environment, and formulation. *Forensic Chemistry* **4**:41-50.

- Døving KB, Trotier D. 1998. Structure and function of the vomeronasal organ. *The Journal of experimental biology* **201**(Pt 21):2913-2925.
- Dulac C. 1997. Molecular biology of pheromone perception in mammals. *Seminars in Cell and Developmental Biology* **8**(2):197-2051.
- Ensminger JJ. 2012. *Police and military dogs: criminal detection, forensic evidence, and judicial admissibility*. Routledge, New York.
- Ethomas-Danguin T, Esinding Ch, Eromagny S, Eatanasova B, Ecoureaud G. 2014 The perception of odor objects in everyday life: a review on the processing of odor mixtures. *Frontiers in Psychology* **5**:504.
- Evans HE. 1993. The Respiratory System. Pages 463-472. in: Evans HE, editor. *Miller's anatomy of the dog*. Saunders Company, New York.
- Evans HE, De Lahunta A. 2013. *Miller's Anatomy of the Dog, 4th Edition*. Page Miller's Anatomy of the Dog. Fourth Edition. Elsevier Saunders, St. Louis, Missouri.
- Fletcher ML. 2011. Analytical Processing of Binary Mixture Information by Olfactory Bulb Glomeruli. *PLoS ONE* **6**(12): e29360 DOI: 10.1371/journal.pone.0029360.
- Furton KG, Hsu Ya-Li, Luo Tien-Ying, Alvarez N, Lagos P, Hicks J, De Forest PR, Baylor VM. 1997. Novel sample preparation methods and field testing procedures used to determine the chemical basis of cocaine detection by canines **2**(10):56-62.
- Frumin I, Sobel N, Gilad.Y. 2014. Does a unique olfactory genome imply a unique olfactory world? *Nature Neuroscience* **17**(1):6-8
- Galibert F, Azzouzi N, Quignon P, Chaudieu G. 2016. The genetics of canine olfaction. *Journal of veterinary behavior-clinical applications and research* **16**:86-93.
- Gazit I, Goldblatt A, Grinstein D, Terkel J. 2021. Dogs can detect the individual odors in a mixture of explosives. *Applied Animal Behaviour Science* **235**, N.PAG
- Gero A, Milligan E. 2006. United States War Dogs and Their Handlers, 1944–1945. *Military Collector* **58**(3):166-167.
- Giraudet P, Berthommier F, Chaput M. 2002. Mitral cell temporal response patterns evoked by odor mixtures in the rat olfactory bulb. *Journal of neurophysiology* **88**(2):829-838.
- Guttman N, & Kalish HI. 1956 Discriminability and stimulus generalization. *Journal of Experimental Psychology* **51**(1):79-88.

- Hall NJ, Wynne Clive DL. 2018 Odor mixture training enhances dogs' olfactory detection of Home-Made Explosive precursors. *Heliyon* **4**(12).
- Harper RJ, Almirall JR, Furton KG. 2005. Identification of dominant odor chemicals emanating from explosives for use in developing optimal training aid combinations and mimics for canine detection. *Talanta* **67**(2):313-327.
- Chaput MA, El Mountassir F, Atanasova B, Thomas-Danguin T, Le Bon AM, Perrut A, Ferry B, Duchamp-Viret P. 2012. Interactions of odorants with olfactory receptors and receptor neurons match the perceptual dynamics observed for woody and fruity odorant mixtures. *European Journal of Neuroscience* **35**(3/4):584-597.
- Jinks A, Laing DG. 1999. A limit in the processing of components in odour mixtures. *Perception* **28**(3):395-404.
- Kay LM, Crk T, Thorngate J. 2005. A Redefinition of Odor Mixture Quality. *Behavioral Neuroscience* **119**(3):726-733.
- Komar D. 1999. The use of cadaver dogs in locating scattered, scavenged human remains: preliminary field test results. *Journal of forensic sciences* **44**(2):405-408.
- Laing DG, Francis GW. 1989. The capacity of humans to identify odors in mixtures. *Physiology* **46**(5):809-814.
- Langer P. 2008. Chemical Ecology of Vertebrates. *Mammalian Biology* **73**(2):168.
- Laska M & Hudson R. 1993. Discriminating parts from the whole: determinants of odor mixture perception in squirrel monkeys, *Saimiri sciureus*. *Journal of Comparative Physiology A: Sensory, Neural and Behavioral Physiology* **173**(2):249-256
- Laska M, Seibt A, Weber A. 2000. 'Microsmatic' primates revisited: olfactory sensitivity in the squirrel monkey. *Chemical senses* **25**(1):47-53.
- Laska M, Hofmann M, Simon Y. 2003 Olfactory sensitivity for aliphatic aldehydes in squirrel monkeys and pigtail macaques. *Journal of Comparative Physiology A: Sensory, Neural and Behavioral Physiology* **189**(4):263–271.
- Lazarowski L, Dorman DC. 2014. Explosives detection by military working dogs: Olfactory generalization from components to mixtures. *Applied Animal Behaviour Science* **151**:84-93.
- Markofsky SB. 2011. Nitro Compounds, Aliphatic. *Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry*, (Ed.) DOI: 10.1002/14356007.a17\_401.pub2.

- Martinez-Marcos, A. 2009. On the organization of olfactory and vomeronasal cortices. *Progress in Neurobiology* **87**(1):21-30.
- Moore DS. 2004. Instrumentation for trace detection of high explosives. *Review of Scientific Instruments* **75**(8):2499-2512.
- Moser AY, Lewis B, Brown WY. 2019. Olfactory Generalization in Detector Dogs. *Animals* **9**(9):702-702
- Müller-Schwarze D. 2006. *Chemical Ecology of Vertebrates*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Najbrt, R., Červený, Č., Kaman, J., Mikyska, E., Štarha, O., Štěrbá, O. 1980. *Veterinární anatomie I*. Státní zemědělské nakladatelství. Praha. 524 s.
- Negus VE. 1958. *The Comparative Anatomy and Physiology of the Nose and Paranasal Sinuses*. Livingstone, London.
- Östmark H, Wallin S, Ang HG. 2012. Vapor Pressure of Explosives: A Critical Review. *Propellants, Explosives, Pyrotechnics* **37**(1):12-23.
- Pinc L. 2014. Kontrolované biologické systémy k detekci výbušnin. Pages 200-214 in *Policejní pyrotechnika*. Aleš Čeněk, Plzeň.
- Prada PA, Curran AM, Furton KG, Barrow J, Van Arsdale K, Angle T, Waggoner P, Giles K. 2011. The Evaluation of Human Hand Odor Volatiles on Various Textiles: A Comparison Between Contact and Noncontact Sampling Methods\*, †. *Journal of Forensic Sciences* **56**(4):866-881.
- Quignon P, Rimbault M, Robin S, Galibert F. 2012. Genetics of canine olfaction and receptor diversity. *Mammalian genome* **23**(1-2):132-143.
- Rabin MD, Cain WS, Cain J. 1989. Attention and learning in the perception of odor mixtures. *Perception of complex smells and tastes* **173**:188.
- Rospars JP, Lansky P, Chaput M, Duchamp-Viret P. 2008. Competitive and noncompetitive odorant interactions in the early neural coding of odorant mixtures. *The Journal of neuroscience: the official journal of the Society for Neuroscience* **28**(10):2659-2666.
- Rygg AD, & Craven BA. 2017. The Influence of Sniffing on Airflow and Odorant Deposition in the Canine Nasal Cavity. *Chemical senses* **42**(8): 683-698

- Settles GS, Keste DA, Dodson-Dreibelbis LJ. 2002. The External Aerodynamics of Canine Olfaction. Pages 323-324 in Barth FG, Humphrey JAC, Secomb TW, editors. *Sensors and Sensing in Biology and Engineering*. Springer, Vienna & NY.
- Simon A, Lazarowski L, Singletary M, Barrow J, Van Arsdale K, Angle T, Waggoner P, Giles K. 2020. A Review of the Types of Training Aids Used for Canine Detection Training. *Frontiers in Veterinary Science* **7**:313.
- Steullet P., Derby CD. 1997. Coding of blend ratios of binary mixtures by olfactory neurons in the Florida spiny lobster, *Panulirus argus*. *Journal of Comparative Physiology A: Sensory, Neural, and Behavioral Physiology* **180**(2):123-135.
- Štůla J. 1957. O psech minohledačích (1). *Kynologie* **5**:125-126.
- Štůla J. 1957. O psech minohledačích (2). *Kynologie* **6**:125-126.
- Wells DL, Hepper PG. 2006. Prenatal olfactory learning in the domestic dog. *Animal Behaviour* **72**(3):681–686.



