



**RI.
SE**

Veileder silobrann 13 tiltak og 4 advarsler

RISE RAPPORT 2023:67

Henry Persson
RISE Research Institutes of Sweden

Ragni Fjellgaard Mikalsen (ed)
RISE Fire Research

Veileder silobrann, 13 tiltak og 4 advarsler

Henry Persson (RISE Research Institutes of Sweden),
Ragni Fjellgaard Mikalsen (ed, RISE Fire Research)

Abstract

Silo fire guideline, 13 measures and 4 warnings

This is a guideline about silo fires, based on the handbook “Silo Fires”. The guideline summarizes 13 measures and decisions needed in connection with a suspected or confirmed silo fire and 4 warnings on what to avoid.

The handbook is available in Swedish and English. The guideline is available in Norwegian and English. The Norwegian version is presented in this report (RISE rapport 2023:67) and the English version in RISE report 2023:68, both are available at <https://risefr.com/publications> and www.diva-portal.org.

Sammendrag

Veileder silobrans, 13 tiltak og 4 advarsler

Dette er en veileder om silobrans, basert på den svenske håndboken “Brand i silo”. Veilederen oppsummerer 13 tiltak og beslutninger som trengs i forbindelse med en mistenkt eller bekreftet silobrans og 4 advarsler om ting man ikke må gjøre.

Håndboken er tilgjengelig på svensk og engelsk. Veilederen er tilgjengelig på norsk og engelsk. Den norske versjonen er denne rapporten (RISE rapport 2023:67) og den engelske versjonen er RISE report 2023:68, begge er tilgjengelige på <https://risefr.no/publikasjoner> og www.diva-portal.org.

Key words:

Silo fire, smouldering, smoldering, flames, extinguishing, measure, warning, explosion, hazard, pellets, biomass, storage, safety.

Silobrans, ulmebrann, flammebrann, slokking, slokkeinnsats, tiltak, advarsel, eksplosjon, fare, pellets, biomasse, lagring, sikkerhet.

RISE Research Institutes of Sweden AB

RISE-rapport 2023:67

ISBN: 978-91-89821-23-1

Prosjektnummer: 20612-8

Kvalitetssikring: Janne Siren Fjærestad

Finansiert av: Direktoratet for samfunnssikkerhet og beredskap (DSB) og Fire Research and Innovation Centre (FRIC)

Forsidebilde: Silobrans i Sverige. Gunnar Stattin/Tidningen Ångermanland, med tillatelse. Trondheim 2023

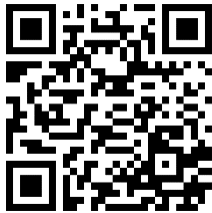
Innhold

Abstract	1
Sammendrag	1
Innhold	2
1 Introduksjon	3
1.1 Oversatt utgave av håndboken «Brand i silo»	3
1.2 Hensikt og bruksområde av veilederen	3
1.3 Målgrupper	3
1.4 Kort om silobranner	4
2 Veilederens 13 tiltak og 4 advarsler	5

1 Introduksjon

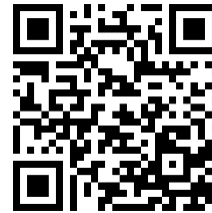
1.1 Oversatt utgave av håndboken «Brand i silo»

Håndboken «Brand i silo» er utarbeidet av RISE Research Institutes of Sweden for Myndigheten för samhällsskydd och beredskap (MSB) i 2012. Håndboken er tilgjengelig på svensk og engelsk. På oppdrag for Direktoratet for samfunnssikkerhet og beredskap (DSB) og i samarbeid med Fire Research and Innovation Centre (FRIC) har RISE Fire Research oversatt deler av håndboken til norsk (denne rapporten, RISE rapport 2023:67) og engelsk (RISE rapport 2023:68), etter avtale med RISE og MSB.



QR kode, link til pdf av svensk versjon av håndboken “Brand i silo”.

Permanent link til svensk versjon av håndboken:
<http://urn.kb.se/resolve?urn=urn%3Anbn%3Ase%3Ari%3Adiva-62517>



QR kode, link til pdf av engelsk versjon av håndboken “Silo Fires”.

Permanent link til engelsk versjon av håndboken:
<https://urn.kb.se/resolve?urn=urn%3Anbn%3Ase%3Ari%3Adiva-67495>

1.2 Hensikt og bruksområde av veilederen

Denne veilederen er utarbeidet for å bistå og lette arbeidet i akuttfasen ved silobrann. Veilederen oppsummerer 13 tiltak og beslutninger som trengs i forbindelse med en mistenkt eller bekreftet silobrann og 4 advarsler om ting man ikke må gjøre. Hvis det foreligger en innsatsplan, tar man utgangspunkt i den. Utdypende informasjon om hvert punkt kan leses i håndboken.

1.3 Målgrupper

Kunnskapsgrunnlaget som er presentert i denne oversettelsen, og mer utfyllende i den svenske håndboken er ment for å kunne benyttes både under operativ innsats ved en brann og i forebyggende arbeid. Målgruppene er derfor brann- og redningsvesen, 110-sentraler, siloieiere og brannrådgivere.

1.4 Kort om silobranner

En brann i et siloanlegg er en uvanlig hendelse for de fleste brann- og redningsvesen og skiller seg på mange måter fra konvensjonelle branner. I mange tilfeller oppstår silobrannene som følge av selvoppvarming av det lagrede materialet. Oksidasjonsprosesser og biologisk aktivitet kan under uheldige omstendigheter lede til en ulmebrann. Brannen oppstår som regel dypt inne i materialet og er derfor veldig vanskelig å oppdage.

I denne sammenhengen er måling av visse gasskonsentrasjoner (bl.a. CO og CO₂) i kombinasjon med temperaturmålinger inne i det lagrede materialet oftest den eneste muligheten for å kunne detektere en eventuell brann. Slike målinger er derfor en svært viktig del av det forebyggende arbeidet som siloeieren har ansvar for. Ved å studere trenden i måledataene kan man ofte få en tidlig indikasjon på unormale forhold.

Konsekvenser av at det er forholdsvis få silobranner er at det er lite erfaring med denne typen innsats hos brann- og redningsvesenet og at det også er mangel på egnet slokkeutstyr. Både brannforløp og innsatsens varighet skiller seg markant fra konvensjonelle branner. For at innsatsen skal bli så sikker og effektiv som mulig er det viktig å ta hensyn til de spesielle forutsetninger som gjelder for silobranner.

Den anbefalte grunnmetoden for slokking av en silobrann er en kombinasjon av inertisering fra bunnen av siloen og deretter kontrollert tømning av siloen med etterslokking. Inertisering er bruk av inert gass (i dette tilfellet nitrogengass) for å trenge bort oksygen og slik dempe pågående pyrolyseprosesser. Hvert anlegg har sine egne forutsetninger og hver brann er unik, derfor må det gjøres spesifikke vurderinger omkring detaljer i slokkeinnsats i hvert tilfelle. En innsatsplanlegging bør derfor alltid gjøres i samarbeid mellom siloeier og brann- og redningsvesenet.

I den svenske håndboken (link ovenfor) får man utfyllende informasjon om silobranner som gir en forståelse av forventet brannforløp, sikkerhetsaspekter som må hensyntas, egnet slokketaktikk ved ulike brannscenarioer og visse forebyggende tiltak som kan settes inn for å unngå eller minimere konsekvensen av en brann.

2 Veilederens 13 tiltak og 4 advarsler

Under gis en oversikt over veilederens 13 tiltak og 4 advarsler ved brann i en silo. Hvert punkt er nærmere beskrevet på de neste sidene.

Tiltak 1: Identifiser type silo og brannscenario

Tiltak 2: Foreta en innledende risikovurdering og etabler tilgangsregler

Tiltak 3: Vurder risikoen for gass- og støvekspløsjoner

Tiltak 4: Steng av slik at lufttilførsel minimeres

Tiltak 5: Rekvirer nitrogengassutstyr

Tiltak 6: Introduser nitrogengass nær bunnen av siloen

Tiltak 7: Rekvirer utstyr for gassmåling

Tiltak 8: Bruk skum om nødvendig

Tiltak 9: Innled inertiseringen av siloen

Tiltak 10: Start tømning av siloen når brannen er under kontroll

Tiltak 11: Skap utholdenhet, anta at tømningen vil ta lang tid

Tiltak 12: Sorter utlastet materiale

Tiltak 13: Fortsett å tilføre gass under tømning

Advarsel 1: Ikke gå inn i en bygning uten personlig gassmåleutstyr eller pusteluftapparat!

Advarsel 2: Ikke bruk vann inne i en silo, spesielt hvis siloen inneholder pellets!

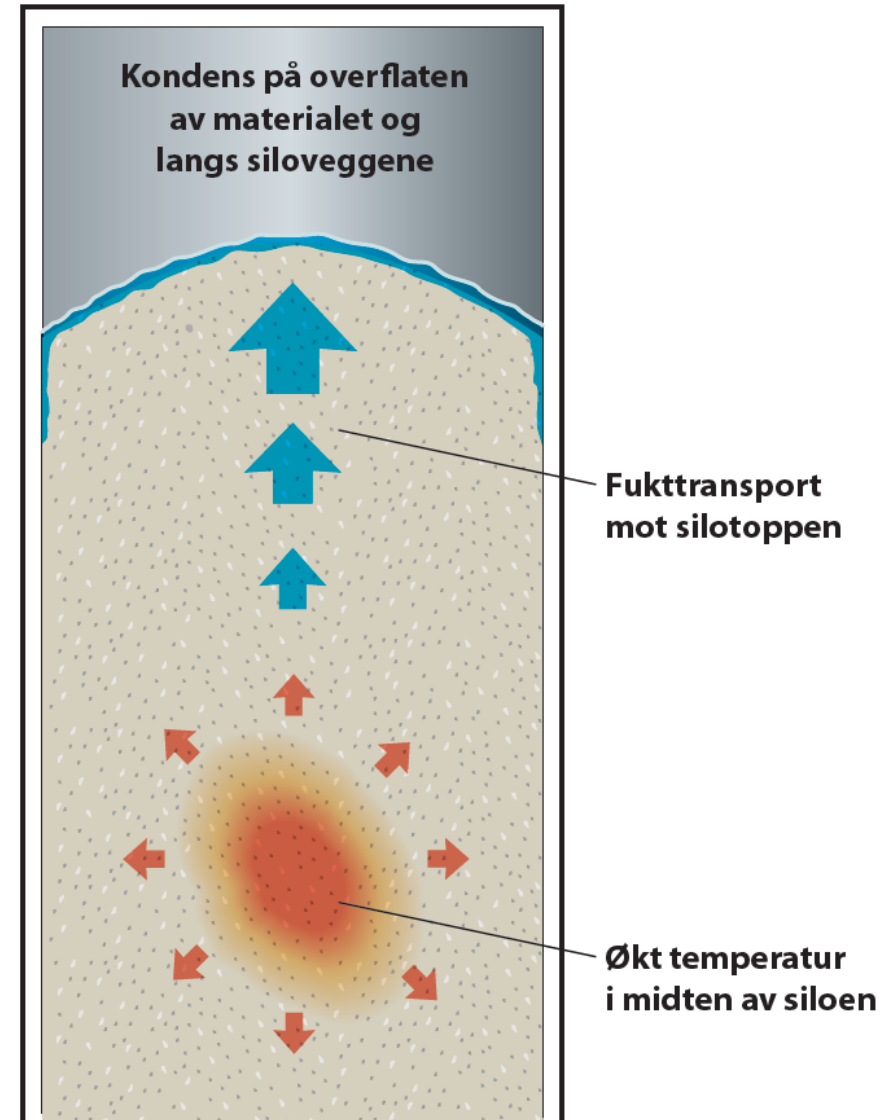
Advarsel 3: Ikke åpne siloen!

Advarsel 4: Nitrogen i flytende form (-196°C) eller svært kald gass kan forårsake skade!

Tiltak 1: Identifiser type silo og brannscenario

Er det en ulmebrann eller en utviklet overflatebrann med åpne flammer?
 Er ulmebrannen verifisert, f.eks. gjennom kraftig røykutvikling, at
 glødende materiale har blitt oppdaget ved tømning eller lignende? Er det
 mistanke om ulmebrann ved skarp lukt, forhøyede temperaturer inne i
 siloen, forhøyet nivå av karbonmonoksid (CO), kraftig kondens på toppen
 av siloen eller lignende? En ulmebrann oppstår ofte dypt inne i materialet
 og sprer seg langsomt utover mens pyrolyse-/røygasser og fukt sakte
 spres oppover og det kan ta flere dager før tydelige tegn på brann kan
 observeres. Hvilket materiale er det i siloen, og hvor full er siloen
 (fyllingshøyde/fyllingsnivå)?

Se håndbokens kapittel 5 og 6.



Illustrasjon: Martin Ek, Eken Bild & Animation AB, med tillatelse

Tiltak 2: Foreta en innledende risikovurdering og etabler tilgangsregler

Det kan være svært høye nivåer av karbonmonoksid i anlegget både ved en mistenkt eller verifisert ulmebrann. Farlige nivåer kan også forekomme i personalområder, kontrollrom etc. Måleinstrumenter som viser både karbonmonoksid (CO) og oksygeninnhold (O₂) må brukes for kontinuerlig vurdering av risikoen. Måleinstrumentet må kalibreres regelmessig. Hvis du er i tvil, bruk fullt verneutstyr.

Etabler tilgangsregler: Hvem har og skal/skal ikke ha tilgang til ulike deler av området?

Se håndbokens kapittel 3.



Tiltak 3: Vurder risikoen for gass- og støvekspløsjoner

Hvis mulig, mål CO og O₂ nivåene for å vurdere risikobildet inne i toppen av siloen. Hvis det måles kraftig forhøyet CO nivå i størrelsesorden > 2–5 %, og et oksygeninnhold over 5 %, er det fare for at røygassene kan være brennbare. Det er da fare for gassekspløsjon og du bør ikke oppholde deg på toppen av siloen mer enn absolutt nødvendig. Utvid også sikkerhetssonen på bakkenivå med tanke på evt. eksplosjon.

Se håndbokens kapittel 3.



Tiltak 4: Steng av slik at lufttilførsel minimeres

Steng luker, tett åpninger på siloen, steng ventilasjon, steng spjell og tett kanaler og tilkoblinger. På toppen av siloen må det være en mindre åpning som kan slippe ut røykgasser, men sørg for at luft ikke kan suges inn. En tung gummiduk over en åpen toppluke kan fungere som en "tilbakeslagsventil".

Se håndbokens kapittel 2.



Foto: Ingvar Hansson, MSB, med tillatelse

Tiltak 5: Rekvirer nitrogengassutstyr

Rekvirer fordampnerutstyr, nitrogengasstank og en tankbil med flytende nitrogen (N_2) så tidlig som mulig. Fordampnerutstyret er nødvendig siden nitrogenet må mates inn i gassfase. I Norge er det ingen nasjonal oversikt over slike ressurser, men 110-sentralen kan ofte bistå. Merk at det trengs relativt stor oppstillingsplass for utstyret, og plassering bør velges slik at det er utenfor sikkerhetssonen og at slangeutlegg ikke blokkerer nødvendig ferdsel på området. Eventuelt kan man i startfasen ta ut gass med begrenset strømningsfart direkte fra tankbilen.

Se håndbokens kapittel 2.



Foto: Haugaland Brann og Redning IKS, med tillatelse



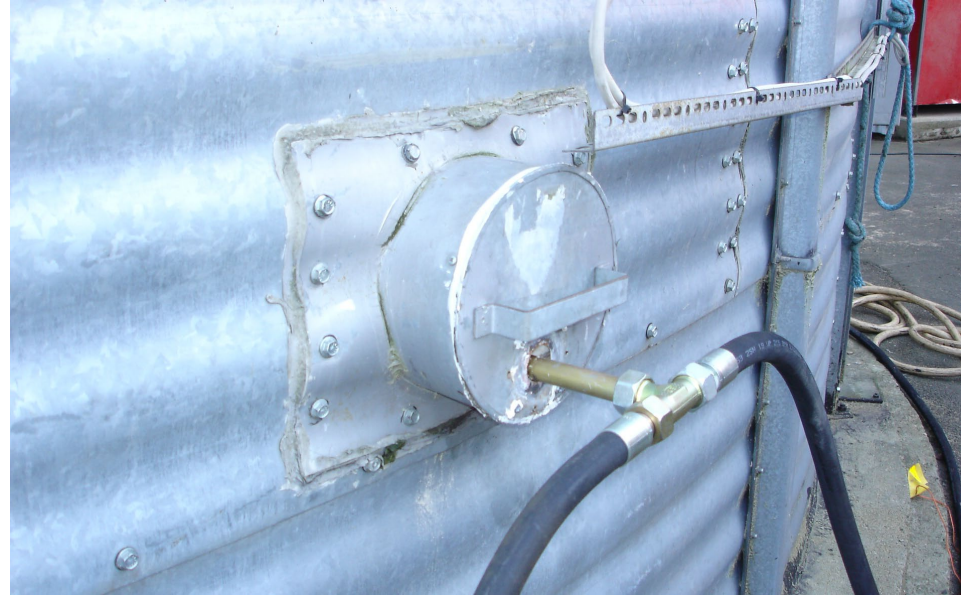
Foto: RISE Research Institutes of Sweden, med tillatelse

Tiltak 6: Introduser nitrogengass nær bunnen av siloen

Å mate inn nitrogengass (N_2) nær bunnen av siloen er i de aller fleste tilfeller den sikreste og mest effektive slokkemetoden.

Tilførselshastigheten av nitrogengass baseres på siloens tverrsnittareal og bør utgjøre minst 5 kg/m^2 pr time som gir en gjennomsnittlig vertikal gassfyllingshastighet på ca 8 meter per time (gitt ca. 50 % porøsitet i bulk materialet). Det totale gassbehovet skal estimeres ut fra siloens bruttovolum (tom silo) og du bør forvente et samlet gassbehov på $5\text{--}15 \text{ kg/m}^3$. Ved behov, forbered hulltaking ved siloens bunn og lag/bruk lanser for tilførsel av gassen.

Se håndbokens kapittel 2.



Tiltak 7: Rekvirer utstyr for gassmåling

Hvis mulig, rekvirer måleutstyr for å måle CO og O₂ konsentrasjon på toppen av siloen for inertiserings- og tømmeprosessen. Merk at måleinstrumentet for CO må kunne måle svært høye nivåer, gjerne minst 10 % CO for å kunne gi relevant informasjon. I Norge er det ingen nasjonal oversikt over slike ressurser, men 110-sentralen kan ofte bistå. Av sikkerhetsmessige årsaker må instrumentene plasseres på trygg avstand fra siloen, noe som krever en kraftig gasspumpe. Gassledningen må også utstyres med kondensfeller, partikkelfiltre og tørkemidler for å beskytte måleinstrumentene.

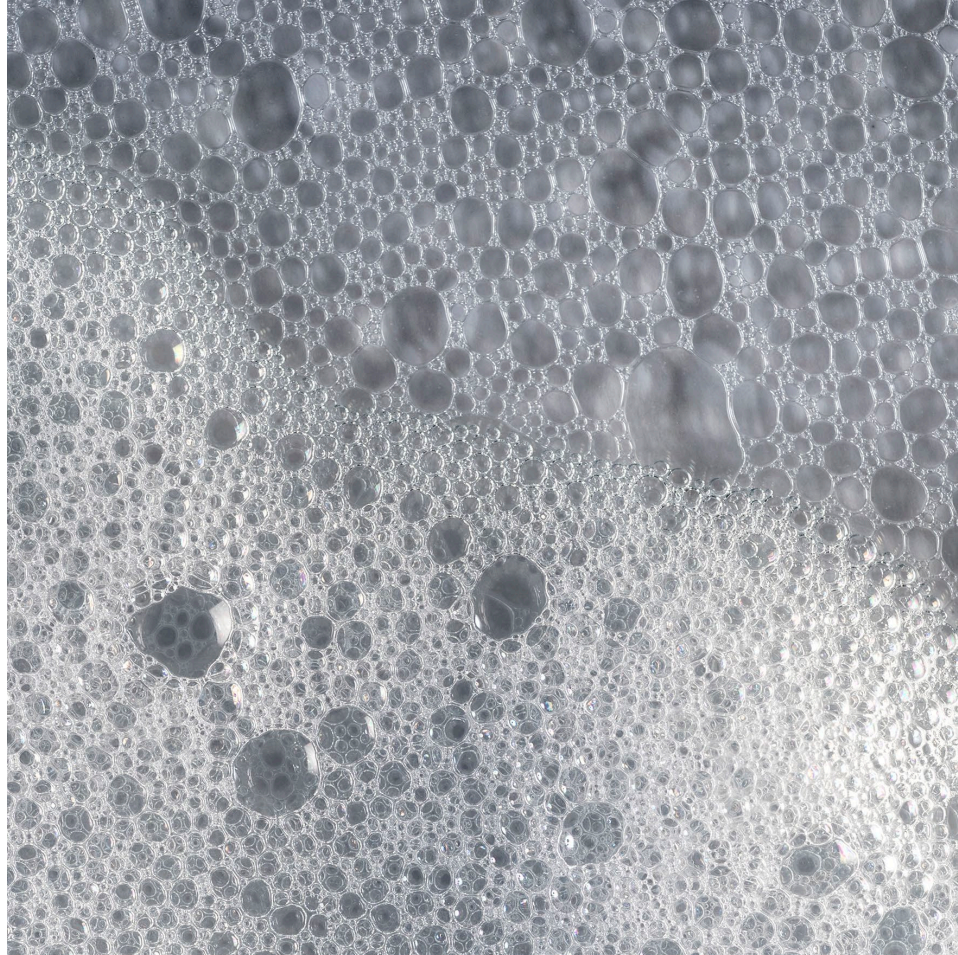
Se håndbokens kapittel 2.



Tiltak 8: Bruk skum om nødvendig

Hvis levering av gassutstyret tar lang tid eller faren for åpen flammebrann er åpenbar kan man hvis sikkerheten tillater det, eventuelt belegge materialet i toppen av siloen med slokkeskum i form av mellomskum* eller alternativt lettskum**. Skummet må være av god kvalitet slik at avrenning minimeres og utstyr for trykkluftskum (CAFS)*** kan med fordel benyttes om man har tilgang til det. Vær svært forsiktig så ikke siloen åpnes mer enn nødvendig og dermed gir oksygentilførsel til pyrolysegassene i toppen av siloen. Videre må man forsøke å minimere faren for at støv virvles opp under skumpåføring. Innsatspersonellet må bære fullt verneutstyr.

Se håndbokens kapittel 4.

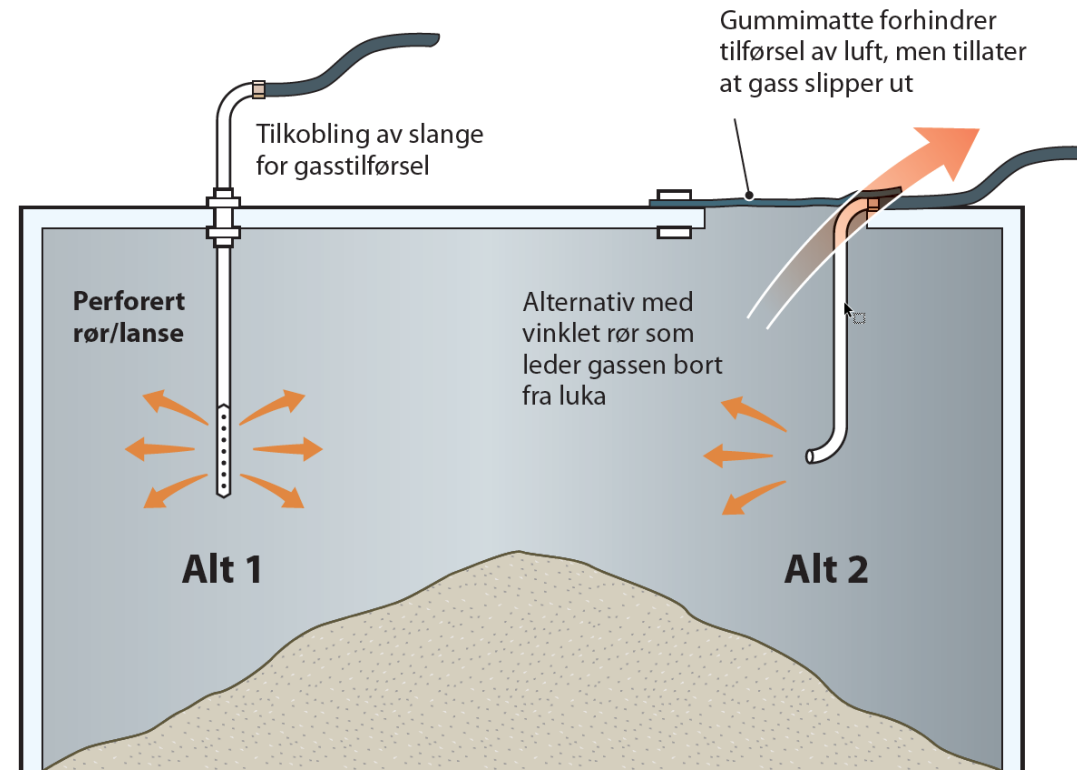


- * Mellomskum: Slokkeskum med skumtall mellom 20 og 200.
- ** Lettskum: Slokkeskum med skumtall høyere enn 200.
- *** Trykkluftskumsystem/ Compressed Air Foam System (CAFS): Slokkesystem med skum hvor skumkonsentrat og luft blandes med vann før skummet pumpes ut i slangen (kilde <http://kbt.no>).

Tiltak 9: Innled inertiseringen av siloen

Start inertiseringen av siloen så raskt som mulig når gassutstyret er på plass. Om eksplosjonsfaren i toppen av siloen er stor ($\text{CO} > 2\text{--}5\%$, $\text{O}_2 > 5\%$), start slokkearbeidet med å føre nitrogengass inn i toppen av siloen. Dette må gjøres med stor forsiktighet slik at støv ikke virvles opp og utgjør en risiko for en støveksplisjon. Så snart nitrogengassfyllingen av silotoppen har startet, start også inertiseringen via silobunnen, eventuelt i begrenset omfang. Når oksygeninnholdet i silotoppen faller under 5 %, avbrytes gasstilførselen via toppen og all gass mates inn via bunnen med anbefalt påføringshastighet.

Se håndbokens kapittel 2.



Illustrasjon: Martin Ek, Eken Bild & Animation AB, med tillatelse

Tiltak 10: Start tømning av siloen når brannen er under kontroll

Start med tømning av siloen først når siloen er helt inert og brannen anses å være under kontroll, dvs. når oksygeninnholdet er under 5 % og CO-konsentrasjonen er kraftig redusert. Brannkonstabler med fullt verneutstyr må være i nærheten av tømmeåpningen for å kunne slokke evt. glødende materiale og ved behov kunne renske åpningen for klumper av svartsvidd/forkullet materiale. Vurder situasjonen kontinuerlig inne i siloen ved hjelp av gassmålingene på toppen av siloen. Et økende nivå av karbonmonoksid indikerer økende aktivitet inne i siloen, mens økt oksygeninnhold kan skyldes at det kommer inn luft. Hvis oksygeninnholdet i silotoppen overstiger 5 % bør tømningen avbrytes og tilførselshastigheten av nitrogengass bør økes frem til nivåene synker og oksygeninnholdet faller under 5 % igjen. Hvis det er mulig, kan gasstilførsel også skje i toppen av siloen ved forhøyet oksygeninnhold. Vær obs på eventuelle hvelvformasjoner eller overheng inne i siloen som kan skape problemer med tømning og gjøre slokningsarbeid vanskeligere. Se håndbokens kapittel 2 og 6.



Tiltak 11: Skap utholdenhet, anta at tømningen vil ta lang tid

Regn med at tømningen tar mange timer, noen ganger flere dager. Gå ut ifra maksimal tømmeffekt og regn med at tømningen kommer til å ta minst 2-4 ganger lengre tid. Ettersom brann- og redningsvesenet må være til stede ved siloåpningen for tømning (og evt. andre steder underveis i tømmeprosessen) kommer det til å kreve mye personell som kan bytte på arbeidet. Den vil også være behov for svært mange påfyll av luft på pusteluftapparatene til personalet.



Tiltak 12: Sorter utlastet materiale

Sorter materialet som er hentet ut av siloen slik at uskadet materiale/pellets separeres fra materiale/pellets som er misfarget eller inneholder pyrolysert materiale/pellets, ofte i form av store forkullede klumper. Overvåk haugen og utfør ytterligere slokking om nødvendig. Uskadet materiale kan om nødvendig beskyttes mot nedbør med presenning. Denne håndteringen kan kreve store lagringsområder.



Tiltak 13: Fortsett å tilføre gass under tømning

Fortsett gasstilførselen via silobunnen gjennom hele tømmeprosessen. Tilførselsmengden reguleres ved hjelp av oksygenmålingene i silotoppen og oksygeninnholdet bør ikke overstige 5 %.





Advarsler!

Advarsel 1: Ikke gå inn i en bygning uten personlig gassmålestyr eller pusteluftapparat!

Høye nivåer av karbonmonoksid (CO), karbondioksid (CO₂) og uforbrente pyrolyseprodukter, noen ganger i kombinasjon med svært lavt oksygeninnhold, medfører høy fare for gassforgiftning og i verste fall bevisstløshet og død.

Se håndbokens kapittel 3.

Advarsel 2: Ikke bruk vann inne i en silo, spesielt hvis siloen inneholder pellets!

Dette medfører stor risiko for at pellets svulmer opp og det kan dannes hvelvformasjoner eller overheng i siloen. I verste fall kan oppsvulming føre til kollaps av silokonstruksjonen. Å bruke vann kan også føre til dannelse av karbonmonoksid (CO) og hydrogengass (H₂). Det er imidlertid noen situasjoner der vann eller skum kan være nyttig.

Se håndbokens kapittel 3 og 6.



Advarsler!

Advarsel 3: Ikke åpne siloen!

Lufttilgang gir tilførsel av oksygen og økt intensitet i brannen, som igjen kan bidra til rask brannspredning i bl.a. transportsystem før og etter siloen, og føre til alvorlige gass- og støvekspløsjoner.

Se håndbokens kapittel 2.

Advarsel 4: Nitrogen i flytende form (-196°C) eller svært kald gass kan forårsake skade!

Kontroller derfor temperaturen på gassen etter fordampere slik at slanger og annet utstyr ikke blir skadet av flytende nitrogen som kommer ut i rørsystemet. Flytende nitrogen på kroppsdeler gir raskt svært alvorlige frostskafer, og heldekkende vernebekledning skal derfor brukes nær væskefylte rør og ledninger. Høye nivå nitrogengass i lukkede rom kan raskt føre til kvelning.

RISE – Research Institutes of Sweden
ri.se / info@ri.se / post@risefr.no / (+47) 464 18 000 / risefr.no
Postboks 4767 Torgården, 7465 Trondheim

RISE Fire Research
RISE Rapport: 2023:67
ISBN: 978-91-89821-23-1

