FOI MEMO
Projekt/Project
Kunskapscentrum för katastroftoxikologi

Sidnr/Page no
1 (12)

Projektnummer/Project no
E41607

Uppdragsgivare/Client
Socialstyrelsen

FoT-område
Inget FoT-område

Datum/Date
2026-09-30

Memo nummer/Number
FOI Memo 9389

Forskningsöversikt - Katastroftoxikologi

Nationellt kunskapscentrum i katastroftoxikologi, bevakningsperiod 2024–2026.



Foto: FOI

Titel/Title
Forskningsöversikt - Katastroftoxikologi

Memo nummer/Number
FOI Memo 9389

Sammanfattning

Det nationella kunskapscentrumet för katastroftoxikologi (KcC) ansvarar för regelbunden rapportering om forskningsutvecklingen inom området till Socialstyrelsen.

Området katastroftoxikologi omfattar personsanering, hälsoriskbedömningar, diagnostik och medicinsk behandling vid exponering för hälsofarliga kemikalier utifrån ett katastrofmedicinskt perspektiv, med fokus på situationer med många skadade. Både avsiktlig spridning och olyckor med toxiska eller frätande kemiska ämnen ingår, där exponering kan påverka andningsvägar, ögon och hud.

Forskningsöversikten belyser aktuell forskning om beredskap för C-händelser inom katastroftoxikologi, där följande övergripande trender kan identifieras:

- fortsatt fokus på medicinska motmedel
- CBRN som en integrerad del av hälso- och sjukvården och inte enbart av säkerhetssektorn
- artificiell intelligens (AI) blir ett alltmer naturligt verktyg inom CBRN-området
- snabb fältdetektion och portabla system prioriteras
- utveckling av mer avancerad och multifunktionell skyddsutrustning
- ökat behov av samarbete mellan akademi, vård, industri och myndigheter.

Målgruppen för forskningsöversikten är aktörer inom hälso- och sjukvård samt det civila försvaret.

Nyckelord: katastroftoxikologi, forskningsöversikt, C-händelser, farliga kemikalier

1 Inledning

Socialstyrelsen har sedan januari 2024 en överenskommelse med FOI om upprätthållande av expertis inom området katastroftoxikologi. Huvudsyftet med uppdraget är att bidra till totalförsvarsplaneringen inom hälsa, vård och omsorg vid allvarliga kemiska händelser och därigenom stärka det civila försvaret i Sverige. Verksamheten utgår från den hotbild avseende kemiska ämnen (kemiska stridsmedel och industrikemikalier) som beskrivs i Handlingskraft.[1] Nationellt kunskapscentrum för katastroftoxikologi (KcC)[2] har, som en del i detta uppdrag, till uppgift att regelbundet rapportera om kunskapsutvecklingen inom området till Socialstyrelsen. Rapporteringen inkluderar en forskningsöversikt som omfattar perioden från 2024 fram till idag.

Området katastroftoxikologi omfattar personsanering, hälsoriskbedömningar, diagnostik och medicinsk behandling vid exponering för hälsofarliga kemikalier ur ett katastrofmedicinskt perspektiv, med fokus på situationer med många skadade. Både avsiktlig spridning och olyckor med toxiska eller frätande kemiska ämnen ingår, där exponeringen kan påverka andningsvägar, ögon och hud.

Den vetenskapliga utvecklingen inom det kemiska CBRN-området har hitintills kännetecknats av en ökad integration av medicinsk forskning, digital teknik och beredskapsforskning. Forskningen har omfattat utveckling av nya medicinska motmedel och biomarkörer för kemiska stridsmedel och giftiga industrikemikalier, liksom tillämpningar av artificiell intelligens för diagnostik, triagering och kliniskt beslutsstöd. Samtidigt har utvecklingen av metoder för personsanering och fysisk skyddsutrustning fortsatt med fokus på ökad effektivitet, användbarhet och operativ förmåga. Ett återkommande tema har även varit hur hälso- och sjukvårdens beredskap kan stärkas genom förbättrad planering, utbildning och organisatoriska lösningar för att hantera kemiska masskadehändelser. Vidare har intresset för läkemedelsåteranvändning (*drug repurposing*) ökat, där redan godkända läkemedel utvärderas för nya användningsområden inom CBRN, vilket kan möjliggöra en snabbare implementering av medicinska motåtgärder vid kemiska händelser.

Det har publicerats flera internationella vägledningar och analyser som betonar behovet av att stärka samhällets CBRN-beredskap. FN:s forskningsinstitut UNICRI[3] presenterade en omfattande vägledning som lyfter fram vikten av långsiktig beredskapsplanering, tydliga styrningsstrukturer, utbildning och internationell samverkan för att möjliggöra effektiva insatser vid CBRN-händelser.[4] Samtidigt visar en rapport från Geneva Association att den globala CBRN-hotbilden har ökat till följd av teknikutveckling och ett växande hot från ett antal statliga och icke-statliga aktörer. Rapporten pekar även på betydande samhälleliga och ekonomiska sårbarheter, där ett stort beredskapsgap riskerar att förvärra konsekvenserna av framtida incidenter.[5] Även Världshälsoorganisationen (WHO) lyfter att de ökade geopolitiska spänningarna innebär en växande risk för både avsiktliga och oavsiktliga CBRN-händelser och betonar behovet av att stärka sjukhusens beredskap. Genom erfarenhetsutbyten och utveckling av praktiska verktyg, i samarbete med EU-kommissionen, arbetar WHO för att stärka hälso- och sjukvårdens förmåga att hantera CBRN-händelser.[6] Sammantaget illustrerar dessa initiativ ett ökat internationellt fokus på att stärka samhällets motståndskraft genom forskning, teknikutveckling, strategisk beredskapsplanering och en allt tydligare integrering av CBRN-frågor i hälso- och sjukvårdens beredskapsarbete.

---

[1] Försvarsmakten och Myndigheten för samhällsskydd och beredskap, 2021
[2] KcC@foi.se, Besöksadress: Cementv. 20, Umeå, Tel: +46 90-10 66 00, www.foi.se
[3] FN/UNICRI (United Nations Interregional Crime and Justice Research Institute)
[4] https://unicri.org/sites/default/files/2025-04/CBRN%20Toolkit.pdf?
[5] Geneva Association and International Forum of Terrorism Risk (Re)Insurance Pools (IFTRIP). 2025. Insurance and Chemical, Biological, Radiological, and Nuclear Risks. September. https://www.genevaassociation.org/sites/default/files/2025-09/cbrn_report_090925.pdf
[6] https://www.who.int/europe/news-room/events/item/2025/06/18/default-calendar/hospital-preparedness-for-cbrn-emergencies---peer-exchange-series?

Målgruppen för denna forskningsöversikt är aktörer som verkar inom hälso- och sjukvårdssektorns arbete med krisberedskap och civilt försvar. FOI svarar för innehållet i sammanställningen.

2 Forskning inom katastroftoxikologi

Information om denna typ av forskning samlades in genom litteraturgenomgångar och deltagande i vetenskapliga konferenser. Några forskningsområden som KcC vill lyfta fram i kapitel 2.1–2.4 är;

2.1 Medicinskt skydd

Utvecklingen av medicinska motmedel mot kemiska hälsoeffekter bygger i huvudsak på två parallella strategier[7]:

1. utveckling av helt nya läkemedelssubstanser
2. återanvändning av redan godkända läkemedel för nya användningsområden (*drug repurposing*).

Nya läkemedelssubstanser behövs för effektivare behandling av kemiskt skadade patienter, exempelvis vid exponering för nya nervagens och andra potentiella hotsubstanser. Samtidigt erbjuder *repurposing* betydande fördelar genom kortare utvecklingstid, lägre kostnader och ett snabbare regulatoriskt förfarande, eftersom läkemedlens säkerhetsprofil redan är väl dokumenterade. Detta gör strategin särskilt attraktiv ur ett beredskapsperspektiv, där behov av tillgängliga medicinska motmedel snabbt kan uppkomma och tvärt förändras. Samtidigt finns begränsningar, eftersom läkemedel som utvecklats för andra indikationer inte alltid har optimal effekt mot den aktuella exponeringen, och ett alltför ensidigt fokus på återanvändning riskerar att minska incitamenten för utveckling av helt nya motmedel. För att påskynda tillgången av nya medicinska motmedel har möjligheten att införa regulatoriska undantag, liknande den amerikanska Animal Rule[8], lyfts fram. Detta regelverk gör det möjligt att godkänna läkemedel baserat på data från relevanta djurmodeller när kliniska studier på människa inte är etiskt eller praktiskt genomförbara, vilket ofta är fallet vid utveckling av motmedel för kemiska stridsmedel. Ett motsvarande regelverk skulle kunna stärka beredskapen även i Europa. Den europeiska läkemedelsmyndigheten (EMA) har redan visat att godkännanden kan baseras på annan evidens än omfattande kliniska effektstudier på människa. Exempelvis har läkemedel mot biologiska hot, såsom tecovirimat och obiltoxaximab, godkänts med stöd av djurstudier, *in vitro*-data samt säkerhets- och farmakokinetiska studier på människa, när den samlade evidensen har bedömts vara tillräcklig för att indikera klinisk nytta. [9] Sammantaget illustrerar detta att både innovation av nya läkemedel och återanvändning av befintliga läkemedel och anpassade regulatoriska processer är centrala komponenter för att stärka samhällets CBRN-beredskap. Denna utveckling speglas också i Natos uppdaterade CBRN-koncept från 2025[10], där medicinska motmedel som antidoter, biologiska läkemedel och vacciner i högre grad ska utvecklas för generell behandling oberoende av hotbild (*threat-agnostic capabilities*), snarare än specifika motmedel riktade mot en fördefinierad lista över klassiska stridsmedel. Konceptet avses tillämpas i linje med Nato:s *Action Plan to Enhance Medical Support for Collective Defence* (MAP), som antogs i januari 2025.[11] Konceptet betonar ett integrerat omhändertagande som inkluderar

[7] Quattrochi L *et al.* 2024. Strengthening Warfighter Resiliency Using Broad-Spectrum or Host-Directed Therapies within the Rapid Acquisition and Investigation of Drugs for Repurposing Program. J Pharmacol Exp Ther. DOI: 10.1124/jpet.123.001721

[8] https://www.fda.gov/emergency-preparedness-and-response/preparedness-research/animal-rule-information

[9] Buchholz S *et al.* 2026.Use of animal efficacy, pharmacokinetic/pharmacodynamic and first in human data for regulatory approval of treatment options against chemical, biological, radiological and nuclear threats. Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci. DOI:10.1098/rstb.2024.0355

[10] MC 0603/2, NATO's Chemical, Biological, Radiological and Nuclear (CBRN) Defence Concept, 20 January 2025.

[11] https://www.nato.int/en/news-and-events/articles/news/2025/11/20/nato-health-officials-meet-to-discuss-medical-support-for-collective-defence. Länk från 2026-09-08.

profylax, akutsjukvård och långsiktig rehabilitering, där behandling ska initieras på grundval av CBRN-detektion, underrättelseinformation eller symtombaserad triagering. Under initiativet Medifence kommer EU i samarbete med NATO:s planeringsgrupp för hälsofrågor (Joint Health Group) att identifiera medicinska motmedel med dubbla användningsområden, för både civilt och militärt bruk.[12] EU har även inom ramen för Preparedness Union Strategy presenterat en strategi för att främja forskning och innovation, stärka tillgången till medicinska motmedel och utveckla produkter för användning inom både civil och militär verksamhet.[13]

Medicinska motmedel som fortfarande är ett av de högst prioriterade forskningsområdena:

- nya bredspektrumantidoter mot nervgaser
- vacciner
- biologiska läkemedel
- värdriktade terapier (host-directed therapies)
- biomarkörer för diagnostik och behandling.

2.1.1 Nervgaser

Organiska fosforföreningar som nervgaser (OPNAs) utgör fortsatt ett allvarligt kemiskt hot, och effektiv medicinsk behandling är avgörande för att begränsa både akut dödlighet och långvariga skador efter exponering. Trots att etablerade läkemedel kan motverka flera av de akuta kolinerga effekterna kvarstår vissa begränsningar, bland annat vad gäller det 1) starka tidsberoendet för optimal behandling, 2) varierande effektivitet mot olika nervagens samt möjligheten att 3) förhindra sekundära neurologiska skador. Aktuell forskning omfattar därför både utveckling av nya medicinska motmedel och optimering av befintliga behandlingsprinciper, därutöver har snabb diagnostik, effektiv prehospital behandling och beredskap vid masskadehändelser uppmärksammas i allt högre grad. Simuleringar av masskadehändelser med sarin visar att tidig antidotbehandling och snabb evakuering, är avgörande för att minska dödligheten. Resultaten pekar på att specialiserade sjukvårdsteam[14] i kombination med ett *Scoop & Run*-upplägg kan förbättra utfallet, vilket understryker vikten av god tillgång till antidoter och välplanerade prehospitala insatser.[15]

Forskningen fram till nu visar en utveckling av nya och mer effektiva behandlingsstrategier vid nervgasförgiftning. Fokus har breddats från den klassiska behandlingen med atropin, oximer och bensodiazepiner till bland annat bredspektrumreaktiverare, CNS-penetrerande antidoter, behandling av sekundär neuroinflammation och utveckling av katalytiska bioscavengers. Även utvecklingen av stökiometriska bioscavengers, såsom rekombinant human butyrylkolinesteras (rBChE), är ett aktivt forskningsområde. Franska forskare har under 2026 rapporterat en modifierad BChE med självregenererande egenskaper, med potential att utvecklas till en bredspektrum-motåtgärd mot nervgaser.[16] I en annan studie av Thiermann *et al.* [17] diskuterar de hur experimentell kunskap om reaktivering av acetylkolinesteras (AChE) kan omsättas till kliniskt effektiva behandlingsstrategier. Samtidigt belyser författarna komplexiteten i oximbehandling, där effekten påverkas av bland annat vilken typ av nervgas som orsakat förgiftningen, exponeringsdosen, tid till behandlingen och graden av åldrat AChE enzym (*aging*). Det amerikanska försvarsdepartementet investerar i nästa generations medicinska motmedel mot nervgaser genom ett flerårigt forskningsprogram med fokus

[12] https://www.reuters.com/business/healthcare-pharmaceuticals/eu-aims-stockpile-critical-medical-supplies-future-crises-2025-07-09/?

[13] https://health.ec.europa.eu/publications/preparing-eu-next-health-crisis-medical-countermeasures-strategy_en

[14] Advanced Medical Support- AMS-team är en förkortning som kan variera mellan olika länder och studier, men i kontexten av kemiska masskadehändelser avses oftast ett specialiserat prehospitalt medicinskt insatsteam med fokus på antidotbehandling och avancerad medicinsk stödinsats.

[15] De Rouck *et al.* 2025. Impact of antidote quantity, timing and prehospital strategies in nerve agent mass casualty events: a simulation study. DOI:10.3389/fpubh.2025.1640554

[16] Brazzolotto, X. *et al.* 2026. An improved nerve agent bioscavenger based on the fast self-reactivation mechanism of porcine butyrylcholinesterase. Protein Science. DOI:10.1002/pro.70467

[17] Thiermann *et al.* 2025. Approaches to the treatment of nerve agent poisoning with emphasis on the role of oximes - from experimental studies to the intensive care unit. Clinical Toxicology. DOI:10.1080/15563650.2025.2501266

på förbättrad (bredspektrum) återaktivering av acetylkolinesteras och ökad överlevnad efter nervgasexponering.[18] Samtidigt kvarstår betydande kunskapsluckor kring behandling av förgiftningar med A-ämnen, där Tripathy *et al.* [19] framhåller att kunskapen om dessa nervagens fortfarande är begränsad och att konventionella oximer kan ha otillräcklig verkan. Ett exempel på utvecklingen av nya bredspektrumantidoter är RS194B, en CNS-penetrerande oximkandidat som visat lovande aktivitet mot OPNA förgiftning. I studier publicerade 2025 har RS194B visat snabb reaktivering av acetylkolinesteras och skydd efter exponering för bland annat sarin i makakmodeller[20], samt visat skyddande effekter på nervsystemet i en musmodell.[21] Detta understryker behovet av fortsatt utveckling av bredspektrumantidoter och andra behandlingsstrategier som är effektiva mot såväl etablerade som nyare nervagens.

Ett annat växande forskningsområde är behandling av de sekundära skadeprocesser som kan uppstå efter den akuta kolinerga krisen. Exponeringen för OPNA kan inducera oxidativ stress och neuroinflammatoriska processer som bidrar till kvarstående neurologiska skador. Meyer *et al.* [22] beskriver därför neuroprotektion som ett viktigt komplement till konventionell antidotbehandling och diskuterar bland annat hämning av NADPH-oxidas (NOX) som en potentiell behandlings-strategi. Forskning pågår även kring nya läkemedelskandidater, såsom antioxidanten bucillamin[23], med målet att minska nervgasinducerade hjärnskador. Detta är betydelsefullt eftersom en framgångsrik behandling av den akuta kolinerga krisen inte nödvändigtvis förhindrar senare neuropatologiska förändringar.

Sammantaget visar utvecklingen på ett växande internationellt fokus på att stärka den medicinska beredskapen mot kemiska hot genom såväl nya terapeutiska principer som optimerade behandlingsstrategier och långsiktiga strategiska investeringar.

2.1.2 Lungskador

Inhalation av toxiska industri- och jordbrukskemikalier, såsom klor, ammoniak, fosgen och klorpikrin, kan orsaka allvarliga skador på luftvägar och lungvävnad. Trots ämnenas olika kemiska egenskaper delar de ändå flera skademekanismer som epitelskador, inflammation och oxidativ stress. Dagens medicinska riktlinjer är däremot huvudsakligen inriktade mot symtomlindrande och livsuppehållande behandling och få mekanismspecifika läkemedel är kliniskt etablerade. Ökad kunskap om dessa gemensamma mekanismer, genom användningen av exempelvis cellstudier och försöksdjur i kombination med omikbaserade metoder och datamodellering, kan bidra till att identifiera nya terapeutiska mål.[24] Forskningen inriktas därför alltmer mot bredspektrum-behandlingar som påverkar gemensamma skademekanismer snarare än verkar mot ett specifikt agens. Detta är särskilt relevant vid kemiska olyckor och avsiktliga händelser där agens initialt kan vara okänt.

För klorgasinducerade lungskador är GABA(A)-receptormodulatorer ett nytt forskningsspår. [25] I ett pågående NIH/NIEHS-projekt undersöks hur MIDD0301, administrerat som aerosol eller intramuskulär injektion, kan förbättra återhämtning och överlevnad efter klorgasinducerad akut

[18] https://www.battelle.org/insights/newsroom/press-release-details/battelle-awarded-u.s.-department-of-defense-contract-to-develop-an-improved-nerve-agent-countermeasure
[19] Tripathy *et al.* 2026, Challenges and advances in the development of antidotes against A-series nerve agents. Arch Toxicol. DOI:10.1007/s00204-025-04216-8
[20] Rosenberg YJ *et al.* 2025. RS194B oxime mediated AChE-reactivation and protection in lethal sarin and insecticide organophosphate exposed macaques is accompanied by oxime-independent BChE increases; likely a result of liver damage. Chem Biol Interact. DOI: 10.1016/j.cbi.2025.111566
[21] Hrvat, M,N *et al.* 2025. The ionizing zwitterionic oxime antidote attenuates gliosis in mice exposed to sarin. Chemico-Biological Interactions. DOI: doi.org/10.1016/j.cbi.2025.111767
[22] Meyer *et al.* 2025. Organophosphate Chemical Nerve Agents, Oxidative Stress, and Neuroinflammation: An Overview. Int J Mol Sci. DOI:10.3390/ijms26199313
[23] https://revivethera.com/2025/05/revive-therapeutics-provides-update-on-research-study-evaluating-bucillamine-for-nerve-agent-exposure-4/
[24] Marzec J *et al.* 2024. Countermeasures against Pulmonary Threat Agents. J Pharmacol Exp Ther. DOI: 10.1124/jpet.123.001822.
[25] https://globalbiodefense.com/2025/07/13/nih-chlorine-gas-medical-countermeasures-chemical-defense/

lungskada. Genom att påverka den intracellulära kloridjonbalansen i lungvävnaden kan både inflammation och bronkkonstriktion mildras. Det är ett intressant koncept som väl motsvarar kraven på behandling i fält, det vill säga enklare och initial behandling som kan genomföras med begränsade medicinska resurser. Konceptet skulle exempelvis kunna vara relevant vid en industriolycka eller ett attentat, där ett stort antal personer kan behöva omhändertas innan mer kvalificerat medicinskt stöd finns på plats. Studien ingår i ett bredare amerikanskt arbete för att stärka beredskapen mot kemiska hot genom utveckling av snabbverkande behandlingar som kan ges prehospitalt.

Amerikanska BARDA:s Chemical MCM-program[26] har ett uttalat fokus på bredspektrum-behandlingar samt toxidrom- och skadebaserad behandling, eftersom kemiska händelser ofta sker plötsligt, är oförutsägbara och sällan har tillgänglig diagnostik i akutskedet. Programmet prioriterar bland annat behandling vid exponering för klor, blåsbildande kemikalier och nervgaser, med fokus på generell behandling av skadorna snarare än agensspecifika antidoter.

2.1.3 Cyanid

De största problemen vid cyanidhändelser är att dagens antidoter kräver intravenös administrering, vilket är svårt att genomföra vid ett stort antal samtidiga patienter. En stabil intramuskulär antidot skulle kunna förändra omhändertagandet vid industriolyckor, cyanidexponering vid bränder och avsiktliga C-händelser. En injicerbar cyanidantidot avsedd för administrering med autoinjektor har utvecklats. Den amerikanska armén har utvecklat en autoinjektor innehållandes DMTS (dimetyltrisulfid) för snabb behandling vid masskadehändelser. Produkten har nyligen nått en viktig utvecklingsmilstolpe genom licensiering till ett läkemedelsföretag.[27,28,29]

En annan lovande experimentell cyanidantidot för intramuskulär administrering är Sulfanegen som också har utvecklats med masskadehändelser i åtanke, men har en annan verkningsmekanism.[30] Den omvandlar cyanid till den betydligt mindre toxiska föreningen tiocyanat, som sedan utsöndras via njurarna. Prekliniska studier i möss, kaniner och grisar har visat på mycket god överlevnad efter cyanidförgiftning.

2.2 Artificiell intelligens

2.2.1 Elektroniska näsor

Elektroniska näsor (*e-noses*) och AI-baserad mönsterigenkänning utgör en av de tydligt framväxande forskningsinriktningarna inom sensorteknik[31] för exempelvis analys av gaser och utandningsluft. Det är ett område där utvecklingen går snabbt och som kan få stor betydelse för framtida diagnostik och för bedömning av exponering vid kemiska händelser. Sensorer i kombination med AI används för att identifiera karakteristiska kemiska signaturer snarare än enskilda ämnen. Tekniken utvecklas mot portabla system för snabb detektion, triagering och bedömning av exponering för kemiska stridsmedel och giftiga industrikemikalier direkt i fält.

Maskininlärning används i allt större utsträckning tillsammans med kemiska sensorer, till exempel Raman-spektroskopi och hyperspektrala sensorer, för att förbättra identifiering och klassificering av kemiska ämnen. Drönare och markrobotar utrustade med kemiska sensorer utvecklas för provtagning, spridningskartläggning och rekognosering i kontaminerade miljöer. Syftet är att minska exponeringen för räddningspersonal samtidigt som informationsinhämtningen förbättras.

---

[26] https://medicalcountermeasures.gov/barda/cbrn/chemical-medical-countermeasures
[27] https://www.armytimes.com/news/your-army/2025/05/16/army-researchers-develop-injectable-cyanide-antidote/
[28] https://dha.mil/News/2025/05/19/13/42/New-Cyanide-Countermeasure-Developed-at-USAMRICD-Reaches-Crucial-Milestone?
[29] https://mrdc.health.mil/index.cfm/media/articles/2025/cyanide_countermeasure?
[30] Patterson SE *et al.* 2016 Development of sulfanegen for mass cyanide casualties. Ann N Y Acad Sci. DOI: 10.1111/nyas.13114.
[31] Chowdhury, M. A. Z. *et al.* 2025. Artificial Intelligence in Gas Sensing: A Review. ACS Sens. DOI:10.1021/acssensors.4c02272

Utvecklingen av sensorer baserade på olika nanomaterial som till exempel grafen och elektrokemiska biosensorer fortsätter. Målsättningen är små och energieffektiva detektorer med hög känslighet som kan integreras i bärbar utrustning för kontinuerlig övervakning.

2.2.2 Triagering och telemedicin

Flera internationella studier under 2025 undersökte hur ny teknik kan stärka det medicinska omhändertagandet vid CBRN-händelser. Inom beslutsstöd visade AI-modeller god förmåga att snabbt och tillförlitligt förutsäga svårighetsgraden av hypoxemi, vilket kan förbättra triagering och avlasta prehospital sjukvårdspersonal i högriskmiljöer.[32] Samtidigt utvärderades användningen av telemedicin via smarta dataglasögon integrerade CBRN-skyddsdräkt. Resultaten visade att tekniken kan möjliggöra medicinskt stöd på distans och hjälpa mindre erfaren personal att utföra mer avancerade medicinska åtgärder med stöd av experter. Trots att den tekniska genomförbarheten bedömdes som god kvarstår flera tekniska begränsningar, vilket innebär att tekniken behöver vidareutvecklas innan den kan implementeras i operativ verksamhet.[33]

2.3 Personsanering och personligt skydd

2.3.1 Personsaneringsmetoder

Forskningen kring personsanering fokuserar på snabbare, effektivare och mer resurseffektiva metoder. Flera studier visar att tidig sanering är avgörande för att begränsa hudupptag och minska skador, samtidigt som valet av saneringsmetod behöver anpassas till det aktuella ämnet. För de flesta kemiska ämnen rekommenderas torr sanering som en första åtgärd när särskilda saneringsmedel inte finns tillgängliga, medan en kombination av torr och våt sanering generellt ger den högsta saneringseffektiviteten.[34, 35] FOI:s studier med senapsgas bekräftar att personsaneringsmedlet RSDL[36] är den mest effektiva av de utvärderade metoderna, men visar också att torr sanering före våtsanering ger ett gott skydd.[37] För vissa frätande ämnen, exempelvis koncentrerad svavelsyra, sker dock vävnadsskador så snabbt att effektiv sanering i praktiken endast är möjlig under de första sekunderna efter exponering.[38] Vid så snabb skadeutveckling bedöms effektiv sanering i fält därför som praktiskt omöjlig. En studie har visat att en tvåstegsstrategi med initial torr improviserad sanering följd av utökad sanering ger bättre resultat än någon av metoderna var för sig.[39]

Det utvecklas nya tekniska lösningar för både sanering och utvärdering av saneringsinsatser. Nya kostnadseffektiva analysmetoder har tagits fram för att studera hudpenetration och saneringseffektivitet för nervgaser, vilket kan underlätta framtida utveckling och validering av saneringsmetoder. Genom att till exempel kombinera enzymkinetiska data med användning av Franz-diffusionsceller kunde man exempelvis bedöma hur snabbt VX tränger igenom huden och hur effektiv saneringen var.[40] Samtidigt pågår forskning kring nya saneringsprodukter, där bland annat

---

[32] Nanini S. *et al.* 2024. Deep Learning Models for Hypoxemia Severity Triage in CBRNE Emergencies. DOI: 10.3390/diagnostics14232763

[33] Bovenkerk *et al* 2025. Telemedicine via data glasses in CBRN protection suit - Evaluation of medical qualification and technical feasibility. DOI:10.1371/journal.pone.0324558

[34] Jaskula,P *et al.* 2025. Methods of Skin Decontamination Following Exposure to Toxic Industrial Chemicals and Chemical Warfare Agents. DOI: 10.35808/ersj/4270

[35] Alshaikh E. *et al*. 2025. Evaluating the Effectiveness of Dry Decontamination Methods for Hazmat Incidents: A Scoping Review. DOI: 10.1017/dmp.2025.10058

[36] Reactive Skin Decontamination Lotion

[37] Höjer Holmgren, K. *et al.* 2025. Skin penetration and decontamination efficacy following in vitro human skin exposure to sulfur mustard. DOI:10.1016/j.toxlet.2025.07.1412

[38] Matar, H. *et al*. 2024. Evaluation of emergency skin decontamination protocols in response to an acid attack (vitreolage). Burns DOI: 10.1016/j.burns.2024.07.003

[39] Whalen, M.J *et al*. 2024. Skin decontamination with and without water irrigation. Disaster Med Public Health Prep. DOI:10.1017/dmp.2024.118.

[40] Schwab, A *et al.* 2025. A simple acetylcholinesterase inhibition assay for the quantification of the nerve agent VX: Application in a Franz cell model with rat skin and various decontaminants. Toxicol Lett. DOI:10.1016/j.toxlet.2025.01.002.

nanopartikelbaserade formuleringar som kombinerar sanering med lokal läkemedelsbehandling för att begränsa vävnadsskador från Lewisit.[41] Även utvecklingen av miljövänligare saneringsmetoder pågår, exempelvis genom enzymbaserad nedbrytning, katalytiska material och andra tekniker som syftar till att oskadliggöra kemiska stridsmedel med minskad miljöpåverkan.[42] Israeliska forskare har utvecklat och studerat AHAK, en ny saneringsmedel mot persistenta nervgaser som VX och novitjok. AHAK har i experimentella studier visat potential som en bredspektrumbehandling för hudexponering, genom att bryta ned nervgasen i huden och därmed minska fortsatt upptag i kroppen.[43]

Utvecklingen av operativa saneringsstrategier visar samtidigt en tydlig internationell trend mot snabbare och mer flexibla insatser. Den brittiska modellen Initial Operational Response (IOR), där omedelbar improviserad sanering genomförs innan mer omfattande resurser finns på plats, har fått ett allt större vetenskapligt stöd.[44] Även i Sverige pågår ett utvecklingsarbete där MCF och Socialstyrelsen, tillsammans med berörda aktörer[45], utvärderar internationella metoder och genomför praktiska metodförsök för att utveckla en mer robust och effektiv personsanering vid CBRN-händelser.[46] Ett tydligt skifte kan ses från fokus på vilken enskild saneringsmetod som är mest effektiv till hur saneringsstrategier kan optimeras utifrån exponering, tillgängliga resurser och operativa förutsättningar.

Pågående forskningsområden är:

- validering av saneringsmodeller
- katalytiska saneringssystem
- fasta saneringsmedel
- biologisk sanering
- miljöanpassad sanering.

2.3.2 CBRN-skyddsutrustning

Forskningen inom fysiskt skydd präglades av ett ökat fokus på att förbättra både skydds-utrustningens prestanda och användbarhet samt att neutralisera kemiska ämnen.
En marknadsinventering av CE-märkta och icke CE-märkta andningsskydd genomfördes för att kartlägga tillgängliga produkter på marknaden.[47] På konferenser framgår det att andningsskydd utvecklas mot att bli lättare, mindre bulkiga, och mer modulära, så att andningsskyddet lättare kan anpassas efter situation och riskbedömning. Även små inbyggda fläktar som minskar andnings-motstånd kommer mer och mer.[48] När det gäller skyddskläder visar studier att personlig CBRN-skyddsutrustning inte utgör ett betydande hinder för prehospitala livräddande åtgärder under förutsättning att användarna först har genomgått grundläggande träning med utrustningen.[49] Men det till trots pågår utveckling av avancerade skyddsmaterial, där nya textilbaserade kompositer och högpresterande adsorbenter tillsammans utgör material i flera lager med olika egenskaper för att både upptäcka, adsorbera och neutralisera kemiska stridsmedel och detta till en lägre termisk

---

[41] Bhattaccharjee, S.A. *et al.* 2025. Topical foam for simultaneous treatment and decontamination of chemical warfare agents on dermal exposure. AAPS PharmSciTech. DOI: 10.1208/s12249-025-03177-6
[42] Labaška, M. *et al*. 2024. Neutralizing the threat: A comprehensive review of chemical warfare agent decontamination strategies. Journal of Environmental Chemical Engineering. DOI; 10.1016/j.jece.2024.114243.
[43] Nili, U, *et al.* 2026. AHAK: a new effective medical countermeasure against percutaneous intoxication by Novichok chemical warfare agents. Arch Toxicol. DOI: 10.1007/s00204-026-04355-6
[44] Davidson L *et al*. 2024. Mass casualty decontamination following a chemical incident: evaluating improvised and interim decontamination protocols in a controlled cross-over volunteer study. Emerg Med J. DOI:10.1136/emermed-2024-214221.
[45] Personal inom kommunala, regionala och statliga aktörer som är delaktiga i eller stödjer skadeplatsnära hantering av CBRN på olika sätt.
[46] Utvärdering av metodförsök för personsanering. FOI Memo 9198
[47] Marknadsinventering av andningsskydd 2024, Tätsittande helmask klass 1, skyddshuvor samt aktiva och passiva flykthuvor, FOI-R-5731-SE
[48] Reserapport från CBRNE Convergence 2024. FOI-D-1539-SE
[49] Innocenzi S, *et al*. 2025. CBRNe Personal Protective Equipment Is Not a Hindrance to Lifesaving Procedures in Prehospital Settings: A Prospective, Repeated-Measures Observational Study. DOI:10.3390/epidemiologia6040057

belastning. Studier om nedbrytande förmåga hos metall-organiska ramverk (MOF) och andra typer av lovande adsorbenter fortsätter publiceras och nya material tas fram.[50] Sammantaget visar utvecklingen en tydlig trend mot multifunktionella skyddssystem som kombinerar förbättrad personlig skyddsutrustning med ökad förmåga att oskadliggöra kemiska ämnen under och efter exponering för militära, industriella och civila tillämpningar.[51]

Skyddsutrustning handlar inte längre enbart om barriärskydd. Målet är att utveckla multifunktionella skyddssystem som både skyddar användaren och bryter ned kemiska ämnen. Pågående forskningsområden är:

- MOF-material
- funktionaliserade textilier
- självsanerande material
- komfort och värmebelastning
- omnifoba[52] beläggningar.

2.4 Planering av hälso- och sjukvården för att minska konsekvenserna av C-händelser

Flera nationella och internationella studier pekar på behovet av att stärka hälso- och sjukvårdens beredskap för kemiska och andra CBRN-händelser. Återkommande identifieras brister inom utbildning, utrustning, samordning och ledningsstrukturer, samtidigt som studier visar att sjukvårdens förmåga kan förbättras genom regelbundna övningar, flexiblare vård- och bemanningsmodeller samt utvecklade beslutsstödsystem.[53] [54] Flera svenska rapporter har fokuserat på planering för antagonistiska händelser. FOI har, tillsammans med Karolinska Institutet, analyserat medicinskt omhändertagande vid kombinationsskador där kemisk exponering förekommer samtidigt som traumaskador, med särskilt fokus på medicinska prioriteringar, behandlingsstrategier och personsanering.[55] I en annan FOI-rapport presenteras dimensionerande målbilder och scenarier för antagonistiska CBRN-händelser, där sannolika skadeutfall och vårdbehov analyseras för att ge underlag till hälso- och sjukvårdens beredskapsplanering.[56] Sammantaget illustrerar dessa studier ett växande fokus på att stärka hälso- och sjukvårdens motståndskraft genom förbättrad planering, kompetensutveckling och scenariobaserad beredskapsutveckling för att minska konsekvenserna av framtida kemiska masskadehändelser. En viktig trend att inte fokus bara ligger på att nya läkemedel utvecklas utan också robustare vårdflöden för kontaminerade patienter.

3 Kunskapsluckor och lärdomar

Den genomgångna forskningen visar att det fortfarande finns flera viktiga kunskapsluckor inom CBRN-området för kemiska händelser. För kemikalieinducerade inhalationsskador saknas fortfarande kliniskt godkända läkemedel som behandlar de bakomliggande skademekanismerna. Dagens behandling är därför huvudsakligen symtomdämpande och livsuppehållande. Det finns också ett behov av medicinska motmedel som kan ges intramuskulärt, exempelvis med autoinjektor,

[50] Exempel på företag som har kommersialiserat MOF i andningsskydd och skyddskläder: https://www.numat.com/
[51] Yang, Y. *et al*. 2025. A critical review on integrated fabric-based functionalized composites for protection and decontamination of chemical and biological warfare agents. DOI:10.1016/j.ccr.2025.216905
[52] Ytor som kan stöta bort ett brett spektrum av vätskor
[53] Topcuoglu, U., Ersozlu, E. 2025. Prehospital preparedness of health systems against chemical, biological, radiological, and nuclear (CBRN) threats: A review. Turk J Clin Res. DOI:10.63909/1453006
[54] Mackie, B. *et al.* 2024. Strategies to Strengthen Hospital Response for Chemical, Biological, Radiological, and Nuclear Incident: A Multisite Study. DOI:10.1017/dmp.2024.151
[55] Kombinationsskador av trauma och kemiska exponeringar med fokus på kombinerade fysiska skador som kan uppkomma vid antagonistiska händelser. FOI-R--5728--SE
[56] Skadepanoraman och dimensionerande målbilder för hälso- och sjukvården vid anfall med massförstörelsevapen. FOI-R--5936--SE

istället för intravenös administrering, vilket begränsar deras användbarhet vid masskadehändelser. Dessutom saknas i Europa ett regelverk motsvarande den amerikanska Animal Rule, vilket kan försvåra eller fördröja utvecklingen och godkännandet av medicinska motmedel för hälsotillstånd där kliniska studier på människa inte är möjliga att genomföra.

Forskningen visar också att tidig behandling är avgörande, särskilt vid nervgasexponering där snabb antidotbehandling, kortare prehospitala insatstider och effektiv evakuering är viktiga för överlevnaden. En framtida beredskap bör därför kombinera utveckling av nya medicinska motmedel med läkemedelsåteranvändning (*repurposing*) för att snabbare kunna införa nya förbättrade behandlingar. Samtidigt går utvecklingen mot bredspektrumbehandlingar som riktar sig mot den kemiska skadan och dess symtom snarare än mot ett specifikt kemiskt ämne.

Inom fysisk skyddsutrustning utvecklas traditionella barriärmaterial till multifunktionella system som inte bara skyddar utan även kan upptäcka, adsorbera och neutralisera kemiska ämnen. Även inom personsanering finns betydande utmaningar, särskilt vid exponering för starkt frätande ämnen där vävnadsskador uppstår så snabbt att det kan vara svårt att genomföra en effektiv sanering.

4 Slutsatser

Det internationella hotet från CBRN-händelser förändras i takt med ökade geopolitiska spänningar och en snabb teknikutveckling, vilket ställer högre krav på samhällets beredskap och motståndskraft. Utvecklingen går mot mer snabbverkande generell behandling för användning i fält, effektiviserat omhändertagande av kontaminerade patienter, integrering av digital teknik samt stärkt beredskaps-förmåga inom hälso- och sjukvården genom utbildning, övning och scenariobaserad planering. För att minska konsekvenserna av kemiska masskadehändelser krävs ett helhetsperspektiv där medicinsk forskning, operativ planering och hälso- och sjukvårdens beredskap samverkar.

5 Lista över rapporter och vetenskapliga artiklar från FOI relevanta för kunskapsområdet, 2024–2026

- Örebrand m.fl. Omhändertagande av CBRN-skadade vid akutmottagning, OSA - Leverans av instruktörsutbildning samt material till grundutbildning FOI-R--5805-SE
- Örebrand m.fl. Rekommendationer för att stärka sjukvårdens förmåga att hantera händelser med CBRN. FOI-R--5585-SE
- Björnham m.fl. Skadepanoraman och dimensionerande målbilder för hälso- och sjukvården vid anfall med massförstörelsevapen. FOI-R--5936-SE
- Björnham m.fl. Beskrivning av metoder och antaganden som har använts till rapporten Skadepanoraman och dimensionerande målbilder för hälso- och sjukvården vid anfall med massförstörelsevapen. FOI-R--5653-SE
- Thors m.fl. Kombinationsskador av trauma och kemiska exponeringar - Med fokus på kombinerade fysiska skador som kan uppkomma vid antagonistiska händelser. FOI-R--5728-SE
- Thors m.fl. Förändringar i vitalparametrar hos kemiskt skadade individer – Användning av kroppsburna sensorer och sensormätning på distans för utveckling av triagemetodik. FOI-R--5597-SE
- Jonasson m.fl. Establishment of a real-time monitored animal model to evaluate novel therapeutic strategies for organophosphorus nerve agent poisonings. Toxicology and Applied Pharmacology, 2026.

- Rankin m.fl. Challenges and complexities in treating ammonia-induced lung injuries: ammonia disrupts cellular membranes and induces severe damage. Inhalation toxicology 2025.
- Jonasson m.fl. Potential exhaled breath biomarkers identified in chlorine-exposed mice. Journal of Analytical Toxicology 2024.
- Wigenstam m.fl. Cellular responses following ex vivo lung exposure to the nerve agent VX – Potential for additional treatment targets? Chem Biol Interact. 2024.
- Thors m.fl. Immediate dry decontamination using efficient absorbent materials is beneficial following skin exposure to low-volatile toxic chemicals. J Appl Toxicol. 2024.
- Höjer Holmgren m.fl. Skin penetration and decontamination efficacy following in vitro human skin exposure to sulfur mustard. Toxicology Letters. 2025.