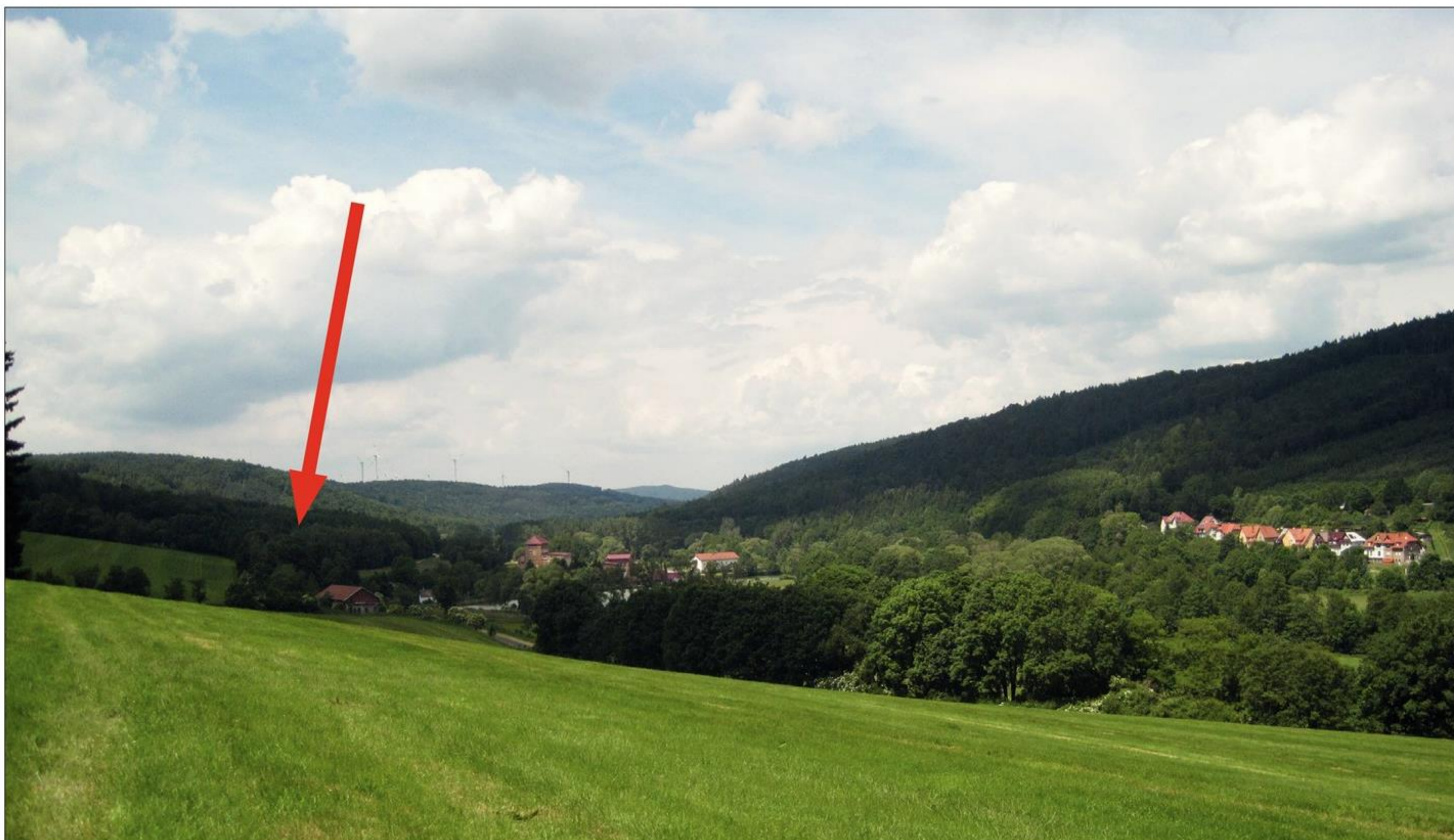


Når kuldioxid koster liv

Moderne modelberegninger viser entydigt, at der ikke er den store risiko forbundet ved at håndtere store mængder af kuldioxid. Men samme model forklarer ikke verdens største menneskeskabte ulykke med kuldioxid.



Gasudbrud ved midnatstid i 1953 fra minen bag træerækken (pil) fyldte "hele dalen" med "koncentreret kuldioxid" og tvang indbyggerne i de to minesamfund til at flygte over hals og hoved op ad skrænterne.
Foto: Frank Hedlund, 2010.

Af Frank Huess Hedlund, risikoekspert, COWI og ekstern lektor, DTU

Men først om ulykken.

Vi er i Menzengraben i 1953, en lille minearbejderflække i det tidligere DDR, tæt på den vesttyske grænse og ca. 100 km syd for ferieområdet Harzen.

-Det er en mild, overskyet og vindstille nat i juni, og de sidste af de ca. hundrede minearbejdere på eftermiddagsskiftet er kommet op fra saltminen, der ligger 520 meter under jorden. Der holdes rutinemæssigt mandtal, alle har forladt minen, og sprængningslederen går til sit kontor. Klokkeren er 23.35.

Salt brydes ved først at bore et centralt storhul $\varnothing=28$ cm diameter og derefter bore mindre huller med sprængstof i koncentriske ringe uden om. De koncentriske anbragte sprængladninger udløses sekventielt indefra og ud. Det hele styres elektrisk fra sprængningslederens kontor. Han overvåger med

mikrofon, at alle ladninger detonerer, som de skal. Pludselig opfanger mikrofonen nede i den fjerne minegang den velkendte lyd af et kuldioxid-udbrud. Sprængningen har slået hul på en af de mange lommer med kuldioxid. Udbruddet lyder usædvanligt voldsomt. Sprængningslederen styrter ud af sit kontor og løber over gårdspladsen mod portnerkontoret for at slå alarm med fabrikssirenen.

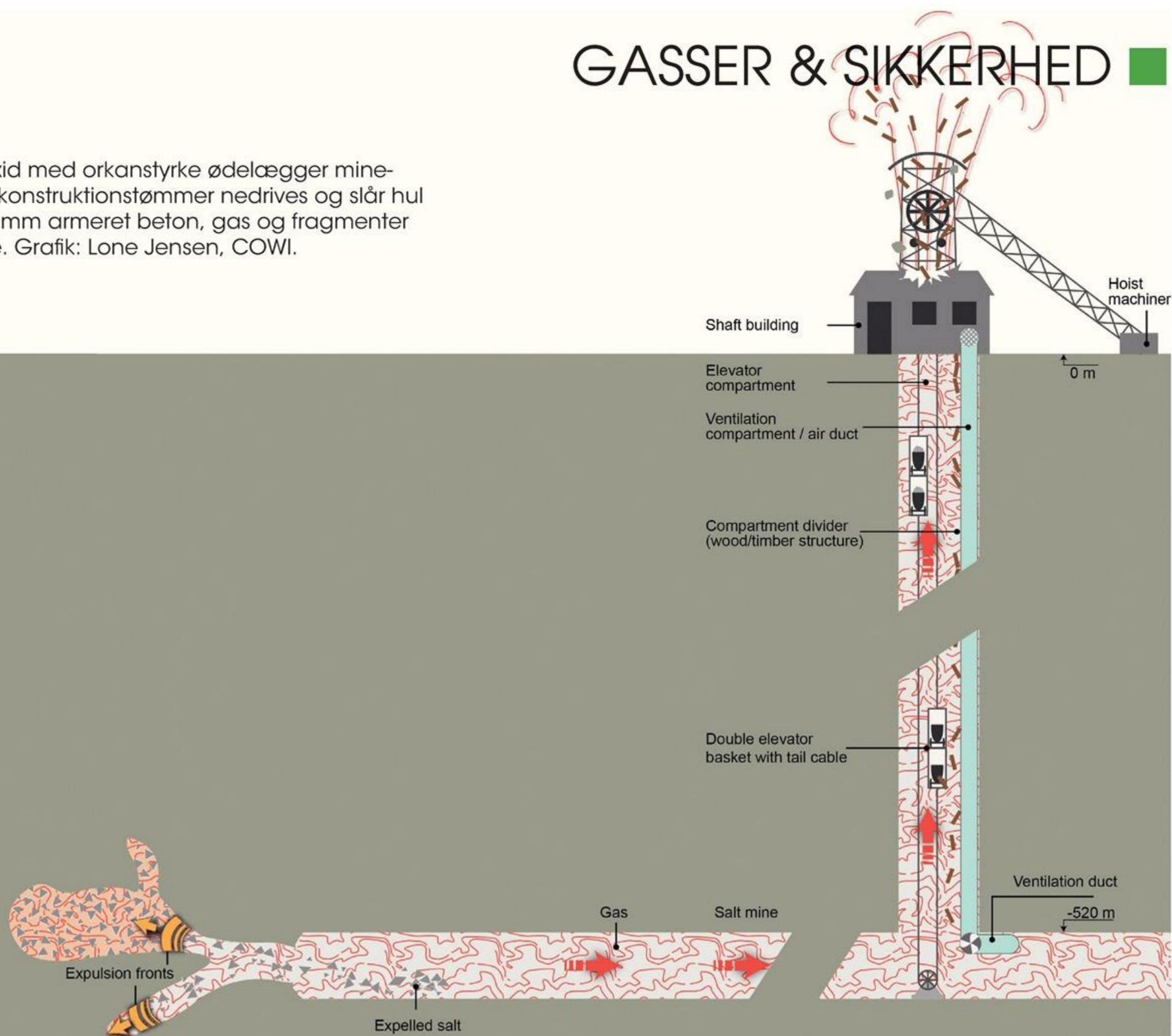
Sirenen når ikke engang at gennemløbe den første cyklus, før den bliver tavs. Kortslutningsskader nede i minen har medført et strømsvigt. Minen og de to nærliggende minesamfund ligger i bælgmørke.

Kuldioxidens ødelæggende vej

Nede i minen slynges tonstunge saltblokke rundt som legoklodser. De smadrer 10 mm tykke ståldøre, jernbanevogne kastes af skinnerne, banelegemet flås op og sveller rives af skinnerne. Kuldioxiden når frem til mineskakten, der er opdelt i kamre

Stort gasudbrud, kuldioxid med orkanstyrke ødelægger mineskakten, stålbjælker og konstruktionstømmer nedrives og slår hul i bygningens tag af 100 mm armeret beton, gas og fragmenter står op som en fontæne. Grafik: Lone Jensen, COWI.

Outburst



Attraktive priser på dispenseringsudstyr

Slangepumper til laboratorier
fra kr. 2.350,-



Tandhjulpumper
fra kr. 9.663,-



Sprøjtepumper
fra kr. 10.932,-



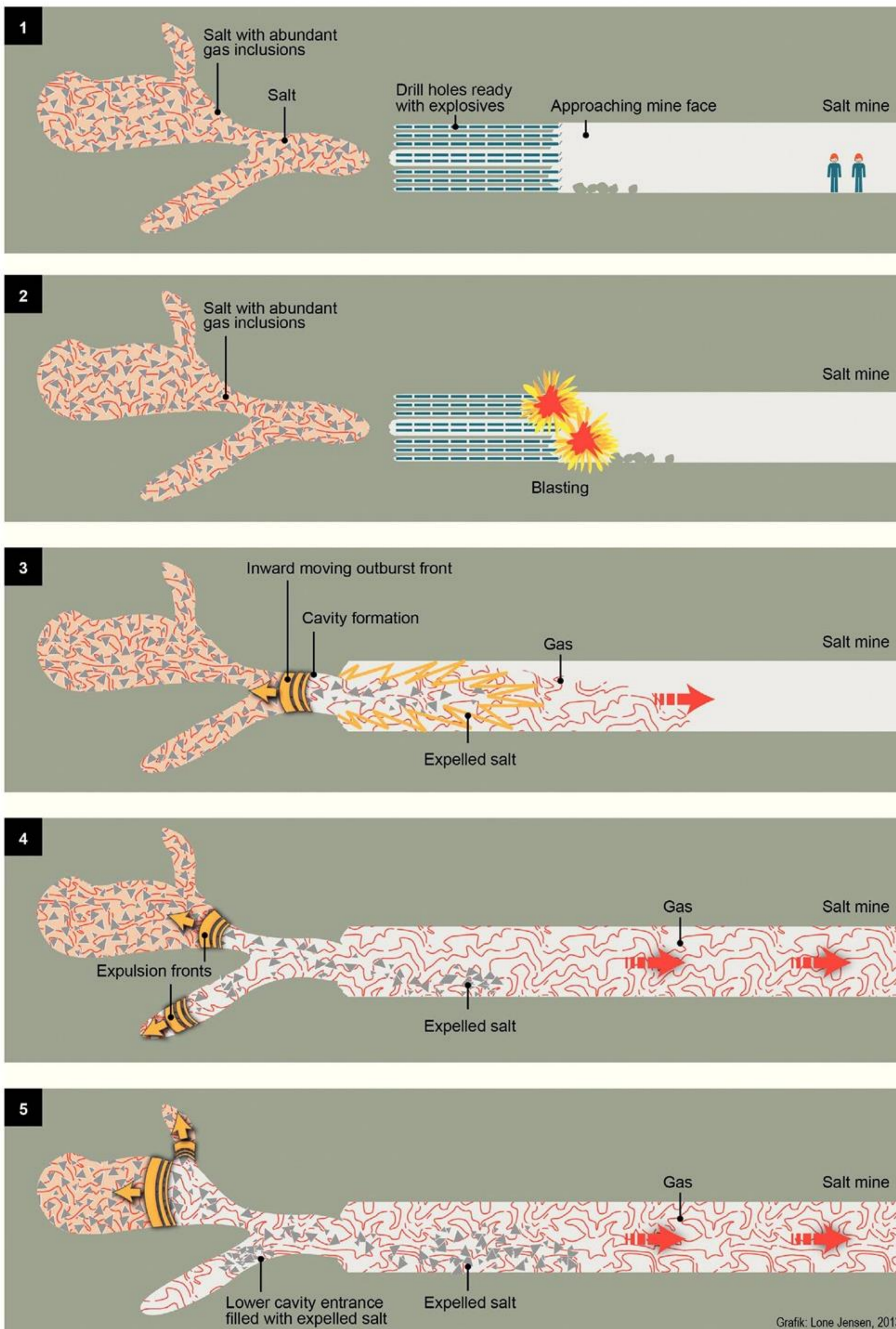
Skan koden og køb dem direkte fra webshoppen.



DRIFTON
THE SCIENCE OF DISPENSING

www.drifton.dk
info@drifton.dk
Telefon 5372 8090

GASSER & SIKKERHED



1) minen brydes, eksplosiver placeret,
2) sprængning nær lomme med salt og gas,
3) kuldioxid ekspanderer kraftigt, gashastighed på omkring 200 m/s, saltblokke kastes ud med ca. 50 m/s,

4) og 5) udbrudsfronten bevæger sig gennem gaslommen, højturbulent gasstrømning i minen.

Grafik: Lone Jensen, COWI.

til elevatorer, ventilation og kabler, og den bevæger sig nu mod overfladen med uhørt kraft. På sin vej splintrer den svært konstruktionstømmer og river stålbjælker ud af skaktvæggen. Med voldsom kraft når den overfladen og den bygning, der er rejst over skakten. Kuldioxiden og de medrevne projektiler af ødelagte konstruktionsmaterialer smadrer bygningens tag af 10 cm armeret beton. I en radius af 150 meter omkring skaktbygningen regner det ned med betonbrokker, forvredne ståldragere og splintret konstruktionstræ. En jet af kuldioxid-gas står lodret op ud af skaktbygningens tag. Støjniveauet er kolossalt, øjenvindner sammenligner det med 4-5 store damplokomotiver, der blæser

damp ledsaget af en dyb rumlende undertone.

Flugten for livet
Det korte og pludseligt afbrudte sirenevarsel, strømsvigt og den ekstreme larm skaber forvirring blandt minearbejderne, der endnu ikke har forladt området og beboerne i de to nærliggende minesamfund, hvoraf mange allerede er gået til ro. Situationens alvor går dog hurtigt op for dem. En livsfarlig sky af kvælende kuldioxid breder sig i området. Mineskakten ligger på den ene side af en dalstrækning. Kuldioxid er tungere end luft og minearbejderne flygter op ad skrænterne for at undgå at blive kvalt. Der udspiller sig heroiske scener, hvor minearbejdere løber tilbage og trækker bevidstløse kolleger op i sikkerhed. Familier flygter op ad de mørke skrænter, mange kun iført nattøj.

■ Salt i Werradistrikt

Saltminerne i Tysklands Werradistrikt er særlige pga. den høje forekomst af kuldioxid.

Verdens største kendte kuldioxid-udbrud er sket i Werradistriktet, og den lille mine i Menzengraben var særligt plaget.

Med et volumen på knap en halv mio. kubikmeter i begyndelsen af 1950'erne kunne et stort udbrud på måske en mio. kubikmeter virkelig få blæst minen igennem. Selv ved mindre udbrud var der en reel fare for, at minearbejderne blev kvalt. Småudbrud kunne ses ved, at der langsomt dryssede kuldioxid-sne ned i minegangen, andre gange var udbruddene eksplosive, og lyden af dem blev sammenlignet med maskingeværild.

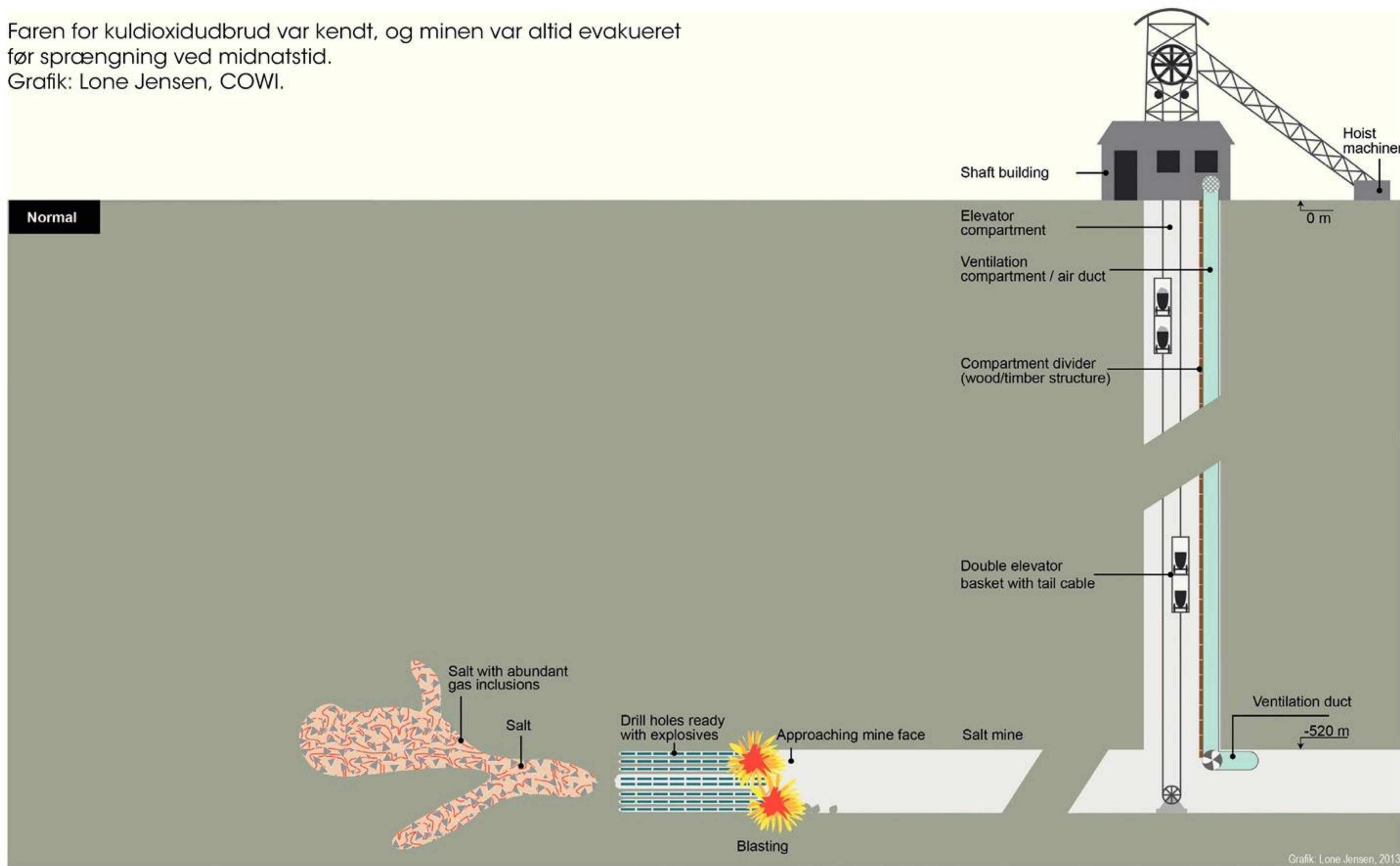
■ Minedrift

I 1851 blev de første aflejringer af kalisalt opdaget ved Stassfurt i Tyskland. Dets vigtighed som plantenæringsmiddel blev hurtigt indset, minedrift i stor skala kom i gang i slutningen af 1800-tallet, og Tyskland havde i en periode monopol på verdenseksporten.

Kalisalt er stadig en vigtig komponent i kunstgødning. Brydning af carnallit havde særlig betydning i 1930'erne og tiden under 2. verdenskrig, idet saltets indhold af magnesium blev brugt til fremstilling af letmetallegeringer til våbenindustrien (særligt fly), men også til lysgranater og brandbomber.

Almindeligt salt er et biprodukt af udvindingen af kalisalt, og det lægges i enorme bunker i landskabet. Bunkerne kan være op til 100-200 m høje.

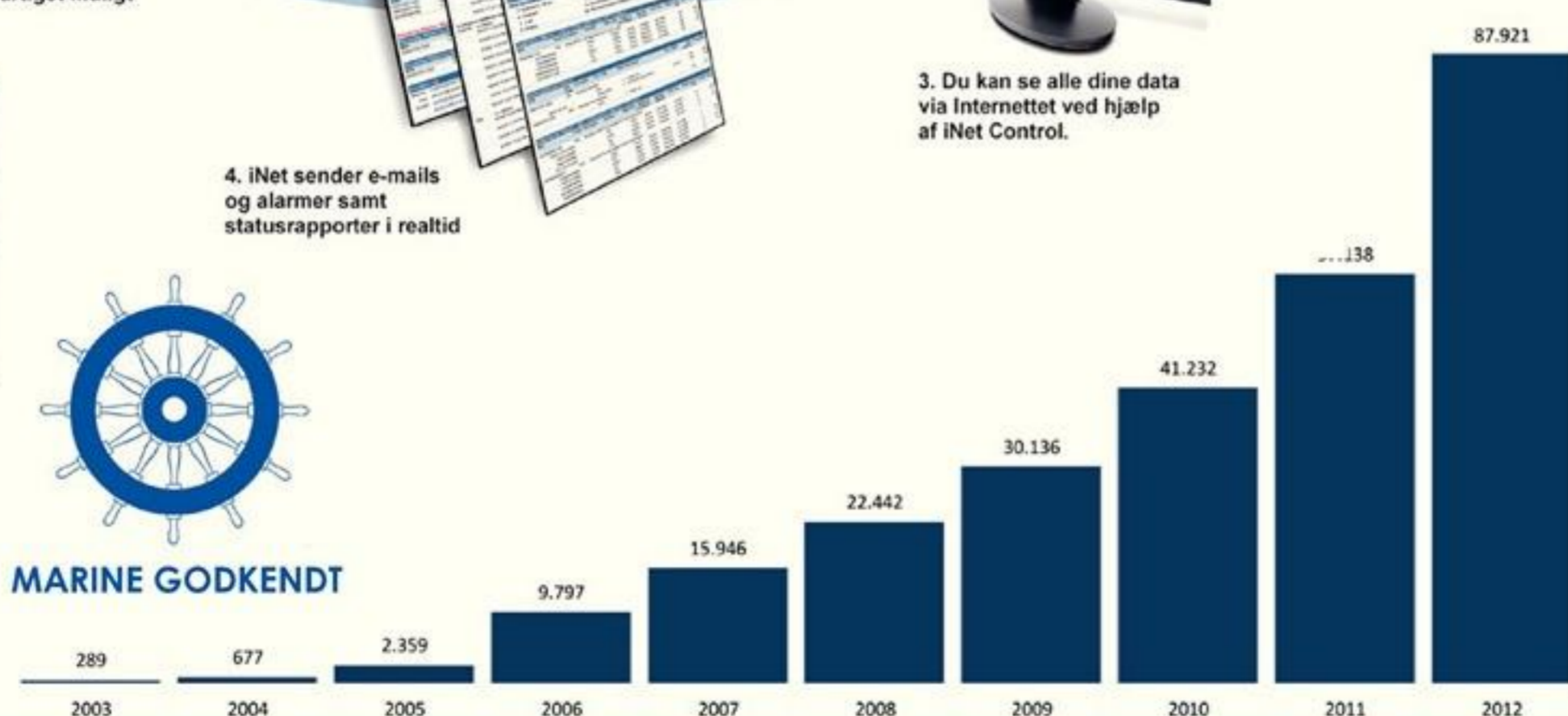
Faren for kuldioxidudbrud var kendt, og minen var altid evakueret før sprængning ved midnatstid.
Grafik: Lone Jensen, COWI.



Grafik: Lone Jensen, 2013

Flere og flere vælger
Gasdetektering som en service

Gas Detect



GasDetect · gas.dk · Tlf. 42425070 · info@gas.dk

■ Hvor kommer saltet fra?

Der er saltforekomster (evaporitter) i store dele af det nordlige Europas undergrund. De menes at være dannet for ca. 200 mio. år siden ved fordampning af Zechstein bassinet, et havområde nær ækvator. Ved fordampning af vand opkoncentreres saltene, som det ses i Det Døde Hav. De udfældes fra saltlagen i en sekvens efter opløselighed. Først udfælder kalciumkarbonat, så kalciumsulfat (gips), derefter natriumklorid (halit), osv. Letopløselige kalisalte som kaliumklorid (sylvit) og kaliummagnesiumklorid ($\text{KMgCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, carnallit) udfældes sidst. Evaporitmineraleerne er derefter blevet overlejret med et dæklag, der har beskyttet dem mod udvaskning, og de er flyttet til deres nuværende beliggenhed af tektoniske kræfter.

Denne stærkt forenklede fremstilling afspejler selvfølgelig ikke naturens kompleksitet. Der findes en sværm af evaporitmineraleer, hvoraf nogle er dannet ved rekrystallisering efter indtrængen af vand. Der er løbende nye aflejringer på overfladen og vægten af de overliggende lag udsætter evaporitmineraleerne for et stigende tryk. Når eksempelvis gips ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) udsættes for højt tryk, fraspalter det krystalvand. Det menes, at dette vand kan udløse det lettere opløselige magnesiumklorid i carnallit, hvorved der dannes et blåligt sekundært sylvitmineral med et porevolumen på 50% - på tysk kaldes det *Umwandlungssylvinit* - og det er et attraktivt mineral grundet sit høje kaliumindhold.

For 14-25 mio. år siden var der vulkansk aktivitet i de centrale dele af Tyskland. Når karbonatmineraleer møder varm magma fraspalter de kuldioxid, som kan indlejres i saltene, når de rekrystalliserer. Kuldioxid på væskeform, med et tryk på over 70 bar, kan nogle gange ses med det blotte øje som små bobler i saltet. Det kendes som *Knistersalz*, fordi det giver høje knald, når saltet knuses, og kuldioxiden frigives eksplosivt. Pga. det store porevolumen i *Umwandlungssylvinit* kan betydelige mængder kuldioxid også samles der. Sprængning nær aflejringer af *Umwandlungssylvinit* har været årsag til voldsomme udbrud af kuldioxid i de tyske saltminer.

Udslippet varer 20-25 minutter og fylder en flere kilometer lang dal med koncentreret kuldioxid. Der bliver slået katastrofealarm og et persontog mod Kaltennordheim, der skulle køre gennem dalen lidt over midnat, standses. Redningsmandskab fra de omkringliggende miner samles, men der er en naturlig tøven mod at bevæge sig ind i dalen. De første redningsenheder iført åndedrætsværn når frem til minen en 1½-2 timer efter udbruddets start. Kuldioxiden er da fortyndet til ufarligt niveau, og området kan afsøges for tilskadekomne. Der er tilskadekomne i et skovhus en halv kilometer fra minen, en person findes død på gårdspladsen, ramt i hovedet af en bygningsdel, en person i kantinen dør kort efter af kvælningsskader, og i lavlandet ca. 300 meter fra minen findes en håndværker kvalt. Han traf det fatale valg at flygte nedad og ikke opad.

Hverdag igen

Minen skulle hurtigst muligt tilbage i drift. Der blev ikke taget chancer, og når minen skulle ventileres fri for kuldioxid (der blev gjort mange forsøg over flere uger) blev omkringboende beordret op ad skrænterne, husdyr og alt. Det var også en tilbagevendende begivenhed, at sprængningen ved midnattid udløste et stort kuldioxid-udbrud. Så blev der hylet med sirenerne, og de omkringliggende minesamfund styrtede op ad skrænterne. Det skete i alt slags vejr, dødsyge vinternætter

inklusive. En ældre ingeniør fortalte, at han lå vågen og ventede på fabriksfløjtes klarsignal, først da kunne man sove roligt.

Forholdene i minedistriktet er sparsomt beskrevet i den engelsksprogede litteratur, men en relativt ofte citeret kilde oplyser [1], at flere tyske miner blev lukket som følge af kuldioxid-faren. Tanken er nærliggende, de var nok blevet lukket i Danmark. Men på trods af en ihærdig indsats er det ikke lykkedes at identificere et eneste eksempel. Tværtimod. En anerkendt pensioneret mineingeniør fortalte med stor entusiasme, at kuldioxid er en helt fantastisk transportmekanisme, tænk at relativt små mængder kuldioxid kan flytte tusinder tons salt. *Hvis bare man kunne tæmme disse kræfter, så ville man have den mest effektive salttransport overhovedet!*

Faktum er, at mineingeniører og andre i det gamle DDR ikke lod sig stoppe af lidt modgang. Hvor nogen ser problemer, ser andre muligheder.

Farlig vurdering af risiko

Det er en vanskelig sag at bestemme mængden af kuldioxid, der blev blæst ud af minen. 10 år senere opstillede Hubert Wolf instrumenter i minegangene til at måle tryk- og flowprofiler, hvis nattens sprængninger udløste et kuldioxid-udbrud. Det skete jævnlige, men udbruddene var oftest små. Han fik kun målt et enkelt stort udbrud, men det var så kraftigt, at det ødelagde instrumenterne. Den gennemsnitlige intensitet blev skønnet til 4 tons kuldioxid pr. sekund. Bruger man Wolfs data var kuldioxid-udbruddet måske på 3.900 tons, bruges andre data var det måske 1.100 tons [2].

Da ulykken skete i det lukkede DDR, fik den aldrig stor bevågenhed. Men den har relevans tres år senere, fordi udslipsmængden af kuldioxid matcher den mængde, der vil slippe ud, hvis der går hul på en transmissionsrørledning.

Sådanne rørledninger er nødvendige, hvis kuldioxid skal pumpes ned i gamle oliefelter for at forøge deres levetid (EOR - enhanced oil recovery) eller ved CCS - carbon capture and storage. Vi har ikke erfaringer med at håndtere så store mængder kuldioxid, og er tvunget til at støtte os til modelberegninger for at vurdere mulige farer. Modelberegningerne viser entydigt, at der næsten ingen fare er.

Men hvad viser de, hvis de anvendes på udslippet i Menzengraben, altså ved sammenligning af forventede konsekvenser med observerede?

Da forudsiger modellen, at udslippet i Menzengraben er harmløst, at kuldioxiden hurtigt fortyndes, og at der ikke opstår farlige koncentrationer i jordniveau.

Denne modelforudsigtelse er noget problematisk, når folk i Menzengraben oplyser, at en flere kilometer lang dal blev fyldt med kuldioxid, og når der var tilskadekomne en halv kilometer fra minen. Forklaringen på denne uoverensstemmelse kendes ikke på nuværende tidspunkt.

E-mail

Frank Huess Hedlund: FHHE@cowi.dk

Referencer

1. Baar CA (1977) Applied Salt-rock Mechanics: The in-situ behavior of salt rocks. Developments in Geotechnical Engineering, vol 1. Elsevier Scientific Pub. Co., 1977
2. Hedlund FH (2012) The extreme carbon dioxide outburst at the Menzengraben potash mine 7 July 1953. Safety Science 50(3):537-553. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ssci.2011.10.004>