



# LUND UNIVERSITY

## Manual till datorprogrammet GASOL

Andersson, Berit; Andersson, Petra

1996

[Link to publication](#)

*Citation for published version (APA):*

Andersson, B., & Andersson, P. (1996). *Manual till datorprogrammet GASOL*. (LUTVDG/TVBB--3084--SE; Vol. 3084). Department of Fire Safety Engineering and Systems Safety, Lund University.

*Total number of authors:*

2

### General rights

Unless other specific re-use rights are stated the following general rights apply:

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal

Read more about Creative commons licenses: <https://creativecommons.org/licenses/>

### Take down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

LUND UNIVERSITY

PO Box 117  
221 00 Lund  
+46 46-222 00 00

<b>Innehåll:</b>	<b>sida</b>
<b>1. Inledning</b>	<b>3</b>
1.1 Programmetts bakgrund och syfte	3
<b>2. Installation av programmet</b>	<b>4</b>
<b>3. Vad kan jag göra med Gasol? , valda beräkningsmodeller</b>	<b>5</b>
3.1 Utsläpp av gasol	5
3.1.1 Gasutströmning	5
3.1.1.1 Utströmning från hål på rör/rörbrott/ventilläckage	7
3.1.1.2 Utströmning genom flänsläckage	7
3.1.1.3 Utsläpp genom hål i tank	7
3.1.1.4 Utsläpp genom totalt tankbrott	7
3.1.2 Utsläpp vid lagring av kondenserad gasol	8
3.1.2.1 Utsläpp genom hål på rör/rörbrott/ventilläckage	8
3.1.2.2 Utsläpp genom flänsläckage	9
3.1.2.3 Utsläpp genom hål i gasfasen	9
3.1.2.4 Utsläpp genom hål nära vätskeytan	9
3.1.2.5 Utsläpp genom hål i botten av en behållare	9
3.1.2.6 Utsläpp genom hål på rör från tank	9
3.1.2.7 Totalt tankbrott	11
3.2 Förångning av vätskeformig gasol	11
3.3 Spridning av utsläppt gasol	14
3.3.1 Spridning av neutral gas, kontinuerligt utsläpp	14
3.3.2 Spridning av neutral gas, momentant utsläpp	15
3.3.3 Spridning av tung gas i form av en jet	16
3.3.4 Spridning av tung gas, kontinuerligt utsläpp	16
3.3.5 Spridning av tung gas, momentant utsläpp	16
3.4 Jetflamma vid utsläpp av gasol	16
3.4.1 Jetflamma från gasformig gasol	16
3.4.2 Jetflamma från kondenserad gasol	17
3.5 Pölbrand	17
3.6 Totalt tankbrott	19

3.7	BLEVE	20
3.8	Flashfire	21
3.9	Gasmolnsexplosion	22
<b>4.</b>	<b>Att köra Gasol</b>	<b>23</b>
4.1	Start av programmet	23
4.1.1	Att avbryta beräkningarna	23
<b>5.</b>	<b>Att göra beräkningar med Gasol</b>	<b>24</b>
5.1	Beräkning av utsläppshastighet, gasfasutsläpp,	24
5.1.1	Hål på rör/rörbrott/ventilläckage	24
5.1.2	Flänsläckage	25
5.1.3	Hål i tank	25
5.1.4	Totalt tankbrott	26
5.2	Beräkning av utsläppshastighet, kondenserad gasol	27
5.2.1	Hål på rör/rörbrott/ventilläckage	27
5.2.2	Flänsläckage	28
5.2.3	Hål i tank i gasfasen	28
5.2.4	Hål nära vätskeytan	30
5.2.5	Hål i botten på tanken	30
5.2.6	Hål på rör från tank	31
5.2.7	Totalt tankbrott	32
5.2.8	BLEVE	33
5.3	Beräkning av gasolutsläpp, spridning	34
5.3.1	Angivande av vädersituation och topografiska förhållanden	34
5.3.2	Spridningsberäkningar med jetmodell vid gasformigt utsläpp	35
5.3.3	Spridningsberäkningar med jetmodell vid tvåfasutsläpp	38
5.3.4	Spridningsberäkningar för momentant utsläpp av gasol	41
5.3.5	Förångning och påföljande spridning vid utsläpp av vätskeformig gasol	42
	<b>Nomenklaturlista</b>	<b>44</b>
	<b>Referenser</b>	<b>47</b>

# 1 Inledning

**Gasol** är ett användarvänligt PC-baserat datorprogram i Windowsmiljö. Programmet är specifikt utformat för simuleringar av utsläpp av gasol.

**Gasol** är utvecklat vid Institutionen för Brandteknik vid Lunds Universitet på uppdrag av Statens Räddningsverk.

## 1.1 Programmets bakgrund och syfte

Gasol är ett vanligt bränsle i Sverige och användningen ökar. Olyckor, både större och mindre, har inträffat efter vådautsläpp av gasol. För att göra erforderliga riskanalyser av gasol-anläggningar är det nödvändigt att kunna göra konsekvensbedömningar för olika typer av oplanerade gasolutsläpp.

Syftet med **Gasol** är att tillhandahålla ett såväl kraftfullt som användarvänligt datorprogram för konsekvensberäkningar. Programmet ska kunna beskriva spridningsbild och koncentrationer i luften vid utsläpp från tankar och rör av varierande utformning, ange värmestrålning på olika avstånd från ett antänt utsläpp samt avgiven strålning och alstrat tryck vid explosion i ett gasmoln eller vid ett tankhaveri. I indata ska hänsyn kunna tas till rådande väder- och vindförhållanden, topografi, bebyggelse och växtlighet samt till parametrar som är förknippade med utsläppskällan. Utdata ska presenteras i grafisk och tabellform.

**Gasol** ska kunna användas av dem som arbetar med att ta fram konsekvensbedömningar för anläggningar och installationer där gasol utnyttjas som energikälla eller installationer för lagring av gasol. Programmet är främst avsett att utnyttjas inom räddningskårerna i Sverige och därför är program och manual gjorda på svenska.

## 2 Installation av programmet

Programmet installeras genom att **setup.exe** körs från installationsdisketten. För att detta ska fungera måste man ha stängt av alla program som använder "cmdialog.vbx" och "commdlg.dll" dvs program som öppnar/stänger och sparar filer som ordbehandlingsprogram.

Setup-programmet kan startas på två sätt:

**Alternativ 1:** Starta från Dosprompten genom att stoppa i disketten i t ex a-enheten, gå till a, dvs skriv a:enter, skriv win setup.

**Alternativ 2:** Starta windows, gå in på kör i arkiv, skriv a:\setup.exe och tryck på OK.

Setup-programmet kommer att fråga vilken katalog Du vill installera gasolprogrammet i, programmet föreslår c:\gasol. Vill Du installera i någon annan katalog går det bra att ändra detta. Därefter kontrolleras diskutrymmet och sedan börjar upppackning och kopiering av filer och en programgrupp skapas med en ikon. Ikonen kan Du flytta till en annan grupp om Du vill.

Innan Du startar gasolprogrammet ska Du titta i kontrollpanelen i huvudgruppen på "internationell" så att decimalpunkt och inte decimalkomma används i sifferformat.

### 3 Vad kan jag göra med **Gasol**?, valda beräkningsmodeller.

Nedan ges en kortfattad teoretisk genomgång av de beräkningsmodeller som utnyttjas i programmet. Detta för att underlätta förståelsen av de utdata som ges från de olika delberäkningarna. I många fall grundas beräkningarna på enkla handräkningsuttryck och där så är fallet återges dessa uttryck i manualen. När mera omfattande modeller används ges en kort beskrivning av modellen och en hänvisning till ytterligare dokumentation.

#### 3.1 Utsläpp av gasol

I detta kapitel beskrivs de beräkningsmodeller som används i **Gasol** för att beräkna storleken av ett utsläpp och utsläppshastigheten, dvs massflödet i kg/s. Det finns tre huvudtyper av utsläpp: gas- och vätskefas samt tvåfasutsläpp.

##### 3.1.1 Gasutströmning

Om gasolen som släpps ut lagras som gas, kommer utsläppet att vara ett rent gasutsläpp. För att de modeller som utnyttjas i programmet ska gälla krävs det att gasformig gasol kan behandlas som en ideal gas. För en ideal gas gäller att en viss bestämd volym, för olika gaser, vid en och samma temperatur och vid samma tryck innehåller samma antal molekyler. Detta gäller för gaser med låg molekylvikt och vi antar att detta gäller för gasol (propan), som har en **molekylvikt på 44 g/mol**. Detta antagande ligger till grund för samtliga nedan redovisade utsläppsmodeller för gasformig gasol.

För en ideal gas behövs två fysikaliska konstanter, **R** och  $\gamma$ , för att beskriva gasens egenskaper. **R** är gaskonstanten för gasen och definieras i uttrycket

$$\mathbf{R} = C_p - C_v \quad [3:1]$$

$C_p$  = specifikt värme vid konstant tryck (J/kgK)  
 $C_v$  = specifikt värme vid konstant volym (J/kgK)

Om man ska vara helt korrekt är storleken på **R** beroende på gasens sammansättning. För att ta hänsyn till den gas som beräkningarna genomförs för införs den universella gaskonstanten **R\***. Förhållandet mellan R och R\* ges i uttrycket nedan:

$$\mathbf{R} = \frac{\mathbf{R}^*}{M_w} \quad [3:2]$$

$M_w$  = molvikt för gasen (g/mol)

I strömningsberäkningar används ofta  $\gamma$ , som betecknar Poisson's kvot

$$\gamma = \frac{C_p}{C_v} \quad [3:3]$$

Följande omskrivningar kan också göras

$$C_v = \frac{R}{\gamma - 1}; \quad C_p = \frac{\gamma R}{\gamma - 1} \quad [3:4]$$

$R^*$  kallas **Universella gaskonstanten** och är lika med **8 314 J/K·mol**.  
 $\gamma$  för gasol är **1.13**.  $R = 8 314/44 \text{ J/K·mol}$

Vid utsläpp av gas från ett hål i en tank eller från ett hål i rör nära tanken skiljer man mellan två möjliga strömningstillstånd:

- **kritisk strömning**, den utströmmande gasen har nått ljudhastigheten
- **icke-kritisk strömning**, den utströmmande gasen har inte nått ljudhastigheten

Enligt [1] gäller följande samband:

För **kritisk strömning** gäller,  $P_e > P_a$

$$P_0 \geq \left( \frac{\gamma + 1}{2} \right)^{\frac{\gamma}{\gamma - 1}} \cdot P_a \quad [3:5]$$

Uttrycket i 3:4 gäller med  $\gamma = 1.13$

Uttrycket för massflödet  $Q$ , (kg/s) blir

$$Q = C_d \cdot \frac{P_0}{\sqrt{RT_0}} \sqrt{\gamma} \left( \frac{2}{\gamma + 1} \right)^{\frac{\gamma + 1}{2(\gamma - 1)}} \quad [3:6]$$

För det kritiska trycket  $P_e$  i utloppet gäller

$$P_e = \left( \frac{2}{\gamma + 1} \right)^{\frac{\gamma}{\gamma - 1}} \cdot P_0 \quad [3:7]$$

För **icke-kritisk strömning** gäller

$$P_0 \leq \left( \frac{\gamma + 1}{2} \right)^{\frac{\gamma}{\gamma - 1}} \cdot P_a \quad [3:8]$$

Utloppstrycket  $P_e$  är lika med atmosfärstrycket  $P_a$  och massflödet ges av

$$Q = C_d A \sqrt{\frac{2\gamma}{\gamma - 1}} \cdot \frac{P_a}{\sqrt{RT_0}} \left( \frac{P_0}{P_a} \right)^{\frac{\gamma - 1}{\gamma}} \cdot \sqrt{1 - \left( \frac{P_a}{P_0} \right)^{\frac{\gamma - 1}{\gamma}}} \quad [3:9]$$

I utloppet gäller

$$T_e = T_0 \left( \frac{P_a}{P_0} \right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} \quad [3:10]$$

$$u_e = \left( \frac{Q}{C_d A} \right) \cdot \frac{RT_e}{P_a} \quad [3:11]$$

A	=	utsläppsarean (m <sup>2</sup> )
C <sub>d</sub>	=	utströmningskoefficient <1
P <sub>a</sub>	=	trycket i omgivningen (Pa)
P <sub>e</sub>	=	trycket vid utloppet (Pa)
P <sub>0</sub>	=	trycket i behållaren (Pa)
T <sub>e</sub>	=	temperaturen vid utloppet (K)
T <sub>0</sub>	=	temperaturen i behållaren (K)
u <sub>e</sub>	=	hastigheten vid utloppet (m/s)
ρ <sub>g</sub>	=	gasens densitet i behållaren (kg/m <sup>3</sup> )

### 3.1.1.1 Utströmning från hål på rör/rörbrott/ventilläckage

Vid utsläpp från hål på rör, rörbrott eller vid ventilläckage görs beräkningar med hjälp av de modeller som beskrivs i avsnitt 3.1.1.

### 3.1.1.2 Utströmning genom flänsäckage

När ett utsläpp sker genom att en fläns har skadats kan utsläppet i princip likställas med ett utsläpp genom ett trasigt rör. Det finns inte någon modell som är speciellt ägnad åt att beräkna utsläpp från trasiga flänsar. I programmet utnyttjas den modell som beskrivs i avsnitt 3.1.1. Det som skiljer beräkningarna åt är att vid ett flänsbrott är hålets area mindre än om hela röret går av. I indata till programmet föreslås att läckagearean sätts till 10% av rörets tvärsnittarea. Detta är ett antagande och det går naturligtvis att ge vilket värde man vill på utsläppsyntans storlek. I beräkningsmodellen antages att hela utsläppet sker koncentrerat till ett hål med den angivna arean. Detta är en överskattning av utsläppets förlopp och ger det värsta fallet för vidare beräkning av gasolens spridning.

### 3.1.1.3 Utsläpp genom hål i tank

Vid utsläpp från hål i en tank görs beräkningar med hjälp av de modeller som beskrivs i avsnitt 3.1.1.

### 3.1.1.4 Utsläpp genom totalt tankbrott

När en tank skadas så mycket att hela tanken rämnan töms hela tankinnehållet under ett mycket kort tidsintervall. Man talar om ett momentant utsläpp. Med detta begrepp menas att hela innehållet i tanken kommer ut på en gång. Detta innebär att det inte är fråga om att beräkna



någon utsläppshastighet utan enbart beräkna spridning. Spridning från ett momentant gasutsläpp beskrivs i avsnitt 3.3.2.

### 3.1.2 Utsläpp vid lagring av kondenserad gasol

Vid utsläpp av lagrad kondenserad gasol är en rad olika utsläppssituationer möjliga beroende på bland annat tryck och temperatur och på hålets placering. Generellt gäller att om vätskan har ett mättnadstryck  $P_s$  som är större än atmosfärstrycket  $P_a$ , dvs om gasolens kokpunkt  $T_b$  vid atmosfärstryck understiger lagringstemperaturen  $T_0$  så talar man om tryck-kondenserad gasol. De utsläppssituationer som finns medtagna i **Gasol** för utsläpp av kondenserad gasol är

- \* hål på rör/rörbrott/ventilläckage, beskrivning i 3.1.2.1
- \* flänsläckage, beskrivning i 3.1.2.2
- \* hål i gasfasen, beskrivning i 3.1.2.3
- \* hål nära vätskeytan, beskrivning i 3.1.2.4
- \* hål i botten, beskrivning i 3.1.2.5
- \* hål på rör från tank, beskrivning i 3.1.2.6
- \* rämnad tank, beskrivning i 3.1.2.7
- \* BLEVE, beskrivning i 3.7

Att göra beräkningar på tryckkondenserad gasol är betydligt mera komplicerat än att räkna på ett rent gasutsläpp. Vid ett utsläpp av kondenserad gasol sänks trycket drastiskt och volymen ökar. En tvåfasblandning bildas som består av ånga och vätska i form av vätskedroppar eller aerosol. Den partiella förångning som inträffar vid utsläppet kallas ofta flashing.

#### 3.1.2.1 Utsläpp genom hål på rör/rörbrott/ventilläckage

Gasol som lagras under tryck, så att  $P_0 > P_s$ , befinner sig i kondenserad fas vid jämvikt. Vid ett utsläpp genom hål på rör, genom rörbrott eller genom en trasig ventil, gäller att massflödet  $Q$  kan enligt [2] beräknas som

$$Q = \frac{A \Delta H_v}{\frac{1}{\rho_g} - \frac{1}{\rho_l}} \cdot \frac{1}{\sqrt{T_0 C_{pl}}} \quad [3:12]$$

Vid denna typ av utsläpp är den utsläppta kondenserade gasolen mättad med ånga och utsläppet kommer att ske som ett tvåfasflöde.

- A = utsläppsarean (m<sup>2</sup>)
- $C_{pl}$  = specifikt värme för vätskan vid konstant volym (J/kgK)
- $\Delta H_v$  = förångningsvärme för gasol (J/kg)
- $P_s$  = mättnadstryck för gasol (Pa)
- $P_0$  = trycket i behållaren (Pa)
- $T_0$  = temperaturen i behållaren (K)
- $\rho_g$  = densitet för gasformig gasol (kg/m<sup>3</sup>)
- $\rho_l$  = densitet för vätskeformig gasol (kg/m<sup>3</sup>)

### 3.1.2.2 Utsläpp genom flänsläckage

När ett utsläpp sker genom att en fläns har skadats kan utsläppet i princip likställas med ett utsläpp genom ett trasigt rör. Det finns inte någon modell som är speciellt ägnad åt att beräkna utsläpp från trasiga flänsar. I programmet utnyttjas den modell som beskrivs i avsnitt 3.1.2.1. Det som skiljer beräkningarna åt är att vid ett flänsbrott är hålets area mindre än om hela röret går av. I indata till programmet föreslås att läckagearean sätts till 10% av rørets tvärsnittarean. Detta är ett antagande och det går naturligtvis att ge vilket värde man vill på utsläppsyttans storlek. I beräkningsmodellen antages att hela utsläppet sker koncentrerat till ett hål med den angivna arean. Detta är en överskattning av utsläppets förlopp och ger det värsta fallet för vidare beräkning av gasolens spridning.

### 3.1.2.3 Utsläpp genom hål i gasfasen

Vid ett utsläpp som sker genom ett hål i den del av tanken där gasolen är i gasform görs beräkningarna enligt den modell som beskrivs i avsnitt 3.1.1.1.

### 3.1.2.4 Utsläpp genom hål nära vätskeytan

Vid ett utsläpp från tanken, som sker nära vätskeytan, kommer följden att bli ett tvåfasutsläpp. Beräkningarna sker enligt metoden i avsnitt 3.1.2.1, ekvation 3.12.

### 3.1.2.5 Utsläpp genom hål i botten av en behållare

Om utsläppet sker i botten på behållaren kommer utsläppet att bestå av enbart vätska. För beräkning av denna typ av utsläpp används Bernoulli's ekvation

$$Q = C_d A \rho_1 \left[ \frac{2\Delta P}{\rho_1} + 2gH \right]^{0.5} \quad [3:13]$$

A	=	utsläppsarean (m <sup>2</sup> )
C <sub>d</sub>	=	utströmmningskoefficient <1
g	=	tyngdaccelerationen (9.81 m/s <sup>2</sup> )
H	=	vätskepelarens höjd över utsläppspunkten (m)
ΔP	=	P <sub>0</sub> -P <sub>a</sub> (Pa)
ρ <sub>1</sub>	=	densitet för vätskeformig gasol (kg/m <sup>3</sup> )

### 3.1.2.6 Utsläpp genom hål på rör från tank

Gasol som lagras under tryck, så att P<sub>0</sub>>P<sub>s</sub>, befinner sig i kondenserad fas. Vid ett utsläpp genom hål av något slag på ett rör från tanken, gäller att massflödet Q, enligt [2] kan beräknas som:

$$Q = \frac{F}{\sqrt{N}} \cdot \frac{A \Delta H_v}{\frac{1}{\rho_g} - \frac{1}{\rho_l}} \cdot \frac{1}{\sqrt{T_0 C_{pl}}} \quad [3:14]$$

Om  $L_p$ , avståndet från behållaren till skadan, är mindre än 0.1 m hinner inte ett tvåfasflöde i jämvikt att bildas i röret före utsläppspunkten, ekv 3.14 får då korrigeras med faktorn  $N$  enligt 3.15 nedan, friktionsfaktorn  $F$  sättes till  $1$  vid så korta längder.

$$N = \frac{\Delta H_v^2}{2 \cdot \Delta P \cdot \rho_l C_d^2 \left( \frac{1}{\rho_g} - \frac{1}{\rho_l} \right) T_0 C_{pl}} + \frac{L_p}{0.1} \quad [3:15]$$

- A = utsläppsarean (m<sup>2</sup>)
- C<sub>d</sub> = utströmningskoefficient <1
- C<sub>pl</sub> = specifikt värme för vätskan vid konstant volym (J/kgK)
- D = rörets diameter (m)
- ΔH<sub>v</sub> = förångningsvärme för gasol (J/kg)
- L<sub>p</sub> = avstånd från tanken till utsläppspunkten (m)
- ΔP = P<sub>0</sub>-P<sub>a</sub> (Pa)
- P<sub>a</sub> = trycket i omgivningen (Pa)
- P<sub>0</sub> = trycket i behållaren (Pa)
- T<sub>0</sub> = temperaturen i behållaren (K)
- ρ<sub>g</sub> = densitet för gasformig gasol (kg/m<sup>3</sup>)
- ρ<sub>l</sub> = densitet för vätskeformig gasol (kg/m<sup>3</sup>)

Vid utsläpp, av kondenserad gasol, som sker på avstånd från tanken som är längre än 0.1 m hinner ett tvåfasflöde att stabilisera sig i röret,  $N$  sättes då =1. Det är däremot nödvändigt att även ta hänsyn till rörets utformning när man vill beräkna utsläppsflödet. Detta göres genom att man introducerar en friktionsfaktor  $F$  (se ekvation 3:14) som beror på förhållandet mellan rörets längd  $L_p$  och diameter  $D$ .

Värdet på  $F$  ges i **tabell 1**:

**Tabell 1**

Friktionsfaktorn  $F$  som funktion av  $L_p/D$

$L_p/D$	$F$
0	1
50	0.85
100	0.75
200	0.65
400	0.55

### 3.1.2.7 Totalt tankbrott

När en tank skadas så mycket att hela tanken rämnrar töms hela tankinnehållet under ett mycket kort tidsintervall. Man talar om ett momentant utsläpp. Med detta begrepp menas att hela innehållet i tanken kommer ut på en gång. Detta innebär att det inte är fråga om att beräkna någon utsläppstid utan enbart beräkna spridning. Spridning från ett momentant gasutsläpp beskrivs i avsnitt 3.3.5.

## 3.2 Förångning av vätskeformig gasol

Vid utsläpp av vätskeformig gasol kan det ibland bildas en pöl av flytande gasol. Omedelbart vid utsläpp av kondenserad gasol avgår alltid en del av gasolen som gas. Man talar om att en del gasol "flashar" vid utsläppet. Den andel som avgår på detta sätt kan beräknas enligt formel [3:16]

$$F_g = \frac{C_{pl}}{\Delta H_v} \cdot (T_0 - T_{bp}) \quad [3:16]$$

$C_{pl}$	=	specifikt värme för vätskeformig gasol vid konstant tryck (J/kgK)
$F_g$	=	andelen gasol som flashar vid utsläppet
$\Delta H_v$	=	förångningsvärme för gasol (J/kg)
$T_{bp}$	=	kokpunkten för gasol (K)
$T_0$	=	temperaturen i behållaren (K)

Vid genomförda försök med utsläpp av kondenserade gaser har man emellertid funnit att en betydligt större andel än den som beräknas enligt ekvation 3:16 direkt följer med upp i gasmolnet vid utsläppet. Det är kan vara lämpligt att sätta den andel som direkt går upp i gasmolnet till 2 gånger  $F_g$ . Detta antagande utnyttjas vid beräkningarna i programmet.

Vid flertalet utsläppssituationer kommer all utsläppt gasol att transporteras bort som gas eller en blandning av gas och vätska (aerosol). Vid utsläpp som är riktade rakt ner och som sker från botten av en behållare kan en pöl med flytande gasol bildas. Denna pöl kommer att förångas om inte några skyddsåtgärder vidtas. Det finns flera olika modeller för att beräkna förångningen från en pöl. Vilken man väljer beror främst på den utsläppta substansens kokpunkt i förhållande till omgivningens temperatur. Gasol har en kokpunkt på  $-42^\circ\text{C}$  och detta är i de flesta fall betydligt kallare än den omgivande luften. Vi använder därför en modell som är framtagen av Jensen [3], som passar för dessa förhållanden. Vid denna typ av utsläpp blir den största möjliga förångningshastigheten lika med utsläppshastigheten. Om utsläppet sker inom en invallning eller på annat sätt avgränsat område blir den största möjliga förångningshastigheten beroende av storleken på den avgränsade området. Tiden  $t_d$  för förångningshastigheten att bli lika stor som utsläppshastigheten kan beräknas enligt:

$$t_d = \frac{r_{\max}^{4/3} \cdot (2\pi)^{1/3}}{(g \cdot V)^{1/3}} \quad [3:17]$$

$$r_{\max} = \frac{\rho_l^{3/4} V^{5/8}}{g^{1/8} s^{3/4}} \cdot \left(\frac{8}{3}\right)^{3/4} \cdot \frac{1}{\pi} \cdot \frac{1}{(2\pi)^{5/8}} \quad [3:18]$$

$$s = \frac{\Delta T}{\Delta H_v} \sqrt{\frac{\rho \lambda}{\pi}} c_{gr} \quad [3:19]$$

I beräkningarna väljs det minsta värdet av  $r_{\max}$  och  $r_p$  (storleken på inneslutningen). Den maximala förångningshastigheten  $Q_{ev}$  beräknas enligt

$$C = \frac{3}{4} \cdot \sqrt{2 \cdot \pi \cdot g \cdot V} \quad [3:20]$$

$$Q_{ev} = \frac{s \cdot C \cdot \pi}{2} \cdot t_d \quad [3:21]$$

$c_{gr}$	=	$c_p$ för marken (typiskt värde = 1000 (J/kgK))
$g$	=	tyngdaccelerationen (9.81 m/s <sup>2</sup> )
$\Delta H_v$	=	förångningsvärme för gasol (J/kg)
$\Delta T$	=	$T_0 - T_a$ (K)
$T_0$	=	temperatur i behållaren (K)
$T_a$	=	omgivningens temperatur (K)
$V$	=	volymflöde till pölen (m <sup>3</sup> /s)
$\lambda$	=	värmeledningsförmåga för marken (typiskt värde = 1 W/mK)
$\rho_{gr}$	=	markens densitet (typiskt värde = $2 \cdot 10^{-3}$ kg/m <sup>3</sup> )

I de fall då  $t_d$  är kortare än utsläppstiden ersätts  $t_d$  med utsläppets varaktighet vid beräkningarna

### Utsläpp utan invallning eller andra naturliga hinder

Inom anläggningar där man handskas med kemikalier av olika slag är det vanligt att behållare står i invallningar, för att ett eventuellt utsläpp ska spridas till minsta möjliga område. Om invallning eller hinder helt saknas kan den yta som spillet kommer att täcka enligt [3] beräknas med nedanstående uttryck:

$$A = 5.67 \cdot m^{0.492} \quad [3:22]$$

$A$	=	utsläppets area (m <sup>2</sup> )
$m$	=	utsläppt mängd gasol (kg)

### Utsläpp av gasol när $T_0 = T_a \ll T_{bp}$

När omgivningens temperatur är lägre än kokpunkten för gasol, -42°C, får vi utnyttja en annan förångningsmodell än då omgivningens temperatur är högre än kokpunkten för gasol. Ska man vara helt korrekt så ska omgivningens temperatur vara mycket lägre än gasolens kokpunkt för att modellen ska vara bra, men i brist på bättre modell får vi utnyttja den även när omgiv-

ningens temperatur är lika med eller obetydligt lägre än kokpunkten för gasol. Vi använder en modell som är framtagen av Kanury [4] och som baseras på det dimensionslösa mass-transporttalet B.

$$Y_{FW} = 1 / \left[ 1 + \left[ \left( \frac{P_a}{P_f} \right) - 1 \right] \cdot \left( \frac{M_{air}}{M_f} \right) \right] \quad [3:23]$$

$$B = (Y_{F\infty} - Y_{FW}) / (Y_{FW} - Y_{FR}) \quad [3:24]$$

$$Re = u \cdot D / \nu \quad [3:25]$$

$$Nu = 0.037 \cdot Re^{4/5} \cdot Pr_{air}^{1/3} \quad [3:26]$$

$$h = Nu \cdot k_{air} / D \quad [3:27]$$

$$m_f'' = (h / C_{p,air}) \cdot \ln(1 + B) \quad [3:28]$$

B	=	masstransporttal
$C_{p,air}$	=	specifikt värme för luft (1 kJ/kgK)
D	=	pölens diameter (m)
h	=	konvektivt värmeövergångstal (W/m <sup>2</sup> K)
$k_{air}$	=	värmeledningstal för luft (0.02568 W/mK)
$u_f$	=	förångningshastigheten från pölen (g/m <sup>2</sup> s)
$M_{air}$	=	molekylvikt för luft (29 g/mol)
$M_f$	=	molekylvikt för gasol (44 g/mol)
Nu	=	Nusselts tal
$P_a$	=	lufttryck (normalt = 760 mmHg)
$P_f$	=	ångtryck för gasol (mmHg)
$Pr_{air}$	=	Prandtsl tal för luft (0.71)
Re	=	Reynolds tal
u	=	vindhastigheten (m/s)
$Y_{FR}$	=	massfraktion gasol i pölen (sättes = 1)
$Y_{FW}$	=	massfraktion gasol i gasfasen vid vätskeytan
$Y_{F\infty}$	=	massfraktion gasol i luften ovanför pölen (sättes = 0)
$\nu$	=	kinematisk viskositet för luft (15.08·10 <sup>-6</sup> m <sup>2</sup> /s)

### 3.3 Spridning av utsläppt gasol

Vid ett utsläpp av gasol är det i de flesta fall viktigt att kunna bedömma spridningen av den utsläppta gasolen.

När man studerar gasspridning skiljer man på gaser som är lätta, neutrala eller tunga. Det är gasens densitet i förhållande till luftens densitet vid gällande tryck och temperatur som avgör om den utsläppta gasen är lätt, neutral eller tung. Följande indelning görs:

$\rho_g < \rho_{\text{luft}}$	<b>lätt gas</b>
$\rho_g \approx \rho_{\text{luft}}$	<b>neutral gas</b>
$\rho_g > \rho_{\text{luft}}$	<b>tung gas</b>

Gasol är en tung gas, men vid stor utspädning, dvs lång från utsläppskällan, närmar den sig de förhållanden som gäller för en neutral gas. Vid beräkningar med **Gasol** tas hänsyn till gasblandningens densitet i förhållande till den omgivande luftens densitet. När densitetskillnaden blir mindre än 1 % byter programmet från en modell för spridning av tung gas till en modell för spridning av neutrala gaser. För gasol sker detta vid en ungefärlig koncentration av 1.8 % gasol i gasmolnet. För samtliga spridningsberäkningar gäller att beräkningen görs fram till det avstånd från utsläppspunkten som givits som indata. I den grafiska presentationen återges spridningen fram till en gasolkoncentration som motsvarar 1/4 av nedre brännbarhetsgränsen. Det motsvarar en gasolkoncentration på 5000 ppm eller 0.5 %.

För att kunna beräkna olika utsläppssituationer utnyttjas i **Gasol** fem modeller för gasspridning. Dessa modeller gäller för följande situationer:

<b>Neutral gas</b>	<b>Kontinuerligt utsläpp</b>	se avsnitt 3.3.1
<b>Neutral gas</b>	<b>Momentant utsläpp</b>	se avsnitt 3.3.2
<b>Tung gas</b>	<b>Jet</b>	se avsnitt 3.3.3
<b>Tung gas</b>	<b>Kontinuerligt utsläpp</b>	se avsnitt 3.3.4
<b>Tung gas</b>	<b>Momentant utsläpp</b>	se avsnitt 3.3.5

I avsnitt 3.3.1 - 3.3.5 ges beskrivningar av de fem modelltyper för spridningsberäkningar som används i **Gasol**.

#### 3.3.1 Spridning av neutral gas, kontinuerligt utsläpp

Vid spridning av en neutral gas använder man sig av s k Gaussiska spridnings modeller. Namnet kommer av att man antar att gasen i molnet fördelar sig enligt en Gaussisk modell. Dessa modeller beskriver utsläpp i vindriktningen av en neutral gas som sprids med vindhastigheten. Nedan ges det generella uttrycket enligt [1] för spridning vid ett kontinuerligt utsläpp av en neutral gas:

$$C = \frac{Q}{2\pi\sigma_y\sigma_z u} \left[ \exp \frac{-y^2}{2\sigma_y^2} \right] \left[ \exp \frac{-(z-H_u)^2}{2\sigma_z^2} + \exp \frac{-(z+H_u)^2}{2\sigma_z^2} \right] \quad [3:29]$$

C	=	koncentration i punkten (x, y, z) (kg/m <sup>3</sup> )
H <sub>u</sub>	=	utsläppshöjd över marken, inklusive plymlyft (m)
Q	=	utsläppshastighet (kg/s)
u	=	vindhastighet (m/s)
x, y, z	=	avstånd från utsläppspunkten (m) x = i vindriktningen, y = vinkelrätt mot vindriktningen, z = höjd över marken
σ <sub>y</sub>	=	dispersionskoefficient (m), en funktion av avståndet från utsläppspunkten
σ <sub>z</sub>	=	dispersionskoefficient (m), en funktion av avståndet från utsläppspunkten

För en mer genomgående redovisning av teorin bakom den gaussiska spridningsmodellen hänvisas till läroböcker i ämnet.

Dispersionskoefficienterna σ<sub>y</sub> och σ<sub>z</sub> finns tillgängliga som grafer,[1], eller i ekvationsform. Gemensamt för dessa är att koefficienterna beror dels på avståndet från utsläppspunkten och på den rådande väderleken. Nedan ges uttryck för σ<sub>y</sub> och σ<sub>z</sub> för väderlekstyp D, dvs neutral skiktning.

$$\begin{aligned}\sigma_y(x) &= 0.16x(1 + 0.004x)^{-0.5} \\ \sigma_z(x) &= 0.14x(1 + 0.0003x)^{-0.5}\end{aligned}\quad [3.30 \text{ a,b}]$$

x	=	avstånd från utsläppspunkten (m)
σ <sub>y</sub> (x), σ <sub>z</sub> (x)	=	dispersionskoefficienter (m)

### 3.3.2 Spridning av neutral gas, momentant utsläpp

Vid spridning av en neutral gas använder man sig av s k Gaussiska spridningsmodeller. Namnet kommer av att man antar att gasen i molnet fördelar sig enligt en Gaussisk modell. Dessa modeller beskriver utsläpp i vindriktningen av en neutral gas som sprids med vindhastigheten. Nedan ges det generella uttrycket, enligt [1], för spridning vid ett momentant utsläpp av en neutral gas:

$$C = \frac{M}{(2\pi)^{3/2} \sigma_x \sigma_y \sigma_z} \left\{ \exp \left[ -\frac{(x-ut)^2}{2\sigma_x^2} - \frac{y^2}{2\sigma_y^2} \right] \right\} \left[ \exp \frac{-(z-H_u)^2}{2\sigma_z^2} + \exp \frac{-(z+H_u)^2}{2\sigma_z^2} \right] \quad [3.31]$$

C	=	koncentration i punkten (x,y,z) (kg/m <sup>3</sup> )
H <sub>u</sub>	=	höjd över marken, inklusive plymlyft (m)
M	=	utsläppt mängd (kg)
t	=	tid efter utsläppstillfället (s)
u	=	vindhastigheten (m/s)
x, y, z	=	avstånd från utsläppspunkten (m) x = i vindriktningen, y = vinkelrätt mot vindriktningen, z = höjd över marken
σ <sub>x</sub>	=	dispersionskoefficient (m), en funktion av avståndet från utsläppspunkten
σ <sub>y</sub>	=	dispersionskoefficient (m), en funktion av avståndet från utsläppspunkten
σ <sub>z</sub>	=	dispersionskoefficient (m), en funktion av avståndet från utsläppspunkten



### 3.3.3 Spridning av en tung gas i form av en jet

Den vanligaste utsläppstypen vid ett icke planerat utsläpp av gasol eller en annan tung gas är i form av en jet. Denna typ av utsläpp har i sig inbyggt ett kraftigt moment som slungar iväg gasen från utsläppstället i en kraftig stråle. Varteftersom jeten kommer längre bort från utsläppspunkten så blandas alltmer luft in den. Detta medför att jeten blir större och större ju längre bort den kommer, dvs jetens radie ökar samtidigt som dess densitet minskar. I programmet används modellen **Great**, [5], utvecklad vid Risø forskningscenter i Danmark, för att beräkna vad som händer vid denna typ av utsläpp.

### 3.3.4 Spridning av tung gas, kontinuerligt utsläpp

Vid modellering av spridning av ett kontinuerligt utsläpp av en tung gas måste hänsyn tas till tre olika regimer under utsläppet. Dessa kan indelas i **tyngdkraftsdominerat område**, **stabilt skiktat område** och **område med passiv spridning**. Dessa områden kan överlappa varandra och vara olika uttalade vid olika utsläppssituationer. För att en modell med godtagbar noggrannhet ska kunna representera vad som händer i en verklig utsläppssituation måste delmodeller för samtliga delar av spridningsförloppet finnas med. I **Gasol** används modellen **Great**, [5], utvecklad vid Risø Forskningscenter i Danmark för dessa beräkningar.

För att beskriva vad som sker i gasmolnet utnyttjas en modell av sk boxtyp. Med begreppet boxmodell avses att molnet ses som en avgränsad enhet, dvs koncentrationen antas vara densamma tvärsöver hela molnet. Koncentrationen beror endast på avståndet från utsläppspunkten.

### 3.3.5 Spridning av tung gas, momentant utsläpp

Med ett momentant utsläpp avses ett utsläpp som har en mycket kort varaktighet. Det kanske pågår i 5 till 30 sekunder. Den utsläppta mängden gasol transporteras här som ett moln som småningom späds ut med luft. Vid beräkningarna används i programmet modellen **SLAB** [6], som tagits fram i USA. Programmet bygger på modeller som ursprungligen tagits fram av Zeman [7]. Det tunga gasmolnet antas ha samma koncentration i hela molnet och avgörande för utspädningen är avståndet från utsläppspunkten och vädrets påverkan på molnet.

## 3.4 Jetflamma vid utsläpp av gasol

När ett utsläpp från en behållare med kondenserad gasol antänds får man en kraftig flamma, en jetflamma. Storleken av denna kan beräknas med hjälp av empiriska uttryck. I programmet har valts en modell av Hawthorne, Weddel och Hottel [8] för gasformiga utsläpp och en annan modell för utsläpp av kondenserad gasol.

### 3.4.1 Jetflamma från gasformig gasol

För beräkning av längden av den jetflamma, som bildas vid antändning av ett gasformigt gasol-utsläpp används följande modell enligt [8]:

$$L = d_0 \cdot 5.3 / C_f \sqrt{\frac{T_f}{nT_0} (C_f + (1 - C_f) \cdot M_{\text{air}} / M_f)} \quad [3:32]$$

$$C_f = (1 + r_i) / (1 + r) \quad [3:33]$$

$d_0$	=	ursprunglig jetdiameter = håldiametern (m)
$L$	=	flammans längd (m)
$M_{\text{air}}$	=	molekylvikt för luft (29 g/mol)
$M_f$	=	molekylvikt för gasol (44 g/mol)
$n$	=	förhållandet mellan antalet mol reaktanter och antalet mol produkter för stökiometrisk blandning
$r$	=	stökiometriskt förhållande luft/gasol
$r_i$	=	ursprungligt förhållande luft/gasol (antages = 0 eftersom gasol och luft inte är förblandade)
$T_f$	=	flamtemperatur (K)
$T_0$	=	temperatur i behållaren (K)

### 3.4.2 Jetflamma från kondenserad gasol

För antända utsläpp från behållare med kondenserad gasol kan flamlängden  $L$  beräknas med följande uttryck enligt [1]:

$$L = 9.1 \cdot \sqrt{Q} \quad [3:34]$$

$L$	=	flammans längd (m)
$Q$	=	massflöde (kg/s)

Detta är ett empiriskt framtaget uttryck, dvs man har jämfört resultat från genomförda försök med utsläpp av gasol med den flamlängd som ekvation 3:34 ger.

### 3.5 Pölbrand

Vid utsläpp av kondenserad gasol är det under vissa förutsättningar möjligt att en pöl med flytande gasol kan bildas. Vi antar här att i de fall en antändning av pölen sker så äger denna rum så snart som pölen har bildats. För kontinuerliga utsläpp ger detta antagande en maximal förbränningshastighet som är lika med utsläppshastigheten eller lika med förångningshastigheten för en oändligt stor pöl multiplicerat med pölens area. För ett momentant utsläpp beräknas förbränningshastigheten enligt det senare alternativet. Nedan beskrivs de modeller som används i **Gasol** för beräkning av en pölbrand och dess påverkan på omgivningen. Hänsyn tas, i den valda modellen, som har tagits fram av Mudan och Croce [9], till inverkan av vinden på flammans lutning.

## Flamhöjd

För beräkning av flamhöjden används ett uttryck framtaget av Thomas [10]:

$$\frac{H_f}{D} = 42 \left[ \dot{m}'' / \rho_a \sqrt{g \cdot D} \right]^{0.61} \quad [3:35]$$

När pölbranden utsätts för påverkan av vind, kommer flammans att luta. Detta kan beräknas enligt ekvationerna nedan.

$$\cos \theta = \begin{cases} 1 & \text{for } u^* \leq 1 \\ 1/\sqrt{u^*} & \text{for } u^* \geq 1 \end{cases} \quad [3:36]$$

$$u^* = u / \left( \frac{g \cdot \dot{m}'' \cdot D}{\rho_a} \right)^{1/3} \quad [3:37]$$

D	=	pölens diameter (m)
g	=	tyngdaccelerationen (9.81 m/s <sup>2</sup> )
H <sub>f</sub>	=	flammans höjd (m)
$\dot{m}''$	=	pölens förbränningshastighet (kg/m <sup>2</sup> s)
u	=	vindhastighet (m/s)
u*	=	dimensionslös vindhastighet (m/s)
$\rho_a$	=	luftens densitet (kg/m <sup>3</sup> )

## Strålning

Den strålning som avges från pölbranden kan också beräknas. I programmet utnyttjas följande beräkningsmodell, enligt [9].

$$E_{av} = E_m \cdot e^{-S_e D} + E_s (-e^{-S_e D}) \quad [3:38]$$

D	=	pölens diameter (m)
E <sub>m</sub>	=	maximal emission från lysande punkter (140 kW/m <sup>2</sup> )
E <sub>s</sub>	=	emission från rök (20 kW/m <sup>2</sup> )
S <sub>e</sub>	=	experimentellt bestämd parameter (0.12/m)

Den strålning som avges från den brinnande pölen ges av

$$I = E_{av} \cdot \tau \cdot F_{max} \quad [3:39]$$

$\tau$  är transmissionen och denna ges av

$$\tau = 1.11 \cdot x^{-0.09} \quad [3:40]$$

x är avståndet mellan mottagaren av strålningen och centrum av pölen. F<sub>max</sub> är maximal synfaktor

$$F_{\max} = \sqrt{F_v^2 + F_h^2} \quad [3:41]$$

$F_v$  och  $F_h$  är vertikal och horisontell synfaktor. Dessa kan beräknas enligt metod beskriven i [9]. Två risknivåer för strålningspåverkan har valts, 5.0 kW/m<sup>2</sup> och 2.5 kW/m<sup>2</sup>.

### 3.6 Totalt tankbrott

Vid bedömningen av händelseförloppet vid ett totalt tankbrott används två olika modeller för att beräkna vad som inträffar. Dels beräknas, med hjälp av en empirisk formel hur många tankfragment som flyger iväg vid tankbrottet och dels beräknas sprängverkan av den mängd gasol som fanns i tanken vid brottet.

Antalet delar som bildas av tanken när den rämnar beräknas enligt uttrycket i [1] nedan:

$$N = -3.77 + 0.0086 \cdot V_t \quad [3:42]$$

Ekvation 3:42 gäller för tankar med en volym inom intervallet 700-2500 m<sup>3</sup>. Vid beräkningarna antages att samtliga tankfragment är lika stora. Därigenom kan vikten av varje del bestämmas, liksom fragmentens yta. Här antages att tanken är en sfär. Den hastighet varmed tankdelarna slungas iväg kan då beräknas enligt 3:43.

$$u_0 = 1.25 \cdot (P_b \cdot d^3 / W_f)^{0.5} \quad [3:43]$$

$d$	=	tankfragmentens diameter (m)
$N$	=	antal tankfragment
$P_b$	=	tankens bristningstryck (Pa)
$u_0$	=	begynnelsehastighet (m/s)
$V_t$	=	tankens volym (m <sup>3</sup> )
$W_f$	=	tankfragmentens vikt (kg)

För att beräkna den sprängverkan som gasolen kan få när tanken rämnar räknar man om mängden gasol till en motsvarande mängd TNT (trinitrotoluen, ett sprängämne). Detta görs enligt metod i [1]:

$$W = 1.4 \cdot 10^{-6} V (P_1 / P_2) (T_1 / T_2) R T_2 \ln(P_1 / P_3) \quad [3:44]$$

$P_1$	=	begynnelsestryck för den komprimerade gasen (Psia)
$P_2$	=	sluttryck för den expanderade gasen (Psia)
$P_3$	=	standardtryck, 14.7 Psia
$R$	=	gaskonstanten, 1.987 Btu/lb·mol/R
$T_1$	=	den komprimerade gasens temperatur (R)
$T_2$	=	standardtemperatur, 492 R
$V$	=	volym komprimerad gas (ft <sup>3</sup> )
$W$	=	energi given som lb TNT
$1.4 \cdot 10^{-6}$	=	omvandlingsfaktor, här antages att 2000 Btu = 1 lb TNT

Detta uttryck är framtaget och gäller med amerikanska enheter, omvandling till SI-enheter kan göras med hjälp av följande faktorer:

$$\begin{aligned}1 \text{ psia} &= 6.8948 \cdot 10^3 \text{ Pa} \\1 \text{ R} &= 0.55556 \text{ K} \\1 \text{ ft}^3 &= 28.317 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3 \\1 \text{ lb} &= 0.454 \text{ kg} \\1 \text{ Btu} &= 1.0551 \cdot 10^3 \text{ J}\end{aligned}$$

I de fall då bristningstrycket är okänt antages vid beräkningarna att bristningstrycket är fyra gånger designtrycket för tanken.

### 3.7 BLEVE

Vid ett plötsligt brott på en trycktank med överhettad vätska eller en kondenserad gas uppkommer en situation som ger upphov till en **BLEVE**. BLEVE står för **B**oiling **L**iquid **E**xpanding **V**apour **E**xplosion. Det handlar alltså om ett våldsamt tankbrott som innebär att en stor mängd vätska plötsligt släpps ut i atmosfären. Vid brottet på tanken kan stora tankfragment slungas iväg mycket långt från ursprungspositionen. Om den utsläppta gasolen antänds bildas ett eldklot, som genom sin strålning kan åstadkomma ytterligare skador.

En BLEVE kan bildas vid utsläpp av en överhettad vätska eller en kondenserad gas. Faktum är att de flesta kända BLEVE härrör från utsläpp av kondenserad gasol.

Med hjälp av programmet är det möjligt att beräkna storleken av en tänkbar BLEVE och vilka skador en sådan kan åstadkomma. Dels beräknas verkan av den tryckvåg som uppstår då den skadade tanken rämnar och dels beräknas skadorna på grund av värmestrålningen från de bildade eldklotet.

Eldklotets största diameter beräknas enligt följande

$$D_{\max} = 6.46 \cdot m^{0.325} \quad [3:45]$$

Eldklotets varaktighet är

$$t_{\text{BLEVE}} = 0.825 \cdot m^{0.26} \quad [3:46]$$

Eldklotets höjd blir

$$H_{\text{BLEVE}} = 0.75 \cdot D_{\max} \quad [3:47]$$

m = ursprunglig massa brännbar vätska (kg)

Modellen ovan är hämtad från referens [1].

Beräkningen av hur många tankfragment som bildas när tanken går sönder görs på samma sätt som vid totalt tankbrott.

Antalet delar som bildas av tanken när den rämnar beräknas enligt uttrycket nedan:

$$n = -3.77 + 0.0086 \cdot V_t \quad [3:48]$$

Ekvation 3:48 gäller för tankar med en volym inom intervallet 700-2500 m<sup>3</sup>. Vid beräkningarna antages att samtliga tankfragment är lika stora. Därigenom kan vikten av varje del bestämmas, liksom fragmentens yta. Här antages att tanken är en sfär. Den hastighet varmed tankdelarna slungas iväg kan då beräknas enligt 3:49.

$$u_0 = 2.05 \cdot (P_b \cdot d^3 / W_f)^{0.5} \quad [3:49]$$

d	=	tankfragmentens diameter (in)
n	=	antal tankfragment
P <sub>b</sub>	=	tankens bristningstryck (psig)
u <sub>0</sub>	=	begynnelsehastighet (ft/s)
V <sub>t</sub>	=	tankens volym (m <sup>3</sup> )
W <sub>f</sub>	=	tankfragmentens vikt (lb)

Hur långt tankfragmenten kastas iväg får man avläsa ur diagram.

### 3.8 Flashfire

Med flashfire avses antändning och förbränning av ett gasmoln, utan efterföljande explosion och tryckuppbyggnad. Vid beräkningarna för flashfire antages att molnet har formen av en halv ellipsoid. Längd och bredd hos molnet beräknas med hjälp av datormodellerna SLAB [6] och/eller GREAT [5]. Vidare antages att molnet expanderar till åtta gånger sin ursprungliga volym, när det antänds. Strålningen från det brinnande molnet antages komma från fem punktkällor [11]. Detta görs på liknande sätt som vid beräkning av strålning från en jetflamma. Den totalt avgivna strålningen beräknas enligt ekvation 3:50.

$$q_e = A_f \sigma \cdot (\epsilon_g T_g^4 - \epsilon_g T_a^4) \quad [3:50]$$

Varaktigheten av förbränningen och strålningens medeltemperatur kan också beräknas.

$$q_{\text{loss}} = C_p \rho V_f \frac{dT_g}{dt} \quad [3:51]$$

$$t_{\text{eff}} = 3 \cdot t_{1/2} \quad [3:52]$$

$$t_{1/2} = \frac{1}{2kT_a^3} \left[ \tan^{-1} \left( \frac{\beta+1}{2} \right) - \tan^{-1}(\beta) - \frac{1}{2} \ln \left( \frac{\beta+1}{\beta+3} \right) \right] \quad [3:53]$$

$$T_{g,\text{av}} = (T_{g,i} + T_a) / 2 \quad [3:54]$$

$$\beta = T_{g,i} / T_a \quad [3:55]$$

$$k = \frac{A_f \sigma}{C_p \rho V_f} \quad [3:56]$$

$A_f$	=	molnets area (m <sup>2</sup> )
$C_p$	=	specifikt värme för den varma gasen (J/kgK)
$q_e$	=	avgiven strålning (kW/m <sup>2</sup> )
$q_{loss}$	=	värmeförluster från det varma gasmolnet (kW/m <sup>2</sup> )
$t_{eff}$	=	varaktighet för förbränningen i gasmolnet (s)
$T_a$	=	omgivningens temperatur (K)
$T_g$	=	gasens temperatur i molnet (K)
$T_{g,av}$	=	medeltemperatur för gasen i molnet (K)
$T_{g,i}$	=	begynnelsestemperatur i gasmolnet (2185 K)
$V_f$	=	gasmolnets volym (m <sup>3</sup> )
$\epsilon_g$	=	emissiviteten för den varma gasen (antages = 1.0)
$\rho_g$	=	den varma gasens densitet (kg/m <sup>3</sup> )
$\sigma$	=	Stefan Boltzmanns konstant (5.76·10 <sup>-8</sup> W/m <sup>2</sup> K <sup>4</sup> )

### 3.9 Gasmolnsexplosion

Vid stora momentana utsläpp av gasol finns risken för en gasmolnsexplosion. Man talar ibland om en **UVCE**, **Unconfined Vapour Cloud Explosion**. För att beräkna tryckeffekterna från en gasmolnsexplosion används **TNT**-modellen. TNT står för trinitrotoluen, som är ett sprängämne. Modellen bygger på att man jämför den sprängverkan som gasol har med den effekt som erhålles med TNT. Energin i det brännbara molnet räknas om till en ekvivalent massa TNT [12] och detta jämförs sedan med tryckeffekten från en TNT-explosion. Den ekvivalenta massan ges av uttrycket nedan:

$$M_e = \frac{m \cdot \Delta H_c \cdot \eta}{\Delta H_{cTNT}} \quad [3:57]$$

$\Delta H_c$	=	förbränningsvärme för gasol (kJ/kg)
$\Delta H_{cTNT}$	=	förbränningsvärme för TNT (4450 kJ/kg)
$m$	=	massan brännbar gas (kg)
$M_e$	=	ekvivalent massa TNT (kg)
$\eta$	=	empirisk explosionsfaktor som varierar mellan 0.01-0.1, här antagen till 0.1

Effekten av en TNT explosion kan hämtas från kurvor i t ex [12].

## 4 Att köra **Gasol**

### 4.1 Start av programmet

Du startar programmet genom att välja filen **gasol.exe**.

Du får då upp första skärmbilden med ett antal tillgängliga menyer. Välj **Arkiv**, och sedan **Nytt fall** eller **Gammal indata**, om Du vill använda indata från en tidigare körning. Programmet är nu berett att göra beräkningar.

#### 4.1.1 Att avbryta beräkningarna

På varje skärmbild finns en ruta med texten **Avbryt**. Genom att klicka på denna kan Du alltid avbryta programmet och gå tillbaka till **Huvudmenyn**.



## 5 Att göra beräkningar med Gasol

Välj **Lagring** från huvudmenyn. Du får då upp en sida för val av utsläppstyp.

Börja med att ange **Lagringstemperatur i °C**, tryck på **Enter**. Programmet anger då gasols kondensationstryck vid den givna temperaturen.

Ange därefter **Lagringstryck i barö**. Programmet anger då om gasolen är i gas- eller vätskefas. Vilken fas gasolen har beror på tryck och temperatur. Gasols kokpunkt ligger på -42 °C vid trycket 1 bar. Tryck på **Enter**. Varje gång som utsläppet växlar mellan att ske i gasfas och i kondenserad form kommer bilden med möjliga utsläppssituationer upp automatiskt. I övriga fall måste man klicka i rutan **Utsläppstyp**.

### 5.1 Beräkning av gasfasutsläpp, utsläppshastighet

Du ska nu ange utsläppssituation. Du kan välja mellan fyra möjliga utsläppstyper.

- \* **Hål på rör/rörbrott/ventilläckage, beskrivning i 5.1.1**
- \* **Flänsläckage, beskrivning i 5.1.2**
- \* **Hål i tank, beskrivning i 5.1.3**
- \* **Totalt tankbrott, beskrivning i 5.1.4**

Välj genom att klicka i rutan **Utsläppstyp** och därefter klicka på det alternativ Du vill beräkna. Klicka därefter på **Fortsätt**.

Hur Du går till väga för beräkning av utsläppshastigheten beskrivs i avsnitten, som angivits ovan.

#### 5.1.1 Hål på rör/rörbrott/ventilläckage

När Du valt **Hål på rör/rörbrott/ventilläckage** visas symbolen för den valda utsläppstypen i rutan för utsläppstyp på lagringsformuläret.

Välj rutan **Hålets storlek**. Ange **Hålets diameter i mm**. Hålets area i m<sup>2</sup> beräknas då automatiskt. Du kan också välja att ange hålets area.

**Anmärkning:** Vid rörbrott kan arean ofta antas vara lika med rörets area.

**Utsläppstid i s** ska anges, i många fall kan man anta att utsläppet stoppas efter en viss tid. Om Du är osäker på utsläppets varaktighet så ange en lång tid. Om Du lämnar rutan tom räknar programmet med en utsläppstid på ett dygn.

Gå till rutan **Omgivning**. Om det finns en vägg eller liknande i närheten av utsläppspunkten markerar Du alternativet **Vägg o dyl. nära** genom att klicka i motsvarande ruta. Alternativet **Uppsamlade** använder Du om t ex utsläppet sker inomhus så att spridningen av utsläppet fördröjs av en inneslutning innan det når omgivningen genom t ex en öppen dörr. Ange **öppningens area i m<sup>2</sup>**.

Du har nu angivit nödvändiga indata och kan starta beräkningarna genom att klicka på **Fortsätt. Utsläppshastigheten i kg/s och Utsläppt massa i kg** beräknas.

Du kan nu gå vidare till avsnitt **5.3** för att beräkna spridningen av den utsläppta gasolen.

### 5.1.2 Flänsläckage

När Du valt **Flänsläckage** visas symbolen för den valda utsläppstypen i rutan för utsläppstyp på lagringsformuläret.

Välj rutan **Hålets storlek**. Ange **Hålets diameter i mm**. Hålets area i  $m^2$  beräknas då automatiskt. Du kan också välja att ange hålets area.

**Anmärkning:** Vid flänsläckage kan den utsläppande arean sättas till 10% av rörets area.

**Utsläppstid i s** ska anges, ofta kan man anta att utsläppet stoppas efter en viss tid. Om Du är osäker på utsläppets varaktighet så ange en lång tid. Om Du lämnar rutan tom räknar programmet med en utsläppstid på ett dygn.

Gå till rutan **Omgivning**. Om det finns en vägg eller liknande i närheten av utsläppspunkten markerar Du alternativet **Vägg o dyl. nära** genom att klicka i motsvarande ruta. Alternativet **Uppsamlade** använder Du om t ex utsläppet sker inomhus, så att spridningen av utsläppet fördröjs av en inneslutning, innan det når omgivningen genom t ex en öppen dörr. Ange **öppningens area i  $m^2$** .

Du har nu angivit nödvändiga indata och kan starta beräkningarna genom att klicka på **Fortsätt. Utsläppshastigheten i kg/s och Utsläppt massa i kg** beräknas.

Du kan nu gå vidare till avsnitt **5.3** för att beräkna spridningen av den utsläppta gasolen.

### 5.1.3 Hål i tank

När Du klickat på symbolen för **Hål i tank** visas denna symbol i rutan för utsläppstyp. Om Du inte tidigare givit indata till denna utsläppstyp får Du nu upp en skärmbild för **Val av  $C_d$**  (den effektiva utströmningskoefficienten). Om beräkningar tidigare har gjorts med denna utsläppstyp visas det gamla värdet på  $C_d$  i rutan för utsläppstyp. Om Du vill ändra detta värde så dubbelklicka på den röda texten och valmenyn kommer upp. Du kan här välja mellan fem olika alternativ:

- \* **Säkerhetsventil**
- \* **Cirkulärt hål med skarpa kanter**
- \* **Rektangulärt hål, med kanterna fläktade utåt**
- \* **Andra rektangulära hål**
- \* **Eget värde**

$C_d$  är alltid  $<1$ , vanligen ligger värdet mellan **0.6-0.85**. Markera det alternativ som gäller i Ditt fall. Klicka på **Fortsätt**.

Ditt val av  $C_d$  visas i rutan för utsläppstyp.

Välj rutan **Hålets storlek**. Ange **Hålets diameter i mm**. Hålets area i m<sup>2</sup> beräknas då automatiskt. Du kan också välja att ange hålets area.

**Anmärkning:** Ett hål i en tank är kanske ett par centimeter, större hål medför i regel att tanken rämnar. Vid val av hålstorlek >10 % av vätskeytan i tanken kommer ett meddelande upp: **Du bör räkna på detta utsläpp som ett momentant utsläpp dvs totalt tankbrott.**

**Utsläppstid i s** ska anges, ofta kan man anta att utsläppet stoppas efter en viss tid. Om Du är osäker på utsläppets varaktighet så ange en lång tid. Om Du lämnar rutan tom räknar programmet med en utsläppstid på ett dygn.

Du ska nu ange tankens utseende och storlek. Gå till rutan **Tanken**. I denna anges tanktypen med röd text. Du kan välja mellan sfärisk och cylindrisk tank. Klicka på den röda texten och den skiftar från sfärisk till cylindrisk eller omvänt. Ange tankens **Diameter i m** (för sfärisk tank) eller tankens **Diameter** och **Längd i m** (för cylindrisk tank).

Gå till rutan **Omgivning**. Om det finns en vägg eller liknande i närheten av utsläppspunkten markerar Du alternativet **Vägg o dyl. nära** genom att klicka i motsvarande ruta. Alternativet **Uppsamlade** använder Du om t ex utsläppet sker inomhus, så att spridningen av utsläppet fördröjs av en inneslutning, innan det når omgivningen genom t ex en öppen dörr.

Starta nu beräkningarna genom att klicka på **Fortsätt**. **Utsläppshastigheten i kg/s** och **Utsläppt massa i kg** beräknas.

Du kan nu gå vidare till avsnitt **5.3** för att beräkna spridningen av den utsläppta gasolen.

#### **5.1.4 Totalt tankbrott**

När Du klickat på symbolen för **Totalt tankbrott** visas denna symbol i rutan för utsläppstyp.

Gå till rutan **Tanken**. I denna anges tanktypen med röd text. Du kan välja mellan sfärisk och cylindrisk tank. Klicka på den röda texten och den skiftar från sfärisk till cylindrisk tank eller omvänt. Ange tankens **Diameter i m** (för sfärisk tank) eller tankens **Diameter** och **Längd i m** (för cylindrisk tank).

Välj rutan **Tankdata**. Här ska Du ange:

- **Tankens vikt tom (kg)**
- **Designtryck (barö)**
- **Bristningstrycket (barö)**

Om Du inte känner till tankens bristningstryck kan denna uppgift utelämnas. Programmet sätter då bristningstrycket till 4 gånger designtrycket. Med beteckningen barö menas att övertrycket i tanken ska anges, dvs det absoluta trycket i tanken minus atmosfärstrycket. När man mäter trycket i en tank börjar skalan på manometern ofta på noll. Det betyder att det är övertrycket som mäts.

Starta nu beräkningarna genom att klicka på **Fortsätt**.

**Utdata** från beräkningarna för totalt tankbrott visas. Dessa visar hur tanken brister och hur långt fragmenten flyger. Verkan av den fysiska explosionen redovisas också:

**Tanken splittras i ..... delar**  
**Dessa flyger ..... m**

**Verkan av den fysiska explosionen**  
**Avstånd till obeboeliga hus (m)**  
**Avstånd till 1 % trumhinnor sönder (m)**  
**Avstånd till 99 % trumhinnor sönder (m)**  
**Avstånd till nästan helt raserade hus (m)**  
**Avstånd till helt raserade hus (m)**  
**Avstånd till 1 % dödsfall pga tryckvåg (m)**  
**Avstånd till 99 % dödsfall pga tryckvåg (m)**

Tryck på **Fortsätt** för att komma vidare i programmet.

Du kan nu gå vidare till avsnitt **5.3.4** för att beräkna spridningen av den momentant utsläppta gasolen.

## **5.2 Beräkning av utsläppshastighet, kondenserad gasol**

När Du valt lagringsförhållanden så att Du får ett utsläpp av kondenserad gasol kan Du välja mellan åtta möjliga utsläppstyper:

- \* **Hål på rör/rörbrott/ventilläckage, beskrivning i 5.2.1**
- \* **Flänsläckage, beskrivning i 5.2.2**
- \* **Hål i gasfasen, beskrivning i 5.2.3**
- \* **Hål nära vätskeytan, beskrivning i 5.2.4**
- \* **Hål i botten på tanken, beskrivning i 5.2.5**
- \* **Hål på rör från tank, beskrivning i 5.2.6**
- \* **Totalt tankbrott, beskrivning i 5.2.7**
- \* **BLEVE, beskrivning i 5.2.8**

Välj genom att klicka i rutan **Utsläppstyp** och därefter klicka på det alternativ Du vill beräkna. Hur Du går till väga för beräkning av utsläppshastigheten beskrivs i avsnitten, som angivits ovan.

### **5.2.1 Hål på rör/rörbrott/ventilläckage**

När Du klickat på symbolen för **Hål på rör/rörbrott/ventilläckage** visas denna symbol i rutan för utsläppstyp.

Gå till rutan **Hålets storlek**. Ange **Hålets diameter i mm**. Hålets area i  $m^2$  beräknas då automatiskt. Du kan också välja att ange hålets area.

**Anmärkning:** Vid rörbrott kan arean ofta antas vara lika med rörets area.

**Utsläppstid i s** ska anges, i många fall kan man anta att utsläppet stoppas efter en viss tid. Om Du är osäker på utsläppets varaktighet så ange en lång tid. Om Du lämnar rutan tom räknar programmet med en utsläppstid på ett dygn.

Gå till rutan **Omgivning**. Om det finns en vägg eller liknande i närheten av utsläppspunkten markerar Du alternativet **Vägg o dyl. nära** genom att klicka i motsvarande ruta. Alternativet **Uppsamlande** använder Du om t ex utsläppet sker inomhus, så att spridningen av utsläppet fördröjs av en inneslutning, innan det når omgivningen genom t ex en öppen dörr. Ange öppningens area i  $m^2$ .

Du har nu angivit nödvändiga indata och kan starta beräkningarna genom att klicka på **Fortsätt. Utsläppshastigheten i kg/s** och **Utsläppt massa i kg** beräknas.

Du kan nu gå vidare till avsnitt **5.3** för att beräkna spridningen av den utsläppta gasolen.

### 5.2.2 Flänsläckage

När Du klickat på symbolen för **Flänsläckage** visas denna symbol i rutan för utsläppstyp.

Gå till rutan **Hålets storlek**. Ange **Hålets diameter i mm**. Hålets area i  $m^2$  beräknas då automatiskt. Du kan också välja att ange hålets area.

**Anmärkning:** Vid flänsläckage kan den utsläppande arean sättas till 10% av rörets area.

**Utsläppstid i s** ska anges, ofta kan man anta att utsläppet stoppas efter en viss tid. Om Du är osäker på utsläppets varaktighet så ange en lång tid. Om Du lämnar rutan tom räknar programmet med en utsläppstid på ett dygn.

Gå till rutan **Omgivning**. Om det finns en vägg eller liknande i närheten av utsläppspunkten markerar Du alternativet **Vägg o dyl. nära** genom att klicka i motsvarande ruta. Alternativet **Uppsamlande** använder Du om t ex utsläppet sker inomhus, så att spridningen av utsläppet fördröjs av en inneslutning, innan det når omgivningen genom t ex en öppen dörr. Ange öppningens area i  $m^2$ .

Du har nu angivit nödvändiga indata och kan nu starta beräkningarna genom att klicka på **Fortsätt. Utsläppshastigheten i kg/s** och **Utsläppt massa i kg** beräknas.

Du kan nu gå vidare till avsnitt **5.3** för att beräkna spridningen av den utsläppta gasolen.

### 5.2.3 Hål i tank i gasfasen

När Du klickat på symbolen för **Hål i tank i gasfasen** visas denna symbol i rutan för utsläppstyp. Om Du inte tidigare givit indata till denna utsläppstyp får Du nu upp en skärmbild för **Val av  $C_d$**  (den effektiva utströmmningskoefficienten). Om beräkningar tidigare har gjorts med denna utsläppstyp visas det gamla värdet på  $C_d$  i rutan för utsläppstyp. Om Du vill ändra detta värde så dubbelklicka på den röda texten och valmenyn kommer upp. Du kan här välja mellan fem olika alternativ:

- \* **Säkerhetsventil**
- \* **Cirkulärt hål med skarpa kanter**
- \* **Rektangulärt hål, med kanterna fläkta utåt**
- \* **Andra rektangulära hål**
- \* **Eget värde**

$C_d$  är alltid  $<1$ , vanligen ligger värdet mellan **0.6-0.85**. Markera det alternativ som gäller i Ditt fall. Klicka på **Fortsätt**.

Ditt val av  $C_d$  visas i rutan för utsläppstyp.

Gå till rutan **Hålets storlek**. Ange **Hålets diameter i mm**. Hålets area i  $m^2$  beräknas då automatiskt. Du kan också välja att ange hålets area.

**Anmärkning:** Ett hål i en tank är kanske ett par centimeter, större hål medför i regel att tanken rämnar.

**Utsläppstid i s** ska anges, ofta kan man anta att utsläppet stoppas efter en viss tid. Om Du är osäker på utsläppets varaktighet så ange en lång tid. Om Du lämnar rutan tom räknar programmet med en utsläppstid på ett dygn.

Du ska nu ange tankens utseende och storlek. Gå till rutan **Tanken**. I denna anges tanktypen med röd text. Du kan välja mellan sfärisk och cylindrisk tank. Klicka på den röda texten och den skiftar från sfärisk till cylindrisk eller omvänt. Ange tankens **Diameter i m** (för sfärisk tank) eller tankens **Diameter och Längd i m** (för cylindrisk tank).

Ange även **Fyllnadsgrad i %**. En tank ska aldrig fyllas helt. Det måste alltid finnas utrymme för expansion på grund av temperaturändring. Normalt är gränsen för fyllnadsgraden i en tank med gasol 80 %. I programmet är gränsen satt till 100 % för att det ska vara möjligt att köra beräkningar för en stumfylld tank. Tänk alltså på att normalt ska tanken inte vara helt fylld.

Gå till rutan **Omgivning**. Om det finns en vägg eller liknande i närheten av utsläppspunkten markerar Du alternativet **Vägg o dyl. nära** genom att klicka i motsvarande ruta. Alternativet **Uppsamlande** använder Du om t ex utsläppet sker inomhus, så att spridningen av utsläppet fördröjs av en inneslutning, innan det når omgivningen genom t ex en öppen dörr. Ange öppningens area i  $m^2$ .

Starta nu beräkningarna genom att klicka på **Fortsätt**. **Utsläppshastigheten i kg/s** och **Utsläppt massa i kg** beräknas.

Du kan nu gå vidare till avsnitt **5.3** för att beräkna spridningen av den utsläppta gasolen.

#### **5.2.4 Hål nära vätskeytan**

När Du klickat på symbolen för **Hål nära vätskeytan** visas denna symbol i rutan för utsläppstyp.

Gå till rutan **Hålets storlek**. Ange **Hålets diameter i mm**. Hålets area i  $m^2$  beräknas då automatiskt. Du kan också välja att ange hålets area.

**Anmärkning:** Ett hål i en tank är kanske ett par centimeter, större hål medför i regel att tanken rämnar.

**Utsläppstid i s** ska anges, ofta kan man anta att utsläppet stoppas efter en viss tid. Om Du är osäker på utsläppets varaktighet så ange en lång tid. Om Du lämnar rutan tom räknar programmet med en utsläppstid på ett dygn.

Du ska nu ange tankens utseende och storlek. Gå till rutan **Tanken**. I denna anges tanktypen med röd text. Du kan välja mellan sfärisk och cylindrisk tank. Klicka på den röda texten och den skiftar från sfärisk till cylindrisk eller omvänt. Ange tankens **Diameter i m** (för sfärisk tank) eller tankens **Diameter och Längd i m** (för cylindrisk tank).

Ange även **Fyllnadsgrad i %**. En tank ska aldrig fyllas helt. Det måste alltid finnas utrymme för expansion på grund av temperaturändring. Normalt är gränsen för fyllnadsgraden i en tank med gasol 80 %. I programmet är gränsen satt till 100 % för att det ska vara möjligt att köra beräkningar för en stumfylld tank. Tänk alltså på att normalt ska tanken inte vara helt fylld.

Gå till rutan **Omgivning**. Om det finns en vägg eller liknande i närheten av utsläppspunkten markerar Du alternativet **Vägg o dyl. nära** genom att klicka i motsvarande ruta. Alternativet **Uppsamlande** använder Du om t ex utsläppet sker inomhus, så att spridningen av utsläppet fördröjs av en inneslutning, innan det når omgivningen genom t ex en öppen dörr. Ange öppningens area i  $m^2$ .

Starta beräkningarna genom att klicka på **Fortsätt. Utsläppshastigheten i kg/s, Längden på jetstrålen i m och Utsläppt massa i kg** beräknas.

Du kan nu gå vidare till avsnitt 5.3 för att beräkna spridningen av den utsläppta gasolen.

### 5.2.5 Hål i botten på tanken

När Du klickat på symbolen för **Hål i botten på tanken** visas denna symbol i rutan för utsläppstyp. Om Du inte tidigare givit indata till denna utsläppstyp får Du nu upp en skärmbild för **Val av  $C_d$**  (den effektiva utströmmningskoefficienten). Om beräkningar tidigare har gjorts med denna utsläppstyp visas det gamla värdet på  $C_d$  i rutan för utsläppstyp. Om Du vill ändra detta värde så dubbelklicka på den röda texten och valmenyn kommer upp. Du kan här välja mellan fem olika alternativ:

- \* **Säkerhetsventil**
- \* **Cirkulärt hål med skarpa kanter**
- \* **Rektangulärt hål, med kanterna fläktat utåt**
- \* **Andra rektangulära hål**
- \* **Eget värde**

$C_d$  är alltid  $<1$ . Markera det alternativ som gäller i Ditt fall. Klicka på **Fortsätt**.

Ditt val av  $C_d$  visas med röd text i rutan för utsläppstyp.

Gå till rutan **Hålets storlek**. Ange **Hålets diameter i mm**. Hålets area i  $m^2$  beräknas då automatiskt. Du kan också välja att ange hålets area.

**Anmärkning:** Ett hål i en tank är kanske ett par centimeter, större hål medför i regel att tanken rämnar.

**Utsläppstid i s** ska anges, ofta kan man anta att utsläppet stoppas efter en viss tid. Om Du är osäker på utsläppets varaktighet så ange en lång tid. Om Du lämnar rutan tom räknar programmet med en utsläppstid på ett dygn.

Du ska nu ange tankens utseende och storlek. Gå till rutan **Tanken**. I denna anges tanktypen med röd text. Du kan välja mellan sfärisk och cylindrisk tank. Klicka på den röda texten och den skiftar från sfärisk till cylindrisk eller omvänt. Ange tankens **Diameter, i m** (för sfärisk tank) eller tankens **Diameter och Längd, i m** (för cylindrisk tank).

Ange även **Fyllnadsgrad i %**. En tank ska aldrig fyllas helt. Det måste alltid finnas utrymme för expansion på grund av temperaturändring. Normalt är gränsen för fyllnadsgraden i en tank med gasol 80 %. I programmet är gränsen satt till 100 % för att det ska vara möjligt att köra beräkningar för en stumfylld tank. Tänk alltså på att normalt ska tanken inte vara helt fylld.

Gå till rutan **Vätska**. Välj mellan alternativen **Invallning** och **Ingen invallning**. Detta gör Du genom att klicka på den röda texten i rutan, som då skiftar till det andra möjliga alternativet. Vid val av alternativet **Invallning** ska Du ange invallningens yta i  $m^2$ .

Starta nu beräkningarna genom att klicka på **Fortsätt**. **Vätskepelarens höjd i m** (med detta avses höjden av vätska mellan hålet och vätskeytan), **Utsläppshastigheten i kg/s** och **Utsläppt massa i kg** beräknas.

Du kan nu gå vidare till avsnitt **5.3** för att beräkna förångning och spridning av den utsläppta gasolen.

### 5.2.6 Hål på rör från tank

När Du klickat på symbolen för **Hål på rör från tank** visas denna symbol i rutan för utsläppstyp.

Gå till rutan **Hålets storlek**. Ange **Hålets diameter i mm**. Hålets area i  $m^2$  beräknas då automatiskt. Du kan också välja att ange hålets area.

**Anmärkning:** Vid rörbrott kan arean ofta antas vara lika med rörets area.

Ange **Rörlängd i m** dvs avståndet från tanken till hålet i röret.



**Utsläppstid i s** ska anges, i många fall kan man anta att utsläppet stoppas efter en viss tid. Om Du är osäker på utsläppets varaktighet så ange en lång tid. Om Du lämnar rutan tom räknar programmet med en utsläppstid på ett dygn.

Du ska nu ange tankens utseende och storlek. Gå till rutan **Tanken**. I denna anges tanktypen med röd text. Du kan välja mellan sfärisk och cylindrisk tank. Klicka på den röda texten och den skiftar från sfärisk till cylindrisk eller omvänt. Ange tankens **Diameter, i m** (för sfärisk tank) eller tankens **Diameter och Längd, i m** (för cylindrisk tank).

Ange även **Fyllnadsgrad i %**. En tank ska aldrig fyllas helt. Det måste alltid finnas utrymme för expansion på grund av temperaturändring. Normalt är gränsen för fyllnadsgraden i en tank med gasol 80 %. I programmet är gränsen satt till 100 % för att det ska vara möjligt att köra beräkningar för en stumfylld tank. Tänk alltså på att normalt ska tanken inte vara helt fylld.

Gå till rutan **Omgivning**. Om det finns en vägg eller liknande i närheten av utsläppspunkten markerar Du alternativet **Vägg o dyl. nära** genom att klicka i motsvarande ruta. Alternativet **Uppsamlade** använder Du om t ex utsläppet sker inomhus, så att spridningen av utsläppet fördröjs av en inneslutning, innan det når omgivningen genom t ex en öppen dörr. Ange öppningens area i m<sup>2</sup>.

Du har nu angivit nödvändiga indata och kan nu starta beräkningarna genom att klicka på **Fortsätt. Utsläppshastigheten i kg/s, Längden på jetstrålen i m och Utsläppt massa i kg** beräknas.

Du kan nu gå vidare till avsnitt 5.3 för att beräkna spridningen av den utsläppta gasolen.

### 5.2.7 Totalt tankbrott

När Du klickat på symbolen för **Totalt tankbrott** visas denna symbol i rutan för utsläppstyp.

Gå till rutan **Tanken**. I denna anges tanktypen med röd text. Du kan välja mellan sfärisk och cylindrisk tank. Klicka på den röda texten och den skiftar från sfärisk till cylindrisk tank eller omvänt. Ange tankens **Diameter, i m** (för sfärisk tank) eller tankens **Diameter och Längd, i m** (för cylindrisk tank).

Ange även **Fyllnadsgrad i %**. En tank ska aldrig fyllas helt. Det måste alltid finnas utrymme för expansion på grund av temperaturändring. Normalt är gränsen för fyllnadsgraden i en tank med gasol 80 %. I programmet är gränsen satt till 100 % för att det ska vara möjligt att köra beräkningar för en stumfylld tank. Tänk alltså på att normalt ska tanken inte vara helt fylld.

Välj rutan **Tankdata** och ange här:

- **Tankens vikt tom i kg**
- **Designtryck för tanken i barö**
- **Tankens bristningstryck i barö**

Om Du inte känner till tankens bristningstryck kan Du utelämna den uppgiften. Programmet sätter då bristningstrycket till 4 gånger designtryck.

Gå till rutan **Vätska**. Välj mellan alternativen **Invallning** och **Ingen invallning**. Detta gör Du genom att klicka på den röda texten i rutan, som då skiftar till det andra möjliga alternativet. Vid val av alternativet **Invallning** ska Du ange invallningens yta i m<sup>2</sup>.

Starta nu beräkningarna genom att klicka på **Fortsätt**.

**Utdata** från beräkningarna för totalt tankbrott visas. Dessa visar hur tanken brister och hur långt fragmenten flyger. Verkan av den fysiska explosionen redovisas också:

**Tanken splittras i ..... delar**

**Dessa flyger ..... m**

**Verkan av den fysiska explosionen**

**Avstånd till obeboeliga hus (m)**

**Avstånd till 1 % trumhinnor sönder (m)**

**Avstånd till 99 % trumhinnor sönder (m)**

**Avstånd till nästan helt raserade hus (m)**

**Avstånd till helt raserade hus (m)**

**Avstånd till 1 % dödsfall pga tryckvåg (m)**

**Avstånd till 99 % dödsfall pga tryckvåg (m)**

Klicka på **Fortsätt** för att komma vidare i programmet.

Du kan nu gå vidare till avsnitt **5.3** för att beräkna förångning och spridning av den utsläppta gasolen.

## **5.2.8 BLEVE**

När Du klickat på symbolen för **BLEVE** visas denna symbol i rutan för utsläppstyp.

Gå till rutan **Tanken**. I denna anges tanktypen med röd text. Du kan välja mellan sfärisk och cylindrisk tank. Klicka på den röda texten och den skiftar från sfärisk till cylindrisk tank eller omvänt. Ange tankens **Diameter, i m** (för sfärisk tank) eller tankens **Diameter och Längd, i m** (för cylindrisk tank).

Ange även **Fyllnadsgrad i %**. En tank ska aldrig fyllas helt. Det måste alltid finnas utrymme för expansion på grund av temperaturändring. Normalt är gränsen för fyllnadsgraden i en tank med gasol 80 %. I programmet är gränsen satt till 100 % för att det ska vara möjligt att köra beräkningar för en stumfylld tank. Tänk alltså på att normalt ska tanken inte vara helt fylld.

Välj rutan **Tankdata** och ange här:

- **Tankens vikt tom (kg)**
- **Designtryck för tanken (barö)**
- **Tankens bristningstryck (barö)**

Om Du inte känner till tankens bristningstryck kan Du utelämna den uppgiften. Programmet sätter då bristningstrycket till 4 gånger designtryck.

Starta nu beräkningarna genom att klicka på **Fortsätt**. När beräkningarna är klara kommer Du tillbaka till **Huvudmenyn**. För att fortsätta beräkningarna så gå vidare till avsnitt **5.3.1** och ange vilken vädersituation som gäller för beräkningen.

När beräkningarna är klara visas följande utdata:

**Utsläppt massa var .... kg**  
**BLEVEN's diameter var .... m**  
**BLEVEN varar i .... s**  
**BLEVEN befinner sig .... m över marken**  
**Avstånd till 3:e gradens brännskador är .... m**  
**Avstånd till 2:a gradens brännskador är .... m**  
**Avstånd till 1:a gradens brännskador är .... m**  
**Tanken splittras i .... delar**  
**Dessa flyger .... m**

Klicka på **OK** och Du kommer tillbaka till huvudmenyn.

## **5.3 Beräkning av gasolutsläpp, spridning**

Den utsläppta gasolen kommer att spridas bort från utsläppspunkten. Hur långt den sprids och i vilken riktning, påverkas av väder och omgivningens utseende samt topografi. Det är därför viktigt att så noga som möjligt ange tänkbara väder- och topografiska förhållanden. Nedan i **5.3.1** ges en beskrivning av hur detta görs i **Gasol**. När meteorologiska indata har givits måste rätt spridningsmodell väljas. Programmet gör detta val automatiskt, med hänsyn till den typ av utsläpp som är aktuell. De spridningsmodeller som är tänkbara för ett gasolutsläpp är dels jetmodellen, när det är fråga om ett utsläpp med högt tryck och hög utströmningshastighet och dels plymmodellen för något lugnare utsläppsförlopp. En modell finns också, kallad SLAB, som beräknar momentana utsläpp av gasol. I **5.3.2** beskrivs hur spridnings-beräkningar genomförs med jetmodellen och i **5.3.3** ges motsvarande beskrivning för plymmodellen. Modellen för momentana utsläpp beskrivs i **5.3.4**.

### **5.3.1 Angivande av vädersituation och topografiska förhållanden**

När beräkningen av utsläppshastigheten är klar kommer Du tillbaka till huvudmenyn, välj **Väder** för att ge meteorologiska och topografiska indata. Du ska här ange följande storheter:

- \* **Vad är lufttrycket i mmHg?** (Normalt lufttryck är 760 mmHg)
- \* **Omgivningstemperatur i °C**
- \* **Relativ luftfuktighet i %**
- \* **Vindhastighet i m/s**
- \* **Höjden som vind och temperatur mäts på i m.** (Normalt 10 m)

Fyll i de markerade rutorna med de värden som gäller för Ditt utsläppsfall.

Du ska nu ange vilken vädertyp som råder. Gå till rutan **Molnigt?** Här kan Du välja mellan **Dag** och **Natt**. Under dagen kan Du välja mellan **soligt**, **halvklart** och **mulet**. Nattetid står valet mellan **klart** och **mulet**. Du klickar på den symbol som motsvarar Ditt val.

I rutan **Omgivning** väljer Du den typ av topografi (vegetation, bebyggelse) som bäst motsvarar det fall som Du har. Följande alternativ finns tillgängliga:

- \* **Många träd, häckar, enstaka hus**
- \* **Få träd, många häckar, högt gräs (60 cm)**
- \* **Enstaka träd, oklippt gräs**
- \* **Vinter med enstaka träd, klippt gräs**
- \* **Plan ökenyta**
- \* **Helt plan yta typ lugn vattenyta**

Klicka vid lämpligt alternativ. Du har nu givit de meteorologiska indata som behövs för spridningsberäkningarna. Klicka i rutan **Fortsätt** för att komma vidare till tillämplig spridningsmodell.

### 5.3.2 Spridningsberäkningar med jetmodell vid gasformigt utsläpp

Du får upp en skärmbild med förslag på indata, baserade på tidigare beräknade värden och givna indata, från programmet. Du kan välja att acceptera dessa indata eller ändra dem så att de passar till Ditt problem. Följande parametrar anges:

- \* **Utsläppshastighet i kg/s.** (Beräknad)
- \* **Utsläppande diameter i mm.** (Tidigare angiven)
- \* **Vinkel från horisontellt <1.** (Utsläppets vinkel i förhållande till underlaget)
- \* **Utgångstemp i °C.** (Oftast lika med lagringstemperaturen)
- \* **Fraktion ånga i utsläppet <1.** (1=enbart gasfas, 0=enbart vätskefas)
- \* **Utsläppshöjd över mark i m.**
- \* **Hur långt vill Du att programmet ska räkna i m.**

Du har nu givit nödvändiga indata för beräkning av spridningsbilden med hjälp av jetmodellen. Klicka på **Räkna** och beräkningen utförs.

En bild med utdata från jetmodellen visas.

**Om utsläppet antänds direkt kommer det att resultera i en jetflamma.**

**Jetflammans längd är .... m**

**Avstånd från utsläppspunkten i jetriktningen till:**

**Tredje gradens brännskador är .... m**

**Andra gradens brännskador är .... m**

**Första gradens brännskador är .... m**

**Avstånd från utsläppspunkten vinkelrätt mot utsläppspunkten till:**

**Tredje gradens brännskador är .... m**

**Andra gradens brännskador är .... m**

**Första gradens brännskador är .... m**

För att komma vidare i programmet klicka på **Fortsätt** och en resultatruta visar **längden på jetstrålen i m** och **gasolkoncentrationen i ppm vid jetstrålens slut**. Klicka på **OK** och Du kommer till en samlingsbild över utdata från beräkningarna. Du kan välja mellan grafisk presentation, i horisontell eller vertikal riktning och numeriska resultat.

**Alt 1.** Välj **horisontell plott**. Ange den höjd över marken, i m, som Du vill studera. Klicka på **xy-plott** och resultaten visas i ett diagram. Du kan ändra de färger som används genom att klicka på färgrutan vid det koncentrationsintervall som Du vill ändra. Om Du klickar på **Skriv ut** så skrivs diagrammet ut på den anslutna skrivaren. Välj **Vertikal plott** och Du kommer till **Alt 2**. Välj **Avbryt** och Du kommer tillbaka till utdatamenyn.

**Alt 2.** Välj **vertikal plott**. Ange det avstånd från centrumlinjen, i m, som Du vill studera. Klicka på **xz-plott** och resultaten visas i ett diagram. Du kan ändra de färger som används genom att klicka på färgrutan vid det koncentrationsintervall som Du vill ändra. Om Du klickar på **Skriv ut** så skrivs diagrammet ut på den anslutna skrivaren. Välj **Horisontell plott** och Du kommer till **Alt 1**. Välj **Avbryt** och Du kommer tillbaka till utdatamenyn.

**Alt 3.** Välj **Numeriskt resultat** och en bild med utdata visas. För **gasjeten** ges följande data:

**Utsläppshastighet (kg/s)**

**Utgångstemperatur (K)**

**Hålets diameter (m)**

**Vinkel från horisontellt (deg)** (grader från horisontellt)

**Höjd ovan mark (m)**

**Beräknade värden:**

**Rörelsemängd vid ingången (kgm/s<sup>2</sup>)**

**Entalpi vid ingången (kJ/s)**

**Specifik entalpi (kJ/kg)**

**I utgångsplanet:**

**Densitet (kg/m<sup>3</sup>)**

**Tryck (bar)**

**Hastighet (m/s)**

**Efter chockzonen:**

**Densitet (kg/m<sup>3</sup>)**

**Temperatur (K)**

**Hastighet (m/s)**

**Radie (m)**

En tabell visar spridningen av utsläppet

**avstånd (m)    koncentration (ppm)    höjd (m)    radie (m)    temperatur (K)**

På stort avstånd från utsläppspunkten kommer den ursprungligen tunga gasen att vara så utspädd med luft att dess densitet ligger obetydligt över luftens densitet. I programmet är denna gräns satt till en koncentration på 5000 ppm. När denna koncentration uppnås övergår beräkningsmodellen från en jetmodell till en plymmodell. De värden på indata som gäller vid bytet av modell redovisas också i utdata från beräkningarna.

**Specificering av initialt plumefönster:**

1. **Gasolföde (kg/s)**
2. **Totalt flöde (kg/s)**
3. **Fönsterbredd (m)**
4. **Nedströmläge (m)**
5. **Initial plymhastighet (m/s)**
6. **Initial plymtemperatur (K)**

**Koncentration (kg/kg och ppm)**

**Densitet ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )**

**Molnets höjd (m)**

**Entalpi (kJ/kg)**

**Moment input ( $\text{kgm}/\text{s}^2$ )**

**Sista nedströms position (m)**

**Molnets bredd (m)**

**Molnets höjd (m)**

**Koncentration (kg/kg och ppm)**

Klicka på **Stäng** och Du kommer tillbaka till bilden där Du kan välja mellan **Grafiska resultat** och **Numeriska resultat**. Här kan Du även välja **Fortsätt** eller **Avsluta**.

Välj **Fortsätt** och en ruta visas med **Molnets volym, Molnets längd och bredd** och **Propaninnehållet i molnet i kg**. Klicka på **OK** och **Utdata från beräkning av flamförbränning** visas.

**Avstånd från utsläppspunkten i jetriktningen till**

**tredje gradens brännskador .... m**

**andra gradens brännskador .... m**

**första gradens brännskador .... m**

**Avstånd från utsläppspunkten vinkelrätt mot jetriktningen till**

**tredje gradens brännskador .... m**

**andra gradens brännskador .... m**

**första gradens brännskador .... m**

Klicka på **Fortsätt**. I de flesta fall går programmet tillbaka till huvudmenyn, men i de fall då det finns risk för en gasmolnsexplosion visas utdata från en beräkning av tänkbara följder vid en inträffad gasmolnsexplosion. Följande utdata visas:

**Avstånd till obeboeliga hus (m)**

**Avstånd till 1 % trumhinnor sönder (m)**

**Avstånd till 99 % trumhinnor sönder (m)**

**Avstånd till nästan helt raserade hus (m)**

**Avstånd till helt raserade hus (m)**

**Avstånd till 1 % dödsfall pga tryckvåg (m)**

**Avstånd till 99 % dödsfall pga tryckvåg (m)**

Klicka på **Fortsätt** och programmet går tillbaka till huvudmenyn.

### 5.3.3 Spridningsberäkningar med jetmodell vid tvåfasutsläpp

Du får upp en skärmbild med förslag på indata, baserade på tidigare beräknade värden och givna indata, från programmet. Du kan välja att acceptera dessa indata eller ändra dem så att de passar till Ditt problem. Följande parametrar anges:

- \* **Utsläppshastighet i kg/s.** (Beräknad)
- \* **Utsläppande diameter i mm.** (Tidigare angiven)
- \* **Vinkel från horisontellt <90.** (Utsläppets vinkel i förhållande till underlaget)
- \* **Utgångstemp i °C.** (Oftast lika med lagringstemperaturen)
- \* **Fraktion ånga i utsläppet <1.** (1=enbart gasfas, 0=enbart vätskefas)
- \* **Utsläppshöjd över mark i m.**
- \* **Hur långt vill Du att programmet ska räkna i m.**

Du har nu givit nödvändiga indata för beräkning av spridningsbilden med hjälp av jetmodellen. Klicka på **Räkna** och beräkningen utförs.

En bild med utdata visas:

**Om utsläppet antänds direkt kommer det att resultera i en jetflamma.**

**Jetflammans längd är .... m.**

**Avstånd från utsläppspunkten i jetriktningen till**

**tredje gradens brännskador .... m**

**andra gradens brännskador .... m**

**första gradens brännskador .... m**

**Avstånd från utsläppspunkten vinkelrätt mot jetriktningen till**

**tredje gradens brännskador .... m**

**andra gradens brännskador .... m**

**första gradens brännskador .... m**

För att komma vidare i programmet klicka på **Fortsätt** och resultaten från jetmodellen visas. I en resultatruta anges **jetstrålens längd i m** och **gasolkoncentrationen i ppm på detta avstånd**. Klicka på **OK** och en samlingsbild över utdata från beräkningarna visas. Du kan välja mellan grafisk presentation, i horisontell eller vertikal riktning och numeriska resultat.

**Alt 1.** Välj **horisontell plott**. Ange den höjd över marken, i m, som Du vill studera. Klicka på **xy-plott** och resultaten visas i ett diagram. Du kan ändra de färger som används genom att klicka på färggrutan vid det koncentrationsintervall som Du vill ändra. Om Du klickar på **Skriv ut** så skrivs diagrammet ut på den anslutna skrivaren. Välj **Vertikal plott** och Du kommer till **Alt 2**. Välj **Avbryt** och Du kommer tillbaka till utdatamenyn.

**Alt 2.** Välj **vertikal plott**. Ange det avstånd från centrumlinjen, i m, som Du vill studera. Klicka på **xz-plott** och resultaten visas i ett diagram. Du kan ändra de färger som används genom att klicka på färggrutan vid det koncentrationsintervall som Du vill ändra. Om Du klickar på **Skriv ut** så skrivs diagrammet ut på den anslutna skrivaren.

Välj **Horisontell plott** och Du kommer till **Alt 1**. Välj **Avbryt** och Du kommer tillbaka till utdatamenyn.

**Alt 3.** Välj **Numeriskt resultat** och en bild med utdata visas. För **gasjeten** ges följande data:

**Kontroll av indata:**

1. **Utsläppshastighet (kg/s)**
2. **Utsläppstemperatur (K)**
3. **Utgångstryck (bar)**
4. **Utsläpps diameter (m)**
5. **Vinkel från horisontellt (deg)** (grader från horisontellt)
6. **Höjd ovan mark (m)**
7. **andel ånga vid utgången (kg/kg)**

**Beräknade värden:**

- Moment input (kgm/s<sup>2</sup>)**
- Entalpi input (kJ/s)**
- Specifik entalpi (kJ/kg)**
- Max. tvåfasflöde (kg/s)**

**I utgångsplanet:**

- Densitet (kg/m<sup>3</sup>)**
- Tryck (bar)**
- Hastighet (m/s)**

**Efter flashing:**

- Densitet (kg/m<sup>3</sup>)**
- Temperatur (K)**
- Hastighet (m/s)**
- Radie (m)**
- Ångfraktion (kg/kg)**

En tabell visar spridningen av utsläppet

**avstånd (m)    koncentration (ppm)    höjd (m)    radie (m)    temperatur (K)**

På stort avstånd från utsläppspunkten kommer den ursprungligen tunga gasen att vara så utspädd med luft att dess densitet ligger obetydligt över luftens densitet. I programmet är denna gräns satt till en koncentration på 5000 ppm. När denna koncentration uppnås övergår beräkningsmodellen från en jetmodell till en plymmodell. De värden på indata som gäller vid bytet av modell redovisas också i utdata från beräkningarna.

**Specificering av initialt plumefönster:**

1. **Gaslöslöde (kg/s)**
2. **Totalt flöde (kg/s)**
3. **Fönsterbredd (m)**
4. **Nedströmläge (m)**
5. **Initial plymhastighet (m/s)**



## **6. Initial plymtemperatur (K)**

**Koncentration (kg/kg och ppm)**

**Densitet (kg/m<sup>3</sup>)**

**Molnets höjd (m)**

**Entalpi (kJ/kg)**

**Moment input (kgm/s<sup>2</sup>)**

**Sista nedströms position (m)**

**Molnets bredd (m)**

**Molnets höjd (m)**

**Koncentration (kg/kg och ppm)**

Klicka på **Stäng** och Du kommer tillbaka till bilden där Du kan välja mellan **Grafiska resultat** och **Numeriska resultat**. Här kan Du även välja **Fortsätt** eller **Avsluta**.

Välj **Fortsätt** och en ruta visas med **Molnets volym, Molnets längd och bredd** och **Propaninnehållet i molnet i kg**. Klicka på **OK** och **Utdata från beräkning av flammförbränning** visas.

**Avstånd från utsläppspunkten i jetriktningen till**

**tredje gradens brännskador .... m**

**andra gradens brännskador .... m**

**första gradens brännskador .... m**

**Avstånd från utsläppspunkten vinkelrätt mot jetriktningen till**

**tredje gradens brännskador .... m**

**andra gradens brännskador .... m**

**första gradens brännskador .... m**

Klicka på **Fortsätt**. I de flesta fall går programmet tillbaka till huvudmenyn, men i de fall då det finns risk för en gasmolnsexplosion visas utdata från en beräkning av tänkbara följder vid en inträffad gasmolnsexplosion. Följande utdata visas:

**Avstånd till obeboeliga hus (m)**

**Avstånd till 1 % trumhinnor sönder (m)**

**Avstånd till 99 % trumhinnor sönder (m)**

**Avstånd till nästan helt raserade hus (m)**

**Avstånd till helt raserade hus (m)**

**Avstånd till 1 % dödsfall pga tryckvåg (m)**

**Avstånd till 99 % dödsfall pga tryckvåg (m)**

Klicka på **Fortsätt** och programmet går tillbaka till huvudmenyn.

### **5.3.4 Spridningsberäkningar för momentant utsläpp av gasol.**

En datorberäkningsmodell som heter SLAB används för att beräkna vad som händer vid ett momentant utsläpp av gasol. Modellen beräknar koncentrationsprofilen för utsläppet. Följande indata krävs:

**Utsläppt mängd (kg)**  
**Maximalt intressant avstånd (m)**

Tryck på **Fortsätt** för att starta beräkningen.

Följande meddelande kommer upp: **SLAB körs just nu. Klicka inte på OK förrän denna ruta är blå!** Denna uppmaning måste följas. Om Du klickar på OK innan rutan ändrat färg kommer beräkningen att stoppas och Du får börja från början igen.

När rutans ram blivit blå är körningen klar. Klicka på **OK**:

Molnets utbredning i horisontell led ritas. Dessutom anges:

**Avstånd (m)**  
**Tid (s)**  
**Total massa (kg)**  
**Molnets höjd (m)**  
**Koncentration (ppm)**  
**Molnets bredd (m)**  
**Molnets vidd (m)**

Genom att flytta kvadraten mellan pilarna under diagrammet kan Du få motsvarande värden för andra avstånd.

Klicka på **Fortsätt** och Utdata från beräkning av **flamförbränning** visas.

**Avstånd från utsläppspunkten i jetriktningen till**  
**tredje gradens brännskador .... m**  
**andra gradens brännskador .... m**  
**första gradens brännskador .... m**  
**Avstånd från utsläppspunkten vinkelrätt mot jetriktningen till**  
**tredje gradens brännskador .... m**  
**andra gradens brännskador .... m**  
**första gradens brännskador .... m**

Klicka på **Fortsätt** och Du kommer tillbaka till huvudmenyn.

### **5.3.5 Förångning och påföljande spridning vid utsläpp av vätskeformig gasol**

Vid utsläpp i botten av en tank med kondenserad gasol eller vid totalt tankbrott kommer gasolen att bilda en pöl av vätskeformig gasol under tanken. När väderdata har givits och Du trycker på **Fortsätt** ges förångningshastigheten för gasol i kg/s. Klicka på **OK**. Därefter visas följande:

**Plume kommer nu att köras på förångningen från vätskepölen med nedanstående data:**

**Förångningshastighet (kg/s)** (tidigare beräknat)

**Pölens diameter (m)** (tidigare beräknat)

**Pölens temperatur** (oftast lika med kokpunkten °C, ges av programmet)

**Intressant område (m)** (tidigare givet)

Klicka på **Fortsätt** och följande utdata visas:

**Om pölen antänds kommer det att resultera i en pölbrand**

**Pölbrandens höjd (m)**

**Lutning pga vinden (grader)**

**Pölens diameter (m)**

**Avstånd till 5.0kW/m<sup>2</sup> i vindriktningen, från pölens centrum**

**Avstånd till 2.5kW/m<sup>2</sup> i vindriktningen, från pölens centrum**

**Avstånd till 5.0kW/m<sup>2</sup> mot vindriktningen, från pölens centrum**

**Avstånd till 2.5kW/m<sup>2</sup> mot vindriktningen, från pölens centrum**

Klicka på **Fortsätt** och en samlingsbild över utdata från beräkningarna visas. Du kan välja mellan grafisk presentation, i horisontell eller vertikal riktning och numeriska resultat.

**Alt 1.** Välj **horisontell plott**. Ange den höjd över marken, i m, som Du vill studera. Klicka på **xy-plott** och resultaten visas i ett diagram. Du kan ändra de färger som används genom att klicka på färgrutan vid det koncentrationsintervall som Du vill ändra. Om Du klickar på **Skriv ut** så skrivs diagrammet ut på den anslutna skrivaren. Välj **Vertikal plott** och Du kommer till **Alt 2**. Välj **Avbryt** och Du kommer tillbaka till utdatamenyn.

**Alt 2.** Välj **vertikal plott**. Ange det avstånd från centrumlinjen, i m, som Du vill studera. Klicka på **xz-plott** och resultaten visas i ett diagram. Du kan ändra de färger som används genom att klicka på färgrutan vid det koncentrationsintervall som Du vill ändra. Om Du klickar på **Skriv ut** så skrivs diagrammet ut på den anslutna skrivaren. Välj **Horisontell plott** och Du kommer till **Alt 1**. Välj **Avbryt** och Du kommer tillbaka till utdatamenyn.

**Alt 3.** Välj **Numeriskt resultat** och en bild med utdata visas:

### **Specificering av initialt plumefönster**

- 1. Gasflöde (kg/s)**
- 2. Totalt flöde (kg/s)**
- 3. Fönsterbredd (m)**
- 4. Nedströms läge (m)**
- 5. Initial plymhastighet (m/s)**
- 6. Initial plymtemperatur (K)**

Klicka på **Stäng** och Du kommer tillbaka till beräkningsmenyn.

Klicka på **Fortsätt**. En bild med **Molnets volym i m<sup>3</sup>, Molnets längd och bredd och Mängden propan i molnet i kg** visas.

Klicka på **OK** och utdata från beräkning av **flamförbränning** visas:

**Avstånd från utsläppspunkten i jetriktningen till**

**tredje gradens brännskador .... m**

**andra gradens brännskador .... m**

**första gradens brännskador .... m**

**Avstånd från itsläppspunkten vinkelrätt mot jetriktningen till**

**tredje gradens brännskador .... m**

**andra gradens brännskador .... m**

**första gradens brännskador .... m**

Klicka på **Fortsätt** och Du kommer tillbaka till **Huvudmenyn**.

## Nomenklaturlista:

A	= utsläppsarean (m <sup>2</sup> )
A <sub>f</sub>	= molnets area (m <sup>2</sup> )
B	= masstransporttal
C	= koncentration (kg/m <sup>3</sup> )
C <sub>d</sub>	= utströmningskoefficient < 1
C <sub>gr</sub>	= specifikt värme för marken (typiskt värde 1000 J/kgK)
C <sub>pair</sub>	= specifikt värme för luft ( 1 kJ/kgK)
C <sub>p</sub>	= specifikt värme vid konstant tryck (J/kgK)
C <sub>pl</sub>	= specifikt värme för vätskan vid konstant tryck (J/kgK)
C <sub>v</sub>	= specifikt värme vid konstant volym (J/kgK)
d	= tankfragmentens diameter (in)
d <sub>0</sub>	= ursprunglig jetdiameter = håldiameter (m)
D	= pölens diameter (m)
D <sub>max</sub>	= eldklotets maximala radie (m)
E <sub>av</sub>	= avgiven strålning (kW/m <sup>2</sup> )
E <sub>m</sub>	= maximal emission från lysande punkter (140 kW/m <sup>2</sup> )
E <sub>s</sub>	= emission från rök (20 kW/m <sup>2</sup> )
F	= friktionsfaktor
F <sub>g</sub>	= andel gasol som flashar vid utsläppet
F <sub>h</sub>	= horisontell synfaktor
F <sub>max</sub>	= maximal synfaktor
F <sub>v</sub>	= vertikal synfaktor
g	= tyngdaccelerationen (9.81 m/s <sup>2</sup> )
h	= konvektivt värmeövergångstal (W/m <sup>2</sup> K)
H	= vätskepelarens höjd ovanför utsläppspunkten (m)
H <sub>BLEVE</sub>	= eldklotets höjd (m)
H <sub>f</sub>	= flammans höjd (m)
H <sub>s</sub>	= utsläppspunktens höjd över marken, inklusive plymlyftet (m)
H <sub>u</sub>	= höjd över utsläppspunkten, inklusive plymlyft (m)
ΔH <sub>c</sub>	= förbränningsvärme för gasol (kJ/kg)
ΔH <sub>cTNT</sub>	= förbränningsvärme för TNT (kJ/kg)
ΔH <sub>v</sub>	= förångningsvärme för gasol (J/kg)
I	= infallande strålning (kW/m <sup>2</sup> )
k <sub>air</sub>	= värmeledningstalet för luft (0.02568 W/mK)
L	= flammans längd (m)
L <sub>p</sub>	= avstånd från behållaren till skadan (m)
m	= ursprunglig massa brännbar vätska (kg)
m''	= pölens förbränningshastighet (kg/ms <sup>2</sup> )
m'' <sub>f</sub>	= förångningshastigheten från pölen (g/m <sup>2</sup> s)
M <sub>air</sub>	= molekylvikt för luft (29 g/mol)
M <sub>e</sub>	= ekvivalent massa TNT (kg)
M <sub>f</sub>	= molekylvikt för gasol (44 g/mol)
n	= förhållandet mellan antalet mol reaktant och antalet mol produkt för stökiometrisk blandning
N	= antal tankfragment
Nu	= Nusselts tal
ΔP	= P <sub>0</sub> -P <sub>a</sub> (Pa)

$P_a$	= trycket i omgivningen, tillämplig sort, (Pa, mmHg)
$P_b$	= tankens bristningstryck (psi)
$P_e$	= trycket vid utloppet (Pa)
$P_f$	= ångtryck för gasol (mmHg)
$P_s$	= mättnadstryck (Pa)
$P_0$	= trycket i behållaren (Pa)
$P_1$	= begynnelsestryck för den komprimerade gasen (psia)
$P_2$	= sluttryck för den expanderade gasen (psia)
$P_3$	= standardtryck (14.7 psia)
$Pr_{air}$	= Prandtls tal för luft (0.71)
$q_e$	= avgiven strålning (kW/m <sup>2</sup> )
$q_{loss}$	= värmeförluster från det varma gasmolnet (kW/m <sup>2</sup> )
$Q$	= massflöde (kg/s)
$Q_{ev}$	= förångningshastighet (kg/s)
$r$	= stökiometriskt förhållande luft/gasol
$r_i$	= ursprungligt förhållande luft/gasol (antages = 0 eftersom gasol och luft inte är förblandade)
$r_{max}$	= största möjliga pölradi (m)
$r_p$	= pölens radi (m)
$R$	= gaskonstanten för den aktuella gasen (J/Kmol)
$R^*$	= universella gaskonstanten (8314 J/Kmol)
$Re$	= Reynolds tal
$S_e$	= experimentellt bestämd parameter (0.12/m)
$t_{BLEVE}$	= eldklotets varaktighet (s)
$t_d$	= den tid det tar för förångningshastigheten att bli lika stor som utsläppshastigheten (s)
$t_{eff}$	= varaktighet för förbränningen i gasmolnet (s)
$\Delta T$	= $T_0 - T_a$ (K)
$T_a$	= omgivningens temperatur (K)
$T_{bp}$	= kokpunkten för gasol (K)
$T_e$	= temperaturen vid utloppet (K)
$T_f$	= flamtemperatur (K)
$T_g$	= gasens temperatur i molnet (K)
$T_{g,av}$	= medeltemperatur för gasen i molnet (K)
$T_{g,i}$	= begynnelsestemperatur i gasmolnet (K)
$T_0$	= temperaturen i behållaren (K)
$T_1$	= den komprimerade gasens temperatur (R)
$T_2$	= standardtemperatur (492 R)
$u$	= vindhastigheten (m/s)
$u_e$	= hastigheten vid utloppet (m/s)
$u_o$	= begynnelsehastighet (ft/s)
$V$	= volym komprimerad gas (ft <sup>3</sup> )
$\dot{V}$	= volymflöde till pölen (m <sup>3</sup> /s)
$V_f$	= gasmolnets volym (m <sup>3</sup> )
$V_t$	= tankens volym (m <sup>3</sup> )
$W$	= energi given som lb TNT
$W_f$	= tankfragmentens vikt (lb)
$x$	= avstånd från utsläppspunkten i vindriktningen (m)
$y$	= avstånd från utsläppspunkten vinkelrätt mot vindriktningen (m)
$Y_{FR}$	= massfraktion gasol i pölen (sättes = 1)

$Y_{FW}$	= massfraktion gasol i gasfasen vid vätskeytan
$Y_{F\infty}$	= massfraktion gasol i luften ovanför pölen (sättes = 0)
$z$	= höjd över marken (m)
$\epsilon_g$	= emissiviteten för den varma gasen
$\gamma$	= $C_p/C_v$ (1.13 för gasol)
$\eta$	= empirisk explosionsfaktor
$\lambda$	= värmekonduktivitet för marken (typiskt värde 1 W/mK)
$\rho_a$	= luftens densitet (kg/m <sup>3</sup> )
$\rho_g$	= gasens densitet i behållaren (kg/m <sup>3</sup> )
$\rho_{gr}$	= markens densitet (typiskt värde 1000 J/kgK)
$\rho_l$	= densitet för vätskeformig gasol (kg/m <sup>3</sup> )
$\sigma$	= Stefan Boltzmanns konstant ( $5.76 \cdot 10^{-8}$ W/m <sup>2</sup> K <sup>4</sup> )
$\sigma_y, \sigma_z$	= dispersionskoefficienter, beror på avståndet från utsläppspunkten (m)
$\tau$	= transmission
$\nu$	= kinematisk viskositet för luft ( $15.08 \cdot 10^{-6}$ m <sup>2</sup> /s)

## Referenser:

1. "Guidelines for Chemical Process Quantitative Risk Analysis". Center for Chemical Process Safety of the American Institute of Chemical Engineers, 1989.
2. Fauske, H.K. and Epstein, M., Source Term Considerations in Connection with Chemical Accidents and Vapor Cloud Modeling. Proceedings of the International Conference on Vapor Cloud Modeling. Cambridge, MA, November 2-4, AIChE, New York, 1987, p 251.
3. Jensen, N.O., On Cryogenic Liquid Pool Evaporation. Journal of Hazardous Materials, 3, 1986, pp 157-163.
4. Kanury, A.M., Introduction to Combustion Phenomena, Gordon and Breach Science Publishers, New York, 1975, pp 152-164.
5. Ott, S., GReAT, Risø National Laboratory, Roskilde.
6. Ermak, D.L., User's Manual for SLAB: An Atmospheric Dispersion Model for Denser-than-Air Releases, Lawrence Livermore National Laboratory, June 1990.
7. Zeman, O., The Dynamics and Modeling of Heavier-than-Air, Cold Gas Releases, Atmos. Environ., 16, pp 741-751.
8. Hawthorne, W.R., Weddell, D.S. and Hottel, H.C., (1949) 3rd Symposium (International) on Combustion, pp 266-288, Williams and Wilkins, Baltimore.
9. Mudan, K.S. and Croce, P.A., Fire Hazards Calculations for Large Open Hydro-Carbon Fires, The SFPE Handbook of Fire Protection Engineering, National Fire Protection Association, 1988, pp 2.45-2.87.
10. Thomas, P.H., The Size of Flames from Natural Fires, 9th Int. Combustion Symposium, Comb. Inst., Pittsburgh, PA, pp 844-859, 1963.
11. Eisenberg, N.A. et. al., Vulnerability Model. A Simulation System for Assessing Damage Resulting from Marine Spills. Nat. Tech. Inf. Service Rep. AD-A015-245, Springfield, VA, 1975.
12. Lees, F.P., Loss Prevention in the Process Industries, Butterworth & Co Ltd, 1980.