

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

Fakulta mechatroniky, informatiky a mezioborových studií

Studijní program: N 2612 - Elektrotechnika a informatika

Studijní obor: 1802T007 - Informační technologie

Ohrožení osob při časově omezeném úniku nebezpečného plynu

Man endanger during timely limited
dangerous gas release

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Autor:

Bc. Jan Eder

Vedoucí diplomové práce:

RNDr. Jan Novák, Ph. D.

Konzultant:

Ing. Jiří Havlíček

V Liberci 15. 5. 2009

Prohlášení

Byl(a) jsem seznámen(a) s tím, že na mou diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 o právu autorském, zejména § 60 (školní dílo).

Beru na vědomí, že TUL má právo na uzavření licenční smlouvy o užití mé diplomové práce a prohlašuji, že **s o u h l a s í m** s případným užitím mé diplomové práce (prodej, zapůjčení apod.).

Jsem si vědom(a) toho, že užít své diplomové práce či poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem TUL, která má právo ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, vynaložených univerzitou na vytvoření díla (až do jejich skutečné výše).

Diplomovou práci jsem vypracoval(a) samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím diplomové práce a konzultantem.

Datum: 13. 5. 2009

Podpis:

Bc. Jan Eder

Poděkování

Na tomto místě bych rád poděkoval vedoucímu diplomové práce RNDr. Janu Novákovi, Ph. D. za jeho profesionální a lidský přístup s ochotou mi vždy jednoduše vysvětlit danou problematiku. Dále mé poděkování patří Ing. Davidu Vališovi, PhD. a Ing. Jiřímu Havlíčkovi za jejich věcné připomínky a nápady.

Rád bych také poděkoval rodině za její trpělivost a vstřícnost.

Abstrakt

Tato práce se zabývá řešením časově omezeného úniku nebezpečného plynu a realizací výsledků v programovacím jazyce MATLAB. Řeší výpočet časově proměnného koncentračního pole úniku na základě principu postupně vypouštěných dávek plynu. Následně je vypočítána expoziční dávka a aplikací probitové funkce vyjádřena pravděpodobnost úmrtí osoby zasažené toxickým plynem. Výsledky jsou kromě kvantitativního (číselného) vyjádření zobrazeny také graficky.

Práce představuje ucelený a dokumentovaný pomocný nástroj pro stanovení individuálního rizika definovaného časově omezeného úniku toxického plynu.

Abstract

This work deals with analysis of time limited outflow of dangerous gas, and implementation of outcome in programming language MATLAB. It solves calculation of time variable concentrated outflow area on principle gradually released batch of the gas, bases. Then the exposure batch is calculated, and by an application of the probit function, the death probability of toxic gas affected person is stated. The results are stated quantitatively (numerically) as well as graphically.

The work presents comprehensive, and documented device for determination of individual hazard of defined time limited outflow of toxic gas.

Obsah

Úvod.....	7
1 Teoretická část.....	8
1.1 Riziko.....	8
1.2 Toxicita.....	10
1.3 Individuální riziko toxicity.....	11
1.4 Rozptyl plynu v atmosféře.....	16
1.5 Časově omezený únik nebezpečného plynu.....	24
2 Implementace úlohy.....	31
2.1 Načtení vstupu, nastavení programu.....	32
2.2 Výpočet individuálního rizika toxicity.....	33
2.3 Vizualizace individuálního rizika toxicity.....	35
3 Závěr.....	44
SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK.....	45
POUŽITÁ LITERATURA.....	46
SEZNAM ILUSTRACÍ.....	47
SEZNAM TABULEK.....	49

Úvod

Nedostatkem současného popisu úniku toxického plynu je použití dvou základních typů modelů – kontinuálního a jednorázového. Přitom většina úniků nebezpečných plynů při průmyslových haváriích netrvá tak dlouho, aby mohla být popsána kontinuálním modelem, ale ani nelze tyto úniky charakterizovat jako jednorázové. Jedná se o časově omezené (krátkodobé) úniky. Pro výpočet rizika, které je s takovým únikem spojeno, není k dispozici jednoduchý matematický aparát.

Cílem této práce bude vytvoření metodického postupu výpočtu koncentračních polí a na jejich základě stanovení pravděpodobnosti úmrtí osoby zasažené toxickým plynem.

V diplomové práci bude řešen pouze následek úniku toxického plynu, nikoli pravděpodobnost s jakou k němu dojde. Proto nelze výsledné hodnoty označit jako individuální riziko, ale pouze jako pravděpodobnosti úmrtí.

1 Teoretická část

Teoretická část blíže seznamuje čtenáře s problematikou managementu rizika, toxicity a rozptylu plynu v atmosféře. Jsou zde podrobně vysvětleny jednotlivé modely úniku plynu včetně vlastního řešení časově omezeného úniku nebezpečného plynu.

1.1 Riziko

Pojem riziko zanechává v člověku negativní pocit ve smyslu očekávání nepříznivé skutečnosti s negativními následky, ať už pro člověka nebo jiný vztažený subjekt.

Riziko, obecně, je základní kvantitativní/kvalitativní vlastností objektů a systémů a jako takové samostatně neexistuje, neexistuje-li interakce mezi zdrojem rizika a objektem, jež je ve vztahu k tomuto zdroji rizika. To lze chápat tak, že pokud dojde např. k poruše integrity pláště zásobníku se stlačeným zemním plynem a v okolí se nenachází zdroj iniciace, nehrozí riziko výbuchu nebo požáru.

Definice rizika

Definice rizika existuje v několika standardizovaných podobách. Znění je však vágní a generické s ohledem na rozsah a mezioborovou povahu pojmu. Ve specifických aplikacích a oblastech, kde se s rizikem pracuje systematictěji, se potom definují vlastní přesné formy i obsah (definice rizika).

O riziku, obecně, hovoříme jako o potenciálu, který může ohrozit naše cíle. Pokud je možné u procesu identifikovat alespoň jeden negativní důsledek jeho realizace, potom hovoříme o existenci rizika.

V oblasti ekonomie a pojišťovnictví můžeme riziko definovat jako matematické očekávání peněžní hodnoty poškození způsobených nebezpečným zdrojem.

Jiná definice rizika definuje riziko jako pravděpodobnost výskytu nežádoucí události s nežádoucími následky v číselném vyjádření od 0 do 1. Nicméně tato definice není pro potřeby managementu rizik dostatečná.

Mnohem přesnější a intuitivnější definice rizika je, že riziko je kombinací četnosti výskytu nežádoucí události a jejích následků v závislosti na expozici subjektu. Tuto představu rizika lze vyjádřit vzorcem (1).

$$R = P \cdot N, \quad (1)$$

kde R ... riziko

P ... pravděpodobnost výskytu nežádoucí události

N... následek a projev nežádoucí události

Identifikace rizika

Identifikace rizika je procesem rozpoznávání a zaznamenávání rizika. Tento proces jednoznačně určuje riziko, které může ovlivnit požadované cíle. Obsahuje identifikaci zdrojů rizika, identifikaci událostí, identifikaci a specifikaci důsledků a stanovuje reálné možnosti pro řízení rizika.

Analýza rizika

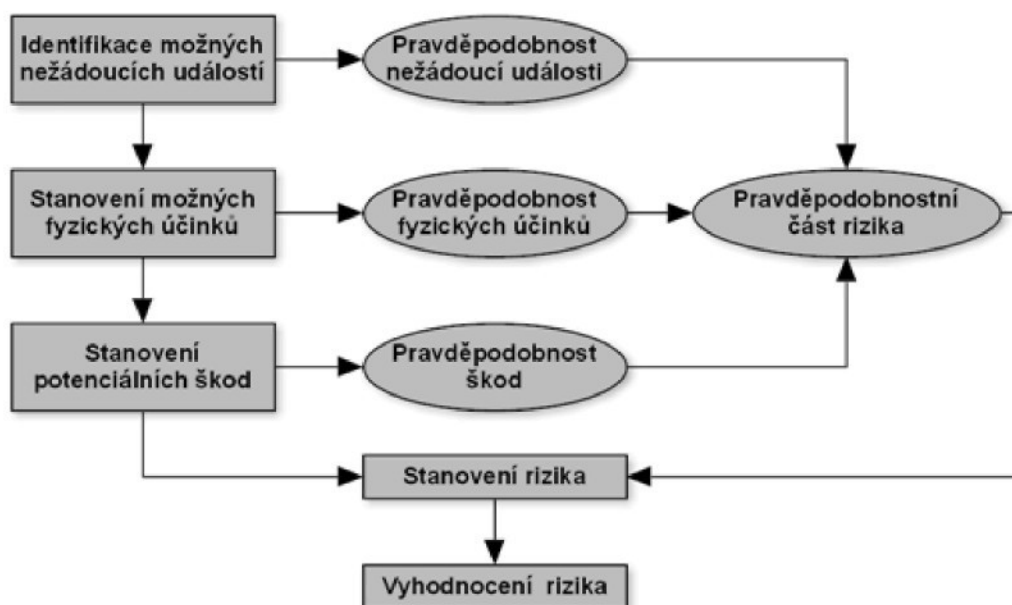
Analýzou rizika se rozumí systematické využívání informací poskytující detailní porozumění úrovni rizika a jeho povaze. Je základem pro následné ošetření rizika a umožňuje rozhodnout o nutnosti ošetření rizika s předběžným odhadem nákladů.

Při analýze rizika se vychází z deterministických, pravděpodobnostních a statistických přístupů. Statistické a pravděpodobnostní přístupy jsou typické při identifikaci příčin vzniku nežádoucích událostí a také pro stanovení dopadů této události na daný subjekt.

Analýza rizika je procesem velmi komplikovaným, ve kterém dochází k jisté neurčitosti vlivem nedokonalých znalostí nebo vlivem náhodné povahy jevů.

Neurčitost vlivem nedokonalých znalostí je způsobena nedostatkem informací plynoucích z pozorování omezeného počtu nežádoucích událostí a z používání empirických pravidel. Neurčitost vlivem náhodné povahy jevů je způsobena změnou těchto jevů v čase a v prostoru.

Není možné ze znalosti výskytu těchto jevů v minulosti a současnosti odhadnout jejich chování v budoucnu. Příkladem takového jevu jsou meteorologické podmínky.



Ilustrace 1: Schema zastoupení deterministických a pravděpodobnostních přístupů při analýze rizika

Hodnocení rizika

Hodnocení rizika je komplexním procesem kvantitativního porovnávání dosažených výsledků analýz rizika oproti daným kritériím posouzení rizika pro rozhodnutí o významnosti rizika. Toto hodnocení rizika pomáhá v rozhodování o opatřeních pro snížení rizika.

1.2 Toxicita

Toxicita je schopnost chemické látky způsobit poškození živé tkáně, narušení centrálního nervového systému, závažné zranění nebo smrt. Do těla se chemická látka může dostat ingescí, inhalací a dermálním kontaktem.

Chronická toxicita

Chronickou toxicitou je označována toxicita, jejíž nevratné účinky na organismus jsou pozorovány během podstatné části života organismu. V mnoha případech lze tyto účinky pozorovat v dalších generacích v podobě jejich degenerací.

Akutní toxicita

Akutní toxicitou je nazývána toxicita, jejíž nepříznivé účinky se objeví během krátké (minuty, hodiny) doby po expozici chemické látky. Tato diplomová práce se zabývá právě akutní toxicitou.

Klasifikace toxických látek podle hodnoty LD50

LD50 představuje střední letální dávku, u které je očekáváno, že způsobí smrt v 50% případů. Hodnota LD50 vždy závisí na cestě vstupu chemické látky do organismu.

Chemická látka	LD₅₀
Supertoxická	5 mg/kg a méně
Extrémně toxická	5 – 50 mg/kg
Vysoce toxická	50 – 500 mg/kg
Středně toxická	0,5 – 5 g/kg
Málo toxická	5 – 15 g/kg
Netoxická	15 g/kg a více

Tabulka 1: Klasifikace toxických látek podle hodnoty LD50.

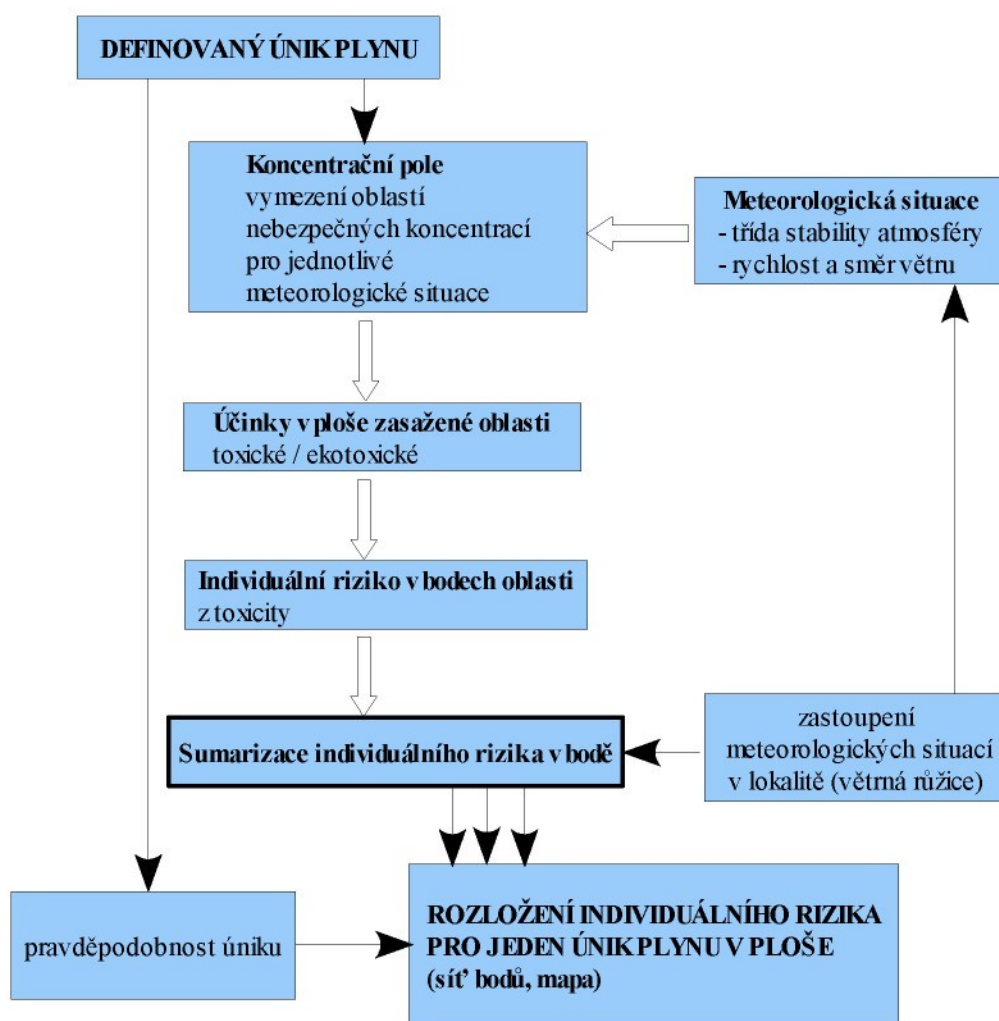
1.3 Individuální riziko toxicity

Individuálním rizikem toxicity se rozumí pravděpodobný následek pro organismus nebo subjekt složky životního prostředí, který je v daném místě po danou dobu vystaven účinkům toxické látky. V našem případě hodnotíme pouze riziko úmrtí exponované osoby, jež je na rozdíl od ostatních následků jednoznačně definováno a zároveň má pro nás nejlepší vypovídající charakter.

Výpočet a stanovení individuálního rizika se v současné době využívá v metodice jednorázového a kontinuálního úniku nebezpečného plynu.

My se budeme podrobněji zabývat metodikou jednorázového úniku nebezpečného plynu z důvodu nutnosti znalosti této teorie pro další pochopení látky. Metodika kontinuálního úniku nebezpečného plynu bude vysvětlena pouze v rozsahu nutném pro jeho pochopení.

Pro stanovení individuálního rizika toxicity je důležité vypočítat koncentrační pole toxické látky. Z vypočítaného koncentračního pole se stanoví expoziční dávka, na tu se aplikuje probitová funkce a vypočítá se probit, ze kterého se odvodí pravděpodobnost úmrtí exponované osoby.



Ilustrace 2: Schema výpočtu individuálního rizika při výpočtu úniku nebezpečného plynu

Expoziční dávka

Expoziční dávka je číselným vyjádřením koncentrace plynu a doby expozice (vystavení) individua plynu. Pro její stanovení se používají empirické funkce vycházející z nizozemské metodiky, která je akceptována v ČR a její používání je doporučeno MŽP. Výpočet se pro časově konstantní a časově proměnnou koncentraci liší, jinými slovy, je-li koncentrace během doby expozice individua konstantní (odpovídá kontinuálnímu úniku), používá se pro výpočet expoziční dávky vzorec (2).

$$V = c^n \cdot t, \quad (2)$$

Je-li však koncentrace během doby expozice proměnná, pak je potřeba umocněnou koncentraci integrovat podle času (3).

$$V = \int c^n \cdot dt, \quad (3)$$

kde V je expoziční dávka,
 c je koncentrace plynu v ovzduší,
 n je exponent odpovídající nebezpečnosti konkrétní látky
a t je doba expozice.

Probitová analýza

Probitová analýza slouží k výpočtu pravděpodobnosti definovaného následku z vypočítané expoziční dávky pomocí probitové funkce. Probitová funkce obsahuje konstanty a , b a n , jejichž hodnoty jsou závislé na konkrétní chemické látce a specifickému druhu následku (např. úmrtí, vážná zranění). My jako specifický následek budeme uvažovat úmrtí a hodnoty konstant a , b a n použijeme z databáze SERIDA¹. Tvar probitové funkce je daný vzorcem (4).

$$Y = a + b \cdot \log(V), \quad (4)$$

kde Y je probit,
 a a b jsou konstanty odpovídající konkrétní látce a druhu následku
a V je expoziční dávka.

¹ www.rivm.nl/serida

Látka	a	b	n
Akrolein	-4,1	1	1
Akrylonitril	-8,6	1	1,3
Allylalkohol	-11,7	1	2
amoniak	-15,6	1	2
Azinfos - methyl	-4,8	1	2
Brom	-12,4	1	2
Chlor	-6,35	0,5	2,75
Chlorovodík	-37,3	3,69	1
Ethylenoxid	-6,8	1	1
Fluorovodík	-8,4	1	1,5
Fosfamidon	-2,8	1	0,7
Fosfin	-6,8	1	2
Fosgen	-10,6	2	1
Kyanovodík	-9,8	1	2,4
Methylbromid	-7,3	1	1,1
Methylisokyanát	-1,2	1	0,7
Oxid dusičitý	-18,6	1	3,7
Oxid siřičitý	-19,2	1	2,4
Oxid uhelnatý	-7,4	1	1
Parathion	-6,6	1	2
Sirovodík	-11,5	1	1,9
Tetraethylolovo	-9,8	1	2

Tabulka 2: Parametry probitové funkce pro některé látky.

Výpočet pravděpodobnosti z probitu

Výpočet je založený na předpokladu, že následek expozice dané toxické látky lze vyjádřit pomocí pravděpodobnosti překročení určité prahové dávky (5).

$$P_{odp} = \Phi \left(\frac{V - \mu}{\sigma} \right), \quad (5)$$

kde P_{odp} je pravděpodobná odpověď na dávku V ,

V je expoziční dávka,

μ je prahová dávka,

σ je rozptyl prahové dávky

a Φ je distribuční funkce normálního rozdělení.

Distribuční funkci normálního rozdělení lze dále rozepsat na tvar (6).

$$\phi(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \cdot \int_{-\infty}^x \exp\left(-\frac{t^2}{2}\right) dt \quad (6)$$

Hodnota probitu 5 představuje střední hodnotu rozdělení, tedy pravděpodobnost 0,5.

Položíme-li integrační mez $x = Y - 5$ ve vzorci (7), bude

$$P_{odp} = 0,5 \cdot \left[1 + \operatorname{erf}\left(\frac{Y-5}{\sqrt{2}}\right) \right] \quad \text{pro } 0 < Y < 10 \quad (7)$$

$$\begin{aligned} P_{odp} &= 0 & Y &\leq 0 \\ P_{odp} &= 1 & Y &> 10 \end{aligned}$$

$$\operatorname{erf}(x) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \cdot \int_0^x e^{-t^2} dt \quad (8)$$

Hodnota probitu v rozmezí 0 až 10 odpovídá pravděpodobnosti v rozmezí 0 až 1. Probit roven nebo menší než 0 odpovídá pravděpodobnosti 0 a hodnota probitu větší než 10 odpovídá pravděpodobnosti 1. Vztah mezi probitem a pravděpodobnosti (v procentech ukazuje *Tabulka 3*).

%	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	-	2,67	2,95	3,12	3,25	3,36	3,45	3,52	3,59	3,66
10	3,72	3,77	3,82	3,87	3,92	3,96	4,01	4,05	4,08	4,12
20	4,16	4,19	4,23	4,26	4,29	4,33	4,36	4,39	4,42	4,45
30	4,48	4,50	4,53	4,56	4,59	4,61	4,64	4,67	4,69	4,72
40	4,75	4,77	4,80	4,82	4,85	4,87	4,90	4,92	4,95	4,97
50	5,00	5,03	5,05	5,08	5,10	5,13	5,15	5,18	5,20	5,23
60	5,25	5,28	5,31	5,33	5,36	5,39	5,41	5,44	5,47	5,50
70	5,52	5,55	5,58	5,61	5,64	5,67	5,71	5,74	5,77	5,81
80	5,84	5,88	5,92	5,95	5,99	6,04	6,08	6,13	6,18	6,23
90	6,28	6,34	6,41	6,48	6,55	6,64	6,75	6,88	7,05	7,33
%	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
99	7,33	7,37	7,41	7,46	7,51	7,58	7,65	7,75	7,88	8,09

Tabulka 3: Vztah mezi probitem a pravděpodobností

1.4 Rozptyl plynu v atmosféře

Látka po úniku do atmosféry vytváří oblak, který je následně rozptylován ve směru větru. V závislosti na hmotnosti plynu existují dva rozdílné mechanismy rozptylu:

- Vznášivý rozptyl pro plyny lehčí než vzduch, kdy je oblak pasivně transportován ve směru větru.
- Rozptyl těžkého plynu nebo směsi plynů těžších než vzduch. V tomto případě existuje nejdřív fáze klesání, během které je dominantní silou působící na oblak gravitace, protože oblak je těžší než vzduch. Během této fáze vstupuje do oblaku vzduch, který ho zahřívá a zředňuje, čímž ho činí lehčím.

Rozptyl (disperze) plynu v atmosféře závisí na meteorologických podmínkách, členitosti povrchu terénu, výšce úniku látky nad povrchem a v případě jednorázového úniku i na vzdálenosti od zdroje úniku. Meteorologické podmínky obsahují 3 základní ukazatele:

- **třidu stability atmosféry** – souvisí s vertikálním teplotním gradientem a ovlivňuje disperzní koeficienty a tím i tvar mraku. Při nestabilní třídě atmosféry jsou hodnoty disperzních koeficientů vyšší než při stabilní třídě atmosféry. To má za následek větší vertikální disperzi plynu a z toho vyplývá, že uniklá látka se dostane do menší vzdálenosti od zdroje úniku.
- **rychlost větru** – ovlivňuje tvar oblaku uniklé látky a u jednorázového modelu úniku i dobu expozice. Čím je rychlost větru větší, tím je oblak uniklé látky užší a delší. Současně se dostane i do větší vzdálenosti od zdroje úniku, avšak s nižší koncentrací.
- a **směr větru** – postiženy mohou být pouze oblasti ležící ve směru větru.

Členitost povrchu terénu má vliv na rychlost promíchávání oblaku uniklé látky se vzduchem v důsledku obtékání překážek. Rychlostní gradienty jsou nad otevřenou krajinou vyšší než nad krajinou kopcovitou nebo zalesněnou.

Bohužel tuto skutečnost nebere v úvahu běžně se používající Pasquill–Giffordův model, ve kterém jsou definovány meteorologické podmínky do 6 tříd atmosférické stability.

I přes tuto nedostatečnost modelu Pasquill–Gifforda jsme se rozhodli tento model využívat při řešení problematiky časově omezeného úniku nebezpečného plynu.

V ČR se kromě tohoto modelu používá také model Bubník-Koldovského.

Přízemní rychlost větru [m/s]	Denní sluneční záření			Noční podmínky	
	Silné	Mírné	Slabé	Nízká oblačnost nebo > 4/8 oblačnost	≤ 3/8 oblačnost
< 2	A	A - B	B	F	F
2 - 3	A - B	B	C	E	F
3 - 4	B	B - C	C	D	E
4 - 6	C	C - D	D	D	D
> 6	C	D	D	D	D

Tabulka 4: Třídy atmosférické stability pro použití v Pasquill-Gifford modelu rozptylu

Třídy stability:

A – extrémně nestabilní podmínky

B – středně nestabilní podmínky

C – mírně nestabilní podmínky

D – neutrální podmínky

E – středně stabilní podmínky

F – stabilní podmínky

Neutrální kategorie D by měla být použita, nezávisle na rychlosti větru, pro podmínky zataženo během dne nebo noci a pro jakékoli podmínky během hodiny před a po východu nebo západu slunce.

Modely rozptylu

Pro modelování rozptylu plynné látky v atmosféře existuje velké množství rozptylových modelů použitých v závislosti na chování vytvořeného oblaku, trvání doby úniku látky do atmosféry nebo na složitosti modelování.

Disperzní modely

Nejrozšířenějším typem modelů jsou disperzní modely, používané pro plyny lehčí než vzduch. Popisují chování vytvořeného mraku za předpokladu normálního (Gaussova) rozdělení koncentrací plynu v ovzduší v horizontálním i vertikálním směru. Tyto modely jsou založené na numerickém řešení rovnice difúze a zákona zachování hmoty. Je nutno zdůraznit, že jde o modely statistického charakteru, částečně nahrazující fyzikální realitu zavedením empirických vztahů.

Mezi 2 základní typy modelů patří:

- 1) **Eulerovské modely** vycházejí z principu sledování změny koncentrace ve zvoleném místě. Souřadná soustava je pevně spojena se zemským povrchem a koncentrace jsou vyhodnocovány v síti uzlových (referenčních) bodů.
- 2) **Lagrangeovské modely** sledují pohyb částice v čase. Modely předpokládají, že se únik skládá z množství částic a studuje jejich vzdušný přenos ve stanoveném větrném poli.

Zásadními typy modelů rozptylů jsou modely v závislosti na trvání doby úniku látky do atmosféry. Jsou jimi:

- **model kontinuálního úniku** popisující únik látky z kontinuálního zdroje
- a **model jednorázového úniku** popisující jednorázový únik látky do atmosféry.

Kontinuální únik

Kontinuální únik bývá v literatuře označován jako *model PLUME* v překladu znamenající slovo „chochol nebo vlečka“. Při kontinuálním úniku je vytvořené koncentrační pole stacionární a pro jeho kvantifikaci se používají Eulerovské modely.

Koncentrace $C(x, y, z)$ pro kontinuální únik látky s hmotnostním průtokem Q , z jednoho zdroje umístěného ve výšce H , při konstantní rychlosti větru u , se vypočítá podle vztahu (9).

Jeho platnost je však v blízkosti místa úniku omezená, protože v malé vzdálenosti od zdroje úniku jsou hodnoty disperzních koeficientů velmi malé a vypočítaná koncentrace nereálně vysoká (blížící se nekonečnu), což odporuje fyzikálním zákonům. Proto se v této situaci za hodnotu koncentrace uvažuje objemová hmotnost plynu.

$$C(x, y, z) = \frac{Q}{\pi \sigma_y \sigma_z u} \cdot \exp\left[-\frac{1}{2} \left(\frac{y}{\sigma_y}\right)^2\right] \left\{ \exp\left[-\frac{1}{2} \left(\frac{z-H_r}{\sigma_z}\right)^2\right] + \exp\left[-\frac{1}{2} \left(\frac{z+H_r}{\sigma_z}\right)^2\right] \right\}, \quad (9)$$

kde $C(x, y, z)$ je koncentrace v bodě $[x, y, z]$,

Q je množství uniklé látky,

x, y, z je vzdálenost od zdroje,

σ_y je horizontální disperzní koeficient,

σ_z je vertikální disperzní koeficient,

a H_r je výška zdroje úniku nad terénem.

Hodnoty disperzních koeficientů jsou odvozeny z empirických funkcí a jejich číselné vyjádření je u různých autorů rozdílné. Proto je dobré vycházet z empirických funkcí pánů Griffithse a Briggse, které neobsahují nespojitosti a jsou odlišné pro venkovské a městské podmínky.

Třída stability (Pasquill - Gifford)	$\sigma_y(m)$	$\sigma_z(m)$
Venkovské podmínky		
A	$0,22x (1 + 0,0001x)^{-1/2}$	$0,20x$
B	$0,16x (1 + 0,0001x)^{-1/2}$	$0,12x$
C	$0,11x (1 + 0,0001x)^{-1/2}$	$0,08x (1 + 0,0002x)^{-1/2}$
D	$0,08x (1 + 0,0001x)^{-1/2}$	$0,06x (1 + 0,0015x)^{-1/2}$
E	$0,06x (1 + 0,0001x)^{-1/2}$	$0,03x (1 + 0,0003x)^{-1}$
F	$0,04x (1 + 0,0001x)^{-1/2}$	$0,016x (1 + 0,0003x)^{-1}$
Městské podmínky		
A - B	$0,32x (1 + 0,0001x)^{-1/2}$	$0,24x (1 + 0,0001x)^{-1/2}$
C	$0,22x (1 + 0,0001x)^{-1/2}$	$0,20x$
D	$0,16x (1 + 0,0001x)^{-1/2}$	$0,14x (1 + 0,0003x)^{-1/2}$
E - F	$0,11x (1 + 0,0001x)^{-1/2}$	$0,08x (1 + 0,0015x)^{-1/2}$

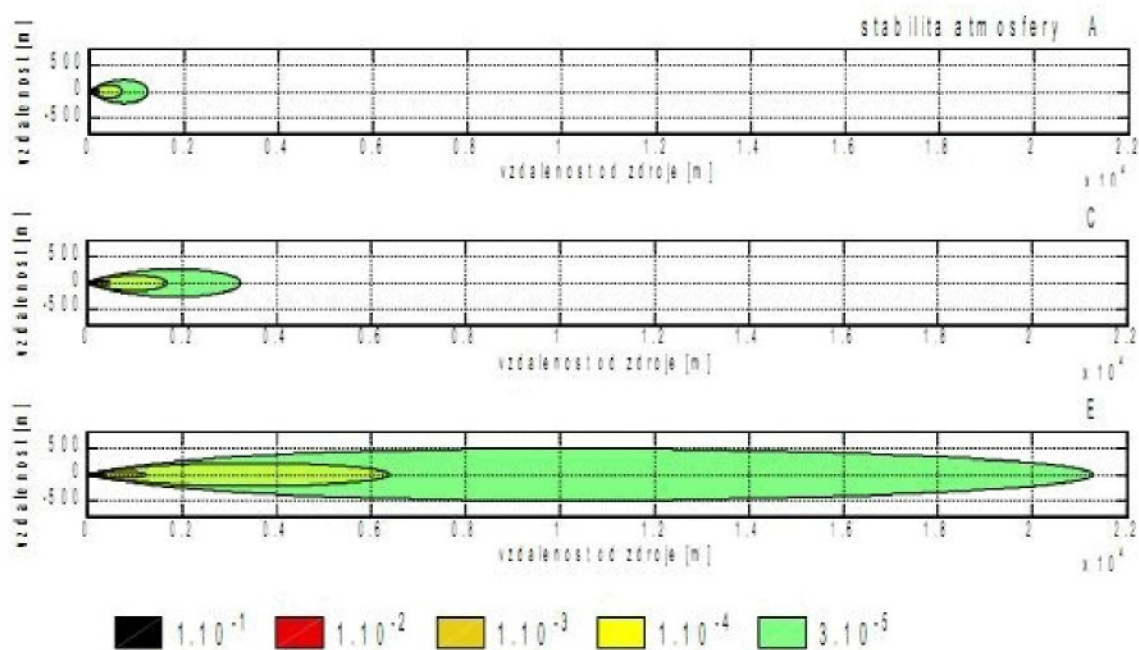
Tabulka 5: Doporučené vztahy pro Pasquill-Gifford disperzní koeficienty pro PLUME model rozptylu

Závislost koncentračních polí na atmosférických podmínkách dokumentují *Ilustrace 3 a 4*.

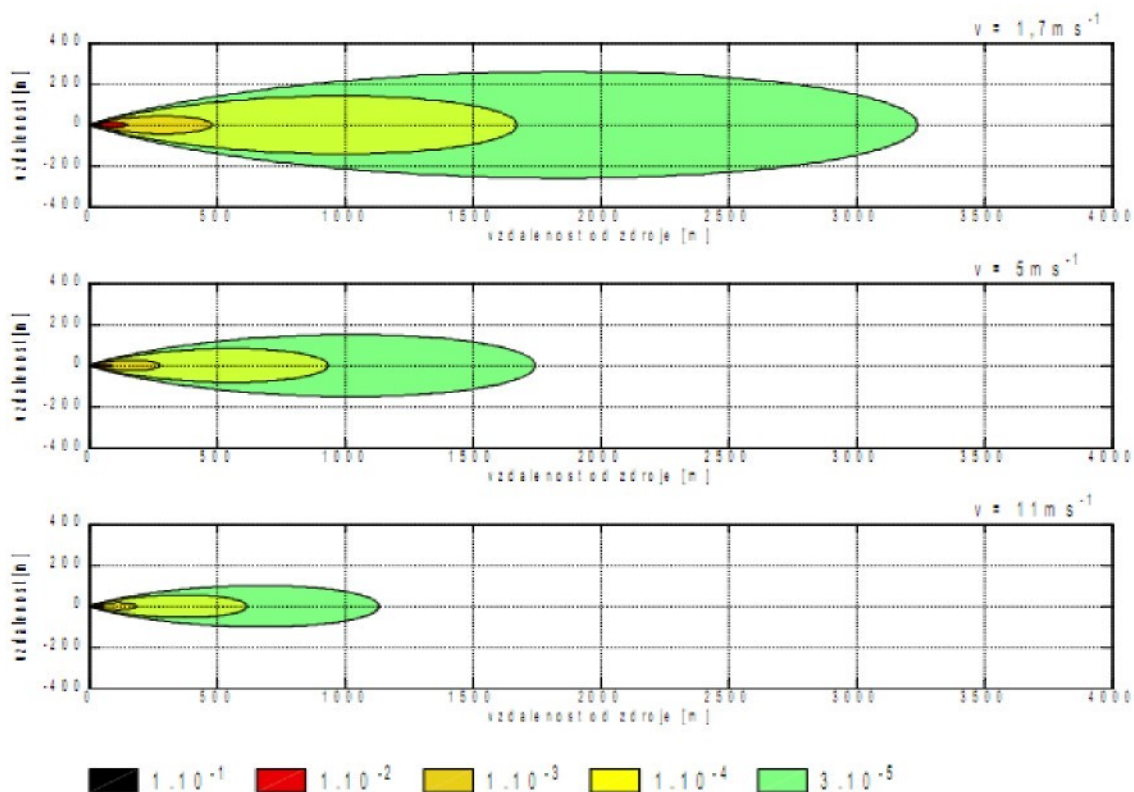
Všimněte si (*Ilustrace 3*), že při stabilitní třídě A se dostane plyn v nebezpečné koncentraci do vzdálenosti cca 1300 metrů a při stabilitní třídě E se tato koncentrace dostane až do vzdálenosti přes 21 000 metrů.

Naopak při stejné stabilitní třídě a rozdílných rychlostech větru nejsou rozdíly vzdáleností minimálních koncentračních polí od zdroje úniku tak markantní.

K tomu, aby se koncentrace plynu dostala při rychlosti 1,7m/s do vzdálenosti 21km, je potřeba, aby plyn unikal minimálně 3,5 hodiny. Doba úniku 3,5 hodiny je však v praxi nereálná, protože zejména u chlóru, kdy jeho toxické účinky jsou i v malých koncentracích zjevné, se únik zastaví mnohem dříve. Proto by se v tomto případě daný únik řešil jako časově omezený a nikoliv jako kontinuální, a to i v případě trvání delšího než jednu hodinu.



Ilustrace 3: Závislost koncentračního pole na stabilitě atmosféry při kontinuálním úniku 10kg Cl a rychlosti větru 1,7m/s.



Jednorázový únik

Dalším z disperzních modelů zabývající se modelováním rozptylu plynné látky v atmosféře je model PUFF. Slovo PUFF v překladu znamená obláček, proto tento model popisuje okamžitý nebo-li jednorázový únik plynu. Stejně jako u modelu PLUME, je také v tomto modelu využíváno tříd meteorologické stability Pasquill-Gifforda.

Pro PUFF model byly dříve definovány pouze 3 třídy meteorologické stability, a to nestabilní (U), neutrální (N) a stabilní (S). V novějším pojetí se využívá všech tříd meteorologické stability Pasquill-Gifforda, kterému odpovídá 6 tříd A – F.

Metodika jednorázového úniku plynu vychází ze sledování pohybu částice v čase a prostoru vycházející z Lagrangeova přístupu. Vstupními daty modelu PUFF jsou pouze meteorologické podmínky a údaje o množství uniklé látky. Z tohoto důvodu, na rozdíl od modelu PLUME, koncentrační pole nezávisí na rychlosti větru.

Co však závisí na rychlosti větru je doba expozice jedince. Platí, že s rostoucí rychlostí větru se zkracuje doba expozice.

Jednorázový únik plynné látky vytvoří časově závislé koncentrační pole, pro jehož výpočet dílčích koncentrací platí vzorec (10). Ten, stejně jako u kontinuálního úniku, neplatí v blízkosti místa úniku.

$$C(x, y, z, t) = \frac{m}{(2\pi)^{3/2} \sigma_x \sigma_y \sigma_z} \cdot \exp \left[\frac{-1}{2} \left[\left(\frac{x-ut}{\sigma_x} \right)^2 + \frac{y^2}{\sigma_y^2} \right] \right] \cdot \left\{ \exp \left[\frac{-1}{2} \left(\frac{z-H_r}{\sigma_z} \right)^2 \right] + \exp \left[\frac{-1}{2} \left(\frac{z+H_r}{\sigma_z} \right)^2 \right] \right\}, \quad (10)$$

kde $C(x, y, z, t)$ je koncentrace v bodě $[x, y, z]$,

m je hmotnost uniklé látky,

x, y, z je vzdálenost od zdroje,

σ_x je horizontální disperzní koeficient,

σ_y je horizontální disperzní koeficient,

σ_z je vertikální disperzní koeficient,

a H_r je výška zdroje úniku nad terénem.

Koncentrace uniklé látky se mění v čase jak podél osy x , tak podél osy y . Maximální koncentrace označovaná jako C_0 je vždy ve středu mraku ($x - ut = y = z = 0$).

Platí pro ni vzorec (11).

$$C(ut, 0, 0, t) = \frac{m}{\sqrt{2\pi} \pi^{3/2} \sigma_x \sigma_y \sigma_z} = C_0, \quad (11)$$

kde $C(ut, 0, 0, t)$ je koncentrace v bodě $[x, y, z]$,

m je hmotnost uniklé látky,

x, y, z je vzdálenost od zdroje,

σ_x je horizontální disperzní koeficient,

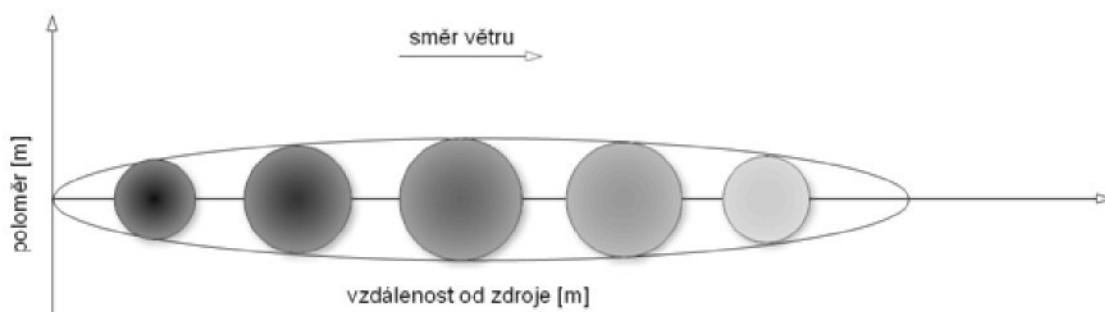
σ_y je horizontální disperzní koeficient,

a σ_z je vertikální disperzní koeficient.

Ze znalosti chování jednorázového úniku víme, že jeho povrch ohraničený izopleťou² na povrchu země má tvar kruhu a v prostoru tvar půlelipsoidu.

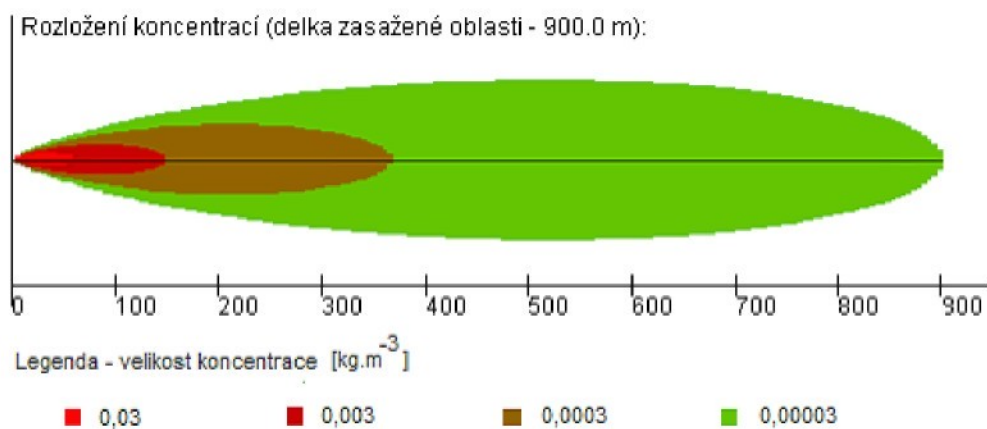
² Izopleta je čára spojující místa se stejnou koncentrací. Izoplety se nemohou křížit.

Jak je z *Ilustrace 5* patrné, povrch stejně jako objem v čase roste, pak nabývá svého maxima a následně klesá na úroveň minimální koncentrace určující izoplethu. Koncentrace klesá se vzdáleností od zdroje úniku.



Ilustrace 5: Závislost poloměru a koncentrace mraku na vzdálenosti od zdroje

Metodika jednorázového úniku je naším „základním kamenem“, ze kterého vycházíme při řešení problematiky ohrožení osob při časově omezeném úniku nebezpečného plynu.



Ilustrace 6: Maximální koncentrace v přízemní vrstvě ovzduší při jednorázovém úniku 100kg Cl a třídě stability U

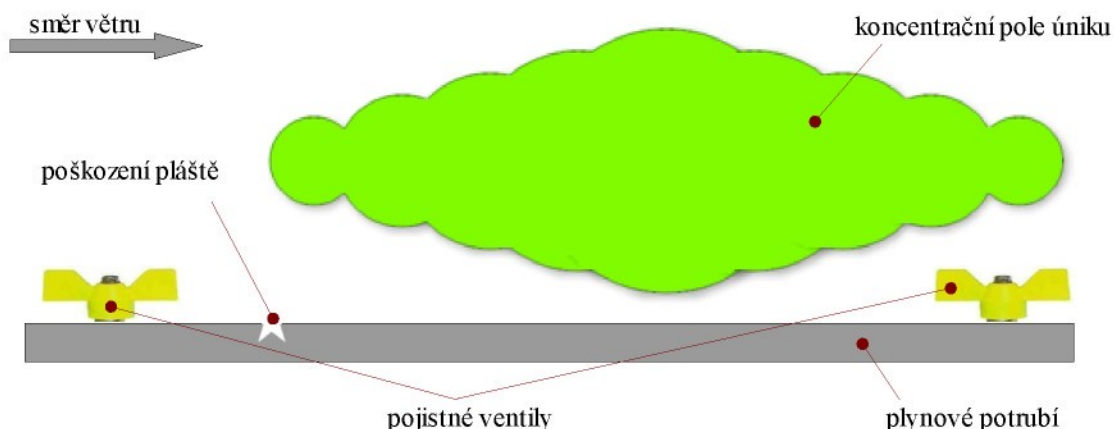
1.5 Časově omezený únik nebezpečného plynu

Myšlenka řešení časově omezeného úniku nebezpečného plynu spočívá v sérii dílčích jednorázových úniků vypouštěných v krátkých časových intervalech za sebou. Jednotlivé úniky plynu, nazývané také dávky plynu, svými koncentračními poli vytvářejí celkové koncentrační pole úniku. To je dotováno jednotlivými dávkami plynu pouze do doby, než dojde k vyprázdnění daného objemu zdroje úniku. Vytvořené koncentrační pole se pohybuje od zdroje úniku ve směru větru, přičemž koncentrace se vzdáleností od zdroje úniku klesá. Maximální koncentrace nás z hlediska rizika poškození zdraví zajímá pouze do doby, představuje-li její hodnota stále riziko poškození zdraví. V krajním případě se jedná o hodnotu idlh, nicméně její velikost si můžeme zvolit s ohledem na posuzovaný specifický účinek.

Jak je z předcházejícího odstavce patrné, je toto řešení časově omezeného úniku nebezpečného plynu zcela nové a přináší s sebou mnohem lepší kvantitativní vyjádření individuálního rizika úmrtí než doposud, kdy se výpočet rizika aproximoval modelem kontinuálního úniku.

V reálné situaci dochází k časově omezenému úniku nebezpečného plynu obvykle v případech mechanického poškození pláště plynového potrubí, cisterny nebo zásobníku s plynem.

Dojde-li v případě plynového potrubí k porušení integrity pláště, do atmosféry začnou unikat jednotlivé dávky plynu, které způsobí pokles tlaku plynu v potrubí. V důsledku toho se na obou stranách, od místa úniku, uzavřou pojistné ventily. Plyn však do atmosféry uniká dál a to do doby než, jak bylo napsáno v úvodu kapitoly, se objem potrubí, daný délkou a průměrem, vyprázdní. Je však důležité si uvědomit, že množství uniklého plynu je značné, protože délka potrubí mezi dvěma ventily bývá i 20km. *Ilustrace 7* popisuje únik plynu z potrubí a *Ilustrace 8* znázorňuje únik plynu z cisterny. V obou případech je jasně vidět koncentrační pole úniku tvořené jednotlivými dávkami plynu.



Ilustrace 7: Schema časově omezeného úniku nebezpečného plynu z plynového potrubí



Ilustrace 8: Schema časově omezeného úniku nebezpečného plynu ze zásobníku plynu

Výpočet koncentračního pole časově omezeného úniku nebezpečného plynu

V této části diplomové práce se podrobně zabývám metodikou výpočtu koncentračního pole časově omezeného úniku nebezpečného plynu. S využitím matematického aparátu jsou zde vysvětleny jednotlivé kroky směřující ke konečnému výsledku.

V praxi jsou pro výpočet koncentračního pole časově omezeného úniku jedinými známými údaji hmotnostní tok úniku plynu m [kg/s], doba úniku plynu T , meteorologické podmínky a údaje o nebezpečnosti plynu.

Tyto informace však k výpočtu nestačí a proto se musí stanovit další proměnné jako je celkový čas, krok výpočtu a další. Pro výpočet koncentračního pole je důležité znát množství uniklého plynu Q [kg]. Jeho velikost se vypočte jako součin toku a doby úniku (12).

$$Q = m \cdot T \quad (12)$$

V dalším kroku se z rychlosti větru u [m/s], zjištěné z meteorologických podmínek, a doby úniku vypočítá celková dráha úniku s [m] (13), jejíž rozměr určuje, v závislosti na počtu dávek, průběh koncentračního pole úniku.

$$s = u \cdot T \quad (13)$$

Dále je nutné stanovit interval vypouštění dílčích dávek plynu. Ten se nazývá krokem mezi dávkami plynu ve směru osy x a značí se Δx [m]. Jeho velikost určuje tvar koncentračního pole úniku a množství plynu v jednotlivých dávkách. Čím delší je krok mezi dávkami plynu, tím méně dávek, ale s vyšším množstvím plynu, je za dobu úniku T vypuštěno a koncentrační pole úniku má méně hladký tvar. Tyto skutečnosti zachycuje *Ilustrace 9*.

Interval mezi dávkami, vyjádřený časem, se nazývá časový krok Δt [s] a vypočítá se jako podíl délkového kroku mezi dávkami plynu a rychlosti větru (14).

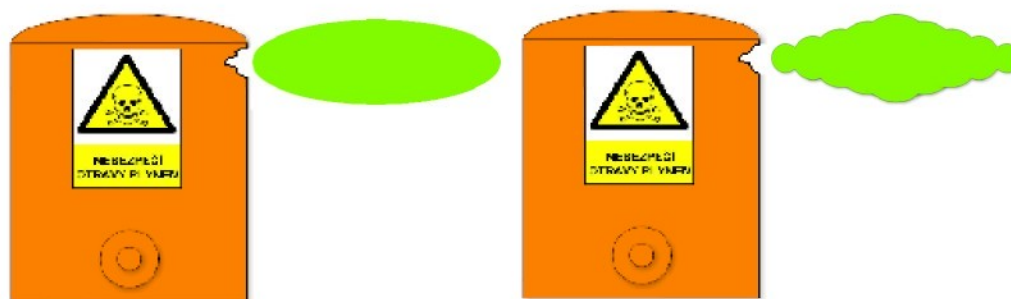
$$\Delta t = \frac{\Delta x}{u} \quad (14)$$

Dalším krokem je zjištění počtu dávek plynu, na které se únik plynu rozdělí. Počet dávek se vypočítá jako podíl celkové dráhy úniku s a kroku mezi dávkami ve směru osy x Δx (15).

$$p_m = \frac{s}{\Delta x} \quad (15)$$

Ze znalosti počtu dávek se stanoví množství plynu M [kg] na jednu dávku vyjádřené podílem uniklého množství Q a počtu dávek p_m nebo také jako součin uniklého množství plynu na metr délky úniku a kroku mezi dávkami plynu Δx (16).

$$M = \frac{Q}{p_m} = \frac{Q}{s} \cdot \Delta x \quad (16)$$



Ilustrace 9: Vliv velikosti kroku mezi dávkami plynu ve směru osy x na tvar koncentračního pole při časově omezeném úniku nebezpečného plynu ze zásobníku (vlevo je zobrazen vliv menšího kroku, vpravo pak vliv většího kroku)

Dalšími vstupními veličinami výpočtu koncentračního pole je celkový čas výpočtu t_{max} [s] a krok výpočtu k_v [m]. Krok výpočtu charakterizuje vzdálenosti bodů čtvercové sítě, ve kterých se počítají koncentrace.

Celkový čas výpočtu se obvykle pohybuje v rozsahu 60 – 600 sekund. Celkový čas výpočtu a rychlost větru určují index konce výpočtu j (17), jehož velikost je jednou z omezujících podmínek výpočtu koncentračního pole.

$$j = \frac{t_{max}}{\Delta t} \quad (17)$$

Dalším důležitým indexem je index konce úniku k , který se z hodnoty doby úniku a časového kroku stanoví výpočtem (18).

$$k = \frac{T}{\Delta t} \quad (18)$$

Celkový čas t_{max} by měl být vždy větší nebo minimálně stejný jako doba úniku T . Ze znalosti hodnoty celkového času výpočtu a rychlosti větru se vypočítá celková vypočtená dráha l [m] (19).

$$l = u \cdot t_{max} \quad (19)$$

Klíčovým parametrem výpočtu koncentračního pole je již zmiňovaný krok výpočtu k_v .

Na jeho velikosti závisí rychlost celého výpočtu, protože zvolí-li se malá hodnota kroku výpočtu, bude vytvořená síť bodů, ve kterých se budou počítat koncentrace, hustá a výpočet bude trvat řádově jednotky až desítky minut.

Při představě vzdálenosti koncentračního pole od zdroje úniku 900 m a kroku výpočtu 0,5 metru se počet bodů, kde se v každém musí vypočítat koncentrace, pohybuje řádově ve statisících. Zvolí-li se příliš velká hodnota kroku výpočtu, bude síť bodů řidší a výpočet bude rychlejší. To s sebou na druhou stranu přináší značné zkreslení výsledků zejména v místech překrývání dílčích dávek.

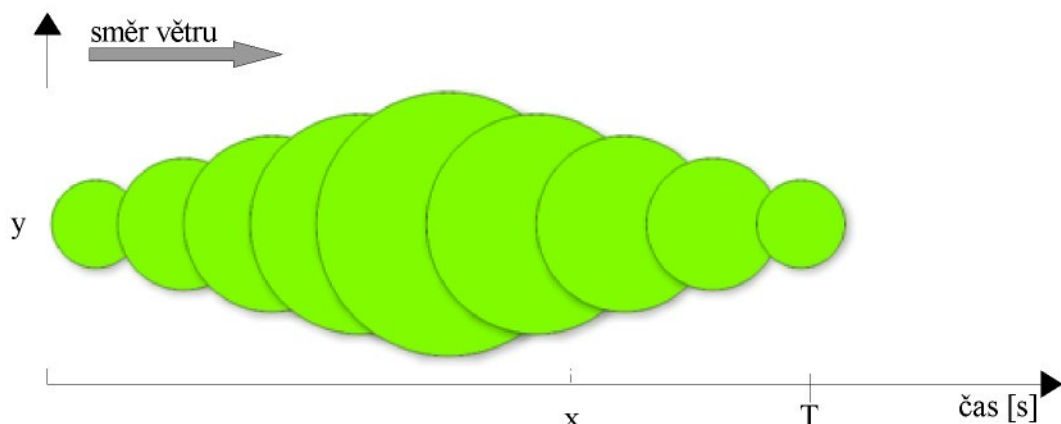
Důležité je se zmínit o proměnné diskrétní čas t_i [s]. Ta určuje čas, ve kterém se koncentrace v bodě $[x, y]$ bude počítat. V závislosti na diskrétním čase se vypočítaná koncentrace dávky přičte do koncentračního pole úniku. To se stane pouze za předpokladu, že se v daném diskrétním čase dávka plynu nachází v tomto bodě.

Před samotným výpočtem koncentračního pole je důležité zmínit fakt, že celková dráha úniku s , celková dráha výpočtu l , krok mezi dávkami plynu ve směru osy x Δx a krok výpočtu k , musí být čísla soudělná. To proto, aby se jednotlivé body, ve kterých se koncentrace počítá, překrývaly s krokem výpočtu a výpočet koncentračního pole úniku byl dán pevným počtem kroků.

Výpočet koncentračního pole časově omezeného úniku nebezpečného plynu se skládá ze dvou částí s platností v závislosti na hodnotě indexu časového kroku i . Je-li hodnota indexu menší nebo rovna hodnotě indexu konce úniku plynu k , pak je výpočet koncentračního pole dán vzorcem (20).

$$c_i(x, y, t_i) = \sum_{j=0}^k c(x, y, t_j), \quad \text{pro } i \leq k \quad (20)$$

Z předešlého odstavce vyplývá, že vypočítané koncentrační pole se po tomto časový interval, kdy je ještě dotováno dílčími dávkami plynu ze zdroje úniku, vypočítá jako součet koncentrací dávek v síti bodů daných souřadnicemi x a y v čase t_i . V místě překrývání dávek plynu se musí všechny jejich koncentrace zasahující do tohoto místa nasčítat, protože daný bod může ovlivňovat jak koncentrace v místě aktuální dávky plynu, tak i koncentrace v místech dávek předcházejících nebo také koncentrace dávek později uniklých ze zdroje úniku (viz. *Ilustrace 10*).

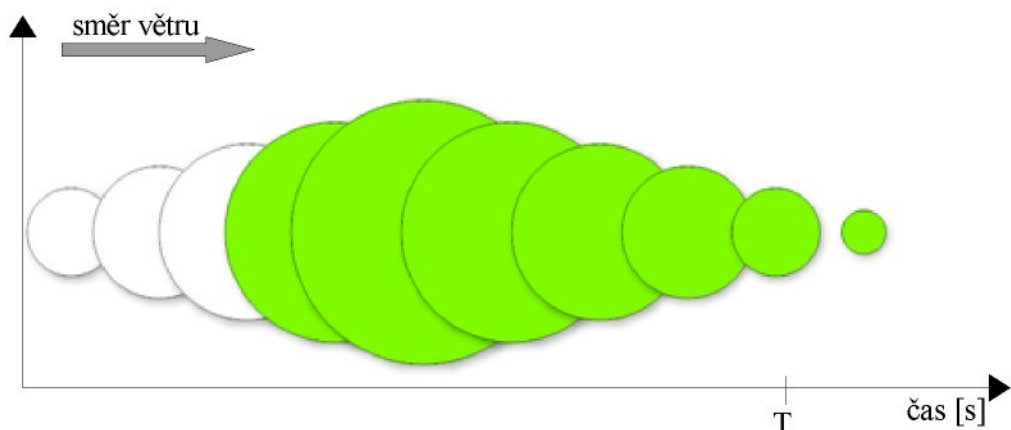


Ilustrace 10: Schema časově omezeného úniku nebezpečného plynu - dotace dílčími dávkami nebezpečného plynu do doby úniku T

Pro výpočet koncentračního pole, kdy je hodnota indexu časového kroku i větší než hodnota indexu konce úniku k , platí vzorec (21).

$$c_i(x, y, t_i) = \sum_{j=k+1}^i [c(x, y, t_i) - c(x, y, t_{i-k})] \quad \text{pro } i > k \quad (21)$$

Vzorec reaguje na situaci, kdy již není koncentrační pole dále dotováno dílčími dávkami plynu ze zdroje úniku a tudíž se ve směru větru od počátku vypočítané koncentrace musí od koncentračního pole postupně odečítat (viz. *Ilustrace 11*). To odpovídá pohybu koncentračního pole ve směru větru a zároveň představuje značné zrychlení výpočtu koncentračního pole. Místo výpočtu aktuálního koncentračního pole, tvořeného i stovkami dávek plynu, se v každém kroku mezi dávkami plynu odečte konkrétní dávka plynu. Odečtené dávky jsou znázorněny bez výplně.



Ilustrace 11: Schema časově omezeného úniku nebezpečného plynu - ukončená dotace dílčích dávek nebezpečného plynu

Koncentrační pole úniku lze počítat do vzdálenosti dané celkovou délkou výpočtu l nebo do doby v závislosti na velikosti maximální koncentrace. Při výpočtu omezeného celkovou délkou výpočtu l se může stát, že vypočítané koncentrace ve vzdálenosti menší než je délka l budou tak malé, přesněji řečeno menší než námi stanovená minimální koncentrace, že výpočet koncentračního pole úniku skončí dříve než ve stanové délce l .

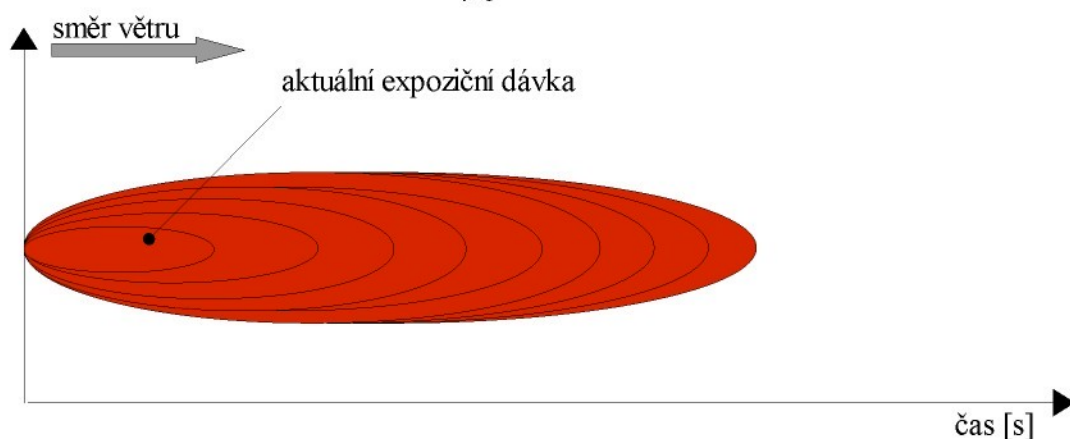
Výpočet individuálního rizika toxicity

Výpočet individuálního rizika toxicity vychází z výpočtu expoziční dávky (3) vyjádřené pomocí integrálu. My počítáme tento integrál numericky, tzn. převedeme ho na součet částí dávky plynu v jednotlivých časových intervalech, které následně umocníme exponentem n (22) a přičteme do celkové expoziční dávky. Takto postupujeme až do konce výpočtu.

$$V(x, y) = \sum_{i=1}^j (c_i^n \cdot \Delta t) = \Delta t \sum_{i=1}^j c_i^n, \quad (22)$$

Ze vzorce (21) vyplývá, že expoziční dávka je závislá na nebezpečnosti látky. Hodnota n se v praxi liší v závislosti na použité databázi nebezpečných látek. Pro potřeby diplomové práce vycházíme, i při výpočtu expoziční toxické dávky, opět z databáze SERIDA. V ní uvedené hodnoty probitových parametrů a , b a n odpovídají době expozice v minutách, a proto je nutné vzorec upravit na tvar (23).

$$V(x, y) = \frac{\Delta t}{60} \sum_{i=1}^j c_i^n(x, y), \quad (23)$$



Ilustrace 12: Schema výpočtu expoziční dávky časově omezeného úniku nebezpečného plynu

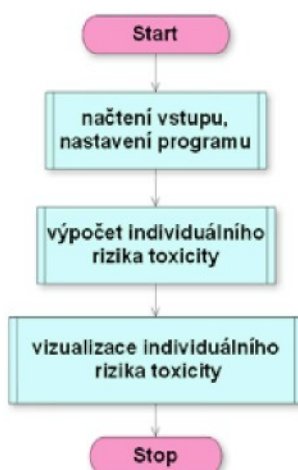
Dalším krokem je aplikace probitové funkce (4) na vypočtenou expoziční dávku a následné stanovení individuálního rizika toxicity (5).

2 Implementace úlohy

Vlastní implementaci problematiky časově omezeného úniku nebezpečného plynu jsem provedl v programovacím jazyce MATLAB. MATLAB je interpretovaný programovací jazyk primárně určený pro vědecké a technické výpočty jehož základní datovou strukturou je matice. Právě ukládání výsledků do matic a jejich snadná vizualizace mě vedly k tomu, že jsem se přiklonil při realizaci úlohy právě k programovacímu jazyku MATLAB.

MATLAB se obvykle používá v příkazovém módu – každý jednořádkový příkaz je po potvrzení vykonán. Kromě toho může MATLAB spouštět posloupnosti příkazů, které jsou uloženy v souborech. Ty mají příponu *.m* a nazývají se m soubory. M soubor může být buď skriptový nebo funkční. Skriptový m soubor po spuštění vykonává příkaz po příkazu a skončí. Naopak funkční m soubor je funkcí, která také provádí posloupnost příkazů, ale navíc ji mohou být předány vstupní parametry a funkce může předávat výstupní parametry.

Pro kompletní řešení úlohy jsem vytvořil m soubor s názvem *Vypocet.m*. Ten obsahuje další m soubory realizující jednotlivé dílčí výpočty. Celá struktura souboru *Vypocet.m* je znázorněna následujícím vývojovým diagramem.



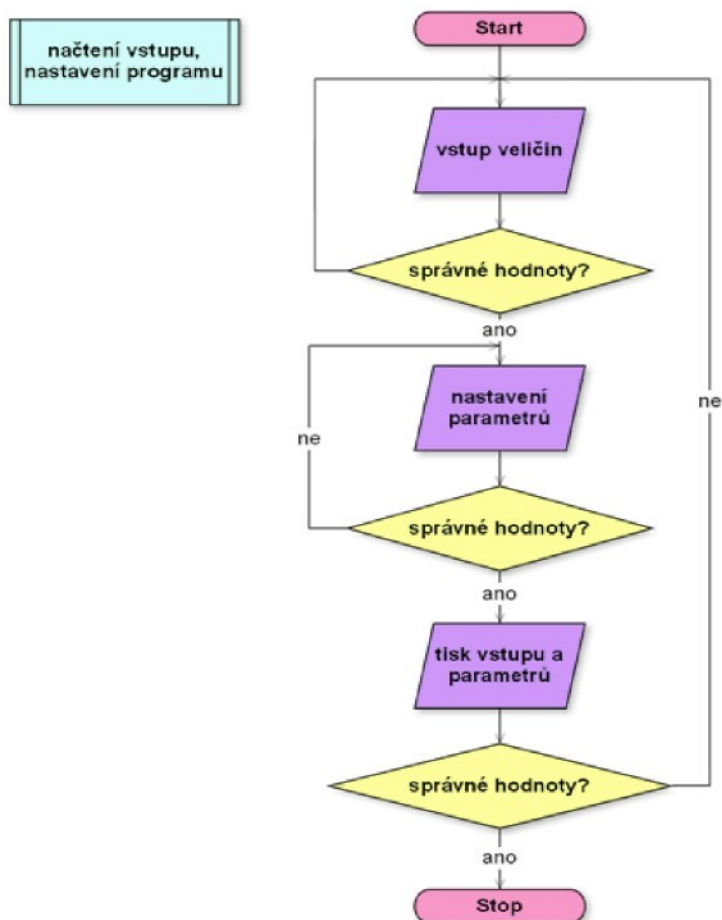
Ilustrace 13: Struktura metodiky výpočtu individuálního rizika toxicity

2.1 Načtení vstupu, nastavení programu

Blok *načtení vstupu, nastavení programu* představuje v MATLABu soubor *vstup.m* zajišťující načtení správných hodnot vstupních veličin a parametrů výpočtu uživatelem. Jednotlivé veličiny mohou nabývat pouze kladných hodnot nebo hodnot daných výčtem (např. třídy stability atmosféry). Je zde také ošetřena podmínka soudělnosti veličin blíže popsaná v kapitole *Výpočet koncentračního pole časově omezeného úniku nebezpečného plynu*.

Po zadání všech veličin zobrazí program na obrazovku seznam zadáných veličin a parametrů spolu s jejich hodnotami. Uživatel zkontroluje správnost a nedošlo-li k jeho „upsání“, program pokračuje prováděním bloku *výpočet individuálního rizika toxicity*.

Jednotlivé kroky bloku *načtení vstupu, nastavení programu* jsou znázorněny vývojovým diagramem v *Ilustraci 14*.



2.2 Výpočet individuálního rizika toxicity

Dalším a zároveň nejkomplikovanějším blokem struktury metodiky výpočtu individuálního rizika toxicity je výpočet *individuálního rizika toxicity* v MATLABu představovaný souborem *KomplexniVypocetUniku.m* (*Ilustrace 17 a Ilustrace 18*). Ten je srdcem celé implementace, protože provádí postupně jednotlivé kroky vedoucí ke stanovení individuálního rizika toxicity časově omezeného úniku nebezpečného plynu.

V závislosti na bloku *načtení vstupu, nastavení programu* se výpočet individuálního rizika toxicity omezí celkovým časem výpočtu $t_{\max}$ (*Ilustrace 17*) nebo hodnotou $idlh$ (*Ilustrace 18*), přičemž slovo *nebo* zde nemá vylučovací charakter. Proto individuální riziko toxicity musí být vždy omezené alespoň jednou z těchto podmínek.

Zvolí-li uživatel výpočet individuálního rizika toxicity omezený $t_{\max}$, omezí ho tím na pevný počet cyklů. V těch se budou počítat koncentrace jednotlivých dávek a v závislosti na hodnotě indexu časového kroku i a splnění podmínky minimální koncentrace, se do koncentračního pole úniku buď přičtou nebo odečtou. Zároveň se v každé iteraci cyklu z aktuálního koncentračního pole vypočítá expoziční dávka. Po skončení cyklů se na vypočítané koncentrační pole úniku aplikuje probitová funkce a z ní se stanoví individuální riziko toxicity. Protože výpočet koncentrace dávky není, na rozdíl od výpočtu probitové funkce a pravděpodobnosti úmrtí, atomickou operací, nýbrž podprogramem, je i ten podrobně vysvětlen dále v textu.

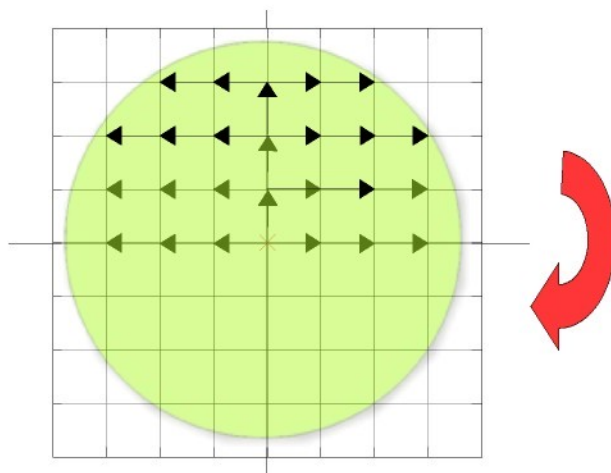
Pokud je výpočet individuálního rizika toxicity omezený hodnotou $idlh$, potom počet cyklů, ve kterých se provádějí stejné kroky jako v předešlém odstavci včetně výpočtu expoziční dávky, závisí na hodnotě C_0 aktuálního koncentračního pole. Ve chvíli, kdy C_0 aktuálního koncentračního pole je menší než stanovená hodnota $idlh$, cyklus skončí a stejně jako v předchozím případě, se na vypočítané koncentrační pole úniku aplikuje probitová funkce, ze které se stanoví individuální riziko toxicity.

Algoritmus výpočtu koncentrace dávky (*Ilustrace 16*), graficky znázorněný v *Ilustraci 15*, je rozdělen do několika kroků. V prvním z nich se v závislosti na vzdálenosti dávky od zdroje úniku stanoví disperzní koeficienty. Poté se vypočítá koncentrace ve středu dávky.

Je-li její hodnota menší než stanovené minimum dávky (desetina idlh), výpočet koncentrace dávky skončí, protože dávka plynu je v takové vzdálenosti od zdroje úniku, ve které již nehrozí žádné riziko ohrožení zdraví. V opačném případě se uloží do matice a, ve vzdálenosti dané krokem výpočtu, vlevo a vpravo od středu dávky se v daném bodě vypočítá koncentrace.

Je-li její hodnota větší než minimum, uloží se. Další iterací se vzdálenost v obou směrech od středu dávky zdvojnásobí, vypočítá se koncentrace a opět se porovnává s minimem. Tento cyklus skončí poté, co je vypočtená koncentrace v daných bodech od středu dávky menší než minimum. V takovém případě se ve směru osy y nad středem dávky a vzdálenosti dané krokem výpočtu stanoví koncentrace a na základě její velikosti se buď výpočet koncentrace dávky ukončí nebo se uloží do matice.

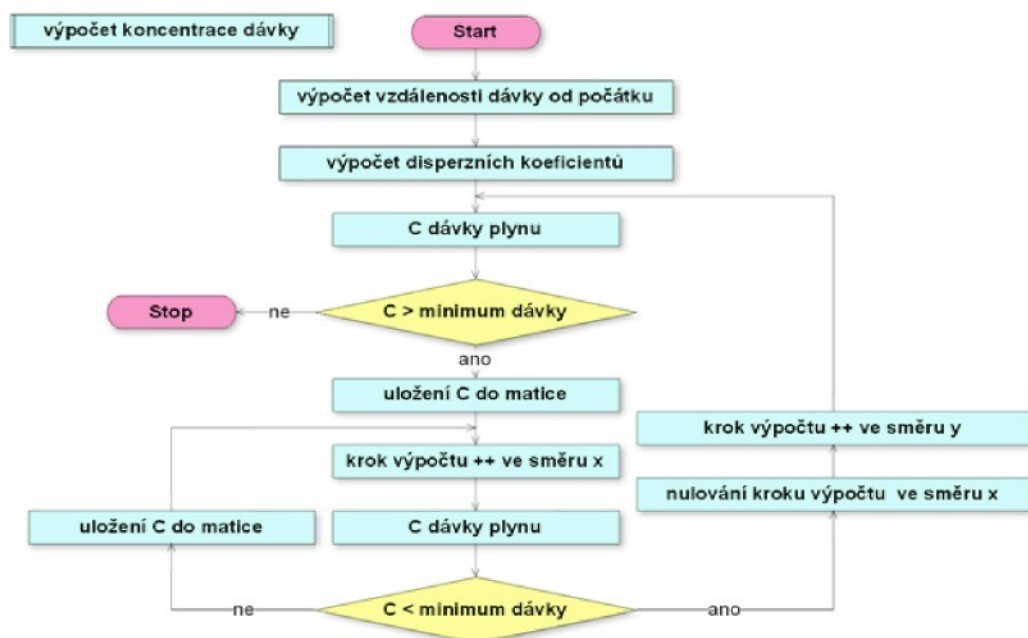
Ve druhém případě, ve vzdálenosti dané krokem, vlevo a vpravo od středu se stanoví koncentrace a celý cyklus je opakován. Výpočet koncentrace dávky skončí v případě, kdy je vypočtená koncentrace nad jejím středem menší než minimum.



Ilustrace 15: Grafické schema algoritmu výpočtu koncentrace dávky

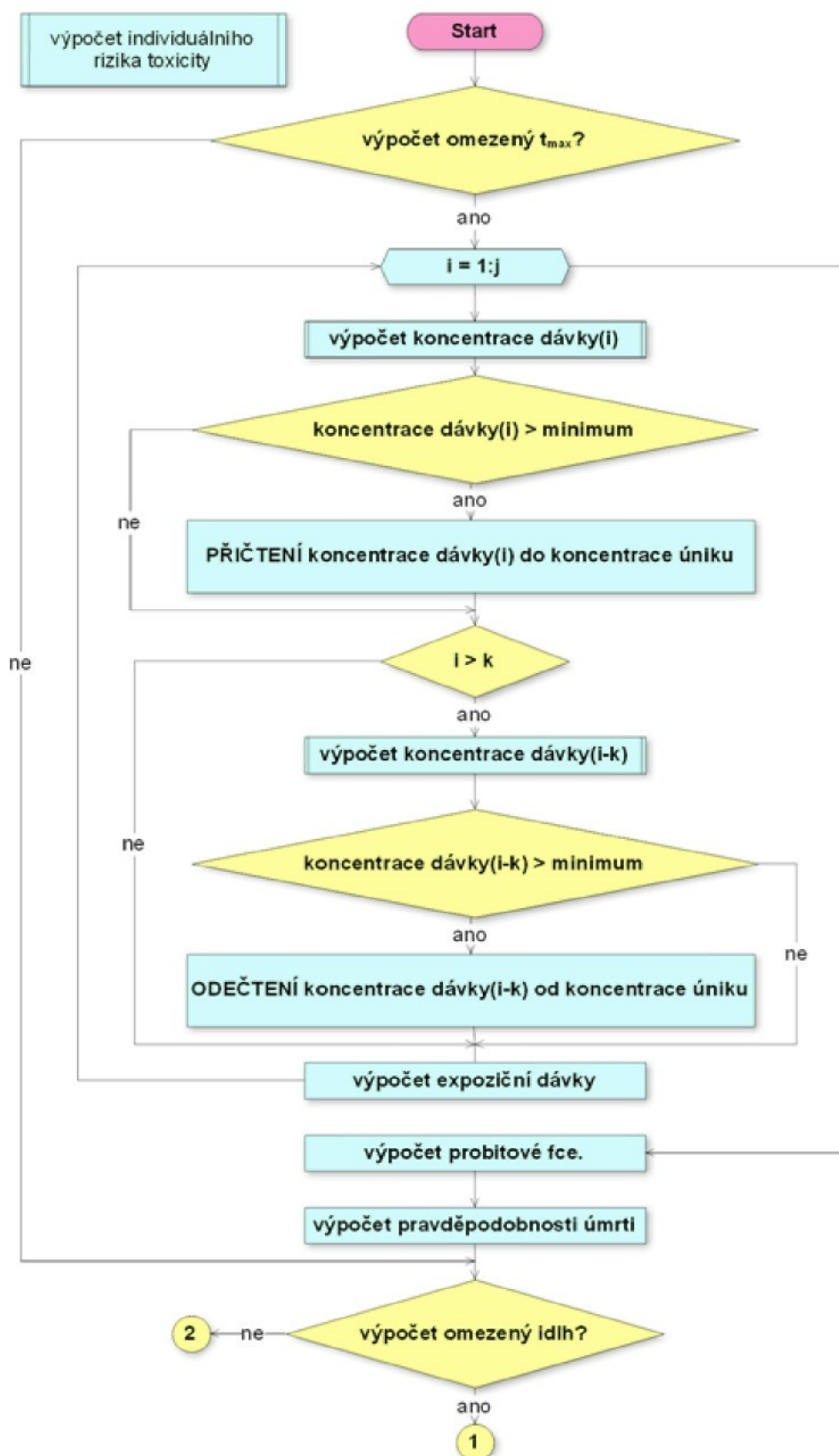
V posledním kroku se matice výsledků okolo osy x překlopí, protože koncentrace, ve stejných vzdálenostech od středu dávky, mají stejné hodnoty.

Tímto překlopením značně zrychlíme výpočet celého programu, protože koncentrace každé dávky nejsou počítány ve všech bodech, ale pouze u poloviny.

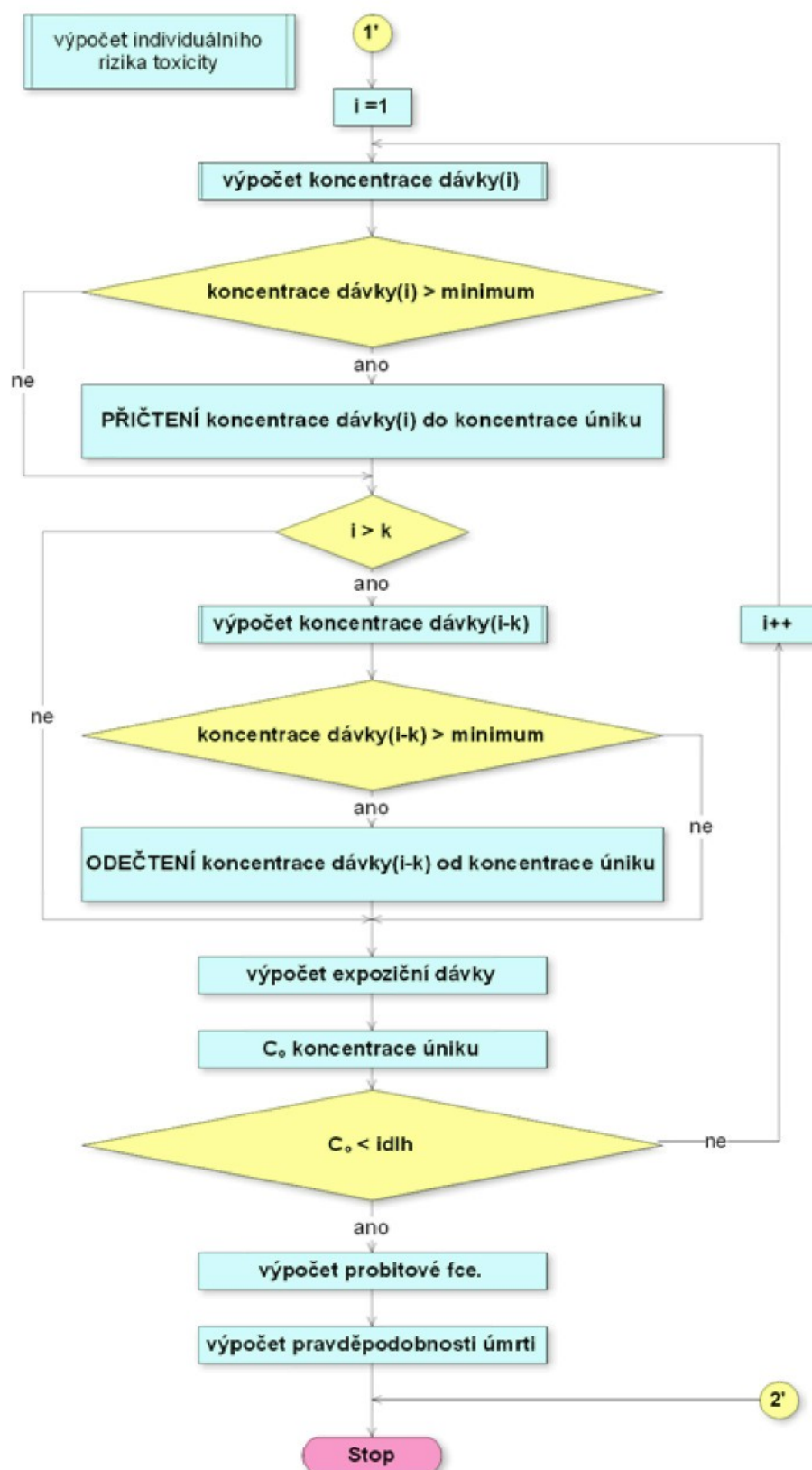


2.3 Vizualizace individuálního rizika toxicity

Blok *vizualizace individuálního rizika toxicity*, představovaný v *MATLABu* souborem *vizualizace.m*, zajišťuje grafický výstup dosažených výsledků. Každý z nich je maticí hodnot. Pro její grafické zobrazení se musí zjistit její skutečná velikost přepočítaná na metry. V dalším kroku se nastaví pozice jednotlivých prvků grafu (popisky osy x a y , titulek a legenda), určí se barvy grafu a vektor, jehož hodnoty představují izoplety. Následně je matice graficky zobrazena. Posloupnost jednotlivých kroků je znázorněna vývojovým diagramem níže (*Ilustrace 19*).



Ilustrace 17: Schema bloku výpočet individuálního rizika toxicity (omezení výpočtu individuálního rizika toxicity celkovým časem výpočtu t_{max})



Ilustrace 18: Schema bloku výpočet individuálního rizika toxicity (omezení výpočtu individuálního rizika toxicity hodnotou idlh)



Následující ukázky grafů koncentrací a pravděpodobností úmrtí jedince při časově omezeném úniku čpavku jsou vytvořeny pro situace atmosférických podmínek:

- stabilita atmosféry B, rychlost větru 1 m/s,
- stabilita atmosféry D, rychlost větru 1 m/s,
- stabilita atmosféry D, rychlost větru 5 m/s.

Hmotnostní průtok je $Q=100\text{kg/s}$ po dobu 60-ti sekund. Je použit krok výpočtu $k_v=1\text{m}$.

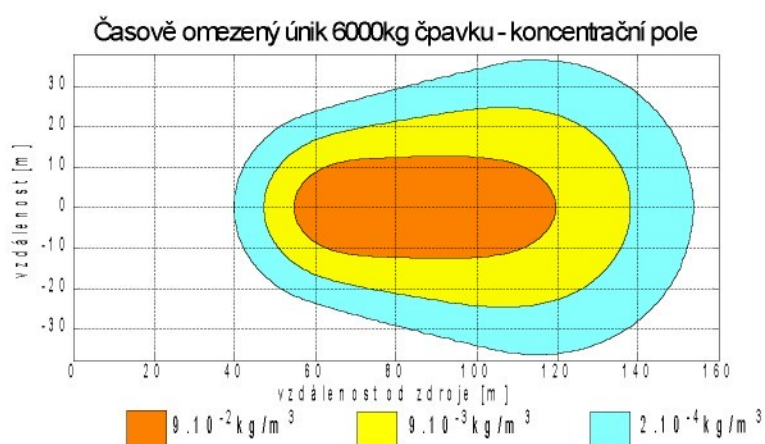
Ilustrace 20 až 25 znázorňují koncentrační pole úniku v časech 120 a 300 sekund při výše uvedených meteorologických situacích.

Rychlost větru nemá vliv na maximální koncentrace v jednotlivých bodech, ale na tvar a vzdálenost koncentračního pole od zdroje úniku.

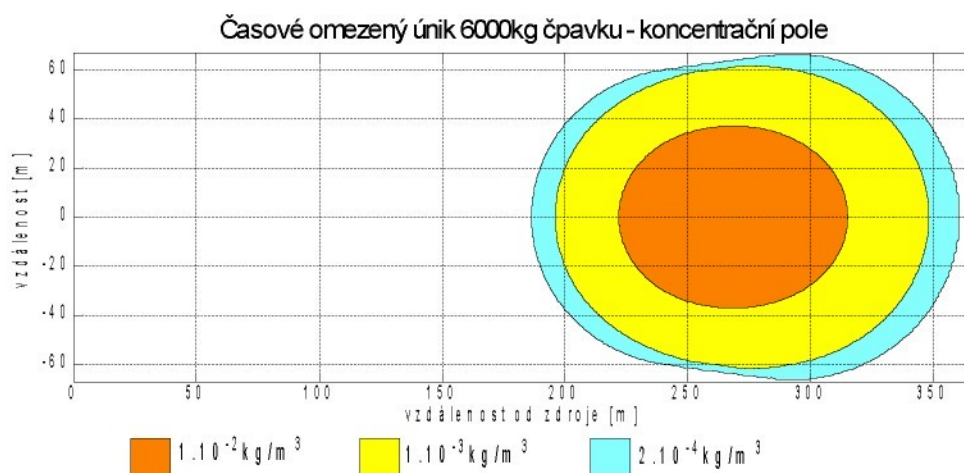
Kromě nejnižší koncentrační úrovně, která odpovídá hodnotě idlh pro čpavek, jsou hodnoty izolinií v grafech různé. Jsou voleny tak, aby lépe vynikl charakter koncentračního pole.

Tvar koncentrace úniku v *Ilustracích 20 až 23* poukazuje na fakt, že při rychlosti větru 1 m/s se v těchto časech a odpovídajících vzdálenostech od zdroje úniku se celková kontura koncentračního pole v koncentracích nad idlh ještě zvětšuje.

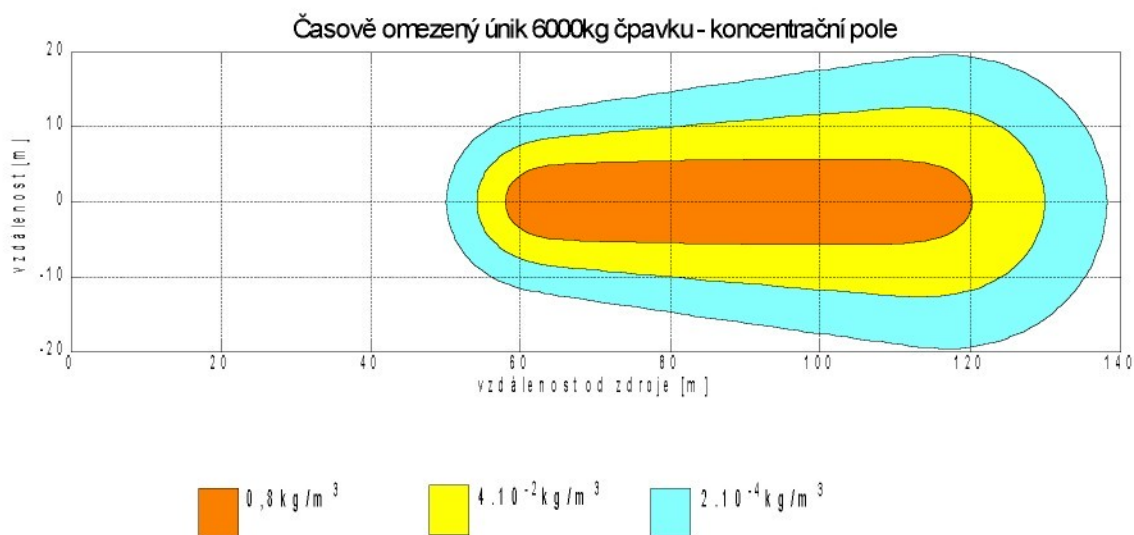
Při porovnání obou tříd stability se můžeme přesvědčit, že délka ve směru osy x je přibližně stejná. Vliv větších disperzních koeficientů při nižší stabilitě atmosféry (B) se projevuje větší šířkou izoplety $2 \cdot 10^{-4}$. Největší rozdíl je však patrný v koncentracích. Za povšimnutí stojí hodnota největší zobrazené koncentrace *Ilustrace 22*. Ta odpovídá objemové hmotnosti čpavku. Ve třídě D se tedy po 120s vyskytují ještě maximální možné koncentrace, ve třídě B jsou však ve stejném čase maxima téměř o řád nižší. Je to pravděpodobně způsobeno nižším vertikálním rozptylem při větší stabilitě atmosféry.



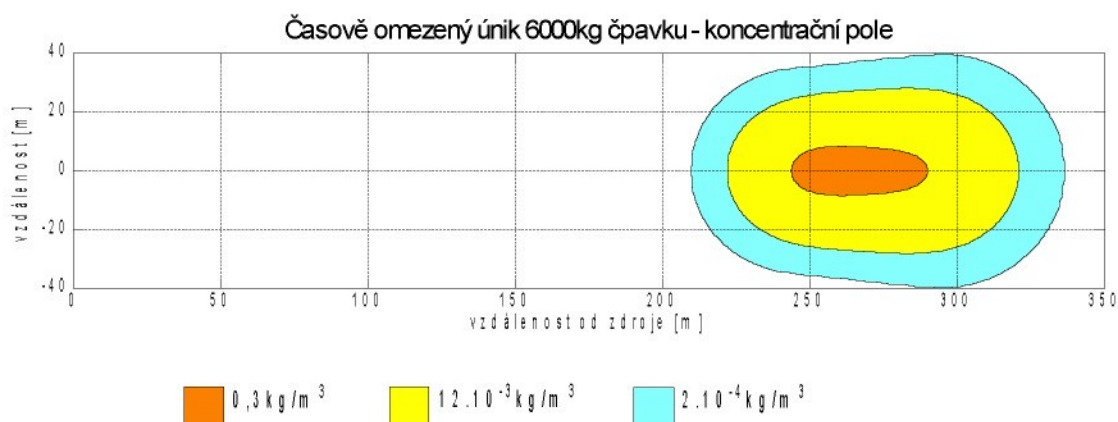
Ilustrace 20: Koncentrační pole časově omezeného úniku 6000kg čpavku. (třída stability B, rychlost 1m/s, čas 120 s)



Ilustrace 21: Koncentrační pole časově omezeného úniku 6000kg čpavku. (třída stability B, rychlost 1m/s, čas 300 s)

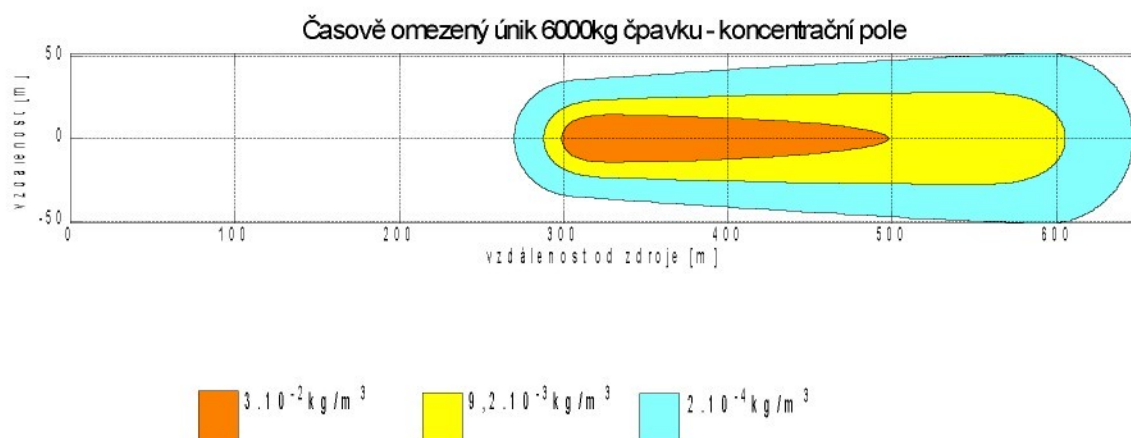


Ilustrace 22: Koncentrační pole časově omezeného úniku 6000kg čpavku. (třída stability D, rychlost 1m/s, čas 120 s)



Ilustrace 23: Koncentrační pole časově omezeného úniku 6000kg čpavku. (třída stability D, rychlost 1m/s, čas 300 s)

Vliv větší rychlosti větru ukazují *Ilustrace 24* a *25*. Uniklý plyn se dostane do větších vzdáleností, koncentrační pole je protažené do délky a v čase 300 s jsou již koncentrace velmi nízké a obrys koncentračního pole je podstatně menší.



Ilustrace 24: Koncentrační pole časově omezeného úniku 6000kg čpavku. (třída stability D, rychlost 5m/s, čas 120 s)



Ilustrace 25: Koncentrační pole časově omezeného úniku 6000kg čpavku. (třída stability D, rychlost 5m/s, čas 300 s)

Grafy *Ilustrací 26 až 28* představují pravděpodobnosti úmrtí jednotlivce v zasažené ploše v závislosti na atmosférických podmínkách. Tyto grafy byly vypočteny pro podstatně delší časy (až 2000 s), než grafy koncentrací, protože toxické účinky se projevují i ve značných vzdálenostech, kde jsou sice koncentrace již nízké, ale není zanedbatelná doba expozice.

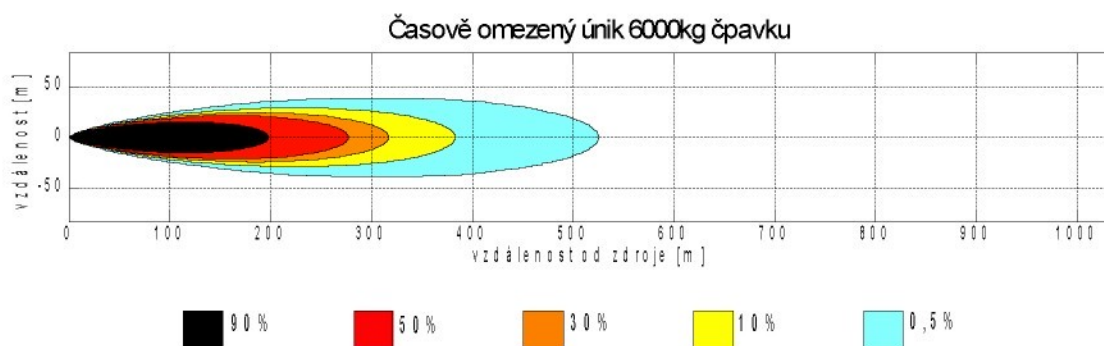
Vliv stabilitní třídy na pravděpodobnost úmrtí dokládají *Ilustrace 26 a 27*.

Při rychlosti větru 1 m/s ve třídě B dosahuje pravděpodobnost 90% do 200 m a 0,5% přes 500 m. Ve třídě D jsou dosahy téměř čtyřnásobné. Při větší stabilitě atmosféry lze očekávat ještě větší dosahy.

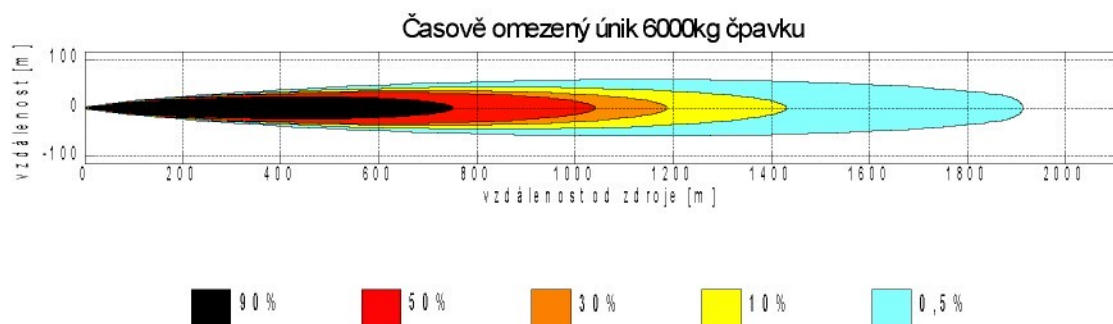
Jak je patrné z grafů *Ilustrací 27 a 28*, vliv rychlosti větru ovlivňuje velikost zasažené oblasti v délce i šířce, protože při nižší rychlosti větru (*Ilustrace 27*) je doba expozice delší a tudíž i pravděpodobnost úmrtí je větší.

Ilustrace 28 má oblast 90-ti procentní pravděpodobnosti úmrtí při rychlostech větru 5 m/s a stabilitní třídě D do vzdálenosti okolo 330 metrů od zdroje úniku, přičemž její šířka je 20 metrů. *Ilustrace 27* má oblast stejné pravděpodobnosti úmrtí okolo 760 metrů a její šířka je 40 metrů.

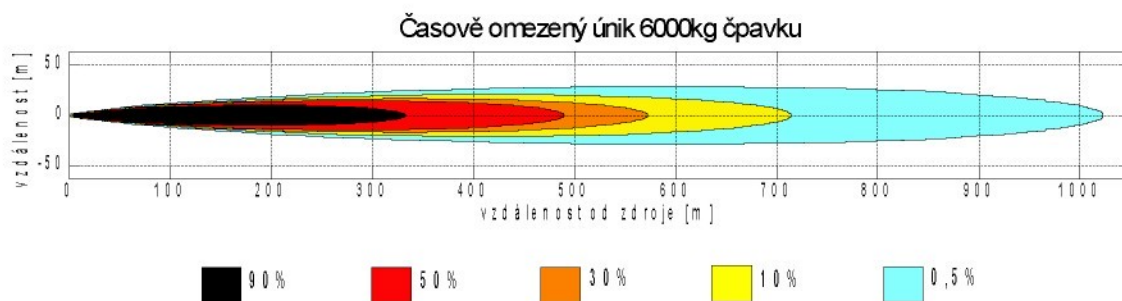
Při vyšší třídě stability a nižší rychlosti větru se uniklý plyn rozplyne pomaleji, expoziční dávky jsou vyšší a negativní dopady přetrvávají delší dobu. Pole pravděpodobnosti *Ilustrace 27* odpovídá času okolo 2000 s, *Ilustrace 28* 1000 s a v *Ilustraci 26* cca. 600 s. Po těchto časech se uniklý plyn rozptýlí do koncentrací, které již nezpůsobí závažné následky.



Ilustrace 26: Pravděpodobnost úmrtí jedince v zasažené ploše. Časově omezený únik 6000kg čpavku, třída stability B, rychlost 1m/s.



Ilustrace 27: Pravděpodobnost úmrtí jedince v zasažené ploše. Časově omezený únik 6000kg čpavku, třída stability D, rychlost 1m/s.



Ilustrace 28: Pravděpodobnost úmrtí jedince v zasažené ploše. Časově omezený únik 6000kg čpavku, třída stability D, rychlost 5m/s.

3 Závěr

Tato práce se zabývá řešením problematiky následků časově omezeného úniku plynu pomocí superpozice účinků sledu za sebou vypouštěných malých dávek, které lze považovat za jednorázové úniky.

Je formulován postup výpočtu časově závislého koncentračního pole v jednotlivých časových krocích, ve kterých je následně řešen výpočet expoziční dávky. Obě tyto metodiky jsou v pojetí řešení zcela nové a přináší s sebou mnohem lepší kvantitativní vyjádření než doposud. Na základě expoziční dávky byl známými metodami vypočítán probit a pravděpodobnost specifického účinku, kterým je v našem případě úmrtí zasažené osoby.

Práce je rozdělena na dvě samostatné kapitoly. V první kapitole je proveden teoretický rozbor. Jsou popsány termíny jako riziko, toxicita a vysvětlena problematika časově omezeného úniku nebezpečného plynu nutná pro pochopení dalších souvislostí. Ve druhé, nejrozsáhlejší kapitole je popsána vlastní implementace. Podrobně jsou popsány jednotlivé algoritmy, které pro svoji složitost byly zobrazeny i graficky.

Algoritmus výpočtu je implementován do programovacího jazyka MATLAB. Výstupem z programu jsou kromě číselných hodnot 2D grafy rozložení koncentrací a pravděpodobností úmrtí. To představuje další důležitý závěr diplomové práce.

Řešení diplomové práce představuje ucelenou aplikaci sloužící k výpočtu individuálního následku úmrtí při definovaných havarijních únicích nebezpečného plynu.

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK

IDLH	(IMMEDIATELY DANGEROUS TO LIFE OR HEALTH), koncentrace nebezpečné látky, která bezprostředně ohrožuje zdraví nebo život
MŽP	ministerstvo životního prostředí

POUŽITÁ LITERATURA

- [1] BUBNÍK, KEDER, MACOUN, MAŇÁK. *Metodika výpočtu znečištění ovzduší*. Praha : Český hydrometeorologický ústav, 1979. 57 s.
- [2] BUMBA, KELNER, SLUKA. *Postupy a metodiky analýz a hodnocení rizik pro účely zákona č. 353/1999 Sb., o prevenci závažných havárií*, VÚBP Praha 2000
- [3] COX A W., LEES F P., ANG M. *Classification of hazardous Locations*. British Institution of Chemical Engineering, 1990
- [4] CROWL D. A., LOUVAR J. F. *Chemical process Safety: Fundamentals with Application*, PTR Prentice – Hall, Inc. A. Simon & Schuster Company, Englewood Cliffs, New Jersey 1990
- [5] *Systém řízení bezpečnosti a havarijní plánování. Distanční nadstavbové studium, studijní materiál*, příloha č.10E Metodika pro výpočet a prezentaci výsledku, VÚBP Praha

SEZNAM ILUSTRACÍ

Ilustrace 1:	Schema zastoupení deterministických a pravděpodobnostních přístupů při analýze rizika.....	10
Ilustrace 2:	Schema výpočtu individuálního rizika při výpočtu úniku nebezpečného plynu.....	12
Ilustrace 3:	Závislost koncentračního pole na stabilitě atmosféry při kontinuálním úniku 10kg Cl a rychlosti větru 1,7m/s.....	20
Ilustrace 4:	Závislost koncentračního pole na rychlosti větru při kontinuálním úniku 10kg Cl a třídě stability atmosféry C.....	21
Ilustrace 5:	Závislost poloměru a koncentrace mraku na vzdálenosti od zdroje.....	23
Ilustrace 6:	Maximální koncentrace v přízemní vrstvě ovzduší při jednorázovém úniku 100kg Cl a třídě stability U.....	23
Ilustrace 7:	Schema časově omezeného úniku nebezpečného plynu z plynového potrubí.....	25
Ilustrace 8:	Schema časově omezeného úniku nebezpečného plynu ze zásobníku plynu.....	25
Ilustrace 9:	Vliv velikosti kroku mezi dávkami plynu ve směru osy x na tvar koncentračního pole při časově omezeném úniku nebezpečného plynu ze zásobníku (vlevo je zobrazen vliv menšího kroku, vpravo pak vliv většího kroku).....	27
Ilustrace 10:	Schema časově omezeného úniku nebezpečného plynu - dotace dílčími dávkami nebezpečného plynu do doby úniku T.....	29
Ilustrace 11:	Schema časově omezeného úniku nebezpečného plynu – ukončená dotace dílčích dávek nebezpečného plynu.....	29
Ilustrace 12:	Schema výpočtu expoziční dávky časově omezeného úniku nebezpečného plynu.....	30
Ilustrace 13:	Struktura metodiky výpočtu individuálního rizika toxicity.....	31
Ilustrace 14:	Schema bloku načtení vstupu, nastavení programu.....	32
Ilustrace 15:	Grafické schema algoritmu výpočtu koncentrace dávky.....	34
Ilustrace 16:	Schema algoritmu výpočtu koncentrace dávky.....	35

Ilustrace 17:	Schema bloku výpočet individuálního rizika toxicity (omezení výpočtu individuálního rizika toxicity celkovým časem výpočtu t_{max}).....	36
Ilustrace 18:	Schema bloku výpočet individuálního rizika toxicity (omezení výpočtu individuálního rizika toxicity hodnotou $idlh$).....	37
Ilustrace 19:	Schema bloku vizualizace individuálního rizika toxicity.....	38
Ilustrace 20:	Koncentrační pole časově omezeného úniku 6000kg čpavku. (třída stability B, rychlost 1m/s, čas 120 s).....	39
Ilustrace 21:	Koncentrační pole časově omezeného úniku 6000kg čpavku. (třída stability B, rychlost 1m/s, čas 300 s).....	39
Ilustrace 22:	Koncentrační pole časově omezeného úniku 6000kg čpavku. (třída stability D, rychlost 1m/s, čas 120 s).....	40
Ilustrace 23:	Koncentrační pole časově omezeného úniku 6000kg čpavku. (třída stability D, rychlost 1m/s, čas 300 s).....	40
Ilustrace 24:	Koncentrační pole časově omezeného úniku 6000kg čpavku. (třída stability D, rychlost 5m/s, čas 120 s).....	41
Ilustrace 25:	Koncentrační pole časově omezeného úniku 6000kg čpavku. (třída stability D, rychlost 5m/s, čas 300 s).....	41
Ilustrace 26:	Pravděpodobnost úmrtí jedince v zasažené ploše. Časově omezený únik 6000kg čpavku, třída stability B, rychlost 1m/s.....	42
Ilustrace 27:	Pravděpodobnost úmrtí jedince v zasažené ploše. Časově omezený únik 6000kg čpavku, třída stability D, rychlost 1m/s.....	43
Ilustrace 28:	Pravděpodobnost úmrtí jedince v zasažené ploše. Časově omezený únik 6000kg čpavku, třída stability D, rychlost 5m/s.....	43

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1:	Klasifikace toxických látek podle hodnoty LD50.....	11
Tabulka 2:	Parametry probitové funkce pro některé látky.....	14
Tabulka 3:	Vztah mezi probitem a pravděpodobností.....	15
Tabulka 4:	Třídy atmosférické stability pro použití v Pasquill-Gifford modelu rozptylu.....	17
Tabulka 5:	Doporučené vztahy pro Pasquill-Gifford disperzní koeficienty pro PLUME model rozptylu	19