



LUND
UNIVERSITY

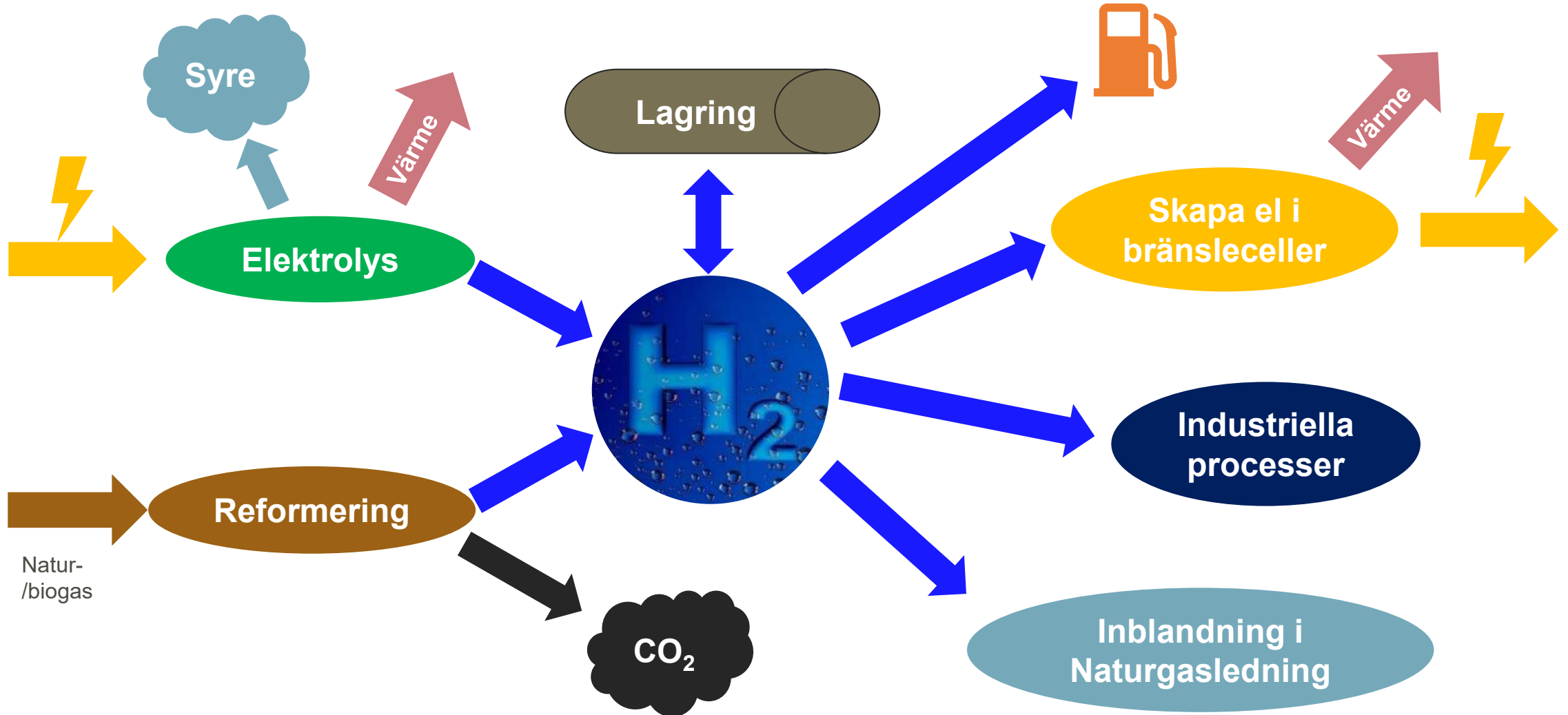
Säker vätgashantering

MARCUS RUNEFORS

Avd. för Brandteknik, Lunds Tekniska Högskola (LTH)

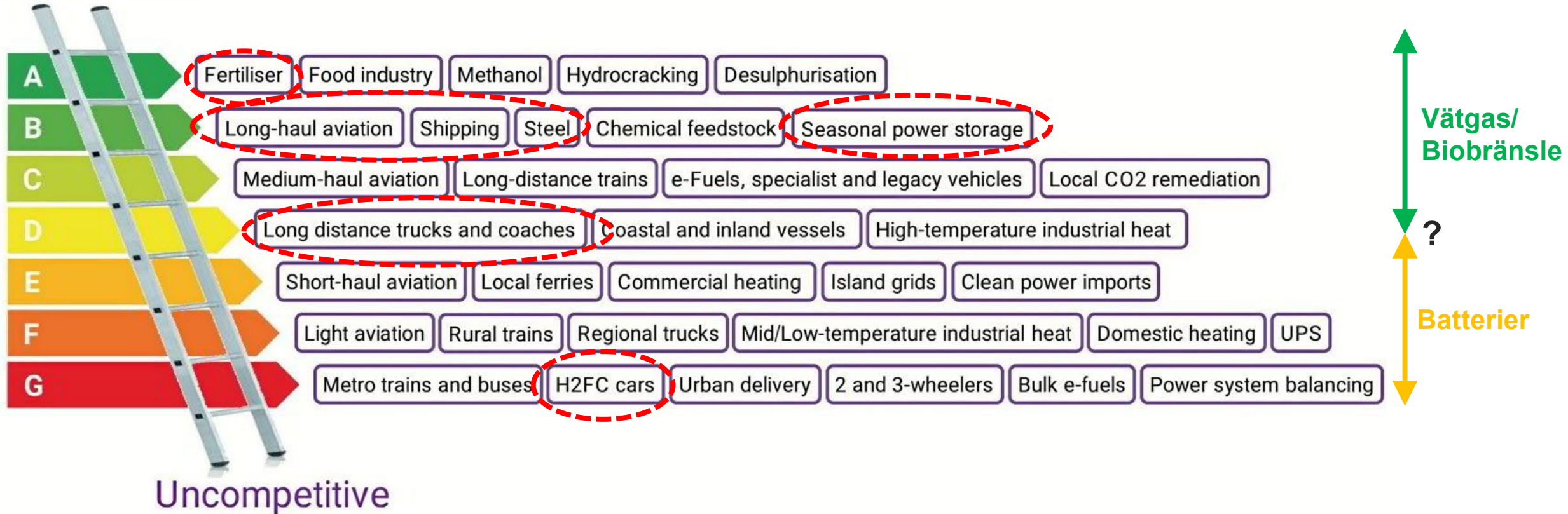


Vätgas som energibärare



Hydrogen: The Ladder

Unavoidable



Vätgasanvändning i samhället

Stor skala

Industri, t.ex. stål/järn, turbiner, elektrolysörer



Byggnader, t.ex. tankstationer, energilagring



Fordon, t.ex. bilar, lastbilar, tåg, flyg, båt

Liten skala



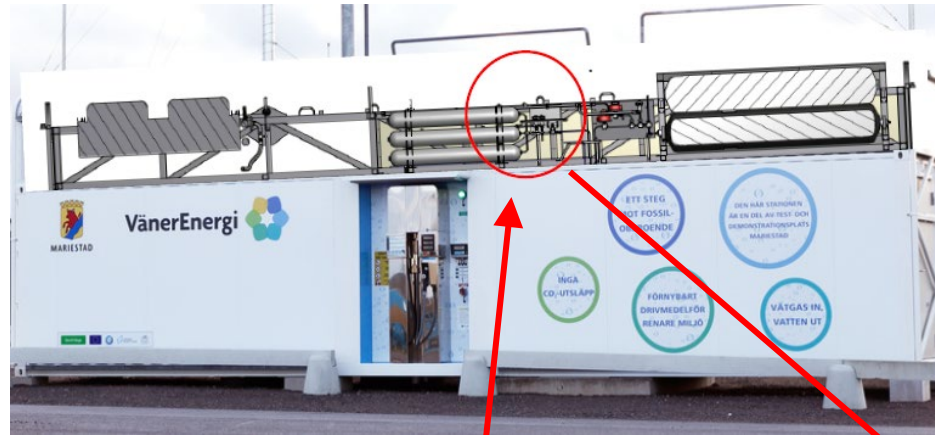
Varför är säkerhet viktigt (förutom det uppenbara)?



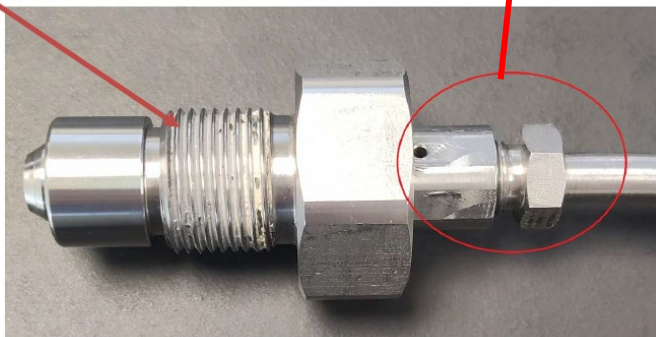
Tankstation
Sandvika
Norge 2019

Sandvika 2.0?

(Mariestad i mars 2022)



Monterad i tryckkärlet



Containern i Mariestad om den hade antänt?

Test 09

$[H_2]$: 24 vol.%

A_v : 5.6 m²

P_{stat} : \approx 1.1 bar



Jämförelse med metan

	Vätgas (H ₂)	Metan (CH ₄)
Densitet	0.0899 kg/m ³	0.717 kg/m ³
Molekylstorlek	0.289 nm	0.380 nm
Brännbarhetsgränser	4-78%	5.3-15%
Lägre värmevärde	119.93 kJ/g 10.05 kJ/m ³	50.02 kJ/g 32.56 kJ/m ³
(Max) Energi i "gasmoln"	3.0 kJ/m ³ (29.5%)	3.1 kJ/m ³ (9.5%)
(Max) Förbränningshastighet	2.75 m/s (26.75 m/s)	0.4 m/s (3.9 m/s)
Termisk tändpunkt	510°C	537°C
Antändningsenergi (minst)	0.017 mJ	0.28 mJ

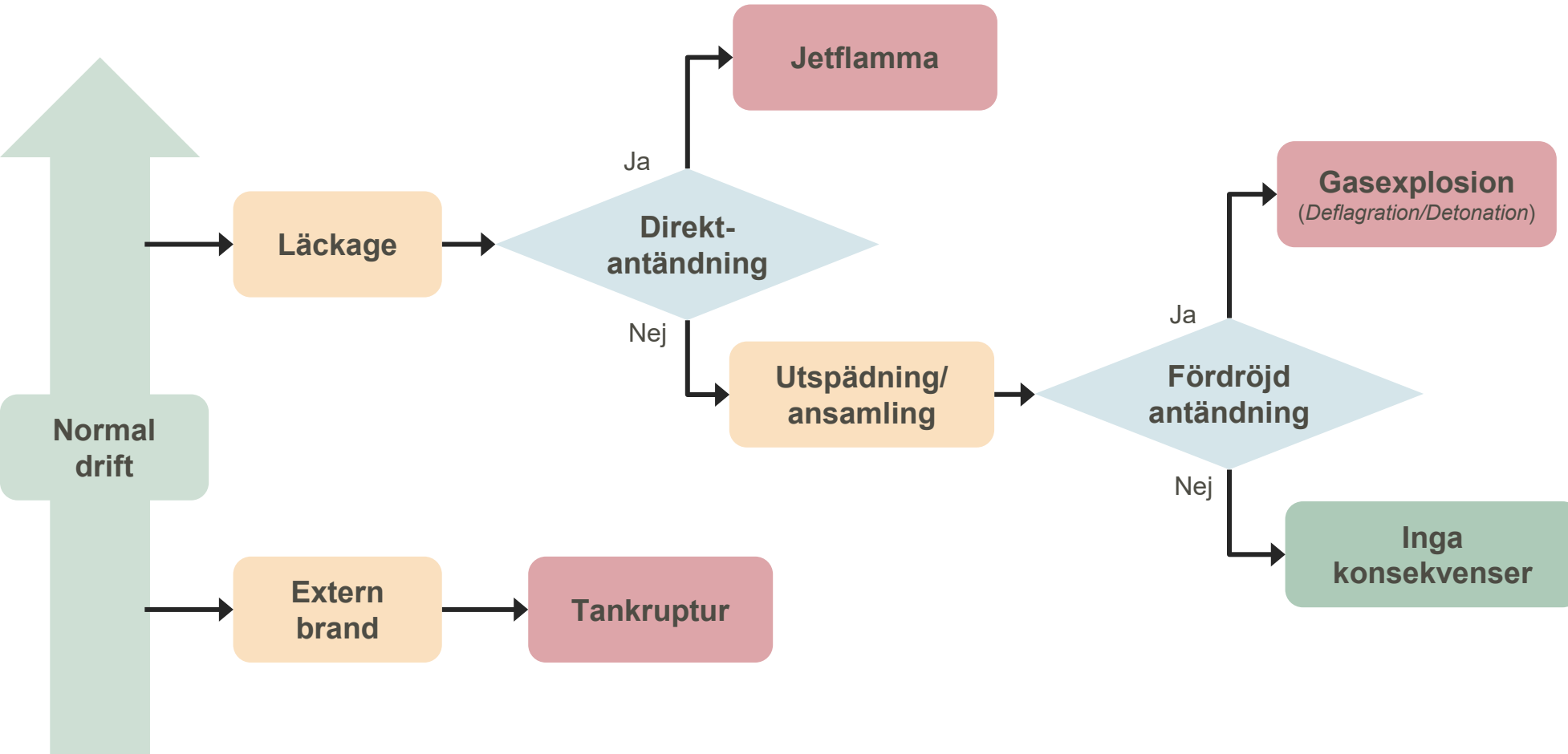
← Hög stigkraft, men...

← Tendens att läcka och diffundera igenom material

← Samma energi i moln...

← ... men kortare tid

Olycksscenarier

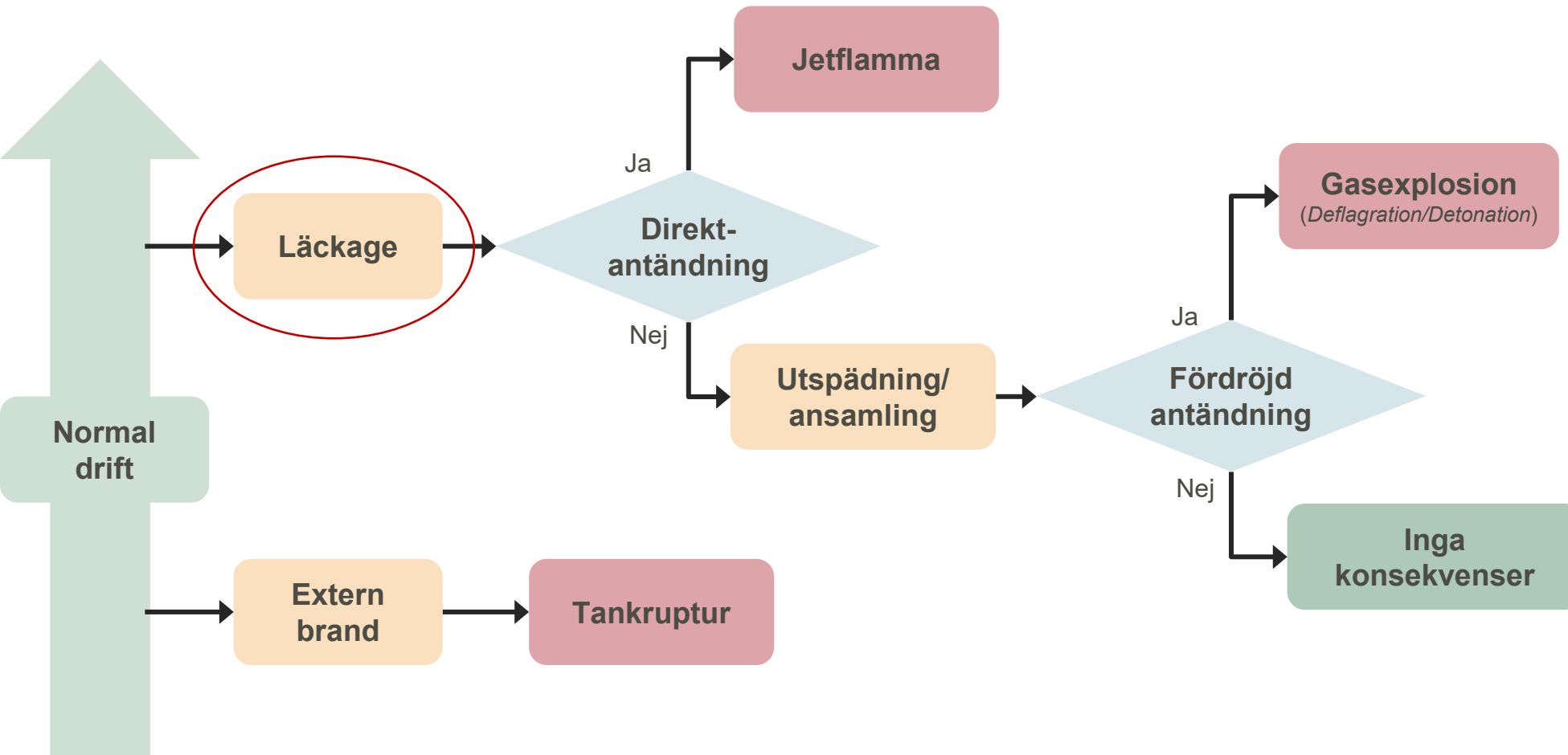


Olycksscenarier



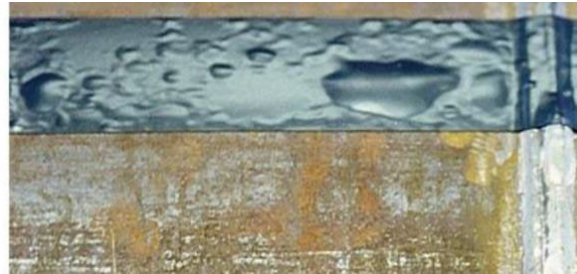
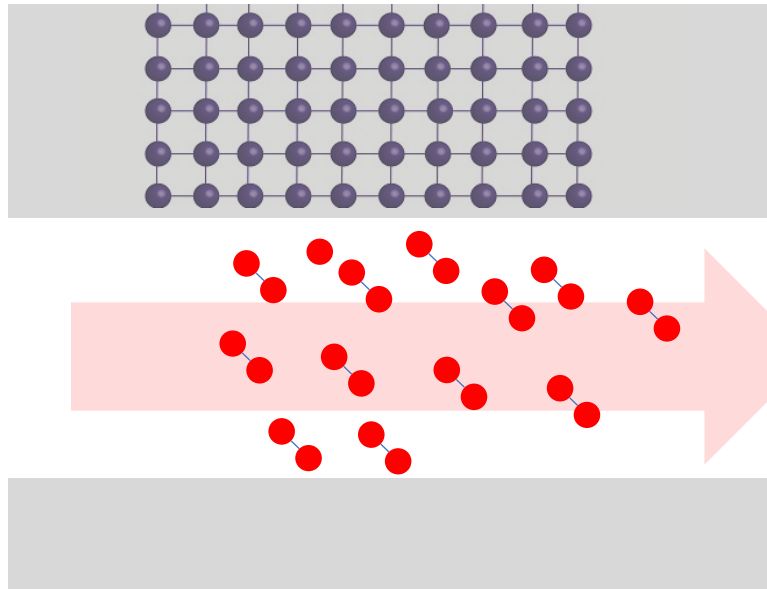
Att tänka på:

- Räkna alltid med (små) läckage
- Detektion i alla rum där det hanteras och magnetventil vid alla gasbehållare



Läckage - Väteförsprödning

1.

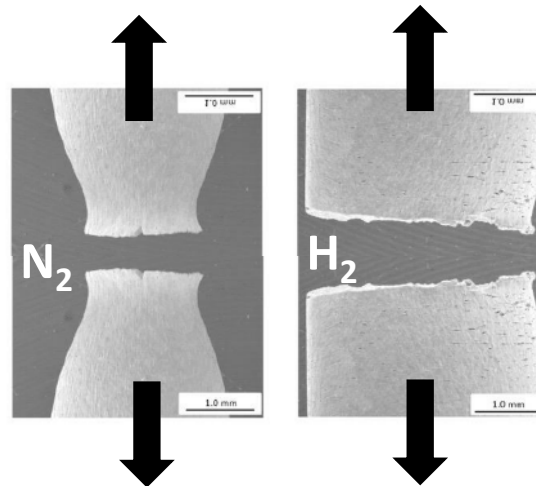
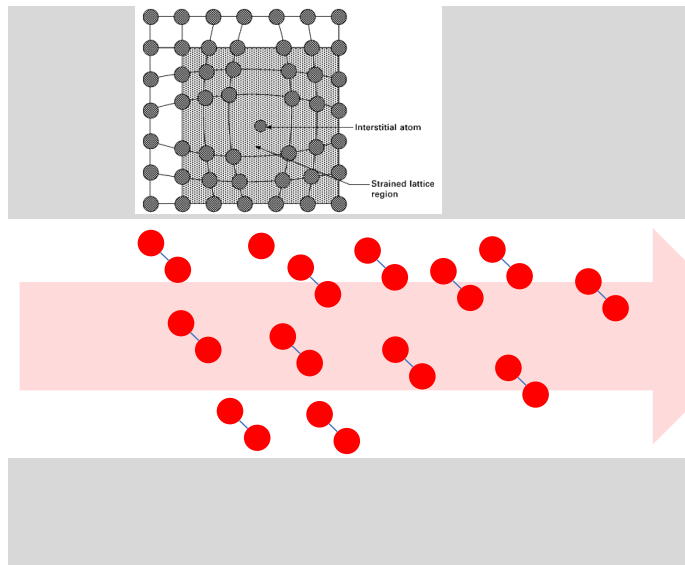


OK

Att tänka på:

- Använd material godkänt enligt **ISO/TR 15916** och **ISO 11114-4** eller liknande
- Minimera vibrationer, materialspänningar, osv
- Noga med god svetskvalitet

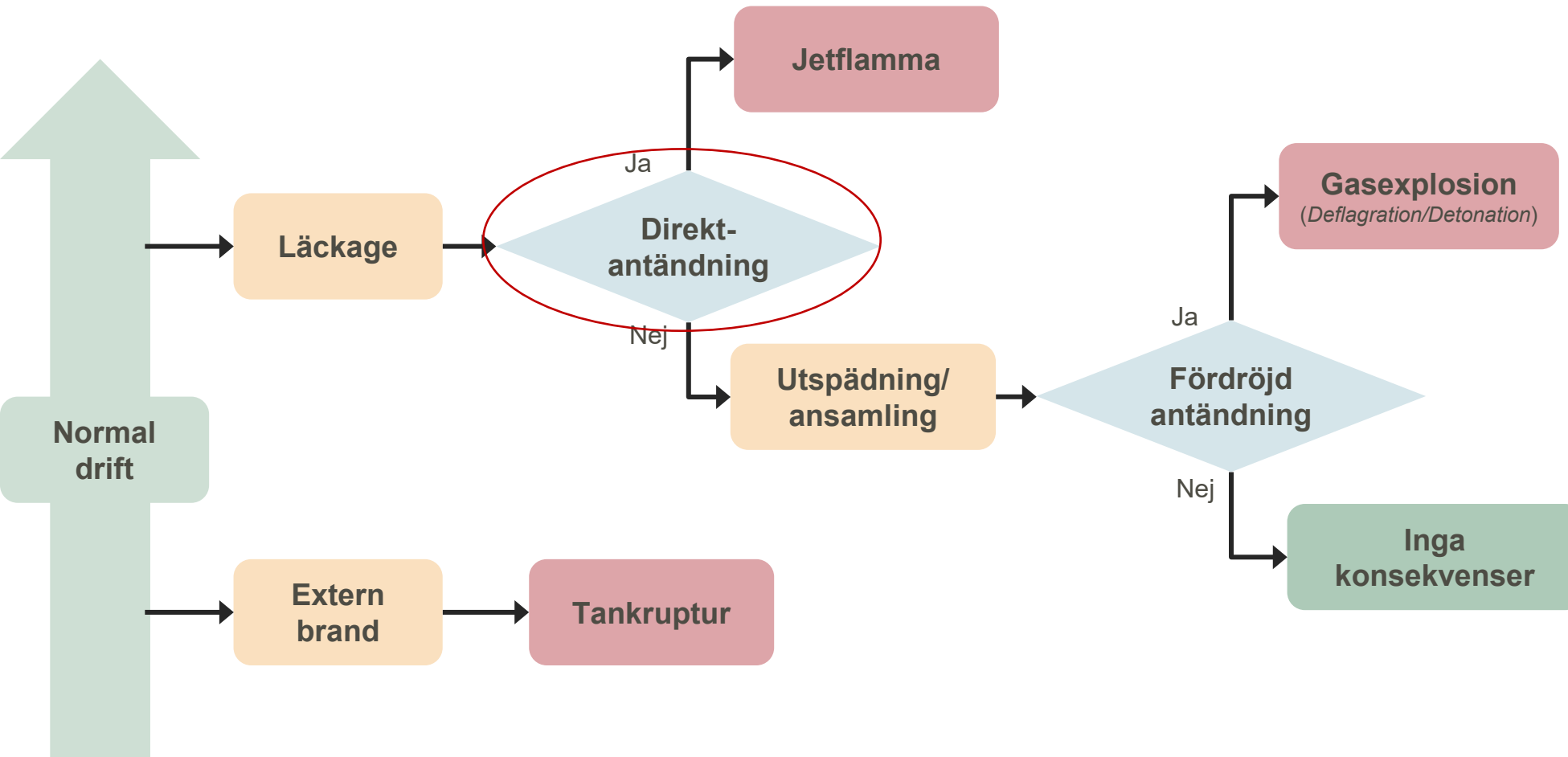
2.



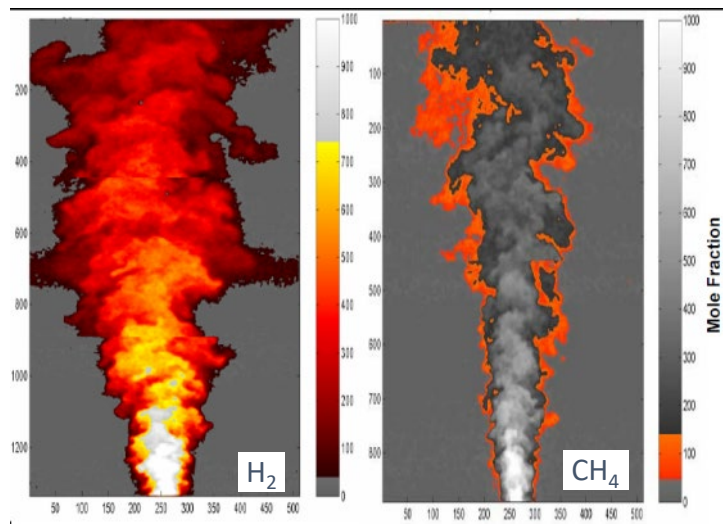
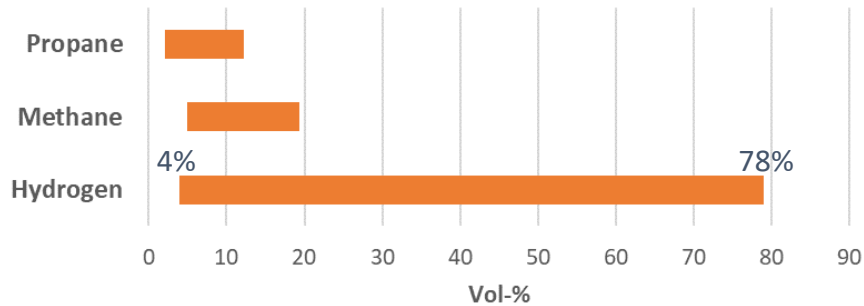
Ej OK



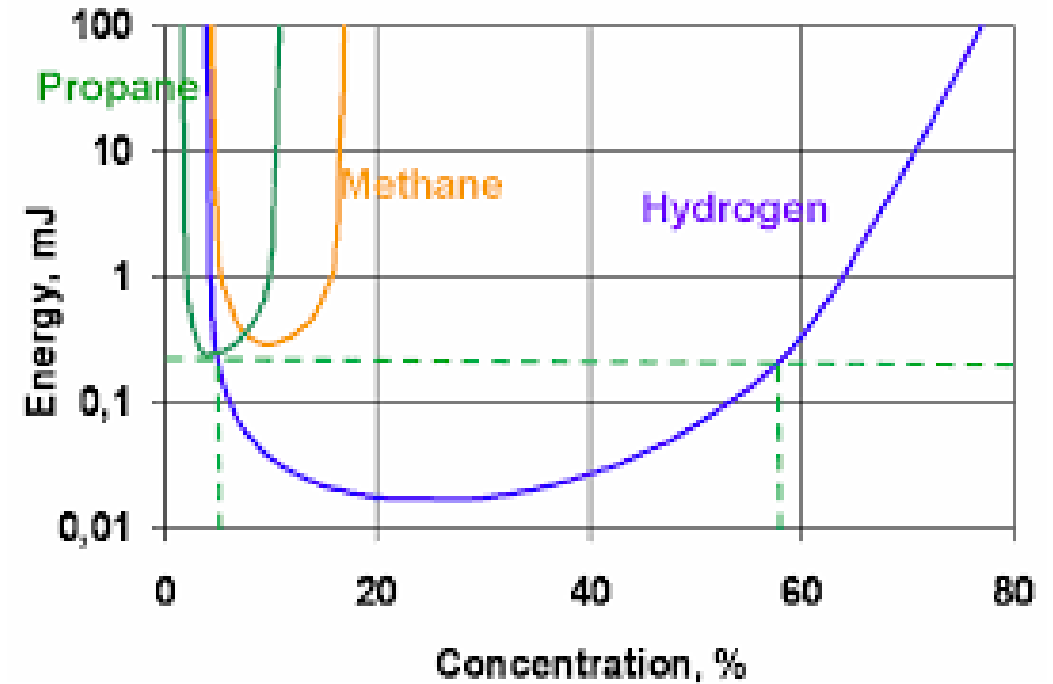
Olycksscenarier



Antändning av vätgas – Vad behövs?



+



Tändkälla

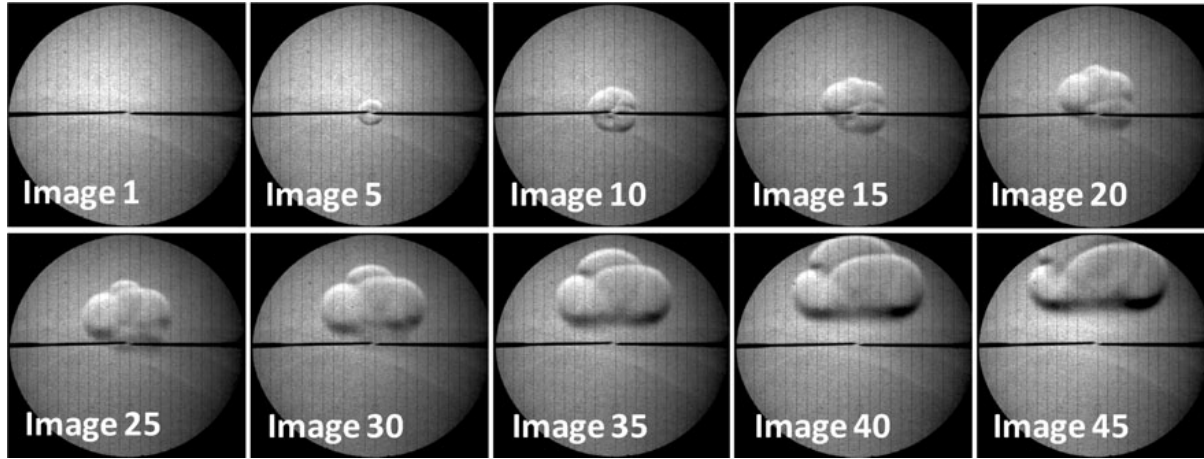
Luft/vätgasblandning med "rätt" koncentration

= Antändning mycket mer sannolik än för andra gaser

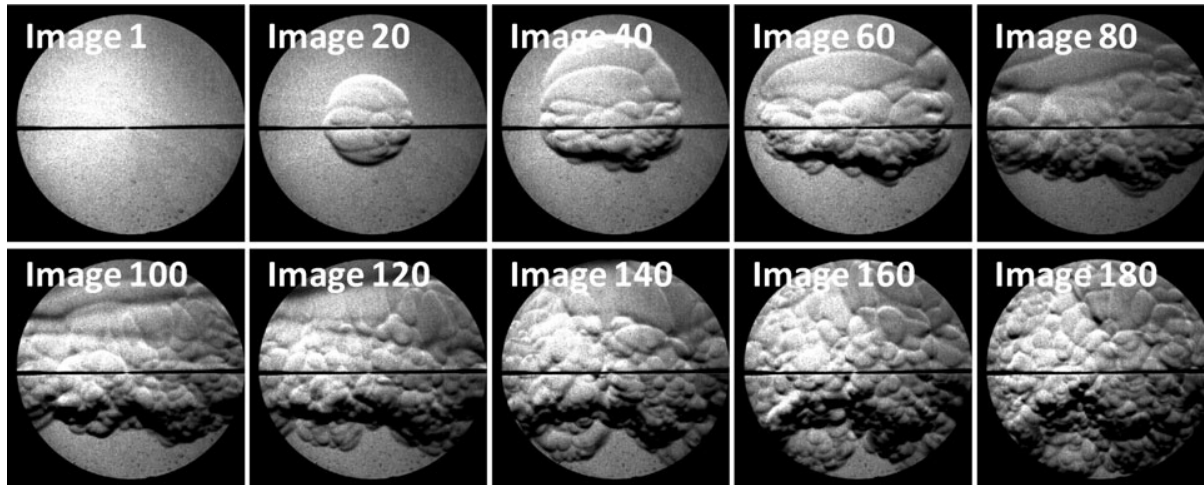
+ Självantändning

Vad är nedre brännbarhetsgränsen för vätgas? 4%?

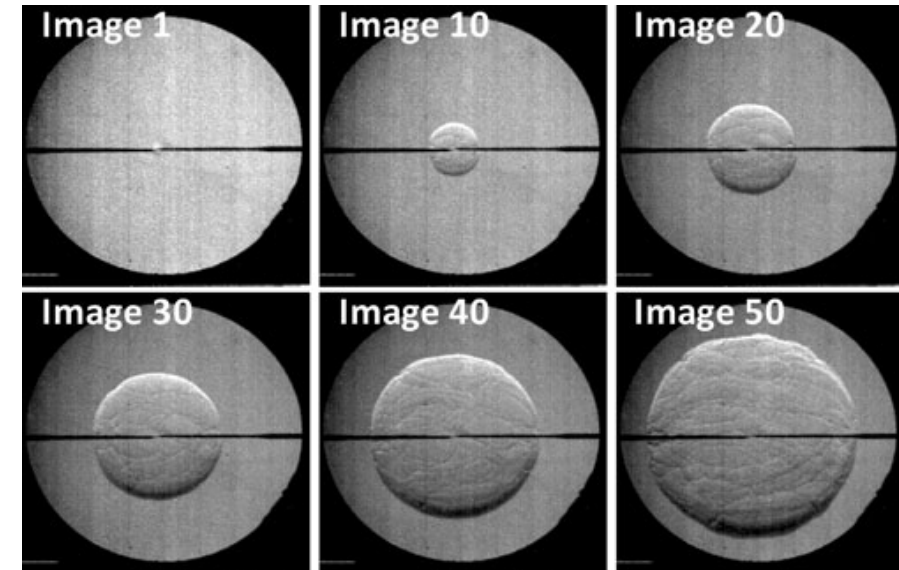
7 % H₂



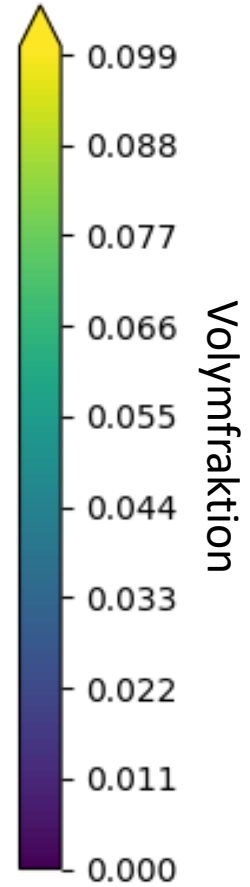
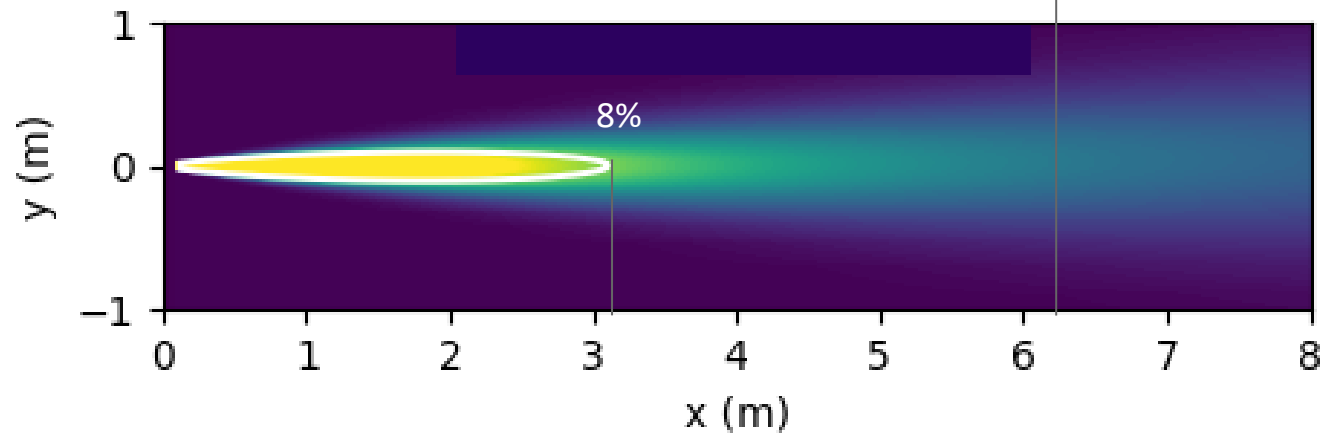
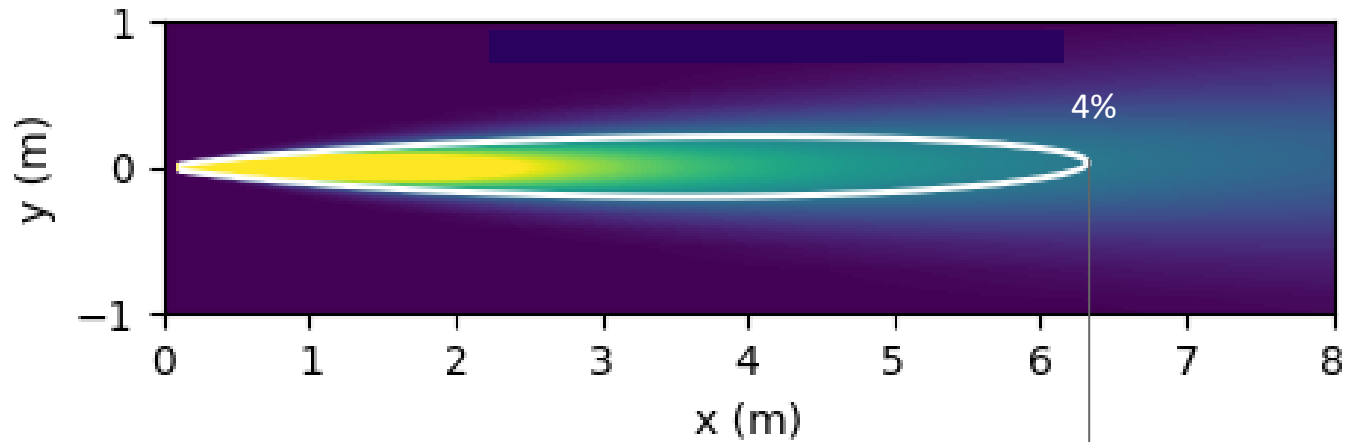
9 % H₂



25 % H₂

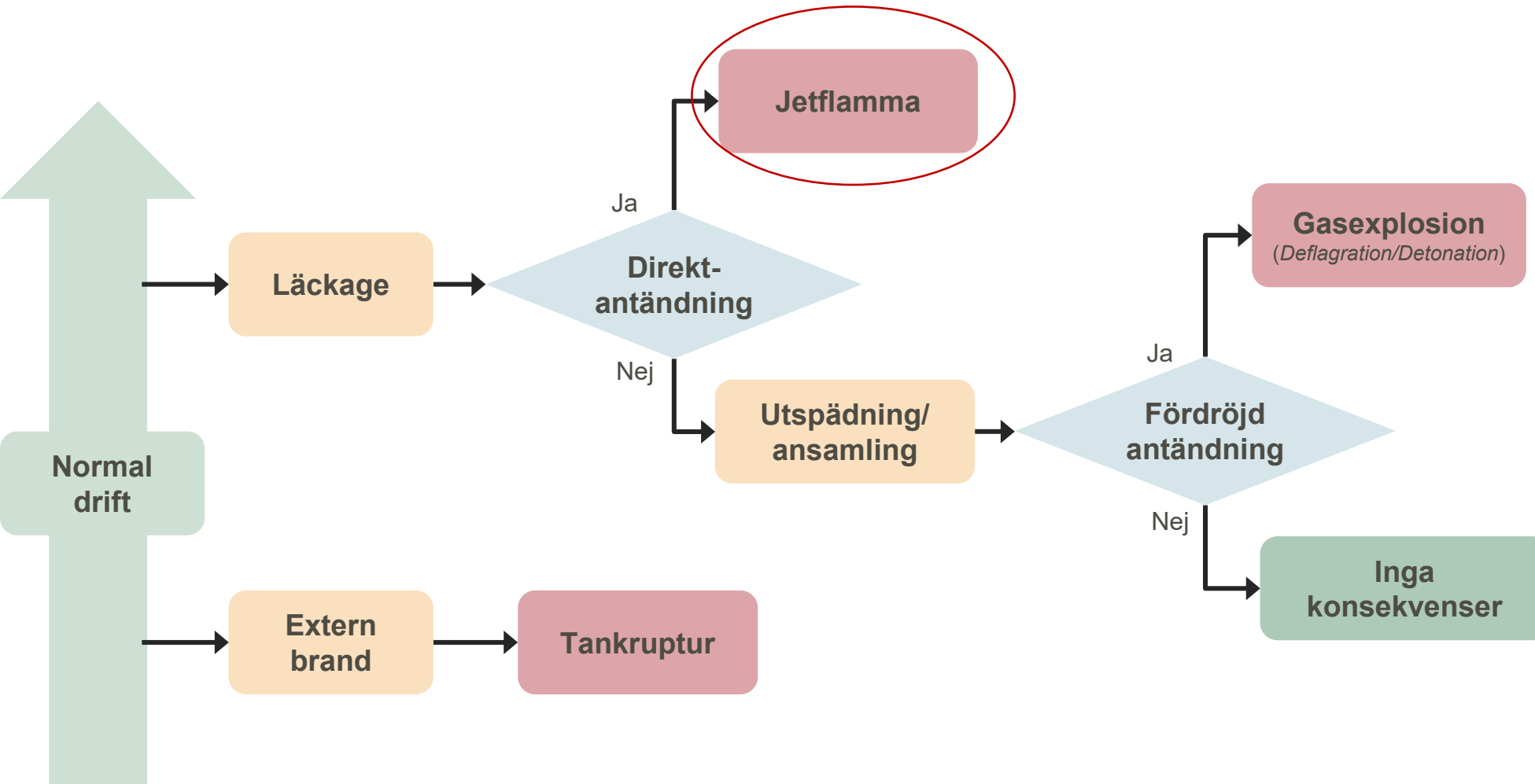


Antändbar jet?



Example, 1 mm och 700 bar

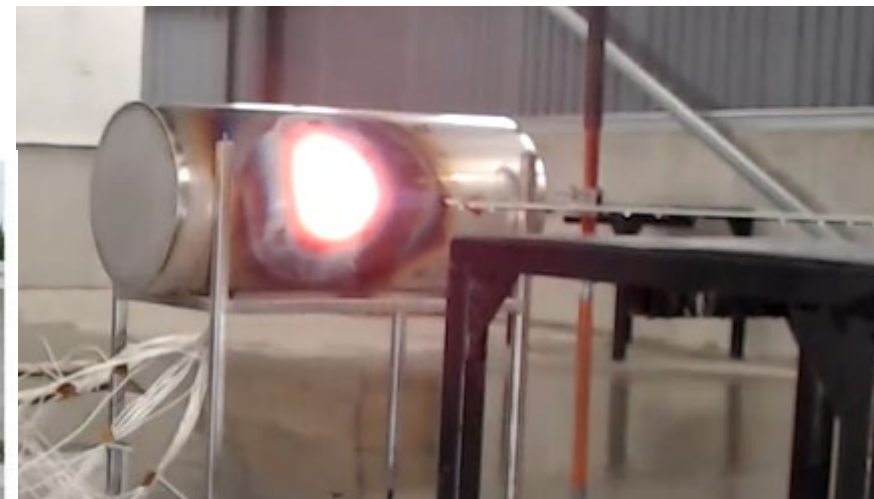
Olycksscenarier



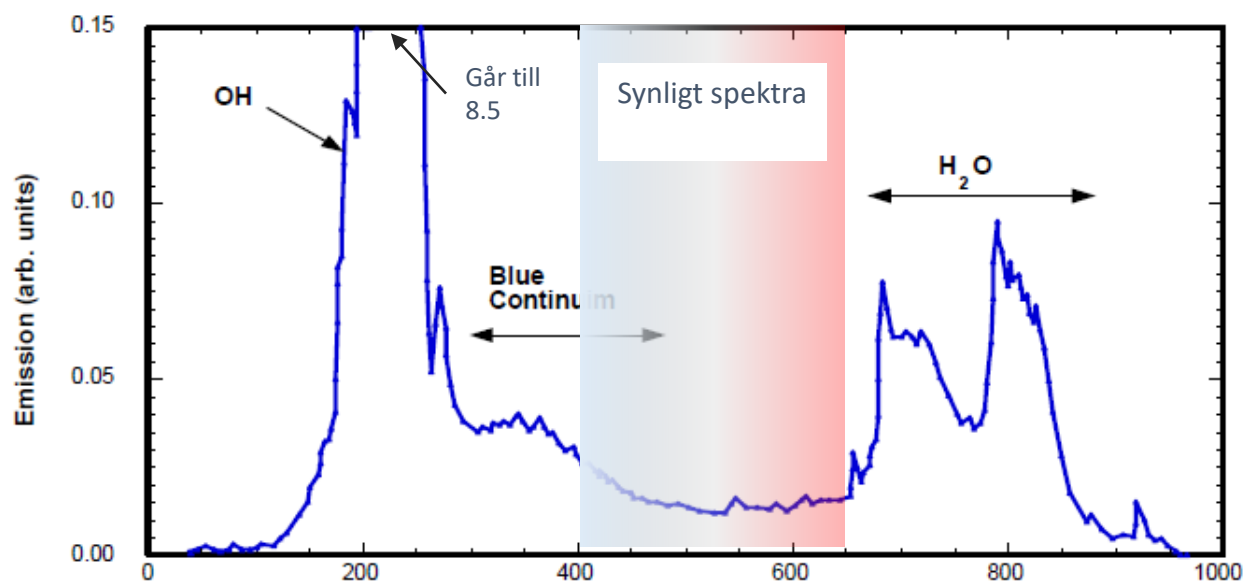
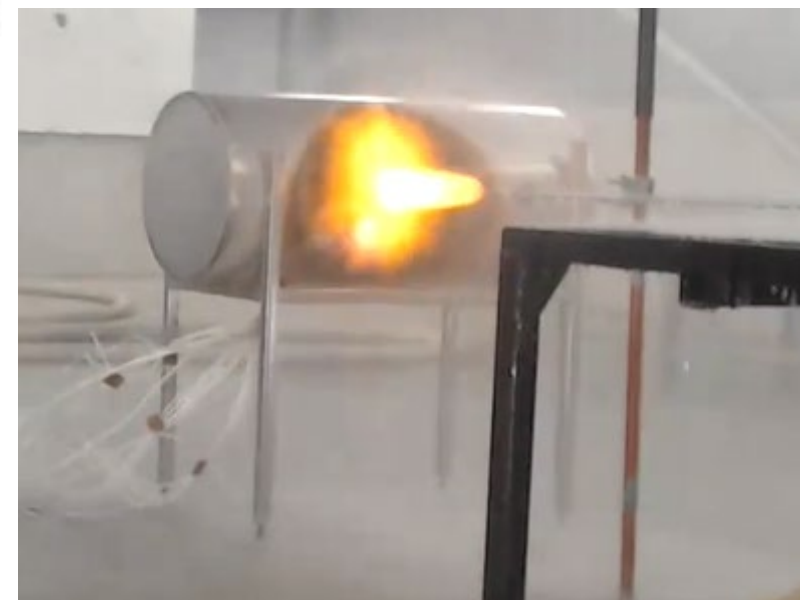
Syns en vätgasflamma?



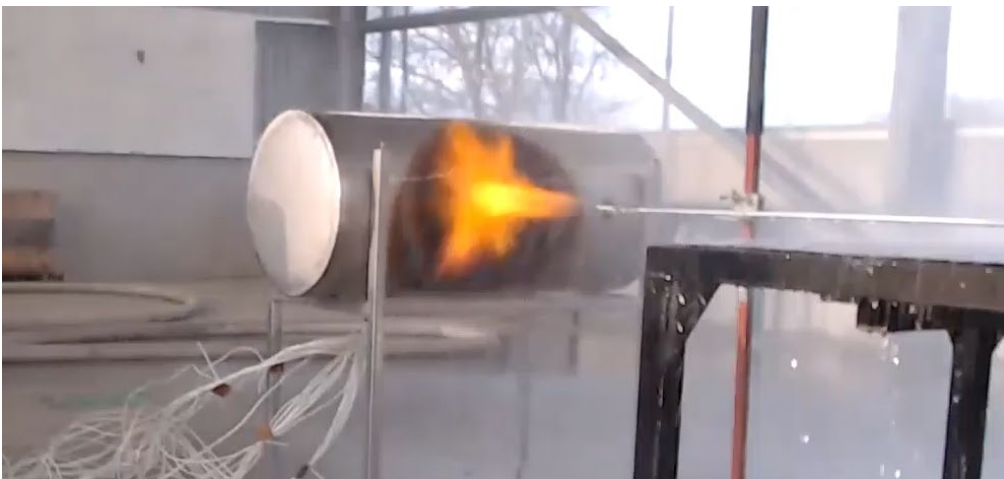
Utan sprinkler



Med sprinkler

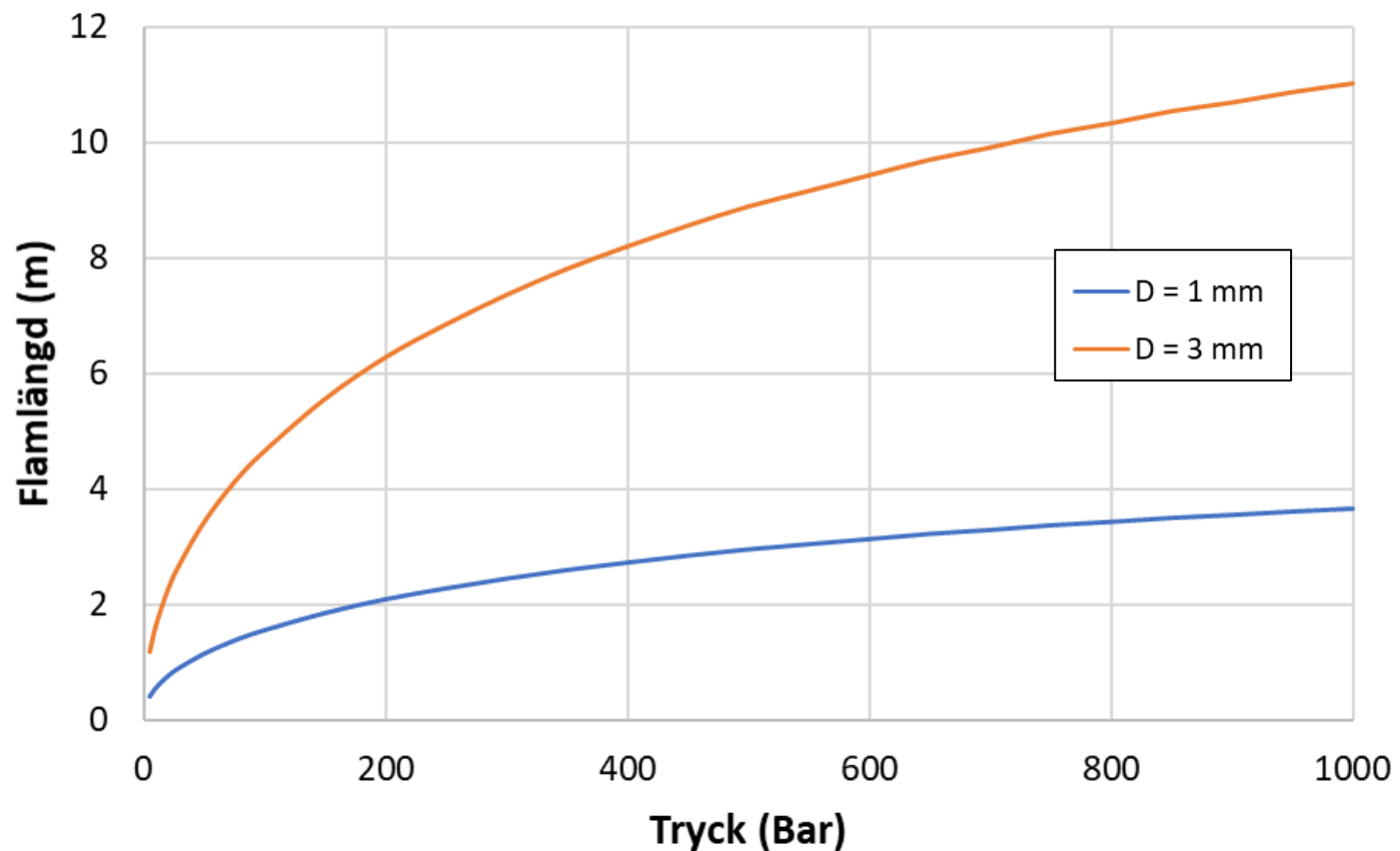


Jetflamma

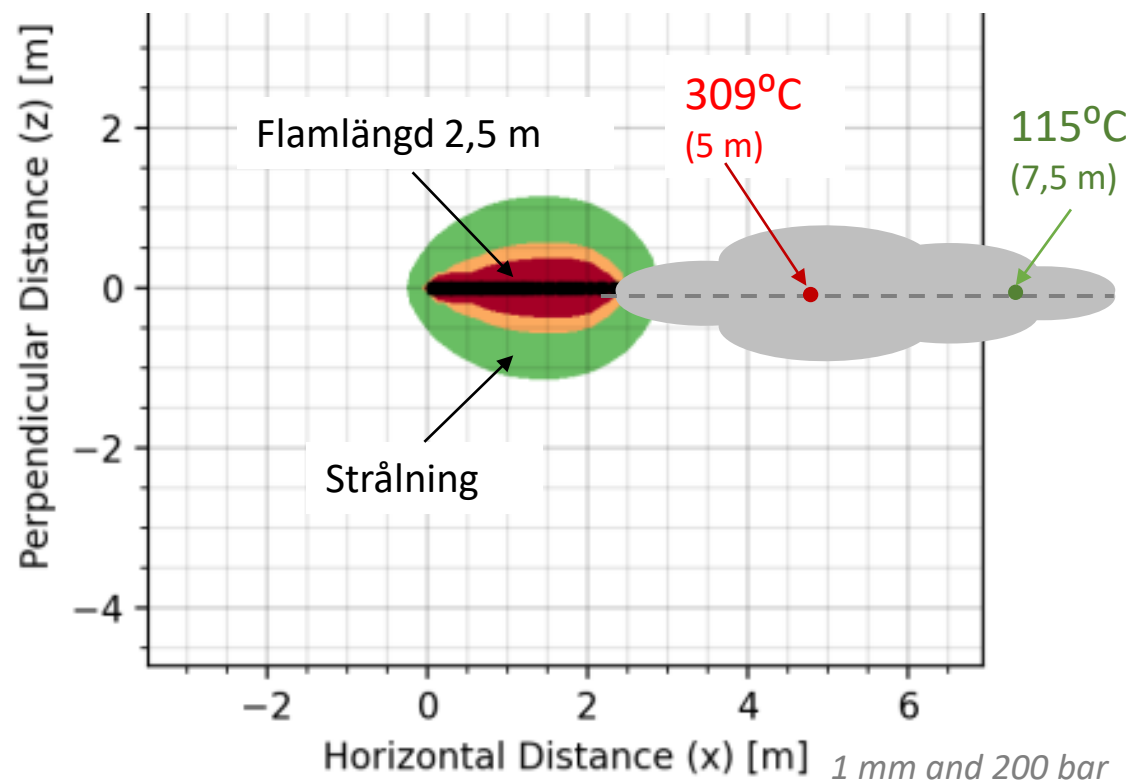
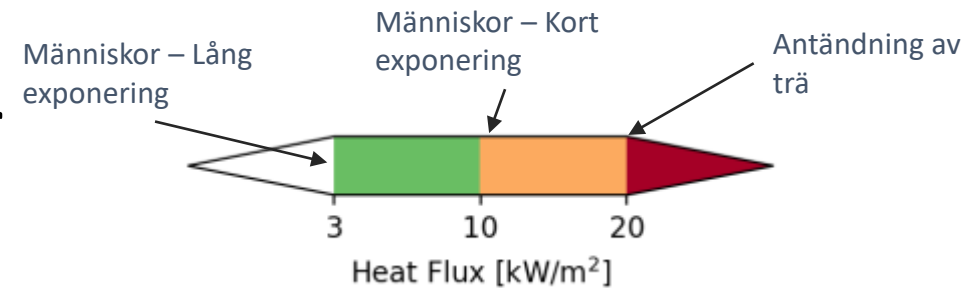


Att tänka på:

- Minimera rördimensioner
- Undvik att ev. jetflammar träffar känslig utrustning (t.ex. komposittankar)

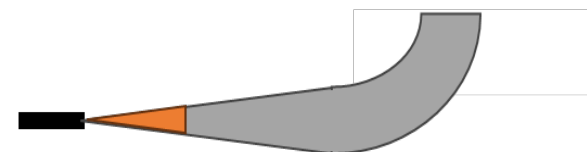


Värmestrålning från flammor

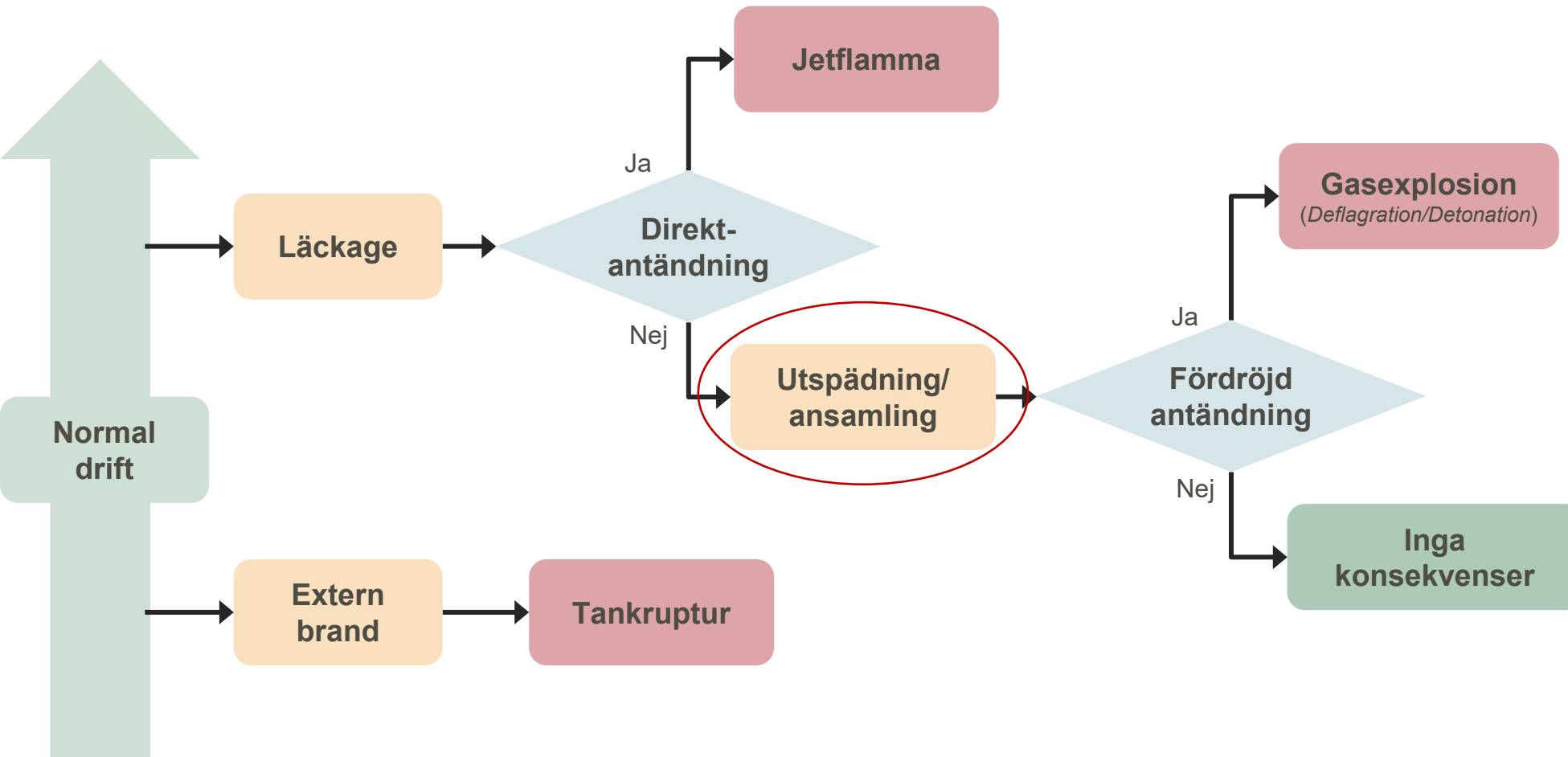


Gastemperatur är normalt ett större problem än strålning

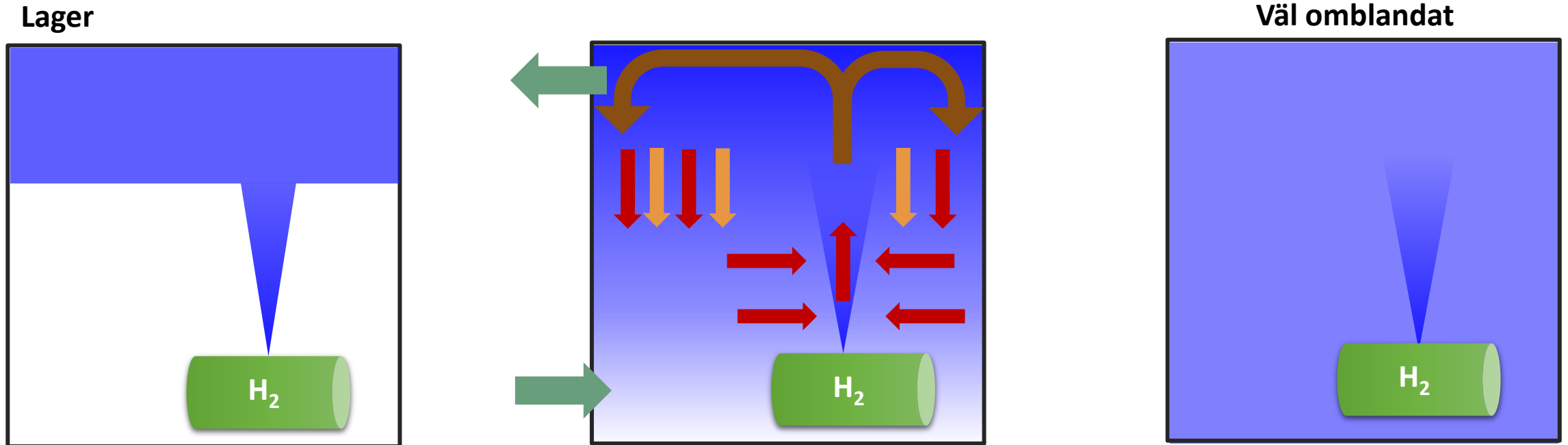
men...



Olycksscenarier



Lagerbildning vid utsläpp inomhus



← Stigkraft

← Ventilation (om inflöde lågt och utflöde högt)

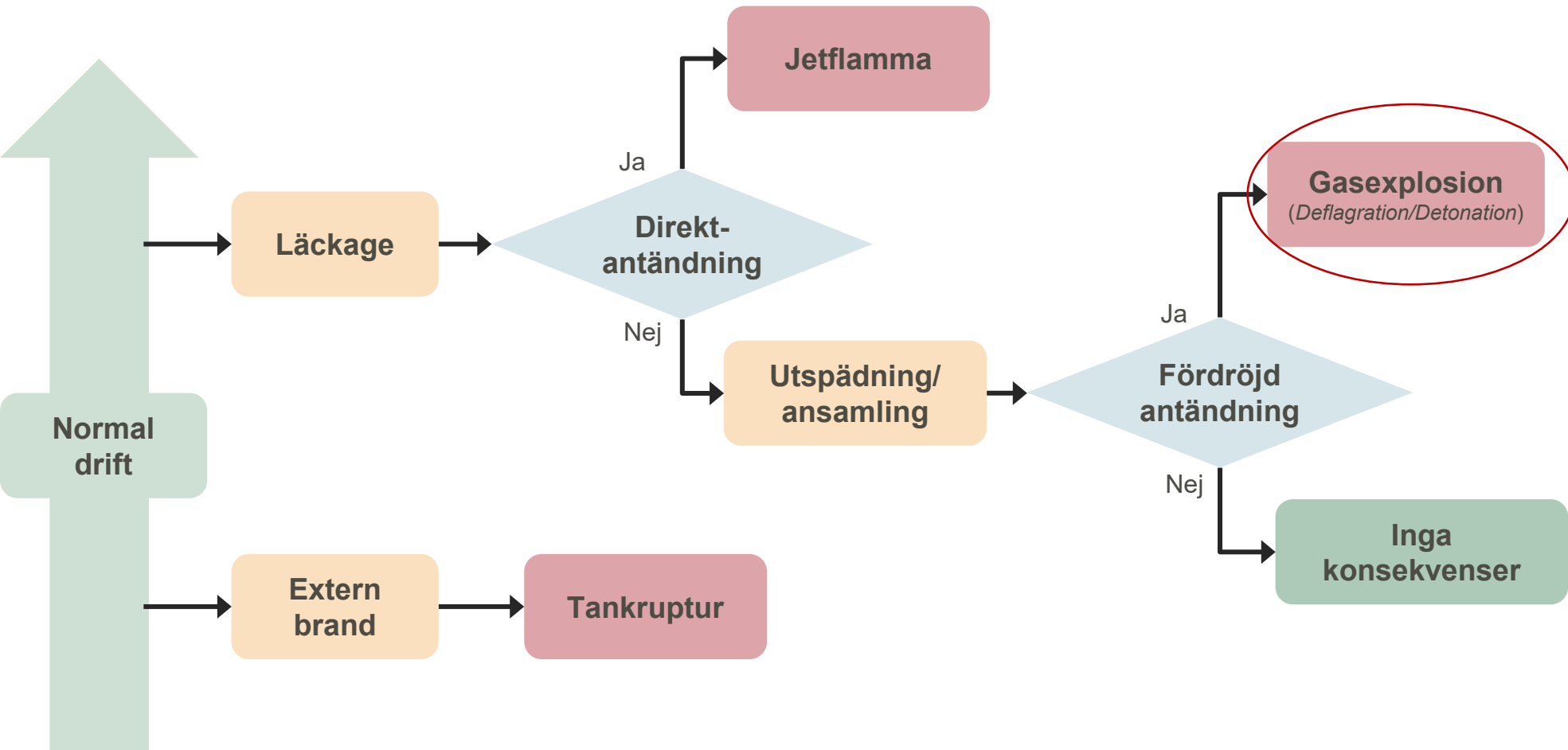
→ Inblandning i plymen

→ Diffusion

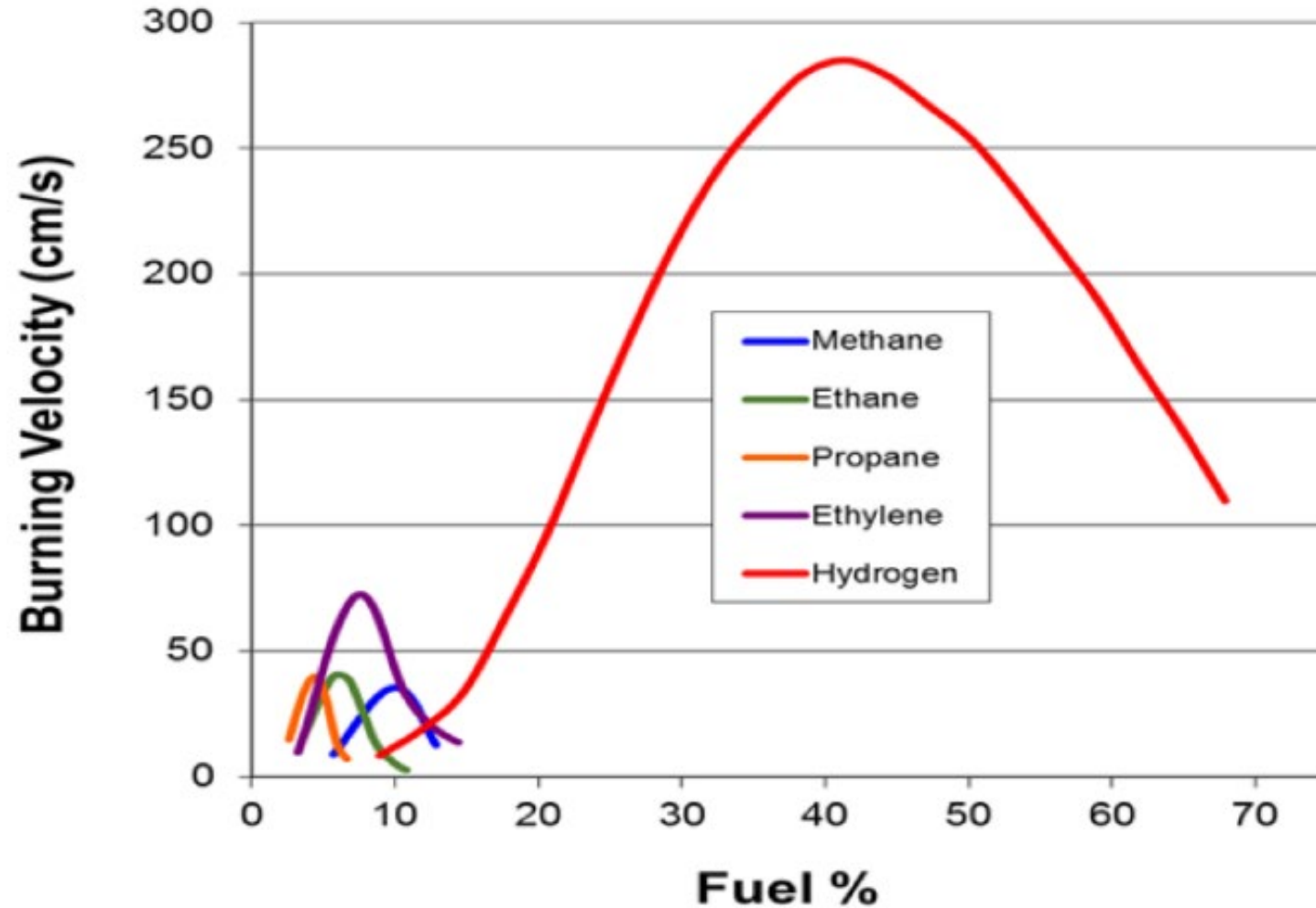
→ Tröghetskrafter



Olycksscenarier



Förbränningshastighet



Gasexplosioner

~ 300 g H₂

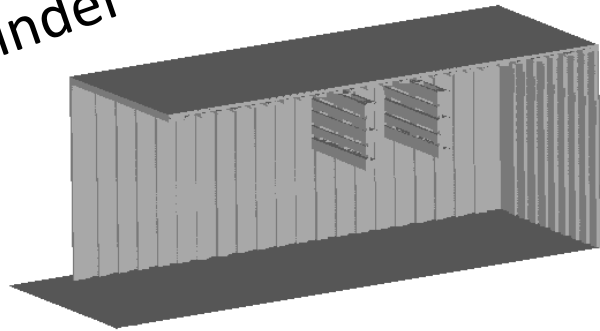
Experiment från:

USN University of
South-Eastern Norway

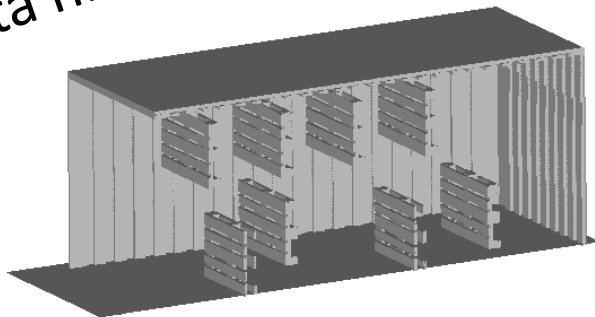
Inga hinder →



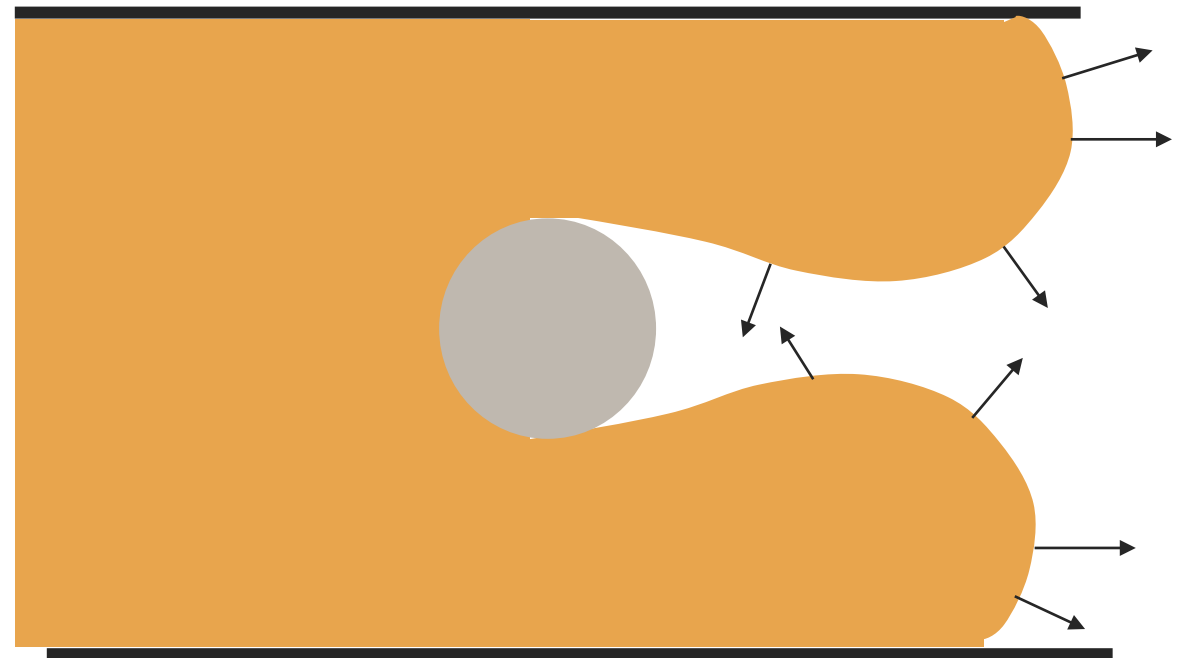
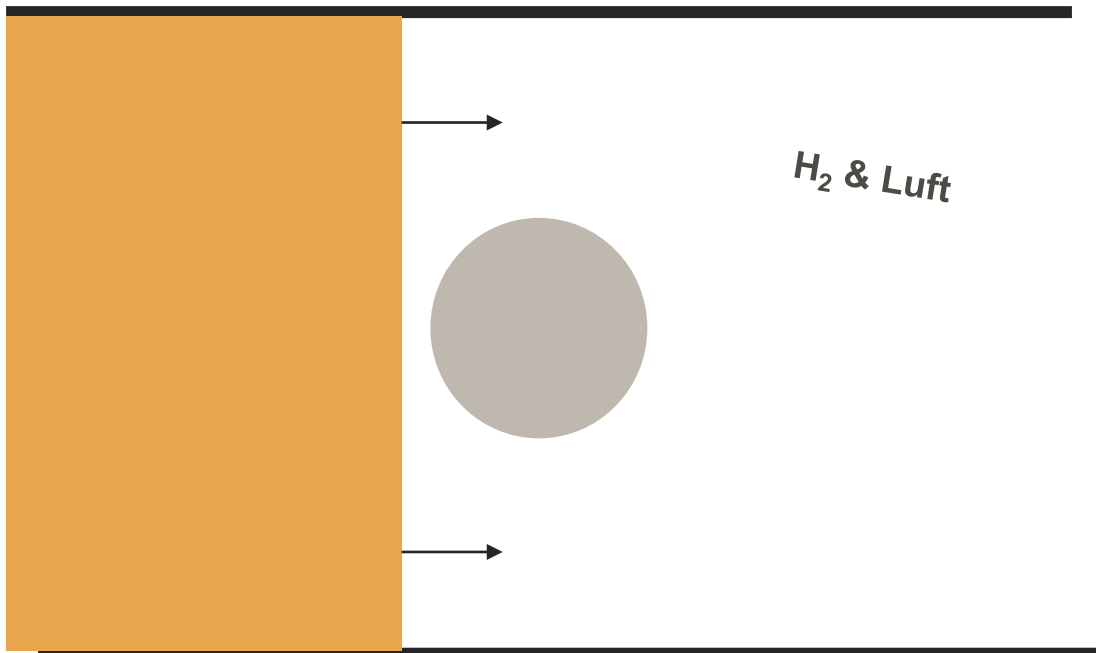
Två hinder

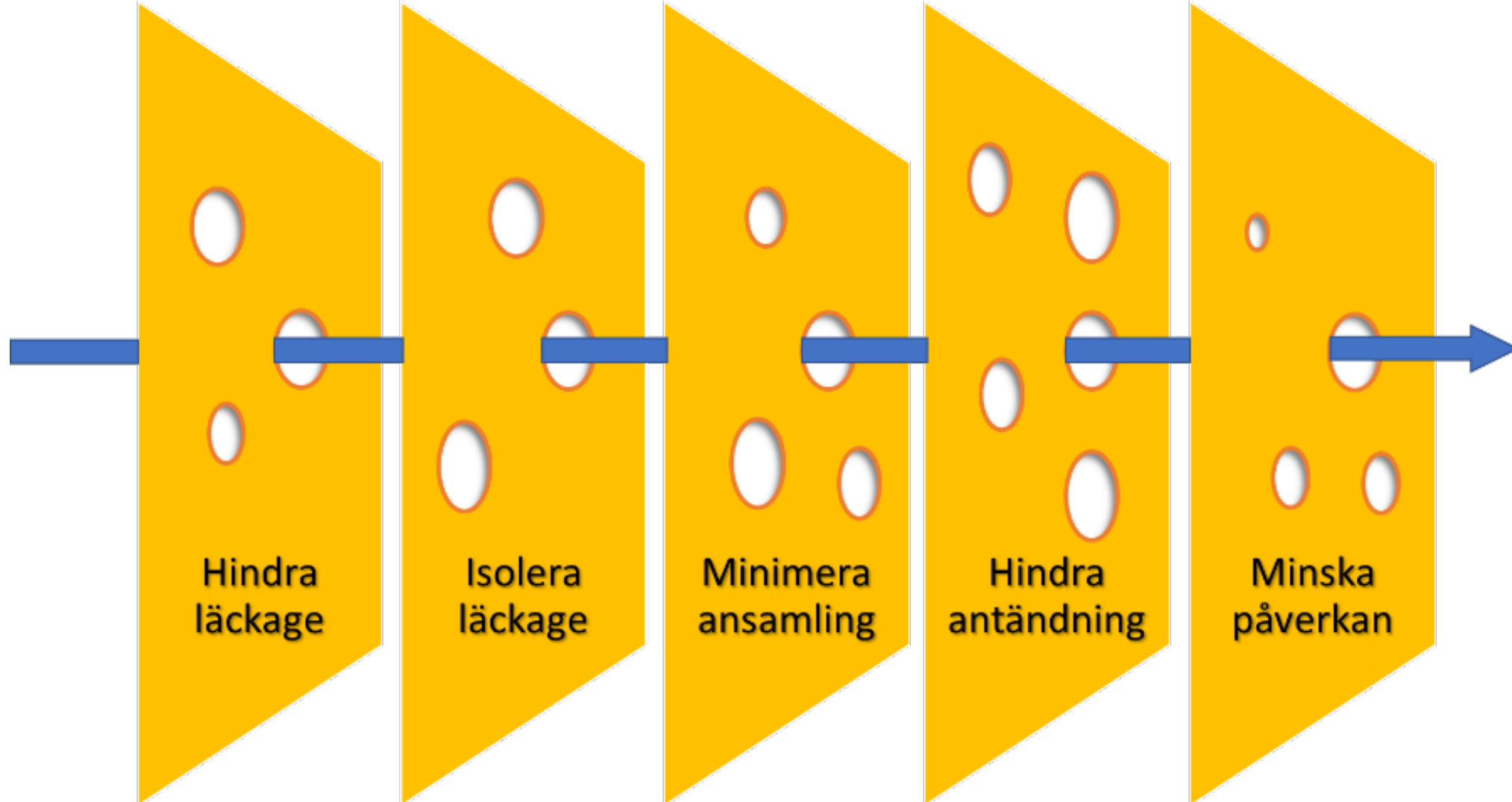


Åtta hinder



Förbränningshastighet – Påverkan av hinder





- Materialval
- Fysiskt skydd
- Underhåll

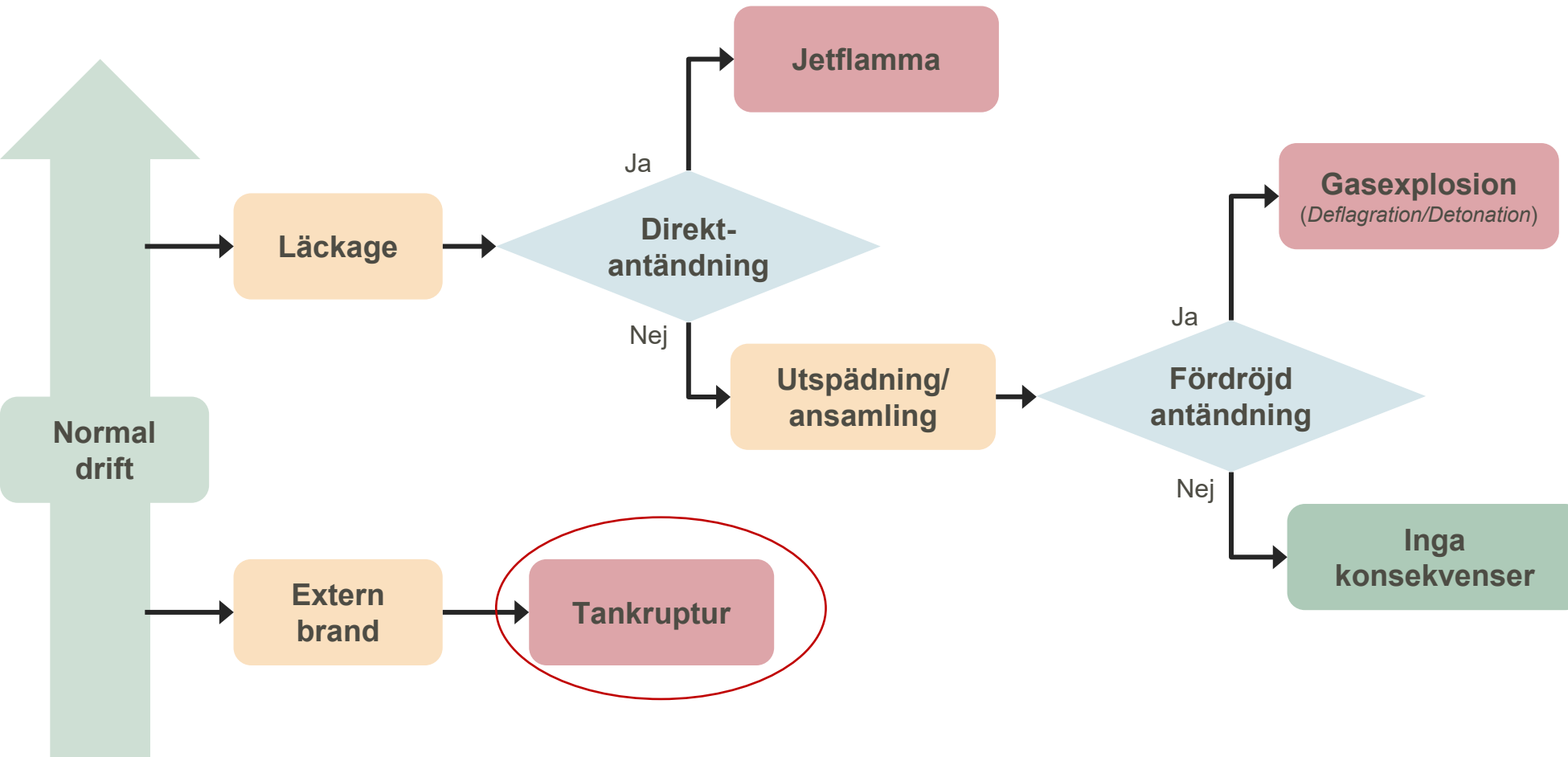
- Detektion
- Ventiler

- Flödesbegränsning
- Ventilation

- ATEX

- Ute
 - Säkerhetsavstånd
 - Murar
- Inne
 - Tryckavlastning
 - Släcksystem/inertering
 - ...

Olycksscenarier



Tankruptur

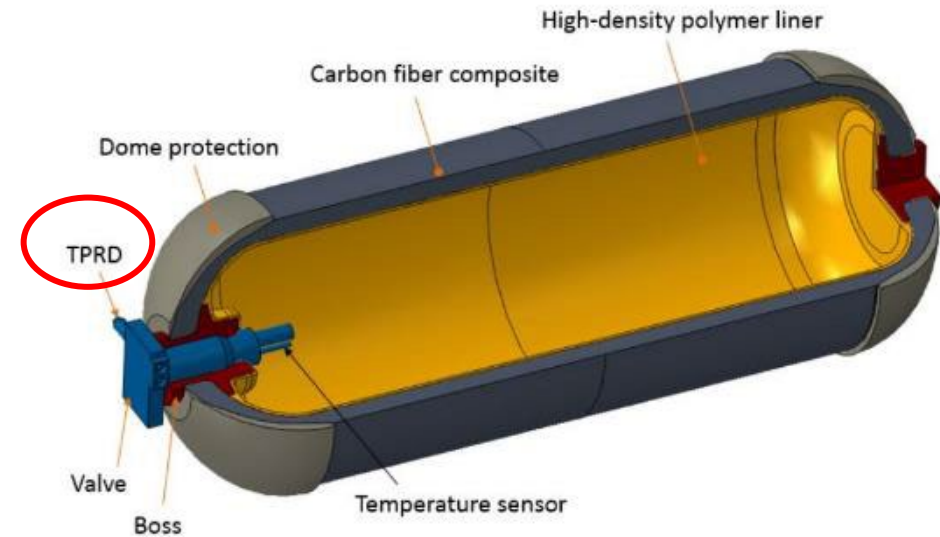
Stålbehållare



Går sönder för att värmen ökar trycket inne i flaskorna

Säkerhetsventil (PPRD) ger skydd

Kompositbehållare

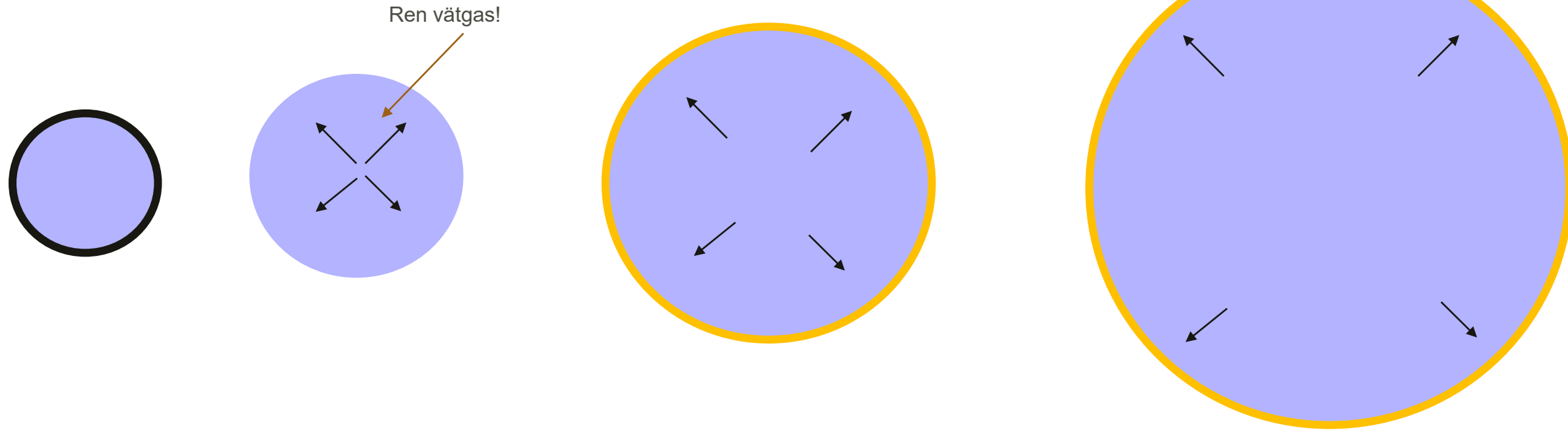


Går sönder för att värmen bryter ner hållfastheten i materialet

Smältsäkring (TPRD) behövs!

Tankruptur

Ingen deflagration eller BLEVE!



Tankruptur under fordon utan TPRD



(22 meter från sin ursprungliga plats)

Flytande vätgas (-253°C)?

- **Ökade risker**

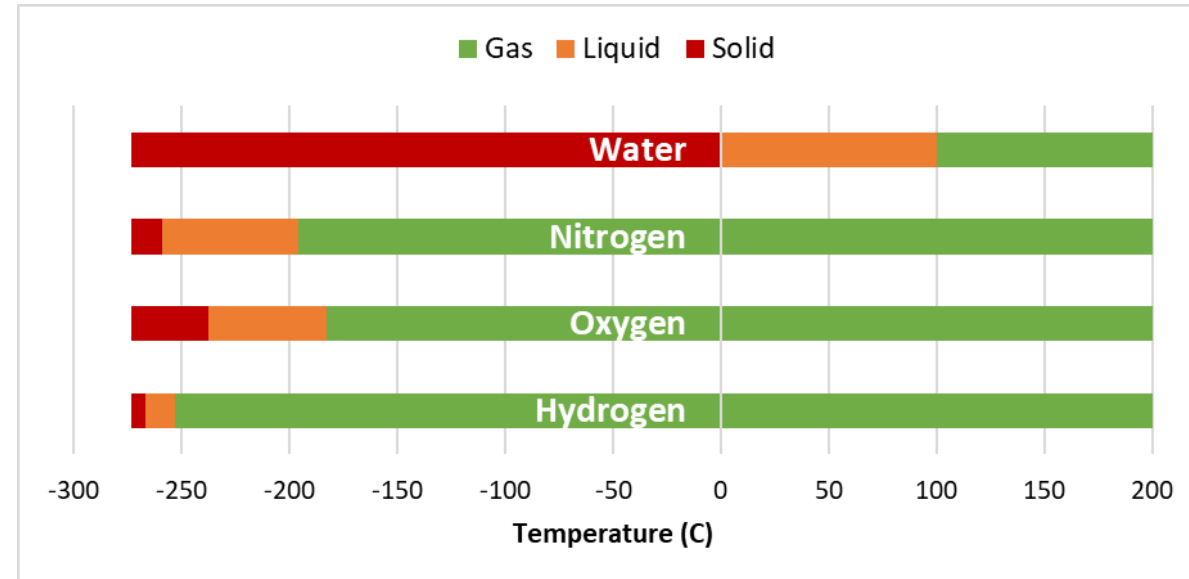
- Kondensation av syrgas
- Ansamling pga högre densitet
- Större risk för detonation (i vissa fall)
- Spontanantändningar ofta i kontakt med vatten

- **Minskade risker**

- Mindre brännbarhetsområde (8% till 67%)
- BLEVE osannolik pga isolering
- Något högre antändningsenergi

- **Rekommendationer (*Preshly*)**

- Betong som underlag – "Grus bör undvikas och asfalt förbjudas"
- Inga hinder som kan leda till ansamling
- Övrigt ganska likt gasformig



Sammanfattning

- **Högre risk för läckage**
- **Viktigt med godkänt material**
- **Viktiga säkerhetsåtgärder**
 - Hantera utomhus! (om möjligt)
 - Detektion och isolerventiler
 - Undvik instängning och hinder i tak
 - Fundera på tryckavlastning av utrymmen inomhus
- **Flytande**
 - Många risker kopplade främst till temperaturen