

Návrh filtroventilačního zařízení pro improvizovaný úkryt

Bc. Přemysl Borunský

Diplomová práce
2024



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta logistiky a krizového řízení

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta logistiky a krizového řízení

Ústav ochrany obyvatelstva

Akademický rok: 2023/2024

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

| | |
|-------------------|---|
| Jméno a příjmení: | Bc. Přemysl Borunský |
| Osobní číslo: | L22635 |
| Studijní program: | N1032A020002 Bezpečnost společnosti |
| Specializace: | Ochrana obyvatelstva |
| Forma studia: | Prezenční |
| Téma práce: | Návrh filtroventilačního zařízení pro improvizovaný úkryt |

Zásady pro vypracování

1. Zpracujte rešerši na dané téma z domácích i zahraničních zdrojů.
2. Vymezte základní pojmy a právní rámec řešené problematiky.
3. Analyzujte rizika spojená s používáním filtroventilačních zařízení v dané oblasti.
4. Navrhněte vlastní zařízení na základě daných vstupních parametrů.

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

Seznam doporučené literatury:

1. BOHAN, Frank. *Emergency Air: For Shelter-in-place Preppers and Home-built Bunker*. 2. vydání. Paladin Press, 2013. ISBN 978-1610048675.
 2. HYLÁK, Čestmír a Ján PIVOVARNÍK. *Individuální a kolektivní ochrana obyvatelstva ČR*. Praha: Ministerstvo vnitra – generální ředitelství Hasičského záchranného sboru ČR, 2016. ISBN 978-80-87544-18-1.
 3. ŘEHÁK, David a Jana PUPÍKOVÁ. *Ukrytí obyvatelstva v České republice*. SPBI Spektrum, 2015. ISBN 978-80-7385-152-1.
- Další odborná literatura dle doporučení vedoucího diplomové práce.

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Pavel Tomášek, Ph.D.**
Ústav ochrany obyvatelstva

Datum zadání diplomové práce: **1. prosince 2023**

Termín odevzdání diplomové práce: **26. dubna 2024**

L.S.

doc. Ing. Zuzana Tučková, Ph.D.
děkanka

prof. Ing. Dušan Vičar, CSc.
ředitel ústavu

PROHLÁŠENÍ AUTORA DIPLOMOVÉ PRÁCE

Beru na vědomí, že:

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

Prohlašuji,

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

V Uherském Hradišti, dne: 26.4.2024

Jméno a příjmení studenta: Bc. Přemysl Borunský

.....
podpis studenta

ABSTRAKT

Tato diplomová práce se zabývá návrhem filtroventilačního zařízení určeného pro improvizovaný úkryt. Cílem bylo navrhnout vlastní technické řešení, které by poskytlo účinnou ochranu ukryvaným osobám proti účinkům CBRN látek. Východiskem návrhu byla analýza funkčního principu a konstrukce současných mobilních filtroventilačních zařízení, následně byl vytvořen 3D model návrhu. Práce může sloužit jako podklad pro tvorbu prototypu, který by ověřil funkčnost a spolehlivost zařízení.

Klíčová slova: ukrytí obyvatelstva, improvizovaný úkryt, filtroventilační zařízení, návrh, CBRN látky

ABSTRACT

This diploma thesis consists of the design of a filter ventilation device intended for an improvised shelter. The aim was to design a technical solution that would provide effective protection to sheltering persons against the effects of CBRN substances. The starting point of the design was an analysis of the functional principle and construction of current mobile filter ventilation devices, then a 3D model of the design was created. This paper can serve as a basis for creation of a prototype that would verify the efficiency and reliability of the device.

Key words: sheltering of population, improvised shelter, filter ventilation device, design, CBRN substances

Na tomto místě bych rád poděkoval svému vedoucímu diplomové práce, panu Ing. Pavlu Tomáškoví, Ph.D., za velmi odborné vedení práce. Dále bych chtěl poděkovat všem odborníkům z praxe za cenné rady a připomínky. Děkuji také své rodině za neutuchající podporu během mého studia.

Prohlašuji, že odevzdaná verze bakalářské/diplomové práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné.

OBSAH

| | |
|--|-----------|
| ÚVOD | 9 |
| CÍL PRÁCE A POUŽITÉ METODY | 10 |
| I TEORETICKÁ ČÁST | 12 |
| 1 PRÁVNÍ NORMY UKRYTÍ OBYVATELSTVA A DALŠÍ VÝZNAMNÉ DOKUMENTY | 13 |
| 1.1 PRÁVNÍ NORMY UKRYTÍ OBYVATELSTVA V ČESKÉ REPUBLICE | 13 |
| 1.2 DALŠÍ VÝZNAMNÉ DOKUMENTY | 13 |
| 2 UKRYTÍ OBYVATELSTVA | 16 |
| 2.1 ZÁKLADNÍ POJMY | 16 |
| 2.2 SOUČASNÝ STAV UKRYTÍ OBYVATELSTVA V ČESKÉ REPUBLICE..... | 17 |
| 3 ÚKRYTY | 19 |
| 3.1 STÁLÉ ÚKRYTY..... | 19 |
| 3.2 IMPROVIZOVANÉ ÚKRYTY | 26 |
| 3.2.1 Výběr vhodného prostoru pro IÚ | 26 |
| 3.2.2 Úprava prostoru na IÚ..... | 30 |
| 4 FILTROVENTILAČNÍ ZAŘÍZENÍ | 32 |
| 4.1 KONSTRUKCE A FUNKČNÍ PRINCIP FVZ..... | 32 |
| 4.2 FILTRAČNÍ A VENTILAČNÍ ZAŘÍZENÍ FVZ-100..... | 34 |
| 4.3 IMPROVIZOVANÁ FVZ..... | 36 |
| 4.4 PRŮZKUM NABÍDKY FVZ NA TRHU | 37 |
| 4.5 CBRN ZBRANĚ A LÁTKY | 42 |
| 4.5.1 Chemické zbraně a další nebezpečné chemické látky..... | 42 |
| 4.5.2 Biologické zbraně..... | 44 |
| 4.5.3 Radiologické zbraně a úniky radiace | 44 |
| 4.5.4 Jaderné zbraně | 45 |
| 4.6 FILTRY | 46 |
| 4.6.1 Prachové a aerosolové filtry | 46 |
| 4.6.2 Sorpční filtry | 46 |
| 4.6.3 Hopkalitové filtry | 48 |
| 4.7 VENTILÁTORY | 48 |
| 5 DÍLČÍ ZÁVĚR | 50 |
| II PRAKTICKÁ ČÁST | 51 |
| 6 VLASTNÍ NÁVRH | 52 |
| 6.1 POUŽITÝ SOFTWARE | 52 |
| 6.2 STANOVENÍ VSTUPNÍCH POŽADAVKŮ | 54 |
| 6.3 DEFINICE NÁVRHOVÝCH PARAMETRŮ | 56 |

| | | |
|----------|---|-----------|
| 6.3.1 | Definice návrhového úkrytu..... | 56 |
| 6.3.2 | Návrhový výpočet | 58 |
| 6.4 | DETAILNÍ NÁVRH | 67 |
| 7 | ANALÝZA MOŽNÝCH PORUCH NAVRHOVANÉHO ZAŘÍZENÍ | 71 |
| 7.1 | IDENTIFIKACE SOUČÁSTÍ, PORUCH A DOPADŮ..... | 71 |
| 7.2 | STANOVENÍ MÍRY RIZIKA..... | 72 |
| 7.3 | STANOVENÍ OPATŘENÍ..... | 75 |
| | ZÁVĚR | 77 |
| | SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY..... | 78 |
| | SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK..... | 81 |
| | SEZNAM OBRÁZKŮ | 83 |
| | SEZNAM TABULEK..... | 85 |
| | SEZNAM PŘÍLOH..... | 86 |

ÚVOD

Jednou z podstatných oblastí oboru ochrany obyvatelstva je budování a užívání úkrytů. V případě výskytu mimořádných událostí, jako jsou radiační a chemické havárie, vojenské napadení, či přírodní katastrofy, může být nalezení vhodného úkrytu faktorem rozhodujícím o přežití. O to více je toto téma aktuální v dnešní geopoliticky stále napjatější době.

V České republice existuje několik tisíc stálých úkrytů, velká část z nich byla ale po roce 1989 postupně vyřazena z provozu. Současnou strategií dle Konceptu ochrany obyvatelstva je spíše příprava obyvatelstva na vyhledávání a budování úkrytů improvizovaných nežli systematická výstavba úkrytů stálých.

Podmínkou nouzového přežití v úkrytech je kromě zajištění dostatečného množství pitné vody a potravin také přísun čistého vzduchu. Ve stálých úkrytech se o dodávání potřebného množství vzduchu starají rozměrné filtroventilační jednotky dimenzované na velké počty osob. Improvizované úkryty však takto zpravidla vybaveny nejsou. Nalezením vhodného technického řešení by tato jejich nevýhoda mohla být odstraněna.

Motivací k výběru tohoto technického tématu bylo z části předchozí bakalářské studium autora na Fakultě strojního inženýrství VUT v Brně, současně se zálibou v návrhu a konstrukci různých typů strojů a zařízení, a v neposlední řadě také zájmem o tematiku prepperství.

Teoretická část práce se zabývá problematikou ukrytí obyvatelstva v České republice a vymezuje základní pojmy v této oblasti. Dále se zaměřuje na úkryty civilní ochrany a improvizované úkryty, a to především na jejich technická řešení filtrace a ventilace vzduchu. Práce následně podrobně analyzuje funkční princip a konstrukci v současnosti dostupných mobilních filtroventilačních zařízení. To poskytuje podklad pro vytvoření vlastního návrhu podobného zařízení.

Vlastní návrh je zpracován v praktické části práce. Návrh je vytvořen na základě stanovených podmínek, zjištěných technických náležitostí a standardního postupu při návrhu vzduchotechniky. Návrh zařízení je prezentován v podobě 3D CAD modelu. Pro odhalení možných poruch vzniklých při provozu zařízení je provedena analýza rizik.

Práce se zabývá návrhem koncepce a může být dále použita jako podklad pro konstrukci prototypu, který by ověřil funkčnost, účinnost a spolehlivost navrhovaného řešení.

CÍL PRÁCE A POUŽITÉ METODY

Cílem této diplomové práce je provést koncepční návrh vlastního filtroventilačního zařízení (FVZ) malého výkonu určeného pro improvizovaný úkryt.

Teoretická část práce se zabývá problematikou ukrytí obyvatelstva a FVZ.

Dílčí cíle teoretické části:

- vymezení právního rámce ukrytí obyvatelstva,
- definice podstatných pojmů z oblasti ukrytí obyvatelstva souvisejících s touto prací,
- analýza funkčního principu FVZ a definice jeho komponent,
- průzkum trhu v oblasti FVZ.

Praktická část se zabývá návrhem mobilního FVZ pro improvizované úkryty. Toto zařízení by mělo být kompromisem mezi v současnosti vyráběnými nákladnými jednotkami, které mají velmi vysoký výkon, a improvizovanými zařízeními, která lze sestrojít z běžného vybavení domácnosti.

Dílčí cíle praktické části:

- definování návrhových parametrů na základě vstupních požadavků,
- vytvoření vlastního návrhu pomocí parametrického 3D CAD softwaru,
- analýza rizik poruch při provozu navrhovaného zařízení.

Použité metody:

Deskriptivní výzkum – metoda se zaměřuje na popis a zkoumání stavu věcí, jež jsou aktuálně k dispozici, a na získání hlubšího porozumění existujícím technologiím, designům a funkcím. Deskriptivní výzkum umožňuje identifikovat silné a slabé stránky stávajících FVZ a poskytuje důležitý základ pro návrh nového zařízení.

Parametrické modelování – jedná se způsob tvorby 3D modelů, který využívá parametry a pravidla pro vytváření a úpravu geometrie. Tento přístup umožňuje modelovat objekty pomocí definovaných parametrů, které ovlivňují jejich tvar, rozměry a vlastnosti. Parametrické modelování poskytuje flexibilitu a efektivitu při navrhování a modifikaci objektů, protože změna parametrů automaticky upravuje celý model tak, aby odpovídal novým specifikacím.

Analýza rizik – v praktické části práce je použita metoda FMEA. Metoda (Failure Mode and Effects Analysis). Je to systematická technika pro identifikaci potenciálních poruch, jejich příčin a důsledků v systémech, procesech nebo produktech. Cílem FMEA je předvídat potenciální poruchy a určit opatření k minimalizaci rizika jejich vzniku.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 PRÁVNÍ NORMY UKRYTÍ OBYVATELSTVA A DALŠÍ VÝZNAMNÉ DOKUMENTY

Ukrytí je jednou z nejzákladnějších strategií ochrany životů a zdraví lidí a zvířat při vzniku mimořádných událostí. S rozvojem civilní ochrany (dříve užívaný název) v minulém století se rozvíjela také oblast ukrytí obyvatelstva a bylo nutné ji právně zakotvit.

Tato kapitola uvádí právní předpisy v současnosti platné na území České republiky a další významné dokumenty související s ukrytím a FVZ.

1.1 Právní normy ukrytí obyvatelstva v České republice

V České republice je ukrytí obyvatelstva ukotveno řadou právních dokumentů. Těmi jsou následující:

- ústavní zákon č. 110/1998 Sb., o bezpečnosti České republiky, ve znění pozdějších předpisů,
- zákon 239/2000 Sb., o integrovaném záchranném systému a o změně některých zákonů (§2, písm. e, f, §7, odst. 2, písm. h, i, j, §10, odst. 5, písm. i, j, odst. 6, §12, §15, odst. 2, písm. c, g, odst. 3, 5, §23, odst. 2, písm. d, odst. 3, §24 odst. 1, písm. b, §25, odst. 2, písm. f),
- zákon 283/2021 Sb., stavební zákon (§ 167), (zákon 183/2006 Sb., stavební zákon (§154) – starý zákon),
- vyhláška MV č. 380/2002 Sb., k přípravě a provádění úkolů ochrany obyvatelstva (§15-17, § 18-22),
- usnesení vlády č. 560/2021, Koncepce ochrany obyvatelstva do roku 2025 s výhledem do roku 2030.

1.2 Další významné dokumenty

Dalšími významnými dokumenty v této oblasti jsou předpisy, normy a metodiky. Tato kapitola uvádí také historické předpisy Československé armády, které se týkají FVZ. Tyto předpisy v současnosti již nejsou platné, popisují však konstrukci FVZ, jejichž funkční princip se doposud nezměnil.

Aktuální dokumenty:

- Norma ČSN 73 9010 „Navrhování a výstavba staveb civilní ochrany“. Standard pro plánování, návrh a výstavbu staveb CO v ČR. Obsahuje požadavky na technická řešení, materiály a postupy při konstrukci těchto staveb, jako jsou kryty, úkryty nebo opěrné a obranné stavby.
- Norma ČSN 73 9010 „Údržba stálých úkrytů civilní ochrany“. Norma stanovuje požadavky pro údržbu a provoz stálých úkrytů CO v ČR. Obsahuje pokyny pro pravidelnou kontrolu, údržbu a opravy těchto staveb s cílem zajistit jejich správnou funkčnost a bezpečnost.
- Dokumenty vydané HZS ČR:
 - Sebeochrana obyvatelstva ukrytím – Metodická pomůcka pro orgány státní správy, územní samosprávy, právnické osoby a podnikající fyzické osoby. Poskytuje směrnice a doporučení pro plánování a realizaci ochranných úkrytů jako součást přípravy na MU
 - Metodika výběru a úprav vhodných prostorů k vybudování improvizovaných úkrytů k ochraně obyvatelstva před průmyslovými škodlivinami a látkami CBRN. Poskytuje postupy a směrnice pro identifikaci a adaptaci prostorů pro vytvoření dočasných úkrytů k ochraně obyvatelstva před chemickými, biologickými, radiologickými a jadernými hrozbami (CBRN).
 - Metodika plánování improvizovaného ukrytí v obci. Dokument poskytující instrukce pro vytváření dočasných úkrytů pro obyvatele při naturogenních či antropogenních MU.
 - Metodika plánování improvizovaného ukrytí po vyřazení stálých úkrytů z celostátní evidence úkrytů. Obsahuje pokyny a postupy pro plánování dočasných úkrytů v případě, že stálé úkryty jsou vyřazeny z celostátní evidence úkrytů.
 - Budování improvizovaných úkrytů. Metodika poskytující pokyny a postupy pro vytváření dočasných úkrytů. Obsahuje směrnice pro identifikaci vhodných lokalit, návrh a organizaci úkrytu, zajištění nezbytného vybavení a komunikaci s občany.

- Směrnice ISO/FDIS 22359 „Guidelines for hardened protective shelters“. Návrh mezinárodní normy pro tvorbu odolných ochranných úkrytů, který je aktuálně ve fázi vývoje.
- NATO STANAG – dohody v rámci Severoatlantické aliance. Slouží ke sdílení informací, stanovují standardy a postupy cvičení, vojenských operací apod. Většina STANAGů je určena pro interní použití, některé z nich jsou ale veřejně dostupné, zejména ty z civilní oblasti.

Předpisy Československé armády:

- Chem-21-2 „Filtrační a ventilační zařízení FVZ-100“,
- Chem-21-3 „Kolektivní filtry a předfiltry“,
- Chem-21-6 „Filtrační a ventilační zařízení FVZ-150“.

V oblasti individuální a kolektivní ochrany dále existuje mnoho norem, které souvisí s filtrací vzduchu. Týkají se např. parametrů filtrů ochranných masek nebo jejich testování.

2 UKRYTÍ OBYVATELSTVA

Pro správné pochopení pojmu ukrytí obyvatelstva (UO) je nejprve nutné seznámit se s pojmy ochrana obyvatelstva a individuální a kolektivní ochrana obyvatelstva.

Ochrana obyvatelstva (OO) je definována jako „plnění úkolů civilní ochrany, zejména varování, evakuace, ukrytí a nouzové přežití a další opatření k zabezpečení ochrany života, zdraví a majetku.“ (Zákon č. 239/2000 Sb., 2000, §2, písm. e)

Zjednodušeně ji lze také popsat jako soubor opatření, postupů a činností, jejichž cílem je eliminovat nebo zmenšit škodlivé působení účinků mimořádných událostí (MU) na životy, zdraví, majetek a životní prostředí. Do souboru opatření OO řadíme, krom jiných, také individuální a kolektivní ochranu. Individuální ochrana se zaměřuje na jedince, kolektivní ochrana na skupinu obyvatel. (Hylák a Pivovarník, 2016)

Mezi prostředky individuální ochrany řadíme například ochranné obleky a masky. Mezi prostředky ochrany kolektivní pak řadíme *úkryty*. (Princ a Vičar, 2023)

Ukrytí obyvatelstva lze také definovat jako „využití úkrytů civilní ochrany a jiných vhodných prostorů, které se stavebními a jinými doplňkovými úpravami přizpůsobují k ochraně obyvatelstva.“ (Hylák a Pivovarník, 2016, s. 106)

2.1 Základní pojmy

Tato podkapitola definuje základní technické pojmy týkající se úkrytů, které jsou podstatné pro kapitoly následující.

Mobilní prostředky – zpravidla bojová obrněná vozidla s prvky zvyšujícími odolnost proti ionizujícímu záření, vybavená FVZ. (Princ a Vičar, 2023)

Stacionární prostředky – ochranné stavby různého typu, ženíjní nebo civilní. (Princ a Vičar, 2023)

Stálý úkryt civilní ochrany (SÚCO) – trvalý úkryt zřízený v podzemní části budovy, nebo samostatně stojící stavba, zbudovaný za účelem ukrytí obyvatelstva a financovaný z veřejných zdrojů. (Řehák, Folwarczny, 2012)

- **Stálý tlakově odolný úkryt (STOÚ)** – úkryt odolný vůči tlakové vlně jaderných i konvenčních zbraní, odolný vůči účinkům světelného a tepelného záření, pronikavé radiaci a kontaminaci radioaktivním prachem. (Řehák, Martínek a Legierská, 2015)

- **Stálý tlakově neodolný úkryt (STNÚ)** - úkryt, který nespĺňuje požadavek tlakové odolnosti na úrovni STOÚ (Řehák, Martínek a Legierská, 2015):
 - SPRÚ – Stálý protiradiační úkryt,
 - SPRÚ-Z – Stálý protiradiační úkryt zesílený.

Ochranné systémy podzemních dopravních staveb (OS PDS) – dvouúčelové stavby sloužící v době míru k dopravě, současně využitelné k ukrytí. Díky většímu zapuštění pod úroveň terénu mohou mít lepší ochranné vlastnosti než STOÚ (Hylák a Pivovarník, 2016):

- Ochranný systém metra (OSM),
- Ochranný systém strahovského automobilního tunelu (OSST).

Improvizovaný úkryt (IÚ) – vhodně upravený prostor následně sloužící k ukrytí. Může být definován *jako předem vybraný nebo předem stavebně technicky připravený, optimálně vyhovující prostor ve vhodných částech bytů, obytných domů, provozních a výrobních objektů, který bude upravován fyzickými a právníckými osobami pro jejich ochranu a pro ochranu jejich zaměstnanců před účinky mimořádných událostí s využitím vlastních materiálních a finančních zdrojů* (Hylák a Pivovarník, 2016, s. 109).

Improvizovaný úkryt často slouží jako přechodné ochranné opatření vytvořené v reakci na naléhavou situaci, dokud není možná evakuace ukryvaných osob.

Filtroventilační zařízení (FVZ) – zařízení zajišťující přívod čerstvého vzduchu. Jeho úkolem je přivádět do úkrytu čerstvý vzduch, zbavovat jej radioaktivních, chemických a bakterio-biologických látek a vytvářet v úkrytu přetlak. Díky tomu může být prodloužena doba bezpečného pobytu uvnitř úkrytu. (Hylák a Pivovarník, 2016)

FVZ se podrobněji zabývá kapitola 4.

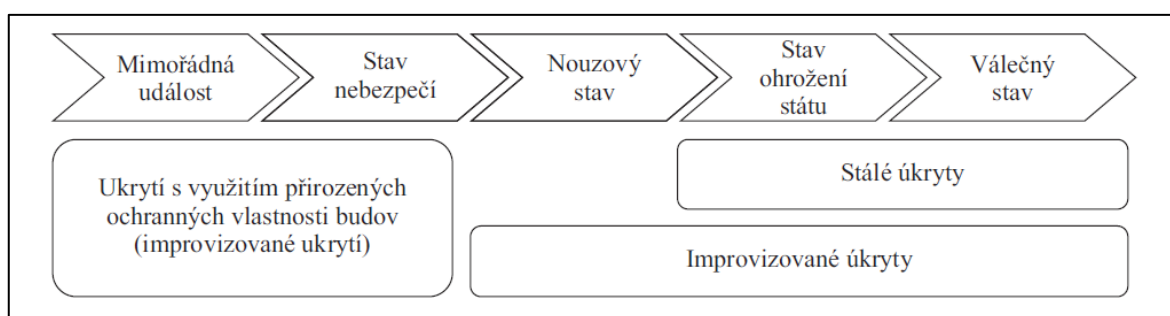
2.2 Současný stav ukrytí obyvatelstva v České republice

Tato podkapitola stručně shrnuje současný stav UO v ČR a objasňuje tak důvod, proč je potřeba věnovat pozornost rozvoji v oblasti improvizovaného ukrytí.

Historie ochrany obyvatelstva (dříve civilní ochrana) sahá v Československu do doby po skončení I. světové války. Nejprve se zaměřovala především na obranu proti leteckým útokům. Dle Zpěváka (2014) probíhala systematická výstavba úkrytů zejména v letech 1950-1990. Jednalo se o SÚCO budované převážně jako dvouúčelové stavby ve větších městech či v oblastech, které byly předpokládaným cílem napadení ZHN. Z tohoto důvodu

je rozmístění SÚCO v ČR nerovnoměrné. V současnosti existuje na území ČR přibližně 5000 SÚCO, velká část z nich však není v provozuschopném stavu. Úkryty mohou poskytnout ochranu asi pro 10 % obyvatelstva. Původně v letech 1997 a 2002 měly za následek vyřazení velké části krytů z provozu. Například v Jihočeském kraji evidovalo Oddělení ochrany obyvatelstva HZS Jihočeského kraje v roce 2022 138 krytů CO, z toho však jen 31 aktivních (Pospíšilová, 2022).

Vzhledem k pokračující válce Ruska proti Ukrajině a stupňujícímu se riziku použití ZHN v Evropě je část úkrytového fondu v současnosti obnovována. Systém ukrytí obyvatelstva v ČR znázorňuje obr. č. 1.

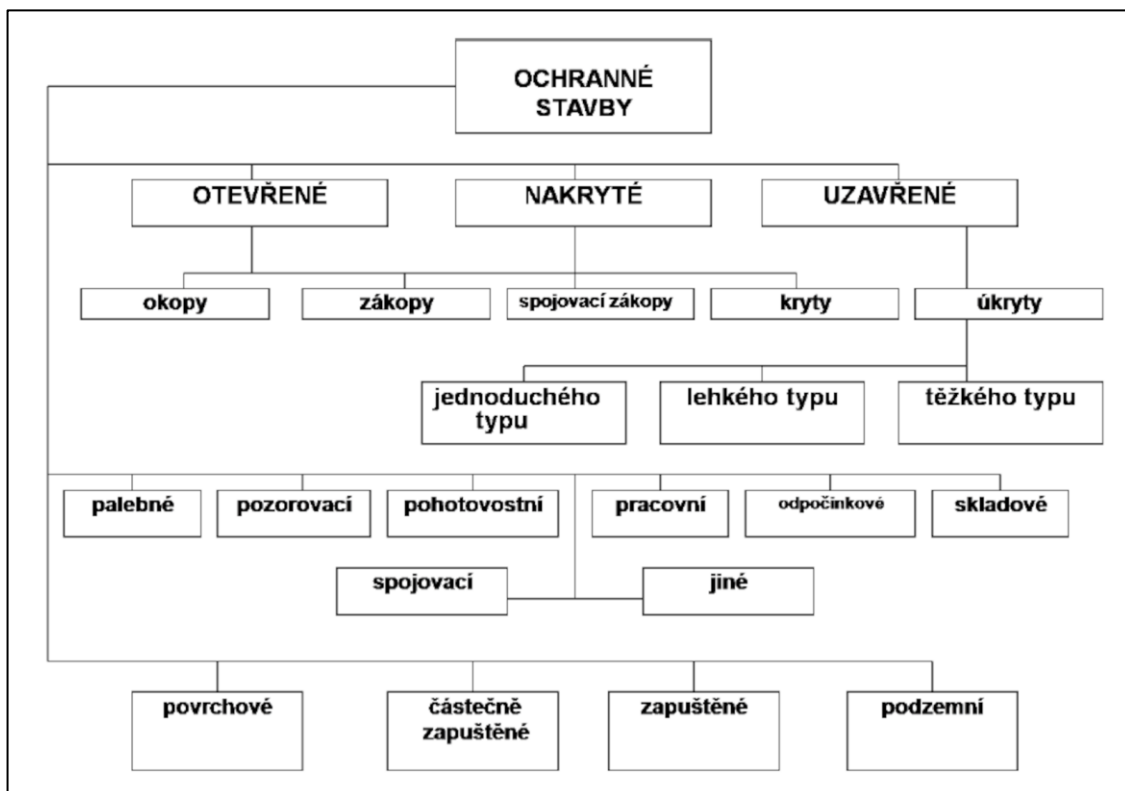


Obrázek 1: Stávající systém UO v ČR (Řehák a Pupíková, 2015)

Dle Koncepce OO (2021) bude pro ukrytí obyvatelstva při MU nevojenského charakteru dále primárně využíváno přirozených ochranných vlastností staveb, v případě vyhlášení stavu ohrožení státu a válečného stavu budou využívány stálé úkryty. Těch je však nedostatečný počet, a proto má být hlavním přístupem ukrytí improvizované. Koncepce klade důraz na tvorbu norem či metodik pro budování improvizovaných úkrytů.

3 ÚKRYTY

Jak již bylo zmíněno, úkryt je jedním z prostředků kolektivní ochrany. Je to prostor sloužící k ochraně obyvatelstva při vzniku MU, který je navržen či upraven tak, aby poskytoval bezpečí před účinky ZHN, bombardování, chemických či biologických útoků, radioaktivního spadu, nebo před účinky naturogenních MU. Mezi úkryty řadíme také ženíjní ochranné stavby, jejich dělení znázorňuje obr. č. 2.



Obrázek 2: Ženíjní úkryty (Princ a Vičar, 2023)

Pro potřeby této práce je však podstatnější rozdělení úkrytů na stálé a improvizované. Podrobněji se jimi zabývají následující podkapitoly.

3.1 Stálé úkryty

Stálým úkrytem je obvykle dvouúčelová trvalá ochranná stavba. V době míru může sloužit jako sklad, garáž, dopravní tunel nebo kino. To je obvyklé i u soukromých úkrytů budovaných fyzickými osobami. Mírovým účelem takové stavby nebo její části může být vinný sklep či soukromá střelnice.

V tehdejší ČSSR probíhala státem plánovaná a financovaná výstavba stálých úkrytů, a to v letech 1949–1989. I v zahraničí byly tímto obdobím aktivně budovány stálé úkryty. Potřeba

ukrytí vyplývala z tehdejší geopolitické situace a rizika použití ZHN. Přístup k budování se v jednotlivých státech liší právně, organizačně i technologicky. (Řehák, Pupíková, 2015)

Díky rozdílným právním úpravám se významně liší podíl úkrytů k počtu obyvatel v jednotlivých státech. Srovnání vybraných evropských zemí uvádí tab. č. 1.

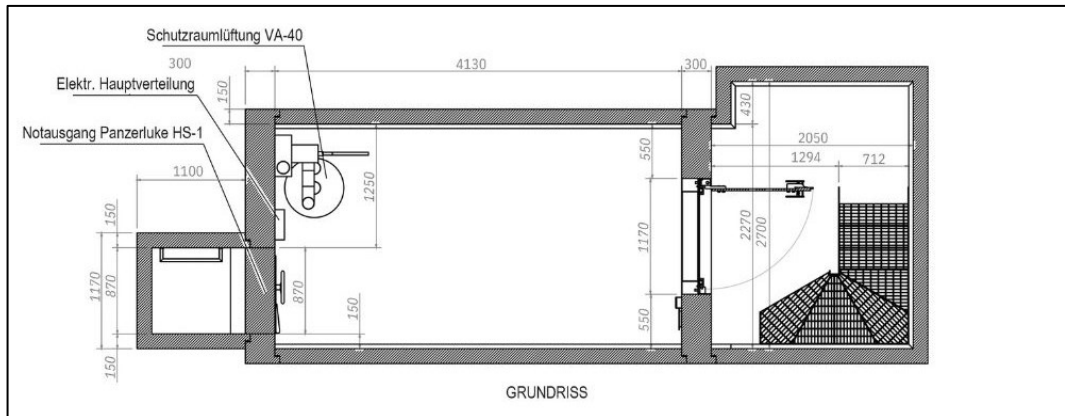
Tabulka 1 Podíl počtu úkrytů k počtu obyvatel ve vybraných zemích (Pacinda, Pivovarník, 2010)

| Země | Přibližný podíl úkrytů k počtu obyvatel |
|----------------|---|
| Švýcarsko | 98 % |
| Švédsko | 78 % |
| Finsko | 60 % |
| Dánsko | 60 % |
| Nizozemsko | 55 % |
| Rakousko | 30 % |
| Slovensko | 6 % |
| Německo | 3 % |
| Velká Británie | <1 % |

Design úkrytů je stále se vyvíjejícím a zdokonalujícím oborem. Touto problematikou se ve světě zabývá řada institucí a výrobců. Konstrukci úkrytů určuje stanovený počet ukryvaných osob, stupeň ochrany, doba ukrytí a další parametry. Příklad uvádí obr. č. 3 a 4.



Obrázek 3: Interiér úkrytu pro ~5 osob od švýcarského výrobce (ArWeDe KLG, 2024)



Obrázek 4: Půdorys úkrytu pro ~5 osob od švýcarského výrobce (ArWeDe KLG, 2024)

I dříve zbudované úkryty však mohou být stále udržovány a modernizovány. Typickým příkladem dvouúčelového kolektivního SÚCO, který byl vystavěn v období Studené války, je budova kina Hvězda v Uherském hradišti (obr. č. 5).

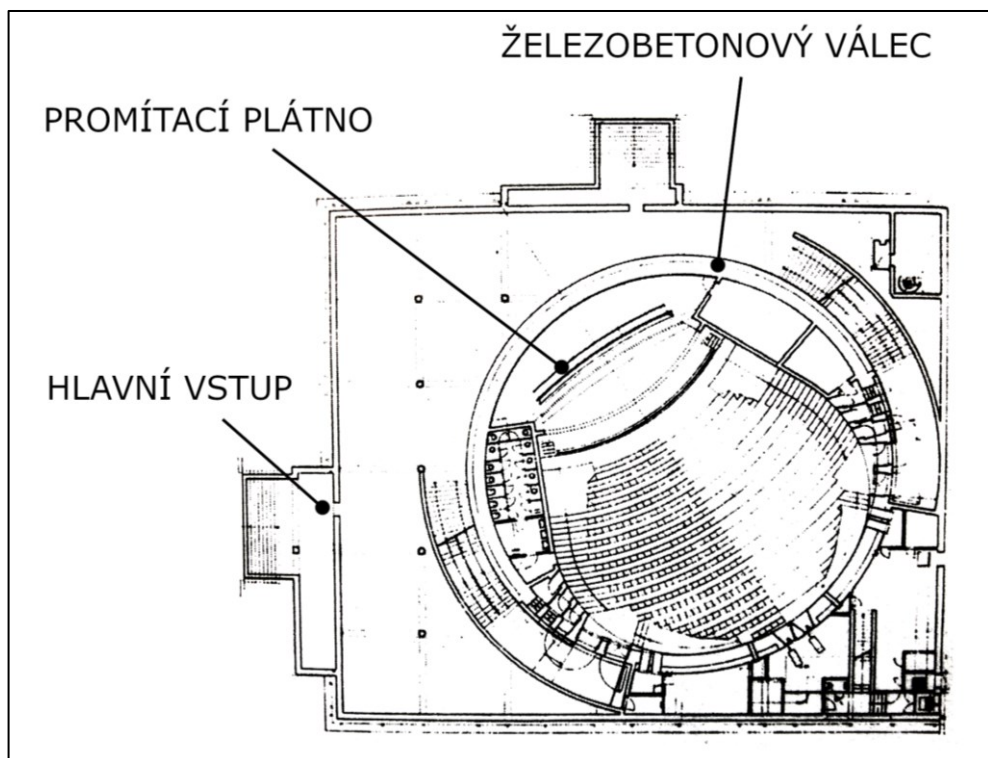
SÚCO kino Hvězda Uherské Hradiště

Jeho výstavba probíhala v letech 1965 až 1968. Architektem, který koncepci navrhl, je Ing. arch. Zdeněk Michal. Na stejném principu je vybudováno také kino v Prostějově a tento koncept byl dále replikován v dalších městech. (Korvas, 2007)



Obrázek 5: Kino Hvězda – hlavní vstup (vlastní)

Samotný kryt tvoří železobetonový válec (obr. č. 5) a kopule, kterou pokrývá metrová vrstva zeminy. Kinosál (obr. č. 7) s kapacitou původně navrženou pro 510 diváků je umístěn uvnitř tohoto prostoru. Kapacita úkrytu je tedy přibližně 500 dospělých osob. Po obvodu válce se nachází sociální zařízení a FVZ, které je rozděleno do dvou místností. Tato podkapitola je, vzhledem k tématu práce, dále zaměřena především na FVZ tohoto úkrytu.



Obrázek 6: Půdorys úkrytu (Korvas, 2007) s vlastní úpravou



Obrázek 7: Kinosál kina Hvězda (vlastní)

Úkryt je vybaven rozměrným filtroventilačním systémem. Vzduch je jím nasáván potrubím začínajícím vně budovy. Dále putuje do soustavy kolektivních a sorpčních filtrů. Filtry se nacházejí v samostatné místnosti (obr. č. 8). K čerpání vzduchu dovnitř úkrytu slouží 6 čerpadel, která tvoří radiální ventilátory poháněné elektromotory (obr. č. 9, 10). V případě výpadku proudu lze ventilátory pohánět ručně pomocí klik, systém FVZ totiž není vybaven záložním zdrojem elektrické energie. Čerpadla jsou ve směru proudění vzduchu umístěna za filtry. Potrubí pak ústí pod sedadly. FVZ vytváří v prostoru přetlak, který je možné regulovat přetlakovými klapkami. Vstupy do prostoru úkrytu jsou v případě aktivace uzavřeny masivními železobetonovými dveřmi (obr. č. 11).



Obrázek 8: Soustava filtrů (vlastní)



Obrázek 9: Soustava čerpadel vzduchu (vlastní)



Obrázek 10: Čerpadlo s radiálním ventilátorem (vlastní)



Obrázek 11: Železobetonové dveře (vlastní)

Revize funkčnosti úkrytu včetně FVZ se provádí podle ČSN 73 9050, a to jednou za 5 let. Během zkoušky plynutěnosti jsou nejprve utěsněny všechny přívody vzduchu a uzavřeny vstupní dveře. Poté je FVZ uvedeno do chodu a sleduje se vzniklý přetlak. Každé 3 měsíce je dále provedena kontrola funkčnosti technického vybavení úkrytu. Tuto kontrolu provádí jednotka SDH Uherské Hradiště, která zastupuje úkrytové družstvo.

Uvedené informace o STOÚ v kině Hvězda byly poskytnuty v rámci řízeného rozhovoru zástupcem správce krytu, který si však přál zůstat v anonymitě. Organizací spravující úkryt CO v kině Hvězda je Eduha, s.r.o.

3.2 Improvizované úkryty

Dle definice v kap. 2 je IÚ předem vybraným vyhovujícím prostorem v budově, který je následně upraven za účelem ochrany před účinky MU. To zahrnuje ochranu před účinky světelného a tepelného záření, pronikavé radiace, kontaminace radioaktivním prachem, bojových chemických látek, ale i jiných nebezpečných látek uvolněných do ovzduší při MU. V závislosti na provedení může IÚ poskytovat ochranu i před účinky tlakové vlny ZHN.

Dle Hyláka a Pivovarníka (2016) se IÚ budují:

- V prostorech stávajících objektů, které jsou pro tento účel optimální. Toto řešení vyžaduje větší množství dodatečných stavebních a technických úprav.
- V prostorech nově navrhovaného stavebních objektů. Při jejich realizaci se v rámci územního plánování a stavebního řízení zohledňují požadavky k zajištění ochrany obyvatelstva. Toto řešení může být časově i finančně náročnější, prostor však v případě aktivace nevyžaduje zásadní úpravy.

Vzhledem k typům MU můžeme rozlišovat dva typy improvizovaného ukrytí: krátkodobé a dlouhodobé. Krátkodobé ukrytí se realizuje především při MU spojených s únikem nebezpečných látek. Využívá se při něm přirozených ochranných vlastností staveb. Dlouhodobé ukrytí se realizuje při vyhlášení stavu ohrožení státu nebo válečného stavu za účelem ochrany před účinky ZHN. (Řehák, Folwarczny, 2012)

3.2.1 Výběr vhodného prostoru pro IÚ

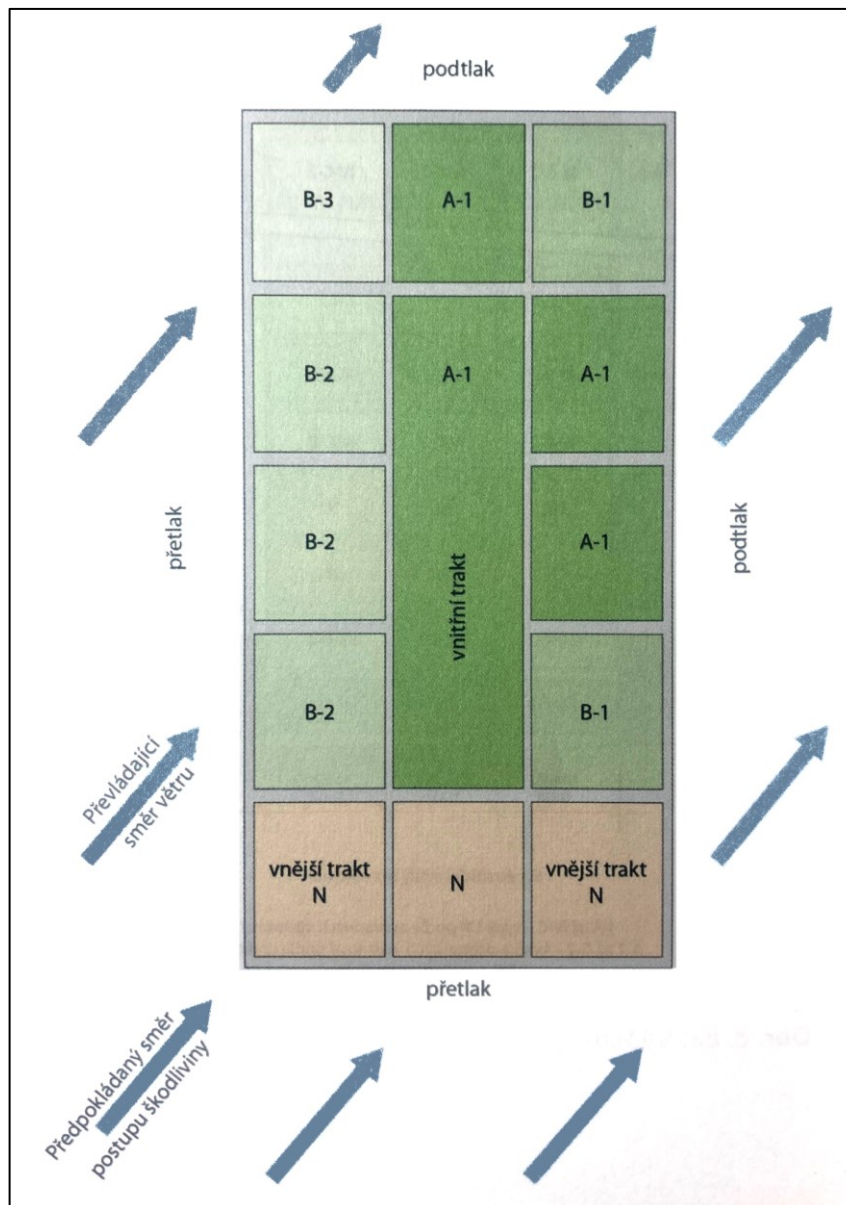
Při vzniku MU s únikem nebezpečné látky (NL) do ovzduší se pro realizaci krátkodobého improvizovaného ukrytí zpravidla využívá přirozených ochranných vlastností staveb. To znamená, že k ochraně před NL je vyhledána nejbližší vhodná budova. Významným faktorem určujícím úroveň ochrany je v tomto případě výměna vzduchu mezi budovou a okolím. Tu ovlivňuje především:

- rychlost a směr větru,
- rozdíl tlaku a teploty vzduchu mezi vnitřním prostorem budovy a okolím,
- koeficient propustnosti okenních spár,
- aktivní objem prostoru. (Řehák, Folwarczny, 2012)

Míru ochrany před účinky NL významně ovlivňuje také poloha úkrytu v rámci budovy, a to jak v rovině horizontální, tak v rovině vertikální. V obou případech vždy záleží na směru větru a typu NL. Ochranné vlastnosti na základě polohy IÚ v budově jsou definovány v tab. č. 2 a na obr. č. 12.

Tabulka 2: Typy ochranných prostorů (OP) podle ochranných vlastností proti jednotlivým škodlivinám (Hylák a Pivovarník, 2016) s vlastní úpravou

| Ozn. typu IÚ | Škodlivina | Vhodné výškové situování OP |
|--------------|---|---|
| OP-I | Radioaktivní spad | Podzemí, suterén nebo sklep |
| OP-II | Škodlivina lehčí vzduchu (např. amoniak-NH ₃ , oxid uhelnatý-CO atd.) | Podzemí, suterén nebo sklep |
| OP-III | Škodlivina těžší vzduchu (např. chlór-Cl ₂ , oxid siřičitý-SO ₂ , ethylén-C ₂ H ₄ , zemní plyn-CH ₄ , propan-butan C ₄ H ₈ -C ₄ H ₁₀ atd.) | Nejvyšší NP kromě posledního (pod střechou) a kromě 1. až 3. NP |
| OP-IV | Radioaktivní spad – další méně vhodné OP | Ve 3. NP a výše až do X – 2 NP |

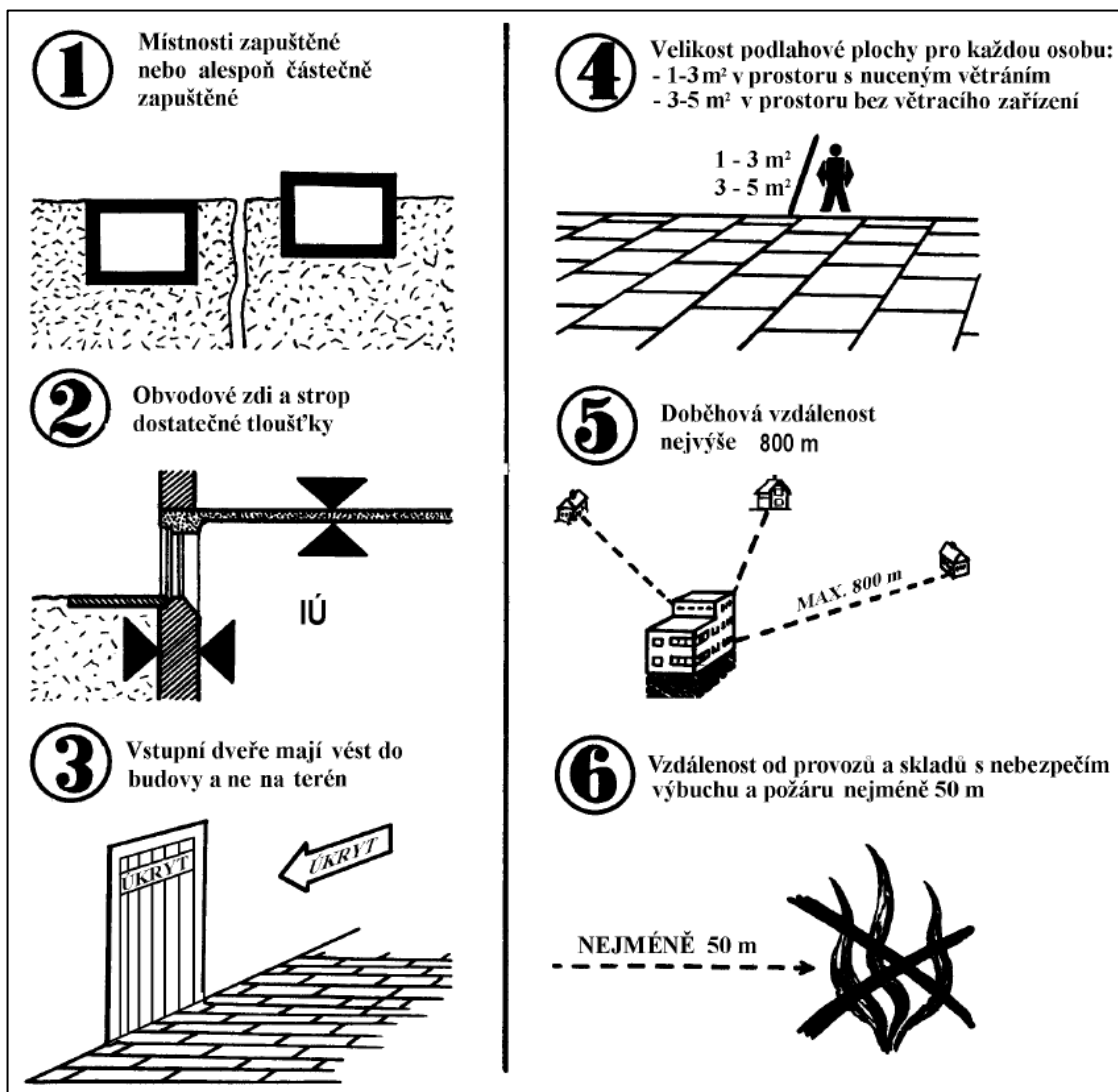


Obrázek 12: Zásady pro plošné umístění OP v jednotlivých nadzemních podlažích (Hylák a Pivovarník, 2016)

Prostory A-1,2 mají nejvhodnější umístění, prostory B-1,2,3 jsou méně vhodné, prostory N jsou nevhodné.

Pro MU nevojenského charakteru, při kterých je obyvatelstvo ohroženo primárně unikající NL do ovzduší, je tedy jedním z nejpodstatnějších faktorů ochrany schopnost budovy izolovat vnitřní klima od vnějšího. Vyhlášení stavu ohrožení státu nebo válečného stavu již však vyžaduje realizaci dlouhodobého improvizovaného ukrytí. IÚ tak musí poskytovat nejvyšší možnou úroveň ochrany proti účinkům světelného a tepelného záření, pronikavé radiace, kontaminace radioaktivním prachem a částečně proti tlakovým účinkům ZHN.

V tomto případě se lze při výběru vhodného ochranného prostoru řídit metodickou pomůckou Sebeochrana obyvatelstva ukrytím. Ta uvádí 6 zásad pro výběr vhodného prostoru (obr. č. 13).



Obrázek 13: Zásady výběru vhodného prostoru pro IÚ (Ministerstvo vnitra – GŘ HZS ČR, 2001)

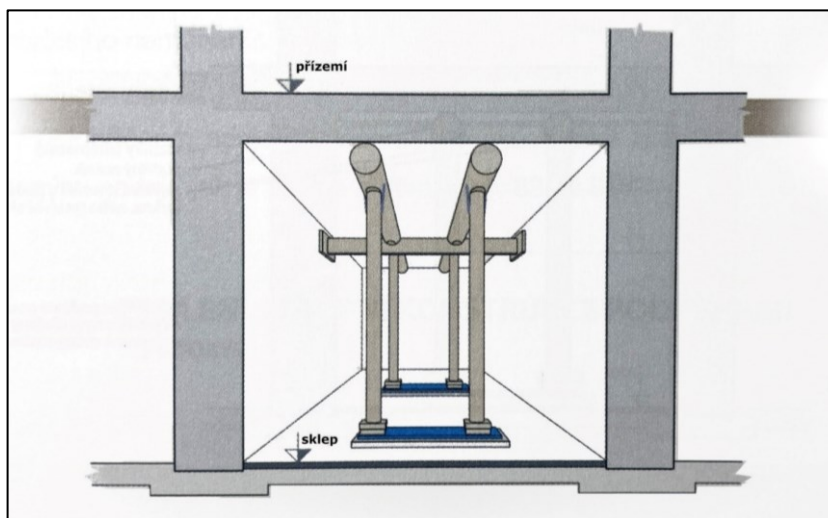
Při výběru prostoru IÚ je tedy třeba zohlednit všechny tyto klíčové faktory, ať už se jedná o ukrytí krátkodobé nebo dlouhodobé. Při budování IÚ se lze také obecně řídit normou ČSN 73 9010 „Navrhování a výstavba staveb civilní ochrany“. Tuto problematiku také velmi podrobně zpracovává Hylák a Pivovarník (2016).

3.2.2 Úprava prostoru na IÚ

Vhodně vybraný prostor je třeba dále přizpůsobit tak, aby bylo docíleno maximálního zvýšení ochranných vlastností a prodloužení doby pobytu. Toho lze docílit zhmotněním oken, zesílením stropních konstrukcí, vnitřními úpravami a vybavením, v neposlední řadě také zajištěním větrání.

V případě výskytu NL v ovzduší je efektivním způsobem ochrany krátkodobé ukrytí. Po výběru vhodného prostoru (viz kap. 3.2.1) je třeba zavřít všechna okna a utěsnit všechny další průduchy a netěsnosti. K dotěsnění oken lze použít lepicí pásy, lepidla, tmely, folie, průmyslově vyráběné těsnění oken a dveří a další materiál. Dle Řeháka a Folwarczneho (2012) lze předpokládat škodlivé působení NL přítomné v ovzduší maximálně po dobu jedné hodiny, množství vzduchu v místnosti by tedy v obvyklých případech mělo být dostatečné i bez ventilace¹. Je však třeba uvést, že stanovit předem koncentraci nebo dobu výskytu NL v ovzduší je velmi problematické.

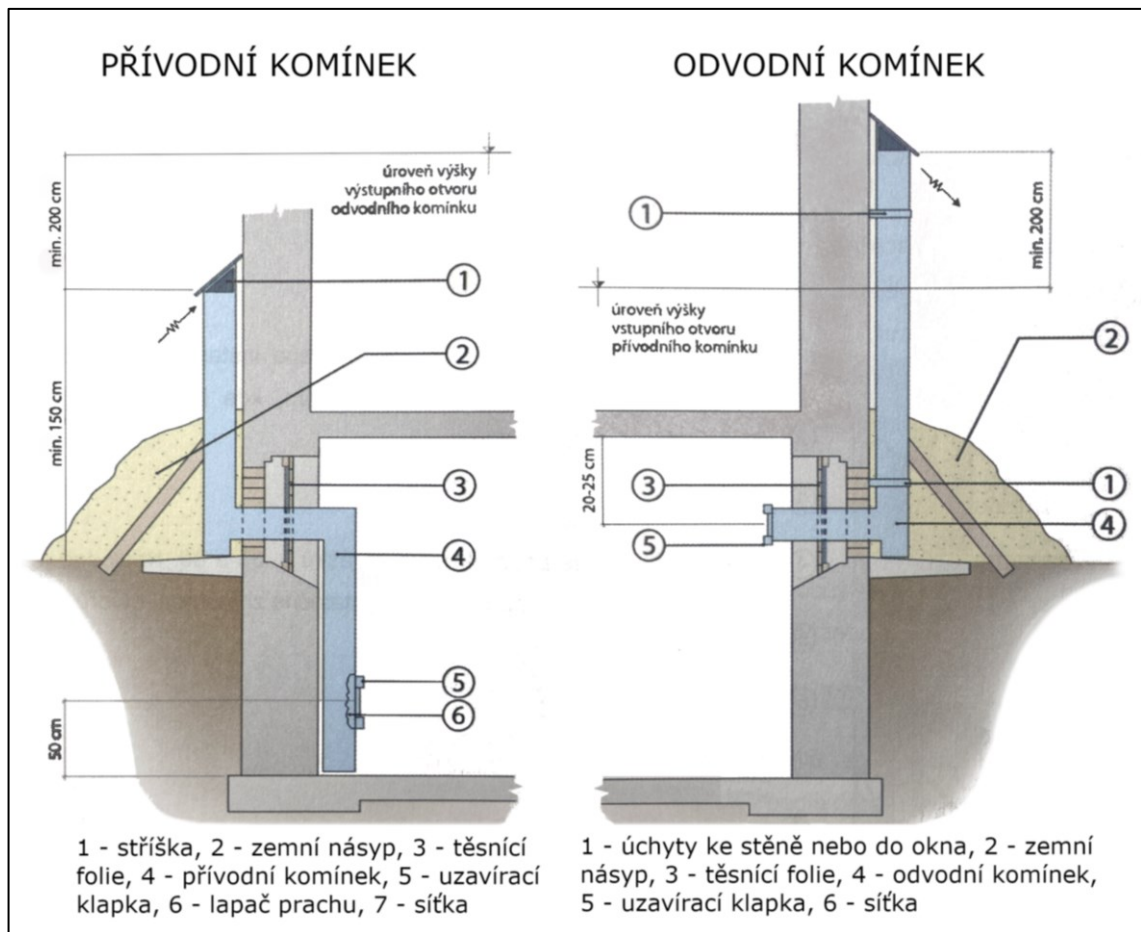
Pokud je vyhlášen stav ohrožení státu či válečný stav a hrozí tedy použití ZHN, je třeba zvýšit ochranné vlastnosti IÚ např. zhmotněním okenních otvorů, obvodových zdí, stropní konstrukce a zesílením stropní konstrukce (obr. č. 14).



Obrázek 14: Zesílení stropní konstrukce podpěrami (Hylák a Pivovarník, 2016)

Z pohledu této práce je však nejdůležitější zajištění přívodu čerstvého vzduchu. Za tímto účelem musí být v IÚ zřízen systém ventilace či filtroventilace (FV). Přírodního větrání lze docílit konstrukcí přívodního a odvodního komínku, zhotoveného např. z plechu (obr. č. 15)

¹ Situace se může lišit v případě výskytu MU s velmi nízkou pravděpodobností vzniku a vysokými až katastrofickými dopady



Obrázek 15: Větrací komínky (Hylák a Pivovarník, 2016) s vlastní úpravou

Úkryt vybavený těmito komínky může díky přirozenému tahu vzduchu, který vytváří rozdíl teplot uvnitř a vně úkrytu, poskytnout dostatečné množství vzduchu až pro 50 osob. Rozměry komínků v závislosti na počtu ukryvaných osob jsou voleny dle tab. č. 2.

Tabulka 3 Rozměry komínků v závislosti na počtu ukryvaných osob (Řehák, Folwarczny, 2012)

| Počet osob v úkrytu | Minimální plocha průřezu [cm ²] | Vnitřní rozměr komínku | |
|---------------------|---|------------------------|---------|
| | | průměr [cm] | [cm] |
| 5 | 50 | 8 | 7 x 7 |
| 10 | 100 | 11–12 | 10 x 10 |
| 20 | 200 | 16 | 14 x 14 |
| 30 | 300 | 20 | 20 x 15 |
| 40 | 400 | 23 | 20 x 20 |
| 50 | 500 | 25 | 25 x 20 |

Tento systém větrání je sice relativně spolehlivý, nelze však využít pro filtraci vzduchu od NL či radioaktivního spadu. Za tímto účelem je IÚ dále potřeba vybavit filtroventilačním zařízením. Těmi se podrobně zabývá následující kapitola.

4 FILTROVENTILAČNÍ ZAŘÍZENÍ

Filtroventilační zařízení je v souladu s definicí v kap. 2.1 mechanismus přivádějící do úkrytu čerstvý vzduch zbavený škodlivých látek. Jeho druhou zásadní funkcí je vytvářet v úkrytu přetlak a tím zabránit pronikání škodlivin netěsnostmi dovnitř. Skládá se z ventilátoru, který zajišťuje proudění vzduchu, filtru, který pohlcuje NL, přírodního porubí a dalšího příslušenství. Poháněn je typicky elektrickým proudem nebo lidskou silou. Dle požadavků mohou FVZ dosahovat širokého rozpětí výkonu a filtračních vlastností. Můžeme je podle velikosti a provedení dělit na stacionární a mobilní. Stacionárními FVZ jsou vybaveny nejen úkryty, ale i zdravotnická zařízení, laboratoře nebo jiné čisté provozy. Mobilní FVZ patří mezi standardní vybavení HZS a AČR, jsou jimi vybavena např. některá bojová vozidla. Různé modely FVZ jsou nabízeny i na trhu a existují i postupy pro výrobu improvizovaných FVZ.

Použitím FVZ v improvizovaném úkrytu lze docílit významného zvýšení ochranného faktoru a prodloužení doby ukrytí. Dle použitého typu filtru zachycuje FVZ radioaktivní látky, nebezpečné průmyslové plyny a páry, bojové chemické látky a biologické látky.

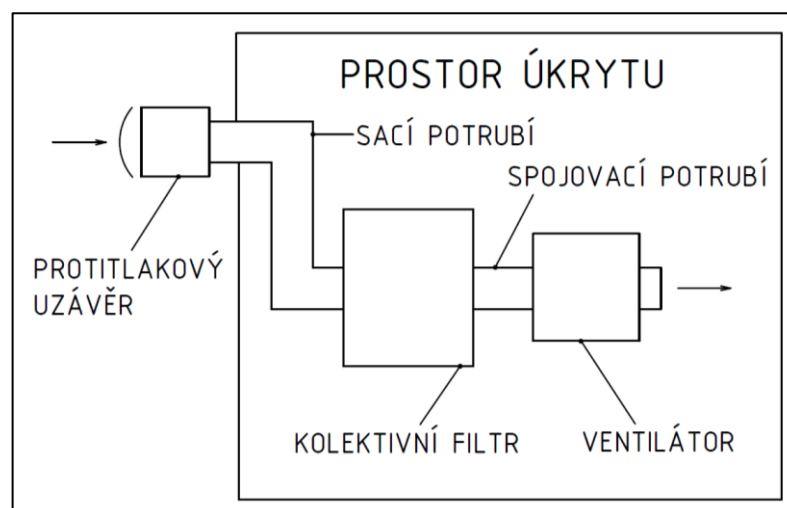
4.1 Konstrukce a funkční princip FVZ

FVZ se skládají z několika součástí navržených a sestavených tak, aby přiváděly vzduch a účinně jej čistily od škodlivin. Jejich konstrukce se skládá z těchto komponent:

- **Základna, vnější plášť nebo kryt zařízení:** tvoří nosnou konstrukci a poskytuje ochranu vnitřních součástí. Obvykle je vyroben z odolných materiálů, jako je plast nebo kov.
- **Filtry:** součást určená k odstranění nebo neutralizaci škodlivých látek ze vzduchu. Filtry hrají klíčovou roli v procesu čištění tím, že zachycují částice, adsorbují plyny a páry a neutralizují chemické látky. Obvykle jsou vyrobeny ze speciálních materiálů schopných účinně zachycovat nebo neutralizovat specifické typy kontaminantů.
- **Ventilátor:** lopatkový stroj sloužící k dopravě vzduchu a překonání tlakových ztrát. Ventilátory zajišťují nasávání kontaminovaného vzduchu, průchod přes filtrační systém a přívod čistého vzduchu k uživateli. Obvykle jsou poháněny elektromotorem, v rámci FVZ mohou být vybaveny i klikou pro ruční pohon.

- **Potrubí:** zajišťuje vedení proudu vzduchu filtračním systémem. Propojuje vstupní otvor zařízení, kudy vstupuje znečištěný vzduch, s filtry a případně s výstupním otvorem, kudy vystupuje čistý vzduch.
- **Protitlakový uzávěr:** přívodní větev lze opatřit ochranným protitlakovým uzávěrem, který chrání vnitřní součásti před účinky tlakové vlny. V některých případech v něm bývá umístěn prachový filtr, který tvoří první stupeň filtrace.
- **Těsnění:** pro zjištění vzduchotěsného provozu a zamezení úniku kontaminantů se na různých místech konstrukce používají těsnění. Tyto komponenty pomáhají udržovat integritu filtračního systému a zabráňují kontaminovanému vzduchu obcházet filtry.
- **Ovládací prvky:** některá pokročilá FVZ mohou obsahovat ovládací mechanismy, jako jsou spínače nebo voliče pro úpravu průtoku vzduchu nebo sledování stavu filtru. Tyto ovládací prvky umožňují uživateli optimalizovat výkon a zajistit, aby zařízení fungovalo efektivně v různých podmínkách.
- **Prvky úpravy vzduchu:** některá pokročilá FVZ mohou obsahovat také ohřívače nebo jiné prvky pro úpravu vzduchu.
- **Příslušenství:** FVZ mohou mít různé doplňky pro zvýšení jejich funkčnosti, pohodlí a použitelnosti v různých prostředích, např. přepravní pouzdro nebo bedna (mobilní FVZ), integrovaný zdroj energie, filtry a sady pro výměnu filtrů, školicí materiály nebo příručky.

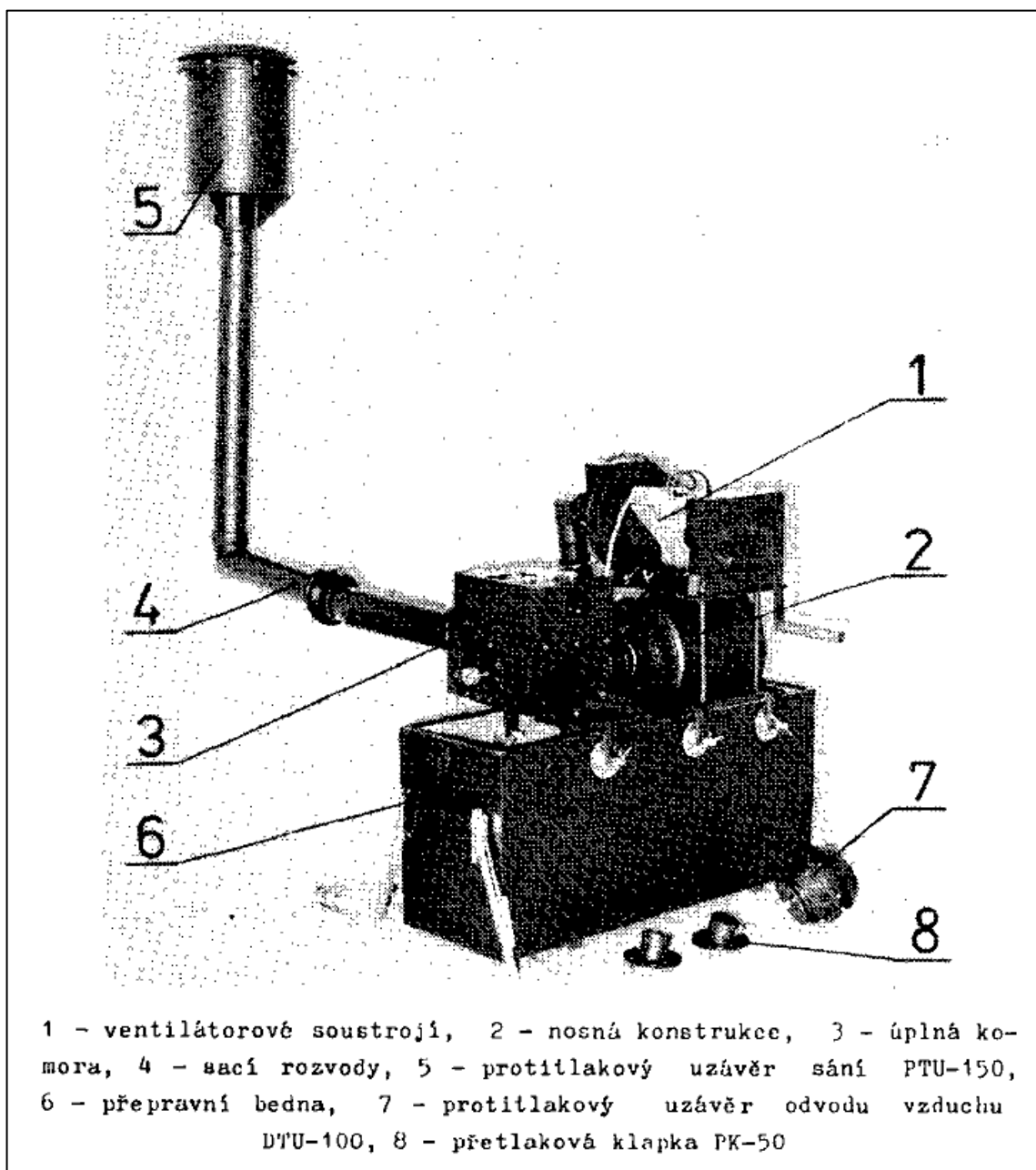
Funkční princip znázorňuje obr. č. 16. Jak již bylo zmíněno, FVZ nasává do prostoru úkrytu vzduch a tím uvnitř vytváří přetlak.



Obrázek 16: Schéma funkčního principu FVZ (vlastní)

4.2 Filtrační a ventilační zařízení FVZ-100

FVZ-100 (obr. č. 17) definuje předpis Československé armády vydaný Federálním ministerstvem národní obrany (1990). Jedná se o mobilní FVZ určené k vybavení dočasných ochranných staveb², v kterých zajišťuje filtraci vzduchu kontaminovaného prachem, aerosoly, otravnými, radioaktivními, biologickými a jinými toxickými látkami ve formě par a plynů. Dodává do úkrytu požadované množství vzduchu a vytváří v něm přetlak. FVZ-100 je praktickým příkladem mobilního FVZ.



Obrázek 17: Schéma FVZ-100 (Federální ministerstvo národní obrany, 1990)

² Polní úkryty, skládací úkryty, stany

Hlavními funkčními uzly jsou:

- Nosná konstrukce – slouží k uchycení kolektivního filtru, je vyrobená z oceli.
- Sací potrubí s protitlakovým uzávěrem – sací potrubí je ocelové, protitlakový uzávěr chrání FVZ proti účinkům tlakové vlny a je vněm umístěn předfiltr.
- Úplná komora – ocelová skříň umístěn před kolektivním filtrem. Je opatřena plynotěsnou klapkou a ohřívačem nasávaného vzduchu.
- Kolektivní filtr – je určen pro koncový stupeň filtrace kontaminovaného vzduchu. *Filtr nechrání před oxidem uhelnatým.*
- Ventilátor a pohon – slouží k dopravě vzduchu. Pohon zjišťuje asynchronní elektromotor, 220 V, 50 Hz. Ten je odstředivou spojkou připojen k radiálnímu ventilátoru. Soustrojí je doplněno převodovou skříní pro ruční pohon.

Technické parametry:

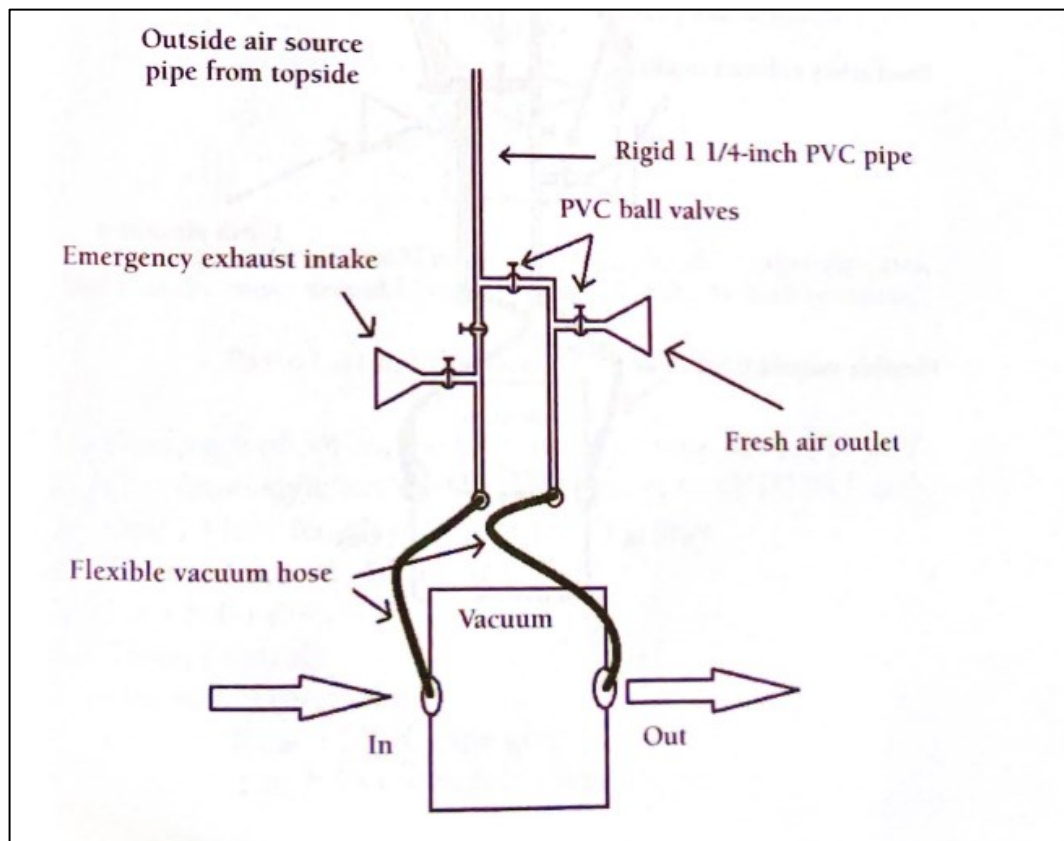
- | | |
|--------------------------------------|-------------------------------------|
| • Maximální výkon | 100 m ³ ·h ⁻¹ |
| • Minimální přetlak | 100 Pa |
| • Odebíraný výkon elektromotoru | 120W |
| • Odebíraný výkon ohřívače | 500W |
| • Výkonnost kolektivního filtru | 200 m ³ ·h ⁻¹ |
| • Tlaková ztráta kolektivního filtru | do 1400 Pa |
| • Hmotnost kolektivního filtru | 16,5 kg. |

Výkon FVZ-100 lze regulovat, při ručním pohonu dosahuje nižších hodnot průtoku i minimálního přetlaku. Je schopné dodávat potřebné množství vzduchu pro řádově desítky osob. Doba jeho zprovoznění je pro 2 osoby 20 minut.

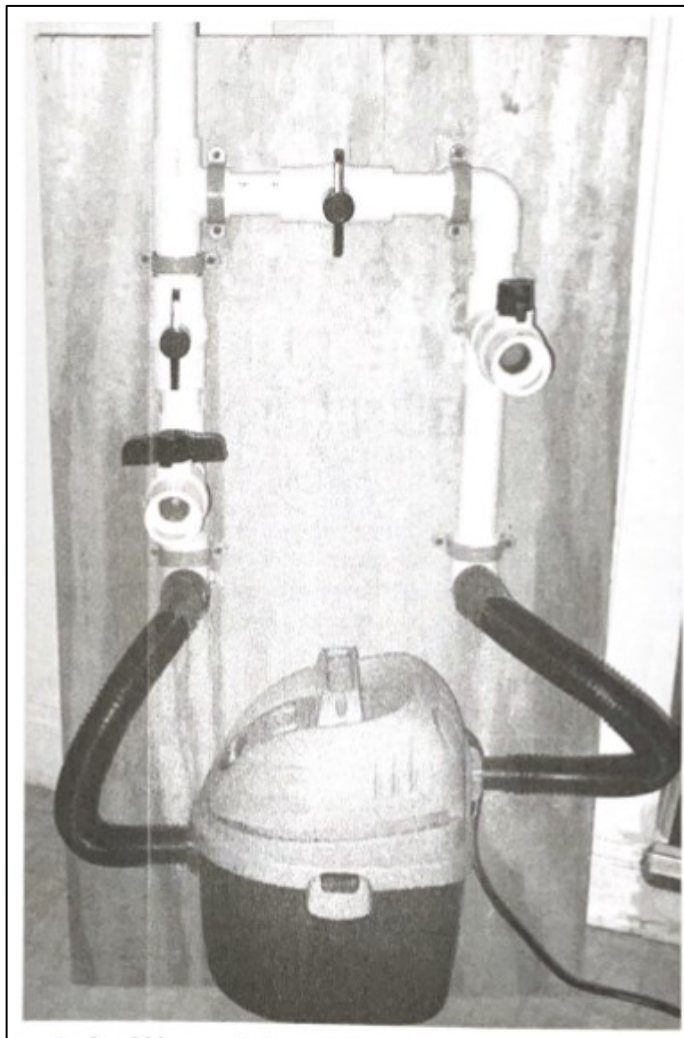
4.3 Improvizovaná FVZ

Improvizovaná FVZ jsou zařízení navržená a vytvořená v situacích, kdy nejsou k dispozici standardní komerční FVZ nebo profesionální vybavení. Tyto FVZ jsou často sestaveny z dostupných materiálů a prostředků, které jsou k dispozici v domácích podmínkách.

Příkladem je improvizované FVZ sestavené z plastového potrubí, které pro dopravu vzduchu využívá běžný domácí vysavač (obr. č. 18, 19). V tomto konkrétním případě není zařízení vybaveno filtrem vzduchu, mohlo by jím být však doplněno.



Obrázek 18: Vacuum Air Pump System Scheme (Bohan, 2013)



Obrázek 19: Vacuum Air Pump System (Bohan, 2013)

Sestrojení takového zařízení však vyžaduje přístup k potřebnému materiálu a určitou míru zručnosti. Tato FVZ navíc nemusejí fungovat spolehlivě, proto představují spíše krajní řešení v krizových situacích.

4.4 Průzkum nabídky FVZ na trhu

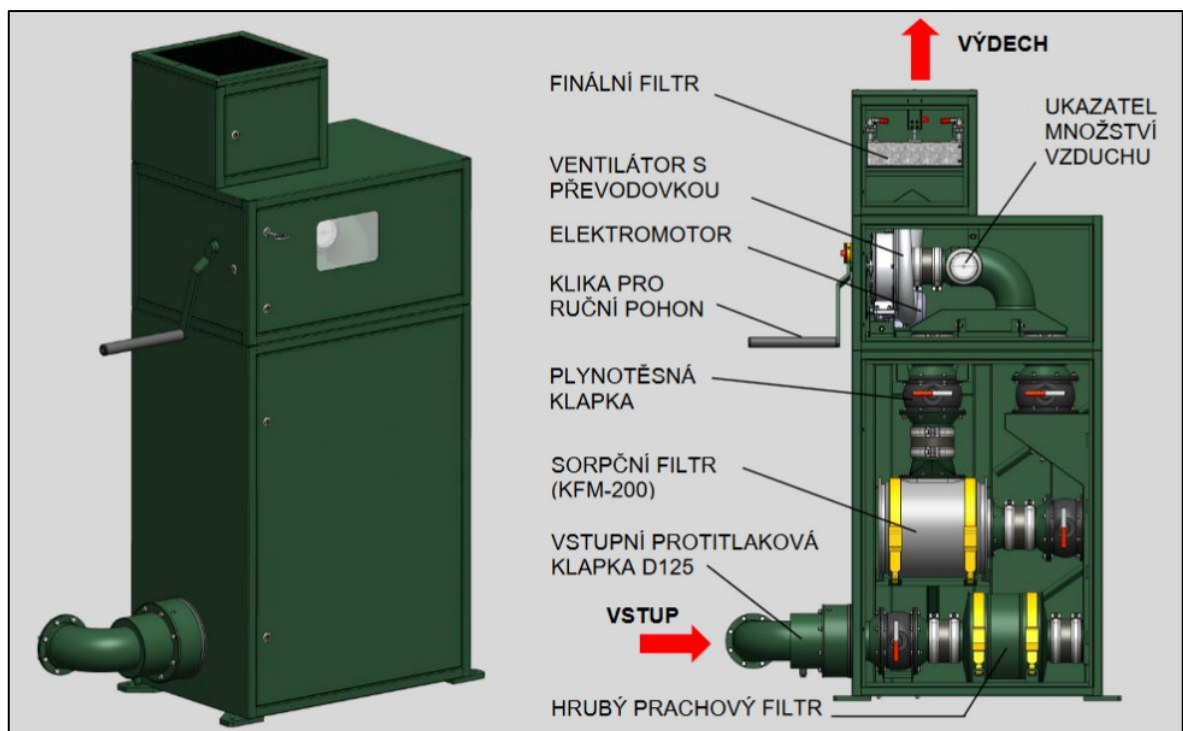
V oblasti FV existuje řada firem, které se výrobou a prodejem mobilních FVZ zabývají. Provedení průzkumu současných dostupných FVZ na trhu může být při návrhu vlastního zařízení velmi přínosné. Tento průzkum poskytuje přehled o aktuálním stavu technologií a cenového rozpětí existujících FVZ. To umožňuje identifikovat možné inovace, optimalizace nebo alternativní postupy, které by mohly snížit náklady na výrobu navrhovaného FVZ, aniž by byla ovlivněna jeho výkonnost nebo účinnost. Tato kapitola uvádí příklady v současnosti nabízených FVZ na trhu a jejich stěžejní parametry, pokud byly výrobcem poskytnuty.

Filtroventilační zařízení FIRBACH 100

Prvním příkladem mobilního FVZ malého výkonu je Filtroventilační zařízení FIRBACH 100 (obr. č. 20) firmy Vzduchotechnik s.r.o. Slouží k provětrávání a filtraci vzduchu do malých krytů CO (pro max. 20 osob). Je určeno pro odloučení prachových částic a čištění vzduchu od bojových chemických látek ve formě par a plynů a od prachu a aerosolů bojových chemických látek, radioaktivních látek a bojových biologických prostředků. (Vzduchotechnik s.r.o., 2022)

Pořizovací cena tohoto FVZ se pohybuje okolo 400 000 Kč. Může dodávat čistý vzduch po dobu několika týdnů. Tyto informace byly dodatečně poskytnuty výrobcem prostřednictvím e-mailové komunikace.

Jmenovitá dodávka vzduchu $100 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$, jmenovité napětí 230 V AC, příkon 180 W.



Obrázek 20: Filtroventilační zařízení FIRBACH 100 (Vzduchotechnik s.r.o., 2022)

Filtrační a ventilační zařízení FVZ-98M (T) NG

Toto FVZ (obr. č. 21) nabízí Vojenský technický ústav, s.p. *Je určeno k zásobování mobilních prostředků filtrovaným vzduchem v podmínkách použití ZHN. Zabezpečuje čištění vzduchu od prachu (i radioaktivního) a od bojových chemických látek ve formě plynů a aerosolů. V objektu kolektivní ochrany vytváří konstantní přetlak, který brání pronikání škodlivin do chráněného prostoru osádky.* (Vojenský technický ústav, s. p., 2024)

Jmenovitá dodávka vzduchu $100 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1} / 300 \text{ Pa}$, jmenovité napětí/proud 24 V DC/7A.



Obrázek 21 FVZ-98M (T) NG (Vojenský technický ústav, s. p., 2024)

Manuální filtroventilační zařízení Zeus

FVZ českého výrobce s manuálním pohonem (obr. č. 22). *Zajistí čistý vzduch v případě použití zbraní hromadného ničení. Je tedy vhodné jak do protiatomových krytů, tak i improvizovaných úkrytů. Nemůže jej ohrozit elektromagnetický impulz a je zcela nezávislé na elektrické energii.* (Řehoř, 2024)

Jeho technické parametry a cenu uvádí tab. č. 4.



Obrázek 22: Manuální filtroventilační zařízení Zeus (Řehoř, 2024)

Tabulka 4: Parametry manuálního FVZ Zeus (Řehoř, 2024)

| Parametry | Zeus 100 | Zeus 150 |
|------------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| max. průtok (filtrace) | 100 m ³ /hod | 150 m ³ /hod |
| max. průtok (ventilace) | 200–250 m ³ /hod | 300–350 m ³ /hod |
| počet chráněných osob při filtraci | až 40–50 | až 60–75 |
| jaderný útok | ano | ano |
| chemický útok | ano | ano |
| biologický útok | ano | ano |
| toxinový útok | ano | ano |
| průmyslové škodliviny | ano (většina škodlivin) | ano (většina škodlivin) |
| havárie chemičky | ano (většina škodlivin) | ano (většina škodlivin) |
| havárie jaderné elektrárny | ano (většina škodlivin) | ano (většina škodlivin) |
| hmotnost filtrů | 8 kg | 9 kg |
| počet filtrů | 4 | 4 |
| cena | 82 599 Kč | 99 690 Kč |

UK1 12V Air Filter Unit

UK1 (obr. č. 23) je systém FV určený pro domácí použití k přivádění čistého vzduchu do improvizovaného úkrytu od anglického výrobce RVA Synergies Ltd. Je vybaven kombinovaným blokem uhlíkového filtru HEPA / TEDA. Web EU Prepping Shop (2024) nabízí toto FVZ za 2324,95 EUR.

Jmenovitá dodávka vzduchu $170 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$, jmenovité napětí/proud 12 V DC / 6 A MAX, příkon 80W. (UK1 12V Air Filter Unit, 2024)



Obrázek 23: UK1 12V Air Filter Unit (RVA SYNERGIES LTD., 2024)

M8A3 Filtration System

Jedná se o systém FV malého výkonu, který je určen pro vozidla a menší úkryty. Systém M8A3 (obr. č. 24) představuje nejkompaktnější a cenově nejvýhodnější variantu ochrany proti CBRN americké společnosti HDT Global. Používá se ve vozidlech, ve kterých nemůže být vytvořen přetlak, nebo v těch, kde je potřeba mít otevřené dveře, např. v ambulancích. Jednotliví členové posádky mají nasazené ochranné masky, které jsou hadicemi připojené k jednotce. Je určen pro 4 osoby. (HDT Global, 2024)

Jmenovitá dodávka vzduchu $20.4 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$, jmenovité napětí/proud 24 V DC, 27,5 V AC / 5 A MAX.



Obrázek 24: M8A3 Filtration System (HDT Global, 2024)

Uvedené koncepce poskytují zdroj inspirace a východisko pro návrh vlastního FVZ. Poznatků o jejich konstrukci a technických parametrech lze dále využít v praktické části práce.

4.5 CBRN zbraně a látky

Hlavním účelem FVZ je, v kontextu práce, poskytnutí ochrany ukryvaným osobám proti účinkům chemických, biologických a radioaktivních kontaminantů vzduchu. Jejich zdrojem mohou být jak ZHN, tak úniky NL z průmyslových objektů, laboratoří, skladů nebo při jejich přepravě. Při návrhu FVZ je potřeba rozlišovat mezi jednotlivými typy NL, jelikož mají odlišné fyzikálně-chemické vlastnosti.

4.5.1 Chemické zbraně a další nebezpečné chemické látky

Chemické zbraně se skládají z chemické munice a prostředku dopravy na cíl. Munice obsahuje bojové chemické látky (BCHL) Jedná se o plyny, kapaliny nebo pevné látky, které mají škodlivý účinek na lidské tělo a životní prostředí (tab. č 5). Prostředkem dopravy na cíl jsou např. hlavice raket, letecké pumy, bezpilotní drony nebo granáty. (Mika, Říha, 2011)

Tabulka 5: Stručná toxikologická klasifikace BCHL (Mika, Říha, 2011)

| Základní skupiny BCHL | Příklady konkrétních BCHL |
|-----------------------|---|
| Nervově paralytické | Sarin, cyklosarin, soman, látka VX, VX-R látka (R-33), tabun, DFP |
| Zpuchýřující | Sírný yperit, lewisit, dusíkové yperity, o-yperit, yperit-lewisitová směs |
| Dusivé | fosgen, difosgen, chlorpirkin |
| Všeobecně jedovaté | kyanovodík, chlorkyan, dříve i oxid uhelnatý |
| Dráždivé | chloracetofenon, brombenzylkyanid, látka CS, látka CR |
| Psycho-aktivní | Látka LSD-25, BZ látka |

Zdrojem kontaminace ovzduší mohou být také úniky nebezpečných chemických látek nebojového charakteru. *Nebezpečné chemické látky někdy nazývané průmyslové škodliviny jsou některé látky používané v chemickém průmyslu, farmaceutickém průmyslu, při výrobě umělých hmot a vláken, při výrobě umělých hnojiv a prostředků na ochranu rostlin, v chladírenských zařízeních, ve vodárnách apod., které svými toxickými, výbušnými a hořlavými vlastnosti mohou ohrozit zdraví a životy lidí, způsobit vážné poškození životního prostředí.* (HZS ČR, 2023a)

Mezi nebezpečné chemické látky patří amoniak (čpavek), chlor, chlorovodík, oxid siřičitý, sulfan (sirovodík), oxid uhelnatý, oxid uhličitý, formaldehyd a sirouhlík. (HZS ČR, 2023b)

Při delším pobytu v nevětraném uzavřeném prostoru ohrožuje lidské zdraví také množství oxidu uhličitého ve vzduchu. Tab. č. 6 uvádí vliv

Tabulka 6: Vliv oxidu uhličitého na organismus (Princ a Vičar, 2023)

| Koncentrace | Vliv oxidu uhličitého na organismus |
|-----------------|---|
| 1 200–1 500 ppm | Doporučená maximální úroveň CO ₂ ve vnitřních prostorech |
| 0,5 % obj. | PEL – přípustný expoziční limit dle Nařízení vlády č. 361/2007 |
| >4,0 % obj. | IDLH – hučení v uších, bolest hlavy, bušení srdce, možná ztráta |
| 30 % obj. | Smrt po prvním nádechu |

4.5.2 Biologické zbraně

Za biologické zbraně považujeme mikroorganismy, biologické agens a toxiny jakéhokoli původu, a také zařízení a nosné systémy, určené k použití proti nepříteli. Jejich cílem jsou osoby, zvířata nebo rostliny. (Klement et al., 2013)

Biologické zbraně (tab. č. 7) využívají škodlivých účinků biologických látek na živé organismy a mohou škodlivě působit i na vybrané druhy materiálu. Řadí se mezi ně také využití infikovaných hlodavců, hmyzu, blech apod. (Mika, Říha, 2011)

Tabulka 7: Základní skupiny bojových biologických látek (Mika, Říha, 2011)

| Základní skupiny bojových biologických látek | Příklady konkrétních bojových biologických látek |
|--|--|
| Bakterie | antrax (sněť slezinná), tularémie, mor, cholera, vozohřivka |
| Rickettsie | Q-horečka, horečka Skalisticých hor, skvrnitý tyfus |
| Viry | pravé neštovice, Ebola, Lassa, žlutá zimnice, Dandyho horečka |
| Plísně | plísňová onemocnění (mykózy), jako sněť bramborová nebo rez obilná |
| Toxiny | Botulotoxin, saxitoxin, ricin |

4.5.3 Radiologické zbraně a úniky radiace

Radiologické zbraně jsou typem zbraní, které využívají ionizující záření k poškození lidského zdraví a životního prostředí. Při jejich použití nedochází ke štěpné reakci. Radioaktivní materiál je např. vyhořelé palivo z jaderné elektrárny. Pomocí konvenční výbušniny je pak tento materiál rozptýlen v prostoru, který kontaminuje. (Mika, Říha, 2011)

Zdrojem radioaktivní kontaminace může být také havárie jaderného zařízení nebo jeho záměrné poškození. Míra a délka kontaminace prostředí závisí na množství radioaktivní látky a jejího poločasu rozpadu. Nejnebezpečnějšími radioaktivními látkami vzniklými únikem z jaderné elektrárny jsou:

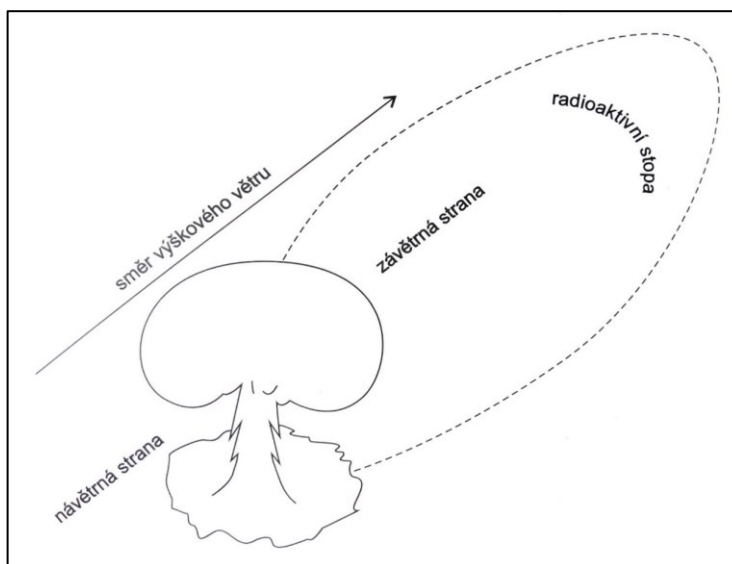
- cesium ^{137}Cs a ^{134}Cs – poločas rozpadu ^{137}Cs je 33 let,
- stroncium ^{90}Sr – poločas rozpadu 29 let,
- jód ^{131}J – poločas rozpadu 8 dnů. (Mika, Říha, 2011)

4.5.4 Jaderné zbraně

Jaderné zbraně fungují na principu štěpné nebo termonukleární reakce. Ničivými faktory jaderného výbuchu jsou tlaková vlna, světelné a tepelné záření, pronikavá radiace, radioaktivní kontaminace a elektromagnetický impulz. Radioaktivní kontaminace vzniká po jaderném výbuchu a jejím zdrojem je:

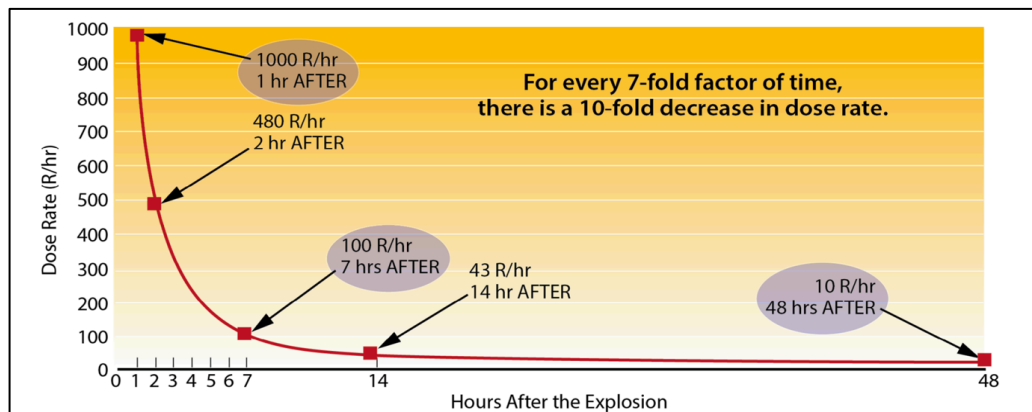
- směs štěpných produktů, která vzniká při dělení jader uranu 235 nebo plutonia 239,
- indukovaná radioaktivita – přeměna atomů vyvolaná jadernými reakcemi,
- nezreagovaná jaderná výbušnina. (Mika, Říha, 2011)

Tyto radioaktivní látky tvoří následný radioaktivní spad, který v řádu desítek minut až hodin kontaminuje terén v okolí výbuchu a vlivem proudění vzduchu vytvoří radioaktivní stopu (obr. č. 25).



Obrázek 25: Vznik radioaktivní kontaminace po pozemním jaderném výbuchu (Mika, Říha, 2011)

Vlastnosti spadu produkovaného při jaderném výbuchu značně závisí na typu zbraně. Obecně lze ale tvrdit, že sedm hodin po jaderném výbuchu se zbytková radioaktivita sníží na asi 10 % počátečního množství a po dalších 41 hodinách se sníží na 1 % (obr. č. 26).



Obrázek 26: Pokles radioaktivity spadu po explozi (Buddemeier, 2018)

Poznatků o vlastnostech těchto NL se následně využívá při výrobě a používání filtrů. O těch pojednává následující podkapitola.

4.6 Filtry

K zachycování NL se využívají různé typy filtrů materiálů. Každý má specifickou schopnost zachycovat různé druhy škodlivin. Pro výběr správného filtru je třeba tento faktor zohlednit.

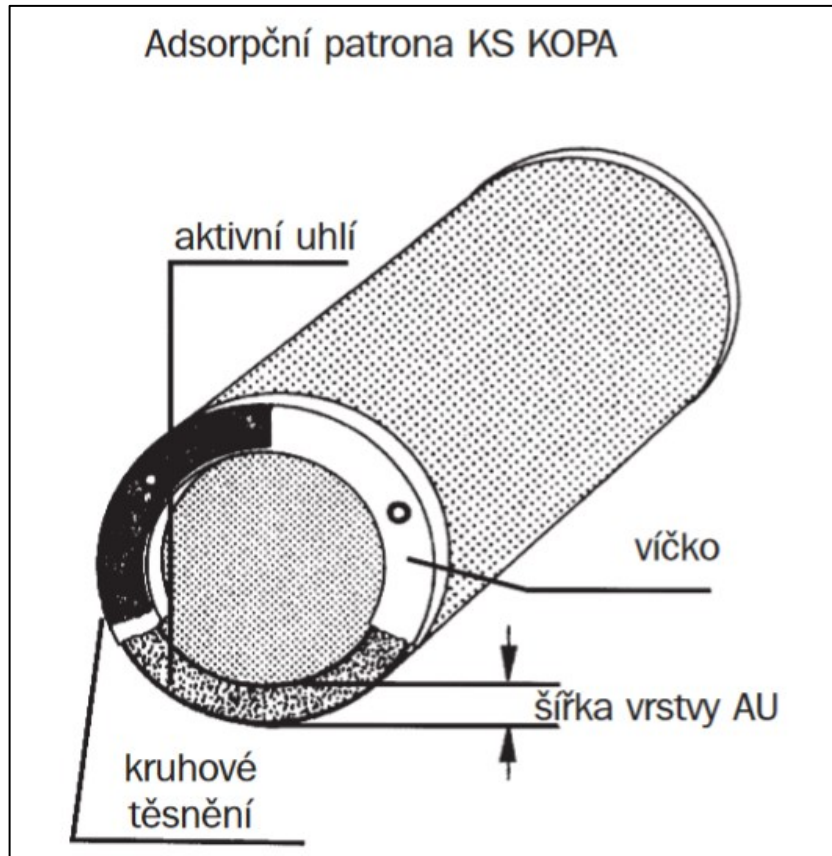
4.6.1 Prachové a aerosolové filtry

Prachové filtry jsou navrženy k zachycování pevných částic, jako jsou prach, pyl, a různé částice vznikající při spalování. Aerosolové filtry jsou účinné v zachycování kapalných částic suspendovaných ve vzduchu. Jsou používány například k zachycování kouře z cigaret či aerosolových částic ve výrobních prostředích. Převážně jsou vyrobeny z vláknitých filtračních materiálů jako textilie nebo filtrační papíry. (Hemerka, Vybiral, 2011)

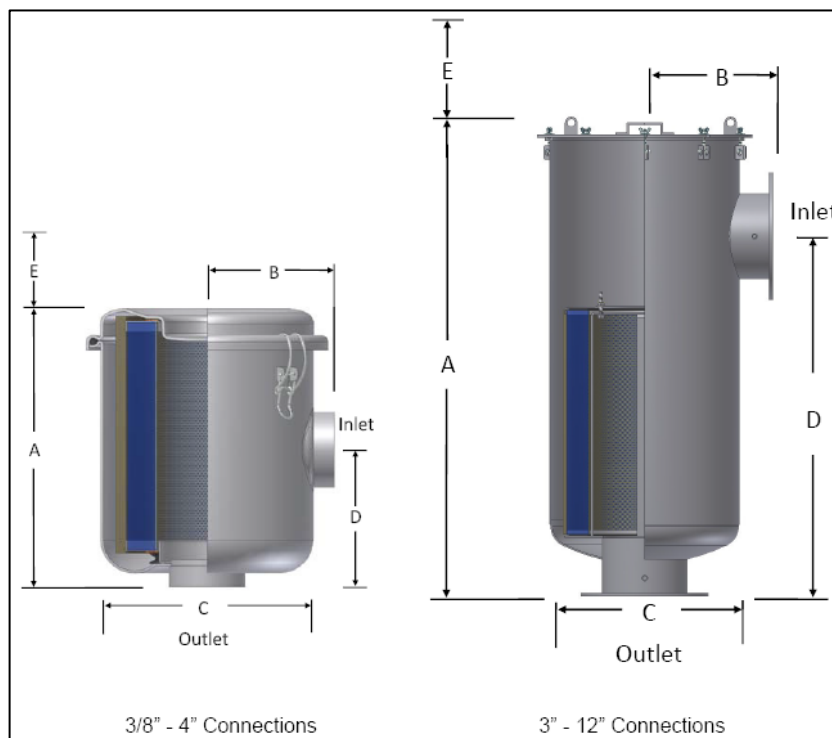
4.6.2 Sorpční filtry

Tyto filtry jsou schopny zachytit plynné látky absorpcí nebo adsorpcí na povrchu filtru. Jsou efektivní v zachytávání organických látek, jako jsou aromatické sloučeniny, pesticidy nebo rozpouštědla. Nejčastěji používaným materiálem je aktivní uhlí, díky čemuž mají vysoký měrný povrch. Aktivní uhlí je citlivé na prach, před sorpční filtry se proto umísťují předfiltry. (Székyová et al., 2006)

Ve FVZ se nejčastěji používá aktivní uhlí ve formě granulí či válečků. Vlastní konstrukci filtru pak obvykle tvoří válcová patrona neboli také radiální filtr. Aktivní uhlí je umístěno mezi dvěma pletivy (obr. č. 27). Patrona je pak vložena do bezešvého taženého krytu z oceli (obr. č. 28).



Obrázek 27 Adsorpční patrona (KS Klima-Service a.s., 2005)



Obrázek 28 Patrona v ocelovém krytu (Solberg Manufacturing, 2024)

4.6.3 Hopkalitové filtry

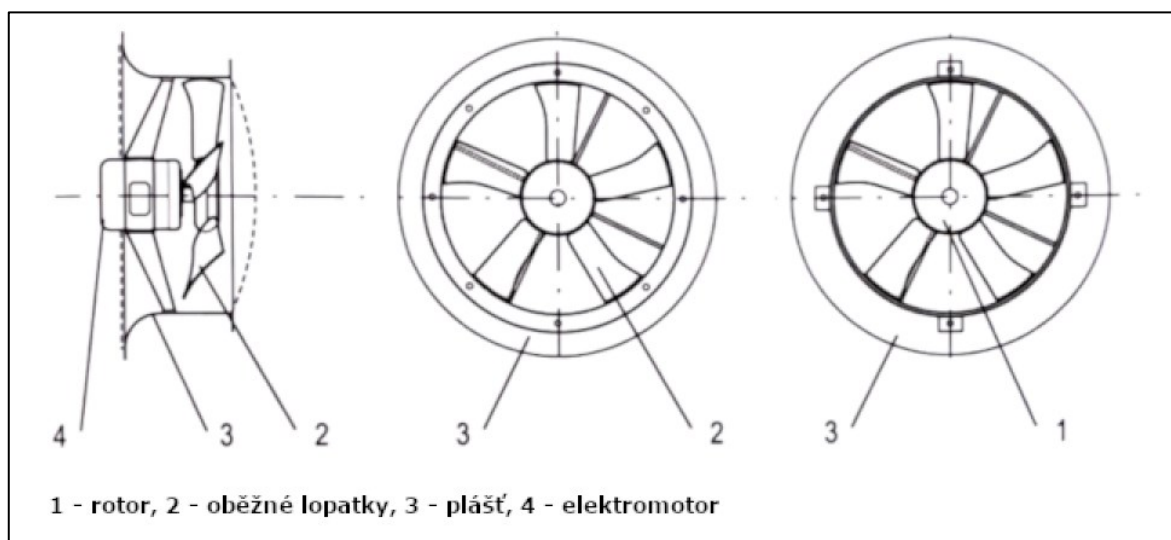
Hopkalitové filtry jsou speciálně navrženy k zachycování plynných chemických látek, zejména toxických prvků, jako je např. oxid uhelnatý. (Princ, Vičar, 2023)

4.7 Ventilátory

Dopravu vzduchu zajišťuje ventilátor. Ty můžeme dělit podle směru průtoku vzduchu. U FVZ se typicky používají ventilátory radiální, v určitých případech je však možné použít i ventilátor axiální.

Axiální ventilátory

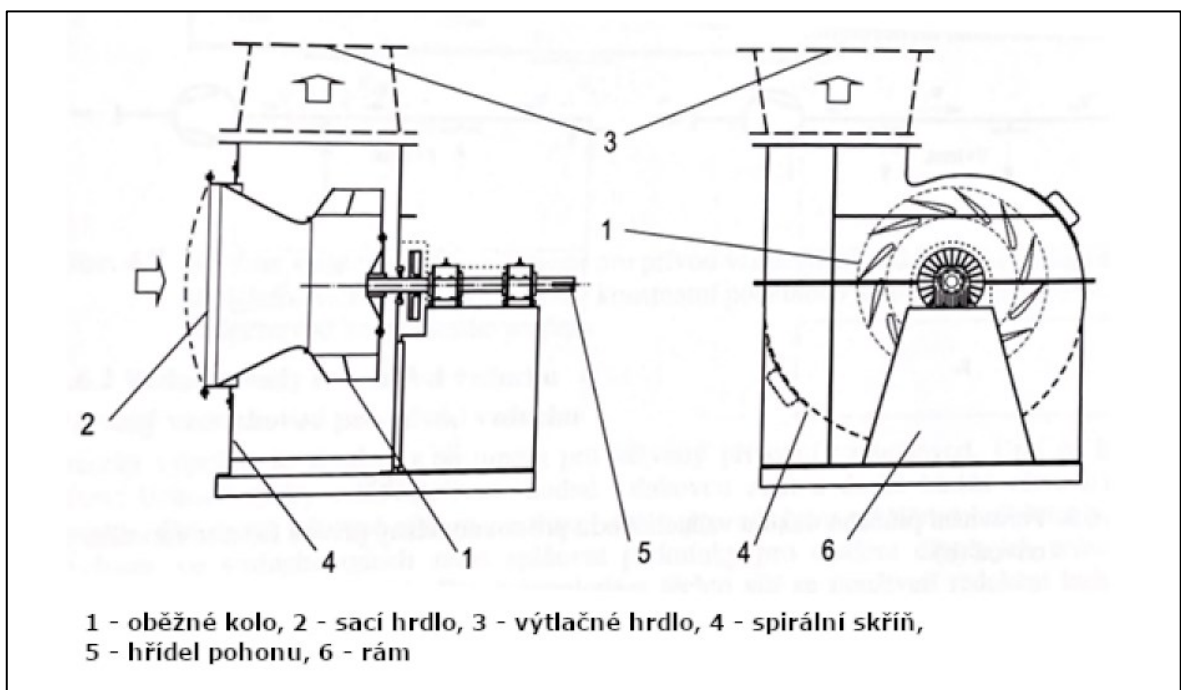
Axiální ventilátory (obr. č. 29) mají rotor umístěný v ose otáčení, kde je proud vzduchu veden rovnoběžně s touto osou. Vzduch je nasáván do ventilátoru z jedné strany a vytlačován ven na opačné straně, přičemž pohybující se částice jsou vytlačovány podél směru osy rotoru. Tyto ventilátory jsou obvykle kompaktní a mají relativně jednoduchou konstrukci, což je činí vhodnými pro aplikace s omezeným prostorem. Axiální ventilátory je však vhodné použít spíše do systémů s jednoduchým a krátkým potrubím, které nevytváří velký odpor proudění vzduchu.



Obrázek 29: Schéma axiálního ventilátoru (Drkal, Zmrhal, 2013)

Radiální ventilátory

Radiální ventilátory (obr. č. 30) mají rotor umístěný uprostřed, ale proud vzduchu je kolmý k ose otáčení rotoru. Vzduch je nasáván do ventilátoru uprostřed a vytlačován ven do strany, což vytváří radiální proud vzduchu. Tyto ventilátory jsou často používány pro aplikace vyžadující vyšší tlak a nižší průtok vzduchu, jako jsou systémy ventilace v průmyslových prostředích nebo v případech, kdy je potřeba překonat větší odpor vzduchu. Ve srovnání s axiálními ventilátory dosahují větších rozměrů.



Obrázek 30: Schéma radiálního ventilátoru (Drkal, Zmrhal, 2013)

Mobilní FVZ v současnosti existují v mnoha variantách, ale mají poměrně ustálenou základní koncepci. Jednotlivé varianty se od sebe liší typem použitých filtrů, typem pohonu a výkonem. Většina současných FVZ poskytuje svým výkonem dodávku čistého vzduchu pro řádově desítky osob. Menší jednotky jsou však spíše výjimkou. Poznatky o těchto zařízeních slouží jako vodítko při návrhu vlastního FVZ.

5 DÍLČÍ ZÁVĚR

Problematika ukrytí obyvatelstva v České republice je komplexní a vyžaduje multidisciplinární přístup. Existující úkryty civilní ochrany představují důležitý prvek ochrany obyvatelstva, avšak je třeba neustále aktualizovat a zlepšovat jejich stav a funkčnost s ohledem na aktuální bezpečnostní hrozby. Zároveň je důležité věnovat pozornost improvizovanému ukrytí, které má být dle Koncepce OO hlavní strategií ukrytí obyvatelstva.

Filtroventilační zařízení jsou klíčovou součástí úkrytů, zajišťující přívod čistého vzduchu a minimalizující riziko vdechnutí škodlivin v případě výskytu chemických, biologických nebo radiologických hrozeb. Porozumění jednotlivým komponentům FVZ a jejich funkcím je pro tuto práci nezbytné.

Teoretická část definuje klíčové pojmy a koncepty spojené s ukrytím obyvatelstva a FVZ, což poskytuje základ pro praktickou část této diplomové práce. Ta se zaměřuje na konkrétní návrh technického řešení filtroventilačního zařízení pro improvizovaný úkryt.

II. PRAKTICKÁ ČÁST

6 VLASTNÍ NÁVRH

Vlastní návrh vychází ze znalosti funkčního principu a konstrukce současných mobilních FVZ, kterým se věnuje teoretická část. Navrhované FVZ by mělo být kompromisem mezi těmito finančně nákladnými jednotkami a improvizovanými FVZ. Postup návrhu vychází z postupu návrhu běžných ventilačních systémů. Nejprve jsou stanoveny vstupní požadavky, dále jsou nalezeny přesné návrhové parametry, a nakonec je proveden detailní návrh zařízení. Na závěr je celý návrh zhodnocen.

6.1 Použitý software

Pro vytvoření 3D modelu vlastního návrhu FVZ je použit Autodesk Inventor. Jedná se o komplexní 3D CAD software vyvinutý společností Autodesk, Inc. Je široce používán ve strojírenství, produktovém designu a výrobním průmyslu pro vytváření, simulaci a vizualizaci složitých mechanických návrhů. Využívá techniku 3D parametrického modelování, které umožňuje tvorbu 3D objektů (obr. č. 31) definovaných pomocí parametrů nebo matematických rovnic, které řídí jejich tvar, velikost a další charakteristiky. Parametrické vazby zajišťují, že změny návrhu lze snadno spravovat a šířit v celém modelu, což umožňuje snadnou úpravu modelu, aniž by bylo nutné jej znovu vytvářet od začátku. Modely jednotlivých součástí následně tvoří sestavy. Uživatel může sestavovat součásti, definovat vztahy mezi součástmi a simulovat pohyb sestav, aby ověřil funkčnost a detekoval kolize.

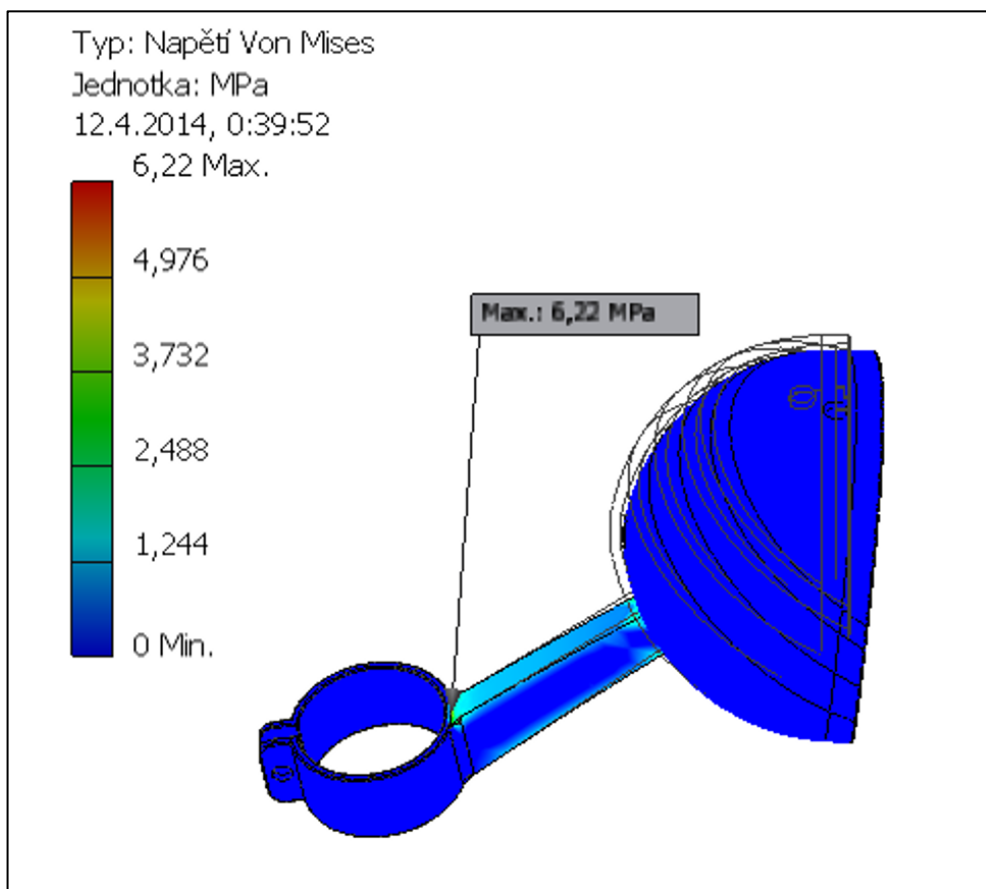
Program obsahuje množství specializovaných nástrojů. Nástroje pro modelování součástí zahrnují funkce, jako jsou vysunutí, rotace, tažení, zaoblení, zkosení a další, které umožňují vytváření složitých tvarů a geometrií. Autodesk Inventor také obsahuje specializované nástroje pro navrhování plechových dílů a krytů. Uživatelé mohou vytvářet ploché vzory, ohýbat prvky a spravovat tloušťku materiálu tak, aby přesně reprezentovaly plechové součásti.

Parametrické modelování však není jedinou podstatnou funkcí tohoto softwaru. Inventor nabízí vestavěné simulační a analytické nástroje pro hodnocení výkonu a chování mechanických návrhů. Uživatel může provádět analýzu napětí (obr. č. 32), simulaci pohybu a dynamickou simulaci, aby zajistil, že návrhy splňují požadavky na výkon a jsou konstrukčně vyhovující. Inventor dále poskytuje nástroje pro vytváření vysoce kvalitních vizualizací a vykreslování 3D modelů. Uživatel může použít materiály, textury a světelné efekty, aby zvýšil realističnost svých návrhů a vytvořil názorné prezentace.

Autodesk Inventor se snadno integruje s dalšími produkty Autodesku, jako je AutoCAD, Fusion 360 a Vault, což umožňuje efektivnější pracovní postup pro návrh, spolupráci a správu dat. Inventor dále zahrnuje integraci se softwarem CAM společnosti Autodesk, který uživateli umožňuje generovat dráhy nástroje a NC kód přímo z jeho 3D modelů pro CNC obrábění a výrobní procesy.



Obrázek 31: Model reflektoru vytvořený v Autodesk Inventor (vlastní)



Obrázek 32: Pevnostní analýza reflektoru zpracovaná v Autodesk Inventor (vlastní)

Pro nahlížení do cizích modelů bez možnosti změn lze modely exportovat ve formátech³, které jsou kompatibilní s volně dostupným zobrazovacím softwarem. Pro potřeby této práce byla společností Autodesk, Inc poskytnuta studentská licence. Udělování licencí pro vzdělávací účely je běžnou praxí společnosti.

6.2 Stanovení vstupních požadavků

Při navrhování FVZ improvizovaného úkrytu je zásadní začít definicí vstupních požadavků. Tyto požadavky slouží jako základ pro celý proces návrhu a dále vedou k jeho úspěšnému vytvoření. Díky tomu zařízení účinně vyhovuje potřebám a omezením prostředí, ve kterém bude provozováno. Tato kapitola uvádí klíčové vstupní požadavky na FVZ pro improvizovaný úkryt:

a) Vyváženost konceptu

Jak již bylo zmíněno v kap. 4.4, v současnosti existuje na trhu řada typů mobilních FVZ. Tato zařízení mají obvykle velmi vysoký výkon a splňující normy v oblasti ukrytí obyvatelstva. V důsledku toho mají však poměrně vysokou pořizovací cenu.

Opačnou stranu spektra představují improvizovaná FVZ, která je možné sestavit vlastnoručně v domácích podmínkách. Webové zdroje, populární, ale i odborná literatura poskytují postupy konstrukce těchto FVZ. Podmínkou jejich sestavení je však dostupnost materiálu v daném okamžiku a určitá míra zručnosti. Účinnost a spolehlivost takovýchto zařízení však nelze dostatečně ověřit.

Na trhu tedy v současnosti chybí nabídka zařízení, které by nevyžadovaly relativně velkou investici. Vzhledem ke strategii ČR v oblasti ukrytí obyvatelstva, kterou je budování a využívání improvizovaných úkrytů, je namísto zabývat se otázkou, jak budou úkryty chráněny proti škodlivým účinkům NL. Fyzické i právnické osoby by musely investovat nemalé prostředky do nákupu FVZ nebo by byly odkázány na jejich vlastnoruční výrobu.

Navrhované FVZ by tedy mělo být kompromisem mezi těmito dvěma přístupy. Tzn. nižší výkon a množství funkcí, než u FVZ používaných např. v armádě, a díky tomu nižší pořizovací náklady, a současně by mělo poskytovat spolehlivé technické řešení, které po uživateli nevyžaduje vysoké nároky na montáž a zprovoznění.

³ Např.: .stl, .step, .obj

b) Použitelnost v daném prostředí

Navrhované FVZ musí být použitelné v podmínkách improvizovaného úkrytu⁴. Mělo by tedy být možné jej instalovat modulárně, protože každý improvizovaný úkryt může mít odlišné vlastnosti. Dále by mělo být pro uživatele nenáročné na sestavení a obsluhu. Parametry prostředí je také třeba zohlednit v prostorovém řešení a uspořádání.

c) Výkon

FVZ musí do úkrytu dodávat stanovené množství čistého vzduchu. Toto množství se odvíjí od počtu ukryvaných osob. Na začátku procesu návrhu je tedy nutné jejich počet stanovit. To má následně vliv na řadu vstupních parametrů. Navrhované FVZ by mělo dodávat čistý vzduch pro ~5⁵ osob.

d) Účinnost a doba provozu

Dle kap. 4.5 mají různé kontaminanty vzduchu odlišné vlastnosti, což je třeba zohlednit při výběru vhodného typu filtru. Je tedy nutné stanovit, které NL se v ovzduší v daném prostředí a podmínkách mohou vyskytovat.

Dalším klíčovým požadavkem je zaručení bezpečné doby provozu. Je třeba stanovit, po jakou dobu budou ukryvané osoby chráněny před škodlivými účinky NL. Po uplynutí této doby se ukryvané osoby musejí buď evakuovat, nebo musí být vyměněn filtr vzduchu. Vzhledem k délce doby působení radiace po použití jaderné zbraně by doba provozu měla činit alespoň 3-7 dnů. Pokud by vlivem jaderného nebo jiného výbuchu došlo k uvolnění NL do ovzduší, např. z průmyslových objektů, lze také předpokládat nejvyšší koncentrace těchto látek v ovzduší během prvních dnů od vzniku MU.

e) Ochrana proti určeným látkám

V počátku návrhu je třeba určit, proti jakým látkám má FVZ chránit. Těmito látkami jsou průmyslové NL, bojové plyny, biologické látky a radioaktivní spad (viz kap. 4.5, 4.6). To má následně vliv na výběr specifických filtrů.

⁴ Improvizovaný úkryt, který slouží potřebě návrhu, je definován v kap. 6.3.1.

⁵ Počet osob může být mírně odlišný v závislosti např. na věku, fyziologických dispozicích nebo úrovni fyzické zátěže ukryvaných osob

f) Pohon/napájení

Ventilátor FVZ musí mít pro provoz zajištěn pohon. Ten může být buď manuální nebo elektrický. Návrh předpokládá použití elektromotoru, musí tedy být zajištěn zdroj elektrické energie.

Shrnutí vstupních požadavků:

- vyváženost konceptu v rovině účinnosti, spolehlivosti, výkonu a výrobních nákladů,
- použitelnost v prostředí improvizovaného úkrytu,
- nízká míra náročnosti na montáž, zprovoznění a obsluhu,
- dodávka dostatečného množství čistého vzduchu pro ~5 osob po dobu min. 3-7 dnů,
- zajištění dostatečné úrovně filtrace vzduchu,
- zajištění zdroje el. energie.

Vstupní požadavky poskytují základ pro stanovení návrhových parametrů a konstrukce zařízení. Návrhovými parametry se dále zabývá následující kapitola.

6.3 Definice návrhových parametrů

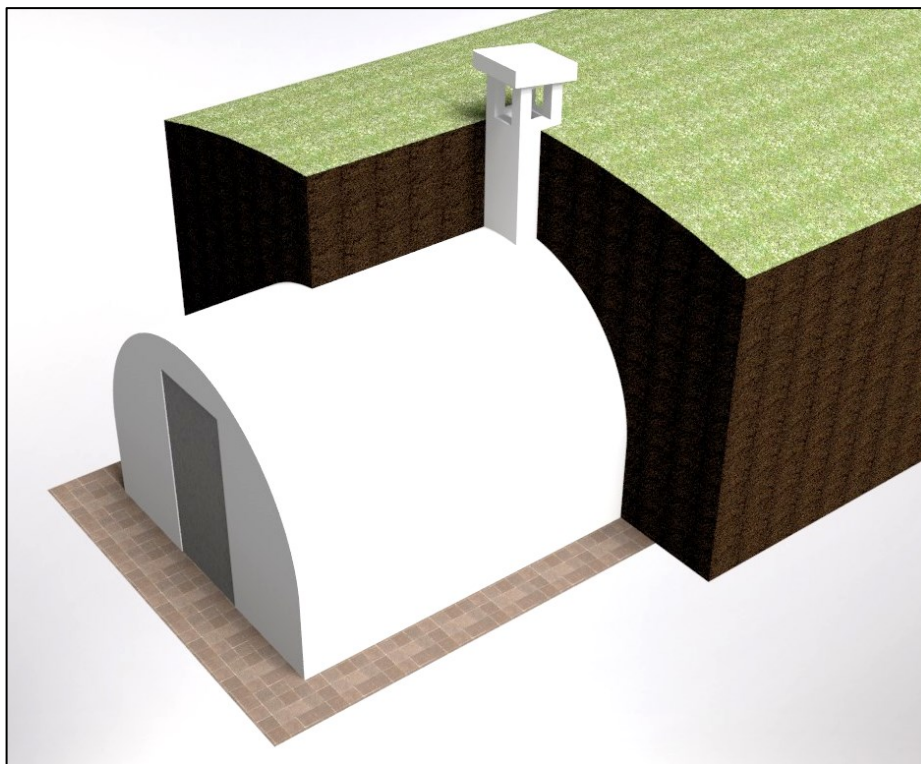
Tato kapitola se zabývá stanovením návrhových parametrů, od kterých se dále bude odvíjet návrh řešení. Zahrnuje především výpočty z oblasti ventilace a sorpční kapacity filtrů.

6.3.1 Definice návrhového úkrytu

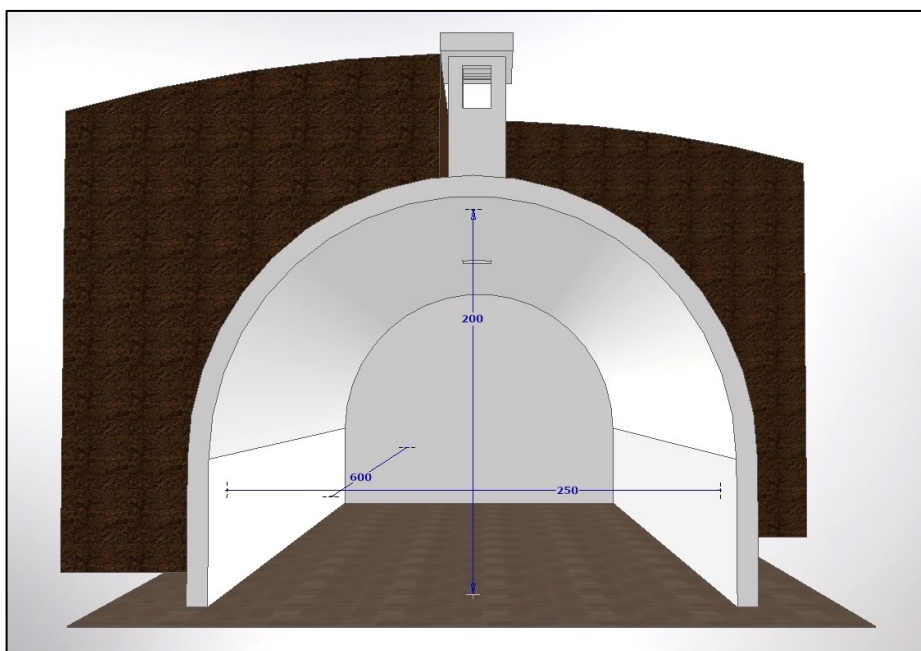
Pro potřeby návrhu je definován improvizovaný úkryt, který je zbudován ve vinném sklepe (obr. č. 33, 34). Takovýto prostor byl vybrán z toho důvodu, že má ideální předpoklady pro improvizovaný úkryt. Vinné sklepy jsou zpravidla zapuštěny pod úroveň terénu, nemají okna a jsou vybaveny větracími komínky. Další výhodou je teplotní stabilita tohoto prostředí. V zimním období je vnitřní teplota obvykle vyšší, než venkovní a v letním období obráceně. Nevýhodou může být vysoká relativní vlhkost vzduchu. V ČR existuje takovýchto sklepů velké množství, a to především na Moravě.

Vybraný sklepní prostor je obdélníkového půdorysu délky 6 m a šířky 2,5 m. Jeho strop tvoří klenba přibližně ve tvaru půlkruhu, která v nejvyšším bodě dosahuje výšky 2 m od podlahy. Klenba je pokryta vrstvou zeminy o tloušťce 1 m. Ve středu klenby se nachází větrací komínek, který ústí cca 20 cm nad povrchem.

Úkryt by dále mohl být doplněn sloupy pro podporu klenby (viz kap. 3.2.2) a bylo by vhodné také instalovat robustní vstupní dveře vybavené přetlakovou klapkou. Sací potrubí FVZ může být vedeno komínkem, prostor mezi potrubím a stěnami komínku by bylo nutné řádně dotěsnit. Průřez komínku má čtvercový tvar o straně cca 20 cm.



Obrázek 33: Vizualizace návrhového úkrytu (vlastní)



Obrázek 34: Vnitřní dispozice návrhového úkrytu (vlastní)

Pro následný výpočet parametrů FVZ je třeba spočítat vnitřní objem úkrytu O_U :

$$O_U = \left(v_k \cdot \check{s} + \frac{\pi \cdot (v - v_k)^2}{2} \right) \cdot d_U = \left(0,7 \cdot 2,5 + \frac{\pi \cdot (2 - 0,7)^2}{2} \right) \cdot 6 \cong 27 \text{ m}^3 \quad (6.1)$$

kde:

- v [m] výška úkrytu (v nejvyšším bodě klenby)
- v_k [m] výška kolmé boční stěny úkrytu
- \check{s} [m] šířka úkrytu
- d_U [m] délka úkrytu

Vnitřní objem úkrytu tedy činí 27 m^3 .

6.3.2 Návrhový výpočet

Pro návrh FVZ je stěžejní určit výkon ventilátoru. Ten se odvíjí od počtu ukryvaných osob, tlakových ztrát filtrů, dalších prvků a od potřebného přetlaku.

A. Výpočet potřebné dodávky vzduchu

Hodnotu potřebné dodávky vzduchu neboli průtok ventilátoru, lze získat vícero přístupy. Prvním z nich je výpočet spotřeby vzduchu na osobu v závislosti na množství vzduchu vyměněného v plicích při dýchání. Spotřeba vzduchu se odvíjí od frekvence dýchání, která se liší při různých stupních zátěže (tab. č. 8).

Tabulka 8: Parametry dýchání (Princ, Vičar, 2023)

| Parametr | Klidová zátěž | Střední zátěž | Těžká zátěž | Extrémní zátěž |
|---|---------------|---------------|-------------|----------------|
| plicní ventilace [dm ³ · min ⁻¹] | 6 | 25 | 50 | 70 |
| dechová frekvence [min ⁻¹] | 15 | 20 | 25 | 30 |
| spotřeba O ₂ [dm ³ · min ⁻¹] | 0,2 | 1,1 | 2,2 | 3,2 |
| vydechaný CO ₂ [dm ³ · min ⁻¹] | 0,2 | 1,0 | 2,0 | 3,0 |
| energetický výdej [J · min ⁻¹] | 5 | 23 | 46 | 66 |

Za předpokladu, že ukryvané osoby nevykonávají žádnou náročnou činnost a mají pouze klidovou zátěž, můžeme objem plicní ventilace po zaokrouhlení stanovit na $10 \text{ dm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$. V úkrytu se nachází 5 osob a můžeme také uvažovat 20% rezervu vzduchu. Potřebnou dodávku vzduchu za hodinu pak vypočítáme následovně:

$$Q_1 = n_1 \cdot V_1 \cdot 1,2 \cdot 60 = 5 \cdot 10 \cdot 1,2 \cdot 60 = 3600 \text{ dm}^3 \cdot \text{h}^{-1} = 3,6 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1} \quad (6.2)$$

kde:

- $n_1 [-]$ počet ukryvaných osob
- $V_1 [\text{dm}^3 \cdot \text{min}^{-1}]$ objem plicní ventilace

Výsledná hodnota potřebné dodávky vzduchu získaná touto metodou tak po zaokrouhlení činí cca $4 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$. Při návrhu ventilace uzavřených prostor je však také třeba zohlednit vlhkost vzduchu, která se vnitřním i vnějším dýcháním uvolňuje do ovzduší. Dodávka vzduchu by tedy měla být vyšší.

Druhým východiskem pro stanovení potřebné násobnosti výměny vzduchu jsou platné hygienické normy. Nařízení vlády č. 361/2007 Sb. (2007) stanovuje minimální množství venkovního vzduchu přiváděného na pracoviště na $25 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ na jednoho zaměstnance vykonávajícího práci zařazenou do třídy I nebo IIa⁶. Při počtu 5 ukryvaných osob tedy činí cca $125 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$.

Třetím východiskem pro stanovení potřebné dodávky vzduchu je porovnání výkonů FVZ uvedených v kap. 4.4 s počty osob, pro které jsou zařízení určena. Např. Filtroventilační zařízení FIRBACH 100 s jmenovitou dodávkou vzduchu $100 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ je určeno pro maximálně 20 osob. FVZ M8A3 Filtration System s jmenovitou dodávkou vzduchu $20,4 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ je určeno pro 4 osoby vybavené ochrannými maskami, které jsou hadicemi připojeny k jednotce. Je tedy patrné, že potřebné množství dodávaného vzduchu pro 5 osob se bude pohybovat v rozmezí přibližně $25\text{-}100 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$.

Po zohlednění všech výše uvedených skutečností je množství dodávaného vzduchu pro navrhované FVZ stanoveno na $Q = 50 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$, což je v souladu s normou ČSN 73 9010 „Navrhování a výstavba staveb civilní ochrany“.

⁶ Třída I: Práce vsedě s minimální celotělovou pohybovou aktivitou, kancelářské administrativní práce, třída IIa: práce převážně vsedě spojená s lehkou manuální prací rukou a paží, řízení osobního vozidla.

B. Výpočet tlakových ztrát

Tlaková ztráta vyjadřuje pokles tlaku, který je v potrubí/systému způsoben odporem⁷ jeho součástí, jimiž proudí vzduch. Jedná se např. o regulační části potrubí, kolena, rozbočky, *filtry*, ale i samotné potrubí. Tlakovou ztrátu musí zvolený ventilátor překonat, jedná se tedy o jeden ze základních návrhových parametrů.

Výpočet tlakové ztráty vychází ze zobecněné Bernoulliho rovnice (7.3), která vyjadřuje podmínku zachování energie při průtoku tekutiny kanálem. Platí za předpokladu, že má tekutina konstantní hustotu a do systému se nepřivádí ani neodvádí energie. (Székyová et al., 2006)

$$h_1 \cdot g + \frac{p_1}{\rho} + \frac{w_1^2}{2} = h_2 \cdot g + \frac{p_2}{\rho} + \frac{w_2^2}{2} + \frac{\Delta p_{z1,2}}{\rho} \quad (\text{Székyová et al., 2006}) \quad (6.3)$$

kde:

- $h_{1,2}$ [m] výška průřezu kanálu od referenční roviny
- $p_{1,2}$ [Pa] tlak v průřezu kanálu
- ρ [kg · m⁻³] hustota tekutiny
- $w_{1,2}$ [m · s⁻¹] střední rychlost proudu
- $\Delta p_{z1,2} \cdot \rho^{-1}$ ztráta energie způsobená odporem

Pro úlohy související s prouděním vzduchu a plynů lze rovnici zjednodušit zanedbáním členu vyjadřujícího změnu polohové energie $h \cdot g$. Rovnice má po úpravě tvar:

$$p_1 + \frac{w_1^2}{2} \cdot \rho = p_2 + \frac{w_2^2}{2} + \rho + \Delta p_{z1,2} \quad (\text{Székyová et al., 2006}) \quad (6.4)$$

Velikost ztráty energie způsobené třením lze získat pomocí Reynoldsova čísla při znalosti rozměrů potrubí. Hodnoty koeficientů místních ztrát se pak určují experimentálně. Celkovou ztrátu energie způsobenou odporem lze následně vyjádřit součtem hodnot tlakových ztrát:

$$\Delta p_z = \Delta p_t + \Delta p_\xi = \left(\lambda \frac{L}{d} + \Sigma \xi \right) \frac{w^2}{2} \cdot \rho \quad (\text{Székyová et al., 2006}) \quad (6.5)$$

⁷ Odpor vzniká třením částic proudící tekutiny.

kde:

- $\Delta p_t [Pa]$ tlaková ztráta způsobená třením v potrubí
- $\Delta p_\xi [Pa]$ tlaková ztráta způsobená místními odpory v prvcích potrubí
- $\lambda [-]$ součinitel tření
- $L [m]$ délka potrubí
- $d [m]$ průměr potrubí
- $\xi [-]$ součinitel místního odporu

Pokud tedy známe rozměry potrubí, součinitel tření a součinitele odporu místních ztrát, získáme hodnotu tlaku, který musí ventilátor generovat.

I. Tlaková ztráta filtrů

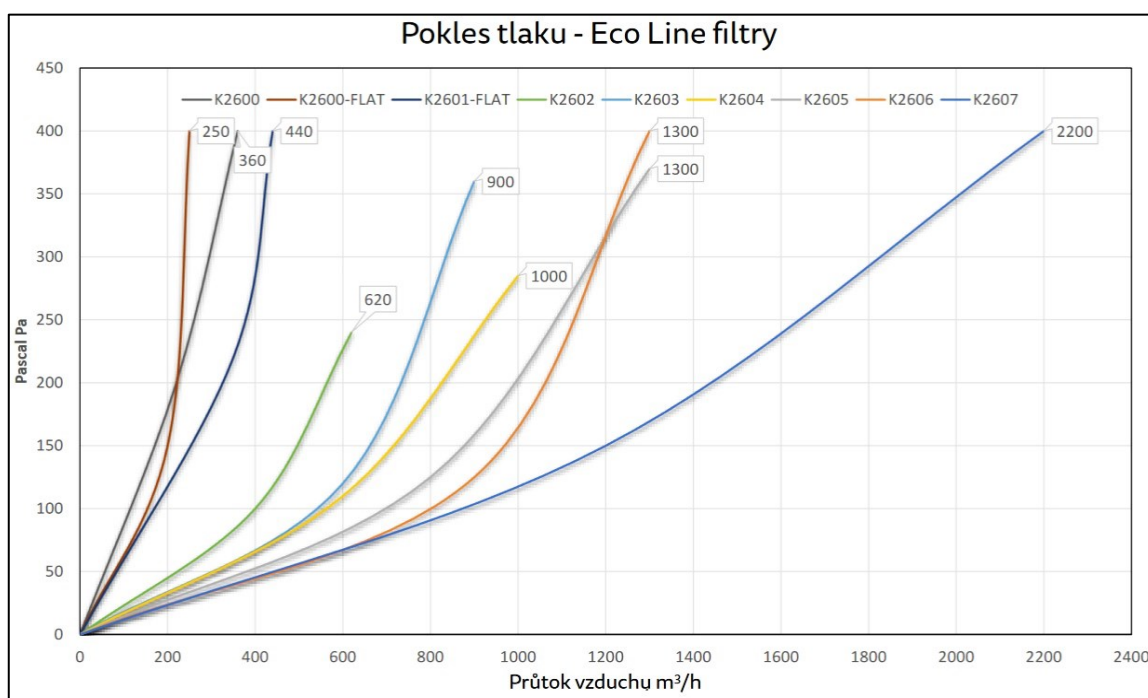
Jak bylo zmíněno výše, součinitel místního odporu se určuje experimentálně. Proto je pro potřeby návrhu nutné tlakovou ztrátu filtru při daném průtoku vzduchu získat jiným způsobem.

Hodnotu tlakové ztráty lze zjistit při znalosti charakteristiky filtru (obr. č. 36) a požadovaného průtoku vzduchu. Průtok (také kapacita, výkon) je roven Q . Nejmenším filtrem typu válcová patrona výrobce Prima Klima (2024) je filtr K2600 (obr. č. 35), který má optimální kapacitu $160 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ a maximální kapacitu $240 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$. Vždy je potřeba zvolit filtr s vyšším výkonem, než je maximální výkon ventilátoru. Filtr tedy *splňuje* požadavek na kapacitu. Délka filtru bez příruby je 200 mm, průměr 180 mm.

Návrh dále pracuje s obdobně designovaným filtrem. Hmotnost aktivního uhlí uvnitř filtru činí 1,7 kg. Vnější plášť válcové patrony pokrývá vrstva filtrační tkaniny chránící aktivní uhlí proti prachu. Její třídu výrobce neuvádí. V rámci návrhu by mohla být použita filtrační tkanina třídy F7. Filtr třídy F7 musí být zařazen před sorpční filtr s aktivním uhlím (Székyová et al., 2006).



Obrázek 35: Filtr K2600 (Prima Klima Trading CZ, s.r.o., 2023)



Obrázek 36: Tlaková ztráta filtrů (Prima Klima Trading CZ, s.r.o., 2023)

Z grafu je patrné, že tlaková ztráta filtru K2600 činí při průtoku $50 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ přibližně 50 Pa. Ostatní filtry zmíněné v grafu mají větší rozměry a množství aktivního uhlí než K2600. Je tedy také patrné, že s rostoucí velikostí a průtokem klesá velikost tlakové ztráty.

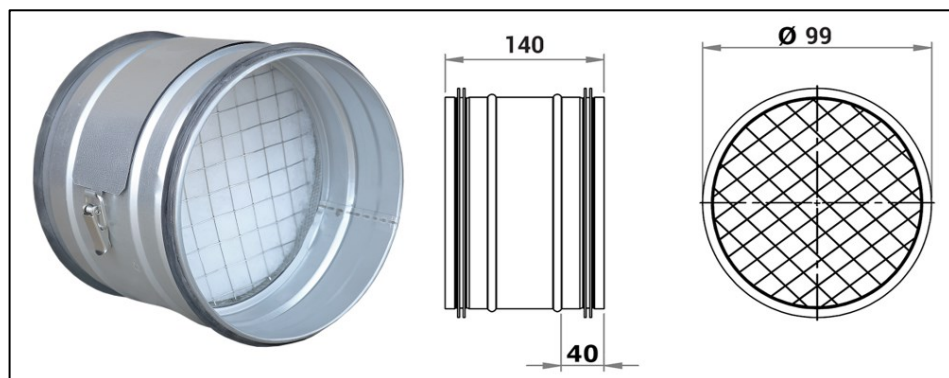
Filtr K2600 použitý pro tuto úlohu má stanovený optimální průtok $160 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ při hmotnosti 1,7 kg aktivního uhlí. Pokud je požadovaná dodávka vzduchu nižší, klesne rychlost proudění vzduchu skrz filtr (filtrační rychlost). Filtrační rychlost by se u běžných tloušťek vrstvy aktivního uhlí (cm) měla pohybovat v rozmezí $0,05$ až $0,5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ (Székelyová et al., 2006).

Za předpokladu, že použitý ventilátor pro tento typ filtru dosahuje výkonu až $240 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$, se filtrační rychlost bude blížit horní hranici uvedeného rozmezí.

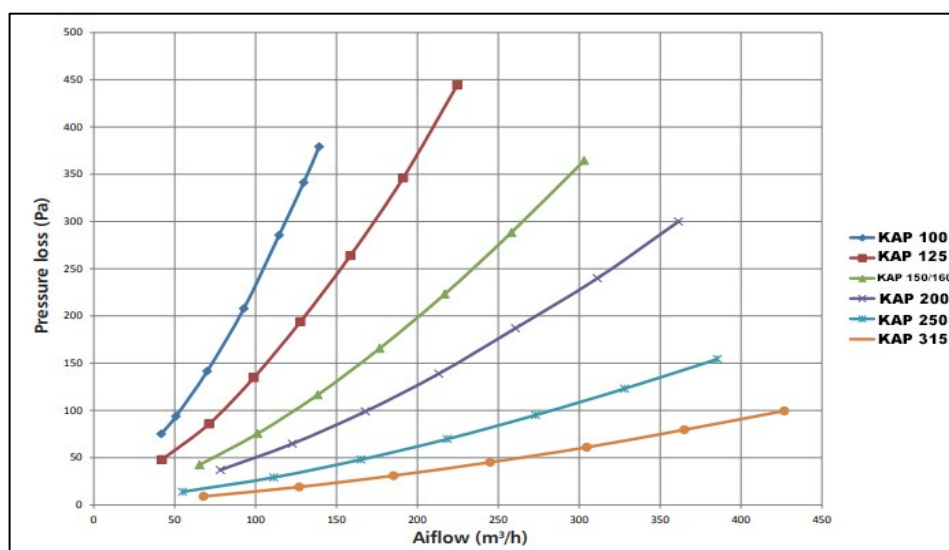
Pokud bude průtok vzduchu dosahovat hodnoty $50 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$, lze předpokládat, že se filtrační rychlost bude pohybovat v předepsaném rozmezí. Následně vybraný ventilátor FVZ tedy může při použití podobného filtru dosahovat i mírně vyššího výkonu než $50 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$. Současně je třeba brát v úvahu možnou odchylku provedeného odhadu tlakové ztráty filtru a vhodně její hodnotu zvýšit.

Tlaková ztráta sorpčního filtru s 1,7 kg aktivního uhlí a filtrační tkaninou třídy F7 je pro potřeby návrhu stanovena na 70 Pa .

Pro první stupeň filtrace je obdobným způsobem vybrán filtr KAP 100 třídy G4 (obr. č. 37) určený k filtraci hrubých nečistot. Jeho tlaková ztráta je stanovena na 100 Pa , viz obr. č. 38.



Obrázek 37: Filtr KAP 100 (DALAP s.r.o., 2024)



Obrázek 38: Tlaková ztráta filtru KAP 100 (DALAP s.r.o., 2024)

Celková tlaková ztráta vybraných specifických filtrů činí 170 Pa .

II. Tlaková ztráta potrubí

V souladu s Bernoulliho rovnicí lze tlakovou ztrátu potrubí vypočítat díky znalosti rozměrů potrubí, které jsou omezeny rozměry větracího komínku, a součinitele tření, jehož hodnota se odvíjí od drsnosti potrubí. Použijeme-li v návrhu hladké potrubí z kovu nebo plastu o délce max. 3 metry bez kolen a dalších prvků, bude jeho tlaková ztráta dosahovat jednotek Pa.

Pro potřeby návrhu je hodnota tlakové ztráty potrubí stanovena na 5 Pa.

III. Celková tlaková ztráta

Hodnota celkové tlakové ztráty je součtem ztrát potrubí a místních ztrát. V prostoru úkrytu je dále potřeba vytvořit přetlak, proto je celková hodnota tlakové ztráty zvýšena o 10 %.

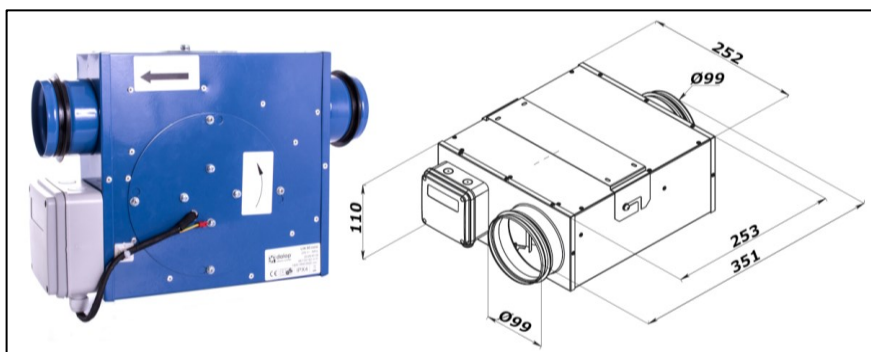
$$\Delta p_{celk.} = (\Delta p_t + \Delta p_\xi) \cdot 1,1 = (5 + 170) \cdot 1,1 \cong 195 \text{ Pa} \quad (6.6)$$

Celková tlaková ztráta činí 195 Pa.

Výběr ventilátoru

Po získání všech potřebných hodnot je možné přikročit k výběru vhodného ventilátoru. Jak bylo zmíněno v teoretické části práce, pro tento typ ventilace se standardně používají radiální ventilátory. Axiální ventilátory nedosahují potřebného tlaku k překonání odporu filtrů, obecně ve vzduchotechnice jsou však velmi rozšířené. Vlastní návrh se, po zohlednění všech konstrukčně-technických skutečností, drží konvenčního řešení a dále pracuje s radiálním ventilátorem.

Příkladem vhodného ventilátoru je radiální ventilátor Dalap LIN mini Ø 100 mm (obr. č. 39). Je určen pro odvětrávání koupelen, kuchyní, restaurací, prodejen apod. Tento ventilátor do potrubí zajišťuje dostatečný tlak pro efektivní transport vzduchu, současně má nízkou hlučnost a dlouhou životnost díky motoru s kuličkovými ložisky. (DALAP s.r.o., 2024)



Obrázek 39: Radiální ventilátor Dalap LIN mini (DALAP s.r.o., 2024)

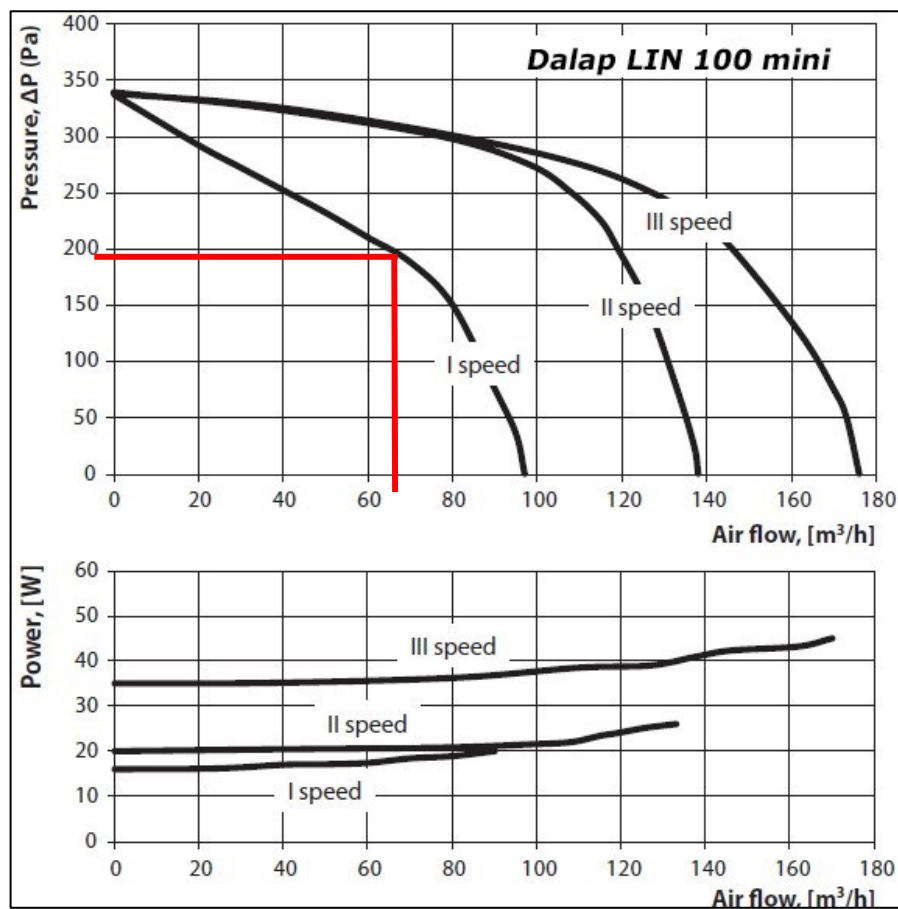
Parametry ventilátoru:

- kapacita odsávání $176/138/97 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$,
- maximální tlak 340 Pa,
- až 40 000 hodin nepřetržitého provozu,
- stupeň krytí IPx4,
- možnost vertikální i horizontální instalace.

Vybraný ventilátor dosahuje v režimu nejnižšího výkonu při pracovním tlaku 195 Pa průtoku přibližně $67 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ (obr. č. 40). To lehce převyšuje hodnou požadované dodávky vzduchu, což může poskytovat další rezervu. Příkon v tomto režimu dosahuje max. 20 W.

Dosažená násobnost výměny vzduchu n_n : při dodávce $67 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$:

$$n_n = \frac{Q}{O_U} = \frac{67}{27} = 2,48 \text{ h}^{-1} \quad (6.7)$$



Obrázek 40: Charakteristika ventilátoru Dalap (DALAP s.r.o., 2024)

C. Sorpční kapacita filtru s aktivním uhlím

Dalším podstatným parametrem sorpčního filtru je jeho sorpční kapacita, tedy schopnost zadržet určité množství NL, dokud nedojde k jejímu průniku za filtr. Sorpční kapacitu filtru ovlivňuje:

- množství sorbentu,
- hrubost zrna aktivního uhlí,
- druh impregnace aktivního uhlí⁸,
- rozložení proudu vzduchu uvnitř filtru,
- vlhkost a teplota vzduchu,
- druh a koncentrace NL v ovzduší.

Sorpční kapacita se nedá předem přesně stanovit a zjišťuje se experimentálně. Např. ve studii Sýkora a Hyláka (2019) byla stanovena rezistenční doba (RD) ochranného filtru MOF-6-M na 36 min. (tab. č. 9). Zkušební látkou byl cyklohexan, průtok směsi $30 \text{ l} \cdot \text{min}^{-1}$, koncentrace 4875 ppm. Nižší koncentrace látky v ovzduší prodlužuje RD, nikoli však přímo úměrně.

Tabulka 9: Vliv koncentrace testované látky na hodnotu RD (Sýkora, Hylák, 2019)

| Typ filtru | MOF-6-M | MOF-6-M |
|---------------------|------------------|------------------|
| Šarže | 11.1999/578-3/99 | 11.1999/578-3/99 |
| hmotnost před (g) | 328,9 | 325,9 |
| hmotnost po (g) | 345,2 | 344,0 |
| Δm (g) | 16,3 | 18,1 |
| Vlhkost vzduchu (%) | 70 | 70 |
| koncentrace (ppm) | 4875 | 3468 |
| RD (min) | 36,0 | 53,0 |

Sorpční filtr s 1,7 kg aktivního uhlí by mohl při koncentraci NL do 0,1 % obj. dosahovat RD v řádu hodin. Je však třeba zdůraznit, že se jedná pouze o hrubý odhad a přesná hodnota rezistenční doby by musela být zjištěna experimentálně v laboratorních podmínkách.

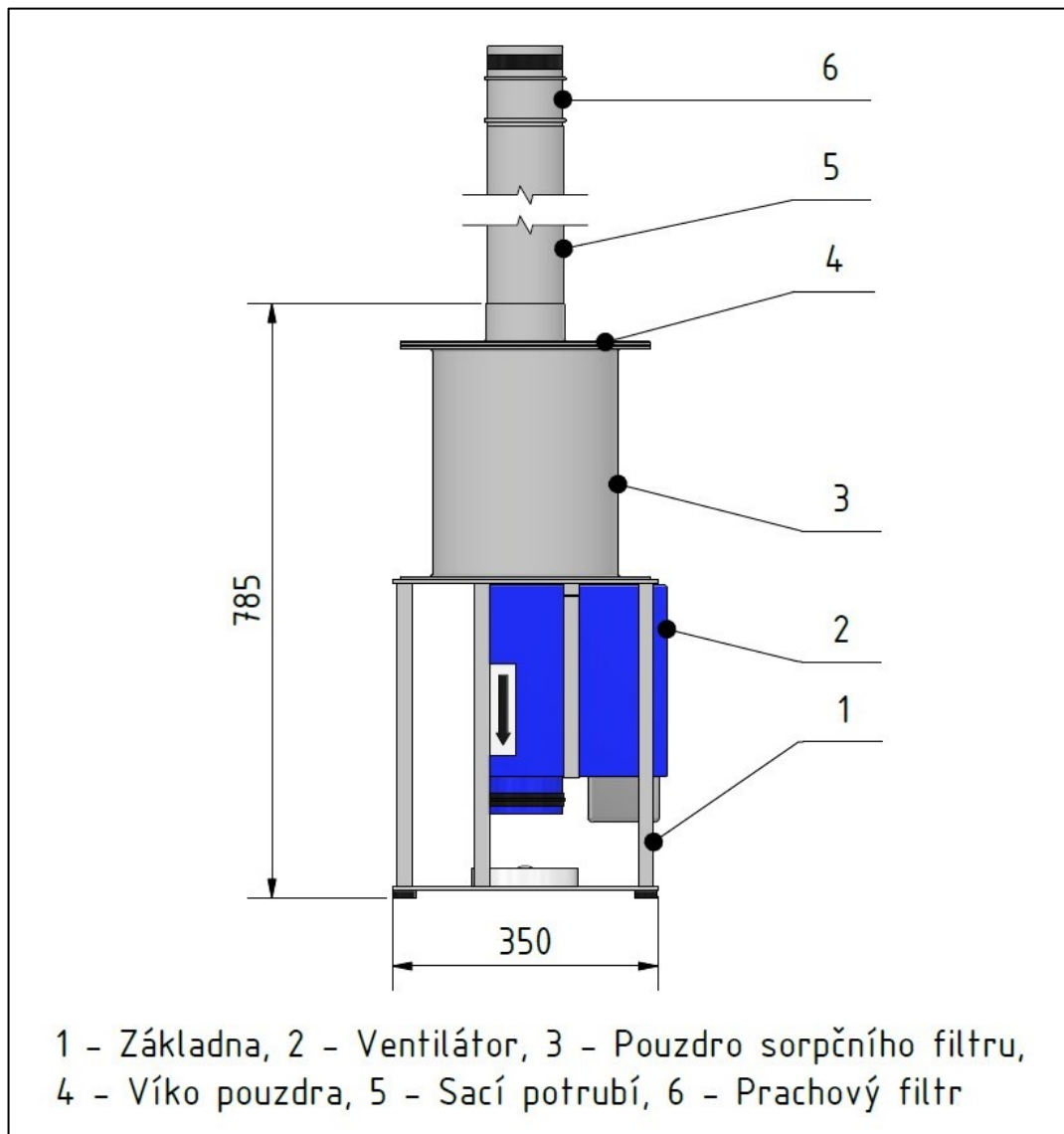
⁸ Aktivní uhlí může být impregnováno vhodnými solemi kovů.

6.4 Detailní návrh

Navrhovaná koncepce pracuje s požadavky a parametry, které byly definovány výše. Návrhové parametry vycházejí z vlastností konkrétních komponent, které jsou v současnosti dostupné na trhu. Reálná konstrukce pak může obsahovat součásti s obdobnými parametry.

a) Návrh konstrukce

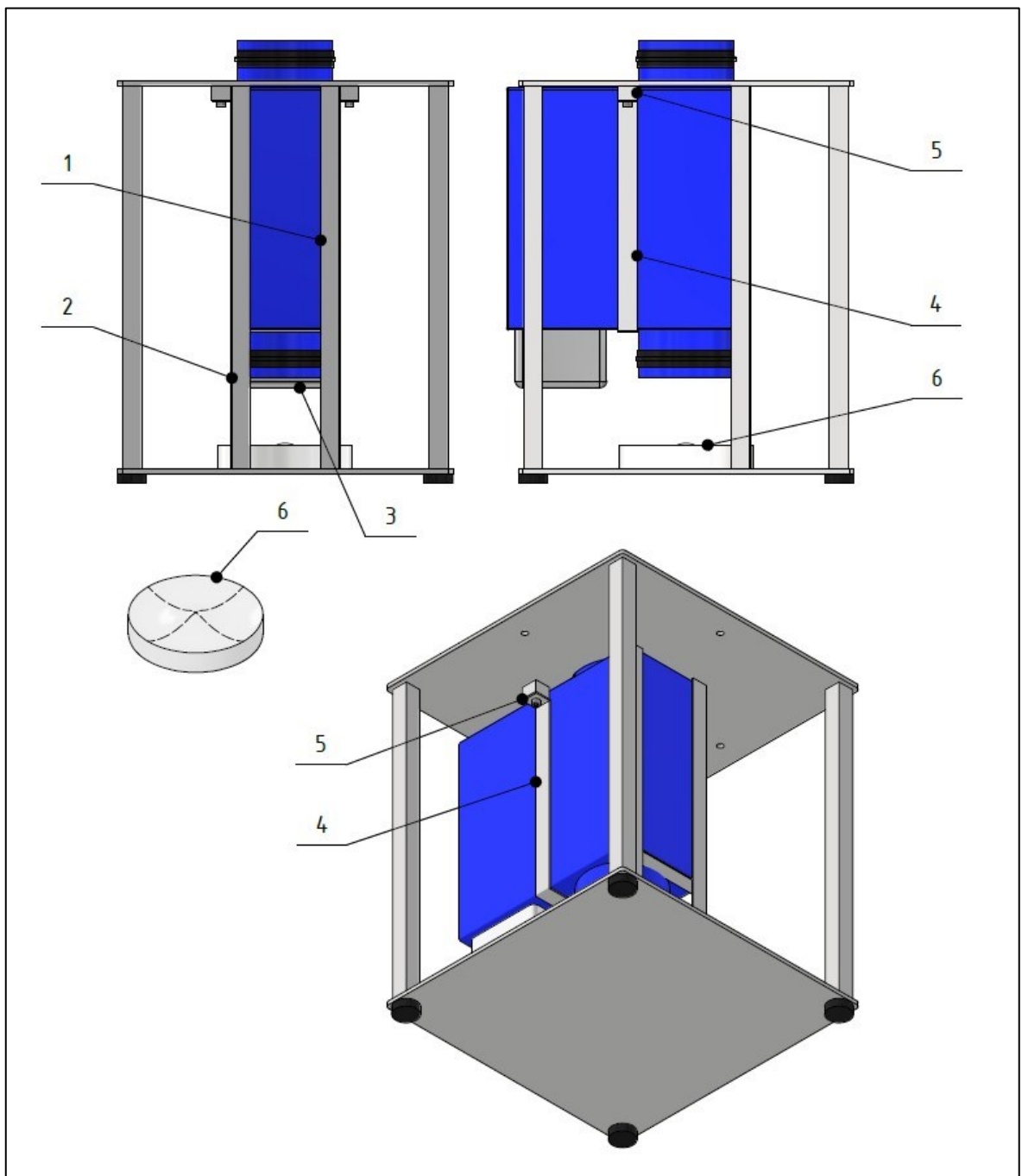
Navržená konstrukce FVZ se skládá z šesti základních částí (obr. č. 41). Základem a nosnou částí zařízení je základna (1), která slouží k ukotvení ventilátoru (2) a pouzdra sorpčního filtru (3). To je opatřeno víkem (4), k pouzdru je připevněno šesti šrouby M8 a mezi dosedací plochy je vloženo těsnění. Na přírubu víka je napojeno sací potrubí (5), v jehož vstupním průřezu je umístěn hrubý prachový filtr (6).



Obrázek 41: Schéma návrhu FVZ (vlastní)

b) Základna

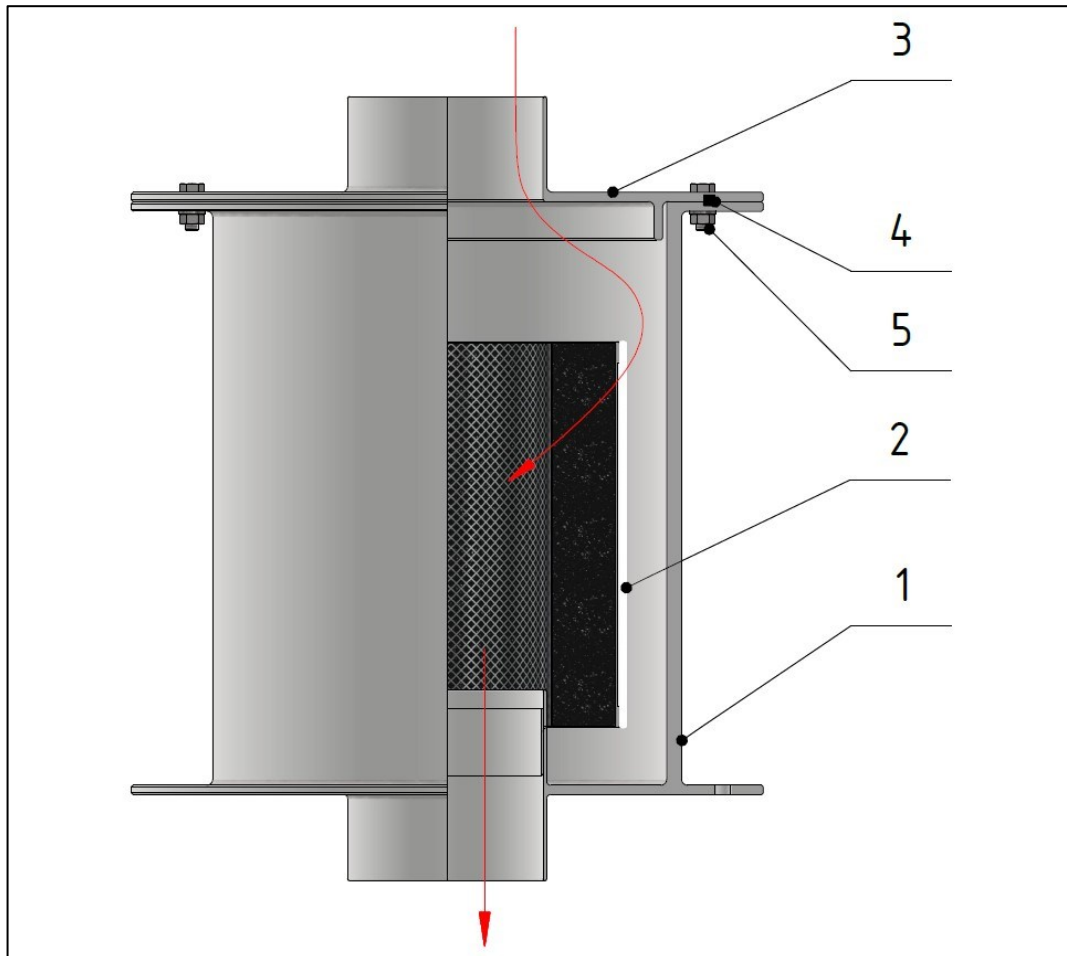
Základnu tvoří svařovaná ocelová konstrukce z profilů a desek tloušťky 5 mm (obr. č. 42). Na spodní část horní desky je pomocí L profilů (1, 2, 3) a plechového pásku (4) připevněn ventilátor. Plechový pásek je připevněn šrouby do závitů (5) v přivařených kostkách. Výstup ventilátoru směřuje kolmo k podlaze, spodní deska je proto opatřena tvarovým prvkem z plastu (6), který usměrňuje proud vzduchu.



Obrázek 42: Konstrukce základny (vlastní)

c) Pouzdro sorpčního filtru

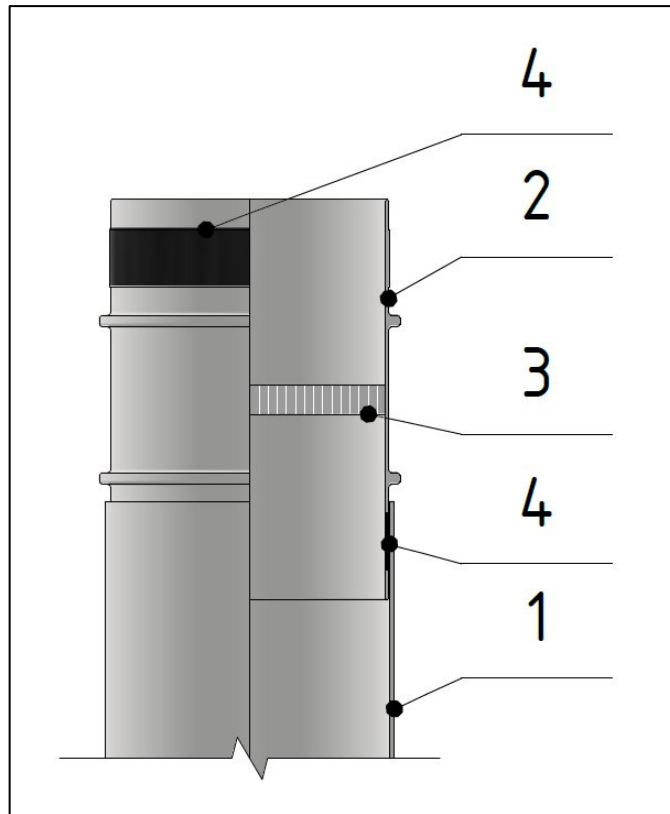
K horní ploše základny je pomocí čtyř šroubů M8 připevněno pouzdro sorpčního filtru (obr. č. 43). Jeho základ tvoří ocelová trubka (1) průměru 229 mm s tloušťkou stěny 8 mm. Ta je těsným svarem přivařena k plechu tloušťky 5 mm, v jehož středu je příruba spojující filtr (2) a ventilátor. Pouzdro je uzavřeno víkem připevněným šesti šrouby M8 (5), mezi dosedací plochy je vloženo těsnění (4).



Obrázek 43: Pouzdro sorpčního filtru (vlastní)

d) Sací potrubí

Řešení prvního stupně filtrace prachovým filtrem znázorňuje obr. č. 44. Do sacího potrubí (1) je vloženo těleso prachového filtru (2) s filtrační vložkou (3). Těleso filtru je opatřeno těsněním (4).



Obrázek 44: Sací potrubí s prachovým filtrem (vlastní)

Konstrukce FVZ je navržena s maximální možnou mírou jednoduchosti. Vychází z ověřené koncepce, která byla analyzována v teoretické části práce. Zvolený ventilátor vyhovuje požadavkům systému a jeho výkon je mírně naddimenzovaný. Funkčnost a spolehlivost návrhu lze ověřit konstrukcí a otestováním prototypu. Předběžným odhalením možných poruch vzniklých při provozu se v následující kapitole zabývá analýza rizik.

7 ANALÝZA MOŽNÝCH PORUCH NAVRHOVANÉHO ZAŘÍZENÍ

Pomocí analýzy možných poruch ve fázi návrhu lze identifikovat nedostatky FVZ ještě před možným započítáním konstrukce prototypu. V tomto případě je vhodné použít metodu FMEA (Failure Modes and Effects Analysis), tj. Analýza druhů poruch a jejich důsledků. Analýza se týká poruch, které mohou vzniknout při provozu zařízení.

Postup analýzy FMEA je proveden v těchto krocích:

- popis analyzované součásti,
- identifikace potenciálních poruch a dopadů,
- kvantifikace pravděpodobnosti výskytu poruch a míry dopadů,
- návrh nápravných opatření.

Vhledem k předpokladu, že FVZ bude provozováno po vyhlášení stavu ohrožení státu nebo válečného stavu, jsou předpokládanými příčinami poruch zejména následky použití ZHN nebo jiné MU s rozsáhlým dopadem.

7.1 Identifikace součástí, poruch a dopadů

a) Součásti systému filtroventilace

Součásti FVZ, kterých se bude analýza týkat, jsou ventilátor, hrubý prachový filtr, sorpční filtr s aktivním uhlím a těsnění systému. Detailněji jsou popsány v předchozích kapitolách. Do této kategorie je zahrnut taky samotný prostor úkrytu, který spolu s FVZ vytváří ochranný celek. V tomto smyslu je jeho úlohou zajištění celistvosti uzavřeného prostoru, což umožňuje vytvoření potřebného vnitřního přetlaku a zamezení vniknutí NL.

b) Poruchy a dopady

Dalším krokem analýzy je nalezení všech možných poruch těchto součástí. Analýza uvažuje také poruchy zapříčiněné špatnou montáží či přípravou systému FV úkrytu. Kvantifikaci pravděpodobností výskytu poruch a stanovení významu jejich dopadů na systém FV uvádí tab. č. 10 a 11.

Tabulka 10: Pravděpodobnosti výskytu poruch (vlastní)

| Pravděpodobnost vzniku poruch | | |
|-------------------------------|-----------------|--|
| Hodnota | Pravděpodobnost | Popis |
| 1 | Velmi nízká | Vznik poruchy je velmi nepravděpodobný |
| 2 | Nízká | Vznik poruchy je ojedinělý. |
| 3 | Střední | Vznik poruchy je možný |
| 4 | Vysoká | Vznik poruchy je pravděpodobný. |
| 5 | Velmi vysoká | Vznik poruchy je velmi pravděpodobný |

Tabulka 11 Dopady poruch (vlastní)

| Dopady hrozeb | | |
|---------------|---------------|---|
| Úroveň | Označení | Popis |
| 1 | Bezvýznamné | Systém FV pracuje správně, funkce není narušena. |
| 2 | Přijatelné | Systém FV není významně narušen, funkce může být obnovena po vnějším zásahu. |
| 3 | Hraniční | Systém FV je narušen, funkce může být obnovena po rozsáhlejší vnějším zásahu. |
| 4 | Kritické | Systém FV je významně narušen a pracuje pouze částečně, do úkrytu mohou pronikat NL/není dostatek vzduchu |
| 5 | Katastrofické | Systém FV je mimo provoz, funkce jsou významně až nenávratně narušeny |

Konkrétní součásti systému, možné poruchy a jejich dopady jsou uvedeny ve formuláři FMEA, viz následující podkapitola, tab. č. 12.

7.2 Stanovení míry rizika

Dalším krokem analýzy FMEA je stanovení míry rizika pro každou jednotlivou možnou poruchu. Hodnota je získána součinem hodnot odhadované pravděpodobnosti vzniku a dopadu poruchy.

Tabulka 12: FMEA formulář (vlastní)

| FMEA FVZ | | | | | | | | | | | |
|----------------------|-----------------------------------|-------------------------------------|--|---------------|---|----|--|------------------------|------------|---|---|
| Součást | Porucha | Následek | Možná příčina | Současný stav | | | Návrh opatření | Zlepšený stav | | | |
| | | | | Ohodnocení | | | | Provedená opatření | Ohodnocení | | |
| | | | | P | D | R | | | P | D | R |
| Ventilátor | Nefunkční elektromotor | Systém FV nefunguje | Výpadek proudu | 4 | 5 | 20 | Zajištění záložního zdroje el. energie | Záložní zdroj zajištěn | 4 | 1 | 4 |
| | | | Poškození vlivem elmag. pulsu | 3 | 5 | 15 | Uzemnění FVZ | FVZ uzemněno | 3 | 2 | 6 |
| | | | Porucha napájení (poškození kabelu, konektoru apod.) | 2 | 4 | 8 | Zajištění bezpečného umístění kabelu | Kabel bezpečně umístěn | 1 | 4 | 4 |
| Hrubý prachový filtr | Netěsnost mezi filtrem a potrubím | Pronikání radioaktivního prachu | Chybná montáž | 3 | 3 | 9 | Dotěsnění spoje | Spoj dotěsněn | 3 | 1 | 3 |
| | Ucpání filtru | Snížení/přerušování dodávky vzduchu | Velké množství částic v ovzduší | 2 | 4 | 8 | Vyfouknutí prachu ⁹ | Filtr zprůchodněn | 2 | 3 | 6 |

⁹ Vyfouknutí prachu vyžaduje demontáž ventilátoru, jeho následné otočení a opětovné připojení. Tento úkon může být v podmínkách improvizovaného ukrytí velmi náročný. Preventivním opatřením může být vybavení větracího komínku další ochranou, viz kap. 7.3.

| FMEA FVZ | | | | | | | | | | | |
|----------------------------|-------------------------|-----------------------------------|--|---------------|---|----|-----------------|--------------------|------------|---|---|
| Součást | Porucha | Následek | Možná příčina | Současný stav | | | | Zlepšený stav | | | |
| | | | | Ohodnocení | | | Návrh opatření | Provedená opatření | Ohodnocení | | |
| | | | | P | D | R | | | P | D | R |
| Sorpční filtr | Neschopnost zachytit NL | Do úkrytu pronikají NL | Velmi vysoká koncentrace NL v ovzduší | 2 | 3 | 6 | Výměna filtru | Filtr vyměněn | 2 | 1 | 2 |
| Sací potrubí/spoje potrubí | Netěsnost | Průnik NL/snížení dodávky vzduchu | Poškození mechanickým namáháním/ nesprávná instalace FVZ | 3 | 4 | 12 | Dotěsnění spoje | Spoj dotěsněn | 3 | 1 | 3 |
| Prostor úkrytu | Netěsnost | Snížení přetlaku/ žádná přetlak | Vznik otvoru, např. narušením konstrukce | 2 | 4 | 8 | Utěsnění otvoru | Otvor utěsněn | 2 | 2 | 4 |

V rámci analýzy FMEA bylo identifikováno celkem 6 možných poruch a 9 příčin, které mohou ovlivnit funkci systému FV. Míra pravděpodobnosti vzniku poruchy byla hodnocena v rozmezí od 1 do 5, stejně jako míra dopadu poruchy. Maximální možná hodnota rizika před zavedením opatření činila 20, po zavedení navržených opatření je nejvyšší hodnota rizika snížena na 6. Stupně rizik vyjadřuje tab. č. 13.

Tabulka 13: Stupně rizik (vlastní)

| | | | | | | |
|---|---|----|----|----|----|-----------------------------|
| 5 | 5 | 10 | 15 | 20 | 25 | Nepřijatelná rizika |
| 4 | 4 | 8 | 12 | 16 | 20 | |
| 3 | 3 | 6 | 9 | 12 | 15 | Podmíněně přijatelná rizika |
| 2 | 2 | 4 | 6 | 8 | 10 | |
| 1 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | Přijatelná rizika |
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | |

Největší riziko představuje poškození elektromotoru ventilátoru (a také dalších elektronických součástí) vlivem elektromagnetického pulzu po jaderném výbuchu. Dalším nejvyšším rizikem je ucpání hrubého prachového filtru. Toto riziko by bylo možné dále snížit zavedením preventivního opatření, viz následující podkapitola.

7.3 Stanovení opatření

Pro snížení míry rizika jsou navržena následující opatření:

a) Zajištění záložního zdroje el. energie

Jedná se o preventivní opatření, které je potřeba zavést před vznikem MU. Úkryt může být vybaven např. zdrojem nepřerušovaného napájení (UPS) vybaveným akumulátorem. U navrhovaného FVZ je použit ventilátor pracující s napětím 230 V AC, výstupní napětí UPS tedy musí být totožné.

b) Uzemnění FVZ

Elektromagnetický puls generovaný po výbuchu jaderné zbraně může na kovových předmětech indukovat vysoké napětí. Preventivně lze tedy toto riziko ošetřit uzemněním FVZ, např. v části sacího potrubí, pokud je toto potrubí z kovu.

c) Utěsnění součástí a otvorů

Případné vzniklé netěsnosti mezi součástmi FVZ nebo netěsnosti samotného improvizovaného úkrytu lze utěsnit např. pomocí tmelů, lepidel, izolačních pásek folií apod. To opět vyžaduje preventivní vybavení úkrytu těmito prostředky. Rovněž lze úkryt vybavit základním náradím, které lze při dotěsňování použít, náradí lze také využít při jiných opravitelných poruchách systému FV.

d) Výměna sorpčního filtru

V případě podezření na vyčerpání sorpční kapacity filtru lze filtr vyměnit za nový v případě, že je jím úkryt preventivně opatřen. Výměna však může být nebezpečná z důvodu možného průniku NL sacím porubím nebo uvolněním z jiné části FVZ. I tento scénář je však, vzhledem k podmínkám improvizovaného ukrytí, třeba brát v úvahu.

e) Ochrana větracího komínku

Dalším preventivním opatřením může být opatření větracího komínku krytem např. z plechu. Ve stěnách tohoto by byly vytvořeny otvory pro přívod vzduchu. Vznikla by tak další ochranná bariéra a filtr umístěný uvnitř komínku by byl chráněn před zahlcením velkým množstvím prachu.

Analýza FMEA poskytuje při procesu návrhu FVZ přínosy v podobě identifikace a hodnocení potenciálních rizik, a také návrhů opatření. To může být dalším vodítkem při případné konstrukci prototypu zařízení.

ZÁVĚR

Tato diplomová práce se zabývala vlastním návrhem filtroventilačního zařízení, které mělo být primárně určeno pro použití v improvizovaném úkrytu. Při vzniku mimořádných událostí vojenského i jiného charakteru má být využívání improvizovaných úkrytů hlavní strategií kolektivní ochrany obyvatelstva v České republice. Z tohoto důvodu je na místě se touto problematikou zabývat.

Pro pochopení současného kontextu ukrytí obyvatelstva byla v teoretické části práce tato oblast rozebrána. Následně se práce zaměřila na úkryty, a dále na funkční princip aktuálně používaných filtroventilačních zařízení. Důkladně byly analyzovány různé typy ventilačních systémů, což poskytlo základ pro vlastní návrh.

Díličními cíli praktické části práce bylo stanovení požadovaných parametrů zařízení, vytvoření návrhu pomocí 3D CAD softwaru a analýza rizik při provozu zařízení. Pro stanovení vstupních požadavků byl definován účel a prostředí, ve kterém má zařízení pracovat. Díky tomu mohl být vytvořen návrh, který je reprezentován 3D modelem tohoto zařízení. V rámci procesu návrhu byla provedena analýza FMEA. Identifikovaná rizika byla ošetřena návrhy na další vylepšení systému filtroventilace v daném improvizovaném úkrytu.

Vlastní návrh vychází z principů zavedených v oblasti návrhu ventilačních systémů. Je podložen empirickými výpočty, podle kterých by mělo být zařízení provozuschopné. Funkčnost tohoto systému v praxi by však musela být ověřena po sestavení prototypu. Vzhledem k povaze hrozeb, vůči kterým má zařízení poskytovat ochranu, by bylo nutné jej laboratorně otestovat. Výsledky této práce mohou sloužit jako podklad pro další výzkum.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

ARWEDE KLG, 2024. *Bunker SI*. Online. Dostupné z: <https://protectedunderground.com/products/>. [cit. 2024-03-08].

BOHAN, Frank J., 2013. *Emergency Air: For Shelter-in-place Preppers and Home-built Bunkers*. 2. vydání. Paladin Press. ISBN 978-1610048675.

BUDDEMEIER, Brooke, 2018. *Nuclear Detonation Fallout: Key Considerations for Internal Exposure and Population Monitoring*. Online. Lawrence Livermore National Laboratory. Dostupné z: <https://www.osti.gov/servlets/purl/1460062/>. [cit. 2024-03-09].

ČESKÁ REPUBLIKA, 2000. Zákon č. 239/2000 Sb. o integrovaném záchranném systému a o změně některých zákonů. In: *Sbírka zákonů České republiky*.

DALAP S.R.O., 2024. *Filtr vzduchu na zachytávání hrubých částic, kruhový do potrubí Ø 100 mm*. Online. Ventilatory.cz. Dostupné z: <https://www.ventilatory.cz/filtr-vzduchu-na-zachytavani-hrubych-castic-kruhovy-do-potrubi-o-100-mm-x1890>. [cit. 2024-04-02].

EU PREPPING SHOP, 2024. *UK1 12V Nuclear Shelter Air Filter*. Online. Dostupné z: <https://eupreppingshop.com/product/uk1-12v-nuclear-shelter-air-filter/>. [cit. 2024-04-01].

FEDERÁLNÍ MINISTERSTVO NÁRODNÍ OBRANY, 1990. Chem-21-2, *Filtrační a ventilační zařízení FVZ-100*. Praha.

HDT GLOBAL, 2024. *M8A3 Filtration System*. Online. Produktový katalog. Dostupné z: https://www.hdtglobal.com/wp-content/uploads/2020/03/HDT_Individual-Distribution_15.pdf. [cit. 2024-04-03].

HEMERKA, Jiří a VYBÍRAL, Pavel, 2011. *Filtrace atmosférického vzduchu*. V Praze: České vysoké učení technické. ISBN 978-80-01-04902-0.

HYLÁK, Čestmír a PIVOVARNÍK, Ján, 2016. *Individuální a kolektivní ochrana obyvatelstva ČR*. Praha: Ministerstvo vnitra – generální ředitelství Hasičského záchranného sboru ČR. ISBN 978-80-87544-18-1

HZS ČR, 2023a. *Nebezpečné chemické látky*. Online. Hasičský záchranný sbor České republiky. Dostupné z: <https://www.hzscr.cz/clanek/prostredky-individualni-ochrany-nebezpecne-chemicke-latky.aspx>. [cit. 2024-03-09].

HZS ČR, 2023b. *Vlastnosti některých nebezpečných chemických látek*. Online. HZS ČR. Dostupné z: <https://www.hzscr.cz/clanek/prostredky-individualni-ochrany-nebezpecne-chemicke-latky.aspx?q=Y2hudW09Mg%3d%3d>. [cit. 2024-03-09].

KLEMENT, Cyril; MEZENCEV, Roman a BAJGAR, Jiří, 2013. *Biologické a chemické zbrane*. Banská Bystrica: PRO. ISBN 978-80-89057-43-6.

KS KLIMA-SERVICE A.S., 2005. *Filtry s aktivním uhlím*. Online. Dostupné také z: <http://www.klimatizacia-ventranie.sk/public/media/aaaa/auhli.pdf>.

MIKA, Otakar J. a ŘÍHA, Milan, 2011. *Ochrana obyvatelstva před následky použití zbraní hromadného ničení*. Praha: Námořní akademie České republiky. ISBN 978-80-87103-31-9.

MINISTERSTVO VNITRA – GŘ HZS ČR, 2001. *Sebeochrana obyvatelstva ukrytím: Metodická pomůcka pro orgány státní správy, územní samosprávy, právnické osoby a podnikající fyzické osoby*. Praha. [cit. 2024-04-01].

Nařízení vlády č. 361/2007 Sb., 2007. In: *Sbírka zákonů České republiky*.

PACINDA, Štefan a PIVOVARNÍK, Ján, 2010. *Kolektivní ochrana obyvatelstva*. Praha: MV – generální ředitelství Hasičského záchranného sboru ČR. ISBN 978-80-86640-67-9.

PRIMA KLIMA TRADING CZ, S.R.O., 2023. *Filtrace & Ventilace vzduchu*. Online. Produktový katalog. Dostupné z: <https://primaklima.com/downloads/>. [cit. 2024-04-05].

PRINC, Ivan a VIČAR, Dušan, 2023. *Individuální a kolektivní ochrana*. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, Fakulta logistiky a krizového řízení. ISBN 978-80-7678-147-4.

Rozhovor s technickým pracovníkem Eduha s.r.o., správcem STOÚ kino Hvězda, Uherské Hradiště, 1.3.2024.

ŘEHÁK, David a FOLWARCZNY, Libor, 2012. *Východiska technického a organizačního zabezpečení ochrany obyvatelstva*. Spektrum (Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství). V Ostravě: Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství. ISBN 978-80-7385-117-0.

ŘEHÁK, David; MARTÍNEK, Bohumír a LEGIERSKÁ, Petra, 2015. *Ochrana obyvatelstva v kontextu aktuálních bezpečnostních hrozeb*. Spektrum (Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství). V Ostravě: Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství. ISBN 978-80-7385-169-9.

ŘEHÁK, David a PUPÍKOVÁ, Jana, 2015. *Ukrytí obyvatelstva v České republice*. Spektrum (Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství). V Ostravě: Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství. ISBN 978-80-7385-152-1.

ŘEHOŘ, Jiří, 2024. *Manuální filtroventilační zařízení Zeus*. Online. Ochrana proti zbraním hromadného ničení (OPZHN) - www.zhn.cz. Dostupné z: <https://www.zhn.cz/filtroventilacni-zarizeni-zeus.html>. [cit. 2024-04-01].

RVA SYNERGIES LTD., 2024. *UK1 12V Air filter unit*. Online. Produktový katalog. Dostupné z: <https://www.rvasynergies.co.uk/security-inspection/security-accessories/130-uk1-12v-nbc-air-filter-for-emergency-shelters>. [cit. 2024-04-01].

SOLBERG MANUFACTURING, 2024. *Inlet Vacuum Filter*. Online. Dostupné také z: https://www.solbergmfg.com/Solberg/media/Solberg/Product%20Diagrams/All-CSL-Diagram_1.png. [cit. 2024-04-1].

SÝKORA, Vlastimil a HYLÁK, Čestmír, 2019. *Dynamická sorpční kapacita malých ochranných filtrů: Vliv vstupních podmínek*. Online, Studie. Žilina: Žilinská univerzita v Žilině. Dostupné také z: <https://krm.uniza.sk/pdfs/krm/2019/02/05.pdf>.

SZÉKYOVÁ, Marta; FERSTL, Karol a NOVÝ, Richard, 2006. *Větrání a klimatizace*. Bratislava: Jaga. ISBN 80-807-6037-3.

VOJENSKÝ TECHNICKÝ ÚSTAV, S. P., 2024. *Filtrační a ventilační zařízení FVZ-98M (T) NG*. Online. Produktový katalog. Dostupné z: <https://www.vtusp.cz/produkty/filtracni-a-ventilacni-zarizeni/filtro-ventilacni-zarizeni-fvz-98m-ng/>. [cit. 2024-04-01].

VZDUCHOTECHNIK S.R.O., 2022. *Filtroventilační zařízení FIRBACH 100*. Online. Produktový katalog. Dostupné z: <https://www.firbach.cz/pro-malokapacitni-kryty/>. [cit. 2024-04-01].

ZPĚVÁK, Aleš; FÍLA, František; JONÁKOVÁ, Tereza a VÍŠEK, Jiří, 2014. *Ochrana obyvatelstva v republikovém měřítku*. Praha: Univerzita Jana Amose Komenského Praha. ISBN 978-80-7452-044-0.

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

| | |
|----------------|--|
| AČR | Armáda České republiky |
| AC | Alternating current (Střídavý proud) |
| BCHL | Bojové chemické látky |
| CBRN | Chemical, Biological, Radiological and Nuclear (Chemické, biologické, radiologické a jaderné zbraně) |
| DC | Direct current (Stejnoseměrný proud) |
| CO | Civilní ochrana |
| FVZ | Filtroventilační zařízení |
| FV | Filtroventilace |
| HZS ČR | Hasičský záchranný sbor České republiky |
| IÚ | Improvizovaný úkryt |
| MU | Mimořádná událost |
| NL | Nebezpečná látka |
| NP | Nadpodlaží |
| OO | Ochrana obyvatelstva |
| OP | Ochranný prostor |
| OSM | Ochranný systém metra |
| OS PDS | Ochranné systémy podzemních dopravních staveb |
| OSST | Ochranný systém strahovského automobilního tunelu |
| UO | Úkrytí obyvatelstva |
| SPRÚ | Stálý protiradiační úkryt |
| SPRÚ-Z | Stálý protiradiační úkryt zesílený |
| STNÚ | Stálý tlakově neodolný úkryt |
| STOÚ | Stálý tlakově odolný úkryt |
| SÚCO | Stálý úkryt civilní ochrany |
| ZHN | Zbraně hromadného ničení |
| Δp_t | tlaková ztráta způsobená třením v potrubí [Pa] |
| Δp_ξ | tlaková ztráta způsobená místními odpory v prvcích potrubí [Pa] |
| λ | součinitel tření [-] |
| ξ | součinitel místního odporu [-] |
| ρ | hustota tekutiny [$\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$] |

| | |
|-----------|--|
| d | průměr potrubí [m] |
| d_U | délka úkrytu [m] |
| $h_{1,2}$ | výška průřezu kanálu od referenční roviny [m] |
| I | proud [A] |
| L | délka potrubí [m] |
| m | hmotnost [kg] |
| n_1 | počet ukryvaných osob [-] |
| n_n | dosažená násobnost výměny vzduchu [h^{-1}] |
| O_u | objem úkrytu [m^3] |
| P | příkon [W] |
| $p_{1,2}$ | tlak v průřezu kanálu [Pa] |
| Q | průtok/dodávka vzduchu [m^3] |
| š | šířka úkrytu [m] |
| U | napětí [V] |
| v | výška úkrytu (v nejvyšším bodě klenby) [m] |
| V_1 | Objem plicní ventilace [$dm^3 \cdot min^{-1}$] |
| v_k | výška úkrytu (v nejvyšším bodě klenby) [m] |
| $w_{1,2}$ | střední rychlost proudu [$m \cdot s^{-1}$] |

SEZNAM OBRÁZKŮ

| | |
|---|----|
| Obrázek 1: Stávající systém UO v ČR (Řehák a Pupíková, 2015)..... | 18 |
| Obrázek 2: Ženíjní úkryty (Princ a Vičar, 2023) | 19 |
| Obrázek 3: Interiér úkrytu pro ~5 osob od švýcarského výrobce (ArWeDe KLG, 2024)... | 20 |
| Obrázek 4: Půdorys úkrytu pro ~5 osob od švýcarského výrobce (ArWeDe KLG, 2024) . | 21 |
| Obrázek 5: Kino Hvězda – hlavní vstup (vlastní)..... | 21 |
| Obrázek 6: Půdorys úkrytu (Korvas, 2007) s vlastní úpravou..... | 22 |
| Obrázek 7: Kinosál kina Hvězda (vlastní) | 22 |
| Obrázek 8: Soustava filtrů (vlastní) | 23 |
| Obrázek 9: Soustava čerpadel vzduchu (vlastní) | 24 |
| Obrázek 10: Čerpadlo s radiálním ventilátorem (vlastní)..... | 24 |
| Obrázek 11: Železobetonové dveře (vlastní) | 25 |
| Obrázek 12: Zásady pro plošné umístění OP v jednotlivých nadzemních podlažích (Hylák a Pivovarník, 2016)..... | 28 |
| Obrázek 13: Zásady výběru vhodného prostoru pro IÚ (Ministerstvo vnitra – GŘ HZS ČR, 2001) | 29 |
| Obrázek 14: Zesílení stropní konstrukce podpěrami (Hylák a Pivovarník, 2016) | 30 |
| Obrázek 15: Větrací komínky (Hylák a Pivovarník, 2016) s vlastní úpravou..... | 31 |
| Obrázek 16: Schéma funkčního principu FVZ (vlastní)..... | 33 |
| Obrázek 17: Schéma FVZ-100 (Federální ministerstvo národní obrany, 1990) | 34 |
| Obrázek 18: Vacuum Air Pump System Scheme (Bohan, 2013)..... | 36 |
| Obrázek 19: Vacuum Air Pump System (Bohan, 2013)..... | 37 |
| Obrázek 20: Filtroventilační zařízení FIRBACH 100 (Vzduchotechnik s.r.o., 2022) | 38 |
| Obrázek 21 FVZ-98M (T) NG (Vojenský technický ústav, s. p., 2024) | 39 |
| Obrázek 22: Manuální filtroventilační zařízení Zeus (Řehoř, 2024)..... | 40 |
| Obrázek 23: UK1 12V Air Filter Unit (RVA SYNERGIES LTD., 2024) | 41 |
| Obrázek 24: M8A3 Filtration System (HDT Global, 2024)..... | 42 |
| Obrázek 25: Vznik radioaktivní kontaminace po pozemním jaderném výbuchu (Mika, Říha, 2011) | 45 |
| Obrázek 26: Pokles radioaktivity spadu po explozi (Buddemeier, 2018) | 46 |
| Obrázek 27 Adsorpční patrona (KS Klima-Service a.s., 2005)..... | 47 |
| Obrázek 28 Patrona v ocelovém krytu (Solberg Manufacturing, 2024)..... | 47 |
| Obrázek 29: Schéma axiálního ventilátoru (Drkal, Zmrhal, 2013) | 48 |
| Obrázek 30: Schéma radiálního ventilátoru (Drkal, Zmrhal, 2013)..... | 49 |
| Obrázek 31: Model reflektoru vytvořený v Autodesk Inventor (vlastní) | 53 |
| Obrázek 32: Pevnostní analýza reflektoru zpracovaná v Autodesk Inventor (vlastní)..... | 53 |

| | |
|--|----|
| Obrázek 33: Vizualizace návrhového úkrytu (vlastní) | 57 |
| Obrázek 34: Vnitřní dispozice návrhového úkrytu (vlastní) | 57 |
| Obrázek 35: Filtr K2600 (Prima Klima Trading CZ, s.r.o., 2023) | 62 |
| Obrázek 36: Tlaková ztráta filtrů (Prima Klima Trading CZ, s.r.o., 2023) | 62 |
| Obrázek 37: Filtr KAP 100 (DALAP s.r.o., 2024) | 63 |
| Obrázek 38: Tlaková ztráta filtru KAP 100 (DALAP s.r.o., 2024) | 63 |
| Obrázek 39: Radiální ventilátor Dalap LIN mini (DALAP s.r.o., 2024) | 64 |
| Obrázek 40: Charakteristika ventilátoru Dalap (DALAP s.r.o., 2024) | 65 |
| Obrázek 41: Schéma návrhu FVZ (vlastní) | 67 |
| Obrázek 42: Konstrukce základny (vlastní) | 68 |
| Obrázek 43: Pouzdro sorpčního filtru (vlastní) | 69 |
| Obrázek 44: Sací potrubí s prachovým filtrem (vlastní) | 70 |

SEZNAM TABULEK

| | |
|--|----|
| Tabulka 1 Podíl počtu úkrytů k počtu obyvatel ve vybraných zemích (Pacinda, Pivovarník, 2010) | 20 |
| Tabulka 2: Typy ochranných prostorů (OP) podle ochranných vlastností proti jednotlivým škodlivinám (Hylák a Pivovarník, 2016) s vlastní úpravou..... | 27 |
| Tabulka 3 Rozměry komínků v závislosti na počtu ukryvaných osob (Řehák, Folwarczny, 2012) | 31 |
| Tabulka 4: Parametry manuálního FVZ Zeus (Řehoř, 2024) | 40 |
| Tabulka 5: Stručná toxikologická klasifikace BCHL (Mika, Říha, 2011) | 43 |
| Tabulka 6: Vliv oxidu uhličitého na organismus (Princ a Vičar, 2023) | 43 |
| Tabulka 7: Základní skupiny bojových biologických látek (Mika, Říha, 2011) | 44 |
| Tabulka 8: Parametry dýchání (Princ, Vičar, 2023) | 58 |
| Tabulka 9: Vliv koncentrace testované látky na hodnotu RD (Sýkora, Hylák, 2019) | 66 |
| Tabulka 10: Pravděpodobnosti výskytu poruch (vlastní) | 72 |
| Tabulka 11 Dopady poruch (vlastní) | 72 |
| Tabulka 12: FMEA formulář (vlastní)..... | 73 |
| Tabulka 13: Stupně rizik (vlastní) | 75 |

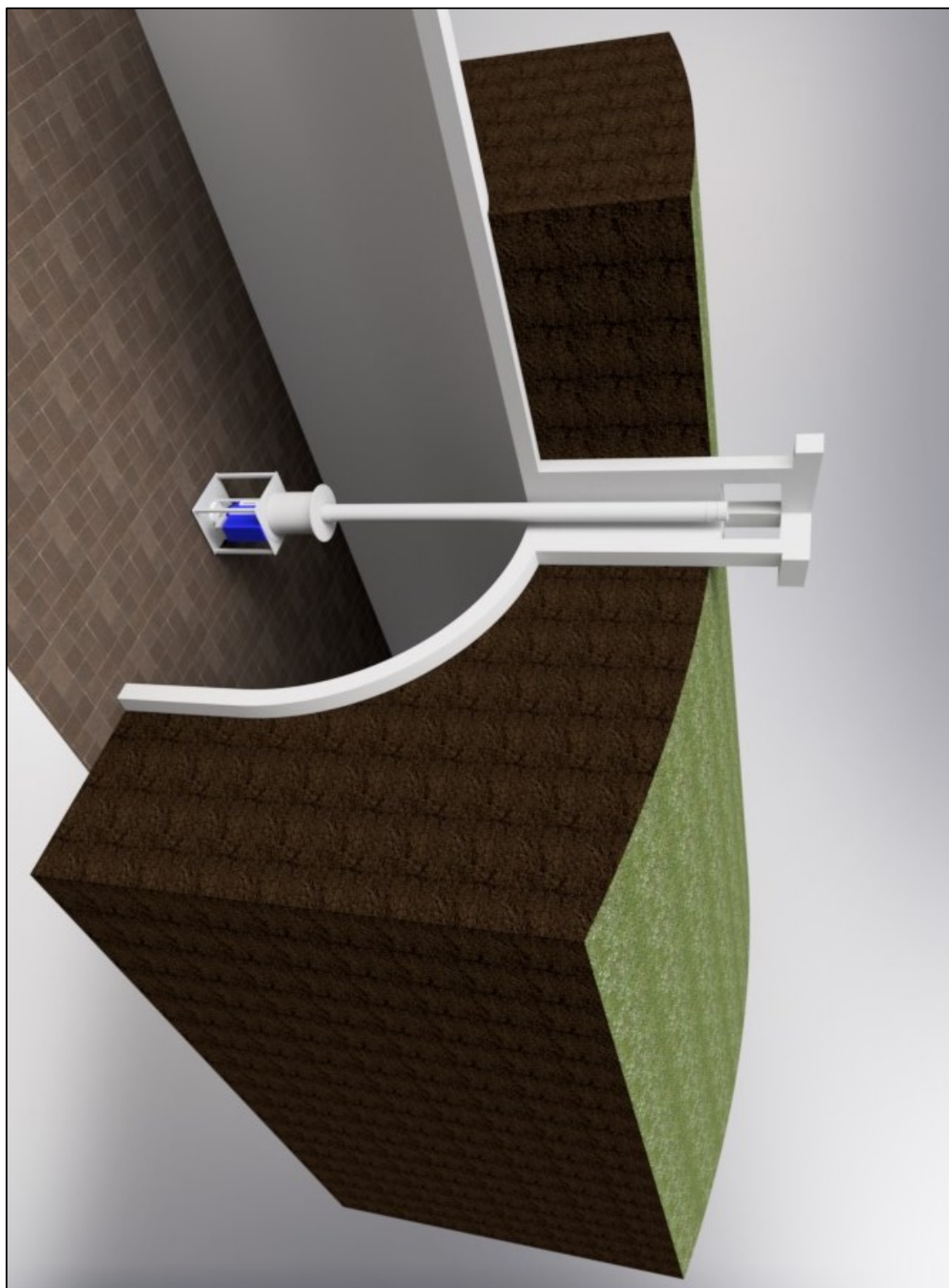
SEZNAM PŘÍLOH

Příloha P I: Vizualizace umístění FVZ v úkrytu

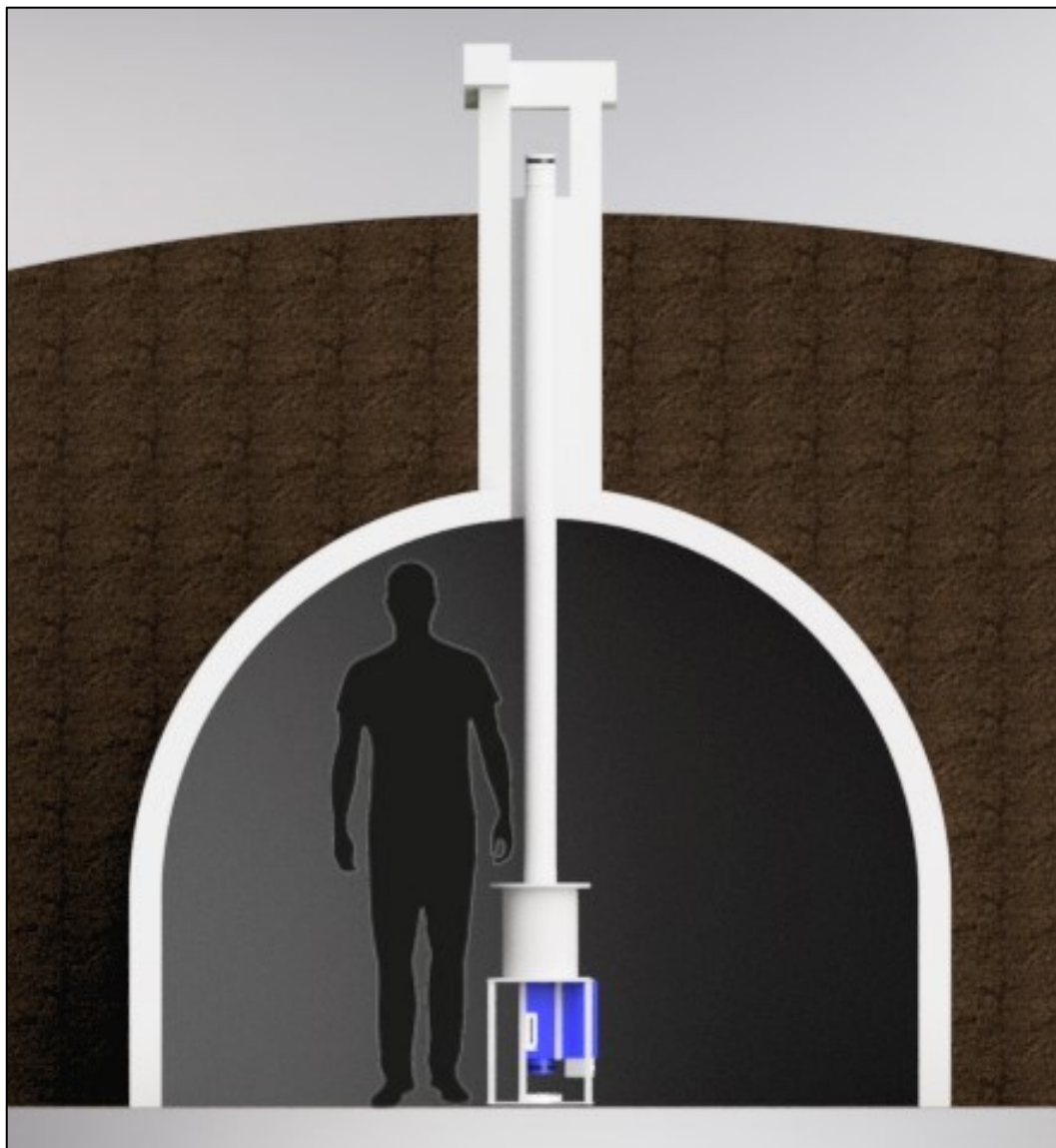
Příloha P II: Ilustrace velikosti FVZ

Příloha P III: Vizualizace FVZ – celkový pohled

PŘÍLOHA P I: VIZUALIZACE FVZ V ÚKRYTU



PŘÍLOHA P II: ILUSTRACE VELIKOSTI FVZ



PŘÍLOHA P III: VIZUALIZACE FVZ – CELKOVÝ POHLED

