

Modell för bedömning av riskavstånd vid olyckor med giftiga eller brännbara ämnen

Denna rapport ingår i Räddningsverkets serie av forsknings- och utvecklingsrapporter. I serien ingår rapporter skrivna av såväl externa författare som av verkets anställda. Rapporterna kan vara kunskapssammanställningar, idéskrifter eller av karaktären tillämpad forskning. Rapporten redovisar inte alltid Räddningsverkets ståndpunkt i innehåll och förslag.

2001 Räddningsverket, Karlstad
Räddningstjänstavdelningen
ISBN 91-7253-144-4
Beställningsnummer P21-396/01
2001 års utgåva

Modell för bedömning av riskavstånd vid olyckor med giftiga eller brännbara ämnen

Åke Davidsson, Stefan Svensson
Räddningsverkets skola i Revinge

Räddningsverkets kontaktperson:
Åke Davidsson, UTB/Re, 046 – 23 37 22

Innehållsförteckning

Absract	5
Sammanfattning	7
Inledning	9
Bakgrund	10
Antaganden för modellen	11
Modell för riskavstånd	13
Riskavstånd mot vinden	15
Känslighetsanalys av modellen	16
Jämförelser med andra modeller	17
Kommentarer till modellen	18
Sammanställning av modellen	19
Exempel	20
Nomenklatur	22
Referenser	23

Abstract

When an accident occurs, involving release of toxic or flammable substances, it is of great importance that the fire and rescue service can determine the affected area and safety distances.

This report describes a simple and an active-service model for determination of safety distances when responding to accidental release of toxic and flammable substances. Input to the model is vapour pressure of the chemical, the area of the pool, and desired concentration (for a toxic or flammable mixture). The model relies on a few assumptions, such as that the model can only be applied to liquids whose vapour pressure at 20°C is less than atmospheric pressure (101,3 kPa).

Model cases are reported for calm weather (circular safety distance), for squally moderate wind (3 – 5 m/s) and for stable strong wind (10 – 15 m/s). In addition, safety distances against the wind are reported for corresponding cases.

The model should not be used for calculating safety distances approaching pool radius.

The model should be used with caution and it should be treated as complement to other models and methods. The model is approximate and it doesn't lay any claim to being scientifically stringent. However, in regard to the assumptions given the model may be considered correct.

Also, the report shows two simple examples, with the purpose to illustrate the applicability of the model.

Sammanfattning

Vid en olycka där en kemikalie kommit lös måste räddningstjänsten på ett så snabbt sätt som möjligt avgöra hur stort område kring olyckan som kan påverkas negativt av kemikalins spridning i luft.

Denna rapport redovisar en enkel och fältmässig modell för hur riskavstånd vid kemikalieolyckor kan beräknas. Indata till modellen för beräkning av riskavstånd är det utsläppta ämnets ångtryck, den bildade pölens area, samt koncentration (för giftiga ämnen korttidsvärdet och för brännbara ämnen dess undre brännbarhetsgräns). Vidare bygger modellen på ett antal fullt rimliga fysikaliska antaganden. Ett sådant antagande gör gällande att modellen enbart kan tillämpas på vätskor vars ångtryck vid 20°C är mindre än atmosfärstrycket (101,3 kPa).

Modellen redovisas för de fall då det är vindstilla eller då ingen uttalad vindriktning råder (cirkulärt riskavståndet), för byig måttlig vind (3 – 5 m/s) samt för stabil kraftig vind (10 – 15m/s). Dessutom redovisas riskavstånd mot vindriktningen vid motsvarande fall.

Modellen bör ej användas för beräkning av riskavstånd som närmar sig pölens storlek.

Den presenterade modellen bör användas med viss försiktighet och den bör ses som ett komplement till befintliga sätt att uppskatta riskavstånd. Modellen är approximativ och gör inga anspråk på att vara vetenskaplig stringent. Med de antagande som är angivna får dock modellen anses som helt korrekt.

Rapporten redovisar också två enkla exempel, i syfte att belysa modellens användbarhet.

Nyckelord: kemikalieolycka, vådautsläpp, riskavstånd, modell, beräkningsmodell

Inledning

En viktig uppgift för befäl vid räddningsinsatser är att snabbt kunna bedöma läget och att fatta beslut om och sätta in de motåtgärder situationen kräver. Den valda taktiken kan i allra högsta grad påverka såväl hotade människor, egendom och miljö, som den egna personalens säkerhet. Fel utförda eller i tid och rummet felaktigt insatta åtgärder kan rent av förvärra situationen.

Vid en olycka där en kemikalie kommit lös måste räddningstjänsten därför på ett så snabbt sätt som möjligt avgöra hur stort område kring olyckan som kan påverkas negativt av kemikaliens spridning i luft.

Exempel på frågor som måste fattas beslut om inom sekunder eller minuter kan vara

- Kan en kraftledning 20 m från en pöl med brännbar vätska antända gas-/luftblandningen som bildas på grund av avdunstningen från pölen?
- Hur påverkas barnen på en skolgård 200 m i vindriktningen av de avdunstande gaserna?

Då sådana situationer uppstår kan räddningstjänstpersonal mäta gaskoncentrationen med en så kallad explosimeter, ett handhållet instrument. Denna procedur tar i bästa fall någon eller några minuter. Detta förutsätter dock att personalen är väl förtrogen med instrumentet, att instrumentet är kalibrerat för det aktuella ämnet samt givetvis att det finns till hands på olycksplatsen.

Ett annat alternativ är att med hjälp av schabloner och tumregler erhålla vilka riskavstånd som lämpligen bör gälla. Sådana schabloner och tumregler står bland annat att finna i Räddningsverkets informationsbank (RIB). Detta är ett relativt snabbt sätt, men något onyanserat, då varken vätskepölens yta eller kemikaliens hygieniska gränsvärde inbegrips i bedömningen, trots att dessa informationer är starkt avgörande faktorer för riskavståndets storlek.

Bakgrund

Det finns en rad olika typer av beräkningsmodeller för hur termisk strålning, eldklot och metallsplitter påverkar omgivningen. Att uppskatta kemikaliers koncentration i ett gasmoln, utgör ej heller något större problem om källstyrkan är känd. Men en vanligt förekommande kemikalieolycka, där ett ämne har runnit ut på marken och bildat en vätskepöl som avdunstar, kan vara problematisk och lämpliga metoder för att snabbt och fältmässigt kunna avgöra lämpliga riskavstånd saknas.

De modeller som förekommer kräver tillgång till dator, att användaren är väl förtrogen med modellen samt en stor mängd ingångsvärden. Exempel på sådana modeller och beräkningsmetoder är

- CHEMS PLUS
- EEW 1996
- RIB/BfK (Beräkningsmodell för Kemikalie-exponering)

Dessa modeller och beräkningsmetoder fungerar väl i ett förebyggande skede eller då tid finns till förfogande. Fältmässigheten är dock mycket begränsad.

Räddningstjänstpersonal kräver snabba svar på olycksplatsen utan fördröjande kommunikation. Befäl vid en räddningsinsats behöver kunna fatta beslut inom en mycket kort tidsrymd, ofta inom några sekunder. Vid användningen av de exemplifierade modellerna kan sannolikheten för missförstånd bedömas som mycket stor med hänsyn till antalet parametervärden som måste kommuniceras.

Behov anses således föreligga för en modell som ger snabba svar om än på bekostnad av precisionen. Med hjälp av Farligt gods-kort eller RIB, vindförhållanden på platsen, pölens yta och en enkel fickräknare bör modellen kunna ge svar på frågor såsom de i inledningen ovan med god precision.

Den i denna rapport föreslagna modellen, fyller de rimliga krav som kan ställas på att fatta beslut inom en kort tidsrymd, med hjälp av indata som enkelt kan erhållas eller bestämmas direkt på en olycksplats.

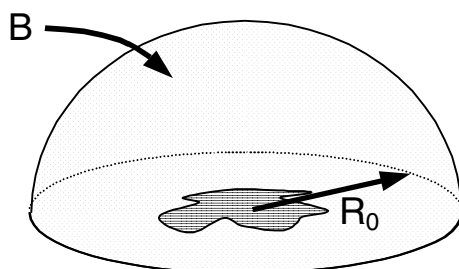
Antaganden för modellen

Modellen bygger på data som enkelt kan erhållas eller bestämmas direkt på olycksplatsen. Dessa data, som är indata till modellen, är:

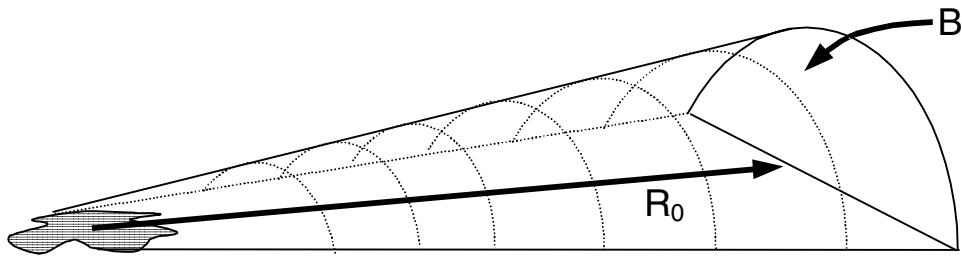
- ämnets ångtryck
- pölens area, samt
- koncentration (för giftiga ämnen korttidsvärdet och för brännbara ämnen dess undre brännbarhetsgräns)

Vidare bygger modellen på ett antal antaganden, enligt följande:

1. Det förutsätts att allmänna gaslagen kan tillämpas så att koncentrationen av ämnets gasfas i ett obestämt tunt skikt strax intill vätskeytan kan beräknas (så kallad flyktighetskoncentration).
2. På olika radiella avstånd från vätskeytans centrum och som är större än vätskeytans radie existerar skikt enligt punkt 1 ovan, men med en koncentration som reduceras med kvoten mellan vätskepölens yta och ytan på aktuellt skikt.
3. Hastigheten med vilken gasfaskoncentrationen i skiktet närmast vätskeytan reduceras är mycket större än den hastighet med vilken vätskefas övergår till gasfas. Tidsberoendet i systemet ersätts med ett "steady state" så länge som det finns vätskefas kvar. Detta innebär också att modellen enbart kan tillämpas på vätskor vars ångtryck vid 20°C är mindre än atmosfärstrycket (101,3 kPa).
4. Det förutsätts att spridningen i omgivningen sker efter halvsfäriskt formade skikt då ingen uttalad vindriktning kan noteras, figur 1. Vid tydlig vindriktning förutsättes spridning i skikt som begränsas av ytorna till en halv liggande cirkulär kon med spetsen i vätskepölen och toppvinkel 45°, figur 2.

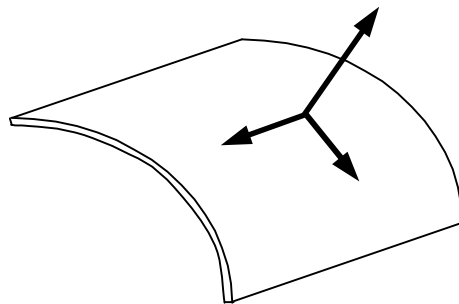


Figur 1. Sfärisk spridning



Figur 2. Konisk spridning

5. Den mängd gas som "sprids" via adsorption på markskikt, vegetation mm och eventuella kemiska reaktioner representeras i modellen av motsvarande plana ytor utmed marken enligt punkt 4. Ingen sekundär gasavgång från denna yta förekommer under avdunstningsfasen.
6. Gasfasens spridning i omgivningen kan moduleras med en normerad spridningsvektor riktad från pölens centrum, figur 3. Vid perfekt laminär spridning blir denna vektor lika med 1, då all spridning sker radiellt. Vid maximal turbulens blir magnituden på den radiella spridningsvektorkomponenten lika med 1/3 (2/3 sprids längs skiktet).



Figur 3. Spridning som radiella och ortogonala vektorkomponenter över skiktyta utmed B

Tabellerade ämnesspecifika ångtryck anges vid 20°C varför temperaturen i modellen sätts till detta värde, dvs. $T = 293 \text{ K}$. Riskavståndets temperaturberoende blir proportionellt mot $T^{1/2}$. För svenska förhållanden är normalt $253 < T < 303 \text{ K}$, vilket gör att temperaturberoendet i modellen blir svagt. Jämför dock under "Kommentarer till modellen".

Modell för riskavstånd

Modellen innebär att när systemet befinner sig i "steady-state" förflyttas molekylerna från skikt till skikt ut från vätskeytan enligt den symmetri som valts för de olika spridningsskikten (sfärisk eller konisk). Systemet får på detta sätt en viss koncentrationsprofil radiellt från pölens centrum. Spridningsvektorn eller turbulensen reducerar den radiella förflyttningen av molekylerna mellan skikten, så att koncentrationen av molekyler i skikten utanför pölen blir mindre samtidigt som en anhopning av molekyler i de närmaste skikten till vätskan sker.

Ur allmänna gaslagen erhålles flyktighetskoncentrationen, enligt antagande 1:

$$C_f = \frac{P \cdot M}{K \cdot T} \quad (\text{ekvation 1})$$

Koncentrationen av ämnets gasfas i godtyckligt skikt, enligt antagande 2:

$$C = \frac{P \cdot M}{K \cdot T} \cdot \frac{A}{B} \quad (\text{ekvation 2})$$

Antagande 4, sfärisk symmetri, ger att:

$$B = 3 \cdot \pi \cdot R^2 \quad (\text{ekvation 3})$$

Också enligt antagande 4, vid konisk symmetri, ger att:

$$B = \left(\pi \cdot \left(\frac{1 + \sin(22.5)}{\cos(22.5)} \right) + 2 \right) \cdot \tan(22.5) \cdot R^2 \quad (\text{ekvation 4})$$

Det radiella riskavståndet, R , ges av ekvation 2 och ekvation 3, för sfärisk symmetri, som:

$$R = \sqrt{\frac{P \cdot A \cdot M}{C \cdot 3 \cdot \pi \cdot K \cdot T}} = \sqrt{\frac{M}{3 \cdot \pi \cdot K \cdot T}} \cdot \sqrt{\frac{P \cdot A}{C}} \quad (\text{ekvation 5})$$

Koncentrationen anges i ppm (parts per million), genom:

$$C = \frac{M \cdot C_{ppm}}{V_0} \cdot 10^{-6} \quad (\text{ekvation 6})$$

Ekvation 5 och 6 ger riskavståndets analytiska uttryck:

$$R = \text{konstant} \cdot \sqrt{\frac{P \cdot A}{C_{ppm}}} \quad (\text{ekvation 7})$$

Transformerering till ett uttryck på fältmässig form för sfärisk symmetri, där temperaturen antas till 293 K och att ämnets ångtryck anges i kPa, ger att:

$$\text{konstant} = \sqrt{\frac{10^3 \cdot V_0 \cdot 10^6}{3 \cdot \pi \cdot K \cdot T}} = \sqrt{\frac{10^3 \cdot 2.24136 \cdot 10^{-2} \cdot 10^6}{3 \cdot \pi \cdot 8.314 \cdot 293}} = 32$$

Enligt antagande 6 varierar turbulensfaktorn mellan 1/3 och 1. Vid vindstilla blir riskavståndet cirkulärt från riskällan, R_0 .

Vid ingen uttalad vindriktning är turbulensfaktor 0.333 (figur 1), vilket approximativt ger:

$$R_0 = 10 \cdot \sqrt{\frac{P \cdot A}{C_{ppm}}} \quad (\text{ekvation 8})$$

På samma sätt för riskavstånd i vindriktningen, ges R av ekvation 2 och ekvation 4, för konisk symmetri, som:

$$\begin{aligned} R &= \sqrt{\frac{P \cdot A \cdot M}{C \cdot 2.7759 \cdot K \cdot T}} = \sqrt{\frac{M}{2.7759 \cdot K \cdot T}} \cdot \sqrt{\frac{P \cdot A}{C}} = \\ &= \sqrt{\frac{10^3 \cdot 2.24136 \cdot 10^{-2} \cdot 10^6}{2.7759 \cdot K \cdot T}} \cdot \sqrt{\frac{P \cdot A}{C_{ppm}}} = \\ &= 58 \cdot \sqrt{\frac{P \cdot A}{C_{ppm}}} \end{aligned}$$

(ekvation 9)

Vid byig måttlig vind (3 – 5 m/s) antas turbulensfaktorn vara 0.5. Riskavstånd i vindriktningen blir approximativt (figur 2):

$$R_{byig} = 30 \cdot \sqrt{\frac{P \cdot A}{C_{ppm}}} \quad (\text{ekvation 10})$$

Vid stabil kraftig vind (10 – 15 m/s) antas turbulensfaktor 0.7. Riskavstånd i vindriktningen blir approximativt (figur 2):

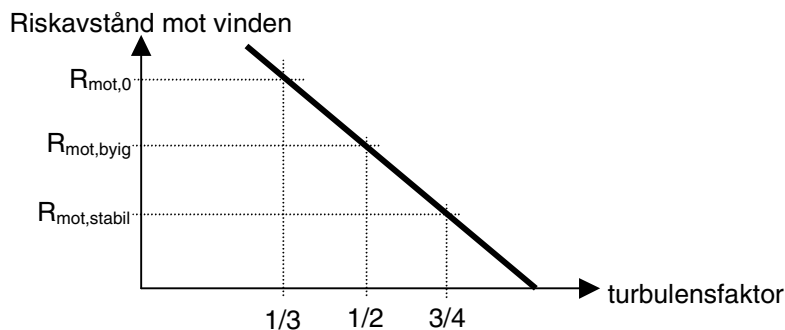
$$R_{stabil} = 40 \cdot \sqrt{\frac{P \cdot A}{C_{ppm}}} \quad (\text{ekvation 11})$$

Riskavstånd mot vinden

Randeffekter och diskontinuiteter mellan den sfäriska och koniska symmetrin enligt punkt 4 försvårar beräkningen av riskavståndet från pölen mot vindriktningen med den ovan beskrivna enkla modell. Det ligger nära tillhands att approximera dessa fall med

$$R_{mot,byig} = \frac{1}{30} \cdot \sqrt{\frac{P \cdot A}{C_{ppm}}} \quad (\text{ekvation 12})$$

$$R_{mot,stabil} = \frac{1}{40} \cdot \sqrt{\frac{P \cdot A}{C_{ppm}}} \quad (\text{ekvation 13})$$



Figur 4; Turbulensfaktorer och riskavstånd mot vinden.

Från säkerhetssynpunkt är en linjär interpolation mellan extremfallen att föredra, dvs. mellan vindstilla med riskavståndet R_0 och perfekt laminär spridning ("vindtunnelförhållanden") med turbulensfaktor 1 och riskavstånd pölens kant, d v s $R = 0$, se figur 4. Detta innebär för de två fallen ovan så blir:

Riskavstånd **mot** vindriktningen vid byig måttlig vind (3 - 5 m/s) blir approximativt:

$$R_{mot,byig} = 0.75 \cdot R_0 = 7.5 \cdot \sqrt{\frac{P \cdot A}{C_{ppm}}} \quad (\text{ekvation 14})$$

riskavstånd **mot** vindriktningen vid stabil kraftig vind (10 - 15 m/s) blir approximativt:

$$R_{mot,stabil} = 0.45 \cdot R_0 = 4.5 \cdot \sqrt{\frac{P \cdot A}{C_{ppm}}} \quad (\text{ekvation 15})$$

Känslighetsanalys av modellen

Eftersom den föreslagna modellen bygger på ett antal strikta antagande, är det viktigt att undersöka modellens giltighet vid randen av eller strax utanför dessa antaganden.

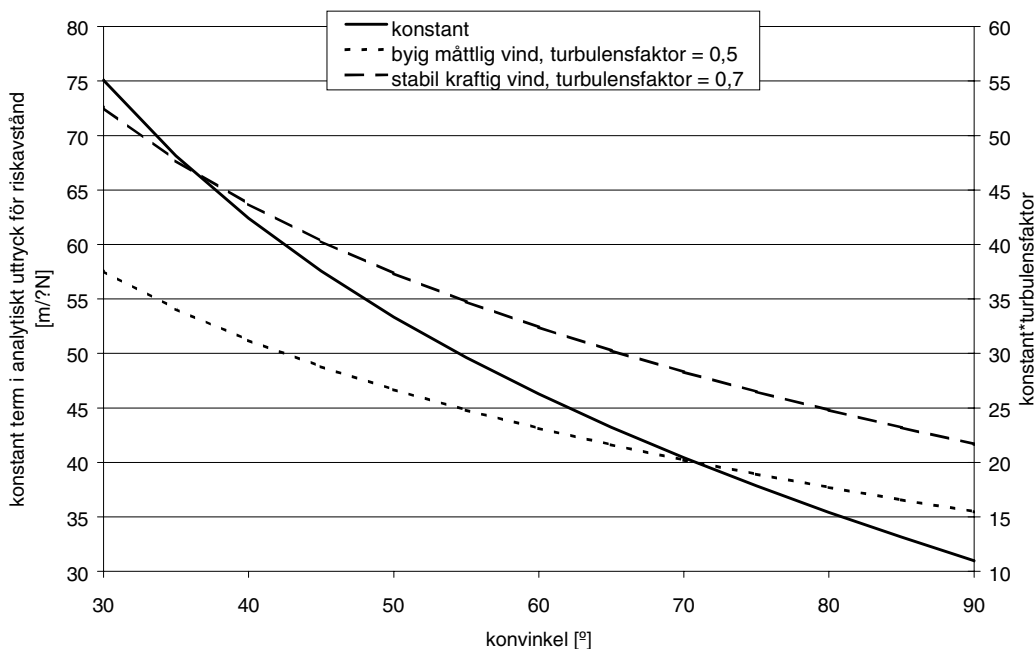
Låt oss därför variera vinkeln på konen, enligt antagande 4, t.ex. mellan 15° och 60°, och beräkna den konstanta termen i ekvation 9, se tabell 1.

Tabell 1; Uttryckets konstanta term för olika konvinklar.

Konvinkel	Konstant
15°	75
45°	58
60°	46

Figur 5 visar att för vindhastigheter mellan vindstill och stabil kraftig vind och för spridningsvinklar mellan 30° och 90°, kommer riskavståndet att ligga ungefär mellan

$$10 \cdot \sqrt{\frac{P \cdot A}{C}} < R < 50 \cdot \sqrt{\frac{P \cdot A}{C}}$$



Figur 5; förhållande mellan vinkel och konstant i det analytiska uttrycket för riskavstånd.

Jämförelser med andra modeller

Tabell 2 visar en jämförelse mellan den föreslagna modellen och en rad andra modeller. Beräkningarna avser riskavståndet för utsläpp av koncentrerad saltsyra i luft, vid vind 3 m/s.

Tabell 2; Jämförelse mellan modeller, HCL.

Konc (ppm)	EEW 96	FOA	ChemsPlus	Davidssons modell
5	360	300	540	390
10	250	210	370	270
1500	-	-	20	20

De olika etablerade modellerna skiljer sig väsentligt av olika anledningar som visar svårigheten i att göra dessa beräkningar. Ovanstående modell i all sin enkelhet hamnar mitt i intervallet, om detta råkar vara en slump eller ej återstår att undersöka för den intresserade.

Modellen bör kunna användas som komplement till traditionella schabloner för bedömning av riskavstånd när snabba beslut krävs.

Ytterligare beräkningar och jämförelser bör dock göras. Jämförelser med mätdata bör också ske.

Kommentarer till modellen

Ovan presenterad modell skall användas med försiktighet och ses som ett komplement till befintliga sätt att uppskatta riskavstånd. Modellen är approximativ och gör inga anspråk på att vara vetenskaplig stringent. Med de antagande som är angivna är dock modellen helt korrekt.

Möjligtvis kan modellen också inspirera någon läsare till att modifiera eller fundera ut något bättre, men ändå enkelt alternativ i sammanhanget.

Om någon vill testa modellens tillförlitlighet genom enkla experiment med lämpliga vätskor i pölar med liten vätskeyta (mätning med explosimeter alternativt förnimbarhetsvärde/luktpanel etc.) bör detta utföras utomhus vid lämplig väderlek. Eventuellt bör temperaturberoendet hos åtminstone ångtrycket då också inkluderas.

Modellen bör ej användas för beräkning av riskavstånd som närmar sig pölens storlek. I dessa fall kan randeffekter störa (punkt 4 i förutsättningar).

Om modellen generellt ger för stora riskavstånd bedöms antagandet om adsorptionsförluster enligt punkt 5 vara för små. I så fall kan spridningskropparna ersättas med hel sfär respektive hel kon enligt punkt 4 och därmed kompensera för större adsorptionsförluster.

Sammanställning av modellen

Vid vindstill eller då ingen uttalad vindriktning råder är riskavståndet cirkulärt från källan [m]:

$$R_0 = 10 \cdot \sqrt{\frac{P \cdot A}{C_{ppm}}}$$

Vid byig måttlig vind (3 – 5 m/s) är riskavståndet i vindriktningen från källan [m]:

$$R_{byig} = 30 \cdot \sqrt{\frac{P \cdot A}{C_{ppm}}}$$

Vid stabil kraftig vind (10 – 15 m/s) är riskavstånd i vindriktningen från källan [m]:

$$R_{stabil} = 40 \cdot \sqrt{\frac{P \cdot A}{C_{ppm}}}$$

Vid byig måttlig vind (3 – 5 m/s) är riskavstånd **mot** vindriktningen [m]:

$$R_{mot,byig} = 7.5 \cdot \sqrt{\frac{P \cdot A}{C_{ppm}}}$$

Vid stabil kraftig vind (10 – 15 m/s) är riskavstånd **mot** vindriktningen [m]:

$$R_{mot,stabil} = 4.5 \cdot \sqrt{\frac{P \cdot A}{C_{ppm}}}$$

Exempel

Nedanstående exempel belyser modellens förutsägelser om det "korta" och det "långa" riskavståndet.

Exempel 1

Vid en trafikolycka har metanol runnit ner i diket. En pöl med en yta av ca 100 m² har bildats. Vinden är byig men blåser i huvudsak längs vägen.

På vilket avstånd bör Du spärra av trafiken in mot olyckan i vindriktningen med hänsyn till risk för antändning av gas/luft blandningen eller personernas säkerhet med hänsyn till metanolens giftighet?

Beslutet bör tas inom någon minut med hänsyn till trafikintensiteten.

Data för metanol:

Ångtryck: $P = 12 \text{ kPa}$

Korttidsvärde: $KTV = 250 \text{ ppm}$

Undre brännbarhetsgräns $LEL = 6\% = 60000 \text{ ppm}$

Enligt ekvation 10 är riskavståndet med hänsyn till förgiftning

$$R_{byig} = 30 \cdot \sqrt{\frac{P \cdot A}{C_{ppm}}} = 30 \cdot \sqrt{\frac{12 \cdot 100}{250}} = 65 \text{ m}$$

mot vinden blir riskavståndet med hänsyn till förgiftning, enligt ekvation 14,

$$R_{mot,byig} = 0.75 \cdot R_0 = 7.5 \cdot \sqrt{\frac{P \cdot A}{C_{ppm}}} = 16 \text{ m}$$

Med avseende på risken för antändning blir på motsvarande sätt

$$R_{byig} = 30 \cdot \sqrt{\frac{P \cdot A}{C_{ppm}}} = 30 \cdot \sqrt{\frac{12 \cdot 100}{60000}} = 4 \text{ m}$$

Detta kan vara behäftat med randeffekter med hänsyn till pölens storlek 5×20 eller 10×10 m².

Av praktiska skäl spärrar Du givetvis av på längre avstånd än så!

Exempel 2

Vid lossning av ett 100 liters fat med brom på en mindre kemindustri tappades fatet varvid hela innehållet rann ut på en asfaltyta utan dagvattenbrunnar. Ytans storlek är cirka 10 m^2 . Vinden blåser stadigt in mot samhället. På vilket avstånd från olyckan går gränsen för det hygienska gränsvärdet? Bör folk i samhället uppmanas att hålla sig inomhus med anledning av att 100 liter brom runnit ut ?

Data för brom:

Ångtryck: $P = 23.3 \text{ kPa}$

Korttidsvärde: $KTV = 0.3 \text{ ppm}$

Rimligt avstånd med hänsyn till förgiftning blir, enligt ekvation 11,

$$R_{stabil} = 40 \cdot \sqrt{\frac{P \cdot A}{C_{ppm}}} = 40 \cdot \sqrt{\frac{23.3 \cdot 10}{0.3}} = 1100 \text{ m}$$

Mot vinden blir riskavståndet, enligt ekvation 15,

$$R_{mot, stabil} = 0.45 \cdot R_0 = 4.5 \cdot \sqrt{\frac{P \cdot A}{C_{ppm}}} = 125 \text{ m}$$

Nomenklatur

A	= vätskepölens yta [m^2]
B	= skiktets (godtyckligt) yta [m^2]
C	= koncentration av ämnets gasfas [g/m^3]
C_f	= flyktighetskoncentration [g/m^3]
C_{ppm}	= koncentration av ämnets gasfas [ppm]
K	= allmänna gaskonstanten, $8.314 \text{ Nm}/\text{mol}\times\text{K}$
M	= molekylvikt [g/mol]
P	= ämnets ångtryck [Pa]
R	= riskavstånd [m]
T	= temperatur [K]
V_0	= molvolymen, $2.41\times 10^{-2} \text{ m}^3/\text{mol}$

Referenser

Fischer, S., Forsén, R., Hertzberg, O., Jacobsson, A., Koch, B., Runn, P., Thaning, L och Winter, S. *Vådautsläpp av brandfarliga och giftiga gaser och vätskor, Metoder för bedömning av risker* (FOA-R-97-00490-990-SE). Umeå: Försvarets forskningsanstalt, Avdelningen för NBC-skydd, Avdelningen för Vapen och Skydd. 1998.

Schmelze, J. *Environmental World*. November 1996.

Räddningsverket, 651 80 Karlstad
Telefon 054-13 50 00, telefax 054-13 56 00

Beställningsnummer P21-396/01. Telefax 054-13 56 05, telefon 054-13 57 10
ISBN 91-7253-144-4