

Klimaatverandering en Seveso-bedrijven

Kennisdocument Natech-incidenten

Versie 1.0 – januari 2025



landelijk expertise centrum
industriële veiligheid

INHOUDSOPGAVE

1	INLEIDING	5
2	KLIMAATVERANDERING EN NATECH-INCIDENTEN	7
3	KADER.....	11
4	KENMERKEN NATECH-INCIDENTEN	13
5	RISICO-ANALYSE	16
6	AANDACHT VOOR NATECH-INCIDENTEN IN SEVESO-INSPECTIES	17

BIJLAGE 1: LEIDRAAD NATECH-RISICOBEBEER

BIJLAGE 2: MAHBULLETIN NUMBER 6 NATECH ACCIDENTS – LESSONS LEARNED

BIJLAGE 3: MANAGING RISKS FROM NATURAL HAZARDS TO
HAZARDOUS INSTALLATIONS (NATECH)

1 Inleiding

Klimaatverandering is een actueel en maatschappelijk relevant onderwerp. Een specifiek aspect hierbij is de impact die klimaatverandering kan hebben op Seveso-inrichtingen en andere risicovolle bedrijven die werken met gevaarlijke stoffen. Extreme weersomstandigheden kunnen niet alleen leiden tot een verhoogd aantal incidenten, maar ook tot nieuwe typen incidenten met het risico van het vrijkomen van gevaarlijke stoffen. Deze in de technologische omgeving ontstane incidenten, die worden veroorzaakt door extreme weersomstandigheden, worden aangeduid als Natech-incidenten.

In 2023 heeft het LEC Industriële Veiligheid de Nederlandse vertaling gepresenteerd van de leidraad "Natech risk management – Guidance for operators of hazardous industrial sites and for national authorities, EUR 31122 EN". Deze leidraad is opgesteld door het Joint Research Centre (JRC) van de Europese Commissie.

Dit document benadrukt het belang van voorbereiding op Natech-incidenten. Bedrijven zijn zelf als eerste verantwoordelijk voor hun voorbereiding. De kenmerken van Natech-incidenten verschillen van die van traditionele technologische ongevallen, en er bestaan momenteel geen standaardmethoden voor het beoordelen van Natech-risico's en de directe en indirecte effecten ervan.

Het voorliggende document plaatst de leidraad in de bredere context van klimaatadaptatie binnen het werkveld industriële veiligheid en draagt daarmee bij aan de bewustwording van het belang van voorbereiding op Natech-incidenten. Het besef van deze risico's groeit, en de noodzaak om ze op te nemen in de preventie en beheersing van chemische ongevallen wordt steeds breder erkend.

2 Klimaatverandering en Natech-incidenten

Natech-incidenten

Natuurlijke gevaren, zoals aardbevingen, overstromingen, stormen, koude en hitte, kunnen leiden tot het vrijkomen van gevaarlijke stoffen, brand, explosie en het vrijkomen van giftige stoffen na impact op industriële installaties waar gevaarlijke stoffen worden verwerkt, opgeslagen of getransporteerd. Deze technologische "neveneffecten" van de gevolgen van natuurlijk gevaar worden "Natech"-ongevallen genoemd of eenvoudigweg "Natechs" (van "door natuurlijk gevaar veroorzaakt technologisch ongeval").

De Natech-incidenten onderscheiden zich van de conventionele industriële ongevallen door hun schaal en reikwijdte. Weersextremen zijn externe invloeden die invloed hebben op zowel de kans op een incident als de gevolgen van incidenten. Deze incidenten hebben vaak een eigen dynamiek. De effecten komen van buitenaf en kunnen daardoor meerdere bedrijven tegelijkertijd treffen, evenals de omliggende woonomgeving. Stormen of overstromingen kunnen grote gebieden treffen en impact hebben op meerdere bedrijven of zelfs hele industrieclusters. Daardoor kunnen op zeer grote schaal gevaarlijke stoffen vrijkomen en zich (bij overstroming) over grote gebieden verspreiden.

Ook moet rekening worden gehouden met cascadegevolgen door uitval van bijvoorbeeld de stroomvoorziening. Bovendien kunnen de aanwezige preventieve voorzieningen en veiligheidssystemen beschadigd raken, waardoor deze niet goed meer functioneren. Vanwege deze kenmerken vragen Natech-incidenten om een specifieke voorbereiding.

Klimaatverandering

De opwarming van de aarde zorgt voor meer veranderingen in het klimaat. Deze veranderingen zijn ook in Nederland merkbaar. Vaker dan nu krijgt Nederland te maken met droogte en hevige neerslag. Extreme weersomstandigheden zoals langdurige droogte, kortere periodes van hevige regen en plotselinge hagelbuien komen naar verwachting vaker voor. De belangrijkste verandering in het klimaat in Nederland zijn:

- **Hitte:** De zomers worden warmer, waarbij de kans op hittegolven toeneemt.
- **Droogte:** Een toename van de kans op langdurige periodes van droogte.
- **Wateroverlast:** Toename van neerslag in de winter en toegenomen kans op hevige regenbuien in de zomer. De intensiteit van deze buien neemt toe, wat leidt tot hogere piekafvoer in rivieren.

- **Overstromingen:** De kans op overstromingen neemt toe. Niet alleen als gevolg van de zeespiegelstijging, maar ook door hogere piekafvoer in de rivieren, veroorzaakt door extreme neerslag.



Klimaatverandering en Seveso-bedrijven

Klimaatverandering leidt tot een toename in intensiteit en frequentie van extreem weer. Als gevolg van deze weersextremen kunnen er vaker incidenten optreden op locaties met installaties voor (de opslag van) gevaarlijke stoffen:

- Overstromingen, piekbuien en ook blikseminslagen kunnen leiden tot stroomuitval waarbij mogelijk kritieke processen of veiligheidsvoorzieningen worden geraakt.
- Droogte kan leiden tot een tekort aan koelwater en bluswater en kan het risico op brand vergroten.
- Hittestress kan de gezondheid en het concentratievermogen van het personeel beïnvloeden of ervoor zorgen dat temperaturen van gevaarlijke stoffen in het proces of in de opslag te hoog worden.

Klimaatverandering heeft op verschillende manieren invloed op natuurlijke gevaren:

1. Er doen zich natuurlijke gevaren voor die nog niet eerder in desbetreffend gebied zijn waargenomen,
2. Een toename in frequentie en intensiteit van natuurlijke gevaren die bekend zijn in het betreffende gebied,
3. Een toenemend belang van langzaam optredende natuurlijke gevaren, zoals de stijging van de zeespiegel.

Klimaatadaptatie

Het aanpassen aan de gevolgen van klimaatverandering wordt klimaatadaptatie genoemd. Overheden, bedrijven en burgers hebben hierin elk een rol. Omdat deze klimaatverandering gevolgen heeft voor de fysieke veiligheid is dit ook een belangrijk thema voor de veiligheidsregio's. De effecten van klimaatverandering op de fysieke veiligheid raakt de veiligheidsregio op het gebied van incident- en crisisbeheersing. De [Handreiking Veilige klimaatadaptatie](#) (NIPV, 2024) beschrijft hoe de veiligheidsregio het aspect veilige klimaatadaptatie kan opnemen in de advisering over fysieke veiligheid. Voor de risicovolle bedrijven brengen de toenemende weersextremen gevaren met zich mee. Zoals stroomuitval waarbij mogelijk kritieke processen of veiligheidsvoorzieningen worden geraakt, een tekort aan koelwater of een verhoogd brandrisico. Deze bedrijven zijn wettelijk verplicht om zich voor te bereiden op mogelijke gevolgen van klimaatverandering.

3 Kader

Seveso III

In de Seveso III-richtlijn (2012) is gesteld dat een veiligheidsrapport een gedetailleerde beschrijving moet bevatten van de scenario's voor mogelijke zware ongevallen en de omstandigheden waarin deze zich kunnen voordoen, inclusief een samenvatting van de voorvallen die bij het op gang brengen van deze scenario's een belangrijke rol kunnen spelen, ongeacht of de oorzaken binnen of buiten de installatie liggen, en inclusief met name (...) natuurlijke oorzaken, bijvoorbeeld aardbevingen of overstromingen. (Bijlage II onder 4.a)

Omgevingswet

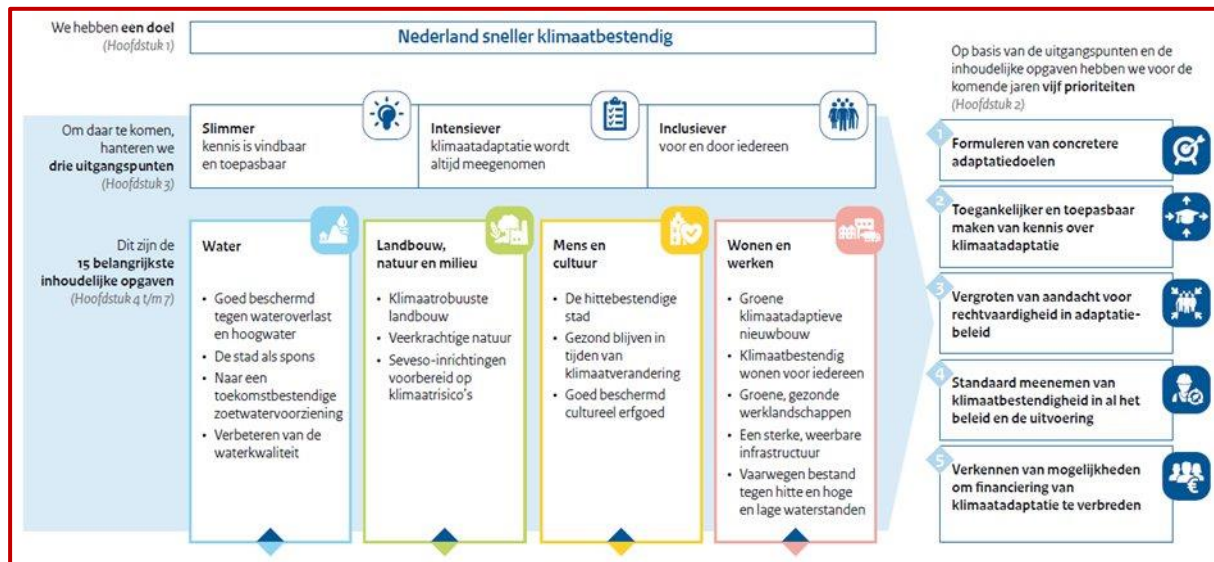
Onder de Omgevingswet is deze verplichting opgenomen in afdeling 4.2 (Seveso) van het Besluit activiteiten leefomgeving. Artikel 4.14, derde lid, onder b en c, van het Bal bepaalt dat het veiligheidsrapport de beschrijving van externe en natuurlijke oorzaken bevat:

- "b. een schatting van de kans op en de omvang van de gevolgen van een aardbeving, overstroming, of andere natuurlijke oorzaak;
- c. een beschrijving van de maatregelen die zijn getroffen om de bedoelde gevolgen te beperken."

Naast de expliciete aandacht voor de risico's als gevolg van aardbeving of overstroming vallen ook de extreme weersomstandigheden als gevolg van de klimaatverandering hieronder. Met een kwalitatieve analyse wordt inzicht verkregen in de gevolgen van natuurlijke oorzaken en worden handelingsperspectieven onderzocht.

Nationaal uitvoeringsprogramma klimaatadaptatie

Het [Nationaal Uitvoeringsprogramma Klimaatadaptatie](#) (november 2023) beschrijft wat er in Nederland al gedaan wordt op het gebied van klimaatadaptatie en welke extra maatregelen nodig zijn om de uitvoering hiervan te versnellen. Verdeeld over vier domeinen zijn de vijftien belangrijkste opgaven bepaald. Eén van deze opgave is de voorbereiding van Seveso-inrichtingen op klimaatrisico's



Samenvatting van het Nationaal Uitvoeringsprogramma klimaatadaptatie

Voor Seveso-inrichtingen is het belangrijk om, naast het hebben van een hoog veiligheidsniveau, klimaat robuust te zijn met het oog op de toenemende weersextremen. Vanuit de Seveso III-richtlijn en de Nederlandse implementatie in de Omgevingswet zijn deze bedrijven verplicht om zich voor te bereiden op overstromingen en door klimaatverandering veroorzaakte extreme weersomstandigheden als piekbuien, droogte en hittestress.

Om Seveso-inrichtingen beter voor te bereiden op klimaatrisico's worden diverse maatregelen getroffen en wordt ingezet op internationale kennisuitwisseling om de bewustwording te vergroten en de voorbereiding op de beheersing van deze risico's te verbeteren.

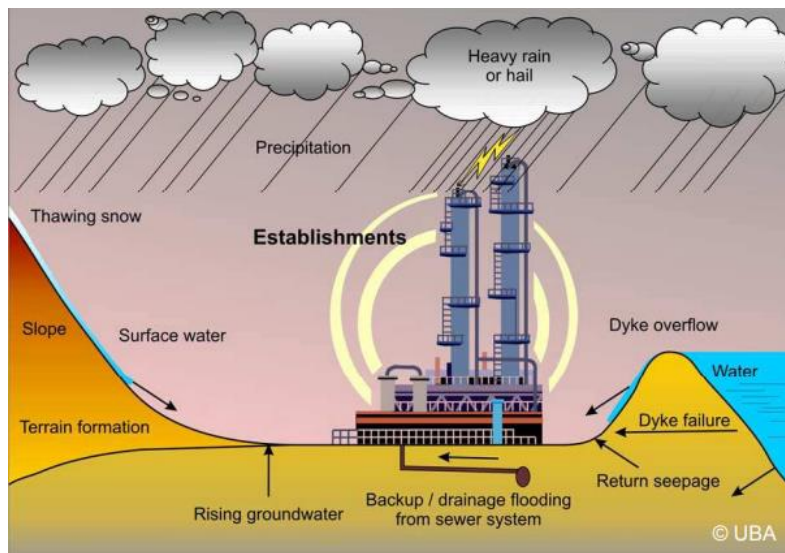
4 Kenmerken Natech-incidenten

Er zijn belangrijke verschillen tussen Natech-incidenten en conventionele incidenten in de chemische industrie. Deze verschillen worden hieronder toegelicht.

1. Oorzaak van het incident

Een ramp of zwaar ongeval wordt veroorzaakt door het falen van aanwezige organisatorische of technische maatregelen (LOD's) als gevolg van menselijke factoren of onvoldoende onderhoud.

Natech-incidenten hebben een **natuurlijke gebeurtenis** als oorzaak. Deze gebeurtenis leidt tot een ramp of zwaar ongeval. De technische en organisatorische maatregelen die genomen zijn ter voorkoming van een ramp of zwaar ongeval, bieden geen garantie van voldoende bescherming tegen een Natech-incident.



Illustratie van mogelijke natuurlijke gevaren op installaties (Bron: Tras 310)

2. Omvang van het getroffen gebied

Natuurlijke gevaren kunnen een omvangrijker gebied treffen en tegelijkertijd bij meerdere bedrijven incidenten veroorzaken. Daarbij is ook het risico op cascade-effecten aanwezig. Het ene natuurlijke gevaar kan het volgende veroorzaken, wat leidt tot opeenvolgende effecten (een aardbeving kan bijvoorbeeld een tsunami of een aardverschuiving veroorzaken), wat de schade kan verergeren en waarmee in het ergste geval rekening moet worden gehouden.

3. De aanwezige LOD's beschermen of functioneren onvoldoende

De maatregelen die op grond van risicostudies zijn getroffen om conventionele zware ongevallen te voorkomen of de effecten ervan te beperken, bieden onvoldoende

bescherming, of functioneren niet (meer) door beschadiging als gevolg van het natuurgeweld.

4. Cascade-effecten: uitval van vitale processen

Natech-incidenten kunnen ook ontstaan als gevolg van de uitval van vitale processen door extreem weer. Voorbeelden hiervan zijn stroomuitval, uitval van procesregeling, uitval of verstoring van bluswatersnetwerk en uitval van communicatienetwerken. Het uitvallen van deze vitale processen kan daarmee vervolgincidenten initiëren.

5. Impact op de incidentbestrijding

De incidentbestrijding van een Natech-incident wordt bemoeilijkt door:

- Problemen met de bereikbaarheid van de inrichting en/of op het terrein van de inrichting, bijvoorbeeld doordat toegangswegen onder water staan of beschadigd zijn.
- Het natuurgeweld dat de Natech veroorzaakte leidt tot een grote hulpvraag, waardoor de beschikbare capaciteit van hulpdiensten voor de bestrijding van het Natech-incident beperkt is.
- Een en ander heeft ook impact op de medewerkers van de Seveso-inrichting en hun aandacht wordt afgeleid vanwege zorgen over hun familieleden.

6. Impact op crisis- en rampenbestrijding

Ook de omgeving van een Seveso-inrichting ondervindt de gevolgen van extreem weer. De hulpvraag kan hierdoor al snel de beschikbare slagkracht van de overheidshulpdiensten overstijgen. Daarnaast kunnen standaardmaatregelen voor het beschermen van de omgeving bij het vrijkomen van gevaarlijke stoffen (schuilen of evacueren) mogelijk niet functioneel of passend zijn vanwege de veroorzaakte schade: Gebouwen kunnen beschadigd zijn, evacuatielroutes zijn belemmerd. Ook de overheidshulpdiensten kunnen geconfronteerd worden met cascade-effecten zoals stroomuitval en het uitvallen van communicatienetwerken, waardoor het informeren van de bevolking bemoeilijkt wordt.

Voorbeelden

Voorbeelden van Natech-evenementen zijn opgenomen in de [e-Natech-database](#) van het Joint Research Center (JRC) van de EU. In het Lessons Learned Bulletin nr. 6 van het JRC (december 2014) zijn geleerde lessen met betrekking tot een tiental Natech incidenten beschreven. Zie bijlage 2.

5 Risico-analyse

De risico-analyse van natuurlijke oorzaken vraagt een eigen aanpak, waarbij rekening gehouden kan worden met drie verschillende routes:

- De natuurlijke oorzaak leidt tot directe schade aan gebouwen of installaties waardoor een LOC ontstaat.
- De natuurlijke oorzaak leidt tot uitval van utilities (zoals elektriciteit, procesregeling) waardoor een LOC-ontstaat.
- De natuurlijke oorzaak leidt tot schade aan of disfunctioneren van preventieve of effectbeperkende maatregelen. Een LOC kan hierdoor onvoldoende beheerst worden, waardoor ook het risico op escalatie bestaat.

PGS 6

De PGS bevat een stappenplan voor de analyse van de risico's door natuurlijke oorzaken. Per oorzaak worden de volgende stappen gevolgd:

- 1 Stel vast of bij of op de Seveso-inrichting sprake kan zijn van de specifieke natuurlijke oorzaak.
- 2 Zo nee, dan is deze oorzaak niet van toepassing. Zo ja, onderzoek wat de mogelijke effecten van een dergelijke oorzaak kunnen zijn (zowel directe als indirecte effecten of vervolgeffecten).
- 3 Voer op basis van de informatie uit stap 1 en 2 een kwalitatieve impactanalyse uit.
- 4 Beschrijf mogelijke maatregelen (preventief en/of repressief) ter beperking van de mogelijke gevolgen.

De bijlagen L, M en N van de PGS 6:2023 versie 1.0 (januari 2024) gaan respectievelijk in op natuurlijke oorzaken, overstromingsrisico's en aardbevingsrisico's.

Leidraad risicobeheer JRC

Het Joint Research Centre van de Europese Commissie heeft een leidraad gepubliceerd voor het beheersen van risico's van 'Natech' incidenten. Doel van de leidraad is het stimuleren van gerichte risicobeheersing voor dit type rampen binnen de Europese lidstaten en kwetsbare industriële installaties beter te beschermen tegen natuurgeweld. De leidraad beschrijft de typen Natech-calamiteiten, hun impact en gevolgen en een stappenplan om de risico's en effecten van dergelijke incidenttypen gedetailleerd in kaart te brengen. In 2023 heeft het LEC Industriële veiligheid een Nederlandse vertaling van deze leidraad beschikbaar gesteld. Deze is opgenomen in bijlage 1.

6 Aandacht voor Natech-incidenten in Seveso-inspecties

De Seveso-inspecteur kan verifiëren dat de exploitant zich bewust is van het risico op een zwaar ongeval door natuurlijke gebeurtenissen op de locatie van de inrichting en dat er maatregelen zijn genomen om het Natech-risico te verminderen. Daarbij kan de inspecteur ingaan op de volgende aspecten:

Risicoanalyse beoordeling extreme weersomstandigheden

- Is er een analyse uitgevoerd van mogelijke natuurgevaren op de locatie en in de omgeving van de inrichting. De resultaten ervan moeten worden opgenomen in het veiligheidsrapport bij hogedrempel Seveso-inrichtingen?
- Is hierbij rekening gehouden met (veranderingen in) extreem weer als gevolg van klimaatverandering en de intensiteit van natuurlijke oorzaken. Het is moeilijk om de te verwachten aannames van het 'worst case scenario' te voorspellen. De waterstanden tijdens een overstroming kunnen bijvoorbeeld hoger zijn dan de verwachting gebaseerd op eerder voorgekomen voorvallen die als referentie zijn genomen?
- Zijn adequate maatregelen getroffen om Natech-scenario's te voorkomen en de gevolgen ervan te beperken. Zijn deze maatregelen geborgd in het VBS?

Onderdeel van voorbereiding op noodsituaties

- Wordt rekening gehouden met het risico van zware ongevallen als gevolg van natuurlijke oorzaken?
- Is onderzocht of aanwezige LOD's blijven functioneren bij extreem weer?
- Is er voorzien in noodstroomvoorzieningen, beschikbaarheid van bluswater, zelfs nadat de gevolgen van een natuurramp zich hebben voorgedaan. Welke nutsvoorzieningen blijven gegarandeerd beschikbaar en welke mogelijk niet meer. Wat is het handelingsperspectief ter voorkoming van zware ongevallen als repressieve voorzieningen en stroomvoorziening uitvallen?

Self assessment

De OESO heeft recent een [rapport](#) gepubliceerd waarin een self-assessmenttool is opgenomen voor Seveso-exploitanten en overheden. Dit rapport is opgenomen in bijlage 3.

Met het oog op de vier thema's gerelateerd aan klimaatverandering, kan aandacht besteed worden aan de volgende aspecten:

Overstromingen

Hiervoor wordt verwezen naar de bestaande informatie in PGS6.

Hitte en Droogte

Personeel

Hitte is een gezondheidsrisico. Concentratie en aandacht kan verslappen. Bij calamiteiten is zorg voor het personeel een extra aandachtspunt evenals tijdige aflossing.

Fysische eigenschappen gevaarlijke stoffen

Hoge temperaturen kunnen de kans op brand of explosie vergroten, vooral bij (licht) ontvlambare stoffen. Hogere temperaturen leiden tot hogere drukken in drukopslagen. Met name als temperatuurbeheersing kritisch is, is het blijvend goed functioneren van koelvoorzieningen belangrijk.

Natuurbranden

Brandweer Nederland bereidt zich voor op het toegenomen risico van natuurbranden. Kunnen er zich natuurbranden voordoen in de (nabije) omgeving van een Seveso-inrichting met kans op overslag ten gevolge van vliegvuur? Vliegvuur kan een direct risico vormen voor installaties en insluitsystemen, maar ook voor het ontstaan van branden in niet gevaarlijke stoffen, zoals verpakkingsmaterialen of palletopslag. Tweede aandachtspunt is het brandgevaar vanuit de vegetatie die op de inrichting aanwezig is.

Beschikbaarheid bluswater

Een langdurige periode van droogte kan leiden tot daling van het waterpeil in rivieren en sloten en daling van het grondwaterpeil. Onderzocht dient te zijn of dit gevolg heeft voor de beschikbaarheid van bluswater. Zowel qua capaciteit als leveringsduur. Denk hierbij aan de leveringszekerheid van geboorde putten en of de aanzuig van bluswaterpompen rekening houdt met extreme daling van waterpeil. Daar waar gebruik gemaakt wordt van drinkwatervoorziening bestaat de kans op verlaagde waterdruk in leidingen, of bij schaarste zelfs mogelijk het niet gegarandeerd zijn van bluswater.

Gezondheidsrisico bluswater

De kans op infectie door contact met besmet water neemt toe bij een stijgende watertemperatuur. Door de veranderende klimaatomstandigheden kan dit mogelijk een aandachtspunt worden. rol gaan spelen voor de situatie in Hogere temperaturen in leidingdelen met stilstaand water aandachtspunt bacteriologisch (legionella)

Verzakking ondergrondse leidingen

Het verzakken van ondergrondse productleidingen kan leiden tot het vrijkomen van gevaarlijke stoffen, maar ook de integriteit van ondergrondse bluswaterleidingen kan in gevaar komen.

Extreem weer

Onder extreem weer vallen meerdere gebeurtenissen. Een aantal wordt hieronder uitgelicht.

Bliksem

Hogere buienintensiteit kan leiden tot meer blikseminslagen. Blikseminslag is een van de bekende oorzaken van brand in tankopslagen. Dit onderstreept het belang van adequate bliksemafleiding en het hebben van goed functionerende branddetectie en blussystemen.

Piekbuien

Piekbuien leiden tot extreme neerslaghoeveelheden. Is de waterafvoer hierop voldoende gedimensioneerd. Pieken kunnen leiden tot plaatselijke wateroverlast. Dit heeft gevolgen voor de bereikbaarheid van de inrichting en op het terrein van de inrichting. Goed functionerende waterafvoer is van belang om overbelasting van opslagvoorzieningen te voorkomen.

Uitval utilities

Naast de potentie tot directe schade aan gebouwen en installaties kan extreem weer leiden tot indirecte schade door het uitvallen van utilities. Daarom is van belang dat bekend is welke noodvoorzieningen er zijn op het terrein van een Seveso-inrichting, en voor welke duur deze functioneren. Onderliggende vragen zijn bijvoorbeeld:

- Zijn deze noodstroomvoorzieningen zodanig opgesteld dat ze blijven functioneren. Staan ze bijvoorbeeld in een kelder, dan bedreigt het vollopen van de kelder bij extreme neerslag het functioneren van deze voorzieningen?
- Hoe lang kunnen deze noodstroomvoorzieningen functioneren. Is brandstofbevoorrading mogelijk na extreem weer?
- Op welke wijze vindt in- en externe communicatie over risico's en bedrijfsvoering plaats bij uitval van de (nood)stroomvoorziening?



landelijk expertise centrum
industriële veiligheid

Dit is een uitgave van:

Landelijk expertisecentrum industriële veiligheid (LEC IV)

Projectleider: Henk van Wetten

Klankbord: Kernteam Netwerk Industriële Veiligheid

Contact

Postbus 9154, 3007 AD Rotterdam

<https://leciv.nl>

[Twitter.com/lec_iv](https://twitter.com/lec_iv)

088 - 8779 556

Uitgave februari 2025

JRC TECHNICAL REPORT

Natech risicobeheer

*Leidraad voor exploitanten
van gevaarlijke industriële
inrichtingen en nationale
autoriteiten*

Necci A., Krausmann E.

2023

Dit betreft een Nederlandse vertaling door het



landelijk expertise centrum
industriële veiligheid



Deze publicatie is een vertaling van een technisch rapport van de Joint Research Centre (JRC), een kennis- en wetenschap dienst van de Europese Commissie. Het doel van dit originele rapport is het verlenen van evidence-based wetenschappelijke ondersteuning voor het Europese beleidsvorming proces. De wetenschappelijk output hier gepresenteerd impliceert geen beleidspositie van de Europese Commissie. Zowel de Europese Commissie als personen die optreden namens de Commissie aanvaarden geen aansprakelijkheid voor problemen als gevolg van het gebruik van deze publicatie. Voor informatie omtrent de methodologie en kwaliteit van onderliggende data ten aanzien van dit rapport dient de gebruiker – indien de bron noch Eurostat noch andere Commissie diensten is – contact op te nemen met de aangegeven bron. Met de keuze voor bepaalde aanduidingen of een bepaalde presentatie van kaartmateriaal neemt de Europese Unie geen standpunt in over de wettelijke status van een land, gebied, stad of regio, noch over de autoriteiten en de grenzen ervan.

EU Science Hub
<https://ec.europa.eu/jrc>

JRC129450

EUR 31122 NL

PDF ISBN 978-92-76-58595-4 ISSN 1831-9424 doi:10.2760/15297

Luxemburg: Bureau voor publicaties van de Europese Unie, 2023

© Europese Unie, 2023



Het hergebruiksbeleid van documenten van de Europese Commissie wordt uitgevoerd op basis van Besluit 2011/833/EU van de Commissie van 12 december 2011 betreffende het hergebruik van documenten van de Commissie (PB L 330 van 14.12.2011, blz. 39). Tenzij anders vermeld, is het hergebruik van dit document toegestaan onder een Creative Commons Attribution 4.0 International (CC-BY 4.0) licentie. Dit betekent dat hergebruik is toegestaan op voorwaarde dat er op passende wijze mee wordt omgegaan en eventuele wijzigingen worden aangegeven.

Dit document is een vertaling van het originele document door het Landelijke Expertisecentrum Industriële Veiligheid. Het originele document is hier te vinden: <https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/handle/JRC129450>

Voor elk gebruik of reproductie van elementen die niet in het bezit zijn van de Europese Unie, kan het nodig zijn om toestemming rechtstreeks van de respectieve rechthebbenden te vragen.

Alle materiaal © Europese Unie, 2023 (tenzij anders aangegeven). De bronvermelding is bij de betreffende figuren in dit rapport opgenomen.

Omslagfoto: Een olietank die los is gekomen van zijn fundering door stormvloed tijdens orkaan Katrina in 2005. (Photo: B. McMillan, FEMA).

Hoe dit rapport te citeren: A. Necci, E. Krausmann, "Natech risicobeheer - Leidraad voor exploitanten van gevaarlijke industriële locaties en nationale autoriteiten", EUR 31122 NL, Bureau voor publicaties van de Europese Unie, Luxemburg, 2023, ISBN 978-92-76-58595-4, doi:10.2760/15297, JRC129450.

Inhoudsopgave

Dankwoord	1
Samenvatting.....	2
1 Introductie.....	3
2 Kenmerken van Natech-gebeurtenissen en bijbehorende uitdagingen.....	4
3 Introductie tot Natech risicobeheer	6
3.1 Communicatie en consultatie	6
3.2 Vaststellen van de context	6
3.3 Risicobeoordeling	7
3.3.1 Risico identificatie.....	7
3.3.2 Risicoanalyse	7
3.3.3 Risico evaluatie	8
3.4 Risicobeheersing	8
3.5 Monitoring en review	8
4 Elementen van de Natech risicobeoordeling	9
4.1 Natuurgevaar: identificatie and karkterisering.....	9
4.2 Identificatie van kritieke apparatuur.....	11
4.3 Schade aan kritieke apparatuur vanwege natuurgevaar	12
4.4 Bijdragende factoren aan ongelukken: veiligheidsbarrières en nutsvoorzieningen.....	18
4.5 Identificatie van Natech-gevaar	19
4.5.1 Rechtstreeks effecten van natuurgevaar	19
4.5.2 Indirecte effecten.....	20
4.6 Natech-gevolgen analyse	20
4.6.1 Loss of containment (LOC) en kritieke gebeurtenissen.....	21
4.6.2 Natech-gevolgen scenario modellering.....	23
4.7 Natech waarschijnlijkheidsbeoordeling	26
4.7.1 De waarschijnlijkheid van een release/topgebeurtenis.....	27
4.7.2 Natech-specifieke beslisbomen	29
4.8 Natech risicoevaluatie	30
5 Maatregelen om Natech-risico te verminderen	31
5.1 Mitigerende maatregelen tegen impact van natuurgevaar.....	31
5.1.1 Fysieke maatregelen	31
5.1.2 Procedurele maatregelen.....	31
5.2 Apparatuur-ontwerp en modificaties (retrofitting)	33
5.3 Veiligheidsbarrières hulp-systemen	35
5.4 Emergency planning en reactie op Natech-ongevallen	35
5.5 Leren van voorgekomen Natech-ongevallen	36
Referenties	38
Lijst van afkortingen en definities	40
Lijst van boxen.....	43
Lijst van afbeeldingen.....	44
Lijst van tabellen.....	45

Dankwoord

De auteurs bedanken Zsuzsanna Gyenes en Maureen Wood van het Joint Research Centre van de Europese Commissie voor hun zorgvuldige review van deze leidraad, voor hun opmerkingen en aanvullingen.

Auteurs

Amos Necci

Elisabeth Krausmann

Samenvatting

Natech incidenten zijn incidenten met betrekking tot industriële installaties die geïnitieerd zijn door een gevaar vanuit de natuurlijke omgeving (aardbevingen, overstromingen, stormen, natuurbrand). Dit document geeft inzicht in dit soort incidenten.

In het derde hoofdstuk wordt ingegaan hoe Natech risico's beheerd kunnen worden. Hiervoor wordt een traject van risico identificatie, risicoanalyse en risico evaluatie gebruikt. Uitwerking van dit traject vindt plaats in hoofdstuk 4. In hoofdstuk 5 wordt ingegaan op maatregelen om Natech risico's te voorkomen en/of te beperken.

Natech incidenten kunnen directe en indirecte gevolgen hebben. Directe gevolgen zijn -bijvoorbeeld- schade aan installatie en Loss Of Containment door storm of aardbeving. Bij indirecte gevolgen kun je denken aan uitval van stroomvoorziening o.i.d. waardoor chemische processen kunnen uitvallen of ontsporen. Daardoor kan vervolgens een LOC-scenario ontstaan

Met betrekking tot voorkomen en beperken van de effecten van een Natech scenario, moet terdege rekening gehouden worden met de kans dat het natuurgeweld preparatieve en/of repressieve voorzieningen heeft beschadigd. In het vijfde hoofdstuk wordt ingegaan op dit fenomeen en hoe een bedrijf hiermee het best kan omgaan.

1 Introductie

Natuurlijke gevaren kunnen leiden tot brand, ontploffingen en het vrijkomen van giftige stoffen na impact op industriële installaties met gevaarlijke stoffen. Dit type gebeurtenis heet een Natech (“natural hazard-triggered technological”) ongeval (Krausmann et al., 2017). Natech-ongevallen zijn daarom technologische ongevallen. De bijbehorende risicobeheersing valt onder de verantwoordelijkheid van de exploitant van de inrichting. Klimaatverandering en toenemend menselijk handelen (verstedelijking en industrialisatie), zorgen ervoor dat het Natech-risico in de toekomst zal toenemen.

De ervaring leert dat een groot aantal Natech-ongevallen in het verleden voorkomen hadden kunnen worden door een beter zicht op dit soort risico's. Een aantal belangrijke Natech-ongevallen heeft het bewustzijn in de Europese Unie (EU) vergroot, en wordt het risico erkend in de betreffende wetgeving. De EU Seveso III-richtlijn (2012/18/EG)¹ vereist dat nationale autoriteiten toezicht houden op de implementatie van een effectief veiligheidsbeleid voor het beheersen van de gevaren van zware ongevallen met gevaarlijke stoffen. In dit kader zijn exploitanten van hogedrempelinrichtingen verplicht een veiligheidsrapport voor te leggen aan hun nationale autoriteiten om aan te tonen dat zij alle risico's hebben geëvalueerd, ook die als gevolg van natuurlijke gevaren, en dat zij alle maatregelen hebben genomen om zware ongevallen te voorkomen. De veiligheidsmaatregelen die in gevaarlijke inrichtingen worden genomen, moeten gebaseerd zijn op de in het veiligheidsrapport geïdentificeerde en beoordeelde risico's. De richtlijn stelt expliciet dat veiligheidsrapporten: “gedetailleerde scenariobeschrijvingen voor mogelijke zware ongevallen moeten beschrijven. Of de omstandigheden waarin die kunnen optreden, binnen of buiten de installatie liggen, is daarbij niet relevant” (bijlage II van de Seveso III-richtlijn).

Een onderzoek van Krausmann en Baranzini (2012) naar de status van Natech-risicobeheersing in de EU, liet zien dat de implementatie van effectieve risicobeheersing op dit gebied, wordt belemmerd door een gebrek aan richtlijnen. Daardoor kunnen de maatregelen die gebruikers nemen om risico's te beperken onvolledig of ontoereikend zijn. Nationale en internationale initiatieven hebben geleid tot specifieke richtlijnen voor Natech risico's (bijv. INERIS, 2014; OECD 2015; UNI, 2021; TRAS 310.320, 2022; DSB, 2022). Dit document vormt een aanvulling op deze initiatieven en functioneert daardoor als een technische handleiding. Het beschrijft op een systematische manier het proces van Natech-risicoanalyse.

Dit document is gericht op exploitanten van Seveso bedrijven en inspecteurs van de overheid. De verstrekte informatie is echter ook gericht aan de nationale autoriteiten die verantwoordelijk zijn voor de naleving van de wetgeving ter voorkoming van zware ongevallen.

¹ <https://ec.europa.eu/environment/seveso/legislation.htm>

2 Kenmerken van Natech-gebeurtenissen en bijbehorende uitdagingen

Natech-ongevallen treden op als technologische systemen worden beïnvloed door de impact van natuurlijke gevaren. Natech-ongevallen hebben in het verleden vaak aanzienlijke gevolgen gehad voor de volksgezondheid, de natuurlijke- en bouwkundige omgeving en de economie (Krausmann et al., 2017). In tegenstelling tot heersende opvattingen kunnen Natech-ongevallen ook worden veroorzaakt door “mini” natuurrampen. Zo vonden Krausmann en Baranzini (2012) in een onderzoek naar het risicobeheer van Natech in de Europese Unie, dat het aantal ongevallen door bliksem en lage temperatuur werden veroorzaakt, aanzienlijk hoger lag dan het aantal ongevallen veroorzaakt door storm en aardbevingen.

Bij risicobeheersing m.b.t. Natech-ongevallen dient rekening te worden gehouden met:

1. Sommige natuurlijke gevaren kunnen een groot effectgebied hebben en meerdere industriële locaties en installaties simultaan treffen (bijv. aardbevingen, overstromingen, stormen). Ze kunnen meerdere Natech-ongevallen tegelijkertijd veroorzaken. Een dergelijk scenario kan leiden tot meerdere, elkaar overlappende ongevallen. Hierdoor kan een tekort aan hulpcapaciteit ontstaan.
2. Natuurlijke gevaren kunnen beschermingsmaatregelen nadelig beïnvloeden; (bijv. dijken, gasdetectoren, alarmsystemen, noodstroomgeneratoren, sprinklersystemen) die bedoeld zijn om een eerstelijnsbescherming te bieden. Natuurlijke gevaren kunnen veel maatregelen ontregelen of vernietigen, waardoor de betrouwbaarheid d.m.v. redundantie ongedaan wordt gemaakt.
3. Natuurlijke gevaren kunnen nutsvoorzieningen (bijv. stroom, water, communicatielijnen) verstoren en daardoor een ongeval veroorzaken of verergeren. Bij industriële processen kan het verlies van nutsvoorzieningen leiden tot ongewenste gebeurtenissen, bijv. verlies van controle over een industrieel proces, uitval van veiligheidsapparatuur of uitval van communicatie met lokale hulpdiensten.
4. Standaard noodmaatregelen zijn mogelijk niet geschikt tijdens een ongeval dat veroorzaakt wordt door natuurlijke gevaren. Evacuatie of het vinden van tijdelijk onderdak is mogelijk niet haalbaar. Infrastructuur kan onbruikbaar zijn waardoor hulpdiensten niet ter plaatse kunnen komen (Steinberg et al., 2008). Bovendien is bescherming tegen het vrijkomen van chemische stoffen door binnen te blijven ("shelter-in-place") niet mogelijk als de structurele integriteit van een gebouw is aangetast door natuurgeweld.
5. Natuurlijke gevaren en gewone ongevallen kunnen elkaar verergeren. Lekkages van gevaarlijke stoffen kunnen bij een overstroming leiden tot het verspreiden van vervuiling of brandrisico's over grote gebieden. Ook kunnen de eigenschappen van chemicaliën veranderen bij contact met water (stormvloed, regen); er kunnen giftige of ontvlambare dampen ontstaan.
6. Vergeleken met (gewone) technologische ongevallen, hebben Natech-ongevallen een grotere kans op domino-effecten (uitbreiding naar naastgelegen installaties of inrichtingen) (Krausmann et al., 2017, blz. 4). Dit komt vooral door uitval of beperkte effectiviteit van maatregelen bij Natech-incidenten (zie hiervoor de bovengenoemde aandachtspunten).
7. Natuurlijke gevaren kunnen andere natuurlijke gevaren veroorzaken (bijv. zware regenval die een aardverschuiving veroorzaakt; een aardbeving die een tsunami veroorzaakt). Natuurlijke

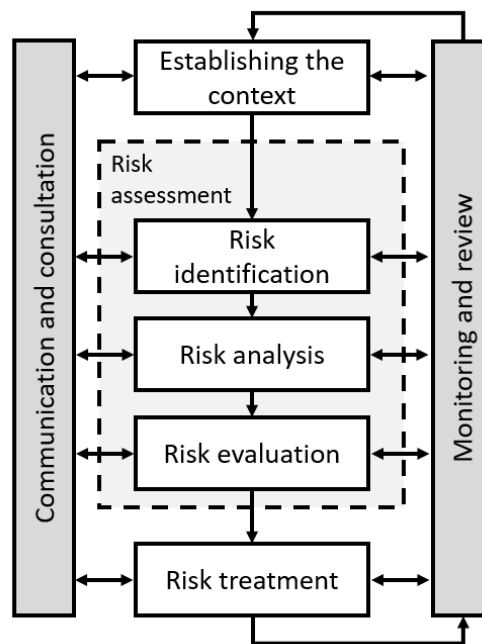
gevaren en hun vervolg-effecten kunnen afzonderlijk schade veroorzaken, maar ook in gecombineerde vorm. In het geval van de aardbeving in Tohoku in 2011 was de tsunami de belangrijkste bron van schade en droeg deze ook bij aan de verspreiding van gevaarlijke stoffen in het milieu (BARPI, 2013).

8. Natuurlijke gevaren veranderen qua tijd en locatie als gevolg van klimaatverandering. Anticipatie op, en aanpassing aan dergelijke veranderingen is nodig voor effectieve Natech-
risicobeheersing. Nieuwe inzichten, ervaringen en bestrijdingsstrategieën moeten ingepast worden in de bestaande risicoanalyse en risicobeheersing.

3 Introductie tot Natech risicobeheersing

“Risicobeheersing” omvat alle gecoördineerde activiteiten ter voorkoming van incidenten. Het proces loopt van risico-identificatie en -analyse tot maatregelen ter voorkoming of beperking van die risico's. Risico's worden gedefinieerd als de kans op een bepaald effect. In procesveiligheid wordt dit weergegeven in een matrix; enerzijds de ernst van de effecten, anderzijds de mate van waarschijnlijkheid. Organisaties gebruiken risicobeheersing om om te gaan met interne en externe risico's voor de bedrijfscontinuïteit en de risico's op zware ongevallen. Het risicobeheersingsproces is opgebouwd uit een aantal generieke stappen (Figuur 1).

Figuur 1. Het proces risicobeheersing



Bron: ISO 31000:2009(E)

3.1 Communicatie en consultatie

Communicatie en consultatie met interne en externe stakeholders is van belang in alle fasen van de risicobeheersing. Alle mogelijke risico's moeten worden meegenomen; van oorzaak tot gevolg en van effecten tot mitigatie. Overleg zorgt ervoor dat alle belangen worden meegewogen. Let wel: percepties omtrent risico kunnen verschillen tussen belanghebbenden onderling in termen van waarden, belangen, behoeftes, aannames, vooroordelen en zorgen.

3.2 Vaststellen van de context

In deze stap formuleert een organisatie haar doelstellingen, definieert zij de interne en externe parameters m.b.t. risicobeheersing en stelt zij de reikwijdte en risicocriteria voor het resterende proces vast. Hierbij is het hoofddoel van Seveso-bedrijven het beheersen van het risico voor werknemers, omwonenden en het milieu. Seveso-bedrijven zijn verplicht om de effecten van zware ongevallen op het terrein te beperken (waaronder Natech-ongevallen). De risico's moeten derhalve worden geïdentificeerd, beoordeeld en beheerst. De exploitant dient een preventiebeleid voor zware ongevallen (PBZO) op te stellen en een veiligheidsbeheersysteem (VBS) implementeren. De

verzamelde informatie, wordt o.a. gebruikt om een intern en extern noodplan op te stellen.

“Land Use Planning” (LUP) is een belangrijk onderdeel van ongeval-risicobeheer. Het heeft tot doel om vast te stellen of de risico's van een gevaarlijke industriële locatie verenigbaar zijn met het omliggende grondgebied. Conform Seveso III moet er rekening worden gehouden met de aanwezigheid van woonwijken, commerciële activiteiten, openbaar vastgoed (bijvoorbeeld ziekenhuizen en scholen), transportroutes, andere industrieën, landbouwgebieden en ecologisch beschermde gebieden. Elk van deze entiteiten kan bij een ongeval anders worden geraakt, daarom is het belangrijk om ze afzonderlijk te bestuderen. Voor Natech-risicobeheersing is LUP ook relevant om te bepalen waar natuurlijke gevaren zich kunnen voordoen. In dat geval kan worden besloten om een industrieel project elders te ontwikkelen of aanvullende beschermingsmaatregelen te treffen. Meerdere gevaarlijke inrichtingen in eenzelfde risicogebied, zouden moeten samenwerken om domino-effecten te voorkomen.

Elk bedrijf moet een eigen veiligheidsbeleid opstellen in overeenstemming met de bestaande regelgeving. Door uiteenlopende doelstellingen, kunnen risicocriteria en beoordelingsmethoden aanzienlijk verschillen tussen bedrijven onderling. Binnen één en dezelfde locatie kunnen verschillende methoden worden toegepast bij het beoordelen van verschillende soorten risico's. Bij het definiëren van risicocriteria moet rekening worden gehouden met de volgende factoren (ISO 31000:2009(E)):

- Oorzaaktype en karakter, de mogelijke gevolgen daarvan en de wijze waarop deze zullen worden gemeten;
- Hoe 'waarschijnlijkheid' wordt gedefinieerd;
- De tijdsblok(ken) van het(de) gevolg(en);
- Hoe het risiconiveau wordt bepaald;
- Stakeholder standpunten;
- Het niveau van acceptabel of aanvaardbaar risico;
- Of er rekening moet worden gehouden met gecombineerde risico's en, zo ja, hoe, en in welke combinaties.

3.3 Risicobeoordeling

Risicobeoordeling is een complex proces van identificatie, analyse en evaluatie. Natech-risicobeoordeling vereist uitbreidingen, vergeleken met conventionele industriële risico's. Deze worden in hoofdstuk 4 in detail besproken.

3.3.1 Risico identificatie

De organisatie moet risicobronnen identificeren. Hierdoor ontstaat een lijst van risico's aanwezig op een locatie (inclusief oorzaken en gevolgen). Hierbij horen ook risico's waarop het bedrijf zelf geen invloed heeft.

3.3.2 Risicoanalyse

Risicoanalyse is gericht op het vaststellen van risico's (de ernst van de effecten en de kans van optreden). Zo'n analyse maakt gebruik van verschillende methoden om beide elementen (kans en effect) per scenario in te schatten. Deze methoden kunnen kwalitatief, semi-kwantitatief of kwantitatief

zijn (afhankelijk van beschikbaarheid van gegevens, tijd, middelen of de reikwijdte van de analyse. Hierbij wordt tevens gekeken naar factoren die van invloed zijn op kans en effect.

Risicoanalyse levert de input voor de risico-evaluatie en mitigerende maatregelen. Risicoanalyse kan ook input leveren voor besluitvorming bij bepaling van relevantie van risico's en prioritering van risicobeperkende maatregelen. Voor Natech-risicoanalyse moeten kans en effect van natuurlijke gevaren en technologische gevaren worden geanalyseerd en gecombineerd.

3.3.3 Risico evaluatie

Risico-evaluatie is bedoeld als hulpmiddel bij het nemen van beslissingen; bijvoorbeeld bij keuzes tussen verschillende mitigerende maatregelen. Bij de evaluatie wordt het geanalyseerde risiconiveau vergeleken met de risicocriteria die eerder zijn vastgesteld (in de fase van context bepaling). Op basis van deze vergelijking kan de noodzaak voor mitigerende maatregelen worden vastgesteld.

3.4 Risicobeheersing

Risicobeheersing bestaat uit het selecteren en uitvoeren van een of meer maatregelen om risico's te verminderen. Risicobeheersing omvat een iteratief proces van implementatie, monitoring en beoordeling dat wordt herhaald totdat een doel is bereikt.

Enkele voorbeelden van risicobeheersing zijn:

- Het risico vermijden door een activiteit te stoppen (of niet te starten);
- Het verwijderen van de risicobron;
- De mate van waarschijnlijkheid verkleinen;
- De effecten verzachten;
- Het risico delen met een andere partij of partijen (bijvoorbeeld in partnerschap, verzekering);
- Een weloverwogen beslissing nemen om het risico te aanvaarden.

Het bepalen en implementeren van een risicobeheersingsoptie vereist een kosten-baten analyse. Sommige mitigerende maatregelen zijn bijvoorbeeld onbetaalbaar. Daartegenover, sommige betaalbare opties, of combinaties daarvan, kunnen een grotere impact hebben op risicovermindering dan duurdere alternatieven.

Opties voor het behandelen van Natech-risico's worden besproken in hoofdstuk 5.

3.5 Monitoring en review

Zowel de monitoring- als review vormen een integraal onderdeel van het risicobeheersingsproces. Deze activiteiten, die bijvoorbeeld worden uitgevoerd via inspecties of audits, zorgen ervoor dat de controles effectief zijn en helpen bij het verkrijgen van aanvullende informatie voor een risicobeoordeling. Ze ondersteunen de analyse en helpen om te leren uit gebeurtenissen, successen en fouten. Dat kan vervolgens leiden tot een aanpassing van de risicobeheersingsmethode. Deze stap helpt ook om de prestaties van het gehele risicobeheersingsproces te meten.

4 Elementen van de Natech risicobeoordeling

Een Natech-risico is een combinatie van risico's van natuurlijke gevaren en risico's van menselijk handelen. Natuurlijke gevaren kunnen man-made risico's beïnvloeden, hetzij door de kans op zware ongevallen te verhogen, hetzij door ongevallen te veroorzaken die niet zouden plaatsvinden zonder impact van een externe kracht (bijvoorbeeld het afdrijven en lekken van een tanker als gevolg van storm). Bovendien, wanneer een natuurramp een bedrijf of industriegebied treft, kan een daardoor veroorzaakte ongeval het totale effect van de natuurramp ernstig vergroten en crisisteams belemmeren (Necci et al., 2018b).

Een Natech-risicobeoordeling vereist een ander soort risicoanalyse dan een conventionele industriële benadering. Rekening moet worden gehouden met de specifieke kenmerken van Natech-risico's: getriggerd door natuurlijke gevaren en met kans op uitval van hulpcapaciteit. Natech-scenario's bevatten 3 onderdelen: een natuurramp scenario, een scenario betreffende mogelijke effecten op de installaties en een gevolgsceario om de omvang van de schade te beoordelen. In dit hoofdstuk worden de stappen besproken die nodig zijn om Natech-risicobeoordeling uit te voeren (Stap 1-6) en te evalueren (Stap 7).

Dit zijn:

1. Identificatie en karakterisering van natuurlijke gevaren;
2. Identificatie van kritieke apparatuur;
3. Analyse van natuurrampschade aan kritieke apparatuur;
4. Natech gevarenidentificatie;
5. Natech gevolganalyse;
6. Natech-gebeurtenis kansberekening;
7. Evaluatie van het Natech-risico.

Een Natech-risicobeoordeling vereist veel invoerdata, zoals informatie over natuurlijke gevaren, kritieke apparatuur, effectmodellen, gevolganalysemodellen, kansberekeningen en informatie over de risico receptoren (Krausmann, 2017).

Box 1. Onzekerheden en datagebrek

Doorgaans bevatten risicoanalyses bepaalde onzekerheden ten aanzien van modellen, invoerdata en algemene analysekwaliteit (CCPS, 2000). De Natech-risicoanalyse bevat doorgaans een groter aantal onzekerheden dan de analyse van andere soorten technologische risico's. Er is vaak een gebrek aan gedetailleerde gegevens over de natuurramp-trigger (vooral bij zeer zeldzame gebeurtenissen), of kwetsbaarheidsgegevens van apparatuur in relatie tot natuurlijke gevaren. Ook het ontbreken van adequate modellen voor Natech-risicoanalyse speelt een rol. De analist kan ontbrekende gegevens aanvullen met een deskundig oordeel dat - van nature - subjectief is, waardoor de analyse nog onzekerder wordt. Transparantie over zowel gedane aannames als de bijbehorende onzekerheden, geeft de lezer/gebruiker een referentiekader.

4.1 Natuurgevaar: Identificatie en karakterisering

Deze stap bestaat uit het verzamelen en analyseren van gegevens over natuurlijke gevaren (CCPS, 2019). Natech-ongevallen kunnen worden veroorzaakt door alle soorten natuurlijke gevaren; snel optredende soorten (aardbevingen, stormen, stortregens) of langzaam optredende soorten (zeespiegelstijging, droogte, hogere temperaturen). Voor elk locatie-relevante natuurramp moet ten minste één natuurramp scenario worden beschreven. Verschillende criteria kunnen worden gebruikt voor natuurramp selectie (grootste kans, worst case, enz.). De keuze dient redelijk en gerechtvaardigd te zijn.

De beschrijving van natuurlijke gevaren kan deterministisch of probabilistisch zijn. Bij een deterministische benadering is de kans niet relevant, maar wordt uitgegaan van het effect (berekeningen, beredenering en casestudies). In de probabilistische benadering omvat de gevarenbeschrijving naast een inschatting van de omvang een schatting van de kans.

Informatie over natuurlijke gevaren kan op twee manieren worden beschreven:

1. Als een scenario (of als een reeks scenario's) met een bepaalde omvang en intensiteit (windsnelheid, regen of categorie aardbeving). Elk scenario heeft een kans van optreden.
2. Als een gevarencurve. De kans dat een bepaalde omvang of intensiteit (windsnelheid, regen of categorie aardbeving) wordt geëvenaard of overschreden, wordt beschreven d.m.v. een rekenmodel. De uitkomst wordt weergegeven in gevarencurven. Voor bijv. aardbevingen, vulkanenuitbarstingen en tsunami's, wordt deze informatie op kaartmateriaal weergegeven.

Figuur 2 toont een voorbeeld van een scenario met een terugkeerperiode van 100 jaar in de vorm van een overstromingskaart. Figuur 3 toont een voorbeeld van een gevarencurve die de relatie weergeeft tussen seismische activiteit en de kans daarvan op een specifieke locatie.

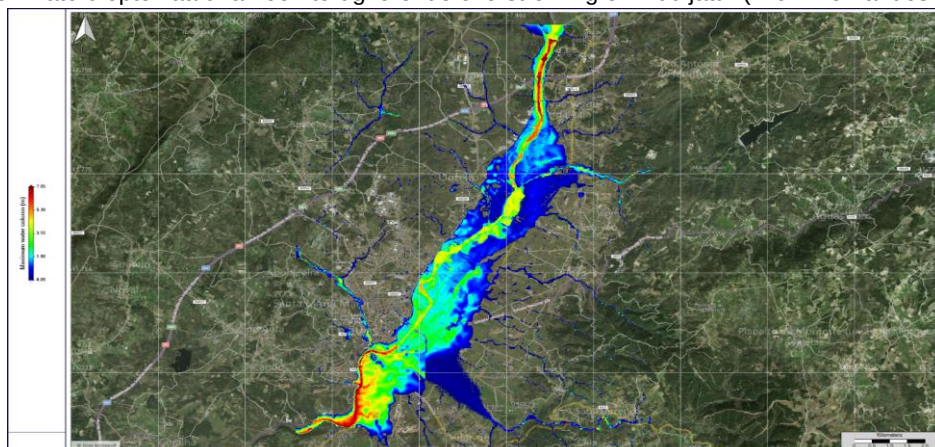
Door de natuurlijke gevaren op een bepaalde locatie in kaart te brengen kunnen risico's voor installaties bij aanwezige bedrijven kunnen worden geïdentificeerd. Sommige natuurscenario's kunnen van invloed zijn op meerdere installaties tegelijk.

Op basis van deze inventarisatie, kunnen effecten van natuurscenario's worden geëvalueerd. Denk hierbij aan effecten als: schade elektriciteitsinfrastructuur, en wegennet.

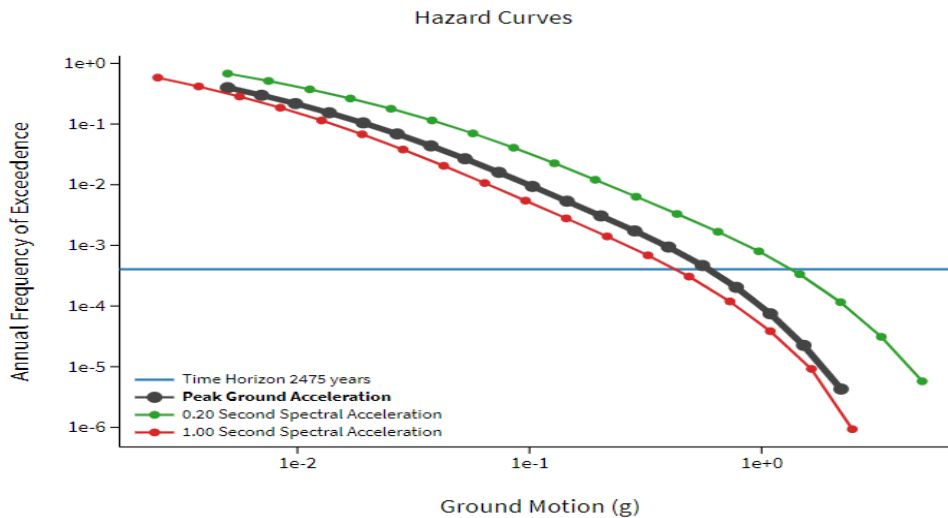
Beschrijving van natuurscenario's zouden aan de volgende voorwaarden moeten voldoen:

- Beschrijving van het type natuurscenario en de kenmerken ervan.
- Zowel voldoende compleet als gedetailleerd.
- De mate van detaillering moet analyse van de risico's op zware ongevallen ondersteunen.
- Voldoende vakkennis en vakbekwaamheid bij de beoordelaar.
- Beschikbaarheid van brondocumentatie voor latere beoordelingen.
- Beschrijving van het natuurscenario's op basis van betrouwbare bronnen.
- Actualiteit van gegevens omtrent natuurscenario's.
- Aandacht voor natuurscenario's met toenemende frequentie zoals klimaatverandering.
- Aandacht voor aanwezige gebruiksfuncties en genomen maatregelen in het gebied.
- Inventarisatie van kritische installaties.

Figuur 2. Een waterdiepte kaart van een terugkerende overstroming elk 100 jaar. (Bron: Fernandes et al., 2022)



Figuur 3. Voorbeeld van een gevarencurve voor aardbevingen op basis van de kans op overschrijding van een bepaalde seismische categorie. (Bron: USGS, Unified Hazard Tool, 2022, <https://earthquake.usgs.gov/hazards/interactive/>)



Box 2. Klimaatverandering

Klimaatverandering leidt tot extremer weer dat vaker voorkomt en impact kan hebben op installaties:

- Zeespiegelstijging
- Sneeuwsmelting
- Woestijnvorming
- Bosbranden
- Permafrost ontdooiing

Verschillende maatregelen kunnen helpen om risico's - als gevolg van klimaatverandering - het hoofd te bieden, bijvoorbeeld:

1. Het ontwikkelen van een klimaat-gedreven aanpassingsstrategie.
2. Analyse van natuurlijke gevaren die specifiek worden veroorzaakt door klimaatverandering of daardoor worden verergerd.
3. Beseffen dat informatie over natuurlijke gevaren uit het verleden op zichzelf onvoldoende inzicht geeft om toekomstig gevaar over de gehele operationele levensduur van de locatie in te schatten.
4. Risicobeoordelingen actueel houden en voorzorgsmaatregelen aanpassen wanneer nieuwe informatie over natuurlijke gevaren beschikbaar komt.

4.2 Identificatie van kritische installaties

Voor bedrijfsterreinen waar een natuurscenario mogelijke is moet potentiële schade aan alle kritische installaties worden beoordeeld. Deze analyse moet gericht zijn op apparatuur waarvan een plotselinge uitval in ultimo kan leiden tot een gevaarlijke situaties².

Eerder onderzoek biedt pragmatische methoden voor rangschikking van verschillende installaties, op basis van hun vatbaarheid voor Natech-gevolgen. Voor de rangschikking worden de volgende criteria gebruikt: de bedrijfsomstandigheden en het volume en de fysieke toestand van gevaarlijke stoffen.

² Een gevaarlijke situatie is een omstandigheid waarbij mensen, gebouwen of het milieu aan een of meer gevaren worden blootgesteld (ISO 14971)

Opslag- en procesomstandigheden die invloed kunnen hebben op Natech-gevolgen:

- **Temperatuur:** Hoge temperatuur vergroot de ontvlambaarheid van brandbare stoffen en maakt gevaarlijke stoffen in het algemeen instabieler. Opslag vindt plaats onder hogere druk en verdamping bij vrijkomen gaat sneller volgt de Antoine-evenwicht).
- **Druk:** Hoge druk zorgt ervoor dat stoffen met hoge druk kunnen vrijkomen
- **Aggregatietoestand:** Vloeistoffen bevatten meer gevaarlijke stoffen per volume-eenheid dan gassen, maar ze hebben tijd nodig om te verdampen. Gassen worden meestal onder hoge druk opgeslagen en verwerkt (zie Druk) en komen bij een lekkage onmiddellijk in de lucht. Gassen die onder druk vloeibaar worden gemaakt, hebben gevaarlijke eigenschappen van zowel vloeistoffen als gassen. Ze hebben een hoge dichtheid, vergelijkbaar met vloeistoffen, worden onder druk bewaard en expanderen direct bij vrijkomen. Oververhitte vloeistoffen gedragen zich op dezelfde manier als gas dat onder druk vloeibaar wordt gemaakt. Gassen die bij zeer lage temperatuur vloeibaar worden gemaakt, hebben hetzelfde gedrag als vloeistoffen en ze expanderen doorgaans niet bij het vrijkomen. Ze verdampen echter veel sneller dan de meeste vloeistoffen.
- **Volume:** De grootste hoeveelheden aan stoffen zijn te vinden in opslagvaten. Ook pijpleidingen en leidingen kunnen grote hoeveelheden stoffen bevatten. Reactoren zijn meestal de kleinste proceseenheden. Andere eenheden die aanzienlijke hoeveelheden gevaarlijke stoffen kunnen bevatten, zijn warmtewisselaars, stookovens en boilers.

Tabel 1 geeft een voorbeeld van hoe deze analyse wordt toegepast om te komen tot een rangschikking van kritische apparatuur. Deze methode (Antonioni et al.; 2009) houdt rekening met maximale schadeafstanden (op basis van letaliteit) van verschillende installaties en stoffen.

Let op: de rangschikking van de kritische installaties kan afwijken afhankelijk van het gekozen gezichtspunt. Bijvoorbeeld: opslagvaten met vloeibaar smeermiddel kunnen hoog scoren op impact op het milieu, terwijl de impact op mens/ activa laag is (smeerolie is niet ontvlambaar of giftig).

Tabel 1. Voorbeelden voor het identificeren en rangschikken van kritische installaties (Antonioni et al., 2009).

	Opslagvaten	Grote leidingen	Kolommen	Reactoren/warmtewisselaars
Vloeibaar gas onder druk	4	4	3	3
Oververhitte vloeistof	3	3	2	2
Gas (gecomprimeerd)	3	2	2	1
Cryogeen vloeistof	2	2	2	1
Vloeistof	1	1	1	1

4.3 Schade aan kritische apparatuur vanwege natuurgevaar

Voor elk natuurgevaar moet geïdentificeerd worden welk schade aangericht kan worden aan welke installaties. De belangrijkste schademodi voor de meest voorkomende soorten apparatuur worden hieronder beschreven.

Knikschade: Een knik op zichzelf veroorzaakt meestal geen LOC. Het kan echter structurele instabiliteit veroorzaken en kan gepaard gaan met andere soorten schade, zoals het scheuren van leidingen en verbindingen of het scheuren van metalen platen. Knikschade wordt vaak waargenomen

in het onderste deel van atmosferische opslagvaten na sterke aardbevingen en manifesteert zich als "olifantenpoot" knik of "diamant" knik van de vatwand (Eidinger et al., 2001; Cooper, 1997). Knikschade kan ook optreden als gevolg van inslag van puin, b.v. tijdens overstromingen, aardverschuivingen of harde wind, of door windknik in lege tanks. Figuur 4 toont een voorbeeld van knikschade als gevolg van aardbevingen.

Scheuren in leidingen en flenzen: Aardbevingen en overstromingen kunnen vervorming en scheuren veroorzaken. Lage temperaturen kunnen leiden tot stolling (bevriezing) van de inhoud in de leidingen, waardoor doorstroming stopt. Figuur 5 toont een leidingbreuk door een aardbeving.

Figuur 4. Knikschade vanwege aardbeving bij silo's (Foto: E. Krausmann)



Figuur 5. Leidingbreuk bij een flensverbinding tijdens een aardbeving (Foto: A.M. Cruz)



Scheuren van metalen constructie: wanneer de vervorming voldoende groot is, kunnen de geklonken platen waaruit de behuizing van een vat bestaat, uit elkaar vallen en een LOC veroorzaken. Dit fenomeen komt vaker voor bij apparatuur waarvan de platen aan elkaar zijn geklonken of vastgeschroefd (Eidinger et al., 2001; Cooper, 1997).

Loskomen van de fundering: Het scheuren van het vat op deze locatie kan leiden tot het ontsnappen van gevaarlijke stoffen. Figuur 6 toont een voorbeeld van schaal-tot-bodem detachement

tijdens een orkaan, waarschijnlijk als gevolg van stormvloed, windstoten en puin.

Steunpoot falen: Veel apparaten hebben steunpoten om hun gewicht te dragen. Deze poten zijn meestal ontworpen om het eigen gewicht van de apparatuur te dragen. Bij aardbevingen kunnen zijdelingse belastingen de ontwerpspecificaties van steunpoten overschrijden en ervoor zorgen dat ze defect raken, waardoor de hele uitrusting instort (Eidinger et al., 2001; Cooper, 1997). Afbeelding 7 toont een voorbeeld van steunpoot falen in de nasleep van een aardbeving.

Breuk in vaste dak van een opslagvat: Wanneer een opslagvat een vast dak heeft, kan dit kwetsbaar zijn voor een natuurramp, omdat dit onderdeel een lichte constructie heeft. Sterke wind kan het dak beschadigen. Ook vloeistof die klotst vanwege een aardbeving kan ervoor zorgen dat het dak gaat knikken. Figuur 8 toont een voorbeeld van windschade aan het vaste dak van een opslagvat.

Figuur 6. Van fundament losgekomen atmosferische opslagtank na een orkaan (Foto: M. Nauman, FEMA)



Figuur 7. Steunpoot falen van een sferisch opslagvat als gevolg van een aardbeving (Foto: H. Nishi)



Figuur 8. Schade aan het vaste dak van een atmosferische opslagvat veroorzaakt door sterk wind (Bron: NOAA)



Falen van een drijvend dak: Sommige opslagtanks hebben geen vast dak maar een metalen deksel dat op de vloeistof drijft. Wanneer de dakschade oploopt, kan het deksel in de vloeistof eronder wegzakken. Wanneer dit gebeurt, wordt de vloeistofoppervlakte blootgesteld aan lucht en begint het product te verdampen, met het vrijkomen van dampen in de atmosfeer tot gevolg (Necci et al., 2018a). Wanneer de vloeistof brandbaar is, kan hierdoor brand ontstaan.

Verschuiven en kantelen: Door een aardbeving en/of tsunami's kan een tank verschuiven of kantelen (Eidinger et al., 2001). Figuur 9 en 10 tonen verschuiving/ kanteling van opslagtanks.

Perforatieschade: Scherpe voorwerpen die tegen installaties worden geduwd, kunnen knikken en gaten in de wand veroorzaken met kans op LOC (Necci et al., 2018a). Lekschade kan van invloed zijn op apparatuur en leidingen.

Figuur 9. Verschoven atmosferische opslagtank en ander stormvloedschade als gevolg van een orkaan, inclusief verschoven leiding (Bron: NOAA Office of Response and Restoration)



Figuur 10. Omgevallen en beschadigde atmosferische opslagvat vanwege een stormvloed na een orkaan (Bron: NOAA Office of Response and Restoration)



Ontsteking en vonken: Natuurlijke gevaren kunnen lijden tot brand van brandbare vloeistoffen (b.v. bliksem en bosbranden). In zulke gevallen wordt apparatuur niet door de natuurramp zelf beschadigd maar door brand of explosies volgend op de natuurramp. Een onderzoek naar branden in atmosferische opslagvaten (Chang en Lin, 2006) toont aan dat bliksem meer dan 90% van deze branden veroorzaakt. Aardbevingen zijn een andere oorzaak van ontstekingen, bij de afdichting tussen tankwanden kunnen dicht bij de vloeistof vonken ontstaan (Girgin, 2011).

Overvulling: Door overstroming en hevige regenval kan water in installaties stromen waardoor de capaciteit overschreden wordt. Hierdoor kan de inhoud vrijkomen. In dit geval is het apparaat technisch niet beschadigd, maar zijn functie en insluitfunctionaliteit is niettemin aangetast.

Tabel 2 toont de relatie tussen natuur gevaren en schade. Tabel 3 toont een schadebeeld en de installaties die er het meest vatbaar voor zijn.

Tabel 2. Schadebeeld en hun relatie tot natuurramp triggers.

Schade (beeld)	Aardbeving	Overstroming (1)	Stormvloed (2)	Zware regenval	Bliksem	Wind	Aarde- verschuiving	Lage temperatuur
Knikken	X	X	X	X		X	X	
Breuk in leidingen/fenzen	X	X	X			X	X	X
Scheuring constructie	X	X	X			X		
Loskomen van fundering	X		X					
Steunpoot falen	X		X				X	
Vast dakschade	X			X	X	X		X
Drijvend dakschade	X			X	X	X		
Verschuiving	X	X	X			X	X	
Kantelen	X	X	X			X	X	
Perforatieschade		X	X		X	X	X	
Ontsteking en vonken	X	X	X		X			
Overvullen		X	X	X				

(1) Langzaam-optredende vloed zoals zeespiegelstijging en rivieren.

(2) Snel-optredende vloed zoals bij dambreuk en tsunami's.

Tabel 3. Veel voorkomende schadebeelden in relatie tot installaties.

	Atmosferische opslagtank	Hogedrukvaten (bullet)	Hogedrukvaten (sphere)	Warmtewisselaar	Phase separator	Kolom	Stack	Dijk/Plas	Afvoeren
Knikken	X					X	X		
Breuk in leidingen/flezen	X	X	X	X	X	X			
Scheuring	X								
Schaal-tot-bodem detachement	X								
Steunpoot falen	X	X	X	X	X	X			
Vast dakschade	X								
Drijvend dakschade	X								
Verschuiving	X	X	X		X				
Kantelen	X	X	X		X	X			
Perforatie schade	X								
Ontsteking en vonken	X								X
Overvullen	X							X	X

Box 3. Schadebeeld en operationele omstandigheden

Het is ook belangrijk om vast te stellen onder welke bedrijfsomstandigheden de kans op schade door natuurlijke gevaren groter is. Zo hebben opslagvaten met een hoge vulling meer kans om te falen bij aardbevingen als gevolg van de klotsende vloeistof (Eidinger et al., 2001), terwijl vaten met een lagere vulling eerder falen bij overstromingen omdat een lager gewicht het drijfvermogen verhoogt (Godoy, 2007)

Box 4. Structuren ontworpen tegen impact van natuurgevaar

Sommige installaties op een industrieterrein zijn ontworpen om bestand te zijn tegen natuurlijke gevaren, in overeenstemming met bestaande codes of normen. Operators kunnen daardoor worden verleid om te beweren dat er geen Natech-ongelukken kunnen plaatsvinden. Immers, de installatie is ontworpen om natuurlijke gevaren te weerstaan. Deze benadering kan misleidend zijn, aangezien de gebruikte ontwerp-referenties mogelijk worden overschreden in geval van natuurlijke gevaren die ernstiger zijn dan de specificaties.

Waarom?

Ontwerpprocedures voor industriële installaties zijn gebaseerd op het identificeren van "grenswaarden". Bij deze grenswaarden ontstaat geen schade. De selectie van grenswaarden is gebaseerd op de kans van voorkomen van het natuurgevaar. De installatie kan natuurgevaar weerstaan zolang de intensiteit lager is dan de gekozen grenswaarde. Om deze reden kan de ontwerpprocedure alleen een vermindering van risico voor de constructie met zich meebrengen, maar het risico niet volledig wegnemen. Bij de beoordeling van risico's op zware ongevallen wordt echter doorgaans onvoldoende rekening gehouden met restrisico's.

Wat moet er anders gebeuren?

Accepteer dat Natech ongevallen mogelijk zijn ook al zijn installaties ontworpen om natuurgevaar te kunnen weerstaan. Pas nadat de Natech-scenario's zijn geanalyseerd en geëvalueerd, kan bepaald worden of een natuurlijk gevaar tot escalatie kan leiden.

4.4 Bijbehorende ongevalsfactoren: veiligheidsbarrières en nutsvoorzieningen

Schade aan het proces als geheel kan starten met schade aan een controlesysteem, veiligheidsbarrières en andere apparatuur die wellicht geen gevaarlijke stoffen bevat, maar waarvan de werking nog steeds veiligheid kritisch kan zijn (Necci et al., 2018b; Krausmann en Salzano, 2017). Tevens kunnen hulpsystemen verstoord worden. Onder bepaalde omstandigheden kan het een indirecte trigger worden voor een Natech-ongeval of voor de verergering ervan.

Dit kan één of beide van onderstaande gevolgen opleveren:

1. Veiligheidssystemen (bijv. lek-/branddetectie, brandbestrijding, automatische uitschakeling) kunnen door natuurlijke gevaren worden verstoord. Dit kan leiden tot gevaarlijke situaties wanneer de verstoring vervolgens niet wordt verholpen. Dit verhoogt de kans op Natech-ongevallen.
2. Essentiële hulpsystemen of nutsvoorzieningen (bijv. elektrische stroomvoorziening, perslucht, stoom, koelwater) worden verstoord, wat leidt tot onbeheersbare procesverstoringen die gevaarlijke situaties kunnen veroorzaken. Uiteindelijk kan dit leiden tot zeer grootschalige ongevallen (zie ook paragraaf 4.5.2).

Hoewel de kwetsbaarheid van hulp- en veiligheidssystemen in verschillende onderzoeken is gedocumenteerd (bijv. Necci et al., 2018a, b; Misuri et al., 2021; Girgin, 2011), ontbreekt het nog aan kwantitatieve gegevens voor risicobeoordeling. Een worst-case benadering wordt daarom aanbevolen. Bij het beoordelen van de kwetsbaarheid van veiligheids- en hulpsystemen, is de algemene regel om elk systeem dat niet specifiek is ontworpen voor de intensiteit van een gekozen natuurgevaar te weerstaan, als niet-beschikbaar te beschouwen

Onderstaande lijst toont de meest kritische systemen t.a.v. in een procesinstallatie:

Stroomuitval: Analyse van Natech-ongevallen in het verleden toont aan dat uitval van de stroomvoorziening een terugkerend kenmerk is. Stroomuitval alleen zou niet tot ernstige gevolgen mogen leiden. Immers, procesinstallaties hebben meestal back-up stroombronnen die in werking treden als de primaire stroombron uitvalt. Back-up stroomapparatuur blijkt niet te werken vanwege dezelfde natuurlijke gebeurtenis die de hoofdstroom voorziening verstoort.

Verlies van water: Water is cruciaal voor een aantal functies in een procesinstallatie. Natuurlijke gevaren kunnen het waternetwerk verstoren door watertanks en reservoirs te beschadigen, leidingen breken of losraken, of pompen onklaar maken. Water is essentieel om kritische apparatuur (bijvoorbeeld chemische reactoren) gekoeld te houden. Als er geen water beschikbaar is, kan de operator de controle over kritieke processen verliezen, zoals bij exotherme chemische reacties, wat mogelijk kan leiden tot op hol geslagen reacties en ontsnappingsgevaar. Bovendien hebben brandbestrijding systemen grote hoeveelheden water nodig om branden te beheersen en te blussen.

Verlies van stoom: Net als bij waterverlies, kan stoomverlies processtoringen veroorzaken. Dit kan leiden tot productstolling in de proceslijnen. Uiteindelijk kan dit tot drukverhoging leiden, waardoor de leidingen kunnen falen en lekken.

Verlies van perslucht: Perslucht wordt in veel installaties gebruikt voor het aandrijven van pneumatisch gereedschappen, maar ook voor automatiseringsapparatuur en transportbanden. Verlies van perslucht kan leiden tot verlies van procescontrole en gevaarlijke procesverstoringen.

Falen van controlesystemen: Procesbesturing is een essentieel kenmerk van alle industriële processen. Schade aan een van deze systemen resulteert in het falen van het hele besturingssysteem. Grote processen hebben doorgaans een “distributed controle systeem” (DCS) dat vele regelketens bevat. Het is heel gebruikelijk dat besturingssystemen een of meer niveaus van redundantie bevatten om de betrouwbaarheid te vergroten. Natuurlijke gevaren kunnen echter tegelijkertijd zowel het hoofdcontrole systeem als de back-up systemen beïnvloeden.

Falen van instrumenten: Instrumenten voor de detectie en meting van procesvariabelen kunnen door natuurlijke gevaren worden beschadigd. Verstoringen in gas-, rook- en branddetectoren op een industrieterrein kunnen bijvoorbeeld een gevaarlijke situatie of een ongeval niet detecteren, of zelfs alarmen niet activeren, waardoor niet tijdig op de dreiging wordt gereageerd.

Falen van pomp/compressor: Pompen en compressoren kunnen - tijdens een natuurramp - op verschillende manieren falen. Een gebrek aan elektriciteit tijdens een stroomstoring betekent dat deze niet meer werken. Een overstroming of sterk wind kan betekenen dat de motor onder water komt te staan of in aanvaring raakt met puin. Hun falen kan drukverlaging in proceseenheden of onderbreking van de doorstroom (of terugkeer) veroorzaken in belangrijke proceslijnen, waardoor ongecontroleerde procesfluctuaties ontstaan die kunnen leiden tot LOC.

Fakkel falen: Natuurlijke gevaren kunnen schade aan, of storing van, de fakkels veroorzaken. Vele industriële fabrieken gaan in noodstop bij natuurlijke gevaren. De inhoud van proceseenheden wordt naar de fakkels geleid om veilig te worden verwijderd. Als een fakkel faalt, zullen gevaarlijke stoffen niet worden verbrand maar in plaats daarvan rechtstreeks in het milieu worden vrijgegeven.

Box 5. Veelvoorkomende oorzaken van falen

Natuurlijke gevaren kunnen tegelijkertijd nutsvoorzieningen, hulpsystemen en veiligheidsbarrières verstoren. Dit kan leiden tot scenario's die normaal gesproken als onmogelijk worden beschouwd, zoals bij het Arkema-ongeval in 2017 dat volgde op orkaan Harvey (Necci et al., 2018a).

4.5 Identificatie van Natech-gevaar

Natech-ongevallen worden veroorzaakt door natuurlijke gevaren die installaties met gevaarlijke stoffen verstoren. Natech-gebeurtenissen kunnen worden veroorzaakt door directe schade aan kritische installaties die gevaarlijke stoffen bevat, of indirect als gevolg van procesvariaties, verlies van nutsvoorzieningen of storingen in het beschermings- en controlesysteem.

4.5.1 Rechtstreekse effecten van natuurgevaar

Gevaarlijke stoffen kunnen vrijkomen wanneer de installatie waarin ze zich bevinden, wordt beschadigd of vernietigd door een natuurlijk gebeurtenis. De soorten schade zijn voor de meest voorkomende soorten installaties zijn besproken in paragraaf 4.3.

Natuurlijke gevaren veroorzaken twee hoofdcategorie-ongevallen. Beide zijn rechtstreeks van invloed op gevaarlijke stoffen en hun insluitsystemen:

1. Schade aan de insluitsystemen, en de lozing van gevaarlijke stoffen;
2. De ontsteking van ontvlambare stoffen.

Schade aan insluitsystemen met gevaarlijke stoffen: het belangrijkste doel is om te bepalen of het natuurgevaar het systeem kan beschadigen en zo ja, hoe omvangrijk de schade zal zijn. De ontwerper

van het systeem kan inzicht geven in de te verwachten prestaties bij overbelasting. De eenvoudigste methode om schade te beoordelen is met een "ja/nee" -logica, bij de vraag of insluiting faalt wanneer de ontwerpspecificaties worden overschreden. Een andere klassieke methode voor het beoordelen van potentiële schade is het gebruik van schadebeelden in combinatie met kwetsbaarheidscurven (Eidinger et al., 2001; FEMA, 2015). Schadebeelden worden meestal onderverdeeld in kwalitatieve schadeklassen (bijvoorbeeld geen, klein, matig, groot, catastrofaal).

Ontsteking van brandbare stoffen: het tweede type insluitsystemen met explosieve atmosfeer. De resulterende brand of explosie veroorzaakt vaak een zwaar ongeval. Vaak veroorzaakt dit echter ook grote schade aan insluitsystemen waardoor gevaarlijke stoffen vrijkomen. Wanneer dit gebeurt, is de daaropvolgende brand of explosie meestal veel groter dan de oorspronkelijke brand die door de natuurramp is ontstaan. Bovendien kunnen branden en explosies zich uitbreiden naar nabijgelegen installaties of locaties en een zogenaamd "domino-effect" creëren (Reniers en Cozzani, 2013).

4.5.2 Indirecte effecten

Indirecte oorzaken van Natech-ongevallen hebben betrekking op onbeheersbare procesvariaties gevolg van een natuurramp. Zoals vermeld in paragraaf 3.4 kan ook het uitvallen van nutsvoorzieningen of van redundante hulpsystemen leiden tot gevaarlijke situaties of Natech-ongevallen. Ongevallenanalyses uit het verleden tonen aan dat Natech-ongevallen indirect kunnen optreden ook wanneer er redundante veiligheidssystemen aanwezig zijn. Daarom dienen ook indirecte oorzaken van Natech-ongevallen te worden meegenomen in de risicobeoordeling.

Met een analyse van processen en de onderlinge relaties, kunnen indirecte oorzaken van Natech scenario's worden geïdentificeerd. Er is een aantal instrumenten beschikbaar voor identificatie en analyse van conventionele gevaren (bijv. HAZOP, FMEA, FMECA, LOPA, checklists, "wat-als" analyse). Er zijn echter diverse factoren die de identificatie van risico's op Natech-ongevallen ingewikkelder maken.

Een van de grootste moeilijkheden om te overwinnen is de neiging tot simplificeren. Sommige scenario's kunnen bijvoorbeeld als uiterst onwaarschijnlijk of zelfs onmogelijk worden beschouwd onder normale omstandigheden, omdat ze uitgaan van gelijktijdig falen van vele systemen. Doorgaans worden zulke scenario's niet meegenomen in conventionele analyses omwille van eenvoud en onderscheiden kosteneffectiviteit (Krausmann en Necci, 2021). Echter, gelijktijdig uitval van meerdere systemen is precies het kenmerk van Natech-ongevallen. Natuurlijke gevaren zijn dan ook een belangrijke storingsoorzaak in vele systemen. Tijdens de identificatiefase van indirecte Natech-gevaarsscenario's, mogen risicoanalisten ongevallenscenario's niet uitsluiten op basis van een "veronderstelde onmogelijkheid", tenzij een detaillierend onderzoek naar het domino-effect van natuurlijke gevaren op de betrokken systemen geen aanwijzingen heeft opgeleverd.

4.6 Natech-gevolgen analyse

Voor Natech-risicobeheer is een van de grootste uitdagingen het identificeren en analyseren van degelijke gevolgsenario's. Zowel de kans op een ongeval als de gevolgen daarvan kunnen worden bepaald via modellering (van de uitkomsten van een gebeurtenis of reeks gebeurtenissen). Dit gebeurt door extrapolatie uit experimentele studies of uit beschikbare gegevens. Een gevolgsenario bestaat uit een LOC en vervolgens een reeks gebeurtenissen die leidt tot een fysiek effect (bijvoorbeeld een brand, explosie of toxische emissie) dat schade kan toebrengen aan mensen, milieu of activa kan.

Natech-scenario's verschillen van technologische risico's (zie Natech-kenmerken in hoofdstuk 2). Het voldoet niet om niet-Natech-gevolgscenario's te hergebruiken voor het analyseren van Natech-scenario's, tenzij er kan worden geverifieerd dat de scenario-omstandigheden hetzelfde zijn. Succesvolle modellering van Natech-scenario's vereist een juiste beoordeling van LOC als gevolg van natuurgevaar. Daarentegen wijken de modellen voor de beoordeling van de fysieke effecten van Natech-ongevallen niet af van de modellen voor niet-Natech-ongevallen. Specifieke technische informatie is beschikbaar in Mannan (2005) en van den Bosch en Weterings (2005).

4.6.1 Loss of containment (LOC) en kritieke gebeurtenissen

Kritische gebeurtenissen staan aan het begin van het proces dat leidt tot een Natech-ongeval. Er zijn twee soorten kritische gebeurtenissen die kunnen worden veroorzaakt door natuurgevaren:

- Kritische gebeurtenissen door directe schade aan een insluitsysteem met gevaarlijke stoffen.
- Kritische gebeurtenissen na een processtoring.

De meeste kritische gebeurtenissen leiden tot LOC van gevaarlijke stoffen, maar er zijn ook andere kritische gebeurtenissen, zoals op hol geslagen reacties, deflagratie of brand. Kortheidshalve noemen we alle uitkomsten van kritische gebeurtenissen, LOC's ("loss of containment"). De meest voorkomende LOC-scenario's kunnen worden ontleend aan de scenario's die worden gebruikt om niet-Natech ongevallen te modelleren. Voorbeelden van typische LOC-scenario's worden vermeld in tabel 4.

Tabel 4. Generieke LOC's voor diverse soorten systemen (Bron: Uijt de Haag and Ale, 2005).

LOC-gebeurtenis	Beschrijving	Waar komt het voor
Onmiddellijke lozing	Onmiddellijke lozing van de gehele opslag van gevaarlijke stoffen	Opslag- en procesvaten, warmtewisselaars
Doorlopende lozing in 10 minuten	Doorlopende lozing van de gehele opslag van gevaarlijke stoffen; 10 minuten, constante snelheid	Opslag- en procesvaten, warmtewisselaars
Doorlopende lozing uit gat in een vat	Doorlopende lozing van gevaarlijke stoffen uit een gat van vastgestelde omvang	Opslag- en procesvaten, warmtewisselaars
Volledige breuk	Doorlopende lozing van gevaarlijke stoffen door leidingbreuk (gatgrootte gelijk aan diameter). Lozing gebeurt normaliter vanuit beide kanten.	Leidingen, pompen, warmtewisselaars
Lekkage	Doorlopende lozing van gevaarlijke stoffen door lek in pijp (gatgrootte is een fractie van de diameter).	Leidingen, pompen, warmtewisselaars
Lekkage uit overloopventiel	Ontsnapping op maximale snelheid vanuit een overloopventiel.	Overloopventielen
Vrijkomen opgeslagen poeder	Vrijkomen van een fractie van de verpakkingseenheid in inadembare vorm	Warehouses
Vrijkomen opgeslagen vloeistof	Vrijkomen gehele verpakking	Warehouses
Vrijkomen giftige rook	Emissie van onverbrande gifstoffen en vrijgekomen gifstoffen na een brand	Warehouses
Massa explosie	Massa explosie in een opslagruimte	Explosieve opslag
Brand opslagruimte	Brand in een opslagruimte	Explosieve opslag

Een grote uitdaging bij een Natech-risicobeoordeling is het maken van een koppeling tussen een typisch LOC-scenario, veroorzaakt door specifieke schade vanwege een natuurramp. Er is geen richtlijn voor zodat er momenteel wordt vertrouwd op expert opinion. Wanneer het gebruikte schademodel eenvoudig en specifiek is voor één schadebeeld, kan de verwachte schade gemakkelijk worden gelinkt aan een LOC. Specifieke modellen zijn echter schaars en niet beschikbaar voor de

meeste soorten apparatuur. Om deze reden wordt de Natech-risicobeoordeling vaak uitgevoerd met behulp van meer generieke schademodelen zoals schadebeelden en kwetsbaarheidscurven.

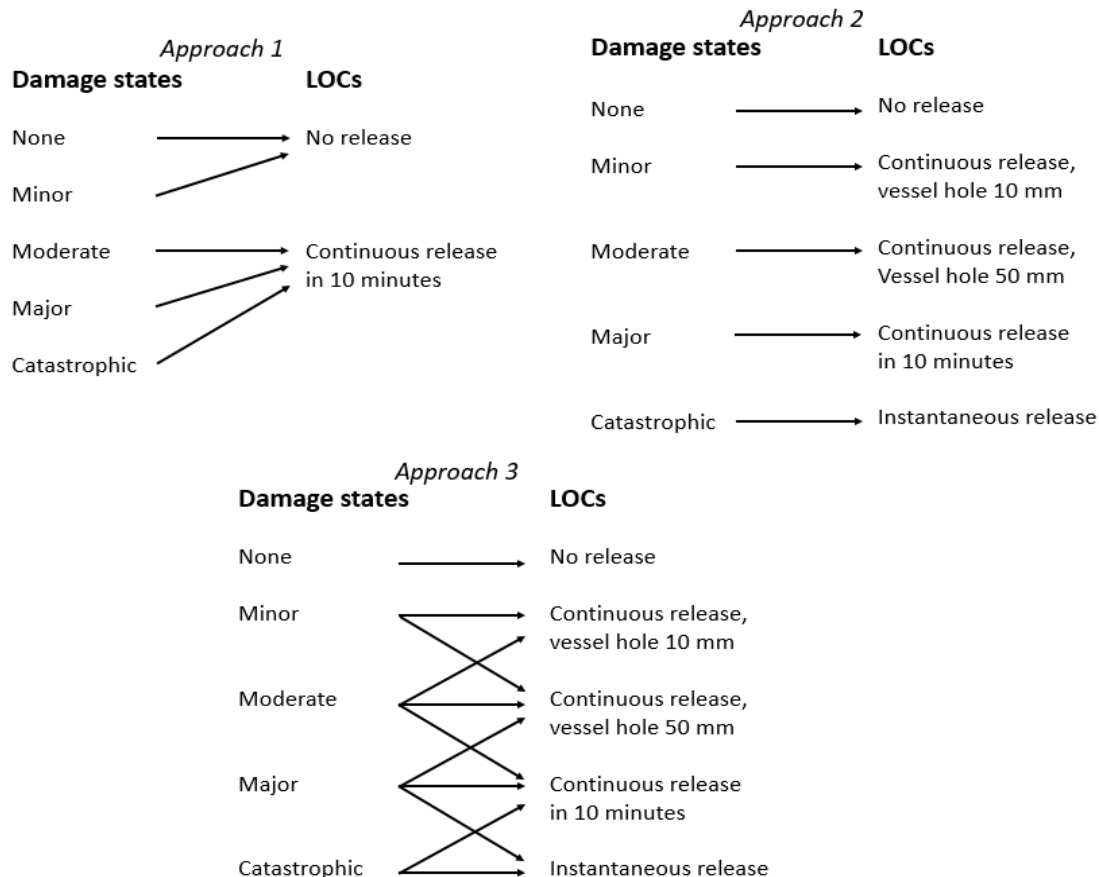
4.6.1.1 LOC-scenario's voor schade soorten

Een veelgebruikte manier voor de beoordeling van natuurrampschade aan processystemen, is door gebruik te maken van schadesoorten, zoals besproken in paragraaf 4.5.1 (FEMA, 2015). Schadesoorten geven geen specifieke beschrijving van schade, maar een generieke en kwalitatieve beschrijving van de algehele toestand van installaties na een natuurramp. Er is echter een erkende kennishiaat in dit opzicht. De statistieken over natuurlijke gevaren die worden gebruikt om het schadebeeld te onderbouwen, hebben geen betrekking op uiteindelijke LOC's, en vice versa. De taak wordt complexer wanneer het gebruikte schademodel uiteenlopende schadebeelden biedt in relatie tot hetzelfde natuurgevaar. Wanneer het enige beschikbare schattingsmodel is gebaseerd op meerdere schadebeelden, zijn er mogelijk drie manieren om met de extra complexiteit om te gaan:

1. **Koppel hetzelfde LOC-scenario aan meerdere schadebeelden.** Deze oplossing is de eenvoudigste, maar ook de minst nauwkeurige. Er worden twee categorieën van schadebeelden gecreëerd: degenen die wel en degenen die geen LOC kunnen veroorzaken. Een veel voorkomende veronderstelling is dat schadebeelden met weinig of geen schade, niet zouden resulteren in een LOC, terwijl schadebeelden met gemiddelde of grote schade dat wel zouden doen. Hetzelfde LOC-scenario wordt vervolgens gekoppeld aan alle schadebeelden die een ontsnapping kan veroorzaken, ongeacht de omvang van de schade (bijv. LOC is "Doorlopende lozing in 10 min" voor alle schadebeelden van matige ernst of groter). Deze benadering is de afgelopen jaren toegepast in wetenschappelijke onderzoeken naar de risicobeoordeling van Natech (Salzano et al., 2003, Antonioni et al., 2009).
2. **Wijs een ander LOC-scenario toe aan elke schadebeeld.** Deze aanpak is iets complexer. Elk schadebeeld heeft zijn eigen LOC-scenario (hoewel er nog steeds twee of meer schadebeelden kunnen zijn met dezelfde LOC). LOC is bijvoorbeeld "Doorlopende lozing uit een gat in het vat van 10 mm" voor kleine schade, "Continu lozing uit een gat in het vat van 50 mm" voor matige schade, "Doorlopende lozing in 10 minuten" voor grote schade en "Onmiddellijke lozing" voor catastrofale schade. Deze aanpak is geïmplementeerd in de Natech-tool voor risicoanalyse en mapping RAPID-N³ (Girgin and Necci, 2018).
3. **Wijs meerdere LOC-scenario's toe aan elk schadebeeld.** Deze oplossing is de meest complexe, maar ook de meest nauwkeurige. De hypothese is dat elk schadebeeld kan resulteren in veel of zelfs alle mogelijke LOC-scenario's. De kans op grote LOC-gebeurtenissen is hoger voor ernstige schadebeelden, terwijl de kans op kleine LOC-gebeurtenissen groter is voor kleine schadebeelden. Als schadebeelden onverenigbaar zijn met LOC-scenario's (bijvoorbeeld een LOC-scenario 'lek' komt meestal niet overeen met het schadebeeld 'instorting'), moet kans 0 worden toegewezen aan die specifieke combinatie van schadebeeld en LOC. Deze benadering is tot nu toe nooit gebruikt vanwege de complexiteit. Bovendien zijn er tot op heden geen statistische gegevens beschikbaar om kansen te associëren met LOC-gebeurtenissen en schadebeelden.

³ RAPID-N is gratis beschikbaar op <https://rapidn.jrc.ec.europa.eu>

Figuur 11. Voorbeelden van de 3 manieren voor het koppelen van LOC-scenario's aan schadebeelden.



4.6.2 Natech-gevolgen scenario modellering

Zoals vermeld in paragraaf 4.4, kunnen natuurlijke gevaren de controle- en hulpsystemen verstoren. In paragraaf 4.5.2 werd aangegeven hoe dergelijke schade een LOC kan veroorzaken. Hieronder worden de gevolgen van systeemuitval besproken, en worden aanwijzingen gegeven voor het opstellen van degelijke Natech-gevolgscenario's.

4.6.2.1 Natech keten van gebeurtenissen

Veiligheidsmaatregelen zijn fysieke of niet-fysieke middelen die worden geïmplementeerd om gevaarlijke situaties of ongevallen te voorkomen, beheersen of verminderen (Sklet, 2005). Veiligheidsmaatregelen kunnen falen, of hun prestaties kunnen worden verminderd vanwege natuurlijke gevaren wanneer: 1) onderdelen niet aanwezig of beschadigd zijn, en 2) nutsvoorzieningen en hulpsystemen falen waardoor aansturen van de veiligheidsmaatregelen niet mogelijk is. De Natech-risicobeoordeling gaat uit van niet-gemitigeerde scenario's.

Veiligheidsmaatregelen voorkomen dat ongevallen, zoals branden en explosies, zich uitbreiden naar nabijgelegen installaties. Wanneer een Natech-ongeval overwaait naar nabijgelegen terreinen of installaties en een of meer "secundaire" ongevallen veroorzaakt, wordt er gesproken van een domino-effect (Reniers en Cozzani, 2013). Wanneer de gevolgen van een secundair ongeval omvangrijker zijn dan die van het "primaire" ongeval, is het ongeval "geëscaleerd". Bij de Natech-risicobeoordeling moet rekening worden gehouden met geëscaleerde scenario's.

4.6.2.2 Simultane ongelukken

Een van de belangrijkste complicaties van Natech-ongevallen is de kans op meer gelijktijdige LOC-gebeurtenissen. Hiervoor moeten alle scenariocombinaties beschouwd worden. Elke combinatie levert een ander Natech-ongeval scenario op. De complexiteit van deze aanpak neemt exponentieel toe met het aantal overwogen scenario's. Zodra alle combinaties zijn geïdentificeerd, worden de scenario's (combinaties) die het meest relevant zijn voor risicobeoordeling overwogen, terwijl de andere opties opzij worden geschoven. Het is niet eenvoudig om vast te stellen welke combinaties het meest relevant zijn. Over het algemeen zijn combinaties met een grotere kans op voorkomen, meer relevant. Een combinatie van gebeurtenissen met een kleine kans maar grote gevolgen mag niet worden afgewezen, omdat dit een HILP-gebeurtenis (high impact low-probability) kan zijn.

Een vraagstuk bij simultane scenario's is: hoe gaan we om met de impact van twee of meer verschillende factoren op hetzelfde doelwit. Zoals besproken in Antonioni et al. (2007) kun je de impact van twee of meer ongevallen beoordelen door a) de omvang van de schadelijke fysieke effecten op te tellen (bijv. thermische straling), b) de doses op te tellen waaraan een persoon worden blootgesteld (bijv. giftige dosis), of c) de kwetsbaarheid van het doelwit toevoegen (bijv. overlijdenskans) te beschouwen.

De derde optie maakt het mogelijk om gecombineerde kwetsbaarheden te beoordelen (bijv. branden en giftige verspreiding), terwijl de eerste twee de effecten van ongevallen van hetzelfde type zijn (bijv. twee branden) (Cozzani et al., 2005). De derde optie maakt het mogelijk meer soorten effecten te beschouwen:

$$V_{\text{com}} = \bigcup_{i=1}^N V_i \quad (1)$$

V_{com} is de gecombineerde kwetsbaarheid van de N ongevallen;

V_i is de kwetsbaarheid van elk individuele ongeval i .

Er is onderlinge afhankelijkheid mogelijk (iemand heeft meer kans op overlijden als hij de impact van één eerder ongeval heeft overleefd).

Een voorbeeld van het gebruik van de onafhankelijkheidshypothese in het geval van twee afzonderlijke ongevallen, a en b, wordt gegeven in de volgende vergelijking:

$$V_{\text{com}} = V_a + V_b - V_a \cdot V_b \quad (2)$$

4.6.2.3 Omgevingsomstandigheden

Voor het bepalen van de gevolgen van een ongeval wordt gebruik gemaakt van standaardmodellen voor de omgevingsvariabelen. Natuurlijke gevaren kunnen de omgeving rondom industriële installaties wijzigen. Deze waarden moeten in overeenstemming zijn met de toestand van het initiërende natuurrampscenario. Bij bijvoorbeeld een overstroming is niet alleen de overstromingsdiepte en -snelheid relevant, maar ook de richting. Vrijkomende brandbare en giftige stoffen kunnen over grote afstanden worden meegevoerd, waardoor branden of vervuiling mogelijk over grote afstanden kunnen worden verspreid (zie figuur 12). Voorbeelden van de parameters die worden gebruikt in standaardmodellen voor ongeval-gevolgenanalyses en die kunnen wijzigen tijdens een lopende natuurramp, zijn weergegeven in tabel 5.

Figuur 12. Brand op wateroppervlakte die via de stormvloed verder wordt verspreid (Bron: USGS)



Tabel 5. Voorbeelden van het effect van natuurlijke gevaren op omgevingsvariabelen.

Variabelen	Mogelijke impact van natuurramp
Temperatuur omgeving	Sommige natuurlijke gevaren (hittegolf of vrieskou) vinden plaats bij specifieke (extreme) waarden of omgevingstemperaturen.
Windsnelheid	Voor stormen/tornado's gelden hoge waarden t.a.v. de windsnelheid.
Atmosferische stabiliteit	Bij stormen en andere atmosferische fenomenen, kiest men waarden van atmosferische stabiliteit vanuit de instabiele klassen.
Terreingrofheid	Gebouwen, installaties en bomen kunnen instorten/omvallen door natuurlijke gevaren. Dit beïnvloedt de ligging van gevaarlijke objecten en stoffen. De terreingrofheid kan veranderen door natuurlijke gevaren zoals overstromingen die obstakels landwaarts verplaatsen (bijv. silo's, zeeschepen, binnenvaartschepen).
Conditie aarde/bodem	Grond kan scheuren of vloeibaar worden tijdens aardbevingen en overstromingen met impact op de stabiliteit. Sneeuw en ijs hebben significante impact.

4.6.2.4 De kwetsbaarheid van eindpunt-ontvangers

Vergeleken met andere technologische ongevallen hebben Natech-ongevallen een potentiële brede impact op “eindpunt-ontvangers” (grote groepen mensen, populaties, het milieu). Deze effecten moeten afzonderlijk worden beoordeeld voor elke natuurramp dat het industrieterrein kan raken.

Voorbeelden van effecten van natuurrampen op eindpunt-ontvangers zijn:

- Het aantal personen dat risico loopt, scheelt van dag tot dag. Evacuatie heeft hier ook grote invloed op.
- Door instorting kan de mogelijkheid tot schuilen wegvallen. Vastzittende mensen kunnen niet vluchten.
 - Het milieu kan gevoeliger zijn voor vervuiling door chemicaliën of koolwaterstoffen wanneer het al eerder is beschadigd door de natuurramp.

Om de impact van een realistische LOC op de populatie te berekenen, kunnen standaard kwetsbaarheidsmodellen worden gebruikt. Natech-specifieke modellen zijn niet nodig. Wanneer door gebrek aan gegevens een kwantitatieve analyse niet mogelijk is, kan een meer kwalitatieve categorisering worden gebruikt (bijv. klein, ernstig, zeer ernstig, groot, catastrofaal).

4.7 Natech waarschijnlijkheidsbeoordeling

Risicoanalyse is per definitie kansberekening. Effecten zijn verschillend. Risico is een functie van kans en gevolg. Normaal wordt dit kwantitatief beschouwd maar bij grote onzekerheid, worden kwalitatieve modellen gebruikt. De kans op een Natech-scenario is groter als natuurlijke gevaren frequenter voorkomen.

Natech-scenario's zijn complexe gebeurtenissen. Ze zijn opgebouwd uit een natuurrampscenario, een topgebeurtenis-scenario (of kritieke gebeurtenis) en een gevolgenscenario. De kans op een Natech-scenario volgt uit een kansberekening op deze drie gebeurtenissen tezamen. Daarom bestaat de kansberekening van Natech uit de volgende drie stappen:

1. Beoordeling kans op natuurramp m.b.v. statistieken of modellering.
2. Beoordeling kans op topgebeurtenis op basis van berekeningen.
3. Beoordeling van de kans op gevolgscenario's m.b.v. beslisbomen of gelijkwaardige methoden.

Onderstaande berekeningen (3) tot en met (5) beschrijven de relatie tussen de kans en op een Natech-ongeval, de kans op een kritieke gebeurtenis en de kans op een natuurrampscenario:

$$P(\text{Top}) = P(\text{Haz}) \cdot P(\text{Top}|\text{Haz}) \quad (3)$$

$$P(\text{Nat}) = P(\text{Top}) \cdot P(\text{Nat}|\text{Top}) \quad (4)$$

Of een combinatie van berekeningen (3) en (4):

$$P(\text{Nat}) = P(\text{Haz}) \cdot P(\text{Top}|\text{Haz}) \cdot P(\text{Nat}|\text{Top}) \quad (5)$$

$P(\text{Nat})$ is de kans op een specifieke Natech-ongeval scenario

$P(\text{Top})$ is de kans op een topgebeurtenis (of LOC)

$P(\text{Haz})$ is de kans op natuurgevaar

$P(\text{Top}|\text{Haz})$ is de voorwaardelijke kans op een topgebeurtenis bij een bepaald natuurgevaar

$P(\text{Nat}|\text{Top})$ is de voorwaardelijke kans op een Natech-scenario bij de gegeven kritieke gebeurtenis.

4.7.1 De waarschijnlijkheid van een release/top-gebeurtenis

Er zijn twee hoofdcategorieën van topgebeurtenissen:

- Natech-ongevallen als gevolg van directe impact (schade) aan de containerconstructie tijdens natuurlijke gevaren (zie paragraaf 4.5.1);
- Natech-ongevallen als gevolg van indirecte oorzaken, bijvoorbeeld door uitval van nutsvoorzieningen als gevolg van natuurlijke gevaren (bijvoorbeeld stroomuitval) (zie paragraaf 4.5.2).

Voor de eerste categorie kan de kans op een topgebeurtenis direct worden gerelateerd aan de kans dat de apparatuur wordt beschadigd door de natuurramp. In dit geval resulteert schade meestal onmiddellijk in een LOC. Onderstaande berekeningen (6) en (7) tonen de relatie aan tussen de waarschijnlijkheid van een topgebeurtenis bij een bepaald schadescenario, dat al dan niet leidt tot een topgebeurtenis:

$$P(\text{Top}) = P(\text{Dam}) \cdot P(\text{Top}|\text{Dam}) \quad (6)$$

$$P(\text{Dam}) = P(\text{Haz}) \cdot P(\text{Dam}|\text{Haz}) \quad (7)$$

$P(\text{Top})$ is de kans op een topgebeurtenis

$P(\text{Dam})$ is de kans op schade

$P(\text{Top}|\text{Dam})$ is de voorwaardelijke kans op een topgebeurtenis bij een bepaalde schade

$P(\text{Dam}|\text{Haz})$ is de voorwaardelijke kans op schade bij een bepaald natuurgevaar

Hoewel de kans op schade doorgaans niet moeilijk in te schatten is, zijn er bijna geen gegevens over de voorwaardelijke kans op topgebeurtenissen bij bepaalde schade. Om deze reden is de meest gebruikelijke veronderstelling dat de waarschijnlijkheid voor een topgebeurtenis gelijk is aan de waarschijnlijkheid bij schade. In paragraaf 4.7.1.1 wordt nader ingegaan op de beoordeling van de schadekans.

Voor wat betreft de tweede categorie kan de kans op een kritieke gebeurtenis worden beoordeeld met behulp van bekende methoden zoals HAZOP, LOPA, Foutenboomanalyses, FMEA, FMECA, enz. De uitdaging is om de relaties zo op te bouwen dat de eerdergenoemde Natech-kenmerken (zie hoofdstuk 2) juist worden meegenomen. Het is van cruciaal belang om rekening te houden met het falen van veiligheidsbarrières en hulpsystemen, gelijktijdig falen van eenheden en systemen, en het inadequate optreden van voorkomende reactiestrategieën en -activiteiten.

4.7.1.1 Schade waarschijnlijkheid

De kans op schade wordt berekend aan de hand van parameters van het natuurgevaar (waterhoogte, windsnelheid). Deze parameters moeten worden gekoppeld aan een of meer schademodi. De eenvoudigste methode voor de schadeberekening is met een “ja/nee”-logica. De faalkans wordt beoordeeld als de kans op het optreden van een natuurgevaar die de ontwerpspecificatie van de apparatuur overschrijdt.

Een typische methode voor het beoordelen van de waarschijnlijkheid voor schade bij een specifiek natuurgevaar is het gebruik van schadetoestanden en kwetsbaarheidscurven (Eidinger et al., 2001; FEMA, 2015). Er zijn verschillende curven beschikbaar voor het beoordelen van de kans op schade aan industriële apparatuur, instrumentatie en nutsvoorzieningen. Kwetsbaarheidscurven bieden doorgaans waarschijnlijkheidswaarden voor elke schadetoestand. Sommige of alle schadetoestanden kunnen leiden tot een of meer kritieke gebeurtenis(sen).

De complexiteit van de analyse kan worden verminderd door slechts één referentie-LOC-scenario te overwegen (zie scenario 1 in figuur 11). In dit geval worden alle schadetoestanden die gelijk of groter zijn dan een bepaald schadeniveau (bijv. matige schade of groter) beschouwd als initiërend voor het geselecteerde LOC-scenario en worden hun waarschijnlijkheden toegevoegd. Deze methode is toegepast in eerdere onderzoeken (bijv. Antonioni et al. 2007; 2009; Salzano et al., 2003).

4.7.1.2 Waarschijnlijkheid wegens directe schade

Zoals vermeld in paragraaf 4.6.1 is het moeilijk om één type kritieke gebeurtenis toe te wijzen aan één specifiek schadetype, laat staan om er een kans aan toe te kennen. Analyse van ongevallen uit het verleden tonen aan dat niet alle schade van natuurlijke gevaren ook daadwerkelijk heeft geleid tot LOC. Tot op heden heeft geen enkele studie een statistische relatie tussen schade en LOC onderzocht; alle beschikbare gegevens zijn kwalitatief. Bepaalde soorten schade leiden onvermijdelijk tot LOC. Bijvoorbeeld, leidingbreuk (of losraken), totale ineenstorting van vaten en het losraken van de schaal-tot-bodem verbinding van opslagvaten resulteren 100% van de tijd tot lozing ($P(\text{Top}|\text{Dam}) = 1$). Aan de andere kant zijn er verschillende soorten schade die op zichzelf nooit leiden tot lozing ($P(\text{Top}|\text{Dam}) = 0$).

Het wordt nog complexer wanneer schadetoestanden en kwetsbaarheidscurven worden gebruikt om schade aan apparatuur - en de waarschijnlijkheid ervan - te beoordelen. Voor sommige soorten apparatuur kan zelfs een schadetoestand die als "klein" wordt beschouwd, resulteren in een lozing. Ernstiger schadeniveaus geven een grotere kans op lozing. Met deze onzekerheden wordt aanbevolen om bij twijfel een waarde van 100% te gebruiken voor de waarschijnlijkheid van een kritieke gebeurtenis.

4.7.1.3 Waarschijnlijkheid wegens indirecte schade

Ongevallen kunnen indirect worden veroorzaakt door procesverstoringen als gevolg van de impact van een natuurramp. Procesverstoringen worden ook routinematig beoordeeld als oorzaak van (niet-Natech) technologische ongevallen. Dienovereenkomstig kunnen dezelfde methoden worden gebruikt om kritieke gebeurtenissen te identificeren (bijv. checklists, wat-als-analyse, HAZOP, FMEA/FMECA).

Het is een uitdaging om de kans op schade aan systemen (en hun componenten) in te schatten, omdat gestructureerde en systematische onderzoeken naar de kwetsbaarheid van apparatuur alleen bestaan voor enkele van de meest voorkomende soorten apparatuur. In dit opzicht moeten de betrouwbaarheidswaarden van componenten die door een natuurgevaar worden geraakt, zorgvuldig worden gekozen. Veel beveiligings- en controlesystemen zijn onbetrouwbaar of niet beschikbaar tijdens natuurlijke gevaren. Systemen die falen moeten als uitgevallen worden beschouwd. Wanneer de overlevingskansen van onderdelen onzeker is, zou het de meest conservatieve benadering zijn om het systeem (of onderdeel) als uitgevallen te beschouwen.

Indien beschikbaar, moeten kwetsbaarheidscurven worden gebruikt om de kans op schade aan het geanalyseerde onderdeel of systeem in te schatten. Deze kans zou gebruikt kunnen worden om de systeembetrouwbaarheid (of beschikbaarheid) te beoordelen. Een eenvoudige manier om betrouwbaarheid te beoordelen aan de hand van schadewaarschijnlijkheid, is om de lagere betrouwbaarheidswaarde uit de referentie-bandbreedte van het betreffende onderdeel te gebruiken (opgehaald uit betrouwbaarheidsdatabases, bijv. European Safety, Reliability & Data Association (ESReDA), Offshore en Onshore Reliability Data (OREDA) en als aanvulling op de geschatte schadekans.

Box 6. Voorbeeld: Eenvoudige betrouwbaarheidsberekening

Aan een fakkel is een hypothetisch blowdown systeem bevestigd met een betrouwbaarheid van 99%. Twee potentiële natuurlijke gevaren gelden voor de site: aardbevingen en harde wind. Volgens analyse voor het aardbevingsscenario heeft de fakkel een schadekans van 10^{-3} . Dit betekent dat het systeem minder snel zou moeten uitvallen door de aardbeving dan vanuit zichzelf. De betrouwbaarheid van het systeem, voor het aardbevingsscenario, blijft immers 99%. Volgens analyse voor het sterke-wind scenario heeft de fakkel een schadekans van 10^{-1} , wat betekent dat het systeem eerder uitvalt door harde wind dan door andere generieke oorzaken. Voor het sterke-wind scenario moet de betrouwbaarheid van het systeem worden beschouwd als 90% in plaats van 99%.

4.7.2 Natech-specifieke beslisbomen

Beslisbomen kunnen worden gebruikt bij het beoordelen van waarschijnlijkheidsscenario's voor Natech-gevolgen. Deze logica-grafieken ("logic graphs") kunnen voortvloeien uit elke kritieke Natech-gebeurtenis. Ze worden meestal gebruikt wanneer meerdere scenario's het resultaat kunnen zijn van een enkele gebeurtenis (de kritieke gebeurtenis). Een gebeurtenis die de afloop van het Natech-ongeval zou kunnen beïnvloeden, is bijvoorbeeld het in werking treden van een veiligheidsbarrière. Het succesvolle optreden van een barrière leidt tot een scenario dat evenredig gemitigeerd is, terwijl niet-succesvolle prestaties resulteren in een niet-gemitigeerd scenario. Bij het ontwerpen van beslisbomen moet rekening worden gehouden met de specifieke omstandigheden van de Natech-scenario's, inclusief alle bijbehorende factoren.

De ontstekingskans voor ontvlambare stoffen kan worden beschouwd als gelijk aan 1 in het geval van blikseminslag, aangezien bliksem zelf een ontstekingsbron is. Evenzo moet voor Natech-scenario's die worden veroorzaakt door grote overstromingen, een secundaire barrière (bijvoorbeeld een dijk) - zelfs indien aanwezig - als afwezig beschouwd te worden omdat deze al beschadigd zou kunnen zijn.

Wanneer het succes van een tegenmaatregel wordt bepaald door activatie van een complex systeem, kan een foutboomanalyse worden gebruikt om de algehele betrouwbaarheid van het systeem te beoordelen. In dit geval moet er - bij het berekenen van de algehele betrouwbaarheid van het systeem - rekening worden gehouden met zowel het natuurgevaar-scenario als de kritieke gebeurtenis tijdens een Natech-gebeurtenis.

**Box 7. Voorbeelden: Impact van natuurlijke gevaren op beslisbomen
Systemen zijn niet beschikbaar**

In een hypothetisch scenario, het waternetwerk dat het brandbestrijdingssysteem voedt is door een aardbeving beschadigd. Een beschadigd opslagvat met ontvlambare brandstof kan door een nabijgelegen vuur worden ontstoken (topgebeurtenis). Normaal gesproken kan dit worden beperkt door het brandbestrijdingssysteem. Omdat het brandbestrijdingssysteem - dat nodig is voor het optreden bij een kritieke gebeurtenis - als verloren wordt beschouwd, kan het de gevolgen van een mogelijke tweede grotere brand niet verminderen.

De kans op "Failure-on-Demand" neemt toe vanwege gebrek aan redundantie

In een hypothetisch scenario, een natuurramp heeft het elektriciteitsnet van een chemische installatie beschadigd. Dat heeft geleid tot een processtoring en uiteindelijk tot lozing van een ontvlambare vloeistof. Het brandbestrijdingssysteem maakt gebruik van twee redundante pompen, één aangedreven door een elektromotor en één door een dieselmotor. De brand kan worden bestreden door het brandbestrijdingssysteem. Echter, aangezien het stroomnet valt uit, kan het brandbestrijdingssysteem alleen vertrouwen op de dieselpomp. Hierdoor heeft het brandbestrijdingssysteem een grotere kans op "Failure-on-Demand"

"Failure-on demand" wordt verhoogd vanwege een kans op schade.

In een hypothetisch scenario, een afsluitklep is kwetsbaar voor een aardbeving maar uitval is onzeker. Voor dat onderdeel is de schadekans berekend op 10%. Onder normale omstandigheden is dat 99,9%. Vanwege de zeer concrete kans op schade herberekent de analist de betrouwbaarheid van de klep op slechts 90% (zie paragraaf 4.7.1.3).

4.8 Natech risico evaluatie

Informatie uit de kans- en gevolg-berekeningen uit de vorige paragrafen moet worden gecombineerd om het totale risico weer te geven. Dit wordt risico-integratie genoemd. Als een kwantitatieve risicoanalyse is uitgevoerd, resulteert dit in zaken als PR en GR. Als de analyse kwalitatief is, wordt vaak een risicomatrix gehanteerd waar kans en effect in zijn weergegeven.

Natech-risicoanalyse helpt de operators om systeemzwakten op te sporen en prioriteiten te stellen voor risicovermindering. Tegelijkertijd kan de uitkomst van de risicoanalyse worden gebruikt in relatie tot risicodoelstellingen of -criteria of wettelijke vereisten. Als er niet aan deze risico gebaseerde criteria wordt voldaan, moeten mitigerende maatregelen worden genomen. In de Europese Unie zijn dergelijke risicocriteria niet uniform en kunnen ze op risico gebaseerd zijn (bijv. aanvaardbare niveaus van individueel risico) of op de gevolgen gebaseerd (bijv. toelaatbare niveaus van overdruk, warmtestraling of toxische concentratie). Voor Natech-risicobeoordeling kan dezelfde aanpak worden toegepast die doorgaans worden gebruikt voor scenario's voor chemische ongevallen en zijn er geen Natech-specifieke uitbreidingen nodig.

5 Maatregelen om Natech-risico te verminderen

Gevaarlijke bedrijfsterreinen met een relevant Natech-risico dienen zowel technische als operationele maatregelen te nemen om Natech-ongevallen - die zij in hun risicoanalyse hebben vastgesteld - te voorkomen en/of te beperken. Prioriteit moet worden gegeven aan het voorkomen en mitigeren van de Natech-ongevallen die hoog scoren in de evaluatie. In dit gedeelte worden de middelen en procedures besproken die operators nodig hebben om het Natech-risico op gevaarlijke locaties te beheren.

5.1 Mitigerende maatregelen tegen impact van natuurgevaar

Een van de belangrijkste strategieën om Natech-risico te beperken, is het beschermen van de locaties of hun kritieke installaties tegen de impact van alle relevante natuurlijke gevaren. Dit wordt bereikt door de ernst van het te verwachten natuurgevaar te verminderen door fysieke of procedurele, preventiemaatregelen te nemen.

5.1.1 Fysieke maatregelen

Voorbeelden van mogelijke strategieën om de gevolgen van natuurlijk gevaar te beperken, zijn:

- Aanleggen van dijken ter bescherming tegen overstromingen;
- Aanleggen van kanalen om water af te voeren;
- Bouwen van zeeweringen ter bescherming tegen toverstroming, stormvloed of tsunami;
- Versterken van oevers om erosie en overloop uit rivieren te voorkomen;
- Grondverdichting / versterking tegen grondverschuiving bij aardbevingen;
- Herschikken van de fabrieksinrichting zodat kritieke apparatuur wordt verplaatst naar gebieden waar deze minder worden blootgesteld aan natuurlijke gevaren;
- Bouwen van verhoogde droge gebieden waar veiligheidskritieke systemen kunnen worden geplaatst (bijv. controlekamers, pompkamers en noodstroomgeneratoren);
- Installeren van bliksemafleiders ter beveiliging van elektriciteitsnet en installaties;
- Selecteren van een terreinlocatie buiten natuurrampzones of waar het natuurgevaar het minst erg is (bijv. buiten uiterwaarden, op een afstand van bekende breuklijnen voor aardbevingen).

Sommige maatregelen kunnen worden ondernomen tijdens het operationele leven van een industrieterrein, terwijl andere beperkt zijn tot de ontwerpfase. Over het algemeen is het veiliger en goedkoper om natuurlijke gevaren te vermijden dan om de impact te beperken.

5.1.2 Procedurele maatregelen

Exploitanten dienen specifieke procedures vast te stellen voor vroegtijdig waarschuwen van relevante autoriteiten en de taken van de noodorganisatie.

Procedures om met natuurgevaren om te gaan, moeten het volgende omvatten:

- **De rollen en verantwoordelijkheden van het personeel binnen het terrein;**
- **De uit te voeren acties die zijn gekoppeld aan elke rol;**
- **De hoeveelheid tijd die elke actie in beslag neemt;**
- **De exacte voorwaarden om een procedure op te starten.**

Het personeel moet zich bewust zijn van de natuurlijke gevaren van de locatie. Ze moeten ook worden getraind in de procedures in geval van natuurgevaren. Procedures moeten zowel gericht zijn op het vergroten van de overlevingskansen van het personeel.

5.1.2.1 Voor de gebeurtenis

Wanneer een natuurramp wordt voorspeld, kunnen maatregelen worden ondernomen om de locatie voor te bereiden op een mogelijke impact. Een orkaan kan enkele dagen voor zijn aanlanding worden voorspeld terwijl dat voor andere natuurrampen slechts uren kan zijn. Aardbevingen zijn over het algemeen niet van tevoren te voorzien. Desalniettemin, als het epicentrum voldoende ver verwijderd is van het industrieterrein, hebben operators mogelijk een zeer korte waarschuwingstijd (meestal seconden, soms meer dan een minuut) om te reageren voordat de locatie wordt getroffen door schokgolven. Procedures kunnen effectief zijn in het voorkomen of beperken van Natech-ongevallen als er tijdig actie wordt ondernomen.

Voor elke natuurramp moeten de omstandigheden waaronder noodprocedures worden geïnitieerd duidelijk worden geïdentificeerd (bijvoorbeeld op het moment dat een nabijgelegen rivier boven een kritieke drempel opzwelt, wanneer een orkaanwaarschuwing wordt gegeven). Opgemerkt moet worden dat verschillende acties onder verschillende omstandigheden kunnen worden geactiveerd. De volgende lijst toont enkele van de meest terugkerende en effectieve maatregelen die kunnen worden genomen ter voorbereiding op natuurlijke gevaren:

Noodstop: De operator evalueert de noodzaak om de installaties stil te leggen. Als de processen stilliggen tijdens de natuurramp, zullen Natech-ongelukken minder snel plaatsvinden.

Ride-out ploeg: Verwijderen van al het overbodige personeel beperkt het potentiële verlies van mensenlevens als gevolg van Natech-gebeurtenis. De operator moet een bemanning aanwijzen van een minimale aantal personeelsleden dat nodig is om de locatie te beveiligen en noodprocedures uit te voeren. Aangezien sommige natuurlijke gevaren dagen kunnen duren, moeten operators de werklust in ploegendiensten organiseren.

Drijvende objecten vastzetten: Ongevallen kunnen worden veroorzaakt door objecten die op hoogwater drijven en vervolgens kritieke installaties raken. Dit kan worden voorkomen door drijvende voorwerpen met bijv. riemen vast te binden of te verwijderen.

Apparatuur veiligstellen: Lichte apparatuur is kwetsbaar voor opwaartse drijfkraften als gevolg van overstromingen. Sommige apparatuur kan worden vastgezet met bouten die aan de grond zijn verankerd. Lege tanks kunnen met water worden gevuld om weerstand te vergroten.

Aanbrengen van tijdelijke bescherming: Sommige installaties kunnen worden beschermd tegen de impact van natuurlijke gevaren door tijdelijke beschermingsmaatregelen.

Communicatie met autoriteiten: Autoriteiten die gaan over de externe noodplannen moeten worden gewaarschuwd wanneer de exploitant vermoedt dat Natech-ongevallen kunnen plaatsvinden.

Training: Zorg ervoor dat werknemers zich bewust zijn van lokale natuurgevaren en dat ze goed zijn opgeleid voor hun taak.

Monitoring van natuurlijke gevaren: De exploitant volgt het ontstaan en de ontwikkeling van natuurlijke gevaren in zijn gebied. Die van atmosferische oorsprong, zoals stormen, sneeuw en extreme temperaturen, kunnen gemakkelijk worden gevolgd via weerdiensten en na een vroege waarschuwing van de overheid. Evenzo moeten autoriteiten die al toezicht houden op natuurlijke gevaren via gespecialiseerde instanties proactief zijn in het tijdig waarschuwen van industrieterreinen die de potentie hebben voor zware ongevallen, zodat exploitanten effectieve preventieve maatregelen kunnen nemen en zich daarmee kunnen voorbereiden.

5.1.2.2 Na de gebeurtenis

Zelfs als een natuurramp niet onmiddellijk tot een Natech-ongeval heeft geleid, moeten industriële installaties extra voorzichtig zijn in de nasleep van deze gebeurtenis en bij het hervatten van normale activiteiten. Natuurlijke gevaren kunnen leiden tot beschadigde apparatuur, verontreiniging en storingen. Bovendien is het personeel onder dergelijke omstandigheden meestal meer gestrest en daardoor afgeleid. Het opstarten van grote industriële processen is een gevaarlijke fase op zich, zeker na de impact van een natuurramp. Het is daarom uitermate belangrijk dat heropstartprocedures rekening houden met mogelijke eerdere schade door natuurlijke gevaren, zoals (USCSB, 2005; CCPS, 2019):

- Inspecteren van beschadigde apparatuur en instrumentatie om verborgen gebreken op te sporen voor het opstarten;
- Het beveiligen van alle units en het herstarten van alle uitgeschakelde veiligheidssystemen;
- Het voltooiën van de vereiste reparatie-, onderhouds- en opruimwerkzaamheden, inclusief het verwijderen van puin;
- Wacht met opstarten totdat essentieel personeel is hersteld. Sommigen hebben schade, verwondingen of verliezen geleden (bijvoorbeeld ze moeten zorgen voor hun woningen en familieleden). Sommigen moeten worden vervangen (dus training van nieuw personeel);
- Ervoor zorgen dat de site over alle benodigde voorraden beschikt, aangezien er na een ramp een schaarste aan bouwmaterialen kan zijn;
- Herbouwen is soms nodig voor locaties of installaties die grote schade hebben opgelopen.

5.2 Apparatuur-ontwerp en modificaties (retrofitting)

Risico kan worden verminderd door de weerstand van installaties tegen natuurgevaar te verhogen. Kritieke proces- en opslageenheden moeten zo zijn ontworpen dat ze bestand zijn tegen natuurrampen. Bestaande apparatuur die beschadigd kan worden, kan door middel van systeemverbeteringen worden aangepast (bijv. installatie van flexibele pijp-tank-pompverbindingen, verankering van de uitrusting, verhoogde steunpalen, waterdichte bescherming voor elektrische apparatuur). Afbeelding 13 en Afbeelding 14 tonen voorbeelden van geïmplementeerde aanpassingsstrategieën.

Wanneer het Natech-risico, na analyse, als onaanvaardbaar wordt beoordeeld, zouden de ontwerp-criteria moeten worden gewijzigd. Dit kan door de manier waarop ontwerpers "grenswaarden" kiezen voor bepaalde schadetoestanden te wijzigen (zie paragraaf 4.3) met inachtneming van de resultaten van een voorafgaande Natech-risicobeoordeling. Door hogere grenswaarden in te stellen, kan de unit natuurlijke gevaren van een hogere intensiteit dan voorheen overleven, en komen storingen minder vaak voor. Grenswaarden kunnen bijvoorbeeld worden bepaald met behulp van een risico-gebaseerde methode die rekening houdt met de resultaten van de Natech-risicobeoordeling, en die ervoor zorgt dat het risico op Natech-ongevallen onder een bepaald doelniveau blijft.

Figuur 13. Additionele riemen om de steunpilaren van een bolvormige opslagtank te versterken tegen aardbevingen (Foto: E. Krausmann)



Figuur 14. Installatie van een flexibele stalen buis, aangesloten op een groot olietank, die een beweging van zowel tank als leiding opvangt (Foto: A.M. Cruz)



5.3 Veiligheidsbarrières en hulpsystemen

Veiligheidsbarrières en hulpsystemen zijn essentieel zijn voor Natech-ongevallenpreventie of -beperking. Dergelijke systemen moeten zo zijn ontworpen dat ze bestand zijn tegen natuurlijke gevaren die Natech-ongevallen initiëren. Het is belangrijk dat kritieke systemen worden geïdentificeerd en beoordeeld. Prioriteit moet worden gegeven aan de systemen die betrokken zijn bij die ongevallenscenario's die de grootste bijdrage leveren aan het Natech-risico. De betrouwbaarheid van veiligheidsbarrières en hulpsystemen kan op verschillende manieren worden verbeterd, zoals:

Systeemontwerp: Systemen kunnen zo worden ontworpen dat ze bestand zijn tegen natuurlijke gevaren. De doelstelling moet zijn dat het systeem als geheel blijft functioneren bij een natuurramp. Een brandbestrijdingssysteem in een seismisch gebied moet bijvoorbeeld zo zijn ontworpen dat het ook tijdens een sterke aardbeving betrouwbaar blijft.

Systeemverbetering: Wanneer ze niet specifiek zijn ontworpen voor een natuurramp, kunnen systemen worden aangepast om ze beter te laten presteren tijdens een natuurramp.

Redundantie: Systemen kunnen betrouwbaarder worden gemaakt via redundantie. Om Natech-ongevallen effectief te voorkomen, mogen redundante systemen niet uitvallen onder gelijke omstandigheden als de hoofdsystemen. Dit is niet altijd eenvoudig voor locaties met meerdere soorten gevaren. In een systeem met twee redundante pompen kan de ene bijvoorbeeld op een verhoogde steun worden gemonteerd, weg van het overstromingsgevaar, terwijl de andere op grondniveau kan worden gebouwd met een stevige fundering die beter geschikt is in geval van aardbevingen.

Mitigeren van impact door natuurgevaar: Hulpsystemen en veiligheidsbarrières kunnen worden beschermd tegen de gevolgen van natuurlijke gevaren op een vergelijkbare manier als besproken voor de belangrijkste apparatuur (paragraaf 5.1).

5.4 Noodplanning en reactie op Natech-ongelukken

Noodplannen kunnen inspelen op Natech-ongevallen. Het matchen van die twee is belangrijk om effectief te kunnen reageren. Het vereist een gerichte noodplanning. In het bijzonder moeten exploitanten ervoor zorgen dat de geïmplementeerde maatregelen ter voorkoming en beperking van ongevallen effectief zijn bij natuurgevaren. Wanneer dit niet mogelijk is, moeten maatregelen die in een noodsituatie niet effectief zijn, als niet-beschikbaar worden beschouwd en mogen de noodplannen niet op dergelijke maatregelen steunen.

Aangezien vele natuurlijke gevaren het potentieel hebben om nutsvoorzieningen, zoals het elektriciteitsnet of het plaatselijke aquaduct, uit te schakelen, moeten lokale standalone nutsvoorzieningen beschikbaar blijven na impact (bijv. stroomgeneratoren, lokale waternetwerken en reservoirs). Om deze reden moeten gevaarlijke locaties in gevarenczones beschikken over back-up voorzieningen en voldoende noodhulpmiddelen om de operatie draaiende te houden totdat off-site services weer beschikbaar komen, of totdat alle installaties veilig zijn uitgeschakeld. Noodplannen moeten duidelijk aangeven welke nutsvoorzieningen gegarandeerd beschikbaar blijven. Als daar niet op kan worden gerekend, mag het noodplan er niet op vertrouwen. Dienovereenkomstig moeten noodplannen reactiestrategieën bevatten die kunnen worden toegepast wanneer zowel de hoofd- als de back-up voorzieningen niet beschikbaar zijn.

Fabriekspersoneel en hulpverleners moeten worden beschermd tegen de gevolgen van zowel natuurlijke gevaren als Natech-ongevallen, met behulp van specifieke persoonlijke beschermingsmiddelen (PBM). Bovendien zouden exploitanten moeten overwegen om specifieke

nooduitrusting aan te schaffen om beter te kunnen reageren op zware ongevallen (zowel Natech als niet Natech) tijdens uitzonderlijke omstandigheden (bijvoorbeeld stormen, aardbevingen, overstromingen). Het type uitrusting moet zorgvuldig worden gekozen om de doeltreffendheid en veiligheid van de hulpverleners te garanderen.

Wanneer een natuurramp met de kracht om communicatielijnen naar de hulpdiensten te doen uitvallen, wordt geïdentificeerd, moet de exploitant beschikken over alternatieve communicatiemiddelen. Zo zouden operators bijvoorbeeld draagbare radio's met voldoende opgeladen accu's kunnen gebruiken die direct via een gereserveerd radiokanaal openstaan om de autoriteiten onder alle omstandigheden te kunnen bereiken.

Fabriekspersoneel kan zelf slachtoffer worden van de gevolgen van natuurlijke gevaren. Bovendien kan de noodsituatie uren of dagen duren. Dat op zichzelf kan een extra belasting vormen voor personeel dat daardoor uitgeput raakt als er wordt gevraagd om doorlopende ploegendiensten achter elkaar te werken. Training moet daarom gericht zijn op het effectief voorbereiden van personeel om te reageren op natuurlijke gevaren, hun overlevingskansen te maximaliseren en hen in staat te stellen deel te nemen aan de responsactiviteiten. In noodplannen moet echter ook rekening worden gehouden met de niet-beschikbaarheid van personeel ter plaatse (bijvoorbeeld door het natuurgevaar, paniek en vluchtgedrag) en moet adequate vervanging worden voorzien voor de mankracht die verloren is gegaan (Krausmann en Salzano, 2017).

5.5 Leren van voorgekomen Natech-ongevallen

Ongevallenanalyse is een essentieel instrument waarin informatie over de oorzaken, dynamiek en gevolgen van ongevallen in het verleden, inclusief alle omstandigheden die het ontstaan ervan mogelijk hebben gemaakt, wordt gebruikt om dergelijke ongevallen in de toekomst te voorkomen of beperken. Een van de redenen voor terugkerende ongevallen, is dat er geen lessen zijn getrokken uit het verleden (Krausmann en Necci, 2021).

Ongevallenanalyses bieden inzicht in de meest voorkomende schade aan apparatuur en hun wijze van uitval na natuurrampen. Zo hebben diepgaande studies van een verzameling van beschikbare gegevens over Natech-ongevallen, aangetoond dat atmosferische opslagvaten (en vooral die met drijvende daken) bijzonder kwetsbaar zijn voor aardbevingen, overstromingen en blikseminslag. Individuele casuïstiek wijst ook op een hoge gevoeligheid voor schade door hevige regen en harde wind. Dergelijke studies suggereren ook dat tijdens Natech-ongevallen de ontstekingskans groter is dan bij ongevallen veroorzaakt door menselijke of technische fouten (Krausmann et al., 2017). Evenzo maakt ongevallenanalyse het mogelijk om factoren te identificeren die in de eerste plaats tot het ongeval hebben geleid of hebben geleid tot de verergering van de gevolgen (bijv. Necci et al., 2018b).

Lessen trekken vereist een systematische verzameling en analyse van data over ongevallen uit het verleden, met ook bijna-ongevallen daarbij inbegrepen. Exploitanten moeten gedetailleerde informatie verzamelen over eerdere Natech-incidenten in hun fabriek(en), deze opslaan in een interactieve database die kan worden geraadpleegd, en de datasets zorgvuldig analyseren om hen te helpen bijgewerkte scenario's voor te bereiden en passende risico-beperkende maatregelen te ontwerpen. Analyse van een enkel ongeval levert onmiddellijke lessen op voor één specifieke gebeurtenis; het kan echter een causale patroon van ongevallen over het hoofd zien dat niet gemakkelijk te herkennen is binnen een enkel ongeval. Analyse van een reeks ongevallen uit een bredere datapool levert breder toepasbare lessen op (Krausmann et al., 2017). Dit kan bijvoorbeeld helpen bij het identificeren van systemisch falen binnen de organisatie, of oorzaken die verband houden met bepaalde soorten stoffen of industriële activiteiten.

Algemene gegevens over ongevallen kunnen ook worden opgehaald uit industriële ongevalldatabases, maar de kwaliteit van de Natech-ongevallengegevens is niet uniform en het ontbreekt vaak aan de nodige details (bijvoorbeeld informatie over natuurlijke gevaren - overstromingsniveaus, windsnelheid, aardbevingsintensiteit op de locatie van de gevaarlijke installatie of locatie). Dit maakt het moeilijk om de dynamiek van een Natech-evenement te reconstrueren. Om Natech-gegevensverzameling en -analyse te ondersteunen, heeft het Joint Research Center een speciale Natech-incidentendatabase (eNATECH⁴) ontwikkeld. Deze biedt geavanceerde data over Natech-ongevallen om de kenmerken van Natech-gebeurtenissen beter vast te leggen (bijv. meerdere ongeval reeksen die parallel of opeenvolgend plaatsvinden).

⁴ eNATECH is gratis beschikbaar op <https://enatech.jrc.ec.europa.eu>

Referenties

- Antonioni, G., Spadoni, G., Cozzani, V. (2007) A methodology for the quantitative risk assessment of major accidents triggered by seismic events *Journal of Hazardous Materials*, 147, pp. 48-59.
- Antonioni, G., Bonvicini, S., Spadoni, G., Cozzani, V. (2009) Development of a frame work for the risk assessment of Na-Tech accidental events *Reliability Engineering & System Safety*, 94, pp. 1442-1450.
- BARPI (2013) Overview of the industrial accidents caused by the great Tohoku Earthquake and tsunami, Bureau for analysis of industrial risks and pollution, Ministry of Ecology, Sustainable Development and Energy, France. (https://www.aria.developpement-durable.gouv.fr/wp-content/files_mf/Overview_japan_mars_2013_GB.pdf)
- CCPS (2000) Guidelines for chemical process quantitative risk analysis, 2nd ed., Center for Chemical Process Safety, American Institute of Chemical Engineers, New York.
- CCPS (2019) CCPS Monograph: Assessment of and planning for natural hazards, Center for Chemical Process Safety, American Institute of Chemical Engineers, New York.
- Chang, J.I., Lin, C.-C. (2006) A study of storage tank accidents, *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 19, pp. 51–59.
- Cooper, T.W. (1997) A study of the performance of petroleum storage tanks during earthquakes, 1933-1995, NIST GCR 97-720, NIST, US National Institute of Standards and Technology.
- Cox, T. (1998) Risk integration and decision-making, In: Kirchsteiger, C., Christou, M.D., Papadakis, G.A. (eds.) *Risk assessment and management in the context of the Seveso II Directive*, Elsevier, Amsterdam.
- Cozzani, V., Gubinelli, G., Antonioni, G., Spadoni, G., Zanelli, S. (2005) The assessment of risk caused by domino effect in quantitative area risk analysis, *Journal of Hazardous Materials*, 127(1-3), pp. 14-30.
- DSB (2022) Veiledning om vurdering av naturfarer som kan gi risiko for kjemikalieulykker (Natech), Norwegian Directorate for Civil Protection, *in preparation* (in Norwegian).
- Eidinger, J. M., Avila, E. A., Ballantyne, D., Cheng, L., der Kiureghian, A., Maison, B. F., O'Rourke, T. D., Power, M. (2001) Seismic fragility formulation for water systems, American Lifelines Alliance (ALA), USA.
- FEMA (2015) Multi-hazard Loss Estimation Methodology: Earthquake Model, Hazus®–MH 2.1: Technical Manual, Federal Emergency Management Agency, US Department of Homeland Security, USA.
- Fernandes, R., Necci, A., Krausmann, E. (2022) Model(s) for the dispersion of hazardous materials in floodwaters for RAPID-N, EUR 30968 EN, European Union, Luxembourg, ISBN 978-92-76-46707-6, doi:10.2760/849778, JRC127375.
- Girgin, S. (2011) The natech events during the 17 August 1999 Kocaeli earthquake: aftermath and lessons learned, *Natural Hazards & Earth System Sciences*, 11(4), pp. 1129-1140.
<https://doi.org/10.5194/nhess-11-1129-2011>.
- Girgin, S., Necci, A. (2018) Introduction to RAPID-N for Natech Risk Analysis and Mapping: A Beginner's Guide, EUR 29511 EN, European Commission, ISBN 978-92-79-98277-4, doi:10.2760/78743, JRC114363.
- Godoy, L.A. (2007) Performance of Storage Tanks in Oil Facilities Damaged by Hurricanes Katrina and Rita. *Journal of Performance of Constructed Facilities*, Vol. 21, No. 6, pp. 441-449.
- INERIS (2014) Référentiel méthodologique concernant la maîtrise du risque inondation dans les installations classées, INERIS-DRA-14-141515-03596A, National Institute for Industrial Environment and Risks, France (in French).
- Krausmann, E., Necci, A. (2021) Thinking the unthinkable: A perspective on Natech risks and Black Swans, *Safety Science*, 139, 105255.
- Krausmann, E. (2017) Natech risk and its management, In: Krausmann, E., Cruz, A.M., Salzano, E. (Eds.) *Natech risk assessment and management*, Elsevier, Amsterdam, pp. 105-118.
- Krausmann, E., Cruz, A.M., Salzano, E. (2017) Natech risk assessment and management – Reducing the risk of natural hazard impact on hazardous installations, Elsevier, Amsterdam.
- Krausmann, E., Salzano, E. (2017). Lessons Learned From Natech events, In: Krausmann, E., Cruz, A.M., Salzano, E. (Eds.) *Natech risk assessment and management*, Elsevier, Amsterdam, pp. 33-52.

Krausmann, E., Baranzini, D. (2012) Natech risk reduction in the European Union, *Journal of Risk Research*, 15(8), pp. 1027-1047, DOI: 10.1080/13669877.2012.666761.

Landucci, G., Antonioni, G., Tugnoli, A., Cozzani, V. (2012) Release of hazardous materials in flood events: Damage model for atmospheric storage tanks, *Reliability Engineering & System Safety* 106, pp. 200-216.

Mannan, S. (2005) *Lees' Loss Prevention in the Process Industries*, Third edition, Elsevier, UK.

Misuri, A., Landucci, G., Cozzani, V. (2021) Assessment of safety barrier performance in the mitigation of domino scenarios caused by Natech events, *Reliability Engineering & System Safety*, 205, 107278.

Misuri, A., Cozzani, V. (2021) A paradigm shift in the assessment of Natech scenarios in chemical and process facilities. *Process Safety and Environmental Protection*, 152, pp. 338-351.

Necci, A., Girgin, S., Krausmann, E. (2018a) Understanding Natech Risk Due to Storms – Lessons learned and recommendations, EUR 29507 EN, European Union.

Necci, A., Krausmann, E., Girgin, S. (2018b) Emergency planning and response for Natech accidents, In: *Towards an all-hazards approach to emergency preparedness and response: Lessons learnt from non-nuclear events*, NEA, OECD Publishing, Paris.

OECD (2015) Addendum No. 2 to the OECD Guiding Principles for Chemical Accident Prevention, Preparedness and Response (2nd ed.) to address natural hazards triggering technological accidents (Natechs), ENV/JM/MONO(2015)1, Organisation for Economic Co-operation and Development, Paris.

Rendiers G., Cozzani, V. (2013) *Domino Effects in the Process Industries - Modelling, Prevention and Managing*, Elsevier, UK.

Salzano, E., Iervolino, I., Fabbrocino, G. (2003) Seismic risk of atmospheric storage tanks in the framework of quantitative risk analysis. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 16, pp. 403-409.

Sklet S. (2005) *Safety Barriers on Oil and Gas Platforms - Means to Prevent Hydrocarbon Releases*, Doctoral Thesis, NTNU.

Steinberg, L.J., Sengul, H., Cruz, A.M. (2008) Natech risk and management: an assessment of the state of the art, *Natural Hazards* 46 (2), pp. 143-152.

TNO (1992) *Methods for the determination of possible damage to people and objects resulting from releases of hazardous materials (Green Book)*, CPR 16E, Committee for the Prevention of Disasters, The Netherlands.

TRAS 310 (2022) *Technische Regel für Anlagensicherheit: Niederschläge und Hochwasser (Technical Rule for Process Safety: Precipitation and Floods) (under revision)*, Commission on Process Safety (KAS), Federal Ministry for the Environment, Nature Conservation, Nuclear Safety and Consumer Protection, Germany (in German). <https://www.kas-bmu.de/tras-endqueltige-version.html>

TRAS 320 (2022) *Technische Regel für Anlagensicherheit: Wind, Schnee- und Eislasten (Technical Rule for Process Safety: Wind, Snow- and Iceload)*, in print, Commission on Process Safety (KAS), Federal Ministry for the Environment, Nature Conservation, Building and Nuclear Safety, Germany (in German). <https://www.kas-bmu.de/tras-endqueltige-version.html>

Uijt de Haag, P.A.M., Ale, B.J.M. (2005) *Guidelines for quantitative risk assessment (Purple book)*, CPR 18E, VROM, The Netherlands.

UNI (2021) *Linee guida per la gestione di eventi NaTech nell'ambito degli stabilimenti con pericolo di incidente rilevante - Parte 1: Requisiti generali e sisma*, UNI/TS 11816-1:2021, Ente Italiano di Normazione (in Italian).

USCSB (2005) *After Katrina: Precautions Needed During Oil and Chemical Facility Startup*, Safety Bulletin No. 2005-01-S, U.S. Chemical Safety and Hazard Investigation Board.
<https://www.csb.gov/after-katrina-special-precautions-needed-during-oil-and-chemical-facility-startup/>

van den Bosch, C.J.H., Weterings, R.A.P.M. (eds.) (2005) *Methods for the calculation of physical effects – Due to releases of hazardous materials (liquids and gases) (Yellow book)*, CPR 14E, 2nd ed., VROM, The Netherlands.

Lijst van afkortingen en definities

Apparatuur	Machines, componenten en systemen die nodig zijn voor een industrieel proces. Voorbeelden van procesapparatuur die in de procesindustrie wordt gebruikt, zijn pompen, kleppen, vaten, filters, koelers, warmtewisselaars, kolommen en leidingen.
Betrouwbaarheid	Het vermogen van een item om onder bepaalde omstandigheden gedurende een bepaalde periode een vereiste functie uit te voeren.
Domino-effect	Het proces van verspreiding van een industrieel ongeval van de ene locatie (of installatie) naar de andere, wat resulteert in een escalatie van de gevolgen van het ongeval.
Exploitant	Iedere natuurlijke of rechtspersoon die een inrichting of installatie exploiteert of controleert of, indien de nationale wetgeving daarin voorziet, aan wie de beslissende economische of beslissingsbevoegdheid over het technisch functioneren van de vestiging of installatie is gedelegeerd.
FMEA	Failure Mode and Effects Analysis. Het proces waarbij zoveel mogelijk componenten, assemblages en subsystemen worden beoordeeld om potentiële faalwijzen in een systeem en hun oorzaken en gevolgen te identificeren. FMEA is vaak de eerste stap van een systeembetrouwbaarheidsonderzoek.
FMECA	Failure Mode, Effects, and Criticality Analysis. Een analysemethode die kwantitatieve faalanalyse omvat. FMECA is een uitbreiding van FMEA die een criticiteitsanalyse omvat om de faalkans in kaart te brengen ten opzichte van de ernst van de gevolgen ervan.
Foutenboomanalyse	Een top-down faalanalysemethode waarbij een ongewenste toestand van een systeem wordt geanalyseerd met behulp van een grafische weergave van de combinatie van fouten en Booleaanse logica. Deze analysemethode heeft tot doel te begrijpen hoe systemen kunnen falen door de grondoorzaken van het falen te reverse-engineeren.
Gevaar	Omstandigheid of gebeurtenis die zou kunnen leiden tot of bijdragen aan een ongeplande of ongewenste gebeurtenis. De intrinsieke eigenschap van een gevaarlijke materiële of fysieke situatie, met een potentieel voor het veroorzaken van schade aan de menselijke gezondheid of het milieu.
Gevarenkaart	Een kaart waarop gebieden worden gemarkeerd die worden getroffen door of kwetsbaar zijn voor een bepaald gevaar. Het wordt doorgaans gemaakt voor natuurlijke gevaren, zoals aardbevingen, vulkanen, aardverschuivingen, overstromingen en tsunami's.
Gevaarlijke stof	Gevaarlijke stof dat een bedreiging vormt voor de menselijke gezondheid en het milieu. Gevaarlijke stoffen zijn giftig, bijtend, ontvlambaar, explosief of chemisch reactief. Deze term komt overeen met de <i>gevaarlijke stof</i> die wordt gebruikt in het kader van de Seveso-richtlijn.
Gebeurtenissenboom analyse	Een modelleringstechniek die mogelijke uitkomsten identificeert, en indien nodig hun waarschijnlijkheden, na een initiërende gebeurtenis. Het wordt gebruikt om de reeks gebeurtenissen te identificeren die tot specifieke

gevolgen leiden, ervan uitgaande dat elke gebeurtenis in de reeks een succes of een mislukking is.

HAZOP	Hazard and Operability study. Een kwalitatieve techniek voor procesgevaaranalyse die bestaat uit een gestructureerd en systematisch onderzoek van een industrieel proces met als doel gevaren te identificeren en problemen te evalueren die risico's kunnen vertegenwoordigen. Het complexe proces is verdeeld in een aantal eenvoudiger secties, 'knooppunten', die vervolgens individueel worden beoordeeld met behulp van gestandaardiseerde richtlijnen.
Inrichting	De gehele locatie van een exploitant met milieubelastende activiteiten waar gevaarlijke stoffen aanwezig zijn in een of meer installaties, inclusief gemeenschappelijke of gerelateerde infrastructuren of activiteiten. Het betreft lage- en hogedrempelinrichtingen in de context van de Seveso-richtlijn. Voor het doel van deze leidraad gebruiken we de term (<i>industrieel</i>) <i>terrein</i> of (<i>industrieel</i>) <i>bedrijf</i> .
Installatie	Een technische eenheid binnen een inrichting, zowel op als onder het maaiveld, waarin gevaarlijke stoffen worden geproduceerd, gebruikt, gehanteerd of opgeslagen; hieronder wordt begrepen alle apparatuur, constructies, leidingwerk, machines, gereedschappen, particuliere spoorwegemplacements, dokken, loskades die de installatie bedienen, steigers, pakhuizen of soortgelijke constructies, al dan niet drijvend, die nodig zijn voor de exploitatie van die installatie. Deze term wordt gebruikt in de context van de Seveso-richtlijn.
LOC	Loss of Containment. Het vrijkomen van gevaarlijke stof.
LUP	' <i>Land Use Planning</i> ' is landgebruiksplanning in matig Nederlands.
Kritische gebeurtenis	Zie <i>Topgebeurtenis</i>
Natech	' <i>Natural hazard triggered technological accident</i> ', in het Nederlands te vertalen als een technologisch ongeval veroorzaakt door natuurlijk gevaar.
Natuurlijk gevaar	Een natuurlijk proces of fenomeen, met inbegrip van alle geologische, hydrologische, klimatologische en meteorologische verschijnselen die, vanwege hun locatie, ernst en frequentie, een negatieve impact kunnen hebben op de menselijke gezondheid, de natuurlijke en gebouwde omgeving en de economie.
PBZO	Beleid ter preventie van zware ongevallen. Beschrijft de algemene aanpak en maatregelen van de exploitant, inclusief passende veiligheidsbeheersystemen, voor het beheersen van de gevaren van zware ongevallen. Deze term wordt gebruikt in de context van de Seveso-richtlijn.
Proceseenheid	Een eenheid die bewerkingen uitvoert die een fysieke verandering of chemische transformatie met zich meebrengen, zoals scheiding, kristallisatie, verdamping, filtratie, reactie, enz. Dergelijke bewerkingen zijn verbonden om het algehele proces te creëren.
Risico	De waarschijnlijkheid dat een bepaald effect zich binnen een bepaalde periode of onder bepaalde omstandigheden voordoet.
Schadeafstand	De maximale afstand waarop een ongeval een specifiek nadelig effect kan veroorzaken (bijvoorbeeld letsel).
Scenario	Een projectie van een mogelijke toekomstige gebeurtenis. Scenario's worden gebruikt om alternatieve mogelijke uitkomsten te overwegen.

Site	<i>Zie Inrichting</i>
Topgebeurtenis	Een ongewenste gebeurtenis, zoals een gevaarlijke situatie of een defect aan apparatuur. Typische topgebeurtenissen zijn het vrijkomen van brandbare of giftige stoffen, branden, explosies en andere storingen.
Veiligheidsrapport	Een veiligheidsrapport moet details bevatten over de inrichting, de aanwezige gevaarlijke stoffen, de installatie- of opslagfaciliteiten, mogelijke scenario's en risicoanalyses van zware ongevallen, preventie- en interventie maatregelen en de beschikbare managementsystemen, om het risico op grote ongevallen te voorkomen en te verminderen en om het mogelijk te maken dat de nodige maatregelen worden genomen om de gevolgen daarvan te beperken. De term <i>veiligheidsrapport</i> is gelijk aan een veiligheidsgeval buiten de EU of in andere industriële sectoren dan die vallen onder de Seveso-richtlijn.
Wat-als- analyse	Bekender als ' <i>What-if- analysis</i> '. Dit is een gestructureerde brainstormtechniek voor het bepalen wat er in een bepaald scenario mis kan gaan. Een team genereert wat-als-vragen met betrekking tot elke stap van het proces en elk onderdeel om mogelijke bronnen van fouten en mislukkingen te bepalen.
Zwaar ongeval	Een ongewoon voorval zoals een grote emissie, brand of explosie als gevolg van ongecontroleerde ontwikkelingen tijdens de exploitatie van een inrichting, en die leidt tot ernstig gevaar voor de menselijke gezondheid of het milieu, onmiddellijk of uitgesteld, binnen of buiten de inrichting, en waarbij sprake is van een of meer gevaarlijke stoffen.

Lijst van boxen

Box 1. Onzekerheden en datagebrek	9
Box 2. Klimaatverandering	11
Box 3. Schademodi en operationele omstandigheden	177
Box 4. Structuren ontworpen tegen impact van natuurgevaar	17
Box 5. Veel voorkomende oorzaken van falen	19
Box 6. Voorbeeld: Eenvoudige betrouwbaarheidsberekening	29
Box 7. Voorbeelden: Impact van natuurlijke gevaren op beslisbomen	29

Lijst van afbeeldingen

Figuur 1. Het proces risicobeheersing	6
Figuur 2. Een waterdiepte kaart van een terugkerende overstroming elk 100 jaar	100
Figuur 3. Voorbeeld van een gevarencurve voor aardbevingen op basis van de kans op overschrijding van een bepaalde seismische categorie	11
Figuur 4. Knikschade vanwege aardbeving bij silo's	13
Figuur 5. Leidingbreuk bij een flensverbinding tijdens een aardbeving	13
Figuur 6. Van fundament losgekomen atmosferische opslagtank na een orkaan.....	14
Figuur 7. Steunpoot falen van een sferisch opslagtank als gevolg van een aardbeving.....	14
Figuur 8. Schade aan het vaste dak van een atmosferische opslagvat veroorzaakt door sterk wind..	15
Figuur 9. Verschoven atmosferische opslagtank en ander stormvloedschade als gevolg van een orkaan, inclusief verschoven leiding	15
Figuur 10. Omgevallen en beschadigde atmosferische opslagvat vanwege een stormvloed na een orkaan.....	16
Figuur 11. Voorbeelden van de 3 manieren voor het koppelen van LOC-scenario's aan schadebeelden.	233
Figuur 12. Brand op wateroppervlakte die via de stormvloed verder wordt verspreid	235
Figuur 13. Additionele riemen om de steunpilaren van een bolvormige opslagtank te versterken tegen aardbevingen.....	34
Figuur 14. Installatie van een flexibele stalen buis, aangesloten op een groot olietank, die een beweging van zowel tank als leiding opvangt	34

Lijst van tabellen

Table 1. Voorbeeldcriteria voor het identificeren en rangschikken van missiekritieke eenheden.....	122
Table 2. Schademodi en hun relatie tot natuurramp triggers	16
Table 3. Veel voorkomende schademodi in relatie tot processen opslag-eenheden en-onderdelen ..	17
Table 4. Generieke LOCs voor diverse soorten systemen.....	21
Table 5. Voorbeelden van het effect van natuurlijke gevaren op omgevingsvariabelen. Het table wordt gebruikt bij impactmodellen.....	25

IN CONTACT KOMEN MET DE EU

Persoonlijk

In de hele Europese Unie zijn er honderden Europe Direct-informatiecentra. Het adres van het dichtstbijzijnde centrum vindt u op: https://europa.eu/european-union/contact_en

Aan de telefoon of per e-mail

Europe Direct is een dienst die uw vragen over de Europese Unie beantwoordt. U kunt contact opnemen met deze dienst:

- via het gratis nummer: 00 800 6 7 8 9 10 11 (bepaalde operatoren kunnen kosten in rekening brengen voor deze oproepen),
- op volgend standaardnummer: +32 22999696, of
- per e-mail via: https://europa.eu/european-union/contact_en

INFORMATIE OVER DE EU VINDEN

Online

Informatie over de Europese Unie in alle officiële talen van de EU is beschikbaar op de Europa-website: https://europa.eu/european-union/index_en

EU-publicaties

U kunt gratis en geprijsde EU-publicaties downloaden of bestellen bij de EU Bookshop op: <https://publications.europa.eu/en/publications>. Meerdere exemplaren van gratis publicaties kunnen worden verkregen door contact op te nemen met Europe Direct of uw plaatselijk informatiecentrum (zie https://europa.eu/european-union/contact_en).

The European Commission's science and knowledge service

Joint Research Centre

JRC Mission

As the science and knowledge service of the European Commission, the Joint Research Centre's mission is to support EU policies with independent evidence throughout the whole policy cycle.



EU Science Hub

ec.europa.eu/jrc



@EU_ScienceHub



EU Science Hub - Joint Research Centre



EU Science, Research and Innovation



EU Science Hub



Bureau voor publicaties
van de Europese Unie

doi:10.2760/15297
ISBN 978-92-76-58595-4

CHEMICAL ACCIDENT PREVENTION & PREPAREDNESS

Natech Accidents

The aim of the bulletin is to provide insights on lessons learned from accident reported in the European Major Accident Reporting System (eMARS) and other accident sources for both industry operators and government regulators. In future the CAPP Lessons Learned Bulletin will be produced on a semi-annual basis. Each issue of the Bulletin focuses on a particular theme.

Summary

In preparing this bulletin, 20 major accidents from the Joint Research Centre's (JRC) eMARS and eNatech database and other open sources were studied. Events were chosen to highlight that a wide variety of natural hazards can trigger major accidents. The natural hazards selected are lightning, heavy rainfall, extreme temperature, earthquake, tsunamis and floods. A study on the status of Natech risk reduction in EU Member States was performed by means of a questionnaire survey.

<http://enatech.jrc.ec.europa.eu>

Please note:

The accident descriptions and lessons learned are reconstructed from accident reports submitted to the EU's Major Accident Reporting System

<https://emars.jrc.ec.europa.eu>

as well as other open sources. EMARS consists of over 900 reports of chemical accidents contributed by EU Member States and OECD Countries.

Lightning

Lightning is one of the most frequent causes of tank fires in terms of Natech events. Lightning strikes can damage equipment directly, e.g. by causing the rupture of tank shells, or of pipes and connections. Furthermore, they can also impact safety and electrical control systems, which in turn can lead to process upsets and hazardous-materials releases. The most frequent Natech scenario involves, however, the ignition of flammable vapours present on the tank roof.

Accident 1

Manufacture of food products and beverages

Sequence of events

On 24 July 2000, thunderstorms were observed near a sugar refinery, causing the company to stop loading trucks. Around 16:35, an operator shut the bottom valve of the tank used for the loading operations. About ten minutes later, lightning struck the roof of one of the tanks for alcohol storage and caused an explosion. The roof of the tank was projected upwards and fell back into the tank. A fire then occurred. The fire did not extend beyond the tank and the shell remained intact, but the shock created cracks in the tank's bottom valve. No one was injured in the accident but the damage caused as a result was estimated to be more than 2.3 million Euros.

Causes

The accident was caused by lightning that struck the tank.

Important findings

- The tank was not fitted with flame arrestors on the vents even though a lightning risk evaluation study 18

months prior to the accident had recommended presence of flame arrestors on the vents and breathing valves on the tanks.

- Direct protection devices against lightning (lightning conductors) were installed, but perhaps the wiring system designed for carrying the currents originating from atmospheric discharges (equipotential bonding between different tanks and the earthing points), located in certain positions to protect specific areas against lightning hazards, were inadequate.
- Another lightning struck a few moments before near an electricity tower. The energy conducted to earth certainly caused changes in the soil characteristics near the storage site.

Lessons learned

- Lightning is a common hazard at above ground storage tanks and should be addressed in the safety report.
- Appropriate safety equipment, such as flame arrestors should be in place, especially after it has already been recommended by a specific risk evaluation study.

[eMARS Accident # 394 and ARIA No. 18325]

MAHBULLETIN

SECURITY TECHNOLOGY ASSESSMENT UNIT
Institute for the Protection and Security of the Citizen
European Commission
21027 Ispra (VA) Italy
<https://ec.europa.eu/jrc/>



Number 6
December 2014

JRC93386



Nature of Natech accidents

Natural hazards, such as earthquakes, floods, lightning, landslides, etc., that impact chemical installations can result in loss of containment and cause hazardous-materials releases, fires and explosions. These hazards can cause multiple and simultaneous LOC events over extended areas, destroy safety barriers and lifelines, and create a difficult response environment. These so-called "Natech" accidents often have significant social, environmental and economic consequences. Awareness of this type of risk is growing and the need for including it in chemical-accident prevention and mitigation is widely recognized. However, important gaps in the reduction of Natech risk persist.

Statistics

A study on the status of Natech risk reduction in EU Member States was performed by means of a questionnaire survey. Figure 1 shows the types of natural hazards that triggered Natech accidents over the period 1990 – 2009 which was reported by 5 countries in the frame of the survey. It shows that lightning, floods and low temperature were the most common accident triggers. It is interesting to note that most of the natural hazards that triggered Natech accidents were considered in the respective countries' rules, codes and guidelines for chemical-accident prevention.

The selected cases also include a number of lessons learned, not all of which are described. The bulletin highlights those that it considers of most interest for this topic, with the limitation that full details of the accident are often not available and the lessons learned are based on what can be deduced from the description provided. The authors thank the country representatives who provided advice to improve the descriptions of the selected cases.

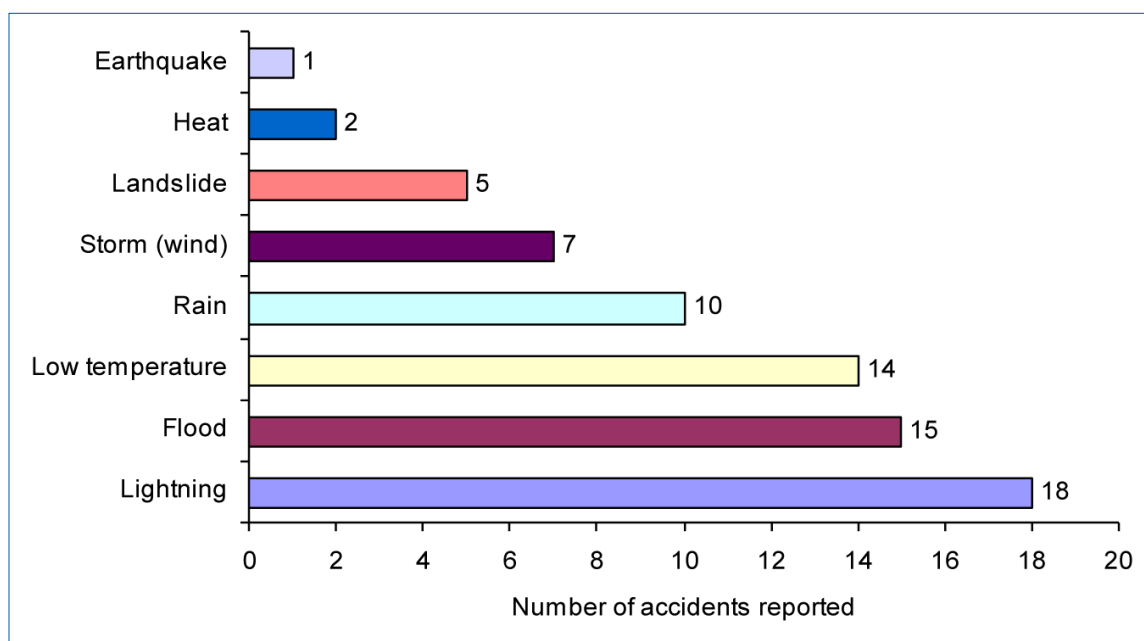


Figure 1: Natural-event triggers in the Natech accidents reported by the responding countries in the frame of this study.

Natech Accidents

Accident 2 Thunderstorm at a refinery

As a result of a thunderstorm there was a significant interruption to a refinery's electricity supply that resulted in the loss of reflux cooling to a distillation column within the Selective Hydrogenation Unit. The initial trip of the reflux pump was noted and the pump restarted, but a second trip went unnoticed. The steam supply to the column reboiler was on manual control and therefore did not trip leading to a rise in column pressure. The pressure safety valves, designed to protect equipment against overpressure, did not function properly, leading to overpressure in the column and overhead system. This resulted in a large volume of gas being released to atmosphere after gaskets failed at several locations. (Source: SafeWork Australia)

- The impact of lightning on the power supply can be an indirect cause of loss of containment due to process upsets. This should be considered in the site's risk assessment and critical safety elements that might be affected should be evaluated accordingly.

Similar accidents: eMARS Accident # 483 eNatech accident #47 and #18; ARIA No. 40953;

<http://www.hse.gov.uk/comah/sragtech/casetexaco94.htm>

Heavy rainfall and floods

Heavy rain has on several occasions caused sinking of tank roofs, thereby exposing the tank contents to the atmosphere. In addition, during periods of sustained rainfall, sites can flood in case of insufficient water drainage or due to increased groundwater levels. Heavy rain can also exacerbate the consequences of spills by providing a medium for the dispersion of the released substances. In some cases, the release may exceed the capacity of the secondary containment (especially if combined with localized flooding). For this reason, it may be necessary to consider tertiary measures, e.g., a drain to a contained and enclosed storage location, that prohibit the release (or contaminated flow) can be from reaching nearby water bodies or draining into public water and sewage systems.

The displacement of equipment is of particular concern in the case of massive flooding due to flood-induced buoyancy and water drag that can strain or break connections between pipework and equipment or cause pipelines to rupture. A number of potential consequences are associated in particular with floodwaters, including:

- The impact can cause minor leaks, or in some cases, more severe ruptures and continuous releases.
- Where the pressure of floodwaters is sufficient to cause a tank to collapse or implode, the complete inventory of the concerned unit will be instantaneously released.
- The floating objects may also strike equipment causing leaks or ruptures.

Accident 3 Pharmaceutical plant

Sequence of events

Following a spell of torrential rains (about 300 mm from 31 October to 2 November with a 3-hour extremely heavy rain-fall), insufficient draining of the water from the catchment area housing the industrial zone caused flooding. The water level in the entire site reached 20 cm to 1 metre. Since manufacturing was underway, the staff sounded the alert even before observing a rise in the water level in the plant. The operator triggered the internal emergency plan on Sunday 2 November around 4.00 a.m. and set up a crisis management division comprising 6 units (intervention, communication, engineering, information, operation and logistics). The operator deployed significant resources to raise or evacuate the equipment and material, keep the most important (from a safety and financial standpoint) chemicals away from water, stop manufacturing processes along with a safety fold back of equipment (safety stand-by phases identified in the safety cases of chemical reactions except for a reactor being heated which had to be cooled before shut down) and plan out power cuts before the water could flood sensitive equipment. The chemical plant was completely flooded where the water level was between 0.2 and 1 meter. Damage within the plant was relatively limited thanks to the prompt action taken by the operator. The flooding, however, resulted in significant water damage on some equipment or in certain premises.



Figure 2: The affected site (Source: ARIA No .35426)

Causes

The torrential rains during the previous days resulted in the flooding of the site. The zone was not located in an easily flooded zone but since the site was located in a natural depression, it was flooded even though the platform was raised from 0.8 to 1.5 metres at the time of construction of the site. The flood occurred due to insufficient draining of the water from the catchment area housing the industrial zone given the torrential down-pour over a short span.

Important findings

- The zone was not classified as flood-prone zone, even though less intense showers had been experienced five years before the incident. The water level then had reached 662.2 meters (site platform stood at 662.5 meters), whereas on the date of the event the water reached a level of 663 metres.

CHEMICAL ACCIDENT PREVENTION & PREPAREDNESS

(Continued from accident 3) Pharmaceutical plant

Lessons Learned

- Flooding can occur even in a zone that is not classified as flood-prone; therefore, early warning is crucial to put together the crisis management units and organise all rescue operations.
- There was significant damage to some equipment. Hence, it is important to prevent crucial instruments or laboratory equipment from coming into contact with water. In addition, chemicals that violently react with water should be stored at a height above the maximum water level for all flooding scenarios or be protected by dams.
- Operators should be prepared for a possible inundation of the plant in case of heavy rainfall. There should be a deliberate effort to maintain awareness of historic extremes of flooding in and around a site. Even areas that are not labelled as flood-prone can become inundated when rainfall is extremely heavy.

[eNatech accident #36]

Accident 4 Refinery flooded due to heavy rainfall

A dam overflowed following continuous torrential showers that lasted several days and flooded the facilities of a refinery located in the heart of a town's port area. The site's production was stopped due to the water level that rose to as high as one meter at a site in the facility. A violent fire ensued, as well as several explosions of tanks, electrical equipment (transformers) and pipes. Four hours later, two fire areas still persisted in the gas and crude oil sectors of the refinery. The fire was extinguished after 20 hours. Two people died and four were injured. Significant material damage resulting from the accident led to the closing of the refinery and suspension of all activities.

The sequence of fires was caused by the flood which in effect lifted waste oil, displacing it from the drainage system. The waste oil that was floating on the surface of the floodwater then came into contact with hot parts of the installation, causing several fire patches as well as explosions in pipelines and electric transformers.

- This incident illustrates that operators of dangerous establishments should consider implementing effective procedures to prevent the rapid distribution of flammable liquids by flood waters.
- In addition, a good maintenance practice is to ensure that sewers are clean so as not to block the drainage of the water.

[eNatech accident #41; ARIA No. 23637]

Similar accidents: eNatech accident #52 and #13

Extreme temperature

High temperatures

High temperatures provide ambient conditions that are conducive to ignition of substances stored outside. They can lead to pressure increases in storage facilities, including rail-cars, where pressure relief valves can actuate to prevent the equipment or vessel from bursting.

Accident 5 Propylene cylinders explosion

Sequence of events

On June 24, 2005, fire swept through thousands of flammable propylene gas cylinders at a gas repackaging plant. Dozens of exploding cylinders were launched into the surrounding community and struck nearby homes, buildings, and cars, causing extensive damage and several small fires. The area was experiencing a heat wave with bright sunlight and temperatures reaching 36°C on the day of the accident.

Causes

The accident occurred due to both the high outside temperature and the low set point of the pressure relief valves in the propylene cylinders. Also, it was determined that the pressure relief device for gas venting was set well below the recommended set point, a particular concern in high temperature conditions. Furthermore, when exposed to high temperatures and direct sunlight, propylene cylinders can spontaneously vent through their relief devices. It is suspected that this situation occurred to create a domino effect that spread the fire to all the cylinders. Spontaneous venting creates a release of propylene that, when ignited, can heat surrounding cylinders and cause them to vent in turn.

Important findings

- The investigation revealed that direct sunlight and radiant heat from asphalt paving heated returned propylene cylinders and these cylinders, containing less gas than full cylinders, heated at a faster rate than the full ones. As the cylinder wall temperatures rose, the internal pressures increased causing the relief device on a cylinder valve to open and vent propylene.
- The company divided the cylinder storage into "full" and "empty" or "returned" sections. The "returned" section, where the fire originated, is for cylinders returned for refilling, which may not always be empty when returned.
- Containers, like propylene cylinders have a "set point" which is the so-called target pressure for the contents inside the cylinder. It was found that in this case, pressure relief set points were too low for propylene and allowed gas to vent during hot weather, well below the pressure that could have damaged the cylinders. For various other reasons (possibly design-related), some valves already began releasing gas even before pressure reached the set point.

- Above all, three similar events occurred at a facility of the same parent company one month before and the company should already have addressed all such dangerous situations.

Lessons Learned

- High ambient temperatures, increase the risk of catastrophic fires at facilities handling propylene cylinders. Adopting best practices for storing and handling propylene cylinders can reduce this risk at gas distribution facilities.
- Revising current practices to provide a greater margin between the minimum relief opening pressure and the vapour pressure of propylene will reduce the risk of premature venting, even when best practices are not followed.
- Deluge systems or fixed fire nozzles should be installed as a mitigation measure to cool cylinders in case of a fire.
- Flammable gas cylinders should be protected from weather conditions, for example, they may be stored under a "half-roof" structure to avoid direct contact with sunlight.
- The pressure relief valves should be reviewed regularly and safety standards must be updated due to the past numerous accidents.

More information:

<http://www.csb.gov/praxair-flammable-gas-cylinder-fire>

Similar accidents reported by the CSB: Air Liquide, Phoenix, Arizona – June 1997; Airgas, Tulsa, Oklahoma – August 2003; and Praxair, Fresno, California – July 2005

Accident 6 Container explosion and fire

On 11 July 2011 an explosion of containers of explosives occurred at a naval base, killing 13 persons and injuring more than 60. The explosion occurred following a fire starting one and a half hour earlier. The subsequent explosion killed four Navy personnel and six civilian firefighters who had been tackling the small blaze that led to the explosion. Extensive damage was caused in a wide area surrounding the blast. The neighbouring power plant was severely damaged and electricity production capacity in the country was reduced to approximately 60% of peak summer power requirements. Apparently, 98 containers of explosives that had been stored for two and a half years in the sun on a naval base. Eventually, the heat wave led to a brush fire that reached the naval base where the containers were stored in an outdoor area. It is possible that the brush fire set light to containers of confiscated gunpowder that had been stored at the facility.

- High temperature could have been a contributing factor to this accident. The operator failed to recognise the potential hazards. In addition, explosives were left unattended in the naval base for two years without any regular control imposed. Moreover, it appeared that firefighters started their intervention without having precise knowledge about the hazards of the explosive materials stored in the containers.

[eNatech accident #30; ARIA No. 40877]

Extreme temperature

Low temperatures

Extremely low temperatures or long spells of intense cold can also elevate accident risk. Low temperature extremes may cause the freezing and bursting of pipes, in particular where heating devices do not generate enough heat to offset the low temperatures. As a consequence, product in the pipe may contract and cause pipes to burst when melting occurs due to the rise in pressure. In case of ice formation, the weight of the ice can also provoke structural damage to equipment and break pipes.

Accident 7 General chemicals manufacture

Sequence of events

A cyclohexane leak was discovered at a chemical site due to a pressure drop on the supply line of a production facility. The substance was being transferred at 20°C and at 2 to 3 bar through lagged overhead or underground piping. The leak occurred from the rupture of a DN 50 mm pipe due to the dilation of liquid cyclohexane in the overhead part of the pipe between two blockages of crystallized cyclohexane. It took 30 hours to identify the leak, discovered only by following the odour of the cyclohexane. As a consequence, 1200 tonnes of cyclohexane were released causing environmental and economic damage to the company.

Causes

The temperature varied greatly over the weekend of mid-December. Lacking a functional temperature control, the varying temperature in the pipe caused the cyclohexane to expand and contract. A malfunction of the pipe heating device ($T < 6.5^{\circ}\text{C}$) led to the formation of the blockages in the pipe canal. Ultimately, the DN 50 mm branch pipe ruptured at the expansion loop, creating a hole about the size of the palm of one's hand. The expansion loop was the part most exposed to the changes in temperature because of its shape and position up above the pipe-way, (the trench holding the pipework)(see Figure 3).

Important findings

- In early December 2002, freezing temperatures caused the cyclohexane to solidify in the manifold. The large variation in the temperature caused an expansion/contraction of the cyclohexane which contributed to the rupture of the pipe.
- The DN50 mm manifold was permanently open even in the event of non-use and only the adiponitrile (ADN) production unit admission valve was closed.
- The location of the released cyclohexane was found by its odour, indicating that no monitoring technology had been implemented on the pipe.

(Continued on the back of the page...)

CHEMICAL ACCIDENT PREVENTION & PREPAREDNESS

(Continued from accident 7) General chemicals manufacture

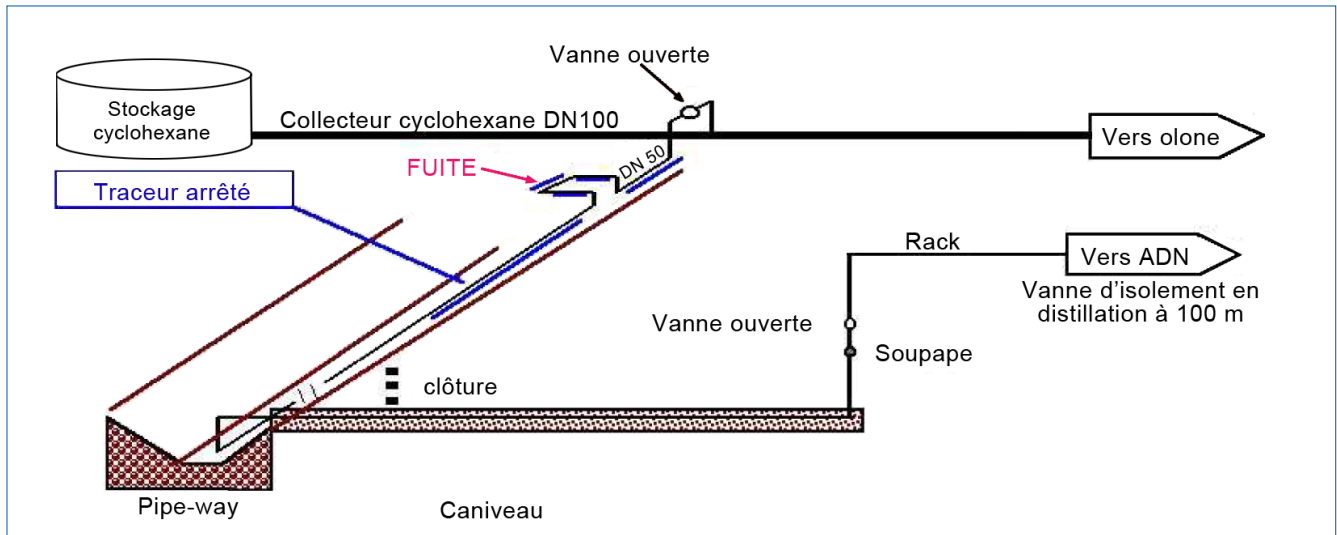


Figure 3: The affected process (Source: ARIA No. 23839)

Lessons Learned

- Operators must be aware of the physical characteristics of the dangerous substances, on site such as their tendency to solidify in extreme cold temperature. These factors should be included in the HAZOP or other hazard identification studies for the affected chemical process (See also Chemie-Pack accident at http://www.onderzoekraad.nl/uploads/items-docs/1805/Rapport_Chemie-Pack_EN_def.pdf). Also, where significant variations of outside temperature can be expected, operators should identify possible hazards that might be triggered.
- The cyclohexane spilled was revealed by its odour. Relying on odour alone for detection is not a recommended practice on sites where large volumes of dangerous substances are stored. Proper detection in case of release of dangerous substance is crucial to enable staff to act immediately in case of an emergency.

[eMARS Accident #414; eNatech accident #25 and ARIA No. 23839]

Accident 8 Crushing of a butadiene rail tanker

An empty (but not degassed) butadiene railcar tanker was temporarily stopped in a marshalling yard. The effect of ambient cold temperature (-17°C), the gaseous phase of the butadiene liquefied (boiling point temperature -4.4°C) and the tanker underwent relative depressurisation before collapsing. The injection of nitrogen into the non-degassed tanker cars, a procedure typically carried out to avoid tank depressurisation during cold weather periods, had been omitted.

- Even though marshalling yards are considered differently from industrial facilities in most countries, it is still imperative to take necessary precautions during periods of intense cold and procedures or transport regulations should address also extreme weather phenomena.

[ARIA No. 39508]

Accident 9 LNG fire

Inside a liquid CO₂ production plant, one of the four vertical storage columns undergoing filling exploded in a BLEVE. Due to the domino effect, a second storage column exploded and a third column was blasted into the laboratory 30 m away, killing five employees on the spot. Projectiles due to the BLEVE were responsible for four other deaths; 15 persons were injured.

The likely cause of this explosion was an overfilling condition due to a frozen level detector (freezing of water not completely extracted from the CO₂). Moreover, the component material of the two exploded tanks was not adapted to low-temperature applications.

- It is imperative that in case of use equipment which are sensitive to low temperature, such as different mechanical devices, sensors or emergency intervention equipment, these must be monitored regularly.

More information: http://www.aria.developpement-durable.gouv.fr/wp-content/uploads/2013/08/flash_intense_cold_nov2012.pdf and CSB (US Chemical Safety Board) Propane Fire at Valero Refinery in Sunray, Texas <http://www.csb.gov/valero-refinery-propane-fire/>

Other Natech hazards

Earthquakes

Earthquakes cause damage to industrial facilities through direct shaking impact or soil-liquefaction-induced ground deformations that can affect structures built in susceptible zones. Structural earthquake damage that does not result in the release of hazardous substances is of no immediate concern for safety, although the associated economic losses can be significant. The predominant damage modes in this category include elephant-foot- or diamond buckling, stretching or detachment of bolts, deformation or failure of columns and support structures. Minor to severe releases during earthquakes can be due to the failure of flanges and pipe connections, as well as failed tank shells or roofs, while tank overturning or collapse would inevitably lead to major releases.

During a severe earthquake that hit a large chemicals facility, acrylonitrile was released to the atmosphere from a failed tank roof, and into containment dikes from two other tanks which suffered pipe breaking at the tank base. A significant amount of acrylonitrile overflowed the containment dikes and was lost in the ocean through the drainage channel as surface runoff. With the concrete containment dikes having been cracked by the earthquake, a considerable amount of substance leaked into the soil and reached the coastal aquifer below the site.

- In natural hazard prone areas an installation's emergency plan needs to consider the risks of natural hazard impact. This includes the preparation of stand-alone emergency plans that do not rely on the availability of offsite utilities and response resources.

[eNatech accident #2]

Similar accidents: eNatech #44 #49 #50 and #51



Figure 4: The LPG tank farm at the Chiba refinery after the earthquake-triggered fires and explosions (2012 Google, ZENRIN)

Tsunamis

Tsunamis are large masses of water that are set in motion by earthquakes or landslides. The associated hydrodynamic and hydrostatic water forces, as well as debris impact, can cause tank and pipe floating and displacement, overturning and destruction, and the breaking of pipe connections and ripping off of valves. Tsunami impact can also wash away tank foundations and damage electrical systems due to water intrusion. In addition, the tsunami waters can widely disperse flammable spills, and with ignition being highly probable under these circumstances, large-scale fires can result.

A major tsunami caused multiple pipe breaks and many small hydrocarbon spills from pipe connections when it hit a refinery located at the coast. The releases ignited, causing a major fire that involved three tanks filled with sulphur, asphalt and gasoline, and which destroyed a significant part of the refinery.

- Where land-use planning restrictions are difficult to implement for existing installations, supplementary prevention and preparedness measures are required to protect hazardous facilities from tsunami impact.

[eNatech accident #21]



Figure 5: Burned tanks at the Sendai refinery hit by the tsunami (Photo Credit: C. Scawthorn)

Motto of the semester

Jim Wallis:
Sometimes it takes
a natural disaster to
reveal a social disaster

MAHBULLETIN

CONTACT

For more information on related to this bulletin on lessons learned from major industrial accidents, please contact

zsuzsanna.gyenes@jrc.ec.europa.eu

or emars@jrc.ec.europa.eu

Security Technology Assessment Unit
European Commission
Joint Research Centre
Institute for the Protection
and Security of the Citizen
Via E. Fermi, 2749
21027 Ispra (VA) Italy

<https://minerva.jrc.ec.europa.eu>

If your organisation is not already receiving the MAHBulletin, please contact emars@jrc.ec.europa.eu. Please include your name and email address of your organisation's focal point for the bulletin.

All MAHB publications can be found at [Minerva Portal](#)



European
Commission

The RAPID-N tool



Figure 6: RAPID-N output for release of a flammable substance from a storage tank upon earthquake impact.

A new web-based system developed by the JRC assesses and maps the potential impact of natural hazards on chemical installations. Called RAPID-N, the system provides a framework for estimating the risk of hazardous-material releases following natural disasters (so-called Natech risk). It identifies Natech-prone areas and assesses the risk associated, to support land-use planning, emergency-response planning, damage estimation and early warning.

A recent study highlighted significant gaps in the development of methodologies for analysing and mapping Natech risk in the EU and in OECD countries. RAPID-N was developed in response to calls by governments for a decision-support tool for Natech risk management. It provides an integrated, web-based framework for Natech risk analysis and mapping. Calculating on-site natural-hazard parameters and using fragility curves to determine damage probabilities at process and storage unit level, RAPID-N estimates the overall risk of damage and the consequences associated. The results are presented as risk summary reports and interactive risk maps.

RAPID-N can be applied at different stages of the Natech risk-management process. For prevention and preparedness it assesses the potential consequences of different Natech scenarios to develop Natech risk maps for use in land-use and emergency planning. In the response phase, it can be used for rapidly locating facilities where Natech accidents may have occurred based on up-to-date natural-hazard information, so that first responders and the population in the vicinity of the facilities can receive timely warning.

The RAPID-N framework is in principle applicable to any kind of natural hazard. It is currently implemented for earthquake impact on industrial facilities. Work is underway to extend the system to analyse also floods and pipelines.

<http://rapidn.jrc.ec.europa.eu>

Contact information:

elisabeth.krausmann@jrc.ec.europa.eu

Please note: The selected cases also include a number of lessons learned, not all of which are described. The bulletin highlights those that it considers of most interest for this topic, with the limitation that full details of the accident are often not available and the lessons learned are based on what can be deduced from the description provided. The authors thank the country representatives who provided advice to improve the descriptions of the selected cases.



Managing Risks from Natural Hazards to Hazardous Installations (Natech)

**A GUIDE FOR SENIOR LEADERS IN INDUSTRY
AND PUBLIC AUTHORITIES**

Series on Chemical Accidents



A collaboration between OECD, EC JRC and UNECE



Series on Chemical Accidents

Managing Risks from Natural Hazards to Hazardous Installations (Natech)

A Guide for Senior Leaders in Industry and Public Authorities

For the OECD, this work is published under the responsibility of the Secretary-General of the OECD. The opinions expressed and arguments employed herein do not necessarily reflect the official views of the Member countries of the OECD.

For the European Commission, this document is a publication by the Joint Research Centre (JRC), the European Commission's science and knowledge service. The contents of this publication do not necessarily reflect the position or opinion of the European Commission. Neither the European Commission nor any person acting on behalf of the Commission is responsible for the use that might be made of this publication.

For the United Nations, the findings, interpretations, and conclusions expressed herein are those of the author(s) and do not necessarily reflect the views of the United Nations or its officials or Member States.

The names and representation of countries and territories used in this joint publication follow the practice of the OECD.

This document, as well as any data and map included herein are without prejudice to the status of or sovereignty over any territory, to the delimitation of international frontiers and boundaries and to the name of any territory, city or area.

Please cite this publication as:

OECD/European Union (2024), *Managing Risks from Natural Hazards to Hazardous Installations (Natech): A Guide for Senior Leaders in Industry and Public Authorities*, OECD Series on Chemical Accidents, OECD Publishing, Paris.

Photo credits: Cover © Alexander John Glustrom.

© OECD/European Union 2024



Attribution 3.0 IGO (CC BY 3.0 IGO)

This work is made available under the Creative Commons Attribution 3.0 IGO licence. By using this work, you accept to be bound by the terms of this licence (<https://creativecommons.org/licenses/by/3.0/igo/>).

Attribution – you must cite the work.

Translations – you must cite the original work, identify changes to the original and add the following text: *In the event of any discrepancy between the original work and the translation, only the text of original work should be considered valid.*

Adaptations – you must cite the original work and add the following text: *This is an adaptation of an original work by the OECD, the UN and the European Union. The opinions expressed and arguments employed in this adaptation should not be reported as representing the official views of the OECD or of its Member countries, the UN or its Member States, and the European Union.*

Third-party material – the licence does not apply to third-party material in the work. If using such material, you are responsible for obtaining permission from the third party and for any claims of infringement.

You must not use the OECD's, the UN's or the European Commission's respective logo, visual identity or cover image without express permission or suggest the OECD, the UN or the European Commission endorse your use of the work.

Any dispute arising under this licence shall be settled by arbitration in accordance with the Permanent Court of Arbitration (PCA) Arbitration Rules 2012. The seat of arbitration shall be Paris (France). The number of arbitrators shall be one.

Editorial

There is growing awareness that natural hazards, even common ones such as lightning, can have significant impacts on the safety of hazardous installations. Certain conditions, such as high and low temperatures, thawing of permafrost, landslides, earthquakes or floods can result in accidents with the release of hazardous substances, fires or explosions. These are referred to as Natural Hazard Triggered Technological accidents (or Natech accidents). Recent Natech accidents around the globe have caused major damage to hazardous installations with often disastrous effects on human lives, the environment, infrastructure, regional security and economic development. In 2017, the flooding of a chemical plant handling organic peroxides in the United States following massive rainfall from Hurricane Harvey triggered a blackout and loss of refrigeration, resulting in the exposure of first responders to toxic fumes and necessitating evacuation over a 1.5 mile radius. In 2011, a major earthquake in Japan triggered multiple fires and explosions at a refinery's petroleum gas storage tank farm. Fires burned for 10 days and the refinery returned to full operation only 2 years later. Climate change is particularly relevant in this context as it affects the intensity and frequency of natural hazards with potential unprecedented and unexpected impacts on these installations.

Leaders in industry and public authorities have a critical role to play in ensuring the appropriate delivery and governance of the prevention of, preparedness for, and response to Natech accidents, especially with an increasing level of risk due to climate change. Awareness raising, active engagement and informed decision-making can help ensure more effective Natech risk management. Future changes and adaptations must be anticipated with a multi-disciplinary approach involving meteorologists, geologists, civil, mechanical and chemical engineers, first responders, workers, potentially affected communities, and process safety experts. The involvement of all relevant stakeholders must be supported by well-defined communication and co-operation between relevant authorities at the local, national and transboundary levels, as well as with industry.

For the past 12 years, the OECD Working Party on Chemical Accidents, the Joint Research Centre of the European Commission and the United Nations Economic Commission for Europe secretariat of the Convention on the Transboundary Effects of Industrial Accidents have led efforts in raising awareness of Natech risks and sharing good practices for Natech risk management across countries and their respective constituencies. Most recently, our organisations joined forces to develop this guidance to help inform senior leaders in industry and public authorities of Natech risk and support them in setting direction for implementing respective measures, including the integration of Natech risk management into corporate governance strategies and national policies. We hope that this document will encourage commitment and high standards for the governance of Natech risk amongst leaders in industry and public authorities, thus ensuring long-term sustainable development and the achievement of a higher level of safety at hazardous installations.

Jo Tyndall
Director
Environment Directorate
OECD



Marco Keiner
Director
Environment Division
UNECE



Matthias Oel
Director
Directorate for Societal Resilience and
Security
European Commission Joint Research
Centre

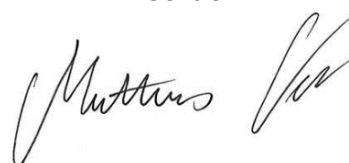


Table of contents

Editorial	3
Background to the guidance	5
Notes	6
1 Natech risk and leadership	7
Notes	9
2 Risk awareness and governance: understanding vulnerabilities and risks	11
3 Preventing Natech accidents	13
Information on natural hazards	13
Risk assessment	14
Siting and land-use planning	17
Design and construction	17
Adaptation to climate change	17
Learning from past accidents	18
Notes	19
4 Emergency preparedness and response	20
Preparing emergency plans	20
Responding to natural hazard impacts	21
Early warning systems and alert systems	21
5 Communication of Natech risks and in case of Natech accidents	23
General considerations	23
Communication with employees at hazardous installations	23
Communication between industry and public authorities	24
Communication with the public and communities	25
6 Leadership of a multidisciplinary team	26
7 International and transboundary considerations	27
8 Self-assessment checklist	29
9 For further reading	34
Boxes	
Box 1. Examples of past Natech accidents	9
Box 2. Challenges of Natech Risk Management	12

Background to the guidance

This guidance is complementary to the Third Edition of the OECD Guiding Principles for Chemical Accident Prevention, Preparedness and Response. Its development is based on previous work done by the OECD Programme on Chemical Accidents, in particular:

- The Addendum to the Second Edition of the Guiding Principles on Chemical Accident Prevention, Preparedness and Response on Natech Risk Management published in 2015 which provides specific guidance on how to consider Natech in the prevention of, preparedness for and response to chemical accidents;
- Two major international events organised in 2012 in Dresden (Germany), which investigated the specificities of Natech Risk Management, and in Potsdam (Germany) in 2018, which collected good practices for Natech Risk Management across OECD and non-OECD countries;
- A record of good practices for Natech risk management issued in 2020. It includes more than 40 examples of Natech risk management-related activities across countries and from different stakeholders, presented in easy-to-read fact sheets. The record has been developed and is hosted by the German Environment Agency.

This guidance is also relevant in the context of the OECD Decision-Recommendation concerning Chemical Accident Prevention, Preparedness and Response.

This guidance builds on expertise of the Joint Research Centre of the European Commission on Natech risk management. It has developed eNATECH, an online database to facilitate exchange of lessons learned from Natech accidents and near misses, as well as the web-based RAPID-N tool for rapid Natech risk analysis and mapping. In 2020, the JRC published Natech inspections criteria for Seveso inspectors and in 2022 technical guidance on Natech risk management for operators of hazardous industrial sites and for national authorities.

This guidance also takes account of legal instruments such as the European Union Seveso Directive on the control of major-accident hazards involving dangerous substances, which in its Annex II, article 4, requires Natech to be included in the site's safety management system, and the UNECE Convention on the Transboundary Effects of Industrial Accidents (Industrial Accidents Convention) which sets out obligations to prevent and mitigate Natech events, among other industrial/chemical accidents. It builds on the conclusions of the joint UNECE/OECD Seminar on effective management of technological risks of accidents triggered by natural hazards (Geneva and online, 29 November 2022). Parties to the Industrial Accidents Convention have also adopted Decision 2022/1 on Strengthening Natech risk management in the UNECE region and beyond, at the twelfth meeting of the Conference of the Parties. Through this decision, Parties committed to preventing Natech events and their disastrous effects on human lives, the environment, infrastructure, regional security and economic development, and to enhancing transboundary cooperation to that effect. It also uses experience and guidance developed by countries and by other international agencies that are relevant to Natech risk management ¹.

This guidance was jointly developed by the OECD, the United Nations Economic Commission for Europe (UNECE), the Joint Research Centre of the European Commission (JRC) and the German Environment

Agency (Umweltbundesamt). In preparing the guidance, the drafting group had guidance from a steering group of experts from the delegations of Colombia, Czech Republic, France, Germany (lead country), Japan, Netherlands, Norway, Switzerland, United Kingdom, the United States, the JRC, the International Labour Organisation (ILO), the United Nations Environment Programme (UNEP) / UN Office for the Coordination of Humanitarian Affairs (OCHA) Joint Environment Unit, the UNECE, and the European Environmental Bureau (EEB). The Bureau of the OECD WPCA and Bureau of the UNECE Convention on the Transboundary Effects of Industrial Accidents also reviewed the draft guidance and provided inputs over the course of its development.

Notes

¹ References and links to all the documents mentioned above are available in the “For further reading” section.

1 Natech risk and leadership

Natural hazards, for example lightning, high and low temperatures, landslides, earthquakes, floods, winds, storms, wildfires, and permafrost thawing, can initiate adverse events which challenge the safety and operation of hazardous installations and can result in accidents. These accidents are referred to as Natural hazard triggered technological accidents or Natech accidents.

Recent Natech accidents around the globe demonstrate the significant impacts accidents triggered by natural hazards can have on people, the environment, infrastructure and business continuity (see Box 1).

Leaders in industry and public authorities need to act to ensure the appropriate governance and management of Natech risk. This leadership combined with appropriate technical assessment will enable long-term operability and sustainable development at hazardous installations, including where the threat level changes due to climate change.

The case for Natech risk management is strong for both businesses and public authorities:

- Consideration of the potential impacts from natural hazards at the siting and land-use planning stage can reduce impacts on the site and its surroundings, both in magnitude and frequency. For example, choosing and permitting a site that is located higher than the flood plain, may mean that flooding is less of a consideration. However, all Natech risks should always be considered.
- Consideration of the potential impacts from natural hazards at the design and construction stage can lead to more robust buildings and infrastructure, which will reduce risks and mitigate damage in the event of a Natech accident. Retro-fitting existing sites is also important since some natural hazards may not have been considered in the past and due to the increasingly frequent and severe impacts of climate change. Since retro-fitting can be more expensive, it is however key to consider natural hazards in the original designs of sites moving forward.
- Consideration of the potential impacts from natural hazards at a safety management and emergency planning stage can mean that the employees can be prepared to take the necessary measures early on to prevent Natech events and mitigate damage should they occur, including to prevent damage to installations, releases of hazardous chemicals, harm to the natural and built environment, injuries of employees and nearby populations and beyond. Prevention and preparedness are more cost effective than responding to an emergency under pressure.
- Understanding and addressing Natech risks can mean that companies are more resilient to return to production after a natural hazard event with less disruption and without loss of reputation. Repairing damaged installations and harm to people and the environment can be costly and time consuming. A long period of business interruption can lead to loss of customers and goodwill and damage the economic viability of the company.
- Failure to address the potential impacts from natural hazards can lead to significant costs, damage to people and the natural and built environment, injury, business interruption, loss of reputation and ultimately to the failure of the company.

This guidance, part of a series of Natech guidance notes from the OECD¹, as well as part of the Natech risk management workstreams of the United Nations Economic Commission for Europe (UNECE)² and the Joint Research Centre of the European Commission (JRC), is specifically aimed at supporting senior

leaders set direction for implementing Natech prevention, preparedness and response measures. It will challenge senior leaders in industry³ and public authorities⁴ to consider questions such as:

- What should I do to ensure good governance of Natech risk?
- How do I gather and organise the capabilities and competences to do it?
- How do I ensure that my organisation continues to adapt to a changing environment?

This document will aid senior leaders to be able to self-assess how prepared their organisation is in managing Natech risks effectively.

“This guide for managing Natech accident risk provides an excellent overview and risk management guidance for chemical accidents that may result from natural hazards. Senior leaders in the chemical industry will benefit from the guidance designed to make users aware and manage the vulnerabilities and risks of Natech accidents. This guidance, supplemented by guidance issued from Natech related investigations by the US Chemical Safety Board and requirements from the US Environmental Protection Agency to account for natural hazards in its risk management planning requirements, provides a complete approach to managing Natech accident risk.”

American Chemistry Council

This Guidance is applicable to fixed installations at which hazardous substances are produced, processed, handled, stored or disposed of in such a form and quantity that there might be a risk of occurrence of a chemical accident (called “hazardous installations” or “installations” in this publication). This includes pipelines and transport interfaces such as marshalling yards and port areas.

Box 1. Examples of past Natech accidents

- In August 2022, a lightning strike hit an oil storage terminal in Cuba, triggering a major fire and explosions that eventually involved four large storage tanks. Seventeen fire fighters lost their lives in the attempt to keep the fire from escalating and avoid a domino effect. International aid was needed to control the fire.
- In August 2017, massive rainfall from Hurricane Harvey led to the flooding of a chemical plant handling organic peroxides in the USA. The flood triggered a blackout, resulting in the loss of all refrigeration systems on-site. The organic peroxides decomposed and combusted, exposing first responders to the toxic fumes and necessitating evacuation over a 1.5 mile radius.
- In December 2011, a landslide caused the full-bore rupture of a gasoline pipeline in Colombia. Gasoline spilled into a river, leading to water contamination, and in the subsequent ignition and explosion 32 people died and over 80 were injured. The explosion also caused structural damage to residential areas.
- In March 2011, a major earthquake shook an LPG storage tank farm at a refinery in Japan. One tank collapsed, severing pipes and causing the release of LPG which ignited. The resulting fire and explosions destroyed all 17 LPG tanks. Debris from the explosions damaged adjacent asphalt tanks and triggered fires in two neighbouring petrochemical installations. The fire burned for 10 days.
- In December 2002, low temperature coupled with the deactivation of steam tracing caused the breaking of a cyclohexane manifold in a chemical plant in France. 1200 tons of cyclohexane were released and entered the soil and groundwater. Due to a high risk of polluting the community's drinking water reservoirs and agricultural pumping stations, prolonged clean-up and remedial actions had to be taken.
- In August 2002, flooding of the Elbe River led to the inundation of a chemical plant in the Czech Republic, floating its liquid chlorine tanks and ripping off the safety valves from a tank filled to capacity. Over 80 tons of chlorine were released, resulting in environmental damage and economic losses in agriculture.

Notes

¹ Past reports developed by the OECD on Natech risk management are available at: <https://www.oecd.org/chemicalsafety/chemical-accidents/risks-from-natural-hazards-at-hazardous-installations.htm>

² More information on Natech risk management under the UNECE Convention on the Transboundary Effects of Industrial Accidents is available at: <https://unece.org/industrial-accidents-convention-and-natural-disasters-natech>

³ For the purpose of this document “Industry” refers to: enterprises operating hazardous installations at which hazardous substances are produced, processed, handled, stored or disposed of.

⁴ For the purpose of this document “Public Authorities” refers to: public authorities at all levels that are involved in the many disciplines inherent in chemical accident prevention, preparedness and response (e.g. environment, public health, occupational health and safety, civil defence, industrial development, international relations). This guidance is relevant to regulatory/enforcement authorities (at the national, regional and local levels), emergency response personnel, public health authorities, medical providers and other types of government agencies.

2 Risk awareness and governance: understanding vulnerabilities and risks

One of the main elements needed to integrate Natech risk into process safety in a commercial or public setting is risk awareness at all levels, led from the top.

Senior leaders in industry should be aware of the Natech risk at their hazardous installations. They should:

- Be aware of the full spectrum of natural hazards of relevance for a specific site, the impacts they may have on the risk of chemical accidents and how they will affect process safety (see Box 2);
- Drive awareness of this risk through the organisation and ensure implementation of a strategy for good governance and compliance with applicable laws and policies, including integration of Natech concerns in occupational safety and health management systems;
- Clearly communicate to all relevant employees, including contractors, the vulnerabilities to natural hazards and associated Natech risks at their installation, and the measures being taken to address them;
- Drive the integration of Natech risk management into chemical accident prevention, preparedness and response at the given installation, even if Natech accidents have never occurred before;
- Be aware that climate change could affect the intensity, frequency and location of natural hazards and assess and update risk management measures as more information becomes available. This should become an integral part of the safety management system.

Similarly, **senior leaders in public authorities** should:

- Take Natech risk into account in relevant regulatory action, policy development and standards;
- Ensure that Natech accidents are sufficiently integrated into climate change adaptation, disaster risk reduction, environmental protection and sustainable development action plans and strategies;
- Address Natech risk as part of existing governance and policy processes at the national and local level, including coordination with industry and stakeholders;
- Include Natech-related questions within inspections and audits. Information and experience exchange amongst inspection personnel (at the regional, national or international level) is essential;
- Provide specific awareness raising of Natech risks and guidance on the prevention of, preparedness for and response to Natech accidents.

A regular dialogue between leaders in industry and public authorities is critical. This will support:

- The development of an up-to-date natural hazard assessment;
- The integration of natural hazards in risk analysis for chemical accident prevention, preparedness and response;
- Coordination via a multi-hazard approach with natural hazard risk management and natural disaster management plans;
- Regular exchange regarding preparedness and response planning.

Box 2. Challenges of Natech Risk Management

- The management of Natech risks requires a multi-disciplinary approach with experts such as meteorologists, hydrologists, or geologists working alongside civil, mechanical and chemical engineers, as well as experts on process safety;
- The intensity of a natural hazard may be difficult to predict and challenge the anticipated “worst-case scenario” assumptions, in particular in view of climate change. For example, the water levels during a flood may be higher than any previously experienced floods used as reference scenario;
- Major Natech accidents can occur as a result of “minor” natural hazards, such as lightning or low temperature;
- The management of Natech risk requires anticipation of future changes and adaptation, for example using climate projections;
- Natural hazards can impact key infrastructure elements at hazardous installations, such as electric grids, energy and water supplies, communication systems and transport routes;
- A Natech accident can be exacerbated where the natural hazard impact has caused inaccessibility of roads and transport (e.g. hampering site access for firefighters);
- Natural hazards can trigger accidents at several hazardous installations at the same time, increasing the risk of cascading effects;
- One natural hazard can trigger another one, leading to cascading effects (e.g. an earthquake can cause a tsunami or a landslide), which could aggravate damage and needs to be considered in the worst-case scenario;
- A natural disaster can put a strain on emergency and medical response capabilities, therefore the availability of first responders to respond to a Natech accident can be limited;
- Similarly, a natural disaster can prevent staff from being at work or divert their attention away from hazard management due to personal/family concerns.

3 Preventing Natech accidents

There are a number of actions that are important for the prevention of Natech accidents and that are necessary for the implementation of prevention measures. They are to:

- Identify the natural hazards that may affect an installation, e.g. through the use of natural hazard maps, including transboundary hazard maps, where relevant;
- Assess the risks posed by natural hazards to industrial sites, including related scenarios, and potential consequences of a transboundary nature;
- Consider natural hazards, and the impact of climate change, in the design, construction, modification, siting and operation of hazardous installations, as well as in land use planning decisions and permitting;
- Learn from past Natech accidents and near misses.

Information on natural hazards

Information on natural hazards that can affect hazardous installations is key for preventing Natech accidents. It can be used by senior leaders in decision-making for risk management, inspection criteria, siting and land-use planning, and permitting. It can be presented in various ways, such as through illustrations/maps, to aid understanding and make information accessible to all.

For effective Natech risk management, **senior leaders in public authorities** should:

- Ensure that information on natural hazards that could potentially trigger chemical accidents, or that could exacerbate the consequences of accidents from other causes, is collected and made accessible to the respective stakeholders, for example industry, other relevant authorities, neighbouring or riparian¹ countries, experts and the public. This information should include:
 - all natural hazards a site is subject to;
 - the probability of their occurrence and their possible intensity;
 - risks to economic activities, human health, the environment, critical infrastructure and cultural heritage, for example.
- Make sure that natural hazard and risk maps contain easily accessible and appropriate information (or references to information) on hazards and risks for their target audiences;
- Maximize the ease of use of natural hazard and risk maps. Instead of (or in addition to) paper formats, digital solutions and interactive applications should be developed to make it easier for industry and those who could be affected by an accident to assess and understand the Natech risks of hazardous installations;
- Consider the development of maps that compile information from different natural hazard and risk maps as a means to display multiple hazards simultaneously. As developed in certain countries, this can involve overlaying natural hazard maps with maps of the locations of industrial hazardous installations, which should be available as geo-referenced data. In this way, any potential compound effects can be identified;

- Ensure there is appropriate training for relevant employees on the types of natural hazards that can trigger chemical accidents. Training should include methods to assess information on natural hazards and risks to support decisions on the siting of hazardous installations, land-use planning, construction, design and operation of hazardous installations, and emergency planning;
- Facilitate regularly scheduled updates of information and maps, to make sure they represent the latest data, science, understanding and actual situation of natural and technological hazards and risks.

Senior leaders in industry should:

- Require their staff to use the most up-to-date maps available, to be informed of existing natural hazards and natural hazard risks and to take protection measures accordingly, considering all aspects of their operations (storage, production, maintenance, construction, etc.);
- Compare available national or regional information on natural hazards and risks to information of the hazards and risks of their industrial installations, to be able to realistically assess the risks of the potential impact of natural hazards on their activities;
- Ensure appropriate training for the use of natural hazard and risk maps, for example in the context of decision making for siting, construction, design, modification and operation of hazardous installations as well as emergency planning;
- Be aware that natural hazards are likely to affect infrastructure beyond their site boundaries, which can in turn impact their own operations (electricity, gas and water supplies; road and rail transport networks; telecommunications).

"The growing interdependence between industrial activities and the environment, combined with the increasingly intense effects of natural disasters, highlights the need to proactively and systematically address the risks of natural, technological, and Natech events. By taking preventive measures and applying mitigation strategies, the mining-energy sector can safeguard its critical infrastructure, protect its employees and communities, contribute to the long-term sustainability of the industry and the transition to cleaner and fairer energy sources"

Office of Environmental and Social Affairs – Colombia's Ministry of Mines and Energy

Risk assessment

Risk assessment is the overall process of risk identification, risk analysis and risk evaluation. It allows the estimation of the risk level of a hazardous installation and comparison with risk acceptability criteria, the detection of safety gaps, scenario ranking, and determining risk reduction priorities and measures (including on- and off-site emergency plans).

Since Natech risk is a multi-hazard risk with a potential for multiple and simultaneous accident scenarios, Natech risk analysis is complex and requires extensions to traditional industrial risk analysis methodologies, regardless of the assessment approach chosen.

In order to ensure the proper consideration of natural hazards in industrial risk analysis, **senior leaders in industry** should:

- Be aware that information and expertise on both natural and technological hazards is required for Natech risk analysis;

- Require the collection and use of available technical guidance for Natech risk analysis to identify all relevant Natech scenarios, including those triggered by “minor” natural events (such as lightning, freeze), as well as transboundary causes, that may be relevant for an installation;
- Apply a worst-case approach in Natech risk analysis to account for the possibility that implemented safety barriers may not be operating or be effective due to natural hazard impact in case of an incident;
- Ensure that sufficient time and resources, as well as appropriate knowledge and skills are allocated for identifying and analysing Natech risk;
- Provide dedicated training programmes for staff if the necessary expertise for Natech risk analysis is unavailable within an organisation, or contract the services of external experts;
- Foster a mindful approach to process safety and defer to the expertise of personnel on the ranking of identified Natech scenarios when making process safety decisions;
- Consider the application of safety factors in Natech risk assessment to account for uncertainties in natural hazard severity due to future climate change.

At the same time, **senior leaders in public authorities** should:

- Establish standards and requirements for industry to submit industrial risk analyses that are inclusive of natural hazards to be used when applying for permits to establish new hazardous installations or to make modifications to existing ones, and when existing hazardous installations are identified as within the proximity of natural hazards;
- In line with the results of Natech risks analyses, establish requirements for industry to update their safety measures and emergency plans where necessary;
- Employ inspectors tasked with inspecting hazardous installations and ensure that they consider potential Natech risks in their inspection activities, as well as communicate and follow-up with industry regarding any risks identified.

Senior leaders in both industry and public authorities should:

- Foster the development of new or updating of existing risk analysis methodologies and associated software tools to take account of natural hazards that can affect hazardous installations, including the risks arising from them, to inform related decision-making processes, inspection criteria and policy development;
- Promote a territorial approach to Natech risk analysis to acknowledge the increased risk of cascading effects during natural hazard impact, the loss of external utilities of relevance for an installation, and potential transboundary consequences, where geographically relevant, with also consideration for impacts on internal and external emergency plans and communication;
- Understand the underlying uncertainty in Natech risk analysis results considering the high scenario variability, and give due consideration to identified scenarios with low likelihood but potentially catastrophic consequences;
- Request and implement a periodic review of Natech risk assessments in view of possibly changing analysis assumptions due to climate change, land-use changes, or changes in a hazardous installation resulting in higher or lower vulnerability to natural-hazard impact.

Since 2019, Grupo Ecopetrol has been reducing its levels of uncertainty in the processes of physical risk analysis, within the framework of the climate emergency that our planet is facing. Physical risks are related to the company's exposure and vulnerability to the impacts of climate variability and change, which could affect operational continuity and increase the exposure of assets to potential damage (including the identification of Natech scenarios). Acute risks are those caused by extreme weather events, whose frequency and intensity have been increasing due to the gradual increase in global temperature, which in Colombian territory are mainly reflected in the occurrence of the climate variability phenomenon "El Niño" and its opposite phase "La Niña". These conditions could result in, among others, water shortages, heat waves, floods, and fires. On the other hand, chronic risks derive from a sustained change in climate conditions in the medium and long term, which for the company can be reflected in sea level rise, thermal overload, and droughts, beyond 2050.

The physical risk analysis completed in 2023 considered the following Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) scenarios: (i) Aligned with the Paris Agreement target (SSP 1/RCP 2.6), (ii) Peak emissions in 2040 (SSP2/RCP4.5), and (iii) 'Business as Usual' (SSP5/RCP8.5). Under these scenarios, 7 chronic (drought and heat stress) and acute (precipitation, coastal and river flooding, forest fires and winds) hazards were evaluated at 95 points associated with the main assets of Grupo Ecopetrol."

Grupo Ecopetrol

For more information on Natech risk management, the Joint Research Centre of the European Commission has developed technical guidance which helps to identify, analyse and treat Natech risks at industrial sites with particular emphasis on the identification and modelling of Natech scenarios².



Under the auspices of the Convention on the Transboundary Effects of Industrial Accidents, UNECE published "Risk Assessment for Industrial Accident Prevention: An Overview of Risk Assessment Methods, Selected Case Studies and Available Software", https://unece.org/info/Environment-Policy/Industrial_accidents/pub/391975. Even if not specific to Natech risk assessment, the publication provides information on methodologies that can be applied and/or further developed in the context of natural hazards and with respect to their probability.

Siting and land-use planning

When establishing land-use planning arrangements and policies related to hazardous installations, **senior leaders in public authorities** should:

- Take into account natural hazards, such as floods, extreme temperatures, high winds, earthquakes, or wildfires, as well as the possible impacts of climate change. Public authorities may determine that certain areas, such as flood-prone or earthquake zones, may not be suitable for hazardous installations or may require additional safety measures or more stringent requirements in design, construction and operation;
- Re-assess risk zones when new information becomes available to take account of new information and experience.

Senior leaders in industry should:

- Ensure that a Natech risk analysis is performed before siting a new installation and for the site layout (e.g., hazardous substances should not be stored in areas that are likely to be flooded);
- Consider Natech risk for new developments and sites as well as existing sites and ensure that management systems allow Natech risks to be integrated into operation at a site, e.g. through incorporation in the site's major hazard management system;
- Ensure adequate training for Natech risk management is in place and that it is provided to those responsible for the siting of installations and land-use planning.

Design and construction

Senior leaders in industry should make sure that:

- Natural hazards are taken into account in the design and construction of hazardous installations;
- Retrofitting is considered for existing installations in light of information about natural hazards that was not taken into account in the original design (including, for example, information on additional types of hazards, increase in intensity and/or frequency of hazards as well as slow-onset hazards like sea level rise due to climate change).

Adaptation to climate change

Changes in climate may affect the intensity, frequency and location of natural hazards, and this should be taken into account in the risk analysis. Climate change may also result in altered heating/cooling requirements for the workforce to enable them to do their work safely.

Climate change may impact natural hazards in at least three ways: via the emergence of natural hazards not previously seen in the region, a change in the frequency and severity of natural hazards known in the area, and the gaining in importance of slow-onset natural hazards, such as sea level rise.

Senior leaders in industry should ensure that their organisations:

- Regularly consult and assess regional climate projections, changes in recurrence times of extreme events and potential changes caused by slow-onset climate change events, and communicate to relevant employees the implications for major accident prevention due to them;
- Develop a climate adaptation strategy with senior leader ownership which also includes the potential impact of climate change on staff working conditions;

- Use the organisation's major hazard management systems to incorporate climate change impacts, where necessary, e.g. through the use of ISO14090³ to ensure risk assessments are maintained against the most up to date data;
- Implement enhanced safety measures, where necessary.

Senior leaders in public authorities should:

- Ensure the establishment of communication mechanisms to inform industry of the type and likelihood of a natural hazard relevant for (a) site(s), in particular when the threat increases, and establish requirements for operators to adapt their scenarios;
- Promote the integration of Natech risks into industrial safety, disaster risk reduction and climate change adaptation policies and strategies;
- Support the consideration of possible changes in climate and their impact on natural hazards in the development and review of regulations, licensing, permitting and inspections.

"There is a need to integrate Natech risks into industrial safety, disaster risk reduction and climate change adaptation policies and strategies. This requires good coordination, cooperation, and communication across sectors within a country as well as in a transboundary setting. Sharing of new technology and new use of existing technology would be important to predict how natural hazards might impact industrial sites."

Norwegian Directorate for Civil Protection

"The chemical industry relies on effective risk management as its fundamental cornerstone for operations and to ensure sustainable development. For risks related to natural hazard events it is of key importance to account for the dynamic nature of these events in a changing environment especially in the context of climate change. Mitigating the impact of natural hazards even well below critical thresholds for Natech incidents can prevent financial losses and ensure business continuity."

BASF - Environmental & Safety Services Ludwigshafen

Learning from past accidents

The identification and implementation of lessons from past Natech incidents helps to prevent future events and to better mitigate their consequences. In addition to improving safety, this also contributes to economic objectives, e.g. reducing plant downtime and disruption of production, avoiding costs due to clean-up and recovery from accidents, and increasing business efficiency.

Strong leadership in industry and public authorities is vital in this context and should:

- Require the systematic collection and analysis of data on Natech events, from internal and external sources. This should include information on near misses, to encourage learning and gain knowledge on the incident causes, dynamics and consequences, as well as contributing factors. This data should be reported to the respective regional, national and international authorities;
- Monitor that the lessons identified from the analysis of past incidents are acted upon to close risk management gaps. This can be done by updating Natech accident scenarios and improving prevention measures, adapting preparedness plans and implementing tailor-made training programmes;

- Prioritise systematic and routine sharing of knowledge gained from past Natech incidents. Leaders should ensure that the lessons identified are disseminated across the organisation. This information should also be shared with contractors, and with other high hazard sectors, to improve safety and ensure the preservation of historical knowledge in the event of staff and management changes;
- Encourage an atmosphere of trust and openness to facilitate the reporting of minor Natech incidents and near misses, as well perceived risk management gaps associated with them.

The Joint Research Centre of the European Commission has developed [eNATECH](#)⁴, an online database to facilitate exchange of lessons learned from Natech accidents and near misses.

Notes:

¹ “Riparian countries” means the countries bordering the same transboundary waters, as provided in the UNECE Convention on the Protection and Use of Transboundary Watercourses and International Lakes.

² Necci, A. and Krausmann, E., Natech risk management, EUR 31122 EN, Publications Office of the European Union, Luxembourg, 2022, doi:10.2760/666413.

³ ISO 14090:2019 Adaptation to climate change — Principles, requirements and guidelines, <https://www.iso.org/standard/68507.html>

⁴ See, <https://enatech.jrc.ec.europa.eu>

4 Emergency preparedness and response

Preparing emergency plans

Prevention is key, but when it fails, preparedness is needed. Preparedness is a key element that enables effective response to Natech accidents. It is also crucial for warning the potentially affected population. Industry and public authority coordination is essential for Natech emergency planning. It is also crucial for warning the potentially affected population.

Senior leaders in industry and public authorities should ensure that emergency plans (on-site and off-site) for industrial facilities:

- Are up-to-date and address:
 - the possible consequences of natural hazard impacts that might trigger Natech accidents;
 - the possible impacts of natural hazards on safety barriers, critical infrastructures and resources and capabilities needed for responding to a Natech accident (including, for example, on water and power supplies, site access or evacuation routes and communication systems, or on first responders themselves).
- Are integrated with emergency planning for natural disasters. This integration should result in co-ordinated and consistent emergency plans, and in a co-ordinated command structure;
- Are coordinated with local first responders;
- Take account of a range of scenarios (including worst case scenario and more likely scenarios, also in a transboundary context);
- Integrate the possible impacts of climate change on natural hazard trigger conditions, which might result in changed planning assumptions;
- Include the availability and provision of appropriate emergency response equipment in case of exceptional conditions created by a natural hazard (e.g. extreme weather; flooding);
- Are tested, through table-top and full-scale exercises. These exercises should simulate the specific features of an occurring Natech accident. Any lessons learned from these exercises, in addition to lessons learned from past Natech accidents or near misses, should feed into an update or revision of the on- and off-site emergency plans;
- Include arrangements for training of staff at all levels to ensure a co-ordinated response to natural events which can trigger Natech accidents. Training should include a definition of roles and responsibilities, and specification of alert level thresholds for triggering protective action;
- Involve local stakeholders with an interest and members of the public that could be affected, including in neighbouring and riparian countries, in the development of emergency plans;
- Facilitate communication with all parties and help to establish and maintain acceptance and trust for the emergency planning activities.

In addition, **senior leaders in public authorities** should ensure that the public that could be affected is aware of the actions they need to take in case of a Natech event. This includes the sharing of information and exercises.

Responding to natural hazard impacts

Following natural hazard impacts on industrial sites, **senior leaders in industry and public authorities** should:

- Organise a damage assessment and evaluate the necessity of activating the emergency plan. If activated, they should oversee its proper implementation;
- Manage staff effectively and ensure that sufficient personnel is available on- and off-site to implement response actions. This includes the replacement of essential staff that may have been harmed during the natural hazard impact or that may have left in a panic (flight behaviour);
- Ensure the implementation of plans for staff shift turnover in case of prolonged emergency conditions to relieve exhausted staff.

Early warning systems and alert systems

Early warning and alert systems are essential elements of preparedness and response.

- Early warning systems for natural hazards are operated by public authorities that will then inform operators of potentially affected hazardous installations and other relevant public authorities of approaching natural hazards that may cause a Natech accident. These systems enable advance warning to prepare operators and allow them to initiate preventive measures.
- Alert systems operated by public authorities or operators, may be used when a natural hazard is already occurring and should trigger the emergency plan of a hazardous installation. They could be used to inform affected populations and, in the case of Natech accidents with possible transboundary effects, neighbouring and/or riparian countries.

Senior leaders in industry and public authorities should ensure that:

- Early warning and alert systems are operational and functioning with 24/7 points of contact;
- Emergency plans take account of existing warning systems and set out the actions all parties should take in response to natural hazard alerts;
- All relevant natural hazard warning systems are incorporated in the emergency plan including local weather forecasts, and all other relevant alerts;
- Cross border warning systems for natural hazards are utilised to enhance response where necessary.

Senior leaders in industry should:

- Ensure that procedures are developed that define the actions to be taken in response to early warning to eliminate or reduce the impact of natural hazard. These procedures should include the roles and responsibilities of personnel within the installation (including contractors), the actions to be performed by each role, the amount of time each action takes, and the conditions that initiate the procedures. The goal of such planning should be that the site and its installations are in a safe operating condition before the natural hazard strikes.
- Ensure that qualified staff is available that allows the proper interpretation of early warnings, and decide on the appropriate preventative measures in accordance with the installation's safety

management systems. Such measures could include tie-down or relocation of equipment, temporary natural-hazard defences, emergency shutdown, etc.

Senior leaders in public authorities should:

- Ensure that natural hazard warning systems and alert systems are regularly tested, maintained, and updated to inform industry and communities of impending natural hazards or disasters;
- Ensure that local conditions are considered in early warning and alert systems to improve their value for operators of hazardous installations.

5

Communication of Natech risks and in case of Natech accidents

General considerations

Communication (both internally and with external stakeholders) is important before, during and after a natural hazard impact. The requirements and options available may be different, depending on the point in the impact timeline. Good communication is important within the installation so that everyone, at all levels of the organisation, understands the risks which are to be managed and their own role in ensuring that this is accomplished.

Senior leaders in public authorities and industry should:

- Ensure that there is a strategy for crisis communication in case of natural hazards and Natech accidents. This strategy should:
 - analyse the communication needs of the different stakeholders before, during and after a natural hazard impact and a potentially triggered Natech accident;
 - consider that the natural hazard impact can also affect communication technology (e.g. direct damage to communication system, congested phone networks, etc.). There should be preparedness for such a situation by using reliable and redundant communication systems.

Communication with employees at hazardous installations

Employees, including contractors, need to be properly informed of the Natech risk at their workplace and know how to react in case of a natural hazard impact or Natech accident.

Senior leaders in industry should ensure that:

- There are procedures that are defined and communicated related to:
 - The roles and responsibilities of personnel within the installation;
 - The actions to be performed by each role;
 - The amount of time each action takes;
 - The exact conditions that initiate the procedure.
- Employees understand:
 - Which natural hazards may affect the installation, and with which intensity and frequency;
 - If there is a risk that these natural hazards could evolve in the future, including due to climate change;
 - How they will be informed of a natural hazard impacting the installation and of its consequences;

- What type of information will trigger what type of response (for example activating the on-site emergency plan);
- Which early warning systems and alerts will inform employees that they will start working under abnormal conditions because of the impact of a natural hazard;
- Which behaviour and actions they need to undertake in different scenarios and how to communicate and coordinate with external responders (e.g. natural disaster response teams, firefighters);
- What activities are relevant for the safety of their family, and how they will be informed if their family is evacuated and to which location;
- How they will be informed, if a dangerous situation due to a natural hazard has ended and follow-up procedures.
- Employees participate in emergency planning and related drills;
- The relevant points above are also communicated to contractors and third parties;
- Employees are informed of the results of investigations into damage caused to the installation by a natural hazard impact;
- The cause(s) of a Natech accident are communicated to employees on site.

Communication between industry and public authorities

Senior leaders in industry and public authorities should ensure that:

- There is effective communication between industry and public authorities;
- Their communication is based on a policy of openness, as well as the shared objective of reducing the likelihood of Natech accidents and mitigating the adverse effects of any Natech accident that may occur;
- There is coordination of measures and activities necessary to ensure that emergency plans are drawn up and acted upon in the event of a Natech accident;
- Land-use planning and decision-making on the siting of industrial facilities takes natural hazards into account, including how Natech risks can be effectively managed and whether consideration of other sites would be appropriate. Communication between industry and public authorities on these matters should entail consideration of the views of the public that could be affected;
- In the event of a Natech accident, or any other chemical accident, communication is activated immediately between industry and public authorities so that appropriate emergency measures are initiated and clear information is provided to the public regarding the behaviour to be adopted;
- This communication is two-way, active, informed and continuous. It should also take into account crisis communication planning;
- Communication takes place between different technical disciplines, within industry and various public authorities (at the national and local levels), and with the public, including in a transboundary setting, where relevant.

In addition, **senior leaders in industry** should ensure that:

- They receive information concerning Natech risks of existing activities in the vicinity of their installation and that they are involved in consultations on changes in the vicinity at the planning stage.

For this purpose, **senior leaders in public authorities** should:

- Publish information on natural hazards that may trigger a Natech accident and communicate it to the senior leaders of hazardous installations that may be affected by them;
- Make sure that early warning and alert systems for natural hazards that may trigger a Natech accident are in place to inform the public that may be affected by a Natech accident, including across borders in case of possible transboundary effects.

Communication with the public and communities

Senior leaders in public authorities should ensure - in collaboration with industry as the public authority deems necessary and appropriate - that the potentially affected public within and across borders:

- Are provided with sufficient information to understand natural hazards, the associated Natech risks and their exposure to those risks. This should also include any related prevention, preparedness and response measures, including actions they should take in case of a Natech accident or the possibility of one occurring;
- Have opportunities to participate in decision-making related to hazardous installations that may be affected by natural hazards. Such participation could, for example, include commenting on proposed regulations or zoning decisions, providing input for procedures concerning licensing or siting of specific installations and contributing to the development of contingency plans;
- Are widely encouraged to take advantage of information provided and of opportunities to participate in decision-making processes. This allows the public to present the perspective of the community and with an aim for all people, regardless of their gender, age, ability and other risk factors, to be engaged;
- In case of a Natech event, is promptly notified of the respective health and environmental risks, and precautionary measures they could take to protect themselves;

In addition, **senior leaders in public authorities** should ensure that:

- They facilitate the sharing of experience by providing public databases of past accidents and publishing investigation reports;
- The public has the opportunity to participate in decision-making on off-site emergency plans and that these plans include worst-case and more likely Natech scenarios.

6 Leadership of a multidisciplinary team

Since Natech risk is a multi-hazard risk, Natech risk management should involve stakeholders from different disciplines, each providing input and guidance related to their field of expertise. These stakeholders can include experts in process safety, structural engineering, and natural hazards for Natech risk analysis, or process safety engineers, first responders, public authorities and the public for Natech emergency management.

Leaders in industry should:

- Call attention to the need for multi-disciplinary expertise for Natech risk management and facilitate the setting up of a dedicated expert team to address the various aspects of Natech risk management at site level;
- Ensure that sufficient resources are available for the team, drawing on internal expertise as much as possible and supporting the involvement of external expertise if the required competences are not available in-house;
- Designate a team leader with sufficient experience and communication skills to guide a multi-disciplinary team towards reaching its objectives, including overcoming complexities due to discipline-specific terminology;
- Define management expectations and goals, as well as milestones to monitor the team's progress toward achieving Natech risk management requirements and targets.

Senior leaders in public authorities should:

- Ensure inclusion of natural hazard experts in the team preparing the external emergency plan to account for the natural disaster conditions possibly existing at the time of the Natech accident. They could affect civil protection actions, such as evacuation or shelter in place, or exacerbate the consequences of the accident;
- Develop policy platforms or working groups across ministries/agencies, disciplines and sectors to ensure coordination and cooperation in addressing Natech risks.

7 International and transboundary considerations

Transboundary hazards, risks and interactions need to be taken into consideration to effectively manage and mitigate Natech risks. Natech events can have widespread impacts on the health and well-being of people, through air, soil and water pollution, the latter with the potential for large-scale and transboundary consequences that can affect other countries, regions and transboundary waters and require costly clean-up and remediation efforts. In addition, natural hazards in one country can have transboundary consequences and lead to Natech events in other countries.

This section provides guidance to establish and strengthen international and transboundary cooperation in Natech risk management, including in line with a multi-hazard approach to disaster risk management. International legal and policy instruments and frameworks, such as the UNECE Convention on the Transboundary Effects of Industrial Accidents and the Sendai Framework for Disaster Risk Reduction, provide a basis for such cooperation as specified in this section and integrated across the guidance.

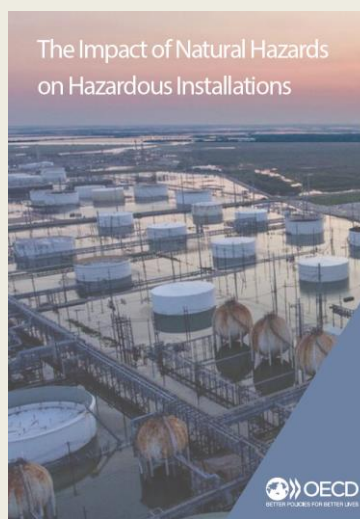
Senior leaders in industry and public authorities should ensure that:

- Knowledge exists of the transboundary causes and the prevention and mitigation of transboundary Natech events;
- International and transboundary cooperation in addressing Natech risks is integrated into relevant policies and measures (e.g. on climate change adaptation, disaster risk reduction, water management, and industrial safety) and coordinated across the respective areas of governance;
- Inter-institutional cooperation between competent authorities on the local, regional and transboundary levels to address (among others) Natech risk management, is established and maintained;
- The risks of hazardous installations capable of causing transboundary effects due to natural hazards are identified and information is shared with countries and communities that could be affected by these;
- Risk assessments of natural hazards with potential impacts on industrial sites in transboundary zones (e.g. river deltas where industrial installations can be present in higher densities) are conducted and the results are used in respective decision-making on land-use planning and siting;
- Transboundary elements of Natech risks are integrated into emergency plans, including through the development of joint and harmonized emergency plans across countries, and into response measures to ensure coordinated responses in case of a Natech event with transboundary effects;
- Early warning, alert and industrial accident notification systems are in place to inform neighbouring and riparian countries and communities of natural disasters that could have transboundary effects and possibly trigger industrial accidents and allowing them to request and render mutual assistance;
- Industrial accident notification systems are operational to inform respective authorities, first responders and communities across countries in case of a Natech event with transboundary

effects, and that an alternative mode of notification is available in case natural hazards prevent their use (e.g. power outages);

- Exchanges of experience, good practices and lessons learned in managing Natech risks are routinely fostered across countries, regions and globally through multilateral fora.

A brochure was developed by the OECD that aims to raise awareness of Natech risks and the challenges associated with their management. It also describes the work and resources of international organisations to support improved understanding of and resilience to Natech, see <https://www.oecd.org/content/dam/oecd/en/topics/policy-sub-issues/chemical-accident-prevention-preparedness-and-response/impact-of-natural-hazards-on-hazardous-installations.pdf/impact-of-natural-hazards-on-hazardous-installations.pdf>



8 Self-assessment checklist

These self-assessment checklists are provided to:

- help senior leaders in industry evaluate how well they are including Natech risk as part of their organisation's process safety management;
- help senior leaders in public authorities to ensure that the impact of natural hazards on hazardous installations is fully considered in the safety strategy and inspection and enforcement measures.

The questions focus on key considerations for Natech risk management and they are intended to be answered by senior leaders in industry and public authorities: at this stage answer these questions yourself as best you can. Once you have done so, you should then discuss with your staff how to address any gaps, get more information, or find out the status of 'work in progress' to address known gaps.

The questions are intended to be answered using 'traffic light' scores:

1 = Yes, and I can demonstrate this 

2 = Uncertain, I would need to find out more, or this is work in progress 

3 = No, I think there is a gap 

SELF-ASSESSMENT CHECKLIST FOR SENIOR LEADERS IN INDUSTRY

			
Preventing Natech Accidents			
1. Are you aware of the natural hazards that can impact your installations, wherever they are located in the world?			
Do you know the type of natural hazards that can have an impact?			
Do you know what type of impacts these natural hazards can have on your installation(s)?			
Do you know how climate change projections may alter these natural hazard intensities and frequencies?			
Are you proactively searching for this information?			
2. Do you know the main challenges of Natech risk?			
3. Have you ensured that Natech risk management is integrated into your chemical accidents prevention, preparedness and response measures?			
4. Have you ensured that Natech risk management identifies all relevant Natech scenarios, including those triggered by “minor” natural hazards, such as lightning and low temperatures?			
5. Have you ensured that sufficient human, financial and time resources are available to fully include Natech risk management as part of process safety procedures within your organisation?			
6. Do you have arrangements in place to make sure that Natech risk management is working effectively, and to identify areas for improvement?			
7. Have you ensured that Natech risk management is included in audits?			
8. When a Natech accident occurs, do you ensure that the triggering natural hazard is clearly reported as the cause of the accident?			
Have you implemented a system for learning from these accidents?			
In case there were Natech accidents at your installation(s) have you adapted risk management approaches based on lessons learned from these accidents?			
Where appropriate, have you shared lessons learned from your organisation’s own incidents with others externally (for example with companies in the same sector)?			
9. Have you ensured that natural hazards are taken into consideration in siting and in design and construction?			

10. Have you considered the possible impacts of climate change on Natech risks at your installations, wherever they are located in the world?			
Are you in contact with the relevant public authorities to be kept informed of the possibly changing natural hazard risk?			
Do you have a climate change adaptation strategy that considers Natech risk?			

Emergency Preparedness and Response

11. Are natural hazards and Natech accidents considered in the on-site emergency plan at your installation(s)?			
12. Have you ensured that alert systems are properly functioning properly?			

Communication

13. Are Natech risks clearly communicated to all employees within your organisation as well as the measures implemented to address them?			
14. Is there communication and coordination between your organisation and public authorities, in particular at the local level?			
on the occurrence and type of natural hazards in the region?			
on warning and alert systems?			
on the emergency preparedness and response plans in case of a Natech accident?			
15. Does your organisation work with local public authorities to inform communities of Natech risks?			

International and Transboundary Considerations

16. Are you aware of the possible transboundary consequences of Natech accidents at your installations?			
17. Are you aware of possible transboundary consequences of Natech accidents at other installations which pose a risk to your installations?			

SELF-ASSESSMENT QUESTIONS FOR SENIOR LEADERS IN PUBLIC AUTHORITIES

			
Preventing Natech Accidents			
1. Are you aware of the natural hazards that can impact hazardous installations in your country/region?			
Do you know the type of natural hazards that can have an impact?			
Do you know how climate change projections may impact these natural hazard intensities and frequencies?			
Do you know what type of impacts these natural hazards can have on hazardous installations?			
Are you proactively searching for this information			
2. Have you ensured that Natech events are monitored in your country and reported into a national database?			
3. Do you encourage reporting of Natech events also into databases of international organisations (for example the JRC's eNATECH database or through national implementation reports to the UNECE Industrial Accidents Convention)?			
4. In case there were Natech accidents in your country/region have you adapted risk management approaches based on lessons learned from these accidents?			
5. Have you ensured that information systems have been developed (such as maps) that show the type, intensity and frequency of natural hazards that can impact hazardous installations?			
Is this information communicated to industry?			
Is this information communicated to other stakeholders, for example other relevant public authorities, neighbouring or riparian countries, experts as well as communities and the public?			
6. Are you pursuing multi-sectoral policies and approaches to address Natech risks, including across relevant authorities (e.g. disaster risk reduction, environment, emergency services, occupational safety and health, transport, etc.)?			
7. Have you included the possible impact of changes in climate and climate projections in the information communicated to industry?			

Do you have guidance material to support industry in the development of climate change adaptation strategies considering Natech risks?			
Are Natech risks considered in national climate change adaptation strategies?			
8. Have you ensured that Natech risks are considered in land-use planning decisions and licensing/permitting for hazardous installations?			
9. Have you ensured that Natech risk is included as part of inspection activities?			
Emergency Preparedness and Response			
10. Have you ensured that off-site emergency preparedness and response plans include potential Natech risks?			
11. Have you ensured that early warning and alert systems consider Natech risks?			
Communication			
12. Have you ensured that there is communication and coordination with industry concerning Natech risks and emergency preparedness and response?			
13. Have you ensured that there is sufficient communication with communities and the public?			
on the type, intensity and frequency of natural hazards?			
on the risk of associated Natech accidents?			
on Natech prevention measures?			
on Natech response measures (including recommended behavior in case of Natechs)?			
on opportunities for public participation in the development of preparedness and response plans?			
International and Transboundary Considerations			
14. Have you ensured that guidance developed at the national and international level on Natech risk management is proactively communicated to the organisations concerned in your country/region?			
15. Are you coordinating and co-operating with neighbouring and riparian countries with respect to Natech events capable of causing transboundary effects, including for harmonised and (where possible) joint prevention, preparedness and response?			

9 For further reading

Guidance on Natech risk management, Necci, A. and Krausmann, E., EUR 31122 EN, Publications Office of the European Union, Luxembourg, 2022, doi:10.2760/666413?, <https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/handle/JRC129450>.

Natech Common Inspections Criteria, European Commission Joint Research Centre, 2021, https://minerva.jrc.ec.europa.eu/en/shorturl/minerva/jrc121493cic_natechnewpdf

eNATECH accident database: <https://enatech.jrc.ec.europa.eu/>

RAPID-N Natech risk assessment system: <https://rapidn.jrc.ec.europa.eu/>

OECD Brochure for Natech Risk Awareness (2022)
<https://www.oecd.org/content/dam/oecd/en/topics/policy-sub-issues/chemical-accident-prevention-preparedness-and-response/impact-of-natural-hazards-on-hazardous-installations.pdf/impact-of-natural-hazards-on-hazardous-installations.pdf>

OECD (2013), Report of the OECD Workshop on Natech Risk Management (23-25 May 2012, Dresden, Germany), ENV/JM/MONO(2013)4

OECD (2019), Natech Risk Management: 2017-2020 Project Results, ENV/JM/MONO(2020)4

OECD / UNECE / Umweltbundesamt Germany: Examples of Good Practice In Natech Risk Management, <https://www.umweltbundesamt.de/en/topics/economics-consumption/plant-safety/examples-of-good-practice-in-natech-risk-management>

OECD (2023), OECD Guiding Principles for Chemical Accident Prevention, Preparedness and Response - Third Edition, Series on Chemical Accidents, OECD Publishing, Paris, <https://doi.org/10.1787/162756bf-en>

OECD, Decision-Recommendation of the Council concerning Chemical Accident Prevention, Preparedness and Response, [OECD/LEGAL/0490](https://www.oecd.org/legals/0490)

UNECE/OECD Seminar on effective management of technological risks of accidents triggered by natural hazards: <https://unece.org/environmental-policy/events/uneceoecd-seminar-effective-management-technological-risks-accidents>

UNECE Convention on the Transboundary Effects of Industrial Accidents: <https://unece.org/environment-policy/industrial-accidents>

UNECE webpage on Natech: <https://unece.org/industrial-accidents-convention-and-natural-disasters-natech> Decision 2022/1 - Strengthening Natech risk management in the UNECE region and beyond: https://unece.org/sites/default/files/2023-05/Decision%202022_1.pdf

UN Convention on the Protection and Use of Transboundary Watercourses and International Lakes: <https://unece.org/environment-policy/water>

Risk Assessment for Industrial Accident Prevention: An Overview of Risk Assessment Methods, Selected Case Studies and Available Software, UNECE, <https://unece.org/info/Environment-Policy/Industrial-accidents/pub/391975>

UNECE Convention on Access to Information, Public Participation in Decision-making and Access to Justice in Environmental Matters (Aarhus Convention):
<https://unece.org/environmental-policy-1/public-participation>

UNECE Convention on Environmental Impact Assessment in a Transboundary Context (Espoo Convention): <https://unece.org/environmental-policy-1/environmental-assessment>

Assessment of and planning for natural hazards, AIChE (2019), CCPS Monograph,
<https://www.aiche.org/sites/default/files/html/536181/NaturalDisaster-CCPSmonograph.html>

UNDRR work on disaster risk reduction: <https://www.undrr.org/>

ILO Prevention of Major Industrial Accidents Convention No. 174:
https://www.ilo.org/dyn/normlex/en/f?p=NORMLEXPUB:55:0::NO::P55_TYPE,P55_LANG,P55_DOCUMENT,P55_NODE:CON,en,C174,/Document

ILO Prevention of Major Industrial Accidents Recommendation No. 181:
https://www.ilo.org/dyn/normlex/en/f?p=NORMLEXPUB:55:0::55:P55_TYPE,P55_LANG,P55_DOCUMENT,P55_NODE:REC,en,R181,/Document

ILO Code of Practice on Major Industrial Accidents: https://www.ilo.org/global/topics/safety-and-health-at-work/normative-instruments/code-of-practice/WCMS_107829/lang--en/index.htm

ILO issue paper - Climate Change and Labour: Impacts of Heat in the Workplace:
https://www.ilo.org/global/topics/green-jobs/publications/WCMS_476194/lang--en/index.htm

ILO research report - Working on a warmer planet: The effect of heat stress on productivity and decent work: https://www.ilo.org/global/publications/books/WCMS_711919/lang--en/index.htm

Canadian Standards Association, CSA Group CAN/CSA Z767-24 Process Safety Management,
https://www.csagroup.org/store/product/CSA_Z767%3A24/

Managing Risks from Natural Hazards to Hazardous Installations (Natech)

A Guide for Senior Leaders in Industry and Public Authorities

Series on Chemical Accidents

Natural hazards such as lightning, high and low temperatures, landslides, earthquakes or floods can impact the operation and safety of hazardous installations and result in accidents referred to as Natural Hazard Triggered Technological accidents (or Natech accidents). Installations that process, store or handle hazardous substances can in principle be vulnerable to the impact of natural hazards. Recent Natech accidents around the globe have shown significant impacts on people, the environment, infrastructure and business continuity. Leaders in industry and public authorities need to act to ensure the appropriate governance and management of Natech risk. Changes in climate may affect the intensity, frequency and location of natural hazards, and this should be taken into account when analysing Natech risks. Leadership, combined with appropriate technical assessment, will enable long-term operability and sustainable development at hazardous installations, including where the threat level changes due to climate change. This guidance is specifically aimed at supporting senior leaders in industry and public authorities set direction for implementing Natech prevention, preparedness and response measures. This document will aid senior leaders to self-assess how prepared their organisation is in managing Natech risks effectively.