



# IAEA:s lärdomar efter Fukushima Daiichi

I september 2015 publicerades IAEA:s stora rapport om olyckan vid kärnkraftverket Fukushima Daiichi, där tre av de sex reaktorerna fick härdsmältor. Olyckan orsakades av den tsunami som följde på en stor jordbävning den 11 mars 2011, och påvisade brister i säkerheten vid kraftverket. Rapporten, som är mycket omfattande och spänner över 1200 sidor, har delats upp i en rapport från IAEA:s generaldirektör, samt fem fördjupande tekniska rapporter som täcker olika ämnesområden. Generaldirektörens rapport innehåller 45 stycken observationer och lärdomar som kan dras från olyckan och relaterade omständigheter. Här återges dessa observationer och lärdomar i svensk översättning, med korta förklaringar om vad för aspekter i olycksförloppet vid Fukushima Daiichi som lett till de olika lärdomarna. Texten avslutas med några kommentarer om lärdomarna från europeiskt och svenskt perspektiv.

## Inledning

### En läsguide till detta dokument och och IAEA:s rapport

IAEA-rapporten "The Fukushima Daiichi Accident" [1] uppdelas i Generaldirektörens rapport och fem tekniska rapporter med fördjupad information. I rapporten dras 45 stycken observationer och lärdomar, härefter benämnda enbart lärdomar. Lärdomarna i grupperas i fyra ämnesområden; hänsynstaganden med avseende på reaktorsäkerhet; haveriberedskap och motåtgärder; strålningsrelaterade konsekvenser; och återhämtning efter olycka. I detta dokument ges en svensk översättning av de 45 lärdomarna så som de presenteras i sammanfattningen av Generaldirektörens rapport. Inför varje grupp av lärdomar ges en kort förklaring om vad för aspekter i olycksförloppet som lett till de olika lärdomarna, följt av själva lärdomarna i punktform. För information om händelseförloppet, eller mer utförliga förklaringar till de 45 lärdomarna, hänvisas till Generaldirektörens rapport, som ger en bra överblick även för den som inte är tekniskt insatt. De tekniska rapporterna rekommenderas för den som vill ha fördjupad information. En svensk sammanfattning av händelseförloppet vid kärnkraftverket ges i Analysgruppens rapport "Händelseförloppet vid Fukushima Daiichi 2011" [2].

### Ordval och definitioner

Fukushima är en prefektur (län) i Japan. Fukushima City, även benämnd Fukushima-shi eller Fukushima, är residensstaden i Fukushima prefektur. Kärnkraftverken Fukushima Daiichi (nummer ett) och Fukushima Daini (nummer två) ligger i Fukushima prefektur, drygt 60 km sydöst om Fukushima City. I texten benämns händelser som rör kärnkraftverket Fukushima Daiichi, och händelser som rör länet benämns Fukushima prefektur. Bolaget som driver kärnkraftverket Fukushima Daiichi heter Tokyo Electric Power Company och benämns TEPCO. För ord kring kärnkraftsäkerhet, strålskydd och regelverk används i förekommande fall relevanta begrepp från det svenska regelverket istället för en direkt översättning från engelska.

## Hänsynstaganden med avseende på reaktorsäkerhet

### Kärnkraftverkets sårbarhet för yttre händelser

Jordbävningen orsakade vibrationer som överskred kärnkraftverkets konstruktionsförutsättningar, men vibrationerna orsakade inga allvarliga skador på någon av reaktorerna eftersom de byggts med konservativa antaganden och därmed hade väl tilltagna säkerhetsmarginaler. Konstruktionen hade dock inte motsvarande säkerhetsmarginaler för extrema översvämningar som tsunamier, men uppfyllde gällande krav i Japan avseende tålighet mot tsunami. Kärnkraftverkets sårbarhet vid yttre händelser hade inte omvärderats på ett systematiskt och genomgripande sätt, och det japanska regelverket ställde inte några sådana krav. Vissa omvärderingar och uppdateringar hade genomförts, och vid tiden för olyckan pågick utvärderingar om att ta hänsyn till högre vågor vid tsunami än tidigare, men det hade inte implementerats.

#### Lärdomar:

- Bedömningen av naturfenomen behöver baseras på konservativa antaganden. För att karaktärisera risken för extrema naturfenomen räcker det inte med att ta hänsyn till historiska data vid upprättandet av kärnkraftverkens konstruktionsförutsättningar. Även när omfattande data på naturfenomen finns tillgängliga kvarstår stora osäkerheter på grund av de relativt korta tidspann som observationerna täcker.
- Konstruktionsförutsättningarna för kärnkraftverken behöver regelbundet omvärderas för att ta hänsyn till ny kunskap, och nödvändiga korrigerande åtgärder, eller kompensationsåtgärder, behöver implementeras utan onödiga dröjsmål.
- Bedömningen av naturfenomen behöver både ta hänsyn till möjligheten att flera naturfenomen samverkar, antingen samtidigt eller i följd, och deras kombinerade effekter på ett kärnkraftverk. Bedömningen behöver också beakta naturfenomenens effekter på flera reaktorer vid ett kärnkraftverk.
- Program för drifterfarenhetsåterföring behöver innehålla erfarenheter från både nationella och internationella källor. Säkerhetsförbättringar som identifierats genom driftserfarenhetsåterföring behöver implementeras utan onödiga dröjsmål. Användningen av driftserfarenhetsåterföring behöver utvärderas regelbundet och på ett oberoende sätt.

#### Tillämpning av djupförsvaret

Djupförsvaret är en säkerhetsmetodik som via flera lager av skydd tar hänsyn till att saker kan falla och att mänskligt agerande kan misslyckas med att upprätthålla säkerheten. Konstruktionen av kärnkraftverket Fukushima Daiichi inkluderade system och utrustning för de tre första nivåerna av djupförsvaret; (1) utrustning för att upprätthålla normal drift; (2) utrustning för att återföra reaktorn till ett säkert tillstånd efter avvikelse från normal drift; och (3) säkerhetssystem för att hantera olycksförlopp. Konstruktionen tog hänsyn till ett antal tänkbara händelser men hade inte fullt ut beaktat yttre händelser som tsunamier. Den översvämning som orsakades av tsunamin ledde till att de tre lagren i djupförsvaret utmanades samtidigt och fick säkerhetssystem på alla tre nivåerna att falla. Den fjärde nivån av djupförsvaret, att förhindra utvecklingen av ett olycksförlopp och lindra dess konsekvenser, var i Fukushima Daiichi beroende av elkraft, och det fanns brister i implementeringen av denna, varför åtgärderna inte kunde bibehålla reaktorinneslutningens integritet. Förlusten av elförsörjning, vilket ledde till att viktiga instrument blev otillgängliga, samt förlusten av kontrollfunktioner, gjorde det omöjligt att förhindra händelseutvecklingen och begränsa konsekvenserna av olyckan.

#### Lärdomar:

- Djupförsvarskonceptet förblir giltigt, men implementeringen av konceptet behöver stärkas på alla nivåer genom lämplig nivå av oberoende, redundans, diversifiering och skydd mot inre och yttre händelser. Det finns ett behov av att fokusera inte bara på förebyggande av olyckor utan också på att förbättra konsekvenslindrande åtgärder.
- Väsentliga instrument- och styrsystem, som är nödvändiga vid olyckor utanför anläggningens konstruktionsgränser, måste kunna fortsätta vara i drift för att kunna övervaka kraftverkets väsentliga säkerhetsparametrar, och för att underlätta hanteringen av anläggningen.

#### Misslyckandet att upprätthålla fundamentala säkerhetsfunktioner

För kärnkraften finns tre säkerhetsfunktioner; kärnreaktionen måste alltid hållas under kontroll; resteffekten måste alltid kunna kylas bort; och radioaktivitet måste alltid hållas inneslutet och under kontroll. Den första säkerhetsfunktionen uppfylldes i alla sex reaktorer vid Fukushima Daiichi. Den andra säkerhetsfunktionen, att kyla bort resteffekten, kunde inte upprätthållas i reaktor 1, 2 och 3, som en följd av att elförsörjningen försvann. I reaktor 1, 2 och 3 var det möjligt att under en tid hålla kärnen i reaktortanken vattentäckt med säkerhetssystem, men det var inte möjligt att föra bort resteffekten från reaktorinneslutningen, vilket ledde till att trycket i reaktorinneslutningen ökade. Tryckavlastning av reaktorinneslutningen erfordrades för att det höga trycket inte skulle skada inneslutningen. De säkerhetssystem som tillförde vatten till reaktortanken kunde under en tid fungera utan elkraft, men måste efter en tid ersättas med alternativ införsel av vatten som enbart kunde ske vid lågt reaktortryck. Trycknedtagningen av reaktortanken kunde inte ske som avsett utan elkraft. Detta fördröjde alternativ införsel av vatten varför kärnskadorna uppstod i reaktor 1, 2 och 3. Även tryckavlastningen av reaktorinneslutningen försvårades av att elkraften inte var tillgänglig, men kunde trots det genomföras i reaktor 1 och 3, men inte i reaktor 2, vilket skadade inneslutningen. I Sverige är reaktorinneslutningarna försedda med filtrerad tryckavlastning medan reaktorerna i Fukushima Daiichi har enbart ofiltrerad tryckavlastning. Detta medförde att tryckavlastningen från reaktor 1 och 3 ledde till utsläpp av radioaktiva ämnen till atmosfären. Även skadan på reaktorinneslutningen i reaktor 2 ledde till utsläpp av radioaktiva ämnen till atmosfären. Därmed uppfylldes inte den tredje säkerhetsfunktionen.

#### Lärdomar:

- Robusta och tillförlitliga system som fungerar både inom och bortom konstruktionsförutsättningarna för reaktorn behöver finnas för att kunna föra bort resteffekten (utan att skada reaktorinneslutningen).
- Det måste finnas konsekvenslindrande funktioner som förhindrar betydande utsläpp av radioaktiva ämnen till miljön för händelser utanför anläggningens konstruktionsförutsättningar.

### Hantering av olyckor utanför anläggningens konstruktionsförutsättningar

De säkerhetsanalyser som genomförts vid licensieringen av kärnkraftverket, och vid senare tillfällen, hade inte utförligt beaktat komplexa händelsekedjor som kunde leda till allvarliga härdsador. Analyserna hade inte identifierat kraftverkets känslighet för översvämningar, och de antaganden som gjordes kring personalens agerande var alltför optimistiska vid händelser utan elkraft. Personalen hade inte heller instruerats eller tränats på den här sortens händelser.

#### Lärdomar:

- Utförliga probabilistiska och deterministiska säkerhetsanalyser behöver utföras för att bekräfta en anläggnings förmåga att motstå tillämpliga olyckor bortom anläggningens konstruktionsförutsättningar och för att säkerställa kraftverkets robusthet.
- Procedurerna för olyckshantering behöver vara omfattande, väl utformade och uppdaterade. De behöver härledas på grundval av en omfattande uppsättning inledande händelser och anläggningsförhållanden och behöver också beakta olyckor som påverkar flera reaktorer vid ett kärnkraftverk med flera reaktorer.
- Utbildning, teoretiska och praktiska övningar behöver innehålla postulerade allvarliga olycksförlopp för att säkerställa att personalen är så väl förberedd som möjligt. De behöver inkludera övningar med användning av den faktiska utrustning som ska användas för att hantera en allvarlig olycka.

### Bedömning av regelverkets effektivitet

Den japanska kärnkraftsregleringen och tillsynen sköttes av flera organisationer med olika roller och ansvar. Det var därför inte klarlagt vilken organisation som hade mandat att ställa bindande krav om hur ett kraftverk ska hantera säkerhetsfrågor utan onödiga dröjsmål. Inspektionerna var strikt reglerade, vilket försvårade för inspektörer att verifiera att säkerheten upprätthölls. Det japanska regelverket överensstämde inte med internationella riktlinjer på flera viktiga områden.

#### Lärdomar:

- För att säkerställa effektiv tillsyn över kärnkraftsanläggningar är det viktigt att tillsynsorganet är oberoende och har juridiskt mandat, teknisk kompetens och en stark säkerhetskultur.

### Bedömning av mänskliga och organisatoriska faktorer

Innan olyckan antogs att reaktorernas konstruktion och säkerhetssystem var tillräckligt för att klara av ovanliga händelser med stora konsekvenser. Detta ledde till en tendens att inte ifrågasätta säkerhetssystem och rutiner, och säkerhetshöjande åtgärder implementerades inte. Olyckan i Fukushima Daiichi påvisade nödvändigheten av ett integrerat tillvägagångssätt som tar hänsyn till den komplexa växelverkan mellan människa, teknik och organisation.

#### Lärdomar:

- För att främja och stärka säkerhetskulturen behöver individer och organisationer ständigt ifrågasätta eller ompröva de rådande antagandena om kärnkraftssäkerhet och konsekvenserna av beslut och åtgärder som kan påverka kärnkraftssäkerheten.
- Ett systemiskt tillvägagångssätt för säkerhet behöver beakta interaktionen mellan mänskliga, organisatoriska och tekniska faktorer. Detta tillvägagångssätt behöver beaktas genom hela livscykeln för kärnkraftsinstallationer.

## Haveriberedskap och motåtgärder

### Japans initiala hantering av olyckan

Vid tiden för olyckan hanterades kärnkraftsolyckor och naturfenomen separat, det fanns ingen samordning utifall sådana händelser skulle ske samtidigt. Enligt regelverket skulle kärnkraftsbolaget meddela lokala och nationella myndigheter när en allvarlig händelse inträffar. Därefter skulle Regeringen bedöma situationen och avgöra om det är frågan om en kärnteknisk nödsituation. Om en sådan situation deklarerades skulle beslut om skyddsåtgärder fattas

baserat på uppskattningar av stråldoser. Vid händelserna den 11 mars 2011 deklarerade premiärministern en kärnteknisk nödsituation samma kväll och order utfärdades för att skydda allmänheten. De kombinerade effekterna av jordbävningen, tsunamin och ökade strålningsnivåer orsakade svårigheter i att utföra konsekvenslindrande åtgärder vid rätt tillfällen.

#### Lärodomar:

- Vid planeringen av motåtgärder vid en eventuell kärnteknisk nödsituation är det nödvändigt att beakta situationer som kan innebära allvarliga skador på bränslet i reaktorhärden eller använt bränsle vid kraftverket, inklusive händelser som involverar flera reaktorer vid ett kärnkraftverk med flera reaktorer och som kan inträffa samtidigt som en naturkatastrof.
- Haveriberedskapen för motåtgärder vid en kärnkraftsolycka behöver ha tydligt definierade roller och ansvar för den operativa organisationen och för lokala och nationella myndigheter. Systemet, inklusive interaktionen mellan den operativa organisationen och myndigheterna, behöver testas regelbundet i övningar.

## Skydd av räddningspersonal

Regelverket för skydd av räddningspersonal var vid tiden för olyckan väldigt allmänt beskrivet och saknade nödvändig detaljnivå. Räddningspersonal kom från olika organisationer och myndigheter, men det saknades en infrastruktur för att integrera den personal som inte hade fått arbetsuppgifter tilldelade i förväg. Strålskyddsåtgärder för räddningspersonal påverkades av situationen vid kärnkraftverket och ett antal improviserade åtgärder fick tas till för att skydda personal. Dosgränserna höjdes temporärt till 250 mSv för räddningsarbetare som utförde vissa uppgifter så att viktiga konsekvenslindrande åtgärder skulle kunna genomföras. För frivilliga från allmänheten som bidrog med nödhjälp i närområdet fick myndigheterna snabbt ta fram riktlinjer för fördelning av arbetsuppgifter och skyddsåtgärder.

#### Lärodomar:

- Räddningspersonal behöver utses och tilldelas tydligt angivna uppgifter, oavsett vilken organisation de arbetar för, samt ges tillräcklig utbildning och tillräckliga skyddsåtgärder vid en nödsituation. Procedurer behöver finnas tillgängliga för att kunna involvera räddningspersonal som inte har utsetts innan nödsituationen, och personal som frivilligt hjälper till.

## Skydd av allmänheten

De japanska nationella rutinerna för nödsituationer förutsatte att strålskyddsåtgärder för allmänheten skulle baseras på beräkningar av stråldoser med beräkningsverktyget SPEEDI, som använder aktuella data om stråldoser vid kärnkraftverket, väder och lokal topografi. På grund av förlust av elförsörjning fungerade inte detta och beslut fattades istället baserat på den rådande situationen vid kraftverket. Det fanns rutiner för skydd, evakueringar och intag av jodtabletter, men dessa baserades på beräknade doser och inte på aktuella förhållanden. Det fanns dessutom inga kriterier för vid vilka förhållanden som evakueringar ska ske. Evakueringar i närheten av kärnkraftverket påbörjades redan på kvällen den 11 mars 2011. Gradvis utökades det område där allmänheten antingen uppmanades att hålla sig inomhus eller att evakuera. Effekterna av jordbävningen och tsunamin försvårade evakueringar, transporter och kommunikationer, och det uppstod praktiska utmaningar med att evakuera människor från sjukhus och äldreboenden. Myndigheterna utfärdade rekommendationer om skyddsåtgärder i form av att stanna inomhus, evakuering, intag av jodtabletter och restriktioner i intag av livsmedel som kan ha kontaminerats. Senare tillkom ett system för att certifiera att matvaror och andra produkter låg under de etablerade dosgränserna. Myndigheterna spred information via radio, television, internet och telefonservice. Återkopplingar från allmänheten klargjorde för myndigheterna vikten av att göra informationen lättförståelig.

#### Lärodomar:

- Procedurer behöver finnas tillgängliga för att kunna fatta beslut om implementering av förutbestämda, brådskande skyddsåtgärder för allmänheten, baserat på fördefinierade tillstånd vid kärnkraftverket.
- Procedurer behöver finnas tillgängliga för att möjliggöra att brådskande skyddsåtgärder kan utvidgas eller modifieras beroende på händelseutvecklingen vid kärnkraftverket eller på övervakningsresultat. Det behövs också arrangemang för att möjliggöra tidiga skyddsåtgärder på grundval av övervakningsresultaten.
- Procedurer behöver finnas tillgängliga för att säkerställa att skyddsåtgärder och andra insatser vid en kärnkraftsolycka gör mer nytta än skada. Ett heltäckande tillvägagångssätt för beslutsfattande behöver finnas tillgängligt för att säkerställa att denna balans kan upprätthållas.
- Procedurer behöver finnas tillgängliga för att hjälpa beslutsfattare, allmänheten och andra aktörer (t.ex. medicinsk personal) att få en förståelse för radiologiska hälsorisker vid en kärnkraftsolycka, så att de ska kunna fatta

välgrundade beslut om skyddsåtgärder. Arrangemang behöver också finnas tillgängliga för att bemöta allmänhetens oro på lokal, nationell och internationell nivå.

## Övergång från olycksfasen till återhämtningsfasen och analys av olycksresponsen

Vid tiden för olyckan fanns det inga framtagna riktlinjer, kriterier och procedurer för övergången från en olycksfas till en återhämtningsfas. När dessa sedan skapades implementerade de japanska myndigheterna de senaste rekommendationerna från internationella strålskyddskommissionen, ICRP. Analyser av olyckan och nödresponsen presenterades i form av rapporter från regeringen, TEPCO och kommissioner tillsatta av parlamentet och regeringen. Efter olyckan har regelverk och riktlinjer för haveriberedskap och motåtgärder reviderats och uppdaterats.

### Lärdomar:

- Procedurer behöver utvecklas i beredskapsfasen för avslutande av skyddsåtgärder och andra insatser, och för övergång till återhämtningsfasen.
- En snabb analys av en nödsituation och dess hantering, att dra lärdomar och identifiera möjliga förbättringar, förbättrar beredskapsåtgärderna.

## Det internationella ramverket för haveriberedskap och insatser vid nödsituationer

Internationella organisationer, som IAEA, spelade viktiga roller genom att ha ett ramverk för haveriberedskap och motåtgärder, och genom att bistå med informationsutbyte och rådgivning. Enskilda länder vidtog ibland olika åtgärder vid olyckan, skillnaderna i åtgärder förklarades dåligt till allmänheten och ledde ibland till förvirring och oro.

### Lärdomar:

- Implementeringen av internationella procedurer för avisering och bistånd behöver stärkas.
- Det finns ett behov av att förbättra samråd och utbyte av information mellan stater om skyddsåtgärder och andra insatser.

## Strålningsrelaterade konsekvenser

### Radioaktivitet i miljön

Olyckan orsakade stora utsläpp av radioaktivitet i omgivningen, främst med vindar i riktning ut över Stilla havet men också in i landet. Det förekom också utsläpp i vätskeform direkt ut i havet, dels i form av planerade utsläpp dels läckage från skador på reaktorinneslutningen. Det finns osäkerheter i kvantifieringen av utsläppen till havet. Mätningar av utsläppen över land är lättare att kvantifiera och karaktärisera. Utsläpp av radionuklider som jod-131, cesium-134 och cesium-137 påverkade livsmedel och andra produkter. Japanska myndigheter satte gränsvärden för att begränsa intaget av dessa radionuklider. Ett kontrollprogram infördes för jordbruksprodukter och ett fiskeförbud infördes i ett område nära Fukushima Daiichi.

### Lärdomar:

- Vid oavsiktliga utsläpp av radioaktiva ämnen i miljön krävs snabb kvantifiering och karakterisering av utsläppets mängd och sammansättning. För betydande utsläpp är ett omfattande och samordnat program för långsiktig miljöövervakning nödvändigt för att kunna fastställa arten och omfattningen av den radiologiska påverkan på miljön på lokal, regional och global nivå.

### Skydd av människor mot strålningsexponering

Japanska myndigheter satte efter olyckan strikta referensnivåer för stråldoser, något som visade sig leda till utmaningar för implementerande myndigheter och bli väldigt krävande för allmänheten. Det fanns skillnader i referensnivåer mellan Japan och andra länder för livsmedel och andra produkter, detta har ibland lett till förvirring och oro.

### Lärdomar:

- Ledande internationella organ behöver ta fram förklaringar av principerna och kriterierna för strålskydd så att de blir förståeliga för icke-specialister, och så att deras implementering blir tydligare för beslutsfattare och allmänheten. Eftersom vissa långvariga skyddsåtgärder drabbat utsatta människor negativt, behövs en bättre kommunikationsstrategi för att förmedla motiveringen för sådana åtgärder till alla berörda parter, inklusive allmänheten.
- Konservativt fattade beslut avseende specifik aktivitet och aktivitetskoncentrationer i livsmedel och markbeläggningar ledde till utökade begränsningar med relaterade svårigheter. Vid en långvarig exponeringssituation är det fördelaktigt om internationella och nationella standarder ger ett enhetligt budskap, särskilt de standarder som är förknippade med livsmedel, icke ätbara varor och markbeläggningar.

## Strålningsexponering

I närtid efter olyckan utsattes allmänheten för extern bestrålning från utsläppen i luft och nedfall på marken, internbestrålning av sköldkörteln på grund av jod-131, och intern bestrålning av olika organ och vävnad från intag av cesium-134 och cesium-137. På längre sikt är det viktigaste dosbidraget externbestrålning från cesium-137 som deponerats på marken. De första dosuppskattningarna överskattade doserna till allmänheten. Senare data indikerar att doserna till allmänheten var låga och oftast jämförbara med de doser som ges av naturlig bakgrundsstrålning. Upptaget av jod-131 hos barn var begränsat, delvis på grund av snabbt implementerade gränsvärden på livsmedel och mjölkprodukter. Det finns dock en viss osäkerhet i upptaget av jod direkt efter olyckan på grund av begränsat med persondosimetriska data från den tidsperioden. Vid slutet av 2011 hade omkring 23 000 räddningsarbetare varit involverade i arbetet vid kärnkraftverket. För de flesta låg de effektiva doserna under de satta gränsvärdena för arbetare, men 174 stycken hade doser över det ordinarie gränsvärdet vid olyckshändelse (100 mSv) och 6 stycken hade överskridit det tillfälligt höjda gränsvärdet (250 mSv). Implementeringen av strålskyddet hade initialt vissa brister, där det saknades dosmonitorering, skyddsutrustning och relevant träning i hur att använda sådan utrustning.

### Lärdomar:

- Mätningar för individuella dosuppskattningar i representativa grupper av allmänheten ger ovärderlig information för tillförlitliga uppskattningar av stråldoser, och behöver användas, tillsammans med miljömätningar och relevanta dosuppskattningsmodeller, för bedömning av doser till allmänheten.
- Även om mejeriprodukter inte var den viktigaste vägen för intag av radioaktivt jod i Japan, är det uppenbart att den viktigaste metoden att begränsa stråldoser till sköldkörteln, särskilt för barn, är att begränsa konsumtionen av färsk mjölk från betande kor.
- Det är nödvändigt med ett tillförlitligt system för övervakning och registrering av arbetsrelaterade stråldoser, via alla relevanta vägar, särskilt de som beror på intern exponering som kan uppkomma för arbetstagare vid hantering av allvarliga olycksförlopp. Det är viktigt att lämplig och tillräcklig personlig skyddsutrustning finns tillgänglig för att begränsa arbetstagarnas exponering vid räddningsinsatser, och att arbetarna är tillräckligt utbildade i hur den ska användas.

## Hälsoeffekter

Inga akuta strålningsinducerade hälsoeffekter uppkom bland räddningsarbetare eller allmänheten. För sena effekter, som cancer, kan det ta flera årtionden innan de uppkommer, men med tanke på de låga doser som allmänheten utsattes för förväntas ingen urskiljbar ökning av strålningsinducerade hälsoeffekter ske [3, 4]. Bland den grupp arbetare som fick stråldoser över 100 mSv förväntas en ökad risk för cancer, men även här kommer en sådan effekt inte att kunna urskiljas på grund av det låga antalet personer. En hälsostudie i Fukushima prefektur drogs igång efter olyckan för att studera hälsoeffekter hos den drabbade befolkningen, bland annat med sköldkörtelundersökningar av barn. Strålningsrelaterade effekter på foster har inte observerats och var inte heller förväntade. Det förväntas inte heller uppkomma några ärftliga effekter. Hos den befolkning som drabbats av kärnkraftsolyckan förekommer dock psykisk ohälsa som ångest och posttraumatisk stress.

### Lärdomar:

- Riskerna med strålningsexponering och tillskrivningen av strålningsrelaterade hälsoeffekter behöver tydligt presenteras för berörda parter, vilket tydliggör att eventuella öknings av förekomst av hälsoeffekter hos befolkningen inte kan hänföras till exponering för strålning om exponeringsnivåerna är likvärdiga med de globala genomsnittliga bakgrunds nivåerna för strålning.
- Efter en kärnkraftsolycka är hälsoundersökningar mycket viktiga och användbara, men bör inte tolkas som epidemiologiska studier. Resultaten av sådana hälsoundersökningar är avsedda att tillhandahålla information för att understödja medicinsk hjälp till den utsatta befolkningen.
- Det finns ett behov av riktlinjer för strålskydd som adresserar psykologiska konsekvenser för drabbade befolkningar efter radiologiska olyckor. En arbetsgrupp från ICRP har rekommenderat att "strategier för att mildra de allvarliga psykologiska konsekvenserna som följer av radiologiska olyckor ska sökas" [5].
- Faktabaserad information om strålningseffekter behöver kommuniceras på ett lättförståeligt sätt och vid rätt tillfälle till individer i drabbade områden, för att öka deras förståelse för strålskyddsstrategier, för att lindra deras oro och för att stödja deras egna skyddsinitiativ.

## Radiologiska konsekvenser för ickemänsklig biota

Det har inte observerats några strålningsrelaterade effekter på växter och djur, men det bör tilläggas att det förekom väldigt få studier i tidsperioden direkt efter olyckan. Det finns begränsningar i metodiken för den här sortens studier,



men baserat på tidigare erfarenheter förväntas inga större radiologiska konsekvenser för ekosystemet som en följd av olyckan.

#### Lärdomar:

- Under alla faser av en olyckshändelse måste fokus vara att skydda människor. Doser till biota kan inte kontrolleras och kan vara potentiellt signifikanta på individnivå. Kunskapen om effekterna av strålningsexponering på icke-mänsklig biota behöver stärkas genom att förbättra bedömningsmetodikerna och förståelsen för strålningsinducerade effekter på biota och ekosystem. Efter ett stort utsläpp av radionuklider till miljön behöver ett integrerat perspektiv antas för att säkerställa hållbarhet inom jordbruk, skogsbruk, fiske och turism, och för utnyttjande av naturresurser.

## Återhämtning efter en olycka

### Sanering av områden i närområdet som påverkats av olyckan

Efter en olycka är ett viktigt långsiktigt mål att återgå till ett fungerande samhälle i de påverkade områdena. Åtgärder innefattar sanering, återuppbyggnad av infrastruktur och att återfå ekonomiskt hållbara samhällsaktiviteter. Innan olyckan vid Fukushima Daiichi fanns det i Japan inget etablerat regelverk eller planering för återuppbyggnad, och det fick utvecklas efter hand. En saneringsstrategi togs fram och implementerades, med fokus på att reducera extern exponering i bostadsområden, jordbruk, vägar och infrastruktur. Externdoser från mark, väggar och andra ytor, främst från cesium-137, är den främsta strålkällan, och saneringsåtgärder fokuseras därför på att minska exponering från sådana ställen. Interna doser kontrolleras genom gränsvärden på livsmedel och sanering av jordbruksmark. Efter olyckan satte japanska myndigheter väldigt låga gränsvärden jämfört med andra länder, vilket ökade mängden kontaminerat material att hantera, och relaterade kostnader. Dessa erfarenheter kan komma till nytta för att utveckla rimliga riktlinjer för internationella säkerhetsstandarder. Rent geografiskt har de påverkade områdena delats in i två grupper, en där doser från kontaminerad mark förväntades överskrida 20 mSv det första året och en där doserna låg mellan 1 mSv och 20 mSv. Det långsiktiga målet är att alla områden på sikt ska nå under 1 mSv extra årlig dos [6].

#### Lärdomar:

- Planering för återhämtning efter en olycka måste finnas på plats i förväg för att kunna förbättra beslutsfattande under de pressade förhållanden som råder omedelbart efter en olycka. Nationella strategier och åtgärder för återhämtning efter en olycka behöver utarbetas i förväg för att möjliggöra ett effektivt och lämpligt övergripande återhämtningsprogram vid en kärnkraftsolycka. Dessa strategier och åtgärder behöver innehålla upprättandet av ett juridiskt och reglerat ramverk; generella saneringsstrategier och kriterier för kvarvarande stråldoser och föroreningsnivåer; en plan för stabilisering och avveckling av skadade kärnkraftsanläggningar; och en generell strategi för hantering av stora mängder förorenat material och radioaktivt avfall.
- Åtgärdsstrategier behöver ta hänsyn till effektiviteten och genomförbarheten av enskilda åtgärder och mängden förorenat material som kommer att genereras i saneringsprocessen.
- Som en del av saneringsstrategin är det nödvändigt att genomföra noggranna tester och kontroller av livsmedel för att förhindra eller minimera intag av doser.
- Ytterligare internationell vägledning behövs för den praktiska tillämpningen av säkerhetsstandarder för strålskydd i återhämtningsfasen efter en olycka.

### Stabilisering på plats och förberedelser för avveckling

Efter olyckan etablerades en strategisk plan för stabilisering och avveckling av det skadade kärnkraftverket. Planen, vars första version kom till i december 2011, utvecklades av TEPCO tillsammans med relevanta japanska myndigheter, och täcker alla relevanta ämnesområden. Den är flexibel och öppen för att ny information och oväntade utmaningar kan tillkomma. En viktig utmaning är lagring och rening av de stora mängder kontaminerat vatten som uppkommer då grundvatten tränger in i reaktorbyggnaderna. Hantering av använt bränsle i reaktorernas bränslebassänger är en annan viktig fråga. Därefter kommer hanteringen av bränsle och bränslerester i de skadade reaktorhårdarna. Japanska myndigheter uppskattar att avvecklingen kommer pågå i bortåt 40 år.

#### Lärdomar:

- Efter en olycka är en strategisk plan för att upprätthålla långsiktigt stabila förhållanden och för avveckling av olycksskadade anläggningar avgörande för återhämtning på plats. Planen behöver vara flexibel och anpassningsbar till förändrade förhållanden och ny information.

- Hantering av skadat bränsle och karakterisering och bortförel av bränslerester kräver lösningar som är specifika för olyckan, och speciella metoder och verktyg kan behöva utvecklas.

## Hantering av förorenat material och radioaktivt avfall

Röjningsarbeten, dekontaminering och sanering ger upphov till stora mängder kontaminerat material och radioaktivt avfall. Hanteringen av dessa material är ibland komplicerad och kräver särskilda insatser. I Fukushima prefektur finns utmaningar med att hitta lämpliga platser för lagring av de stora mängder kontaminerat material som uppkommer från olika slags saneringsarbeten. Tillfälliga lagringsplatser har etablerats i väntan på beslut om en central plats för mellanlagring.

### Lärdomar:

- Nationella strategier och åtgärder för återhämtning efter en olycka behöver inkludera utveckling av en generell strategi för hantering av förorenat flytande och fast material och radioaktivt avfall, som stöds av allmänna säkerhetsbedömningar för utsläpp, lagring och bortskaffande.

## Samhällets återhämtning och berörda parter engagemang

Kärnkraftsolyckan vid Fukushima Daiichi och strålskyddsåtgärderna har haft stora konsekvenser för de drabbade, med evakueringar, omflyttningar och restriktioner på livsmedel. En skepsis från omvärlden till att handla livsmedel från Fukushima prefektur har drabbat jordbruks- och fiskerinäringen hårt. De projekt för revitalisering och återuppbyggnad som introducerats i Fukushima prefektur har utgått från de socioekonomiska konsekvenserna av olyckan. Det är viktigt att experter förstår de drabbades behov och kan förse dem med lättförståelig information. Kommunikationen mellan myndigheter och allmänhet har ibland varit en utmaning men har med tiden förbättrats, där de drabbade alltmer har blivit delaktiga i beslutsfattande och saneringsåtgärder.

### Lärdomar:

- Det är viktigt att erkänna de socioekonomiska konsekvenserna av en kärnkraftsolycka och efterföljande skyddsåtgärder, och utveckla revitaliserings- och återuppbyggnadsprojekt som tar upp frågor som återuppbyggnad av infrastruktur, samhällsrevitalisering och kompensation.
- Stöd från berörda parter är viktigt för alla aspekter av återhämtning efter en olycka. I synnerhet är den drabbade befolkningens engagemang i beslutsprocesserna viktig för framgång, acceptans och effektiv återhämtning och för återupplivning av samhällen. Ett effektivt återhämtningsprogram kräver förtroende och involvering av den drabbade befolkningen. Förtroende för genomförandet av återhämtningsåtgärder behöver byggas genom dialogprocesser, tillhandahållande av konsekvent, tydlig och snabb information, och stöd till den drabbade befolkningen.

## Lärdomarna från europeiskt och svenskt perspektiv

Jordbävningen utanför Japan 11 mars 2011 var en nationell katastrof och jordbävningen tillsammans med konsekvenserna av den tsunamivåg som drabbade landet dödade nästan 20 000 människor. Detta till trots har internationell press i minst lika stor utsträckning fokuserat sin uppmärksamhet på den olycka tsunamivågen orsakade vid kärnkraftverket Fukushima Daiichi. Tsunamivågen var avsevärt kraftigare än vad som förutsatts som konstruktionsförutsättning för anläggningen. Efter att kärnkraftverket i stort sett oskadat klarat jordbävningen så medförde tsunamivågen att väsentliga elkraftsystem översvämmades. Frånvaron av kraftmatning från dessa system medförde att härdskador inträffade i reaktor 1, 2 och 3, som samtliga var vid full reaktoreffekt då jordbävningen inträffade. Härdskadorna samt behovet av att tillgripa ofiltrerad tryckavlastning i reaktor 1 och 3, samt misslyckandet att genomföra tryckavlastning av reaktor 2, kan tillskrivas avsaknaden av kraftmatning. Olyckan medförde betydande utsläpp av radioaktiva ämnen till såväl luft som vatten, men strålningseffekterna från dessa har inte medfört, och förväntas inte medföra, några dödsfall eller skador bland allmänheten [4].

Orsakerna till olyckan, men även de heroiska insatserna under och efter olyckan, är i hög grad en nationell japansk angelägenhet. Det finns dock vissa internationella lärdomar att dra av olyckan, vilket redovisas i IAEA-rapporten. Från Europeiskt perspektiv kan lärdomarna sammanfattas på följande sätt [7]:

- En utvärdering av kärnkraftsreaktorerna i Europa mot händelser utanför anläggningarnas konstruktionsförutsättningar genomfördes i form av så kallade "stresstester" och dessa låg till grund för nationella förstärkningar av säkerheten.



- Olyckan blev ytterligare en påminnelse om vikten av god säkerhetskultur och kontinuerlig förbättring av säkerheten, samt vikten av de olika institutionerna som skall verka för implementering av säkerhetskulturen.
- Medvetenheten om säkerhetsbetydelsen av naturkatastrofer samt att dessa samtidigt kan påverka flera reaktorer.
- Vikten av att bibehålla reaktorinneslutningens integritet även vid haverier utanför anläggningens konstruktionsförutsättningar.
- Vikten av haverieberedskap vid haverier utanför anläggningens konstruktionsförutsättningar.

Till de europeiska perspektiven ges här några kommentarer om de svenska förhållandena:

- I Sverige finns sedan 1988 konsekvenslindrande system för svåra haverier, inklusive filtrerad tryckavlastning. Detta innebär att även om all elkraftmatning förloras så kan inneslutningens integritet bibehållas och tryckavlastning ske utan att det medför utsläpp av radioaktivt jod och cesium [8].
- I Sverige påvisade stresstestet att det var väsentligt att förstärka möjligheten att kunna tillföra vatten till reaktortanken om elkraftsystemet, med två matningsvägar från stamnätet och fyra dieselgeneratorer för att tillhandahålla elkraft, skulle slås ut av en okänd händelse. Nya system för vattentillförsel, benämnt Oberoende härdkylning (OBH), implementerades 2020 vid kärnkraftverken i Forsmark, Oskarshamn och Ringhals [9].
- I Sverige finns en lång tradition av haverieberedskapsövningar med deltagande av alla aktörer som skulle vara involverade vid ett haveri. Ett exempel är Övning Havsörn som genomförs varannat år [10].

**Översättning och text:** Mattias Lantz, Uppsala universitet och Analysgruppen

**Granskning:** Mikael Lundberg, Vattenfall

## Källor och mer information

1. IAEA, "[The Fukushima Daiichi Accident](#)", Vienna (2015).
2. J. Zakova, "[Händelseförloppet vid Fukushima Daiichi](#)", Analysgruppen, rapport, mars 2021.
3. H. Ehdwall och M. Lantz, "[FN-rapport om Fukushima: Inga mätbara hälsoeffekter av strålning bland allmänheten](#)", Analysgruppen, Faktablad 52, april 2014.
4. UNSCEAR, "[Levels and effects of radiation exposure due to the accident at the Fukushima Daiichi Nuclear Power Station: implications of information published since the UNSCEAR 2013 Report](#)", UNSCEAR 2020 Report, Annex B (Advance copy), mars 2021.
5. ICRP, "[Report of Task Group 84 on Initial Lessons Learned from the Nuclear Power Plant Accident in Japan vis-a-vis the ICRP System of Radiological Protection](#)", Ottawa (2012).
6. Mer information om joniserande strålning och dess risker för hälsoeffekter ges bland annat i följande skrift: M. Gustafsson och M. Harms Ringdahl, "[Joniserande strålning](#)", Analysgruppen, Bakgrund nr. 1-2008, april 2008.
7. WENRA, "[Updating WENRA Reference Levels for existing reactors in the light of TEPCO Fukushima Dai-ichi accident lessons learned](#)", WENRA Reactor Harmonization Working Group, september 2014.
8. K. Andgren och A.-M. Wiberg, "[Hur stänger man av en reaktor?](#)", Analysgruppen, Faktablad 49, april 2011.
9. Strålsäkerhetsmyndigheten, "[Forsmark, Ringhals och OKG uppfyller kraven på oberoende härdkylning](#)", december 2020.
10. Samverkan Stockholmsregionen, "[Övning Havsörn 2019](#)", 2019.