

Rapport
R-16-13
Augusti 2016



Friklassning vid nedmontering och rivning av kärntekniska anläggningar

Jan-Åke Berglund
Håkan Lorentz
Fredrik De la Gardie
Björn Herschend

SVENSK KÄRNBRÄNSLEHANTERING AB

SWEDISH NUCLEAR FUEL
AND WASTE MANAGEMENT CO

Box 250, SE-101 24 Stockholm
Phone +46 8 459 84 00
skb.se

SVENSK KÄRNBRÄNSLEHANTERING

ISSN 1402-3091

SKB R-16-13

ID 1443354

Augusti 2016

Uppdaterad 2021-01

Friklassning vid nedmontering och rivning av kärntekniska anläggningar

Jan-Åke Berglund, Håkan Lorentz
Barsebäck Kraft AB

Fredrik De la Gardie, Björn Herschend
Svensk Kärnbränslehantering AB

En pdf-version av rapporten kan laddas ner från www.skb.se.

© 2016 Svensk Kärnbränslehantering AB

Den ursprungliga rapporten, daterad augusti 2016, visade sig innehålla redaktionella fel som har korrigerats i denna uppdaterade version.

Förord

Denna rapport beskriver ett förslag till metodik för friklassning (enligt SSMFS 2011:2 (SSM 2011)) i samband med nedmontering och rivning av kärntekniska anläggningar. Rapporten riktar sig till dem som arbetar med planering och ledning av avvecklings- och friklassningsprojekt och ska ses som ett komplement till den befintliga praxis som finns beskriven i den så kallade friklassningshandboken (SKB 2011).

Rapporten har utarbetats från fyra underlagsrapporter som tagits fram i samarbete med expertis (se tabell F-1) inom olika områden med erfarenhet från större friklassningsprojekt i Sverige som till exempel:

- friklassning av aktiva centrallaboratoriet (ACL) i Studsvik,
- friklassning av lak- och sovringsverket i Ranstad,
- friklassning av turbinrotorer på Ringhals,
- friklassning av m/s Sigyn.

Tabell F-1. Förteckning över bidrag till rapportens innehåll.

Kapitel	Författare till underlag	Organisation
4–8	Per Lidar, Arne Larsson, Olga Korneevets och Klas Lundgren	Studsvik Nuclear AB
9	Tommy Norberg	Chalmers tekniska högskola
11	Simon Duniec och Per-Olof Aronsson	Energy Solutions
12	Miranda Keith-Roach, Maria Lindgren och Mark Elert	Kemakta Konsult AB

Eftersom erfarenheten av friklassning av kärntekniska anläggningar i Sverige är begränsad har rapporten även hämtat information och rekommendationer från internationella standarder och vägledningsdokument från andra länder (MARSSIM (NRC 2000), NiCoP (SDF 2005)). Denna vägledning kommer sannolikt att behöva revideras allt eftersom kärntekniska anläggningar nedmonteras och rivs i Sverige. Först efter det att den föreslagna metodiken prövats praktiskt, kan en praxis etableras för friklassning vid nedmontering och rivning av kärntekniska anläggningar.

Innehåll

1	Inledning	9
1.1	Övergripande kravbild	9
1.2	Anpassning av friklassningsprocessen	10
2	Friklassning vid avveckling	11
2.1	Förberedande åtgärder under olika driftskeden	11
2.1.1	Uppförande och ombyggnad	12
2.1.2	Drift	12
2.1.3	Avställnings-/servicedrift	12
2.1.4	Nedmontering och rivning	13
2.2	Friklassningsprocessen	13
2.2.1	Initial bedömning	14
2.2.2	Kartläggningsmätningar	14
2.2.3	Förberedelse inför friklassningsmätning	15
2.2.4	Friklassningsmätning	15
2.2.5	Beslut eller ansökan om friklassning	15
2.3	Härledning av friklassningsnivåer	15
2.4	Sammanfattning	16
3	Risikkategorisering	17
3.1	Kategorisering i en anläggnings olika skeden	17
3.2	Indelning och principer	17
3.2.1	Extremt liten risk för förorening	18
3.2.2	Liten risk för förorening	18
3.2.3	Risk för förorening	19
3.2.4	Förorenat över friklassningsgräns	20
3.3	Omkategorisering i samband med friklassning	20
4	Radiologisk kartläggning	21
4.1	Initiering	22
4.1.1	Behovsanalys	22
4.1.2	Mål och syfte	23
4.2	Initial bedömning och planering	23
4.2.1	Befintlig information	23
4.2.2	Initial bedömning	24
4.2.3	Val av mätmetoder för kartläggningsmätningar	25
4.2.4	Provtagningsstrategi för kartläggningsmätningar	25
4.2.5	Dokumentation och plan	26
4.3	Kartläggningsmätningar	27
4.3.1	Provtagning och mätning	27
4.3.2	Mätmetoder vid radiologisk kartläggning	27
4.3.3	Analys och utvärdering	28
4.3.4	Rekommenderat genomförande för kartläggningsmätningar	29
4.3.5	Dokumentation och förvaltning	31
5	Dekontaminering	33
5.1	Val av dekontamineringsmetoder	33
5.2	Genomförande	34
5.2.1	Verifiering av dekontamineringsresultat	34
6	Bestämning av nuklidvektorer	35
6.1	Förväntad förekomst av radionuklider	35
6.1.1	Andra anläggningar	36
6.2	Bestämning av korrelationsfaktorer	36
6.3	Hantering av osäkerheter	37

7	Friklassningsmätning	39
7.1	Planering av friklassningsmätningar	39
7.1.1	Val av mätmetoder	39
7.2	Genomförande av aktivitetskontroll	41
7.2.1	Kontroll av lös kontamination	42
7.2.2	Kontroll av aktivitetsfördelning och anomalier	42
7.2.3	Mätplats	43
7.3	Dokumentation	43
8	Statistisk utvärdering av friklassningsmätningar	45
8.1	Tolkning av kravuppfyllelse	45
8.1.1	UCL95	46
8.1.2	P95	46
8.2	Medelvärdesbildning för ytspecifik aktivitet	46
8.3	Osäkerhetsanalys	46
8.3.1	Osäkerhetsfördelningar	47
8.3.2	Scint-effektivitet	48
8.3.3	Nettopulsrat	48
8.3.4	Osäkerhet i nuklidvektorn	49
8.3.5	Friklassningsprodukten	49
8.4	Simulering	49
8.5	Provtagningsstrategi vid friklassningsmätning	50
8.5.1	Sammanvägning av data från olika provtagningskampanjer	50
8.6	Osäkerhet för enskilda mätvärden	50
8.7	Bedömning av förekomst av anomalier	51
9	Kontrollprogram	53
9.1	Verksamhetsbeskrivning	53
9.1.1	Radiologisk kartläggning, Kategorisering av objekt och dekontaminering	53
9.1.2	Aktivitetsbestämning	54
9.1.3	Utvärdering	54
9.2	Förvaltning	55
9.3	Gällande föreskrifter och särskilda beslut	55
9.3.1	Föreskrift SSMFS 2011:2	55
9.3.2	Särskilda beslut	55
9.4	Kvalitetssäkring	55
9.4.1	Ledningssystem	55
9.4.2	Egenkontroll och oberoende kontroll	55
9.4.3	Hantering av avvikelser	55
9.4.4	Behörighet	55
9.5	Dokumentation	56
9.5.1	Rapporter	56
9.5.2	Lagring av data	56
9.5.3	Arkivering	56
10	Kvalitetssäkring	57
10.1	ISO-standard för kvalitetssäkring, certifiering och ackreditering	58
10.2	Ledningssystem	58
10.2.1	Omfattning	58
10.2.2	Ledningens ansvar, kvalitetspolicy, planering, befogenheter, kommunikation och kvalitetsmöten	59
10.2.3	Infrastruktur och Verksamhetsmiljö	59
10.3	Kvalitetssäkring under friklassningsprocessen	60
10.3.1	Kontrollprogramet	60
10.3.2	Ta fram och verifiera mätmetoder	61
10.3.3	Genomföra mätningar	61
10.3.4	Dokumentera resultat	62
10.3.5	Godkännande och friklassning	63

10.4	Personalresurser	65
10.5	Sekundära processer	66
10.6	Analys och förbättringar	66
10.7	Övriga synpunkter	66
11	Härledning av friklassningsnivåer	67
11.1	Inledning	67
11.2	Process för härledning av friklassningsnivåer	68
11.3	Metodik för spridnings- och dosberäkningar	68
	11.3.1 Översiktlig beskrivning av metodik för dosberäkningar	69
	11.3.2 Spridning av radionuklider	70
11.4	Scenarier	71
	11.4.1 Naturvårdsverket modell för riktvärden i förorenad mark	71
	11.4.2 Internationellt framtagna scenarier	72
	11.4.3 Val av scenarier	73
	11.4.4 Säkerställande av valda scenarier	74
11.5	Databehov för spridnings- och dosberäkningar	74
	11.5.1 Information om materialet och radionuklider	75
	11.5.2 Extern exponering	77
	11.5.3 Intern exponering	77
	11.5.4 Spridning av radionuklider	77
	11.5.5 Spridning i näringskedjan	78
	11.5.6 Hantering av osäkerheter av ingående parametrar	78
12	Kostnadsmodell	79
12.1	Avgränsningar och förutsättningar	79
12.2	Modell	79
	12.2.1 Exempel på kostnadsuppskattning	80
12.3	Framtagning av kostnadsuppskattningar	81
12.4	Utvärdering av kostnader	82
12.5	Osäkerheter	82
12.6	Kostnadsdrivare	82
	12.6.1 Drift	83
	12.6.2 Avställnings-/servicedrift	83
	12.6.3 Nedmontering och rivning	83
	Referenser	85
	Bilaga A Definitioner	89
	Bilaga B Mät- och provningsutrustning	95
	Bilaga C Informationshantering och mjukvarustöd	105
	Bilaga D Kartläggning och friklassningsmätning i hypotetisk anläggning	107
	Bilaga E Statistikexempel	115
	Bilaga F Friklassningsnivåer för Sovringsverket i Ranstad	121

1 Inledning

I samband med avveckling och avvecklingsplanering styrs många aktiviteter av anläggningens radiologiska status. Därför har friklassning med sammanhörande moment (till exempel radiologisk kartläggning, dekontaminering och friklassningsmätning) en central roll vid genomförandet av ett avvecklingsprojekt.

Friklassningshandboken (SKB 2011) används i dag som utgångspunkt för friklassning av material som uppstår under drift vid svenska kärntekniska anläggningar. I samband med nedmontering och rivning kan friklassning av material komma att innebära logistiska utmaningar då en stor mängd material kommer att behöva friklassas på relativt kort tid. Mätmetoder och analys kommer dock inte nödvändigtvis skilja sig från dagens friklassning av material från drift. Därför fokuserar denna rapport på friklassning av lokaler, byggnader och mark där ett effektivt mät- och analysförfarande kommer att vara av stor vikt för att undvika utdragna friklassningsprojekt med förhöjda avvecklingskostnader till följd.

I rapporten hänvisas generellt till kontaminerade objekt eller objekt med risk för kontamination. I samband med aktivitetsbestämning måste förstås också aktivering beaktas. Det kommer dock endast att beröra en mindre andel av de objekt som blir föremål för friklassning i samband med nedmontering och rivning, då material som aktiverats ofta har en aktivitetsnivå som, med stor marginal, överskrider gränsen för friklassning (ett undantag är delar av den biologiska skärmen som kan bli aktuell för friklassning). Därför är rapporten i huvudsak fokuserad på kontaminerade objekt.

I kapitel 2 beskrivs friklassningsprocessen och dess ingående moment samt hur friklassning bör inarbetas i den övergripande avvecklingsprocessen. I kapitel 3 redovisas de riskkategorier som används genomgående i friklassningsprocessen för att ge en effektiv anpassning av arbetet inom varje delsteg. Initial bedömning och radiologisk kartläggning av objekt beskrivs i kapitel 4. Förberedelser inför friklassningsmätning beskrivs översiktligt i kapitel 5 (dekontaminering) och 6 (bestämning av nuklidvektorer). Friklassningsmätning och efterföljande statistisk analys beskrivs i kapitel 7 respektive 8. I kapitel 9 ges förslag på hur kontrollprogram bör utformas och vilken information som där ska redovisas för att leva upp till föreskrivna krav i SSMFS 2011:2 (SSM 2011). I kapitel 10 ges rekommendationer med avseende på kvalitetssäkring, hantering av dokumentation och krav på kompetens. Metodiken för härledning av friklassningsnivåer beskrivs i kapitel 11 och ett förslag på kostnadsmodell för att beräkna kostnader för ett friklassningsprojekt redovisas i kapitel 12.

1.1 Övergripande kravbild

Friklassning innebär att lagen om kärnteknisk verksamhet samt strålskyddslagen inte längre ska tillämpas för ett objekt som är friklassat. Detta implicerar att objektet tidigare fallit in under någon av nämnda lagar (eller båda). Friklassning skiljer sig således från begreppet *undantag* där ett objekt undantas från strålskyddslagen (det vill säga där lagen varken har eller ska tillämpas).

Material som har eller kan ha kontaminerats av radioaktivitet och/eller aktiverats i verksamhet med joniserande strålning måste initialt betraktas som radioaktivt material. Ansvar för detta material ligger hos tillståndshavaren enligt lagen om kärnteknisk verksamhet (SFS 1984:3) samt strålskyddslagen (SFS 1988:220). Detta ansvar kvarstår fram till dess att materialet friklassats eller avfallet placerats i ett slutförvar som förslutits. I samband med avveckling kommer man för vissa byggnader och delar av marken inte direkt kunna utesluta risken för kontamination. För dessa objekt blir friklassning ett kritiskt moment då det inte finns utrymme (i dagens svenska system för omhändertagande av radioaktivt avfall) att behandla mark eller hela byggnader som radioaktivt avfall.

Friklassning innebär också slutpunkten för avveckling av en kärnteknisk anläggning. När allt radioaktivt material omhändertagits och alla byggnader och all mark har friklassats är anläggningen i sig friklassad. Lagen om kärnteknisk verksamhet och strålskyddslagen är då inte längre tillämpliga för anläggningen.

För att ett objekt ska anses friklassat måste det ha kontrollerats med avseende på radioaktiva ämnen enligt vad som anges i 2 § SSMFS 2011:2. Vidare krävs ett ställningstagande att kontrollen är tillräcklig och att förekomsten av radioaktiva ämnen inte överskrider de nivåer som anges i SSMFS 2011:2. För lokaler, byggnader och mark fattas beslut om friklassning av Strålsäkerhetsmyndigheten (SSM).

1.2 Anpassning av friklassningsprocessen

Friklassningsföreskriften SSMFS 2011:2 (SSM 2011) gäller för allt material, alla lokaler och byggnader och all mark som kan ha förorenats vid verksamhet med joniserande strålning. För de objekt där kontamination inte helt kan uteslutas gäller därmed en och samma kravbild oavsett i vilken utsträckning objektet faktiskt har kontaminerats.

Vid friklassning i samband med nedmontering och rivning av en kärnteknisk anläggning är det dock inte rimligt eller lämpligt att behandla alla objekt lika. Objekt med känd kontamination bör genomgå en betydligt mer rigorös hantering vad gäller dekontaminering och aktivitetskontroll jämfört med objekt som sannolikt aldrig har förorenats, men där risken inte helt går att utesluta. Anpassning av metoderna för aktivitetskontroll med avseende på bedömd förekomst av kontamination stöds av rekommendationer från IAEA angående metoder för friklassningsmätningar (IAEA 2012) samt är ett uttryckligt krav i föreskrift (7 § SSMFS 2011:2).

I denna rapport föreslås därför att friklassningsprocessens olika delsteg anpassas efter den riskkategorisering som beskrivs i friklassningshandboken (SKB 2011) och som här förtydligas i kapitel 2, även om själva processen är den samma för alla objekt.

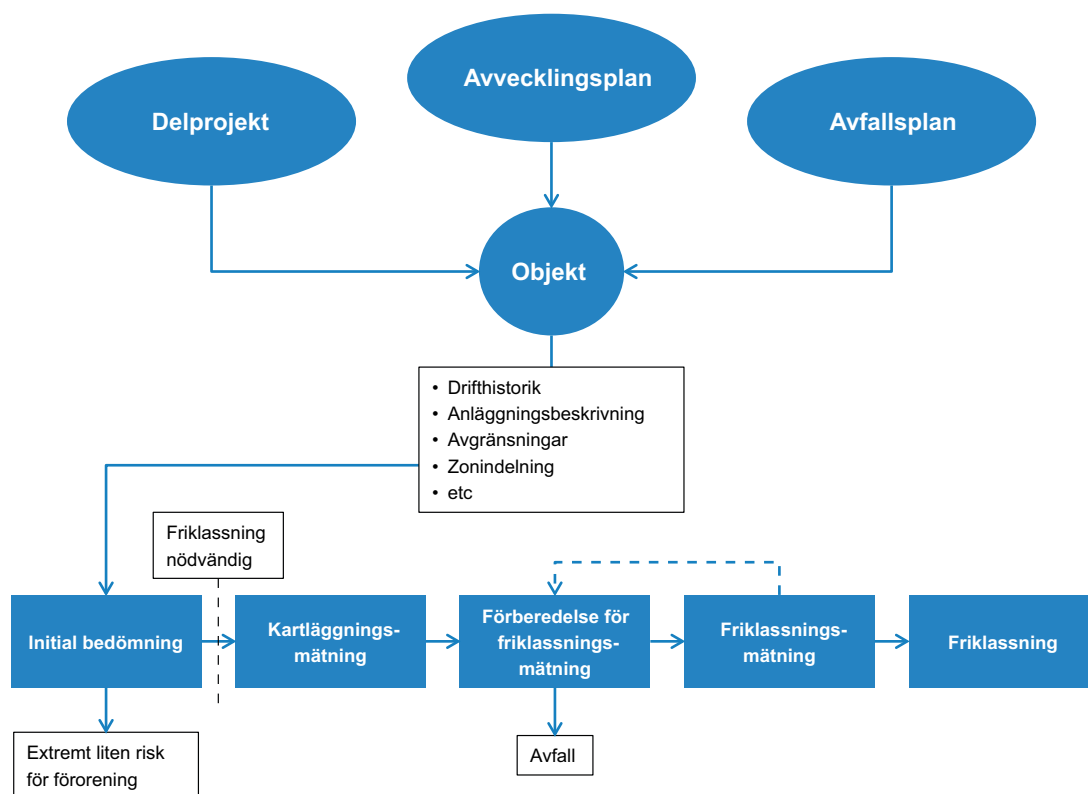
2 Friklassning vid avveckling

För avveckling av en kärnteknisk anläggning krävs ett antal dokument som beskriver hur avvecklingen planeras att genomföras (se 9 kap SSMFS 2008:1 (SSM 2008)). Vid framtagande av dessa dokument kommer friklassning att behöva beaktas (figur 2-1). Detta medför att man redan innan man går in i ett avvecklingskede kommer att ha behövt bilda sig en uppfattning om vilka objekt som kan komma att bli föremål för friklassning. Det bör påpekas att den initiala bedömningen och vissa kartläggningsmätningar sannolikt behöver genomföras innan avvecklingsplan, avfallsplan och delprojektmålan kan färdigställas.

I samband med avvecklingsplaneringen kommer delprojekt för avvecklingen att identifieras vilka måste anmälas till SSM innan de kan påbörjas. Vid anmälan av dessa delprojekt där friklassning ingår bör friklassningsarbetet ha förberetts i detalj.

2.1 Förberedande åtgärder under olika driftskeden

I detta avsnitt beskrivs översiktligt vilka åtgärder och arbetsmoment som bör vidtas vid olika driftskeden för en anläggning för att möjliggöra effektiv friklassning av anläggningen i samband med avveckling.



Figur 2-1. Schematisk bild över friklassningsprocessen vid avveckling. Vid framtagande av avvecklingsplanen, avfallsplanen och beskrivningen av avvecklingens delprojekt kommer objekt att identifieras som kommer att behöva friklassas. Friklassningsprocessen inleds med en initial bedömning vilken kräver utförlig information om objektets drifthistorik. Efter den initiala bedömningen kan objektet eller delar av objektet undantas från friklassning. I de fall då friklassning är nödvändig fortsätter friklassningsprocessen med kartläggningsmätningar, dekontaminering, friklassningsmätning och slutligen beslut om friklassning.

2.1.1 Uppförande och ombyggnad

Avveckling, där friklassning ingår, ska beaktas redan innan en anläggning byggs enligt gällande krav. För att underlätta för friklassning av en anläggning är det en fördel att utforma anläggningen med riskkategorisering (se kapitel 3) i åtanke. Man bör på förhand dela in anläggningen i riskkategorier och utforma anläggningen så att områden som ska hållas fria från kontamination inte riskerar att förorenas. Om man vid avveckling kan garantera att vissa delar av anläggningen inte kan ha kontamineras, kan dessa delar avvecklas utan att behöva friklassas.

Man bör även beakta friklassning i samband med materialval till exempel ytbeläggning som kan underlätta/försvara friklassning samt miljöfarliga material (som inte får slutförvaras). Förekomst av organiskt material kan också påverka slutförvarets långsiktiga säkerhet negativt och kan därför kräva särskilda åtgärder eller friklassning.

En beskrivning av hur anläggningen konstruerats med avseende på friklassning måste dokumenteras under lång tid och förvaltas så att den finns lätt tillgänglig i samband med planering för avveckling. Denna dokumentation bör även avspegla eventuella avvikelser som uppkommit under uppförandefasen.

Ovan nämnda rekommendationer bör även beaktas vid ändringar av anläggningen till exempel vid om- eller tillbyggnad.

2.1.2 Drift

Insatser för att kartlägga aktivitetsförekomst bör komma i gång så tidigt som möjligt under driftsfasen, senast när datumet för slutgiltig avställning har fastställts. I detta skede är det normalt dags att utarbeta en detaljerad plan för såväl avställnings-/servicedrift samt efterföljande nedmontering och rivning. I detta arbete har den radiologiska kartläggningsinformationen en central plats.

Kartläggningsinformationen har en avgörande roll för att fastställa omfattning och tillvägagångssätt för avvecklingsinsatserna och material- och avfallshanteringen. Under drift bedrivs ofta den radiologiska kartläggningen som en kombination av driftstödande kontroll i syfte att säkerställa den radiologiska driftmiljön och för att inhämta data inför den kommande avvecklingen.

Det är också viktigt att händelser av vikt för friklassning och karakterisering dokumenteras på ett systematiskt sätt (9 kap SSMFS 2008:1 (SSM 2008), IAEA 2002) så att den med säkerhet finns tillgänglig då arbetet med kartläggning inför friklassning startar. Om kontamination till följd av till exempel spill först upptäcks i samband med friklassningsmätning av aktivitet riskerar detta att leda till ökade kostnader och försening i avvecklingsprojektet.

Brister i dokumentation kring kontamination under drift gör det också svårt att med trovärdighet hävda att delar av anläggningen inte kan ha kontaminerats, och därför kan undantas från friklassning.

2.1.3 Avställnings-/servicedrift

För att nedmontering och rivning ska fungera effektivt bör kartläggningen vara genomförd i alla utrymmen där det är möjligt, senast i slutet av avställnings- och servicedriften. Även riskkategorisering och identifiering av dekontamineringsbehov för kartlagda områden bör vara färdigställd. Nuklidvektorer för friklassning och korrelation av svärmätbara nuklider i avfall bör också ha bestämts.

Kontrollprogram för kartlagda delar av anläggningen ska vara framtagna senast i slutet av denna fas så att de kan anmälas till SSM i samband med anmälan av delprojekt.

Kartläggningsinformationen från driften behöver vanligen kompletteras i denna fas. De nya förutsättningarna underlättar i många fall kartläggningsinsatserna. Dessutom blir vissa utrymmen tillgängliga för kartläggning först i denna fas.

Avställnings- och servicedrift är i avvecklingsplaneringen begränsad till ett fåtal år, men mycket av kartläggningsarbetet behöver vara färdigställt för att den efterkommande nedmonteringen och rivningen inte ska försenas. Därför bör så mycket som möjligt av arbetet med kartläggning och förberedande arbete för att ta fram kontrollprogram genomföras redan under drift.

Senast i detta skede ska även redovisning enligt artikel 37 i Euratomfördraget (EU 2010a) lämnas in med uppgift om till exempel friklassningsnivåer.

2.1.4 Nedmontering och rivning

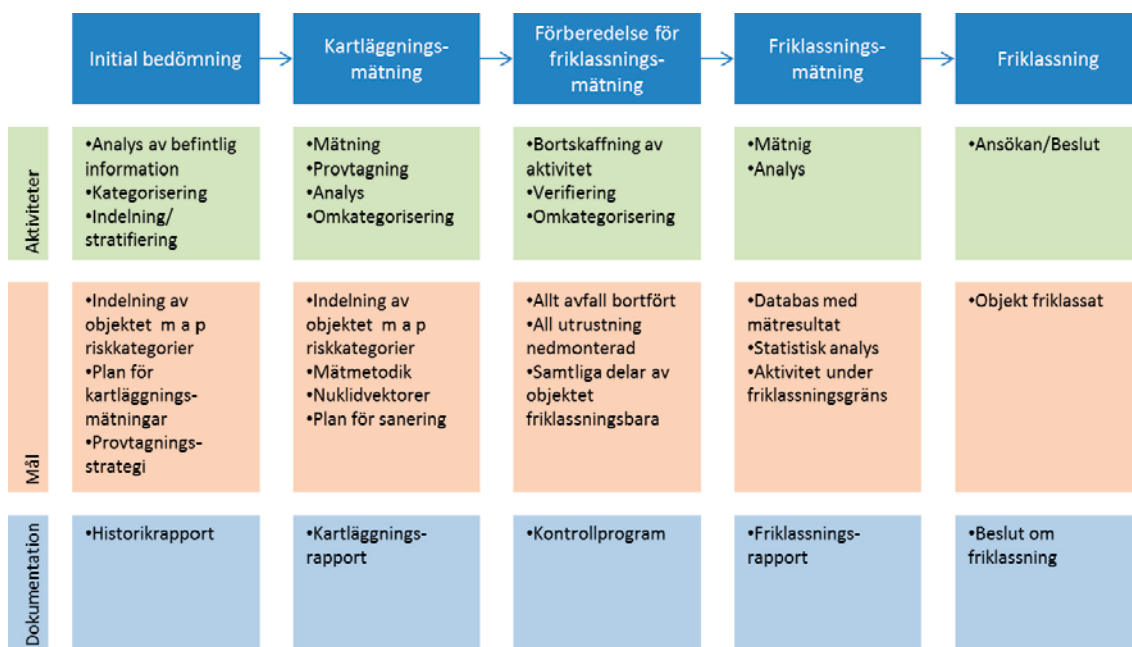
Under nedmontering och rivning genomförs dekontaminering och/eller friklassningsmätningar för friklassning av kartlagda objekt. Vissa delar av anläggningen blir tillgängliga för kartläggning först efter det att vissa system nedmonterats. Därför kommer det under den här fasen att finnas objekt eller delar av objekt i alla delsteg av själva friklassningsprocessen. Det kommer också att vara viktigt att beakta risk för korskontamination och en effektiv förvaltning av objekt i olika skeden av friklassning (kartlagd, dekontaminerad, friklassningsmätt, friklassad). Detta kommer också att påverka logistiken kring i vilken ordning som objekt ska genomgå friklassning.

Under denna fas kommer man sannolikt behöva installera nya system för till exempel ventilation och elförsörjning. Det är då av stor vikt att dessa system enkelt kan friklassas eller helt undantas från friklassning (*extremt liten risk för förorening*, se avsnitt 3.2.1).

2.2 Friklassningsprocessen

De delsteg som måste genomföras och dokumenteras för att ett identifierat objekt ska kunna friklassas efter beslut av tillståndshavare (TH), eller i tillämpliga fall SSM, benämns friklassningsprocess. Denna process finns beskriven i friklassningshandboken (SKB 2011). Friklassningshandboken fokuserar framför allt på material och mindre komponenter och är i det avseendet tillämplig för friklassning i samband med avveckling. Vid avveckling kommer man sannolikt att behöva friklassa mer material på kortare tid än vad som sker under drift, men detta kräver inte att friklassningsprocessen ändras.

För byggnader, lokaler, mark och i viss mån större komponenter finns det dock skäl att förtydliga friklassningsprocessen för att undvika onödigt omfattande mätinsatser och utdragna friklassningsprojekt. Nedan följer en beskrivning av friklassningsprocessens ingående delsteg (figur 2-1) från det att ett objekt identifierats som potentiellt friklassningsbart (eller nödvändigt att friklassa). Under respektive delsteg redovisas aktiviteter som behöver genomföras för att gå vidare till nästa delsteg i processen (figur 2-2).



Figur 2-2. Friklassningsprocessens delsteg, ingående aktiviteter, mål för delstegen och dokumentation som bör vara färdigställda inom ramen för varje delsteg. Kontrollprogrammet (se kapitel 9) måste vara färdigställt och anmält till SSM innan friklassningsmätningarna påbörjas, men kan färdigställas tidigare än vad som anges i figuren.

2.2.1 Initial bedömning

När ett objekt identifierats vidtar en initial bedömning (se vidare avsnitt 4.2) av objektet med syfte att kategorisera det enligt de riskkategorier som anges i friklassningshandboken;

- extremt liten risk för förorening,
- liten risk för förorening,
- risk för förorening,
- förorenat över friklassningsgräns.

Om objektet är komplext (som till exempel en byggnad) är det lämpligt att dela in det i mindre delar och kategorisera varje del för sig. Detta kan göras på olika sätt, till exempel genom att beakta fysiska avgränsningar mellan olika lokaler eller genom att beakta hur olika verksamheter (med olika kontaminationspåverkan) varit avgränsade från varandra.

Denna bedömning baseras på den dokumentation som finns om objektet till exempel ritningar, zonindelning, drifthistorik. Om objektet kategoriseras som *extremt liten risk för förorening* (se avsnitt 3.2.1), behöver det ej friklassas utan kan betraktas som konventionellt. En mycket begränsad mätinsats kan dock behöva genomföras för att verifiera detta (se kapitel 5 i friklassningshandboken).

I övriga fall måste formell friklassning genomföras och då bör en plan för kartläggningsmätningar (avsnitt 2.2.2) tas fram som underlag för nästkommande steg. Denna bör innehålla:

- en indelning av objektet i områden efter förekomst av kontamination så att kontaminationsnivån kan antas vara homogen inom varje område,
- en provtagningsstrategi för kartläggningsmätningar (inklusive bakgrundsmätningar) och provtagning för bestämning av nuklidvektorer (se kapitel 6),
- val av mätmetod och kalibreringsmetod (se avsnitt 4.2.3).

För att kunna välja mätmetod bör en initial bedömning av förekommande nuklider göras. Även om syftet med kartläggningsmätningarna främst är att identifiera potentiella områden med kontamination så kan det ändå vara värdefullt att kunna väga in resultaten från den radiologiska kartläggningen när resultaten från friklassningsmätningarna analyseras. Det kan därför vara bra att i detta skede också börja utarbeta ett kontrollprogram för efterkommande friklassningsmätningar (se kapitel 9).

2.2.2 Kartläggningsmätningar

Detta steg kan sägas vara startpunkten för formell friklassning. Från och med denna punkt är det svårt att med trovärdighet kategorisera ett objekt som *extremt liten risk för förorening* (om det inte framkommer att tidigare historisk information varit felaktig). Objektet måste från denna punkt därför genomgå friklassning eller hanteras som radioaktivt avfall. Kartläggningsmätningarna beskrivs i mer detalj i avsnitt 4.3)

Radiologisk kartläggning syftar till att ge en detaljerad bild av graden av kontamination (och i förekommande fall aktivering) och hur denna fördelar sig över objektet så att eventuella dekontamineringsåtgärder kan genomföras innan friklassningsmätning. I samband med friklassning är målet att med en begränsad insats minimera risken för att kontamination över friklassningsnivån upptäcks först i samband med friklassningsmätning, eftersom mätningarna då måste avbrytas för avlägsnande av aktivitet i kontaminerade områden.

I samband med den radiologiska kartläggningen kan det också vara lämpligt att bestämma kontaminationens nuklidsammansättning. Alternativt kan detta göras i samband med dekontaminering. Resultaten av kartläggningsmätningarna bör utgöra underlag för:

- initial bestämning av kontaminationsnivån för varje delområde av objektet,
- bestämning av nuklidvektorer för bedömning av nuklidspecifik aktivitet (se kapitel 6),
- uppdaterad indelning av objektet med avseende på delområden (se 2.2.1),
- uppdaterad kategorisering av varje delområde av objektet,

- val av dekontamineringsåtgärder (metod, omfattning, med mera se kapitel 5),
- val av mätmetod för friklassningsmätning,
- bedömning av friklassningsbarhet gentemot föreskrivna eller på annat sätt beslutade friklassningsnivåer.

Efter den radiologiska kartläggningen ska alla delar av objektet kunna genomgå friklassningsmätning om de inte funnits vara kontaminerade över friklassningsnivån. I samband med detta bör man också ta ställning till om objektet kommer att kunna friklassas till gällande friklassningsnivåer. Det är lämpligt att resultaten av kartlägningsinsatsen dokumenteras i en särskild rapport.

2.2.3 Förberedelse inför friklassningsmätning

I detta steg vidtas de åtgärder som krävs för att bortskaffa aktivitet från kontaminerade delar av objektet så att samtliga delar av objektet efter friklassningsmätning kan friklassas. Om inte nuklidvektorer bestämts i tidigare steg måste analys av nuklidsammansättningen genomföras i samband med detta steg (till exempel i samband med dekontaminering). De moment som bör genomföras eller uppdateras är:

- dekontaminering (se kapitel 5),
- indelning av objektet där varje delområde kan betraktas som homogent med avseende på aktivitetsförekomst,
- bestämning av nuklidvektorer för friklassning (se kapitel 6),
- färdigställande (om det inte gjorts tidigare) och anmälan av kontrollprogram (se kapitel 9).

2.2.4 Friklassningsmätning

I detta steg genomförs friklassningsmätning (kapitel 7) enligt kontrollprogrammet. Samtliga mätdata ska lagras på ett kvalitetssäkert sätt. En statistisk analys (kapitel 8) och utvärdering av mätdata ska dokumenteras i en rapport som sedan ska utgöra underlag för beslut om friklassning. Denna rapport ska också beskriva genomförandet av aktivitetskontrollen och på så sätt visa att kontrollprogrammet efterlevts.

2.2.5 Beslut eller ansökan om friklassning

I det sista steget fattas formellt beslut om friklassning av TH, om objektet är att betrakta som material. För byggnader som ska avyttras eller rivas samt mark krävs beslut av SSM. Byggnader och lokaler som uppfyller kraven för friklassning får utan beslut om friklassning användas för andra ändamål inom TH:s egen verksamhet.

Ansökan om friklassning till SSM skickas som ett formellt brev där rapport från friklassningsmätning och efterföljande analys av data bifogas.

2.3 Härledning av friklassningsnivåer

I vissa fall kan det vara nödvändigt att ansöka om att få friklassa ett eller flera objekt till andra friklassningsnivåer än de som anges i SSMFS 2011:2 (SSM 2011). Detta förfarande tillämpas också för friklassning av mark.

När det gäller friklassning av mark bör det gå att härleda friklassningsnivåer när sluttillståndet för anläggningen och markens framtida användning fastställts.

Arbetet med härledning av friklassningsnivåer (kapitel 11) för mark bör ske parallellt med framtagande av en komplett avvecklingsplan så att konsekvenser för valt sluttillstånd blir tydliga. I denna process är det viktigt att involvera andra intressenter som till exempel kommun och länsstyrelse.

Vid framtagande av scenarier och sluttillstånd bör en analys av lämpligt referensobjekt ingå. Referensobjektet ska representera ursprungliga (innan anläggningen byggdes) radiologiska förhållanden. Riktlinjer för att bestämma dessa anges av IAEA (2014b). Där föreslås att ett liknande, men opåverkat, område kan tjäna som referensobjekt i de fall då anläggningsplatsens ursprungliga radiologiska förhållanden inte är kända.

I samband med framtagande av underlag för redovisning enligt artikel 37 i Euratomfördraget (EU 2010a) ska friklassningsnivåer redovisas, dock gäller detta inte friklassningsnivåer för mark, då de i normalfallet inte bedöms påverka något annat EU-land (EU 2010b, bilaga 5.4).

Som nämnts ovan kan det i vissa fall bli nödvändigt att ansöka om friklassning till andra nivåer än de som föreskrivs. Det är i så fall troligt att denna situation uppstår i samband med den radiologiska kartläggningen om det visar sig att ett objekt inte kan (med rimliga insatser) friklassas enligt föreskrivna nivåer, men att alternativet, att behandla hela objektet som radioaktivt avfall, blir ohanterligt. Alternativa bortskaffningsalternativ måste då utvärderas.

2.4 Sammanfattning

Friklassningsprocessens olika delsteg kräver omfattande förberedelser för att genomförandet ska bli effektivt. Detta innebär att mycket av förberedelsearbetet måste genomföras under den tid då anläggningen fortfarande är i drift. För att begränsa omfattningen på friklassningsarbetet är det också viktigt att dokumentation av anläggningen med avseende på kontaminationsförekomst är fullständig och lätt tillgänglig i planeringsfasen inför ett friklassningsprojekt. Om dokumentationen är bristfällig eller felaktig blir det svårt att klassificera objekt enligt riskkategorin *extremt liten risk för förorening* (se avsnitt 3.2.1) vilket i sin tur leder till att fler objekt måste genomgå friklassningsprocessens alla delsteg innan rivning.

3 Riskkategorisering

En kärnteknisk anläggning har i de allra flesta fall stora variationer i radioaktiv föroreningsgrad. Stora delar av anläggningen ligger utanför kontrollerat och ur ett radiologiskt perspektiv skyddat område. Med fullt fungerande barriärer ska det inte förekomma någon radioaktiv förorening utanför kontrollerat område. Då de flesta anläggningar har hanterat radioaktivt material på så kallat radiologiskt skyddat område finns det dock en uppenbar risk att små mängder radioaktivitet kan ha frigjorts och därmed kontaminerat material, lokaler eller mark. Historien visar också på att det i till exempel pausrum, verkstäder, utanför portar, utanför omklädningsrum, på tillfälliga uppställningsplatser och liknande har detekterats radioaktiv förorening. I de flesta fall har denna aktivitet legat under friklassningsgränsen.

För att skapa en systematisk, och efter risken för förorening, anpassad hantering av friklassningen har ett system för kategorisering med avseende på radioaktiv förorening utvecklats inom den svenska kärntekniska industrin vilket beskrivs mer i detalj i avsnitt 3.2 nedan och i friklassningshandboken (SKB 2011). Begreppet *risk* används här på samma sätt som i friklassningshandboken även om det egentligen rör sig om *sannolikhet* för förorening snarare än risk.

3.1 Kategorisering i en anläggnings olika skeden

Under drift finns en viss kategorisering inom de kärntekniska anläggningarna genom uppdelningen i kontrollerat område, radiologiskt skyddat område och övriga områden. Inom övriga områden sker ingen radiologisk verksamhet. Dock kan transporter med kontaminerat material eller utrustning ha passerat dessa områden. I vissa fall sker till exempel slutkontroll av tömda och rengjorda transportcontainrar utanför skyddat område.

Kontrollerade områden är vanligen indelade i flera klasser (till exempel vit, blå, gul och röd) ur flera aspekter (till exempel luftburen kontamination, ytkontamination och externstrålning).

Denna indelning räcker inte till i ett avvecklingsssammanhang. Det krävs en finare indelning, speciellt för de lägre nivåerna, samtidigt som det är viktigt att ta reda på och beskriva hur det faktiskt är och inte hur det borde vara. I exempelvis verkstäder kan reparation av material som varit på kontrollerat område (som rengjorts och friklassats) över tid bygga upp ett radioaktivitetsinventarium i en sådan utsträckning att ett överskridande av friklassningsgränsen inte kan uteslutas.

Något förenklat är det i samband med den radiologiska kartläggningen som en anläggning eller ett objekt kategoriseras i och med att det är då som de faktiska förhållandena undersöks.

I praktiken behöver en anläggning eller ett objekt kategoriseras redan innan eller i samband med planeringen av kartläggningen. Att kartlägga en hel anläggning på samma sätt blir inte särskilt effektivt och sannolikt mycket kostsammare än att anpassa kartläggningen baserat på risken för respektive graden av radioaktiv förorening. Att enbart kartlägga kontrollerat område (och därmed deklarerat övriga områden som utan risk för radioaktiv förorening) är inte i linje med vare sig god praxis eller gällande regelverk.

3.2 Indelning och principer

Följande kategorier används i friklassningssammanhang:

- Extremt liten risk för förorening.
- Liten risk för förorening.
- Risk för förorening.
- Förorenat över friklassningsgräns.

Nedan beskrivs de gemensamt definierade kategorierna. Genom att använda sig av kategorierna under friklassningsprocessens delsteg kan arbetet anpassas för att bli så effektivt som möjligt. Även friklassningsmätningarna behöver anpassas till varje kategori, se vidare i kapitel 7.

3.2.1 Extremt liten risk för förorening

Material, lokaler, byggnader och mark där radioaktivt material inte har hanterats, kontamination historiskt ej har detekterats och som sålunda rimligen inte kan ha förorenats med radioaktivt ämne kan kategoriseras som *extremt liten risk för förorening*.

Vid denna klassificering är det normalt inte nödvändigt att genomföra ett mätprogram för friklassning. Därmed finns det inte heller någon anledning att genomföra kartläggningsmätningar. Kategoriseringen grundas på andra bedömningar till exempel verksamhetsbeskrivningar och historisk information.

Material, lokaler, byggnader och mark med extremt liten risk ligger egentligen utanför det som behandlas i friklassningsföreskriften. Någon formell friklassning behövs ej för denna kategori, däremot krävs ett ställningstagande att kategoriseringen är korrekt.

Exempel för material är:

- allt material utanför kontrollerat område som rimligen inte kan ha utsatts för någon radioaktiv förorening,
- material från radiologiskt skyddat område som med stor säkerhet inte kan ha utsatts för någon radioaktiv förorening.

Exempel för lokaler och byggnader är:

- alla lokaler och byggnader utanför kontrollerat område som rimligen inte kan ha utsatts för någon radioaktiv förorening,
- lokaler och byggnader inom radiologiskt skyddat område som med stor säkerhet inte kan ha utsatts för någon radioaktiv förorening, till exempel en elcentral med separat ingång.

Exempel för mark är:

- alla områden utanför kontrollerat område som rimligen inte kan ha utsatts för någon radioaktiv förorening,
- områden inom radiologiskt skyddat område som med stor säkerhet inte kan ha utsatts för någon radioaktiv förorening, till exempel grönytor som aldrig använts som uppställningsplats eller dylikt.

Inget material och inga lokaler, byggnader eller utomhusytor inom kontrollerat (med avseende på kontamination) område bör klassificeras som *extremt liten risk för förorening*.

3.2.2 Liten risk för förorening

Kategorin *liten risk för förorening* omfattar material, lokaler, byggnader och mark som visserligen kan ha förorenats med radioaktivt ämne men som ändå på goda grunder kan antas vara fritt från radioaktiv förorening, eller är friklassningsbart med god marginal mot gällande gränsvärden utan särskilda åtgärder (till exempel dekontaminering).

Vid bedömningen *liten risk för förorening* kan en radiologisk kartläggning med vissa verifierade mätningar behöva genomföras. Material, lokaler, byggnader och mark med *liten risk för förorening* måste formellt sett friklassas.

Mätprogrammets omfattning anpassas efter risken för förorening och kan därför vara av stickprovsmässig och/eller av svepande karaktär.

Om aktivitet i närheten av gällande gränsvärden uppmäts, eller om det föreligger behov av dekontaminering före friklassning ska objektet ovillkorligt omkategoriseras till *risk för förorening* eller *förorenat över friklassningsgräns*.

Exempel för material är:

- material utanför kontrollerat område som kan men (naturligtvis) inte borde ha utsatts för någon radioaktiv förorening, till exempel utrustning på ren sida i omklädningsrum, inredning av kontor och pausrum i anslutning till kontrollerat område,

- material från radiologiskt skyddat område som inte bör ha utsatts för någon radioaktiv förorening,
- material från kontrollerat område som med god säkerhet inte har utsatts för någon radioaktiv förorening av betydelse i ett friklassningssammanhang.

Exempel för lokaler och byggnader är:

- lokaler och byggnader utanför kontrollerat område som kan ha utsatts för någon radioaktiv förorening eller där det finns en risk att lokalytorna över tid byggt upp en radioaktiv förorening,
- lokaler och byggnader inom radiologiskt skyddat område där enbart förpackat radioaktivt material eller oskärmat material med en ytkontamination under gällande gränsvärden för ytkontamination har hanterats,
- lokaler inom kontrollerat område där radiologisk verksamhet inte har bedrivits, personal från radiologisk verksamhet inte har passerat igenom och som inte rimligen har utsatts för luftburen kontamination. För denna klassificering är det viktigt med god anläggningskänedom över tid.

Exempel för mark är

- övriga områden utanför kontrollerat område, det vill säga de som inte är extremt liten risk (om det finns platser utanför kontrollerat område med risk för förorening bör de klassas som radiologiskt skyddat område),
- områden inom radiologiskt skyddat område där förpackat radioaktivt material eller oskärmat material med en ytkontamination under gällande gränsvärden för ytkontamination har hanterats,
- utomhusytor inom radiologiskt kontrollerat område där enbart förpackat radioaktivt material eller oskärmat material med en ytkontamination under gällande gränsvärden för ytkontamination har hanterats.

3.2.3 Risk för förorening

Kategorin *risk för förorening* omfattar material, lokaler, byggnader och mark som till följd av bedriven verksamhet eller hantering kan antas vara förorenade med radioaktivt ämne. Dekontamineringsåtgärder måste i många fall genomföras före friklassning. Vid bedömningen av risk ska en radiologisk kartläggning genomföras. Material, lokaler, byggnader och mark med *risk för förorening* måste formellt sett friklassas.

Exempel för material är:

- material från radiologiskt skyddat område där ytkontaminerat eller potentiellt ytkontaminerat material har hanterats eller lagrats i en sådan omfattning att överskridande av friklassningsgränsen inte kan uteslutas för material, till exempel verktyg och hanteringsutrustning
- allt övrigt material från kontrollerat område som inte redan konstaterats vara förorenat eller ha ett aktivitetsinnehåll över friklassningsgränsen.

Exempel för lokaler och byggnader är

- lokaler och byggnader inom radiologiskt skyddat område där ytkontaminerat eller potentiellt ytkontaminerat material har hanterats eller lagrats i en sådan omfattning att överskridande av friklassningsgränsen inte kan uteslutas
- alla övriga lokaler och byggnader inom kontrollerat område som inte redan identifierats vara förorenade över friklassningsgränsen.

Exempel för mark är:

- områden inom radiologiskt skyddat område där ytkontaminerat eller potentiellt ytkontaminerat material har hanterats eller lagrats i en sådan omfattning att överskridande av friklassningsgränsen inte kan uteslutas,
- alla övriga områden inom kontrollerat område.

Inget material och inga lokaler, byggnader eller utomhusytor utanför kontrollerat område ska normalt behöva klassificeras som *risk för förorening*.

3.2.4 Förorenat över friklassningsgräns

I kartläggningssammanhang används i många fall ytterligare minst en kategori, nämligen material, lokaler, byggnader och mark med radioaktiv förorening över friklassningsnivån.

För denna kategori är huvudfrågan om det är aktuellt/möjligt att genomföra dekontaminering eller om objektet i sin helhet ska betraktas som ett radioaktivt material eller avfall. För lokaler, byggnader och mark handlar det om vilka åtgärder som krävs för att uppnå kriterierna för friklassning. Det kan ske genom till exempel rengöring eller avlägsnande av ytskikt (se kapitel 5).

Friklassningsmätning är inte aktuellt förrän efter erforderlig dekontaminering (om detta är möjligt) då friklassningsmätning kan ske i enlighet med kategorin *risk för förorening*.

3.3 Omkategorisering i samband med friklassning

Vissa objekt eller delar av objekt kommer under friklassningsprocessen att behöva kategoriseras om i samband med att ny information blir tillgänglig eller att åtgärder vidtas för att avlägsna kontamination. Omkategorisering kan ske när som helst, men måste vara dokumenterad och motiverad på ett spårbart sätt eftersom resterande steg i friklassningsprocessen beror av objektets riskkategorisering. Vid två tillfällen under processen ska dock omkategorisering alltid genomföras:

- Efter avslutad radiologisk kartläggning då objektets radiologiska status är känd i detalj.
- Efter dekontaminering då objektets radiologiska status förändrats.

Följande principer bör användas för omkategorisering:

- Extremt liten risk för förorening – Om information framkommer som gör att kontamination inte kan uteslutas eller om kontamination påträffas ska objektet omkategoriseras enligt risken för förekomst av kontamination.
- Liten risk för förorening – Om kartläggningen inte visar på någon förekomst av kontamination kvarstår objektet i denna riskkategori. Om kontamination påträffas ska objektet kategoriseras om enligt risken för förekomst av kontamination.
- Risk för förorening – Om kartläggningen inte visar på någon förekomst av kontamination kan objektet omkategoriseras till liten risk för förorening. Om kontamination över friklassningsnivån påträffas ska objektet omkategoriseras som förorenat över friklassningsgräns.
- Förorenat över friklassningsgräns – Efter dekontaminering (och verifiering av denna) kan objektet kategoriseras om till *risk för förorening*.

Det är viktigt att omkategorisering till följd av uppmätt aktivitet anpassas till risken för kontamination *över* friklassningsnivån. Om man kan bedöma osäkerheten i mätvärdena kan denna risk kvantifieras i likhet med vad som anges i avsnitt 8.6. Man bör också bedöma kontaminationens fördelning över objektets yta och utifrån någon interpolationsmetod bedöma om det kan finnas kontamination över friklassningsgränsen i någon punkt som inte varit föremål för kartläggningsmätning.

Omkategorisering av objekt från en högre riskkategori till *extremt liten risk för förorening* kan inte göras baserat på mätresultat eller dekontamineringsåtgärder. Man kan inte hävda *extremt liten risk* om man tidigare under processen inte kunnat utesluta kontamination baserat på drifhistorik. Under processen kan det dock framkomma att den historiska information, som använts vid initial bedömning, varit bristfällig eller felaktig. Om detta medfört att ett objekt kategoriserats felaktigt bör denna kategorisering kunna revideras utifrån korrekt och fullständig information. Då kan det också bli aktuellt att omkategorisera ett objekt till *extremt liten risk för förorening*.

4 Radiologisk kartläggning

Uttrycket radiologisk kartläggning kan sammanfattas som en statusbestämning ur radiologisk synvinkel. Kartläggningen syftar till viss del till att verifiera den initiala kategoriseringen, men framförallt genomförs kartläggning för att skapa en bild av förekomsten av radioaktiv förorening ur flera perspektiv som dess typ, form, utbredning och koncentration. Den radiologiska kartläggningen är en av de viktigaste hörnstenarna i ett avvecklingsprojekt och utgör bland annat underlag för:

- val av mätmetod för friklassningsmätning,
- framtagande av nuklidvektorer,
- avgränsning och riskkategorisering av anläggningens ytor inför friklassningsmätningar.

Radiologisk kartläggning innebär ofta ett omfattande arbete där stora mängder data ska inhämtas, genereras (genom mätning) och sammanställas. Därför är noggrann planering och systematisk lagring och behandling av data av yttersta vikt för att säkerställa att den omfattande arbetsinsatsen också ger den information som behövs för att gå vidare i friklassningsprocessen och avvecklingen som helhet. Rätt hanterade kan dessa data även nyttjas som komplement till friklassningsmätningarna.

I ett idealt scenario börjar en kärnteknisk anläggning kartläggas ur ett avvecklingsperspektiv redan innan den ens har börjat byggas (se avsnitt 2.1.1). Därefter bedrivs olika typer av kartläggningsinsatser under anläggningens hela livscykel. Undersökningarnas innehåll och intensitet förändras med anläggningens skeden. Radiologiska kartläggningsinsatser i någon form pågår ända fram till dess att avvecklingen har avslutats och anläggningen inte längre omfattas av de kärntekniska regelverken.

En vanlig missuppfattning är att radiologisk kartläggning enbart handlar om mätningar, provtagningar och radiologiska analyser. Sanningen är att drifhistorik, incidentrapporter, kunskap om verksamhetsförändringar, anläggningsändringar, med mera, är väl så viktiga parametrar i en radiologisk kartläggning.

En annan vanlig missuppfattning är att resultatet från en radiologisk kartläggning även utgör ett komplett underlag för friklassning. Viss information kan vanligen användas som ett underlag för friklassning förutsatt att kvalitetskriterier, spårbarhet, med mera, innehålls. Normalt består dock en radiologisk kartläggning av ett betydligt grovmaskigare nät än det som behövs för friklassning då radiologisk kartläggning och friklassningsmätning inför friklassning har skilda syften. Kartläggningen ska ge en bild av en anläggnings radiologiska status medan friklassningsmätningarna ska säkerställa att gällande gränsvärden innehålls.

Så snart det har planerats eller beslutats om att en kärnteknisk anläggning ska avvecklas måste kartläggningsplaneringen påbörjas/intensifieras.

Kartläggningsplaneringen bör omfatta:

- att ta fram kravbilderna för kartläggningen,
- en analys av hur kartläggningsprojektets behov omsätts till praktiska åtgärder (behovsanalys, se avsnitt 4.1.1),
- vilka principer och mål som behövs (syfte),
- en inventering av vilka metoder och åtgärder som erfordras för att genomföra kartläggningen,
- val av informationshanteringsverktyg och kvalitetssäkringssystem.

Implementeringen av system och rutiner för att säkra spårbarhet och kvalitetssäkring är något som måste ges prioritet. Allt för många kartläggningsprojekt har fått kassera stora mängder information på grund av brister i kvalitetssäkring och spårbarhet.

4.1 Initiering

Innan en radiologisk kartläggning påbörjas är det viktigt att behov och mål för informationsinhämtningen fastställs. Initieringsfasen består därför sammanfattningsvis av en identifiering av kampanjens syfte och huvudmål, och bör dokumenteras i en teknisk rapport innehållande:

- syfte och mål,
- förutsättningar – en kortfattad beskrivning av de objekt och/eller anläggningsdelar som ska kartläggas,
- identifierade behov (se avsnitt 4.1.1 nedan),
- initial riskkategorisering i den mån sådan finns (se avsnitt 4.2 nedan),
- tillgängliga data, tillgänglig övrig information,
- typerna av kartläggningsinsatser som förväntas,
- anpassning till den statistiska modell som avses användas.

Det är avgörande att definiera vilken information som erfordras och vilka krav som ställs på noggrannhet. Kartläggningsinsatser är dyra och har normalt en relativt lång ledtid från initiering tills dess att en slutrapport föreligger. I stor utsträckning är den radiologiska kartläggningen en förutsättning för efterföljande aktiviteter. En otillräcklig eller felaktigt utförd radiologisk kartläggning orsakad av en bristfällig behovsinventering eller felaktig initial anläggningskategorisering kan få stora konsekvenser för ett avvecklingsprojekt.

4.1.1 Behovsanalys

En behovsinventering både vad det gäller typ av information som behöver inhämtas, detaljeringsgrad (detektionsgränser, antalet mätpunkter per ytenhet, med mera) och avgränsningar måste genomföras för att säkerställa att kartläggningen kan nå uppsatta eller sannolikt erforderliga mål. Det är rekommenderat att använda en etablerad metodik för att genomföra behovsinventeringen.

USA:s federala miljömyndighet, US EPA, har utvecklat nedanstående metod för behovsanalysen (se till exempel EPA 2006a, MARSSIM (NRC 2000) eller MARLAP (NRC 2004)). Denna metodik, som ofta benämns *DQO-processen* (Data Quality Objectives, datakvalitetsmål) har implementerats och nyttjas i ett flertal länder. Metodiken består av sju steg som utvecklats för att definiera tydliga kartläggningsmål:

1. *Beskriv problemet*

Beskriv på ett tydligt sätt frågeställningen som kartläggningsinsatsen ska besvara. Dra nytta av lärdomar från tidigare kartläggningar (både för den egna anläggningen och andra liknande anläggningar). Skapa en förståelse för frågeställningen.

2. *Identifiera målet med projektet*

Lista de frågor som ska besvaras och vilka åtgärder och beslut som kan erfordras för detta.

3. *Identifiera vilka indata som krävs för att besvara frågorna.*

Identifiera vilken information som måste inhämtas för att skapa en förutsättning för att besvara frågorna och välj lämplig metod för att samla in och analysera data.

4. *Definiera de yttre begränsningsytorna för projektet*

Ta fram kartläggningskampanjens avgränsningar med avseende på genomförandetid och fysisk begränsning. Bestäm när och var information ska inhämtas.

5. *Ta fram en beslutsmodell*

Definiera vilka parametrar och kriterier som är av betydelse och respektive kravbild. Dessa får sedan gälla som kriterier för kartläggningens mät- och analyskampanjer.

6. *Ta fram acceptanskriterier*

Definiera acceptanskriterier för information och slutsatser i kartläggningen baserat på konsekvensen av ett felbeslut som bristfällig information innebär. Denna bedömning kan gälla antal prover (det vill säga hur finmaskig studien är), valda mätmetoder, detektionsgränser, vilka nuklider som mäts, med mera.

7. Optimera kartläggningsprojektet

Utvärdera information från tidigare kartläggningar av anläggningen och ta fram alternativa datainsamlingsmodeller. Välj de effektivaste metoderna eller kombinationen av metoder som uppfyller uppställda krav. Det är viktigt att den information som inhämtas är representativ, i linje med de uppställda målen samt tillräckligt komplett.

4.1.2 Mål och syfte

Mål och syfte med kartläggningsinsatser kan variera, men när det gäller kartläggning i syfte att kunna friklassa och riva en anläggning är det övergripande målet att ta fram den information som behövs för efterkommande steg i processen, vanligtvis friklassningsmätning eller dekontaminering (i de fall man inte kan kategorisera objekt som *extremt liten risk för förorening*). Den radiologiska kartläggningen bör då innefatta:

- bestämning av den radioaktiva föroreningens form, utbredning och variation,
- verifiering av anläggningens teoretiska aktiverings- och kontaminationsberäkningar,
- framtagning och/eller verifiering av nuklidvektorer.

Utöver att skapa en bild av anläggningens radiologiska status, bör den radiologiska kartläggningen även ta fram underlag för att:

- bedöma erforderlig dekontaminering, såväl lämpliga metoder som dess omfattning,
- kvantifiera behovet av avfallshantering, avfallsbehandling och slutförvaring,
- bedöma vilka återställningsinsatser som behövs i avvecklingsprocessens senare skede (eventuell uppdatering av avvecklingsplanen),
- bedöma dos till avvecklingspersonalen och risk för utsläpp samt behovet av fjärrhantering, ventilation och personlig skyddsutrustning,
- ta fram säkerhetsredovisningar, miljökonsekvensbeskrivningar, kostnadsberäkningar redovisning enligt artikel 37 (EU 2010a) med mera.

4.2 Initial bedömning och planering

4.2.1 Befintlig information

Kvalitetssäkrad befintlig information om anläggningen är en stor tillgång för ett kartläggningsprojekt. En väl avvägd användning av befintlig information i det fortsatta arbetet, såväl mätdata som annan information, kan innebära en stor besparing vad det gäller resurser samt mängden mätningar och analyser.

Det bör påpekas att historisk information inte alltid är till fördel för ett kartläggningsprojekt. Felaktig, överdriven eller bristfällig information kan innebära onödigt omfattande insatser för att till exempel identifiera radiologiska konsekvenser av en potentiell incident. En noggrann värdering av insamlad historisk information i ett tidigt skede rekommenderas.

Information som behöver samlas in är till exempel ritningar och beskrivningar av anläggning as-built det vill säga som anläggningen faktiskt har konstruerats (vilket kan skilja sig från ritningsunderlagen) samt information om zonindelning och eventuell tidigare riskkategorisering. För att få en så god beskrivning av drifhistoriken som möjligt bör man försöka beskriva tidigare verksamhet så detaljerat som möjligt. Denna beskrivning ska bland annat besvara följande frågor:

- Har vatten- eller luftburen kontamination förekommit i objektet (läckage i aktiva utrymmen)?
- Var har kontaminerat material hanterats/förvarats?
- Var har kända kontaminationsincidenter inträffat (läckage i till exempel tankceller)?
- Hur kan kontamination ha spridits (till exempel med personal)?
- Vilka underhållsåtgärder har genomförts?
- Finns det miljöfarligt material (farligt material och arbetsmiljö risker bör också identifieras)?
- Kan kontamination härröra från yttre påverkan eller verksamhet som förekom på platsen före anläggningen togs i drift?

Man kan inte förutsätta att alla händelser av betydelse för friklassning har dokumenterats på ett sätt så att informationen finns lätt tillgänglig. Därför bör man om möjligt även intervjua personal från verksamheten för att få en så god bild av anläggningens historik som möjligt.

Följande punkter bör särskilt beaktas när det gäller befintlig/historisk information:

- Identifiera områden som avviker från det normala (till exempel på grund av spill eller historisk verksamhet som påverkat den radiologiska miljön) och som därför motiverar extra uppmärksamhet i samband med kartläggningen.
- Beskriv på ett strukturerat sätt historiska händelser och tidigare verksamheter utförligt (till exempel datum eller tidsperiod, plats, aktivitets-/incidentsbeskrivning, med mera) inklusive relevant referensmaterial.
- Belys områden där det finns inkonsekvenser eller luckor i tillgänglig information.

En välstrukturerad hantering av befintlig information kan skapa förutsättningar för:

- mer riktade insatser under kartläggningen och den övriga avvecklingen,
- lägre kostnader (genom att undvika återinsamling av redan befintliga data),
- reduktion av risken för ett bristfälligt/inkomplett kartläggning.

4.2.2 Initial bedömning

Den initiala bedömningen syftar primärt till att ta fram en riskkategorisering av objektet. Vidare kartläggningsarbete anpassas sedan efter denna riskkategorisering.

Det är av stor vikt att en anläggning som är föremål för avveckling, på ett så tidigt stadium som möjligt kategoriseras enligt de riskkategorier som beskrevs ovan i kapitel 3. Om initial riskkategorisering inte kan hämtas direkt från befintlig dokumentation, bör den historiska informationen (enligt avsnitt 4.2.1) ligga till grund för en första riskkategorisering.

För en anläggning i drift är kategoriseringen av naturliga skäl ytterst preliminär, men ändå av stor betydelse både för att planera kartläggningsinsatser som för avvecklingsplaneringen i stort. En initial kategorisering kan även hjälpa anläggningar i drift att undvika att kontaminerat material förs in på områden som kategoriserats som rena.

En bristfälligt eller felaktigt utförd initial anläggningskategorisering kan, i värsta fall, föranleda att en otillräckligt kartläggning görs och att radioaktivt förorenat material senare förs ut från anläggningen av misstag.

En alltför konservativ initial kategorisering kan innebära att onödiga resurser läggs på radiologisk kartläggning av helt rena anläggningsdelar.

Det är därför av stor vikt att den initiala riskkategoriseringen görs med eftertanke. Det är i detta skede som kategorin *extremt liten risk för förorening* kan tillämpas för de delar av anläggningen där man, från den befintliga informationen om anläggningen, med säkerhet kan säga att kontamination inte förekommer (se kapitel 3).

Utöver denna riskkategorisering ska man under den initiala bedömningen ta fram den information som krävs för att planera och genomföra kartläggningsmätningar och dekontaminering. Den information som bör tas fram i denna fas är:

- önskat sluttillstånd och framtida verksamhet (gäller framför allt mark),
- 3D-modell för att skapa provtagningsplan och analysera mätdata,
- teoretisk bedömning av möjligt förekommande nuklider och beräkning av nuklidvektor,
- lämpliga dekontamineringsmetoder för att hantera:
 - löst sittande kontamination,
 - lokalt inträngd kontamination (till exempel sprickor och gränsskikt),
 - fast eller homogent inträngd kontamination eller aktivering.

4.2.3 Val av mätmetoder för kartläggningsmätningar

En del av syftet med kartläggningen är att bestämma lämplig mätmetod för friklassningsmätningarna. I samband med kartläggningsmätningar är det därför inte säkert att alla faktorer som påverkar val av mätmetod är kända. Valet av mätmetoder för kartläggningsmätningarna måste därför baseras på befintlig information om anläggningen samt erfarenhet från tidigare kartläggningsinsatser.

Valet av metod för kartläggningsmätningarna påverkas i stor utsträckning av typ av radioaktiv förorening och föroreningens egenskaper:

- Förekomsten av betydande alfa- och rent betaemitterande förorening erfordrar provtagning och efterföljande laboratorieanalys för nuklidspecifik aktivitetsbestämning.
- Mycket heterogen förorening ökar behovet av provtagning för att bestämma nuklidsammansättningen.
- Föroreningar som har trängt in i matrisen, till exempel förorening av betongstrukturer, erfordrar provtagning.
- Aktiverat material kräver också provtagning för att bestämma aktiveringsdjup och nuklidfördelning.
- Andra typer av föroreningar, till exempel rent ytliga föroreningar på metalliska ytor eller andra byggnadsytor med obetydlig risk för inträngning av aktivitet, kan ofta bestämmas genom fältmätningar, förutsatt att bakgrunds-nivån inte stör.

Man bör även försöka kombinera mätmetoder som täcker ett stort område (till exempel gammaspektroskopimätning med en oskärmad detektor eller dosratsmätning) med metoder som ger detaljerad lokal information om kontaminationen (pulsratsmätning eller gammaspektroskopimätning av en liten yta). Man kan genom detta få både en bild av medelkontaminationsnivån och kontaminationens rumsfördelning.

Baserat på den initiala bedömningen av aktivitetsförekomst, fördelning och nuklidvektor ska följande moment genomföras:

- Identifiera lämpliga mätmetoder för att bestämma aktivitet med scintillationsinstrument och gammaspektroskopi (som med stor sannolikhet också kan användas vid friklassningsmätning).
- Identifiera svärmätbara nuklider för ex situ analys.
- Identifiera kvalitetssäkrade metoder för ex situ analyser alternativt identifiera leverantörer som kan genomföra dessa (till exempel genom ackreditering).

4.2.4 Provtagningsstrategi för kartläggningsmätningar

Syftet med framtagningen av en provtagningsstrategi är att forma principer och riktlinjer för genomförandefasen för att säkerställa att tillräcklig och lämplig information samlas in. Till exempel:

- förfaringsätt beaktande fysiska, radiologiska och tidsmässiga begränsningar,
- krav på rutiner för att säkerställa att kvalitetsmål och spårbarhet kan uppnås,
- principer för data- och övrig informationshantering, samt statistisk modell för utvärdering.

Vid kartläggning är man inte nödvändigtvis bunden av att säkerställa att statistiska metoder är tillämpbara på samma sätt som vid friklassningsmätning. Man kan således istället fördela mätpunkter för att täcka in objektens ytor så bra som möjligt eller rikta provtagningsinsatserna för att identifiera och avgränsa kontaminerade områden. Den metodik som ska tillämpas för att analysera kontaminationens rumsfördelning (till exempel *kriging*¹) kan dock ställa krav på mät- och provpunkternas fördelning (OECD/NEA 2013).

Strategin för provtagning och mätning kan antingen vara bedömningsbaserad eller probabilistisk (sannolikhetsbaserad). Probabilistiska metoder kräver ingen direkt kännedom om anläggningen då mätpunkterna slumpas ut eller fördelas enligt en viss systematik (till exempel i ett rutnät).

¹ Kriging är en statistisk metod för interpolation

Sannolikheten för radioaktiv förorening är inte något kriterium för placering av mät- och provtagningspunkter. Eftersom syftet med kartläggningarna främst är att lokalisera och bedöma omfattningen av potentiell kontamination, kan ett bedömningsbaserat tillvägagångssätt begränsa provtagningen till de områden där sannolikheten för kontamination bedöms vara störst. På så sätt kan man hålla nere provtagnings-, analys och mätningkostnaderna, men detta kräver dock en mycket god anläggningssäkerhet. Annars är risken stor att man missar kontaminerade områden som då först upptäcks i samband med friklassningsmätning.

I komplexa situationer kan en blandning av bedömningsbaserade och probabilistiska metoder vara att föredra. Även kraven för friklassningsmätningarna (kapitel 7) bör beaktas så att data från kartläggningen kan återanvändas.

För att implementera den strategi som valts för provtagning och direkta mätningar behövs en plan. En sådan plan bör innehålla:

- en introduktion beskrivande objektet, problemställningen bakom kartläggningen och syfte/mål med projektet,
- en sammanfattning av provtagnings- och mätstrategin, inkluderande själva strategin men även en orientering kring de överväganden som gjorts,
- en beskrivning av hur strategin omsätts i praktiska åtgärder,
- fördelning av mät- och provtagningspunkter,
- beskrivning av mättekniken och acceptanskriterier,
- instruktioner för hantering av prover, mätdata och övrig information,
- instruktioner och krav för fältmätningar (inklusive funktionskontroll och kalibrering),
- rutin för informationshantering och analys av data.

Den sista punkten innefattar även system för registrering och lagring av mätdata inklusive positionsinformation.

4.2.5 Dokumentation och plan

Resultaten från den initiala bedömningen och de förberedande momenten inför kartläggningarna ska redovisas i en historikrapport. Avsikten är inte att framställa ny information för att fylla uppenbara luckor, inkonsekvenser och andra brister i den tillgängliga informationen. Brister bör istället identifieras och noteras som underlag för beslut om åtgärder. I denna rapport bör man även tydligt beskriva vilken värdering som gjorts av den befintliga/historiska informationen.

Dokumentet bör baseras på en kritisk bedömning av relevant information, vars kvantitet och kvalitet varierar beroende på det ursprungliga syftet med den historiska dokumentationen.

Denna rapport ska innefatta:

- en redovisning av delområdesindelningen enligt riskkategorier,
- riskkategorier för varje delområde samt motivering till dessa,
- redovisning av beräknad nuklidspecifik aktivitetsförekomst,
- redovisning av föreslagna mätmetoder och mätomfattning,
- rekommendationer och slutsatser inför fortsatt arbete.

Provtagningsplanen dokumenteras lämpligen i samma system som används för planering av mätningarna, registrering av mätdata och analys av mätvärden.

När den initiala bedömningen avslutats bör man också uppdatera projektplan, kostnadsberäkning och projektorganisation för det fortsatta arbetet.

4.3 Kartläggningsmätningar

4.3.1 Provtagning och mätning

Processen för provtagning och mätning består av tre delar:

1. Förberedelser – förståelse för provtagningsplanen, produktionen av operativa instruktioner, ta fram provtagnings- och mätutrustning, bereda provobjektet. I förberedelsedelen bör det ingå att säkerställa kalibrering av mätutrustning, funktionskontroll samt inte minst utbildning av personal.
2. Utförande – provtagningar, fältmätningar, strålskydd och konventionell säkerhet, kontroll och hantering av provbehållare, dokumentation av utförda moment.
3. Leverans – avsändning av prover till analyslaboratorium, hantering av provresultat och arkivering av provmaterial.

Vanliga fel i samband med provtagning är till exempel:

- felaktiga förberedelser,
- olämpligt val av eller användning av provtagningsverktyg,
- okalibrerad utrustning,
- bristfälligt eller felaktigt provkärl,
- felaktig provsammansättning eller provtagning,
- felaktigt omgivningsvärde (mätmiljö),
- förändrade förutsättningar (väder, temperatur),
- förlust av provmaterial (till exempel flyktiga ämnen),
- korskontamination,
- provtagning på fel position eller felaktig registrering av position,
- bristfällig eller felaktig märkning av prov.

För fler exempel på potentiella fel i provtagning och provhantering se exempelvis MARLAP (NRC 2004).

4.3.2 Mätmetoder vid radiologisk kartläggning

Typiska fältmätningar är dosrats- och pulsratsmätning samt nuklidspecifik gammamätning.

Dosratsmätning används som en första indikation på aktivitetsinnehållet och görs enligt normala strålskyddsrutiner i första hand i utrymmen som innehåller radioaktiva system eller systemdelar. Det är inte möjligt att med ett dosratsinstrument avgöra om ett material eller en yta är föremål för friklassning eller ej varför dosratsmätningen vid mycket låga dosrater behöver kompletteras med pulsratsmätningar för att vara av större värde vid en radiologisk kartläggning.

Pulsratsmätning med scintillationsdetektor (scint) ger en god indikation av totalaktivitetsnivån för beta- och (beroende på val av detektor) även gammastrålande nuklider. Även alfastrålande nuklider kan bestämmas men det föreligger en stor risk för skärmning om ytorna har någon beläggning eller, till exempel, har blivit ommålade. Det är viktigt att påtala att lågemitterande nuklider som nickelisotoperna Ni-59 och Ni-63 inte kan detekteras med scintillationsdetektorer. Om, och i så fall i vilken utsträckning, lågemitterande nuklider kan förekomma i sådana halter att de behöver bestämmas bör bedömas i planeringsfasen då de har stor påverkan på kraven och kostnaden för laboratorieanalyser.

Nuklidspecifik fältmätning av gammaemitterande nuklider med en germaniumdetektor eller en natriumjodiddetektor är en effektiv metod för att göra aktivitetsbestämning av större ytor. Alternativt kan en gammakamera (se till exempel Carrel et al. 2011) användas för fältmätningar (fler exempel på mät- och provningsutrustning ges i bilaga B).

Laboratorieanalyserade materialprov bör ligga till grund för bedömning av nuklidvektorn. Nuklidvektorn kan i sin tur ge en scint-effektivitet om inte scint-effektivitetsmätningar av praktiska skäl kan göras.

Bakgrundsstrålning (till exempel K-40 i betong) behöver beaktas vid alla fältmätningar, och kan hanteras genom till exempel separat bestämning av bakgrundsnivå eller bakgrundskorrektion utifrån analys av gammaspektrum (Gilmore 2008).

Provtagning kompletterat med laboratorieanalys kan förenklat delas in i strykprovstagning och materialprovsanalys. Dessa metoder innefattar enkla analyser som strykprovstagning kombinerat med analys av total aktivitet i ett lokalt utvärderingsinstrument så väl som materialprover vilka skickas till särskilda laboratorier för bestämning av lågemitterande nuklider som till exempel C-14 och CI-36.

Strykprov är en enkel men osäker metod för aktivitetsbestämning. Förenklat uttryckt ger strykprover en indikation på mängden lös aktivitet. Strykprover kan, om så erfordras, analyseras nuklidspecifikt. Strykprover ger dock ingen indikering av fast sittande radioaktiv förorening. Trots sin begränsning är strykprovstagning genom sin enkelhet en viktig och uppskattad mätmetod vid radiologisk kartläggning. En radiologisk kartläggning enbart med hjälp av strykprov ger dock ett mycket begränsat och otillförlitligt resultat.

Som komplement till strykprov kan svepmätning med en större duk göras för att skapa en genomsnittsbild. Även strykprov med tejp eller liknande provtagningsmaterial kan användas som alternativ till strykprovskontroll för ytor som inte lämpar sig för strykprovstagning (som betongytor).

Bestämningen av fast sittande nuklider görs genom analys av materialprov. Uttagna prover mäts i sin helhet (nuklidspecifik gammamätning) eller så provbereds en liten delmängd inför analys (nuklidspecifik alfa- eller betamätning). Nuklidspecifik analys av materialprover är framför allt viktigt vid bestämning av nuklidvektorer (se kapitel 6)

4.3.3 Analys och utvärdering

De laboratorier där analyserna av proverna genomförs måste uppfylla uppställda krav på kvalitets-säkring (se kapitel 10). Brister i kvalitetssäkringen reducerar eller i värsta fall eliminerar värdet av analysresultaten.

Kompletterande kvalitetssäkringsåtgärder som till exempel dubbla analyser för en delmängd av proverna, kan göras som en del av kvalitetssäkringen. Data från de dubblerade proverna kan användas på flera sätt, till exempel för att identifiera avvikelser, trender eller mönster av intresse, och inte minst osäkerheten i analyserna.

Många prover som tagits för den radiologiska kartläggningen kan också vara användbara vid bestämning av aktivitetsförekomst i andra delar av en anläggning. Information om nuklidsammansättning kan till exempel användas för att bestämma nuklidvektorer för objekt med liknande kontaminationshistorik.

En effektiv och säker databehandling i samband med radiologisk kartläggning är extremt viktig. Utvecklingen av ett system för hantering av den information som inhämtas i ett kartlägningsprojekt ska ges prioritet tidigt i planeringsfasen. Det finns kommersiella system på marknaden vilka sannolikt behöver anpassas för det specifika behovet. En tydlig kravspecifikation behöver tas fram innan utvärdering och val av system görs. Innan provtagningar och mätningar påbörjas måste systemet för att samla in och systematisera data provas och kvalitetssäkras (exempel på datahanteringssystem ges i bilaga C).

Databehandling innebär bland annat bedömning och värdering av de data som genererats vid fältmätningar och laboratorieanalyser i syfte att säkerställa användbarhet, kvalitet och att övergripande mål innehålls.

En preliminär bedömning av erhållna mätvärden bör göras så snart som möjligt. Tidig upptäckt av individuella eller systematiska brister ger mindre konsekvenser. Till exempel kan provmaterial finnas kvar hos laboratoriet, mät och provtagningspersonal med utrustning finns tillgänglig både för att utreda orsak som för att vidta kompensatoriska åtgärder. Tidig upptäckt reducerar risken för kostnadsöverskridanden och förseningar i projektet.

Där en uppsättning data identifieras som obrukbar eller avvikande, bör bristen följas upp formellt med de involverade. Detta ger förutsättningar för ett snabbt avhjälpande, samt ger information för trend- och prestandaspårning av utrustningar, mät-team, analyslaboratorium med mera.

Om en informationspost bedöms vara komplett och utan oacceptabla brister vid den preliminära bedömningen bör den registreras i informationshanteringssystemet. Om data från tidigare mätning redan finns registrerad i systemet är det viktigt att det finns ett formellt steg där någon måste ta ställning till informationen och godkänna att den kan användas för den radiologiska kartläggningen. Detta steg behöver dokumenteras.

Statistiska eller automatiserade metoder kan användas för bedömning av data men kan inte fullt ut ersätta den manuella bedömningen.

Processen för kontroll och godkännande av data behöver vara effektiv då det normalt handlar om stora datamängder. Konsekvenserna av sena upptäckter av brister till följd av eftersläpning kan bli stora. Erforderlig kompetens för granskare bör stå i proportion till den komplexitet och betydelse informationen har.

Oväntade eller avvikande resultat ska kunna hanteras i kartläggningen, men DQO-processen kan behöva uppdateras för att ta de oväntade eller avvikande resultaten i beaktande (målet med kartläggningen kan till exempel behöva revideras om kontaminationsnivån för ett objekt avviker mycket från det förväntade).

4.3.4 Rekommenderat genomförande för kartläggningsmätningar

För att genomföra kartläggningsmätningarna så effektivt som möjligt rekommenderas att mätinsatsen och genomförandet anpassas efter den riskkategorisering som gjorts i samband med den initiala bedömningen. Nedan beskrivs ett förslag på genomförande för de olika riskkategorierna. I beskrivningen förutsätts att objektet ska nedmonteras och rivas och att det inte kommer att användas (eller vara i drift) efter kartläggningsmätningarna.

I nedanstående beskrivning förutsätts att materialprover för bestämning av inträngningsdjup och nuklidvektor endast tas i områden med förorening över friklassningsnivån. Om sådana områden saknas måste kartläggningen kompletteras med materialprover från områden med lägre riskkategori.

Extremt liten risk för förorening

Objekt i denna kategori behöver inte friklassas och någon kartläggning av aktivitetsförekomst behövs heller inte. Dock behövs någon form av verifiering av kategoriseringen *extremt liten risk för förorening*. Följande moment föreslås:

- Mät aktivitet vid punkter där sannolikheten att hitta kontamination är som störst.
- Avgränsa/spärra av området och förvalta det så att det inte kommer att kontamineras.
- Om kontamination påträffas ska objektet eller del av objektet kategoriseras om till liten risk (eller högre). Det samma gäller nedmonterat material.

Liten risk för förorening

För objekt som kategoriseras som endast *liten risk för förorening* krävs egentligen inte kartläggningsmätningar då det inte är sannolikt att det förekommer någon kontamination. En mindre mängd riktade mätningar kan dock behöva genomföras för att motivera en mindre omfattande friklassningsmätning (jämfört med objekt i kategorin *risk för förorening*) samt för att verifiera att det inte förekommer punkter av förhöjd kontamination. Följande moment föreslås:

- Nedmontera om möjligt all processutrustning och flytta alla lösa inventarier som kan undvaras och friklassa som material alternativt klassificera det som radioaktivt avfall.
- Bokför varifrån utrustning nedmonterats eller flyttats. Om kontamination upptäcks på material bör det gå att spåra var i lokalen kontamination kan finnas.
- Genomför ett fåtal gammaspektroskopiska mätningar för större ytor (okollimerad detektor) för att bestämma medelaktivitet och förhållande mellan gammastrålände nuklider (i den mån det finns kontamination).

- Gör enstaka nedslag med scintillationsinstrument och ta strykprov där sannolikheten att hitta kontamination är som störst.
- Alternativt kan gammakamera användas för att lokalisera (eller utesluta förekomsten av) kontaminerade områden.
- Om kontamination under friklassningsnivån påträffas eller om gammaspektroskopiska mätningarna antyder att det finns kontaminerade områden ska objektet eller del av objektet kartläggas ytterligare enligt kategorin risk för förorening. Här krävs en subjektiv bedömning av vilken aktivitetsnivå som kan tolereras för att ligga kvar i kategorin liten risk för förorening.
- Om kontamination över friklassningsnivån påträffas ska objektet eller del av objektet omkategoriseras till förorenat över friklassningsgräns.

Risk för förorening

För objekt i denna kategori är kartläggningsmätningarna av stor vikt för att minimera risken för att kontamination över friklassningsnivån påträffas i samband med friklassningsmätningarna. Det är dock möjligt att delar av objektet är rena så det är önskvärt om resultaten av kartläggningsmätningarna i så hög grad som möjligt kan återanvändas i samband med analys av friklassningsmätningarna. Följande moment föreslås:

- Genomför första till fjärde punkten i listan för liten risk för förorening ovan (om de inte utförts tidigare). Behovet av spårbarhet när det gäller nedmonterat/flyttat material är högre här då risken för kontamination är högre.
- Gör nedslag med scintillationsinstrument och tag strykprov för att täcka hela objektets yta. För att kontaminationens spatiala variation ska kunna analyseras får avståndet mellan mätpunkter inte vara för stort (se Desnoyers och Dubot 2012). Om tidigare mätningar inte indikerat någon kontamination kan det vara lämpligt att mätpunkterna fördelas oberoende och likafördelat (se avsnitt 8.5). På så sätt kan mätningarna vägas samman med friklassningsmätningarna om kontamination över friklassningsnivån inte påträffas.
- Gör svepande mätningar med scintillationsutrustning för att lokalisera kontamination (alternativt används gammakamera). Denna mätning syftar till att identifiera små områden med förhöjd aktivitet som annars kunde ha missats vid de stickprovsmässiga mätningarna.
- Genomför en analys av aktivitetsfördelningen för objektet (till exempel med geostatistiska metoder).
- Gör tätare nedslag med scintillationsinstrument där analysen visar på luckor i informationen.
- Om kontamination över friklassningsnivån identifierats ska objektet eller del av objektet omkategoriseras till förorenat över friklassningsgräns. Om kontamination inte påträffas kan objektet omkategoriseras till liten risk för förorening. Om endast kontamination under friklassningsgränsen påträffas kan objektet genomgå friklassningsmätningar enligt kategorin *risk för förorening*.

Förorenat över friklassningsgräns

I små utrymmen, kraftigt kontaminerade utrymmen eller utrymmen där man på förhand vet att kontaminationen är jämt fördelad är det inte meningsfullt eller lämpligt ur ALARA-synpunkt att genomföra kartläggning. Dessa områden bör först dekontamineras och där efter kategoriseras som *risk för förorening* vid friklassningsmätning. Kontaminationen bör dock provtas för nuklidspecifik analys.

I större utrymmen där kontaminationsnivån varierar finns det skäl att begränsa dekontamineringsinsatsen till att täcka endast de kontaminerade områdena av objektet. Om det kan motiveras ur ALARA-synpunkt kan man först kartlägga objektet för att ringa in kontaminerade områden. Följande moment föreslås:

- Genomför första och andra punkten i listan för liten risk för förorening ovan (om de inte utförts tidigare).
- Genomför andra till fjärde punkten i listan för risk för förorening (om de inte utförts tidigare).

- Gör tätare nedslag med scintillationsinstrument kring kontaminerade områden.
- Genomför en förnyad analys av aktivitetsfördelningen för objektet för att avgränsa områden som måste dekontamineras.
- Provta kontamination för nuklidspecifik analys.
- Ta materialprover i kontaminerade områden för att analysera inträngning i materialet (tag även prover vid sprickor, gränsskikt, genomföringar med mera). Detta gäller även nedträngning i mark.
- Revidera riskkategoriseringen efter den samlade bedömningen av kartläggningsmätningarna (vissa delar av objektet kanske kan avgränsas och kategoriseras enligt en lägre riskkategori).

4.3.5 Dokumentation och förvaltning

Resultatet av kartläggningsmätningarna bör redovisas i en kartläggningsrapport. I rapporten bör de slutsatser som drogs i historikrapporten revideras (se avsnitt 4.2.5). Rapporten bör innefatta:

- reviderad delområdesindelning,
- reviderad riskkategori för varje delområde samt motiv till dessa,
- mätresultat inklusive fördelning av aktivitet över objektets yta,
- reviderade mätmetoder,
- reviderade förslag på dekontamineringsåtgärder,
- uppdaterad nuklidvektor baserad på mätdata.

Projektplan och kostnadsuppskattning bör också revideras med hänsyn till resultaten av kartläggningsmätningarna (se kapitel 12).

Kartlagda områden bör märkas så att det tydligt framgår att kartläggningsmätningar genomförts. Objekt i kategorin *extremt liten risk för förorening* eller *liten risk för förorening* bör om möjligt spärras av så att återkontamination förhindras.

5 Dekontaminering

Detta kapitel beskriver översiktligt dekontaminering innan friklassningsmätning av lokal/byggnad och mark. Dekontaminering för ett helt avvecklingsprojekt beskrivs med andra ord inte.

Dekontaminering genomförs dels för att möjliggöra friklassning av objekt med förorening över friklassningsgränsen och dels för att i möjligaste mån avlägsna (sanera) lös kontamination i enlighet med SSM:s allmänna råd till 7 § SSMFS 2011:2 (SSM 2011). Vid sanering bör kvarvarande kontamination motsvarande en tiondel av föreskrivna friklassningsnivåer eftersträvas.

I normalfallet genomförs dekontaminering efter genomförd kartläggning och riskkategoriseringen, det vill säga när det finns en bild av föroreningens omfattning och utbredning. I vissa fall kan det dock vara nödvändigt att genomföra dekontaminering innan kartläggningsmätningarna genomförs, till exempel för kraftigt förorenade områden där kartläggningsmätning innan dekontaminering skulle medföra oacceptabel dos till personal.

Dekontaminering kan också bli aktuellt efter det att friklassningsmätning genomförts i de fall objektet inte visar sig vara rent nog. En sådan sen upptäckt ska om möjligt undvikas då en sen dekontaminering kan påverka kringliggande objekt (genom att aktivitet sprids) som eventuellt redan är friklassningsmätta. Om det finns omfattande dekontamineringsbehov efter friklassningsmätning av ett objekt bör kvaliteten på arbetet i tidigare delsteg i friklassningsprocessen (se avsnitt 2.2) ifrågasättas.

Omfattningen på dekontamineringsinsatsen bör anpassas efter objektets riskkategorisering.

- För objekt i kategorin liten risk för förorening krävs ingen dekontaminering av radiologiska skäl.
- För objekt i kategorin risk för förorening kan dekontaminering komma att krävas innan friklassningsmätning om kartläggningen visar på förekomst av lös kontamination eller kontamination över friklassningsnivån. Om man på förhand vet att det förekommer lös kontamination under friklassningsnivån kan det vara lämpligt att avlägsna denna redan innan kartläggningsmätningarna för att undvika spridning av kontamination.
- För objekt i kategorin förorenat över friklassningsnivån kan dekontaminering komma att krävas redan innan kartläggningsmätningarna genomförs.

5.1 Val av dekontamineringsmetoder

Redan efter den initiala bedömningen och riskkategoriseringen (se avsnitt 4.2) bör man försöka identifiera lämpliga dekontamineringsmetoder med hänsyn till objektets förväntade förekomst av radionuklider samt material- och ytegenskaper.

Vid val av dekontamineringsmetodik bör man även beakta:

- teknik för att förhindra kontaminationsspridning,
- minimering av avfallsmängd,
- avfallshantering och möjlighet till slutförvaring av avfallet,
- metod för verifiering av dekontamineringsresultatet.

Korskontamination under eller efter den radiologiska kartläggningen måste undvikas i största möjliga mån, eftersom det inte bara äventyrar den riskkategorisering som gjorts, utan också leder till osäkerhet och ökade kostnader då ytterligare dekontaminering och omkategorisering kan krävas.

Risken för korskontamination kan hanteras genom att försegla lokaler som kan antas vara fria från kontamination samt genom att isolera utrymmen under dekontaminering till exempel genom tillfälliga avgränsningar och ventilationssystem som förhindrar spridning av kontaminerat damm.

USA:s federala miljömyndighet har sammanställt en utförlig beskrivning av dekontamineringsmetoder för kontaminerade ytor respektive kontaminerade media och mark (EPA 2006b, 2007). I friklassningshandboken (SKB 2011) ges också ett antal förslag på dekontamineringsmetoder för lokaler och byggnadsytor.

Dessa guider är ämnade som en hjälp vid beslutsfattande, men om beprövad erfarenhet saknas kan det vara lämpligt att samla information för att stödja valet av åtgärder och implementera detta genom en demonstration i mindre skala. Detta innebär ofta laboratoriebaserade tester som kan ge viktig information om hur den föreslagna tekniken kommer att prestera under specifika verklighetsbaserade förhållanden.

5.2 Genomförande

Vad som är en effektiv metodik för dekontaminering beror på de projektspecifika förutsättningarna. En omfattande dekontamineringsinsats, syftande till att avlägsna all potentiell förorening, är ofta tidseffektivt (kalendermässigt) i och med att risken för att hamna i en iterativ process med dekontaminering och kompletterande kartläggning i flera steg reduceras. Nackdelarna är att mängden avfall ökar och att arbetsinsatsen för dekontaminering sannolikt blir betydligt större. Om det finns fördelar med en minimal avfallsgenerering bör en metodik väljas där känd förorening avlägsnas varefter objektet på nytt kartläggs (eller genomgår friklassningsmätning direkt).

För att få ett effektivt genomförande av den dekontaminering som behöver genomföras rekommenderas följande arbets sätt:

- Specificera och avgränsa insatsen.
 - Välj vad som ska dekontamineras.
 - Välj metoder och kriterier för respektive insats.
- Sätt upp tydliga mål.
 - Vilka kriterier ska uppfyllas för att dekontaminering ska anses tillräcklig.
- Börja primärt uppe i byggnader och dekontaminera neråt, inifrån och ut, samt sekundärt med de mest förorenade ytorna och fortsatt till renare områden.
- Arbeta rumsvis och byggnadsvis.
- Se till att det avfall som uppstår hanteras löpande.
- Dokumentera insatserna löpande.
 - Vad har gjorts och med vilken metod?
 - Vad har uppnåtts?
 - Dokumentera avfallets ursprung och egenskaper.

Erfarenheten från genomförda avvecklingsprojekt är att det ofta är mer effektivt att avlägsna mer material vid dekontaminering. Ett renare objekt går fortare att friklassa, och risken för att behöva genomföra kompletterande dekontaminering och förnyad friklassningsmätning minskar. Det är också förenligt med det allmänna rådet till SSMFS 2011:2 (SSM 2011) om att en tiondel av föreskrivna friklassningsnivåer ska eftersträvas vid sanering av lös kontamination.

Avlägsnande av extra mycket material vid en dekontaminering i syfte att nå friklassning för det avverkade materialet är dock vare sig god praxis eller tillåtet (SSM 2011). Rent praktiskt innebär detta att man kan tvingas motivera varför det i ett rum till exempel hyvlas betong på en vägg jämnt över ytan ner till armeringsjärnen, istället för att avverka väggen fläckvis med efterföljande mätningar. Vare sig avverkningen sker jämnt över ytan eller fläckvis så är det avverkade materialet att betrakta som avfall och måste behandlas som sådant.

5.2.1 Verifiering av dekontamineringsresultat

Det är önskvärt att dekontamineringsmetodikerna även innefattar en metodik för att verifiera att dekontamineringen har varit tillräcklig för att objektet ska kunna friklassningsmätas. Verifieringen genomförs lämpligen med samma mätmetoder som använts under kartläggningsmätningarna. Dock bör omfattningen vara mer begränsad med stickprovsmässig aktivitetsmätning i de mätpunkter där kontamination påträffats under kartläggningsmätningarna.

För att utesluta att kontamination kan ha spridit sig till andra delar av objektet kan ett fåtal förnyade mätningar även göras för mätpunkter som angränsar till de dekontaminerade områdena, men där kontamination inte tidigare har påvisats. Det är dock inte meningsfullt att genomföra sådana mätningar innan dekontamineringsresultatet verifierats.

6 Bestämning av nuklidvektorer

Ett stort antal av de nuklider som kan förväntas förekomma i kontaminationen vid kärntekniska anläggningar är att betrakta som svårsmätbara och kan inte detekteras vid mätningar *in situ* oavsett om mätningarna görs med nuklidspecifika metoder eller ej. Nuklidvektorer, där ingående nuklidernas korrelationsfaktorer (aktivitetsnivå relativt några smätbara nyckelnuklider eller relativt totalaktiviteten) anges, är därför helt nödvändiga för att kunna genomföra friklassning mot nuklidspecifika friklassningsnivåer.

Nedan beskrivs rekommendationer för hur nuklidvektorerna ska bestämmas (se även exempel i friklassningshandboken (SKB 2011), bilaga 3).

6.1 Förväntad förekomst av radionuklider

Som underlag för dimensionering av slutförvaren för rivningsavfall har nuklidspecifika aktivitetsinventarier uppskattats för samtliga svenska kärnkraftverk. Studierna har baserats på hittillsvarande driftshistorik, samt prognos för framtida drift för de anläggningar som ännu inte har tagits ur drift. Metodiken för detta beskrivs av Lundgren (2012).

De nuklider som medtagits i dessa studier bygger på en lista överenskommen med SKB som är samordnad med den redovisning som görs för driftavfall till SFR. Listan omfattar totalt 48 nuklider, samtliga med halveringstid större än ett år, och redovisas i tabell 6-1. Denna nuklidlista kan användas som utgångspunkt när man tar fram en nuklidvektor för friklassning vid nedmontering och rivning av anläggningar som motsvarar de svenska kärnkraftverken vad gäller aktivitetsförekomst. Detta förutsätter att friklassning först sker efter en tids avklingning. Vid friklassning kort tid efter avställning bör man även beakta mer kortlivade nuklider, till exempel Co-58 i PWR-anläggningar². I dessa fall bör anläggningens säkerhetsredovisning för drift kunna ge information om förekommande nuklider.

Från studierna kan man även beräkna medelytaktivitet för neutronbestrålad och kontaminerad betong. Även om det finns variationer mellan reaktorerna (och framför allt mellan PWR och BWR) kan man, genom att jämföra dessa medelytaktiviteter med friklassningsnivåerna för respektive nuklid, ändå dra slutsatsen att:

- Co-60, Cs-137 och Cs-134 är dominerande för friklassning av kontaminerade ytor och material,
- Eu-152 och Co-60 är dominerande för friklassning av neutronbestrålad betong,
- Ag-108m, Eu-154 och transuraner kan behöva beaktas.

Vid friklassning efter lång avklingningstid kan man dock tänka sig att fler långlivade nuklider blir gränssättande då aktivitetsnivån för Co-60 minskat.

De nuklider som förekommer i listan, men som saknar angivna friklassningsnivåer, förekommer i så begränsad utsträckning (i förhållande till övriga nuklider) att de, för alla rimliga värden för friklassningsnivån, inte kommer att påverka möjligheten till friklassning.

² På grund av korrosionsavlossning från Inconel-tytor i ånggeneratorerna frigörs betydande mängder Ni till reaktorvattnet som sedan aktiveras i härden och bland annat bildar Co-58.

Tabell 6-1. Förekommande nuklider i de svenska kärnkraftverken med relevans för friklassning. Nuklidernas härrör från bränsle (Bränsle) och eller aktivering av konstruktionsmaterial (Ind).

Nuklid	$t_{1/2}$ /år	Huvudsakligt ursprung	Nuklid	$t_{1/2}$ /år	Huvudsakligt ursprung
H-3	12,3	Bränsle, Ind(B, Li)	Cs-135	2,30E+06	Bränsle
Be-10 ¹	1,60E+06	Bränsle, Ind(Be, B)	Cs-137	30	Bränsle
C-14	5700	Bränsle, Ind(N)	Ba-133 ¹	10,5	Bränsle, Ind(Ba)
Cl-36	3,01E+05	Ind(Cl)	Pm-147	2,62	Bränsle
Ca-41 ¹	1,03E+05	Ind(Ca)	Sm-151	90	Bränsle, Ind(Sm)
Fe-55	2,73	Ind(Fe)	Eu-152	13,5	Bränsle, Ind(Eu)
Co-60	5,27	Ind(Co)	Eu-154	8,59	Bränsle, Ind(Eu)
Ni-59	7,60E+04	Ind(Ni)	Eu-155	4,75	Bränsle
Ni-63	101	Ind(Ni)	Ho-166m ¹	1200	Bränsle, Ind(Ho)
Se-79 ¹	1,10E+06	Bränsle, Ind(Se, Br)	U-232	69,8	Bränsle
Sr-90	28,8	Bränsle	U-236	2,37E+07	Bränsle
Zr-93	1,53E+06	Ind(Zr)	Np-237	2,14E+06	Bränsle
Nb-93m	16,1	Ind(Nb)	Pu-238	87,7	Bränsle
Nb-94	2,00E+04	Ind(Nb)	Pu-239	2,41E+04	Bränsle
Mo-93	4000	Ind(Mo)	Pu-240	6563	Bränsle
Tc-99	2,14E+05	Bränsle, Ind(Mo)	Pu-241	14,3	Bränsle
Ru-106	1,02	Bränsle	Pu-242	3,74E+05	Bränsle
Ag-108m	418	Bränsle, Ind(Ag)	Am-241	433	Bränsle
Pd-107 ¹	6,50E+06	Bränsle	Am-242m	141	Bränsle
Cd-113m ¹	14,1	Bränsle, Ind(Cd)	Am-243	7365	Bränsle
Sn-126 ¹	2,30E+05	Bränsle	Cm-243	30	Bränsle
Sb-125	2,76	Bränsle, Ind(Sn)	Cm-244	18	Bränsle
I-129	1,61E+07	Bränsle	Cm-245	8500	Bränsle
Cs-134	2,07	Bränsle, Ind(Cs)	Cm-246	4730	Bränsle

¹Nukliden saknar föreskriven friklassningsnivå.

6.1.1 Andra anläggningar

Beträffande andra kärntekniska anläggningar så behöver nuklidvektorer tas fram på liknande sätt som för BWR- och PWR-anläggningar.

För forskningsreaktorn R2 i Studsvik bör speciellt beaktas att betydande aktivering av aluminium har skett, och att bassängväggar består av aluminiuminklädning och järnmalmetsbetong med annan sammansättning än till exempel betong i biologisk skärm för svenska BWR och PWR. Vidare bör beaktas att tankar med tungvatten, och därigenom produktion av tritium, har ingått i konstruktionen, som vid eventuellt läckage kan ha gett upphov till kontaminering av till exempel betong. Vidare måste naturligtvis beaktas den bestrålningsverksamhet som förekommit, som kan ha resulterat i kontamination med för anläggningen specifika nuklider.

För den nedlagda tungvattenreaktorn Ågesta måste halten tritium i reaktorvattnet beaktas, eftersom tritium från reaktorvattnet kan ha spridits och kontaminerat konstruktionsmaterial i anläggningen (t ex betong som varit utsatt för reaktorvattenläckage).

För anläggningen Clab så visar beräknade nuklidvektorer stor likhet med de i BWR och PWR. En skillnad är dock förhållandevis höga halter Cs-137 i förhållande till Co-60 i förvaringsbassängerna. Betong i Clab, som kontaminerats på grund av läckage kan därmed förväntas ha högre halt Cs-137 (i förhållande till Co-60) jämfört med kontaminerad betong från BWR- och PWR-anläggningar.

Anläggningen i Ranstad har kontamination i form uranhaltigt material, inklusive sönderfallskedjor, och avviker därigenom från de andra anläggningarna.

6.2 Bestämning av korrelationsfaktorer

De flesta av de långlivade radionukliderna i radioaktivt avfall är svåra att kvantifiera med vanliga gamma-mätningar. För de flesta fall krävs det tidskrävande kemiska separationsmetoder innan aktiviteten kan bestämmas. Nuklidvektorer kan användas för en uppskattning av aktivitetsinnehållet

för dessa svåranalyserade radionuklider där korrelationsfaktorer mellan svåranalyserade nuklider och referensnuklider används. Förutsättningen är att det finns ett rimligt samband mellan den svårämätbara nukliden och referensnukliden.

För bestämning av aktivitetsinnehåll för byggnadsdelar, som underlag för beslut om friklassning eller inte, föreslås följande arbetsmetodik:

- De grundläggande teoretiska nuklidvektorerna bör uppdateras innan nedmontering och rivning med hänsyn till drifhistoriken fram till anläggningens avställning, och den avklingningstid som föreligger fram till kartläggningen.
- Olika byggnadsdelar bör indelas i områden där rimligt lika vektorer kan förutsättas. Strävan bör vara att begränsa antalet vektorer för att inte onödigtvis komplicera aktivitetsbestämningen.
- Valideringsmätningar för vektorerna bör genomföras på följande sätt:
 - Gammaspakrometriska mätningar bör göras för utvalda ytor, och på provuttag från kontaminerade områden. Mängden mätningar bör väljas så att rimlig statistik erhålls.
 - I ett fåtal fall tas prov för laboratoriemätningar för bestämning av vissa ur slutförvarings-synpunkt svårämätbara nuklider. Exempel på nuklider som bör bestämmas i förhållande till referensnukliderna Co-60 och Cs-137 är Ni-63, Mo-93 och alfastrålande transuraner.
- De teoretiska vektorerna justeras utgående från valideringsmätningarna.
- Samband mellan pulsratsmätning med scintillationsdetektor och aktivitet för respektive nuklidvektor bestäms genom kalibrering mot kalibreringspreparat, eller när så krävs, kalibrering genom pulsratsmätning i de positioner som har gammamätts.
- Genom de bestämda sambanden mellan nettopulsrat (korrigerad för bakgrundsstrålning) och aktivitet enligt respektive nuklidvektor så bestäms gränsvärden för friklassning enligt scintillationsmätningarna.

6.3 Hantering av osäkerheter

De nuklider som förväntas påverka friklassningen mest är också de som är lättast att mäta och därför kan man tolerera ganska stora osäkerheter för de mer svårämätbara nukliderna. För vissa nuklider kommer det dock att bli svårt att bestämma aktivitetsnivåer i annat än ett mycket litet antal prover. Det blir då svårt att säga någonting om vare sig aktivitetsnivå eller osäkerheten hos dessa nuklider. I sådana fall kan beräknade värden användas (anpassade efter uppmätt aktivitet hos detekterbara nuklider). Man kan då välja att anta ett mycket konservativt värde och bortse från osäkerheten eller ansätta en väl tilltagen osäkerhet.

Den kvantitativa osäkerheten har, i studierna som nämns i avsnitt 6.1, angetts till en faktor 3 för den beräknade totala aktiviteten i biologiska skärmar samt minst en storleksordning för beräknad aktivitet på kontaminerade byggnadsytor. Osäkerheten i nuklidvektorn kan införlivas i den statistiska analysen av resultaten från friklassningsmätningarna enligt avsnitt 8.3.4.

För att hålla nere antalet materialprov och kostsamma laboratorieanalyser bör antalet nuklidvektorer vara begränsat. Om nuklidvektorn dock varierar kraftigt mellan olika delar av ett objekt bör man överväga att dela upp objektet i olika delar och bestämma en nuklidvektor för varje del. Detta gäller särskilt om variationen tyder på att kontaminationen har olika ursprung. Alternativt får man i högre grad förlita sig på friklassningsmätningar med nuklidspecifik gammaspakroskopi för att på så sätt beakta variationer i förhållandet mellan gammastrålande nuklider.

7 Friklassningsmätning

Friklassningsmätning avser den aktivitetskontroll som ska ligga till grund för beslut om friklassning och som beskrivs i det kontrollprogram som för lokaler, byggnader, mark och material över 100 ton/år ska anmälas till SSM innan friklassningsmätningarna påbörjas. I likhet med den radiologiska kartläggningen är det även vid friklassningsmätning viktigt att noggrant planera mätningarna samt att mätdata kan hanteras på ett systematiskt och kvalitetsäkert sätt.

Friklassningsmätningarna ska ligga till grund för de statistiska analyser som ska visa att aktivitetsnivån för ett objekt inte överstiger föreskriven friklassningsgräns. Vidare måste man för friklassning även visa att lös kontamination sanerats i tillräcklig utsträckning samt att det sannolikt inte förekommer punkter med lokalt förhöjd aktivitet som kan ha missats vid friklassningsmätning. För de två senare analyserna finns dock inga föreskrivna krav att förhålla sig till.

Enligt 7 § SSMFS 2011:2 (SSM 2011) ska metoderna och omfattningen av aktivitetskontrollen för friklassning anpassas till den bedömda förekomsten av radioaktiv förorening. Därför förordas att riskkategoriseringen även ska tillämpas för att anpassa friklassningsmätningarnas omfattning. Detta är även i linje men IAEA:s rekommendationer (IAEA 2012).

Vidare (enligt 7 § SSMFS 2011:2) ska friklassningsmätningarna även anpassas till objektets egenskaper. Vid friklassning av mark bör friklassningsmätningen innefatta mätning av aktivitet som funktion av djup, medan för lokaler och byggnader sker friklassningsmätning företrädesvis med avseende på ytaktivitet. För betong och andra porösa material måste dock inträngning av aktivitet i materialen också bedömas. IAEA:s rekommendationer (IAEA 2012) samt andra vägledningsdokument (till exempel MARSSIM (NRC 2000), NICO-P, SKB 2011) ger fler exempel på hur friklassningsmätningarna bör anpassas för olika material.

7.1 Planering av friklassningsmätningar

Friklassningsmätningar kommer oftast att vara betydligt mer omfattande än kartläggningsmätningarna som beskrevs i kapitel 4. Anledningen till detta är att friklassningsmätningen med hög statistisk säkerhet ska visa att ett objekt kan friklassas, medan kartläggningsmätningarna främst syftar till att ge beslutsunderlag för vidare hantering av objektet. Av denna anledning är det också viktigt att noggrant planera genomförandet av friklassningsmätningarna i detalj. Utöver val av mätmetodik och provtagningsstrategi bör man också på förhand ha bestämt hur mätdata ska lagras och behandlas samt vilken analysmetodik som ska tillämpas. För detta ändamål bör det gå att använda samma system som använts vid radiologisk kartläggning (se avsnitt 4.3.3).

Det är även viktigt att ta fram instruktioner för hur friklassningsmätningen ska genomföras praktiskt, hur kvalitetssäkring ska implementeras samt vilken kompetens som krävs för att genomföra mätningar, analysera resultat samt vem som har behörighet att fatta beslut under processens gång (se kapitel 10).

Planeringen av friklassningsmätningarna ska dokumenteras i kontrollprogrammet (vars innehåll preciseras i kapitel 9). I samband med denna planering är det också lämpligt att uppdatera projektplan och kostnadsberäkning (se kapitel 12) för friklassningen då friklassningsmätningarnas omfattning och resurskrav konkretiseras.

7.1.1 Val av mätmetoder

Resultaten från den radiologiska kartläggningen bör ge tillräcklig information för att kunna välja de bäst lämpade metoderna för friklassningsmätning. Nedan följer en beskrivning av de egenskaper hos mätobjektet och mätmetoden som bör beaktas i samband med val av mätmetod för friklassningsmätning.

Mätobjekt

Nödvändig mätomfattning varierar beroende på om det är lokal/byggnad eller mark, samt beroende på bedömd riskkategori. Det är också viktigt att beakta lokalens tidigare historik. Valet av mätmetoder påverkas av huruvida det förekommit ett tjockare lager av förorening, tunn ytkontamination, samt hur kontaminationens inträngning i materialet bedöms vara. Kontaminationens fördelning behöver således bestämmas (se avsnitt 7.2.2).

Olika material och geometrier kan behöva beaktas vid scintillationsmätningar. Instrumenttillverkarens dokumentation och sakkunnig expertis bör konsulteras för att inte riskera att utföra friklassningsmätningar med tvivelaktig kvalitet eller ringa värde.

Omfattningen av mätningar och provningar vid friklassning av mark skiljer sig från friklassning av lokal/byggnad eftersom aktivitet kan ha transporterats och spridits i marken. Den tredimensionella utbredningen av aktiviteten behöver således beaktas vid val av mätmetodik för mark. Detta tillsammans med behovet av samråd med intressenter gör att friklassning av mark kräver en annan tidsplanering jämfört med friklassning av lokal/byggnad.

Mätobjektets bakgrundsstrålning måste också beaktas vid val av mätmetodik. Det kan till exempel krävas nuklidspecifika mätningar för att särskilja bakgrundsstrålning från kontamination. Möjligheten att korrigera för bakgrundsstrålning genom parvisa mätningar med skärmd respektive oskärmd detektor (för scintillationsinstrument) behöver utredas. Denna typ av bakgrundskorrektion förenklar den statistiska analysen, men om detta inte är möjligt måste man göra en separat bestämning av bakgrundsnivån för objektet eller genomföra friklassningsmätningarna utan bakgrundskorrektion.

Nuklidsammansättning

Friklassningshandboken (SKB 2011) beskriver möjligheten till friklassning baserat på *scintning* och nuklidvektor. Lämpliga källor för att identifiera nuklidvektorer kan vara anläggningens SAR, nuklidspecifika *in situ* och/eller *ex situ* mätningar, relevanta analyser på andra material, eller andra relevanta anläggningar (se kapitel 6 i denna rapport). Det går inte att genomföra en friklassning utan nuklidspecifik information relevant för anläggningen, och denna information kommer i realiteten ofta från flera källor. Med god dokumentation av anläggningen blir behovet av nuklidspecifika *in situ* mätningar mindre.

Nuklidsammansättningen påverkar även valet av mätmetod så till vida att aktivitet från förekommande nuklider måste kunna detekteras med sådan noggrannhet att aktivitet under friklassningsnivån kan detekteras med säkerhet. Om nuklidvektorerna är kända och stabila för anläggningen underlättas möjligheten att basera friklassningsmätningarna på totalaktivitetsmätning snarare än nuklidspecifik mätning.

Mätprobens effektivitetsfaktor (totalaktivitet per pulsrat) behöver då bestämmas genom mätning av pulsrat för prover/mätpunkter där nuklidsammansättningen är känd från till exempel gammaspektroskopiska mätningar. Analysen kan även behöva kompletteras med beräkning av förväntad pulsrat baserat på instrumentets angivna känslighet för viss strålning och för en given nuklidsammansättning.

Med kännedom om förhållandet mellan pulsrat och totalaktivitet kan uppmätt pulsrat räknas om till en nuklidspecifik ytaktivitet med hjälp av en nuklidvektor som beskriver förekommande nukliders aktivitet i proportion till totalaktiviteten. Även aktivitet för nuklider som detektorn inte har känslighet för kan då beräknas.

Vid osäkerhet bör man, med ett fåtal gammaspektroskopiska mätningar, kunna visa huruvida en viss nuklidvektor är tillämplig för ett visst objekt. Detta ger då också möjligheten att bestämma förhållandet mellan vissa gammaemitterande nyckelnuklider och utifrån detta förhållande beräkna en anpassad nuklidvektor för det specifika objektet.

Mätosäkerhet

Vid val av mätmetod för friklassningsmätning måste också mätosäkerheten beaktas eftersom mätmetodens osäkerhet inte får vara större än att aktivitet kring gränsen för friklassning, med säkerhet, kan detekteras. Detta överordnade krav ställer i sin tur krav på mätsystemet, på enskilda mätvärden samt på provtagningsstrategin. Enkelt uttryckt kan följande krav ställas:

- Minsta detekterbara aktivitet (MDA) måste motsvara en aktivitetsförekomst som väl underskrider kravet för friklassning. MDA kan beräknas enligt anvisningar i SS-ISO 11929:2010 (SIS 2010). MDA bör beräknas för den mättid som är praktiskt tillämpbar sett till mätprogrammets omfattning.
- Enskilda mätvärden får inte överskrida kravet för friklassning. Ett operativt gränsvärde för uppmätt pulsrat bör definieras för att direkt upptäcka områden som måste dekontamineras (se avsnitt 8.6).
- Mätpunkter för friklassningsmätning ska vara oberoende och likafördelade (i SS-ISO 11932 (SIS 1997) rekommenderas stratifierat slumpvis urval).
- Antalet nödvändiga mätningar för en lokal/byggnad kan bestämmas enligt anvisningar i SS-ISO 11932 (SIS 1997) (samma metodik kan användas även för mark). Man bör även beakta möjligheten att återanvända mätresultat från den radiologiska kartläggningen.
- Acceptabel risknivå för förekomst av anomalier (så kallade *hot spots*) ger också krav på antal mätningar (se avsnitt 8.7).

Vid nuklidspecifik mätning kommer vissa (förekommande och mätbara) nuklider förmodligen inte att detekteras för varje mätområde, då aktivitetsnivån för vissa nuklider kan ligga långt under MDA. Man behöver då antingen ansätta ett högsta troliga aktivitetsvärde för dessa nuklider (till exempel MDA/2), beräkna aktiviteten med hjälp av nuklidvektor eller motivera när och varför förekomsten av dessa nuklider kan uteslutas.

7.2 Genomförande av aktivitetskontroll

Befintliga mätmetoder vid friklassningsmätning av lokal/byggnad och mark kan delas in i metoder för mätning av total aktivitet, respektive metoder för nuklidspecifik mätning. Mätmetoder kan också delas in i *in situ* respektive *ex-situ*, samt vilken typ av nuklidspecifika mätningar, se vidare i tabell 6-1 i friklassningshandboken.

För lokal/byggnad och mark är det att föredra att kunna göra merparten av mätningarna (totalaktivitet som pulsrat) *in situ* med ett handhållet instrument. Kompletterande nuklidspecifika mätningar kan göras med *in situ* gammaspektroskopi (till exempel ISOCS eller ISOTOPIC), för att kunna korrelera mellan de olika mätyperna. Detta kan göras genom parvisa mätningar där man med hjälp av skärmning/kollimering säkerställer att detektorerna för respektive mätmetod registrerar aktivitet från samma område. Denna kombination ger goda förutsättningar för en kostnadseffektiv friklassningsmätning.

För att kontrollera lös kontamination används strykprover, vars resultat och noggrannhet påverkas av flera faktorer, se vidare i friklassningshandboken avsnitt 6.3.1. Strykprovsresultat kan utgöra ett komplement till övriga friklassningsmätningar.

Materialprov analyseras normalt *ex situ* för totalaktivitet eller nuklidspecifik aktivitet. Vad gäller teori för nuklidspecifik mätning så hänvisas till Gilmore (2008) samt friklassningshandboken (SKB 2011).

Genomförandet av friklassningsmätningarna (för potentiellt ytkontaminerade objekt) bör anpassas efter objektets riskkategorisering enligt följande:

- För objekt med liten risk för förorening och utan tidigare kontamination gäller följande:
 - Ytaktivitet mäts stickprovsmässigt, och varje mätdata måste ha tillräcklig kvalitet (se avsnitt 7.1.1).
- För objekt med liten risk för förorening, men med tidigare observerad kontamination under friklassningsgräns gäller följande:
 - Ytaktivitet mäts stickprovsmässigt, och varje mätdata måste ha tillräcklig kvalitet (se avsnitt 7.1.1).
 - Strykprov bör tas stickprovsmässigt för att säkerställa att lös kontamination inte förekommer om inte strykprov från kartläggningsmätningarna kan anses tillräckliga.
 - 100 % av ytan mäts med lägre krav på mätdata. I praktiken kan svepande avsökning (lägre integrationstid) med scintillationsdetektor användas. Denna svepande mätning måste dock genomföras systematiskt och kontrollerat så att MDA kan uppskattas.

- För objekt med risk för förorening gäller följande:
 - Ytaktivitet mäts för 100 % (en integrerad mätning över varje m²) av ytan, och varje mätdata måste ha tillräcklig kvalitet (se avsnitt 7.1.1).
 - Strykprov bör tas för att säkerställa att lös kontamination inte förekommer om inte strykprov från verifiering av dekontaminering kan anses tillräckliga.

Vid friklassning av mark bör friklassningsmätningarna anpassas på motsvarande sätt. Vid lägre risk kan stickprovsmässiga mätningar anses tillräckliga eventuellt kompletterade med gammaspektroskopiska mätningar på markytan för att bedöma ytlig kontamination över ett större område. Vid högre risk för kontamination (till exempel i angränsning till områden med känd förorening över friklassningsnivån) kan det bli nödvändigt att gräva ut och friklassningsmäta det utgrävda materialet för att få en mätomfattning som motsvarar heltäckande mätning.

Under friklassningsmätningarna bör TH stickprovsmässigt genomföra oberoende mätningar för att säkerställa att friklassningsmätningarna håller tillräcklig kvalitet (se avsnitt 10.3.3). Det är också lämpligt att analysera resultaten löpande för att kunna besluta om utökade friklassningsmätningar eller dekontamineringsåtgärder.

Om ett område visar sig kräva dekontaminering bör friklassningsmätningarna avbrytas tills dess att området dekontaminerats. Efter dekontaminering kan friklassningsmätningarna återupptas. Det dekontaminerade området bör då kontrolleras till 100 % av ytan enligt punktlistan ovan. Dessutom bör redan utförda mätningar upprepas i områden som angränsar till det dekontaminerade området för att säkerställa att dessa inte kontaminerats på nytt.

När friklassningsmätningen slutförts bör området spärras av, förseglas och förvaltas för att inte riskera att området kontamineras på nytt.

7.2.1 Kontroll av lös kontamination

I de allmänna råden till 7§ SSMFS 2011:2 (SSM 2011) anges att löst sittande kontamination bör saneras om det kan ske med enkla metoder. Därför bör aktivitetskontrollen kompletteras med analys av strykprov från objektets yta. I de allmänna råden anges att en tiondel av föreskrivna friklassningsnivåer bör eftersträvas vid sanering.

Det bör gå att använda data från kartläggning och dekontaminering för att visa att rekommendationerna ovan uppfyllts, men för objekt i kategorin *risk för förorening* kan ytterligare strykprov vara nödvändiga för att visa att all lös kontamination omhändertagits.

7.2.2 Kontroll av aktivitetsfördelning och anomalier

Vid stickprovsmässig aktivitetskontroll finns alltid en risk att det förekommer en eller flera punkter med aktivitet över friklassningsnivån som inte har detekterats och som avviker från aktivitetsfördelning för resten av objektet. Friklassningsmätningarna bör därför kompletteras med en analys av risken för att en eller flera sådana anomalier kan förekomma.

I avsnitt 8.7 redovisas en statistisk metod för detta, men denna analys kräver ett ställningstagande kring vad som är en rimlig risknivå. För att motivera ett sådant ställningstagande för ett visst objekt kan en kompletterande kontroll göras av objektets aktivitetsfördelning. Detta kan göras genom till exempel svepande pulsrätmätningar över hela objektet/delområdets yta eller med hjälp av gammakamera. Dessa tekniker är generellt inte tillräckligt känsliga för att kunna användas för friklassning, men om ingen aktivitet detekteras vid dessa kontroller kan MDA för vald mätmetod ansättas som ett högsta tänkbara värde för en hypotetisk anomali. Detta maxvärde kan sedan användas som argument för att en viss risknivå för förekomst av anomalier är acceptabel.

Vid svepande pulsrätmätningar över hela ytan bör följande beaktas:

- Flera prober kan användas parallellt för ökad effektivitet.
- Proberna kan monteras i en vagn (se bilaga B) och med en jämn hastighet rullas över en yta i ett fördefinierat mönster.

- Svepande mätningar ger ett högre MDA jämfört med stillastående prob vid mätningarna. Metoder för att bestämma MDA för svepande mätningar finns beskrivna i till exempel MARSSIM (NRC 2000) kapitel 5.

Man kan även komplettera pulsratsmätningar med gammaspektroskopisk mätning för större ytor av objektet. Man får då ett gammaspektrum som motsvarar totalaktiviteten för en stor yta ur vilken medelaktiviteten kan beräknas. Om detta medelvärde inte avviker från det medelvärde som beräknats från pulsratsmätningarna kan detta användas som stöd för att pulsratsmätningarna täcker tillräckligt mycket av objektets yta. Osäkerheten i gammamätningarna blir dock avgörande för hur stora anomalier som kan ha missats.

Inträngning av aktivitet i porösa material måste också beaktas i samband med friklassningsmätning. Det bör ha utretts i samband med kartläggning och friklassningsmätning i vilken omfattning som aktivitet trängt in i olika material. Denna information bör kunna återanvändas i samband med friklassningsmätningen. I annat fall måste kompletterande prover och analyser genomföras i samband med friklassningsmätning. Även här kan gammaspektroskopiska mätningar vara en fördel då gammastrålning från ytligt inträngd aktivitet och aktivitet i sprickor kan detekteras och särskiljas från bakgrundsstrålning. Vid friklassning mot ytspecifika friklassningsnivåer ska all aktivitet tillskrivas ytan. Uppmätta ytaktiviteter bör således justeras för att ta underliggande aktivitet i beaktande.

Vid friklassning av mark måste man också kontrollera i vilken utsträckning radionuklider kan ha transporterats från kontaminationens ursprungsplats. Eftersom de platspecifika förhållanden som påverkar transport av radionuklider måste utredas vid härledning av friklassningsnivåer för mark (se kapitel 11) borde en del av den information som då framkommer kunna användas för att identifiera vilka ytterligare friklassningsmätningar som behöver genomföras för att täcka in den tredimensionella fördelningen av radionuklider i marken.

7.2.3 Mätplats

För att hantera friklassningsmätning av material under avveckling bör det finnas en särskild mätplats (med låg bakgrundsstrålning men i nära anslutning till anläggningen) för friklassningsmätning av demonterade komponenter. Mätplatsen ska kunna friklassningsmäta ett stort flöde av material med nuklidspecifik gammaspektroskopi.

Vid mätplatsen kan även materialprover hanteras och kalibrering mellan olika mättekniker göras. En sådan mätplats kommer därför också att behövas vid friklassning av lokaler, byggnader och mark även om majoriteten av friklassningsmätningarna då genomförs *in situ*.

7.3 Dokumentation

Efter genomförd friklassningsmätning ska resultaten dokumenteras i en friklassningsrapport som också blir underlag till ansökan om friklassning för lokaler, byggnader och mark.

Rapporten ska beskriva hur friklassningsmätningarna genomförts i förhållande till beskrivningen i kontrollprogrammet. Rapporten ska även redovisa resultaten av den statistiska analysen av uppmätta värden. Eftersom rapporten ska användas för att fatta beslut om friklassning (eller fortsatt användning inom TH:s verksamhet) är det viktigt att rapporten genomgår sak- och kvalitetsgranskning (se avsnitt 10.3.4).

8 Statistisk utvärdering av friklassningsmätningar

Vid friklassning av byggnader och lokaler samt mark kommer friklassningsmätningar att genomföras stickprovsmässigt snarare än som heltäckande avsökning av samtliga ytor. Det kommer därför att krävas omfattande statistisk analys för att visa att kraven för friklassning efterlevts i samband med ansökan om friklassning. Detta kapitel beskriver ett förslag på statistisk metodik för analys av mätdata från friklassningsmätning (ett hypotetiskt exempel ges i bilaga E).

Osäkerheten i bedömningen av aktivitetsförekomst i ett större objekt som till exempel en byggnad beror av osäkerheten i en rad olika parametrar som:

- spatial variation av kontamination,
- osäkerhet i uppmätt nettopulsrat,
- osäkerhet i detektoreffektivitet,
- osäkerhet i nuklidvektorn.

Att beräkna den sammanvägda osäkerheten från dessa olika parametrar kan tyckas omständigt, men alternativet är att istället förlita sig på mycket konservativa antaganden. Det senare kommer att medföra onödiga begränsningar i vilka objekt som kan friklassas samt ökade mängder avfall.

Med tanke på hur stora insatser som kommer att läggas på mätning i samband med kartläggning och friklassningsmätning är det motiverat att genomföra en utförlig statistisk analys av osäkerheten i aktivitetsförekomst.

I detta avsnitt beskrivs den statistiska metodik som bör ligga till grund för analys av osäkerhet i resultaten från friklassningsmätning. Metodiken är beskriven utifrån att friklassningsmätningarna genomförs genom pulsratsmätningar av totalaktivitet. Det är dock fullt möjligt att överföra denna metodik för friklassningsmätning med nuklidspecifik *in situ*-mätning.

8.1 Tolkning av kravuppfyllelse

Kravet för friklassning till nuklidspecifika gränsvärden definieras av den så kallade in-teckningen (SSMFS 2011:2) enligt följande ekvation (i fortsättning kallad in-teckningskriteriet):

$$\text{in-teckning} = \sum_i^N \frac{C_i}{C_{FNI}} \leq 1$$

där C_i och C_{FNI} är aktivitets- respektive friklassningsnivå för nuklid i per mass- eller ytenhet och N är antalet förekommande nuklider.

För friklassning av material får aktivitetskoncentration beräknas som ett medelvärde över högst 1000 kg. Vid tillämpning av friklassningsnivåer per ytenhet (för byggnader och lokaler) finns ingen högsta tillåtna yta för medelvärdesbildning angiven, men enligt föreskrift ska friklassningsnivåerna tillämpas på varje kvadratmeter av ytan. Tolkningen av detta är att in-teckningskriteriet inte får överskridas för ytaktivitet beräknad som ett medelvärde över 1 m².

Det går dock aldrig att bevisa med 100 % säkerhet att det inte finns aktivitet i ett objekt som överskrider friklassningsnivåerna eller att bedömningen av den totala aktivitetsmängden inte överskrider in-teckningskriteriet. Däremot kan man beräkna hur troligt det är att ett angivet gränsvärde överskrids. Nedan följer några statistiska mått som kan användas för att visa att friklassningskraven efterlevs baserat på stickprovs mätningar.

Utöver dessa beräknade resultat behöver även friklassningsmätningarna leva upp till krav på enskilda mätvärden (avsnitt 8.6) och kompletteras med en analys av risken för att det förekommer punktformig kontamination med hög aktivitet (*hot spots*) i fortsättningen kallade *anomalier* (se avsnitt 8.7).

8.1.1 UCL95

UCL95 anger den nivå som väntevärdet för en population inte kommer att överskrida med en kredibilitet (säkerhet) på 95 %. UCL står för *upper credibility limit* och 95 avser 95 % sannolikhet. UCL95 är ett lämpligt mått för att visa att inteckningskriteriet inte överskridits med avseende på medelaktiviteten. Om UCL95 för inteckningen är mindre än 1 är det troligt (till mer än 95 %) att inteckningskriteriet med avseende på medelaktivitet är uppfyllt. Måttet UCL95 blir framför allt viktigt då *mängden* aktivitet behöver bestämmas, till exempel för härledning av friklassningsnivåer enligt kapitel 11.

8.1.2 P95

P95 anger ett gränsvärde för en ny (hypotetisk) observation (det vill säga en övre gräns i ett prediktionsintervall). P95 anger en gräns som med 95 % kredibilitet inte kommer att överskridas vid till exempel en ny mätning. P95 är därför ett lämpligt mått på att inteckningskriteriet inte överskrids i någon kvadratmeter och kan därför användas som grund för ansökan/beslut om friklassning. Om $P95 < 1$ är det troligt (till mer än 95 %) att en ny mätning (givet att en mätning avser aktivitet för en m² eller ett ton, beroende på vilka friklassningsnivåer som tillämpas) inte skulle visa på aktivitet över friklassningsgränsen.

8.2 Medelvärdesbildning för ytspecifik aktivitet

Vid mätning med enstaka nedslag med scintillationsutrustning mäts medelpulsraten över detektorns yta (~0,01 m²). Om standardavvikelsen för dessa mätningar bestäms till s så blir standardavvikelsen för ett medelvärde av 100 oberoende mätningar en faktor 10 lägre ($s/\sqrt{100}$). Det finns därför anledning att tro att medelvärdet över 1 m² har betydligt lägre standardavvikelse än standardavvikelsen för de enskilda mätningarna. Eftersom mätning av angränsande ytor för att bilda medelvärdet över 1 m² (integrerad mätning) förmodligen inte är oberoende är en korrekt faktor sannolikt lägre än 10. Om den statistiska utvärderingen baseras på standardavvikelsen för enstaka nedslag blir bedömningen av osäkerheten konservativ. Det är dock möjligt att utreda hur standardavvikelsen för enstaka nedslag kan skalas för att motsvara standardavvikelsen för mätning över 1 m² och sedan använda den skalade standardavvikelsen i osäkerhetsanalysen.

8.3 Osäkerhetsanalys

I detta avsnitt beskrivs hur olika bidrag till osäkerheten ska bedömas och vägas samman i en slutlig analys av den totala osäkerheten i bedömningen av huruvida ett objekt kan friklassas.

Inteckningskriteriet kan skrivas:

$$\gamma_D r_N b_R \leq 1 \quad (8-1)$$

där γ_D är scintillatoreffektiviteten (Bq cps⁻¹), r_N är medelnettopulsraten (cps/m² eller cps/kg) och b_R (Bq⁻¹m² eller Bq⁻¹kg) friklassningskonstanten som definieras som:

$$b_R = \sum_i^n \frac{p_i}{C_{FNI}}$$

där p_i är proportionen av aktiviteten för nuklid i i aktuell nuklidvektor. γ_D , r_N och p_i måste alla bestämmas i samband med friklassning och osäkerheten i dessa bestämningar måste beräknas.

För att kunna beräkna den sammanvägda osäkerheten i $\gamma_D r_N b_R$ måste de ingående parametrarna kunna simuleras var för sig med avseende på sina respektive osäkerhetsfördelningar.

Ekvation 9-1 anger friklassningsvillkoret för en medelnettopulsrat. Om villkoret istället ställs för en enskild mätning av nettopulsraten ρ_N blir villkoret:

$$\gamma_D \rho_N b_R \leq 1$$

8.3.1 Osäkerhetsfördelningar

I den statistiska analysen av in-teckningen ($\gamma_D r_N b_R$ respektive $\gamma_D \rho_N b_R$) antas att osäkerheten i ingående parametrar oftast kan beskrivas med en normal- eller lognormalfördelning.

För att avgöra vilken fördelning som passar observerade data bäst kan man jämföra kvantiler för data (eller logaritmerade data) med kvantiler för en standard normalfördelning. Om dessa kvantiler plottas mot varandra bör man erhålla punkter längs en rät linje om data är normalfördelade (respektive lognormalfördelade). Data (eller logaritmerade data) för observation nummer k (sorterat i storleksordning från lägsta till högsta värde) för n stycken observationer ska då jämföras med värdet av den kumulativa standard normalfördelning för p_k där

$$p_k = \frac{2k - 1}{2n} \quad (8-2)$$

Man kan även tillämpa till exempel *Lilliefors* (Lilliefors 1967) normalfördelningstest. Det är dock viktigt att förstå att resultatet av ett sådant test svarar på frågan om nollhypotesen (att data är normalfördelade) kan förkastas. Om nollhypotesen inte kan förkastas betyder det dock inte med säkerhet att data kommer från en normalfördelning.

I vissa fall ger inte data stöd för att normal- eller lognormalfördelningen skulle vara en rimlig modell för osäkerheten för en given parameter. Man får då förlita sig på parameterfri statistik för att beskriva osäkerheten eller basera den statistiska analysen på enbart medelvärdet för parametern (av centrala gränsvärdesatsen följer att för större mängder data kan medelvärdet antas ha en normalfördelad osäkerhet även om enskilda observationer inte följer en normalfördelning).

Normalfördelade data

Om x är normalfördelad ges osäkerhetsfördelningen för väntevärdet av x (μ_x) av en t-fördelning med ($v = n - 1$) frihetsgrader enligt

$$\mu_x = \bar{x} + t \cdot s_x / \sqrt{n} \quad (8-3)$$

där n är antalet mätpunkter och s_x och \bar{x} är skattningarna av standardavvikelse respektive medelvärde beräknade ur uppmätta data. Vid simulering dras t ur en t-fördelning med v frihetsgrader och därefter beräknas μ_x . Osäkerhetsfördelningen för ett nytt mätvärde x_i ges av

$$x_i = \bar{x} + t \cdot s_x \sqrt{1 + \frac{1}{n}} \quad (8-4)$$

Lognormalfördelade data

Om x däremot är lognormalfördelad gäller

$$\log x = y \sim N(\mu_y, \sigma_y)$$

Genom att beräkna y efter logaritmering av mätdata kan medelvärde och standardavvikelse skattas (\bar{y} respektive S_y) och med dessa kan μ_x simuleras enligt följande (Gelman et al. 2004):

Dra u ur en χ^2 -fördelning $\chi^2(v)$ och beräkna

$$\sigma_y = \sqrt{\frac{v}{u}} \cdot s_y$$

v är åter igen antalet frihetsgrader ($n - 1$). Dra sedan z ur en standardnormalfördelning och beräkna

$$\mu_y = \bar{y} + z \cdot \frac{\sigma_y}{\sqrt{n}} \quad (8-5)$$

På samma sätt som i det normalfördelade fallet kan osäkerhetsfördelningen för ett enskilt värde y_i beräknas enligt

$$y_i = \bar{y} + t \cdot s_y \sqrt{1 + \frac{1}{n}} \quad (8-6)$$

μ_x och σ_x (väntevärde och standardavvikelse på den ursprungliga skalan) fås ur

$$\mu_x = e^{\mu_y + \frac{\sigma_y^2}{2}}$$

$$\sigma_x = \mu_x \sqrt{e^{\sigma_y^2} - 1}$$

och x_i kan beräknas ur

$$x_i = e^{y_i}$$

Parameterfri metodik

För data som inte följer någon känd fördelning kan man ändå uppskatta en övre gräns enligt följande:

Låt p_k vara sannolikheten för att värdet för en hypotetisk observation x ska vara mindre eller lika med värdet x_k för observation nummer k (sorterat i nummerordning från minsta till störst) av n observationer. En skattning \hat{p}_k av p_k kan erhållas ur ekvation 8-2.

Genom att ansätta ett värde på p_k (till exempel 95 %) kan k beräknas ur ekvation 8-2 och det gränsvärde som motsvarar sannolikheten p_k ges av värdet för observationen x_k i data. Om p_k ger ett värde på k som inte är ett heltal kan man beräkna ett värde på x_k genom interpolation

$$x_k = x_i + (x_{i+1} - x_i) \cdot (k - i)$$

där i är heltalsdelen av k .

Denna uppskattning är dock behäftad med ett fel och en övre gräns kan bestämmas enligt

$$p \leq \hat{p} + z_\alpha \sqrt{\frac{\hat{p}(1 - \hat{p})}{n}}$$

där z_α är standardnormalfördelningskvantilen svarande mot risken α ($z_\alpha \approx 1,645$ för $\alpha = 0,05$). Från denna övre gräns för p kan ett nytt värde på k och x_k bestämmas. För att denna metodik ska kunna appliceras krävs relativt stora mängder data eftersom den övre gränsen för x_k annars riskerar att ligga utan för intervallet av uppmätta data.

8.3.2 Scint-effektivitet

Scint-effektiviteten γ_D kan bestämmas genom mätning av pulsrat för föremål där aktiviteten är känd. Detta kan åstadkommas genom parvisa mätningar av pulsrat och aktivitet (med något detektorsystem som ger aktivitetsbestämning med låg osäkerhet). γ_D beräknas som väntevärdet μ_x av kvoten mellan uppmätt pulsrat r delat med aktivitet a .

$$x = \frac{r}{a}$$

$$\gamma_D = \mu_x$$

γ_D kan aldrig vara mindre än 0 varför det kan vara rimligt att anta att data är lognormalfördelade, men om μ_x är tillräckligt skilt från 0 kan normalfördelning också vara lämplig. Lognormalmodellen är dock förmodligen något mer konservativ. Ur kvantilplottar och normalfördelningstest kan lämplig fördelning ansättas.

8.3.3 Nettopulsrat

Nettopulsraten beräknas som skillnaden mellan totalpulsrat r_T och bakgrund r_B :

$$r_N = r_T - r_B$$

Nettopulsraten kan bestämmas antingen genom att friklassningsmätningar utförs genom parvisa mätningar där pulsraten i varje punkt mäts med och utan bidrag från bakgrund (till exempel genom att detektorn skärmas). Alternativt bestäms bakgrundspulsraten i en separat mätning. Ett tredje alternativ är att konservativt bortse från bakgrunden och basera friklassningen på enbart r_T .

Om man i separata försök bestämmer r_T och r_B är det inte lämpligt att simulera r_T och r_B , var för sig, och ur dessa bilda simuleringen av r_N , eftersom detta i vissa fall skulle ge negativa värden för r_N . Även om enskilda bestämningar av nettopulsraten kan vara negativa kan väntevärdet inte vara negativt. Att sälla ut sådana negativa värden är inte en lösning på problemet eftersom detta skulle ge ett icke-representativt urval ur fördelningarna för r_T och r_B . En beskrivning av hur nettopulsraten kan simuleras vid separat bakgrundsmätning återfinns i den statistiska analysen av friklassningsmätning för sovringsverket i Ranstad (Norberg 2012). I följande beskrivning förutsätts istället parvisa mätningar även om analysen också kan appliceras på totalpulsrat.

För objekt där kontaminerade områden inte hittats under kartläggningen är normalfördelningen förmodligen en bra modell för nettopulsraterna, men om det finns stora variationer i kontaminationens rumsfördelning kan det dock vara bättre att anta lognormalfördelade nettopulsrat. Mätvärdenas rumsfördelning kan dessutom behöva analyseras för att identifiera eventuell korrelation mellan mätvärden och position. Om data till exempel visar på stigande mätvärden längs en viss rumskoordinat kan man misstänka att det finns någon punkt längs denna koordinat där inteckningskriteriet riskerar att överskridas. Detta bör dock ha framkommit redan under den radiologiska kartläggningen. I de fall då data inte är normalfördelade bör man dock överväga uppdelning av objektet i mindre delområden.

Från uppmätta nettopulsrat kan skattningar av medelvärde och standardavvikelse beräknas (\bar{x} och s_x). Vid normalfördelade nettopulsrat kan r_N beräknas enligt ekvation 8-3 och nettopulsraten för en enskild observation ρ_N kan beräknas enligt ekvation 8-4. Ur det senare uttrycket kan P95 beräknas/simuleras.

8.3.4 Osäkerhet i nuklidvektorn

Nuklidvektorn antas i detta fall vara definierad som varje nuklids aktivitet i proportion p_i till totalaktiviteten. Vid nuklidspecifik friklassningsmätning definieras ofta nuklidvektorn som varje enskild nuklids aktivitet i proportion till aktiviteten hos en eller flera nyckelnuklider, men analysen av osäkerhet i proportionerna kan genomföras på samma vis.

Vidare antas att nuklidvektorn bestämts för ett antal prover där de ingående nuklidernas aktivitet bestämts med tillräckligt god noggrannhet för att osäkerheten i enskilda mätvärden inte ska påverka nuklidvektorn (variationen i proportionerna antas vara större).

Osäkerheten i proportionerna kan beskrivas med en Dirichlet-fördelning som tar hänsyn till att $\sum_i p_i = 1$, men för att använda Dirichlet-modellen krävs dock någon form av ansättning av felet i minst en av proportionerna vilket inte är trivialt. Man kan också tänka sig att simulera osäkerheten i varje enskild nuklids aktivitet relativt någon nyckelnuklid.

I denna rapport föreslås dock istället att man för varje prov bestämmer värdet på friklassnings-konstanten b_R . En skattning av medelvärdet och standardavvikelsen för b_R kan då beräknas från de prover som tagits och b_R kan simuleras utifrån någon av osäkerhetsfördelningarna i avsnitt 8.3.1.

8.3.5 Friklassningsprodukten

Vid simulering av friklassningsprodukten simuleras var och en av parametrarna enligt beskrivningen ovan för att sedan bilda simuleringen $\gamma_D r_N b_R$. γ_D och b_R simuleras enligt ekvation 8-3 och 8-5 för normal- eller lognormalfördelade parametrar. Det samma gäller r_N vid beräkning av UCL, men vid beräkning av P95 simuleras ρ_N enligt fördelningen för ett enskilt värde (ekvation 8-4 respektive 8-6).

8.4 Simulering

I denna vägledning föreslås simulering av den sammanvägda osäkerheten genom Monte Carlo simulering. Detta innebär att värden ur osäkerhetsfördelningarna dras slumpmässigt upprepade gånger. Det värde som motsvarar 95:e percentilen av alla simulerade värden ger UCL95 eller P95 beroende på vilken eller vilka osäkerhetsfördelningar som simulerats. Denna bestämning av gränsvärdena har förstås också en viss osäkerhet beroende på simuleringens omfattning. För att minimera denna osäkerhet bör antalet dragna värden vara stort ($> 10^5$) och flera simuleringar med olika slumpvalsfrön bör genomföras parallellt. Genom att jämföra resultat från simuleringar med stigande antal dragna värden och olika slumpvalsfrön kan man försäkra sig om att osäkerheten i de simulerade gränserna inte påverkar friklassningsresultatet.

För att bedöma osäkerheten i ett simulerat värde kan man beräkna ett övre konfidensintervall för det simulerade gränsvärdet med samma parameterfria metodik som föreslås i avsnitt 8.3.1.

8.5 Provtagningsstrategi vid friklassningsmätning

För att den statistiska metodiken ska vara tillämpbar ska mätningarna vara oberoende och likafördelade. Detta innebär att riktad provtagning eller provtagning enligt ett fördefinierat mönster underminerar den statistiska analysen. Oberoende och likafördelade mätningar kan uppnås genom att mätplatsen väljs slumpmässigt inom en del av ett objekt. Detta kan ibland upplevas problematiskt eftersom slumpvis valda mätpunkter riskerar att ge dålig täckning av objektets yta. För att komma till rätta med detta problem föreslås en stratifiering av objekten (se figur 8-1) så att mätning sker i varje delområde (strata), men slumpmässigt inom dessa (SS-ISO 11932 (SIS 1997)). Genom att dela in objektet i mindre områden och säkerställa att varje område mäts erhålls en bättre täckning.

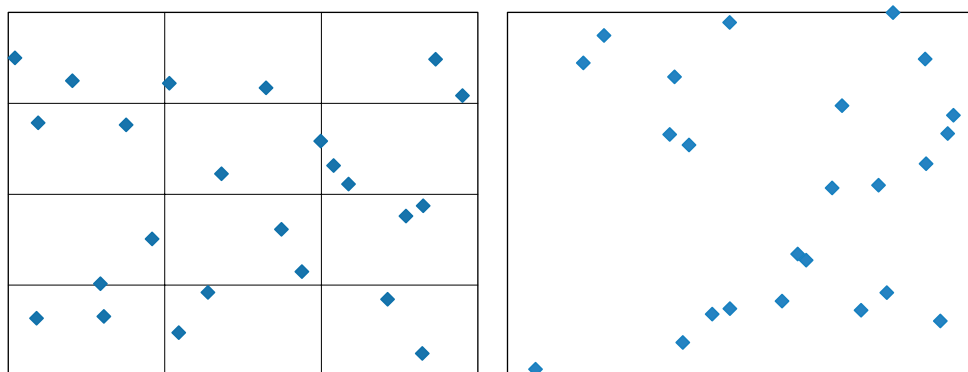
8.5.1 Sammanvägning av data från olika provtagningskampanjer

Friklassningsmätningar kan komma att upprepas för ett visst objekt, till exempel för att minska osäkerheten i nettopulsrat och på så sätt kunna friklassa ett objekt. Om mätningarna utförs på likartat vis och mätpunkterna är likafördelade och oberoende i samtliga fall, kan den statistiska analysen utgå ifrån den samlade datamängden.

8.6 Osäkerhet för enskilda mätvärden

Eftersom kravet för friklassning är att inteckningskriteriet ska vara uppfyllt för varje kvadratmeter får det inte förkomma enskilda mätvärden som sannolikt härrör från kontamination som överskrider inteckningskriteriet. Därför behöver man bedöma osäkerheten för varje enskilt mätvärde. I friklassningshandboken föreslås så kallade operativa gränsvärden för friklassningsmätningarna definierade som friklassningsgränsen minus standardavvikelsen s i den enskilda aktivitetsbestämningen multiplicerat med 1,645. Att tillämpa detta krav på samtliga mätningar är dock något konservativt. Istället föreslås följande för enskilda mätvärden:

- Mätvärden där $\gamma_D \rho_N b_R \leq 1 - 1,645s$ överskrider med stor sannolikhet inte friklassningsvillkoret (accepteras alltid).
- Mätvärden där $\gamma_D \rho_N b_R > 1 + 1,645s$ överskrider med stor sannolikhet friklassningsvillkoret (aktiviteten måste alltid avlägsnas). Friklassningsmätningarna bör avbrytas och återupptas efter dekontaminering.
- Mätvärden där $1 - 1,645s > \gamma_D \rho_N b_R \leq 1 + 1,645s$ kan accepteras men kontaminationen bör avlägsnas om detta kan ske med enkla medel. Friklassningsmätningarna kan slutföras och analyseras innan dekontaminering vidtas.



Figur 8-1. Schematisk bild på stratifierat respektive icke-stratifierat slumpmässigt urval. Genom att säkerställa att varje ruta provtas begränsas risken att större områden missas vid provtagningen.

Standardavvikelsen kan inte enkelt beräknas och det simuleringsförfarande som föreslås för utvärderingen av mätdata (avsnitt 8.4) blir ohanterligt för varje enskilt mätvärde. I detta fall kan man använda sig av den approximation som förordas i SS-ISO 11929:2010 (SIS 2010):

$$s_f^2 = \sum_i^n \left(\frac{\partial f}{\partial x_i} \right)^2 s_{x_i}^2 \quad (8-7)$$

Där s_f^2 är variansen för en funktion $f(x_1, x_2, \dots, x_n)$ och $s_{x_i}^2$ är variansen för variabeln x_i . Variansen för ρ_N bestäms ur antalet uppmätta pulser n_B och n_T och mättiden t_B och t_T för bakgrunds- respektive totalpulsratsmätning (Gilmore 2008) enligt

$$\rho_N = \frac{n_T}{t_T} - \frac{n_B}{t_B}$$

och

$$s_{\rho_N}^2 = \frac{n_T}{t_T^2} + \frac{n_B}{t_B^2}$$

Den sammanvägda osäkerheten för in-teckningen (s_i) enligt ekvation 8-7 kan då beräknas som

$$s_i^2 = (\gamma_D b)^2 s_{\rho_N}^2 + \left(\frac{\rho_N b}{n_Y} \right)^2 s_{\gamma_D}^2 + \left(\frac{\rho_N \gamma_D}{n_b} \right)^2 s_b^2$$

där den första termen innehåller variansen för den enskilda pulsratsmätningen medan de två sista termerna innehåller variansen av medelvärdet för detektoreffektivitet och friklassningskonstant som skattas från n_Y respektive n_B uppmätta/bestämde värden.

8.7 Bedömning av förekomst av anomalier

Vid stickprovsmässig friklassningsmätning av aktivitet för större objekt som till exempel en byggnad blir det naturligt att ställa sig frågan om man kan vara säker på att man inte missat någon punktförmig aktivitetskälla. Ofta betecknas sådana punkter som *hot spots*. Här väljer vi att kalla dem anomalier eftersom de motsvarar en aktivitetsförekomst som starkt avviker från aktivitetsfördelningen i övrigt.

För att hantera frågeställningen ovan kan man använda sig av statistiska metoder för att bedöma risken för anomalier. Det går förstås att, genom att ansätta en storlek och geometri för anomalin, göra en bedömning av risken för förekomst baserat på hur stor del av objektytan som täckts in av friklassningsmätningarna. Det är dock svårt att göra en rimlig bedömning av storleken på en anomali eftersom radioaktiv kontamination med relativt hög aktivitet ändå kan vara liten. I denna rapport förespråkas därför en statistisk analys där anomalin kan vara godtyckligt liten.

Om q_A är sannolikheten att det förekommer en eller flera anomalier kan man *a priori* anta att denna följer en beta-fördelning $\text{beta}(1,1)$. Detta är en likformig fördelning på enhetsintervallet $(0,1)$ det vill säga alla värden på q_A är lika troliga.

Efter mätning där f är antalet identifierade³ anomalier av n genomförda mätningar gäller att⁴

$$q_A \sim \text{beta}(1 + f, 1 + n - f)$$

Om anomalier identifieras ska aktiviteten förstås avlägsnas och upprepade friklassningsmätningar genomföras. Vid analys av det slutliga resultatet av friklassningsmätningarna kommer man rimligen oftast få $f=0$. Sannolikheten för förekomst av anomalier ges därför av

$$q_A \sim \text{beta}(1, 1 + n) \quad (8-8)$$

Det går inte att ange ett enskilt värde på sannolikheten att det förekommer anomalier på samma sätt som det inte går att uttala sig om exempelvis en högsta tänkbar nettopulsrat. För nettopulsraten kan

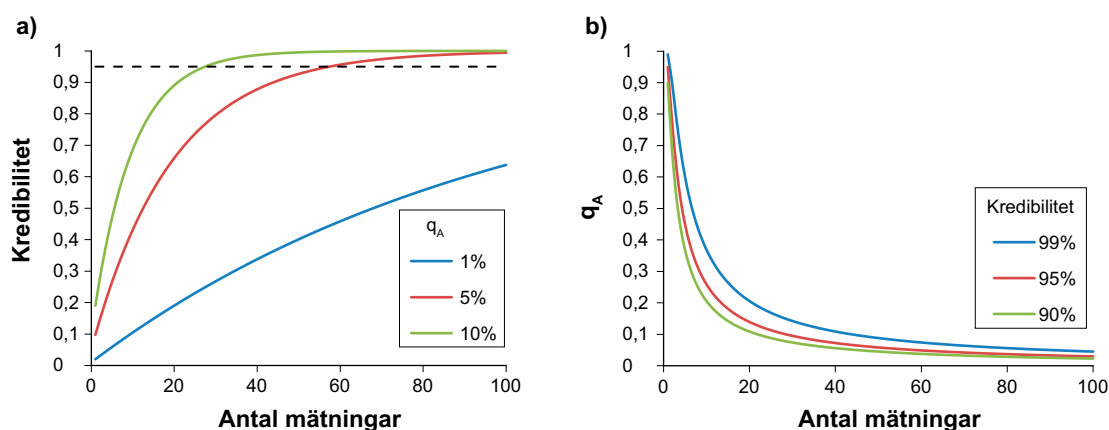
³ Anomalier kan identifieras som mätvärden som, givet osäkerhetsfördelningen hos övriga mätvärden, framstår som mycket osannolika (se metodiken som beskrivs i avsnitt 8.3.1).

⁴ Här förutsätts att sannolikheten för att påträffa en anomali är konstant och att utfallet av mätningarna (med avseende på förekomst av anomalier) då följer en binomialfördelning.

man (som diskuterats i avsnitt 8.3) ange hur troligt det är att medelvärdet (eller värdet av en ny mätning) understiger en fördefinierad gräns, alternativt, vilken gräns som motsvarar en viss kredibilitet (till exempel UCL95 och P95). Utsagor om förekomst av anomalier måste på samma sätt ges i förhållande till en bestämd gräns för q_A eller kredibilitet. Till exempel kan man ange risknivån (värde på q_A) givet en viss fördefinierad kredibilitet till exempel 95 %, eller så kan man för en given risknivå (till exempel 5 %) ange kredibilitet att denna inte överskrids.

När det gäller inteckningskriteriet finns det ett föreskrivet gränsvärde och man kan då visa att denna gräns underskrids med en viss kredibilitet. Någon sådan gräns finns inte definierad för q_A . Därför föreslås att kredibiliteten för $q_A = 5\%$ och risknivån för en kredibilitet på 95 % redovisas som komplement till övrig statistisk analys och att rimliga nivåer på dessa värden bestäms i samråd med SSM.

Om två objekt mäts med samma antal mätningar kommer risknivån att bli den samma (om inga anomalier hittas) eftersom ekvation 8-8 ger att q_A då endast beror av antalet mätningar (se figur 8-2). Om objekten är olika stora kan dock risken att det förekommer anomalier inte sägas vara lika. Risknivån måste med andra ord ställas i proportion till objektets eller delområdets yta. Tolkningen bör vara att en risknivå på till exempel 5 % innebär att man accepterar att 5 % av objektets yta kan ha en förhöjd nivå. Huruvida denna risknivå är acceptabel eller inte beror på hur stor den totala ytan för objektet är. Dessutom bör riskkategorisering från den radiologiska kartläggningen vägas in i bedömningen. Ett stort objekt med tidigare identifierad kontamination över friklassningsnivån bör ha en betydligt lägre risknivå än ett litet objekt som bedömts ha endast *liten risk för förorening*. Vidare kan denna analys kompletteras med mätningar för att bestämma en övre gräns för potentiellt förekommande anomalier (se avsnitt 7.2.2).



Figur 8-2. a) Kredibilitet som funktion av antal mätningar för $q_A = 1\%$, 5% och 10% (den streckade linjen anger 95 % kredibilitet) och b) q_A som funktion av antal mätningar för 99 %, 95 % och 90 % kredibilitet. I samtliga fall förutsätts ett utfall där inga anomalier påträffas.

9 Kontrollprogram

Kontrollprogrammet ska enligt SSMFS 2011:2 (SSM 2011) innehålla information om metodik och omfattning av aktivitetskontrollen, vem som är behörig att utföra den samt information om kvalitetssäkring, egenkontroll och dokumentation. För byggnader, lokaler, mark eller materialmängder över 100 ton per kalenderår ska kontrollprogrammet anmälas till SSM innan aktivitetskontrollen genomförs.

Kontrollprogrammet, som tas fram av varje TH för den egna anläggningen, ska:

1. beskriva metoderna för och omfattningen av kontrollen, det vill säga:
 - vilka komponenter, byggnadsdelar, mark och andra anordningar som ska kontrolleras,
 - när mätningarna ska genomföras och förutsättningarna för dessa mätningar,
 - mätningarnas omfattning,
 - de mätmetoder, instruktioner och procedurer som ska användas vid genomförandet av mätningarna,
 - riktlinjer för utökade kontroller eller andra åtgärder vid oväntade avvikelser från förväntat mätresultat (se avsnitt 8.6 och 10.3.3).
2. ange vem som är behörig att utföra kontrollen, och
3. innehålla uppgifter om kvalitetssäkring, egenkontroll och dokumentation av resultaten.

Arbetet med att ta fram ett kontrollprogram kan med fördel påbörjas tidigt i friklassningsprocessen så att man till exempel kan säkerställa att kartläggningsmätningarna håller tillräcklig kvalitet för att kunna återanvändas vid friklassningsmätning. Däremot bör kontrollprogrammet anmälas först efter genomförd kartläggning och dekontaminering. Resultaten från den radiologiska kartläggningen kan då beskrivas översiktligt med hänvisning till separata dokument där kartläggning, dekontaminering och kategorisering redovisas i detalj.

Om kontrollprogrammet istället anmäls tidigt i friklassningsarbetet finns inte alla resultat från kartläggning och kategorisering tillgängliga. Kontrollprogrammet kommer då behöva beskriva principerna för såväl friklassningsmätningen som friklassningsprocessen i sin helhet (inklusive radiologisk kartläggning, kategorisering och dekontaminering). Kontrollprogrammet kommer också att behöva utformas mer övergripande för att täcka in alla situationer som kan tänkas uppstå under kartläggnings- och dekontamineringsarbetet. Hänvisningar till arbetsinstruktioner bör anges för att ge detaljerad information om till exempel provtagningsstrategi, mätmetoder, med mera.

I en bilaga till friklassningshandboken anges ett förslag till kontrollprogram. Nedan följer en kompletterande beskrivning av den information som bör redovisas i kontrollprogrammet vid friklassning i samband med nedmontering och rivning.

9.1 Verksamhetsbeskrivning

I verksamhetsbeskrivningen ska drifhistorik samt händelser under drift som påverkar friklassningen redovisas på en översiktlig nivå. Här bör även kontrollprogrammets omfattning beskrivas med avseende på vilka objekt som kommer att friklassningsmätas. Därefter ska friklassningsprocessens olika delsteg beskrivas. Fokus bör vara på friklassningsmätning med tillhörande analys av mätdata.

9.1.1 Radiologisk kartläggning, Kategorisering av objekt och dekontaminering

Om kontrollprogrammet tas fram tidigt i processen bör man redogöra för den arbetsmetodik som ligger till grund för kartläggningen. Principerna för riskkategoriseringen ska beskrivas samt hur objekt i respektive riskkategori kommer att hanteras. Det bör också framgå hur riskkategoriseringen fastställs och dokumenteras. Dekontamineringsmetoder bör beskrivas översiktligt fram för allt med avseende på hur risk för spridning av kontamination kommer att hanteras. Referenser till arbetsinstruktioner för de ingående momenten bör anges.

Om kartläggningen redan genomförts, beskrivs istället hur den radiologiska kartläggningen genomförts. Resultat av de olika momenten redovisas översiktligt med hänvisning till separata rapporter.

9.1.2 Aktivitetsbestämning

Metoder och arbetssätt som kommer att användas för friklassningsmätning av aktivitet för friklassning ska redovisas. Beskrivningen ska vara översiktlig med hänvisningar till arbetsinstruktioner, metodbeskrivningar och standarder.

Provtagningsstrategi

Fördelningen av mät- och provtagningspunkter ska beskrivas för respektive mätmetod samt i vilken omfattning mätning och provtagning kommer att genomföras. Om den radiologiska kartläggningen redan genomförts kan provtagningsstrategin beskrivas i detalj. I annat fall, bör principerna för hur provtagningsstrategin anpassas efter den radiologiska kartläggningen beskrivas.

Strykprov

Omfattning och utvärdering av strykprov som tas i samband med friklassningsmätning bör beskrivas. Krav på mätinstrument, provtagnings- och analysförfarande bör beskrivas med hänvisning till arbetsinstruktioner och standarder.

Syftet med strykprov är i första hand att visa att lös kontamination sanerats i enlighet med SSM:s allmänna råd till 7 § i SSMFS 2011:2 (SSM 2011). Sanering av lös kontamination och verifiering av saneringsresultatet bör vara genomförd innan friklassningsmätningarna påbörjas. I sådana fall bör det finnas en rapport eller ett protokoll från saneringen att hänvisa till.

Kontroll med pulsratsinstrument och gammadetektorer

Vid friklassningsmätning kommer sannolikt både pulsratsmätning och gammadetektorer att användas. Krav på mätinstrument, provtagnings- och analysförfarande bör beskrivas med hänvisning till arbetsinstruktioner och standarder. Användandet av pulsratsmätning för aktivitetskontroll bör motiveras utifrån förväntad nuklidvektor.

Bestämning av nuklidvektorer

Bestämning av nuklidvektorer som kommer att användas för friklassning till nuklidspecifika gränsvärden ska beskrivas. Avsnittet bör innefatta:

- en lista på nuklider som i förekommande fall också förklarar varför vissa nuklider utesluts,
- provtagningsmetod och omfattning,
- analysmetoder.

I de fall då nuklidvektorer redan bestämts kan resultaten redovisas översiktligt med hänvisning till tidigare framtagna rapporter.

Kontroll av aktivitetsfördelning

Det ska framgå av kontrollprogrammet om, och i så fall vilka, övriga mätningar och analyser som ska tillämpas för att säkerställa att aktivitetsfördelningen har provtagits/mätts i tillräcklig omfattning (se avsnitt 7.2.2).

Det bör även beskrivas hur aktivitetskontroll kommer att genomföras för att bestämma aktivitetsnivåer i sprickor och på andra svåråtkomliga ytor samt hur eventuell inträngning av aktivitet i porösa material kommer att kontrolleras.

9.1.3 Utvärdering

Den statistiska metodik som kommer att användas vid utvärdering av resultat från respektive metod för aktivitetsbestämning ska redovisas i detalj eller med hänvisning till separata metodbeskrivningar. De kriterier som ska ligga till grund för friklassning ska också definieras här (se kapitel 8).

9.2 Förvaltning

Friklassade objekt kommer att behöva förvaltas efter friklassning för att säkerställa att de inte återkontamineras. Vissa objekt kanske kommer att mellanlagras innan slutlig bortskaffning. Byggnader, lokaler och mark kommer att behöva förvaltning innan konventionell rivning. Det bör redovisas vilka åtgärder som kommer att vidtas för att förhindra återkontamination under denna period.

9.3 Gällande föreskrifter och särskilda beslut

Villkoren för friklassning ska anges i kontrollprogrammet. För friklassning av mark bör referenser ges till underlag för härledning av friklassningsnivåer och beslut om markens framtida användning.

9.3.1 Föreskrift SSMFS 2011:2

Det ska framgå vilka specifika paragrafer i SSMFS 2011:2 (SSM 2011) som är tillämpliga för friklassning enligt kontrollprogrammet. Här bör det framgå om friklassningsbeslut tas av tillståndshavaren eller SSM.

9.3.2 Särskilda beslut

I de fall då friklassning kommer att ske mot andra gränsvärden än vad som anges i SSMFS 2011:2 (SSM 2011) eller då annan dispens givits från föreskrifterna i SSMFS 2011:2 (SSM 2011) ska detta redovisas med referenser till framtagna underlag och beslut från SSM.

9.4 Kvalitetssäkring

Åtgärder som vidtas för att säkerställa kvalitet i mätning, utvärdering och dokumentation i samband med aktivitetskontroll ska framgå av kontrollprogrammet. Hänvisningar bör ges till arbetsrutiner och ledningssystem.

9.4.1 Ledningssystem

Det ska redovisas hur kontrollprogrammet införlivats i ledningssystemet eller om ledningssystemet innehåller hänvisningar som säkerställer att kontrollprogrammet efterlevs. Hänvisning bör ges till de delar av ledningssystemet som kommer att tillämpas för mätning, utvärdering, dokumentation och beslut/ansökan om friklassning.

9.4.2 Egenkontroll och oberoende kontroll

Den egenkontroll som kommer att genomföras samt vilka moment i kontrollen som kommer att granskas (provtagning, analys, dokumentation med mera) ska redovisas. Det är även lämpligt att här beskriva eventuell oberoende kontroll (se kapitel 10) samt hur stora avvikelser som kan tolereras vid jämförelser av mätvärden (till exempel genom att ange en konfidensnivå för signifikanstest).

9.4.3 Hantering av avvikelser

I samband med friklassningsmätning är det möjligt att avsteg från kontrollprogrammet kommer att göras och det bör finnas rutiner för att hantera sådana avvikelser. Det bör även redovisas hur man kommer att hantera avvikelser som identifieras till exempel i samband med egenkontroll.

9.4.4 Behörighet

Behörighet samt beskrivning av de roller som förekommer i samband med friklassningsmätning ska beskrivas i detta avsnitt (se kapitel 10 och friklassningshandboken).

9.5 Dokumentation

Dokumentationen utgör underlag för friklassning eller ansökan om friklassning. Vidare finns krav på att dokumentationen ska sparas i 10 år efter friklassningsbeslut. Man bör i kontrollprogrammet beskriva vilken dokumentation som kommer att tas fram i samband med friklassningsmätningen samt vilka övriga dokument som kommer att ingå i underlag för friklassning (se avsnitt 10.3.4).

9.5.1 Rapporter

För att fatta beslut om friklassning eller ansöka om friklassning hos SSM behöver en friklassningsrapport tas fram som sammanfattar arbete och resultat av friklassningsmätningarna enligt kontrollprogrammet. Som underlag till denna rapport används:

- ritning och beskrivning av objekt,
- dokumentation av bestämning av nuklidvektorer,
- historik- och kartläggningsrapport,
- kalibrerings/verifierings dokumentation för mätmetoder,
- mätprotokoll,
- granskningsdokument.

9.5.2 Lagring av data

För större objekt kommer stora mängder mätdata genereras. Mätdata innefattar tids- och positionsangivelser, mätvärden samt information kring instrument, utförare med mera som lämpligen lagras i en databas. Det ska redovisas vilka data som lagras i samband med mätningar samt i vilket format data sparas (se avsnitt 10.3.4).

9.5.3 Arkivering

Det ska framgå i kontrollprogrammet hur och vilken dokumentation som ska arkiveras. Arkivering krävs för att säkerställa bevarandet av dokumentation i 10 år från beslut om friklassning (se avsnitt 10.3.4).

10 Kvalitetssäkring

Ett grundläggande krav i SSMFS 2008:1 (SSM 2008) är att varje TH ska ha både den organisation som krävs för den kärntekniska verksamheten (inkl. avvecklingen) och det ledningssystem som krävs för att leda, styra och handla upp denna verksamhet. Tillämpningen av ledningssystemet, dess ändamålsenlighet och effektivitet ska undersökas systematiskt och periodiskt av en revisionsfunktion för analys och förbättringar av verksamheten. Revisionsfunktionen ska ha en fristående ställning i förhållande till de verksamheter som blir föremål för revision. Vidare ska det finnas ett fastställt revisionsprogram vid anläggningen. Kvalitetssäkringen av all friklassning är alltså också en del av tillståndshavarens ledningssystem med krav på revision och uppföljning. Eventuella avvikelser under friklassningsprocessen ska tas upp på kvalitetsmöten tillsammans med ansvariga för ledningssystemet, där det beslutas om korrigerande åtgärder.

TH bör även etablera en expertgrupp som fortlöpande följer friklassningsprocessen, kontrollerar mätresultaten samt löser eventuellt uppkomna mättekniska problem. Varje expertgruppsmöte protokollförs och protokollen sparas i dokumentsystemet. Expertgruppen kan bestå av representanter från projektledningen, arbetsledare för mätgruppen samt en expert inom till exempel radiokemi, radiofysik och statistik.

Att följa en väldefinierad arbetsgång, även för kvalitetssäkring, torde innebära en större kostnadseffektivitet totalt sett, vilket gör det lättare att hålla uppgjorda tidplaner. Då minskar risken för oförutsedda händelser och därmed även risken för oförutsedda merkostnader. Ytterligare fördelar är en ökad säkerhet och ett högre förtroende i omvärlden.

Vid friklassning ställs krav enligt SSMFS 2011:2 (SSM 2011) på att kvalitetssäkring vid friklassningsmätning ska beskrivas i kontrollprogrammet. Det finns därför skäl att ge specifika rekommendationer om hur kvalitetssäkring genomförs från och med framtagande av kontrollprogram, till friklassningsmätning, dokumentation och beslut/ansökan om friklassning, eftersom dessa delar av friklassningsprocessen regleras i föreskrift.

Inledande bedömning, radiologisk kartläggning och dekontaminering regleras inte specifikt i SSMFS 2011:2 och det ställs därför inga särskilda krav på kvalitetssäkring. Den kvalitetssäkring som följer av tillståndshavarens ledningssystem för liknande arbetsuppgifter bör vara tillräcklig.

Målsättningen med detta kapitel är att beskriva hur friklassningsprocessen kan kvalitetssäkras under nedmontering och rivning av kärntekniska anläggningar, det vill säga hur processflödet kan styras för att minimera risken för misstag. Innehållet ska ses som en utveckling av kapitel 8 (Kvalitetssäkring och dokumentation) i friklassningshandboken (SKB 2011), vilket i huvudsak behandlar kvalitetssäkring vid friklassning av komponenter och material.

Föreskriften SSMFS 2011:2, 8§ innehåller krav på kvalitetssäkring och egenkontroll vid friklassning. Det är viktigt att uppfylla dessa krav så att varken SSM:s eller samhällets förtroende för verksamheten rubbas genom en felaktigt utförd friklassning. Med egenkontroll avses här kontroll som utförs i egen verksamhet (även hos utomstående aktörer) och på eget ansvar, det vill säga sakgranskning och godkännande av instruktioner, provningsprotokoll, rapporter med mera. Andra former av kontrollverksamhet som behandlas i detta kapitel är Oberoende kontroll, dvs en kontrollverksamhet som inte är direkt involverad i friklassningsprocessen. Med Oberoende kontroll avses en kontroll som utförs av kompetenta resurser antingen inom TH:s egen organisation eller en opartisk kontroll som utförs av en extern, kompetent resurs.

Det finns inget skräddarsytt kvalitetsledningssystem för friklassning vid nedmontering av en kärnteknisk anläggning eftersom det har varit få projekt av den typen i Sverige. Men det finns flera olika hjälpmedel och rekommendationer för hur en provningsverksamhet kan kvalitetssäkras. Bland de viktigaste är ISO 9001:2008 (ISO 2008) och ISO 17025:2005 (ISO 2005). Dessa diskuteras mer ingående i avsnitt 10.1 nedan.

10.1 ISO-standard för kvalitetssäkring, certifiering och ackreditering

ISO 9001:2008 (ISO 2008) anger krav på ledningssystem för kvalitet och handlar om att organisationen eller projektet ska utgå från kundernas eller SSM:s krav och se över de interna arbetsätten för att effektivisera arbetsflödena. ISO 9001:2008 bör ligga till grund även för kvalitetssäkring vid friklassning under nedmontering och rivning av kärntekniska anläggningar. Detta gäller även för TH:s eget ledningssystem. Se avsnitt 10.2 nedan.

ISO 17025:2005 (ISO 2005) är en standard för kvalitetsstyrning av provnings- och kalibreringslaboratorier. Standarden är uppdelad i två delar, en för krav på ledningssystem (i grunden ISO 9001:2008) och en för tekniska krav som till exempel teknisk kompetens, lokaler, miljöförhållanden med mera.

Certifiering innebär en formell prövning där ett ackrediterat certifieringsorgan bedömer ett laboratorium och avger ett skriftligt yttrande om deras allmänna kompetens och verksamhet.

Många organisationer som använder sig av externa laboratorier kräver att laboratoriet är ackrediterat enligt ISO 17025:2005. Ackreditering innebär att ett ackrediteringsorgan bedömer ett laboratorium med avseende på en definierad typ av kontroll eller mätning och ger ett formellt erkännande av dess kompetens inom detta område. Ackrediteringsprocessen syftar till att öka tillförlitligheten för resultat från provning och kalibrering, och att göra det enklare för kunder att välja pålitliga provnings-, mät- och kalibreringstjänster. I Sveriges fall innebär detta att ackrediteringsorganet SWEDAC (Styrelsen för ackreditering och teknisk kontroll) bedömer laboratoriet, alternativt att laboratoriet bedömts av ett utländskt, internationellt erkänt ackrediteringsorgan.

Ackreditering innebär att laboratorier kan bevisa sin kompetens och att man har en fungerande kvalitetssäkring samt ett bevis på teknisk kompetens och oberoende. Myndigheter eller andra upphandlare, som industrier eller landsting, ställer i vissa fall krav på ackreditering för att laboratorier ska få utföra vissa typer av provning/kalibrering.

ISO 17025:2005 används för bedömning av laboratorier i hela världen, faktorer anses som relevanta för laboratoriets tekniska kompetens är:

- personalens tekniska kompetens,
- laboratoriets oberoende,
- provnings- och kalibreringsmetodernas giltighet och lämplighet,
- spårbarhet hos mätningar och kalibreringar,
- utrustningens lämplighet och dess underhåll,
- miljö för provning och kalibrering,
- insamling, hantering och transport av provföremål, material, instrument med mera,
- kvalitetssäkring av provnings- och kalibreringsdata.

Även om ett laboratorium uppfyller kraven enligt ISO 17025:2005 innebär detta inte automatiskt att de även uppfyller kraven enligt ISO 9001:2008, utan detta kräver en separat certifiering av det aktuella laboratoriet.

Om det finns någon fördel, till exempel tekniskt, ekonomiskt eller logistiskt, med att anlita ackrediterade laboratorier får bedömas från fall till fall i den mån det finns tillgång till sådana företag för erforderliga friklassningsmätningar eller andra analyser inom friklassningsprocessen.

10.2 Ledningssystem

10.2.1 Omfattning

I ett ledningssystem enligt ISO 9001:2008 (ISO 2008), beaktas alla aktiviteter i en organisation som påverkar kvaliteten på en produkt; i detta fall friklassningsunderlag. Ledningssystemet byggs upp genom att TH:s företagsledning fastställer policy, mål och rutiner för friklassningsarbetet.

Grundläggande krav för TH:s organisation, ledning och styrning av den kärntekniska verksamheten anges i SSMFS 2008:1 (SSM 2008). Nedan följer en kort sammanställning över de viktigaste delarna som bör finnas med i TH:s ledningssystem med avseende på friklassningsprocessen (se även inledningen till kapitel 10 ovan):

- Styrning av dokument: Dokumenten i ledningssystemet byggs upp utifrån ett antal krav, såsom spårbarhet, distribution och giltighet.
- Ledningens åtagande: I denna del fastställs och beskrivs hur ansvar, policy, mål, kommunikation och ledningens genomgång hanteras.
- Hantering av resurser: För att ett ledningssystem ska fungera är det viktigt att relevanta resurser såsom personal med rätt kompetens och infrastruktur avsätts.
- Produktframtagning: I denna del fastställs alla krav som direkt berör framtagningen av friklassningsunderlaget såsom planering, kontrollprogram, utförande av mätningar, resultat av utvärderingar, egenkontroller, rapportering och lagring av data.
- Övervakning, mätning, analys och ständiga förbättringar: I detta steg behandlas intern revision, övervakning och mätning av processer, avvikelser samt förebyggande och korrigerande åtgärder.

Då friklassningsprocessen i stor utsträckning kan komma att kräva engagemang av externa resurser, till exempel för att utföra mätningar och analyser är det ett krav att de externa företag som anlitas av TH har egna, godkända ledningssystem som bygger på tillämpliga delar av ISO 9001:2008 och ISO 17025:2005 (ISO 2005), såvida de inte ingår i TH:s egen organisation och arbetar enligt dennes ledningssystem. Detta befriar dock inte TH från huvudansvaret för kvaliteten hos den externt levererade servicen (Se även avsnitt 10.4 nedan).

10.2.2 Ledningens ansvar, kvalitetspolicy, planering, befogenheter, kommunikation och kvalitetsmöten

TH har ett juridiskt ansvar för att friklassningsprocessen utförs på ett korrekt och felfritt sätt. Därför är det viktigt att ledningen skriftligen deklarerar en kvalitetspolicy för processen. Kvalitetspolicyen kan ingå i TH:s ledningssystem för hela nedmonterings- och rivningsprocessen, men kan också skapas separat för att understryka att friklassningen är en viktig del av denna. Det är friklassningsunderlaget som kommer att utgöra basen för friklassningen av anläggningen. Ledningens roll är också att förankra kvalitetstänkandet hos alla inblandade organisationer och personal.

10.2.3 Infrastruktur och Verksamhetsmiljö

Infrastruktur

TH bör tillsammans med projektledningen redan på planeringsstadiet försäkra sig om att det finns tillgång till infrastruktur i form av mätutrustning, hjälpmaterial och laboratoriekapacitet. Vilken infrastruktur som är nödvändig för att verksamheten ska fortgå kvalitetssäkert bör anges i kontrollprogrammet. Detta kan innebära att TH redan på planeringsstadiet inför nedmontering och rivning måste inventera tillgången på lämpliga utförare som uppfyller ställda krav, och vid behov knyta de kontakter som krävs för att skapa dessa förutsättningar. Se även avsnitt 10.1 ovan.

Verksamhetsmiljö

Det är viktigt att säkerställa kraven på verksamhetsmiljö, speciellt när provtagning, provning och/eller kalibrering utförs på andra ställen än i permanenta laboratorielokaler, så att resultaten inte blir ogiltiga på grund av miljöförhållandena och att dessa förhållanden inte påverkar kvaliteten hos mätningarna på ett ofördelaktigt sätt. Krav på en lämplig verksamhetsmiljö finns även angivna i ISO 17025:2005 (ISO 2005), avsnitt 5.3.

TH ska tillsammans med projektledningen se till att personalen arbetar i en fysisk och psykosocial arbetsmiljö i enlighet med arbetsmiljölagen (SFS 1977:1160) och strålskyddslagen (SFS 1988:220).

10.3 Kvalitetssäkring under friklassningsprocessen

Generellt sett kan processflödet beskrivas i sex steg enligt figur 10-1 nedan, beroende på vad som ska friklassas. Skillnaden ligger främst i att friklassningen av lokaler/byggnader och mark ska beslutas av SSM.

I följande avsnitt 10.3.1 till 10.3.5 anges ett förslag till hur kvalitetssäkringen kan hanteras i varje steg av friklassningsprocessen enligt figur 10-1 nedan.

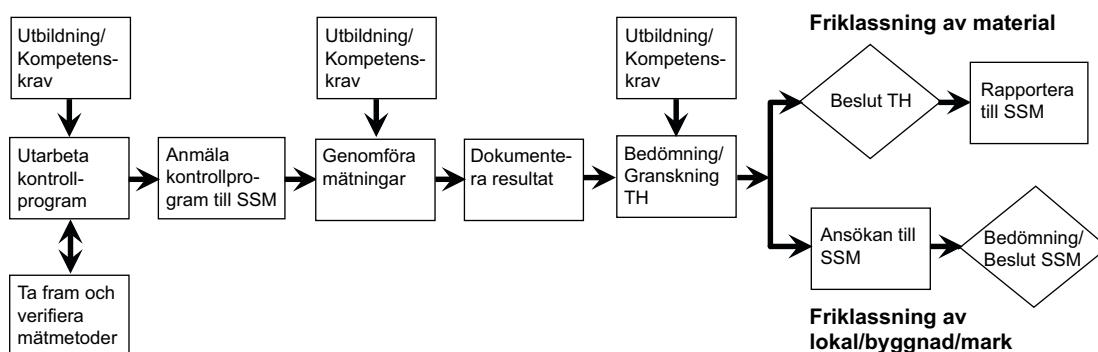
Innan kontrollprogrammet kan utarbetas är det ofta nödvändigt att genomföra en radiologisk kartläggning och preliminär riskkategorisering av anläggningen (se kapitel 3) för att bestämma omfattningen av kontrollprogrammet med ledning av preliminära mätningar och anläggningens historik. Denna process avslutas med en kartläggningsrapport som hanteras enligt TH:s ledningssystem, samt granskas och godkänns internt av personal som är väl insatt i den historiska verksamheten i anläggningen och som har god kunskap i radiofysik och/eller radiokemi. Dokumentationen från den radiologiska kartläggningen inklusive utförda mätningar hanteras i tillämplig omfattning enligt avsnitten 10.3.3 och 10.3.4 nedan.

10.3.1 Kontrollprogrammet

För att säkerställa att det skriftliga kontrollprogrammet och dess omfattning motsvarar kraven i SSMFS 2011:2 (SSM 2011), 8 § kan till exempel granskning och godkännande utföras i följande steg:

- En dokumenterad sakgranskning av omfattningen och innehållet i kontrollprogrammet samt att kontrollurvalet är korrekt, och att TH följt fastställda principer, metoder och tillvägagångssätt för framtagningen av detta. Sakgranskningen utförs av en behörig person, som inte varit delaktig i framtagningen av kontrollprogrammet, och som innehar tillräcklig kompetens för en granskning av detta, det vill säga God Kunskap (GK) om ämnesområdet enligt kompetenskraven i avsnitt 10.4 nedan.
- Efter sakgranskningen sker en oberoende granskning av kontrollprogram och kontrollurval, som fokuserar på att TH följt fastställda principer, metoder och tillvägagångssätt för framtagningen av kontrollprogram, inkl. sakgranskningen av detta, samt att gjorda slutsatser och ställningstaganden är rimliga. Granskningen kan utföras av en oberoende resurs med God Kunskap (GK) om ämnesområdet enligt kompetenskraven i avsnitt 10.4 nedan.
- Därefter godkänns kontrollprogrammet av en behörig person i chefsställning inom den enhet som tagit fram kontrollprogram och kontrollurval, alternativt ansvarig projektledare för det berörda delprojektet.

Efter godkännandet av kontrollprogram och kontrollurval anmäls dessa till SSM om så krävs enligt förutsättningarna i SSMFS 2011:2, 8 § och de normala rutinerna för sådana ärenden hos varje TH.



Figur 10-1. Processflöde för friklassning av material.

10.3.2 Ta fram och verifiera mätmetoder

Förutsättningar

Mätmetoderna och omfattningen av kontrollen ska anpassas till den bedömda förekomsten av radioaktiv förorening och till materialets, lokalens, byggnadens eller markens egenskaper samt stå i överensstämmelse med svensk eller internationell standard eller riktlinjer som har beslutats av SSM (se kapitel 7).

Det är viktigt att, så långt det är möjligt, välja mätmetoder som är:

- baserade på standardiserade förfaranden,
- har använts under lång tid med dokumenterad erfarenhet,
- praktiskt tillämpliga.

För varje mätmetod bör det finnas en procedur (instruktion) som anger tillämpningsområde, förutsättningarna för mätningen, kompetenskrav, nödvändig utrustning och kalibreringar, hur mätningen utförs, acceptansnivåer samt hur resultat och eventuella avvikelser dokumenteras och rapporteras.

Mätmetoder – verifiering

För att bekräfta att de resultat som erhålls vid friklassningsmätningarna är korrekta och motsvarar kraven på noggrannhet, bör tillämpliga åtgärder utföras och dokumenteras enligt ISO 17025:2005 (ISO 2005) avsnitt 5.4.5. Den teknik som används för att fastställa prestanda hos en metod bör till exempel vara en av eller en kombination av:

- kalibrering av mätinstrument med hjälp av standardstrålkällor,
- jämförelse med resultat från andra mätmetoder,
- systematisk bedömning av faktorer som påverkar resultatet,
- uppskattning av osäkerheten i resultaten utifrån principerna för metoden och utifrån praktisk erfarenhet.

Verifieringen av en mätmetod bör utföras av en behörig person med kompetenskrav för Utvärderare enligt bilaga 9 i friklassningshandboken (SKB 2011) och godkännas av en behörig person med kompetenskrav för Godkännare (GK) enligt samma bilaga. Verifieringen av mätmetoden styrks genom att instruktionen signeras av båda dessa funktioner och kan utföras inom TH:s egen organisation. Därefter är den godkända mätmetoden med tillhörande instruktion klar att användas.

10.3.3 Genomföra mätningar

Följande beskrivning behandlar i huvudsak kvalitetssäkringen vid friklassningsmätning, men kan också tillämpas för att så långt det är möjligt säkerställa kvalitén på mätningar i samband med radiologisk kartläggning.

Förutsättningar

Mätningarna kan antingen utföras av TH själv eller av en godkänd entreprenör, som rapporterar till TH. Skälet till att välja det senare alternativet kan vara de stora mängder material, komponenter och byggnadsvolymer som hanteras och friklassas under en förhållandevis kort tid i samband med nedmontering och rivning.

Kontrollprogrammet bör noggrant precisera kompetenskraven på personal som ska utföra mätningar, utvärderingar av mätresultaten och vem som är behörig att göra modellberäkningar. Kraven på kompetens hos utförarna beskrivs i SSMFS 2011:2 (SSM 2011), 17§ och friklassningshandboken (SKB 2011), kapitel 9 (Kompetenskrav och utbildning). Kompetenskrav för personal hos externa organisationer som anlitas av TH framgår i övrigt av relevanta delar av ISO 17025:2005 (ISO 2005), avsnitt 5.2.

För modellberäkningar och utvärderingar av gammadetektoriska mätningar krävs God Kunskap (GK) både i radiofysik och/eller radiokemi samt lång erfarenhet från liknande arbeten. Utvärdering av rutinmässiga gammamätningar kan göras av personal med lägre kompetensnivå givet att resultaten granskas av personal med God Kunskap.

Kvalitetssäkring av friklassningsmätningarna

Alla friklassningsmätningar utförs av personal med tillräcklig erfarenhet av radioaktivitetsmätningar (se avsnitt 10.4 nedan). Varje utvärdering av mätningarna bör granskas av ytterligare minst en behörig person med kompetenskrav för Utvärderare enligt bilaga 9 i friklassningshandboken. I denna granskning ingår även att kontrollera att alla inmatade data överensstämmer med mätresultaten och att *frisläppa* mätresultaten.

Allt handhavande av mätinstrument dokumenteras i form av instruktioner som granskas och uppdateras vid behov. Mätutrustningen bör i tillämpliga delar uppfylla kraven i ISO 17025:2005, avsnitt 5.5.

Mätningarnas spårbarhet samt kvalitetssäkring av provnings- och kalibreringsresultat bör i tillämpliga delar uppfylla kraven i ISO 17025:2005, avsnitten 5.6 och 5.9.

Om den utförare som anlitas för friklassningsmätningarna är ackrediterad med avseende på en definierad typ av kontroll eller mätning enligt kraven i ISO 17025:2005 (se avsnitt 10.1 ovan) ansvarar denne också ensam för kvalitetssäkringen av sina resultat, och i det fallet krävs det ingen ytterligare åtgärd från TH. Signerade mätprotokoll och redovisning från utförda friklassningsmätningar utgör därmed tillräcklig dokumentation från dessa.

I annat fall bör det med återkommande intervall (som framgår av kontrollprogrammet) utföras stickprovsvisa kvalitetskontroller av en oberoende kontrollant med kompetenskrav för Utvärderare enligt bilaga 9 i friklassningshandboken (SKB 2011). Kontrollantens uppgift är att kontrollera att de ordinarie mätningarna utförs i enlighet med kontrollprogrammet och gällande mätinstruktioner, utföra friklassningsmätningar samt kontrollera att mätresultaten från samma mätpunkt överensstämmer med varandra. Man bör på förhand, med kännedom om mätsystemets osäkerheter, ha bestämt hur stora avvikelser som kan tolereras vid jämförelser av mätvärden (se avsnitt 9.4.2). Även i dessa fall utgör signerade mätprotokoll och redovisning från utförda friklassningsmätningar tillräcklig dokumentation från dessa mätningar. Eventuella avvikelser bör enligt inledningen ovan tas upp på kvalitetsmöten med ansvariga för ledningssystemet, där det beslutas om korrigerande åtgärder. Resultaten av kontrollerna rapporteras och sparas i dokumentsystemet.

Alla mätresultat dokumenteras. Om en mätning upprepas, bör båda mätresultaten sparas med kommentarer till varför mätningen gjordes om.

För att säkerställa att mätningarna utförs enligt kontrollprogrammet bör detta följas upp av en expertgrupp enligt inledningen ovan, som fortlöpande följer friklassningsprocessen, kontrollerar mätresultaten samt löser eventuellt uppkomna mättekniska problem.

10.3.4 Dokumentera resultat

Förutsättningar

Genomförandet och resultatet av en kontroll ska dokumenteras. Dokumentationen ska bevaras tills friklassning har skett och därefter i tio år, alternativt annan tid som anges av SSM (se §9 SSMFS 2011:2).

För varje mätning dokumenterar utföraren erhållna resultat i ett mätprotokoll. När alla mätningar genomförts redovisar och kommenterar TH resultatet i en friklassningsrapport för varje delprojekt. I friklassningsrapporten sammanfattas alla de resultat som erhöles vid mätningarna med hänvisning till underliggande kontrollprogram, rapporter och mätprotokoll.

Dokumentation och arkivering

Krav på ett dokumenthanteringssystem beskrivs i ISO 9001:2008 (ISO 2008). Hela friklassningsprocessen är mycket komplex och det är ytterst viktigt att ha ett system som spänner över all nödvändig dokumentation. I standarden ISO 9001:2008 ställs krav på att ha ett styrdokument (kan kallas instruktion för dokumenthantering) som beskriver både krav och procedurer för hur dokumenthanteringssystem

ska förvaltas. Dokumentsystemet omfattar kvalitetspolicyn, kvalitetsmanualen, kontrollprogrammet med alla ingående procedurer för utförande av mätningar, utvärderingar, friklassningsgodkännande samt alla mätresultat som produceras under processen.

Styrdokumentet bör innehålla följande:

- Alla dokument granskas och godkänns av en behörig person före ikraftträdandet.
- Alla dokument kontrolleras och uppdateras (om nödvändigt) med återkommande intervall.
- Om dokumenten är uppdaterade bör det finnas ett system som beskriver versionsstatus.
- Äldre versioner bör arkiveras så att de inte av misstag används i friklassningsprocessen.

Styrdokumentet bör vidare innehålla instruktioner för hur mätresultat, utvärderingar och dokumenterade friklassningsbeslut ska arkiveras. Arkivering ska ske på ett säkert sätt. Det bör vara möjligt att lätt komma åt data, och att dessa data är kopplade till rätt objekt, samt att det inte finns någon risk för misstag.

I övrigt bör kraven för externa aktörer enligt ISO 17025:2005 (ISO 2005), avsnitten 4.13, 5.7 och 5.10 vara uppfyllda i tillämpliga delar.

Det bedöms som helt nödvändigt att alla mätvärden samlas i en databas. Mätdata bör i regel lagras i råformat det vill säga så som de mäts upp och redovisas av mätutrustningen, för att sedan kunna behandlas i olika analysverktyg. Alla mätdata ska, förutom uppmätta värden, även innehålla information om tidpunkt, position, använd utrustning, kalibrering, utförare, miljöförhållanden med mera. Se ISO 17025:2005 avsnitt 5.4.7 och ISO 17025:2005 avsnitt 5.10.

Man bör vara medveten om att felaktig inmatning torde vara en av de vanligaste kvalitetsbristerna. Systemet bör därför ha funktioner för laboratorium/utförare att mata in uppmätta data direkt i systemet, vilket innebär att TH får sina data direkt inmatade i en databas och inte behöver importera något själv. För detta krävs dock att alla data kvalitetssäkras av laboratorium/utförare innan de matas in i TH:s system. Slutligen kontrolleras att inmatningen av data i TH:s databas är korrekt (granskning enligt TH:s ledningssystem).

Det bör även finnas funktioner som varnar för eventuellt felaktiga data till exempel stora avvikelser (så kallade *outliers*) genom att jämföra olika data från samma mätpunkt mot varandra eller varna för stora variationer i näraliggande mätpunkter. Därvid krävs manuella åtgärder för att korrigera eventuella fel. Det bör även finnas funktioner för export av data till andra system och analysverktyg.

Rätt använd kan en databas vara ett sätt för TH att redovisa mätdata i sin rapportering till berörda myndigheter, till exempel SSM.

Arkiveringen kan göras i en väletablerad (kvalitetssäkrad) databas och/eller i form av pappersdokument. SSMFS 2011:2 kräver att data ska förvaras i minst 10 år efter det att friklassning skett. Det är viktigt att all dokumentation, både pappersdokumentation och elektronisk dokumentation, kvalitetssäkras och att redovisade mätdata hålls intakta, så att de inte ändras på något obehörigt sätt i databasen eller degenererar över tid, till exempel blir oläsbara eller oanvändbara i nyare datasystem.

10.3.5 Godkännande och friklassning

Förutsättningar

Sista steget i friklassningsprocessen ser olika ut beroende på vad som ska friklassas, det vill säga material/komponenter, byggnader eller mark, vilket också framgår av figur 10-1 ovan:

1. Beslut om friklassning av material och komponenter kan fattas internt av TH:s egen organisation. Då det handlar om stora mängder (>100 ton) ska kontrollprogrammet anmälas i förväg till SSM. Friklassning av mer än 1000 kg material om året ska rapporteras till SSM i samband med årsrapporten.
2. Beslut om annan användning (än verksamhet med joniserand strålning) av lokaler inom TH:s egen verksamhet får fattas av TH.
3. Beslut om friklassning av lokaler och byggnader som ska avyttras eller rivs fattas av SSM efter ansökan av TH.

4. Beslut om friklassning av mark fattas av SSM efter ansökan av TH. För mark gäller de friklassningsnivåer som beslutas av SSM i det enskilda fallet.

All dokumentation, mätprotokoll, modellberäkningar och rapporter sparas i TH:s dokumentationssystem. Se avsnitt 10.3.4 ovan.

Friklassning av material och komponenter samt beslut om annan användning av byggnader och lokaler

Som beslutsunderlag för friklassning av material och komponenter krävs en sammanställning av alla mätresultat, slutsatser och ett ställningstagande av en person med kompetenskrav motsvarande Utvärderare enligt bilaga 9 i friklassningshandboken (SKB 2011). Friklassningsbeslutet tas av en person med kompetenskrav motsvarande Godkännare enligt samma bilaga. Om den totala mängden av friklassat material överstiger 1000 kg per kalenderår rapporteras resultaten till SSM tillsammans med de årliga sammanställningsrapporterna.

Om den totala mängden av friklassat material överstiger 100 ton och om det för detta krävs ett separat kontrollprogram, kan rapporteringen ske i form av en separat friklassningsrapport där det, förutom sammanfattande mätresultat, även finns med en beskrivning av mätmetodik och utförda mätningar.

Granskning och godkännande av friklassningsrapporten utförs i följande steg:

- En dokumenterad sakgranskning av omfattning, resultat och innehåll i friklassningsrapporten i relation till de kontrollprogram som ligger till grund för denna, inkl. en värdering av de resultat och slutsatser som redovisas i rapporten. Sakgranskningen utförs av en person, som inte varit delaktig i framtagningen av friklassningsrapporten, och som har God Kunskap (GK) om ämnesområdet enligt kompetenskraven i avsnitt 10.4 nedan.
- Efter sakgranskningen godkänns friklassningsrapporten av en behörig person i chefsställning inom den enhet som tagit fram friklassningsrapporten, alternativt ansvarig projektledare för det berörda delprojektet.

Beslut om friklassning av material och komponenter fattas av en person i behörig ställning hos TH med God Kunskap om ämnesområdet enligt kompetenskraven i avsnitt 10.4 nedan. Se även avsnitt 9.1.2 (Kompetenskrav och utbildning) samt bilaga 9 i friklassningshandboken.

Samma procedur gäller även för byggnader och lokaler som i fortsättningen ska användas av TH för andra ändamål än verksamhet med joniserande strålning, samt temporär friklassning lokaler som ingår i byggnader som senare kommer att avyttras eller rivas efter särskilt friklassningsbeslut av SSM.

Friklassning av byggnader som ska avyttras eller rivas

Vid friklassning av byggnader som ska avyttras eller rivas krävs en separat rapport som beskriver byggnadens historik, val av friklassningsnivåer, mätmetoder, utförda mätningar, använda beräkningsmodeller, mätresultat, slutsatser och ett ställningstagande.

För att säkerställa omfattning och innehåll i rapporten kan till exempel granskning och godkännande av denna utföras enligt förslaget i följande steg:

- En dokumenterad sakgranskning av omfattning, resultat och innehåll i relation till det kontrollprogram som ligger till grund för rapporten och en värdering av de resultat och slutsatser som redovisas i denna. Sakgranskningen utförs av en person, som inte varit delaktig i framtagningen av rapporten och som har God Kunskap (GK) om ämnesområdet enligt kompetenskraven i avsnitt 10.4 nedan.
- Efter sakgranskningen sker en oberoende granskning av rapporten. Granskningen kan utföras antingen av en oberoende funktion inom TH:s egen organisation eller av en oberoende extern resurs med God Kunskap (GK) om ämnesområdet enligt kompetenskraven i avsnitt 10.4 nedan.
- Därefter godkänns rapporten av en behörig person i chefsställning inom den enhet hos TH som tagit fram den aktuella rapporten.

Den formella ansökan till SSM om friklassning av byggnader som ska avyttras eller rivas hanteras enligt de normala rutinerna för tillståndsansökan hos varje TH.

Friklassning av mark

Fastställande av friklassningsnivåer för mark

För mark gäller de friklassningsnivåer som beslutas av SSM i det enskilda fallet. Rent praktiskt innebär detta att SSM fattar beslut om tillämpliga friklassningsnivåer för marken på en specifik anläggningsplats, efter ansökan från berörd TH. För detta krävs det en rapport som beskriver markens historik och framtida användning med utgångspunkt från sannolika scenarier enligt vad som anges i kapitel 11.

För att säkerställa omfattning och innehåll i rapporten kan till exempel granskning och godkännande av denna utföras enligt förslaget i följande steg:

- En dokumenterad sakgranskning av omfattning, resultat och innehåll i rapporten samt en värdering av de resultat, slutsatser och ställningstaganden som redovisas i denna. Sakgranskningen utförs av en person, som inte varit delaktig i framtagningen av rapporten och som har God Kunskap (GK) om ämnesområdet enligt kompetenskraven i avsnitt 10.4 nedan.
- Efter sakgranskningen sker en oberoende granskning av rapporten. Granskningen kan utföras antingen av en oberoende funktion inom TH:s egen organisation eller av en oberoende extern resurs med God Kunskap (GK) om ämnesområdet enligt kompetenskraven i avsnitt 10.4 nedan.
- Därefter godkänns rapporten av en behörig person i chefsställning inom den enhet hos TH som tagit fram den aktuella rapporten.

Den formella ansökan till SSM om fastställande av friklassningsnivåer för marken hanteras enligt de normala rutinerna för tillståndsansökan hos varje TH.

Friklassningsbeslut för mark

Vid friklassning av mark krävs en separat rapport som beskriver markens historik, val av friklassningsnivåer, mätmetoder, utförda mätningar, använda beräkningsmodeller, mätresultat, slutsatser och ett ställningstagande.

För att säkerställa omfattning och innehåll i rapporten kan till exempel granskning och godkännande av denna utföras enligt förslaget i följande steg:

- En dokumenterad sakgranskning av omfattning, resultat och innehåll i relation till det kontrollprogram som ligger till grund för rapporten och en värdering av de resultat och slutsatser som redovisas i denna. Sakgranskningen utförs av en person, som inte varit delaktig i framtagningen av rapporten och som har God Kunskap (GK) om ämnesområdet enligt kompetenskraven i avsnitt 10.4 nedan.
- Efter sakgranskningen sker en oberoende granskning av rapporten. Granskningen kan utföras antingen av en oberoende funktion inom TH:s egen organisation eller av en oberoende extern resurs med God Kunskap (GK) om ämnesområdet enligt kompetenskraven i avsnitt 10.4 nedan.
- Därefter sakgranskningen godkänns rapporten av en behörig person i chefsställning inom den enhet hos TH som tagit fram den aktuella rapporten.

Den formella ansökan till SSM om friklassning av marken hanteras enligt de normala rutinerna för tillståndsansökan hos varje TH.

10.4 Personalresurser

Innan friklassningsverksamheten startas bör projektledningen säkerställa att det finns tillräckligt med personalresurser med för verksamheten adekvat utbildning och erfarenhet. Kompetensnivån på personalen ska minst motsvara de krav som ställs i SSMFS 2011:2 (SSM 2011), 17§. Om en underentreprenör anlitas, ska uppdragsgivaren försäkra sig om att underentreprenören har ett ledningssystem enligt ISO 9001:2008 (ISO 2008) och ISO 17025:2005 (ISO 2005) samt att de personalresurser som tillhandahålls motsvarar uppdragsgivarens krav på utbildning och kompetens. För externa företag gäller även kompetenskrav enligt relevanta delar i ISO 17025:2005 avsnitt 5.2.

De krav som ställs på personalen ska i detalj beskrivas i kontrollprogrammet för friklassning. Dessa krav baseras på kapitel 9 (Kompetenskrav och utbildning) i friklassningshandboken (SKB 2011), vilken specificerar följande tre roller:

Mäter:	Utför praktisk mätning baserat på instruktion från arbetsledning.
Utvärderar:	Utvärderar eller granskar mätresultat och tar ställning till om kompletterande kontroller behöver göras.
Godkänner:	Gör slutbedömning av friklassningsärendet. Ska ha god kunskap om verksamheten och verksamhetssystemet men det erfordras ej detaljkunskap i mätteknik.

För graderingen av kompetenskraven inom olika ämnesområden används följande nivåer:

Kännedom (Kä):	Innebär att man känner till ämnesområdet och vet var kompletterande information kan hämtas.
Kunskap (Ku):	Innebär att man har insikt om ämnesrådets funktion, uppbyggnad och tillämpning och vet var kompletterande information kan hämtas.
God kunskap (GK):	Innebär att man har insikt om ämnesområdet i hela dess omfattning och även kännedom om dess bakgrund och filosofi.

Bilaga 9 i friklassningshandboken innehåller även förslag till kompetensprofiler för de olika rollerna i friklassningsprocessen.

10.5 Sekundära processer

Alla mätinstrument som används för mätningarna ska med jämna intervall kalibreras mot certifierade standarder, kontrolleras och, om nödvändigt, justeras enligt gällande instruktioner. Instrumenten ska skyddas så att ingen obehörig person kan ändra inställningarna. Varje kalibreringstillfälle, kontroll och justering ska protokollföras och läggas in i utförarens dokumentsystem. Dessa rutiner ska vara införlivade i utförarens ledningssystem.

Standarden ISO 17025:2005 (ISO 2005) specificerar under avsnitt 5.5 de krav som ställs på användning av mätutrustning.

10.6 Analys och förbättringar

Enligt inledningen ovan ska tillämpningen av ledningssystemet, dess ändamålsenlighet och effektivitet undersökas systematiskt och periodiskt av en revisionsfunktion för analys och förbättringar av verksamheten. Detta innebär att alla i friklassningen ingående processer med jämna intervall analyseras med avseende på deras funktionalitet. Tidsintervallen för dessa analyser ska bestämmas och dokumenteras i ledningssystemet. Varje analys bör protokollföras och presenteras på kvalitetsmötena. Kvalitetsmötena bestämmer åtgärder om analyserna visar på avvikelser från kvalitetskraven och ger förslag på förbättringar av processerna. En utförlig sammanställning av krav och procedurer på korrigerings- och förbättringsåtgärder återfinns i ISO 9001:2008 (ISO 2008), kap 8 och ISO 17025:2005 (ISO 2005), avsnitt 4.11.

10.7 Övriga synpunkter

För ytterligare stöd utöver rekommendationerna i detta kapitel kan man i tillämpliga delar utnyttja den brittiska kärnkraftsindustrins Code of Practice, kap 4 (SDF 2005) samt Survey Manual, kap 4, (ORISE 2008), framtagen av Oak Ridge Institute for Science and Education. Innehållet i dessa båda rapporter utgår från utländska (brittiska och amerikanska) förhållanden, och har därför inte beaktats i detta kapitel. De kan ändå vara till nytta när TH utformar sitt kvalitetsledningssystem.

11 Härledning av friklassningsnivåer

11.1 Inledning

Generella friklassningsnivåer (friklassning för fri användning) har tagits fram genom scenarioanalys och beräkning av dos för valda scenarier. Enligt IAEA (IAEA 2007) är ett scenario *en postulerad eller antagen uppsättning av förhållanden och/eller händelser. Ett scenario kan representera förhållanden vid en given tidpunkt, enstaka händelse eller förändrade förhållanden med tiden och/eller en händelsekedja*. Valet av scenarier fokuserar på de människor som är mest exponerade för strålning, den kritiska gruppen. Vid härledning av friklassningsnivåer för fri användning har många olika scenarier analyserats och antaganden i scenarierna är pessimistiska för att inte underskatta dosen. Generella friklassningsnivåer är därför förhållandevis restriktiva.

Friklassning för specifika ändamål är ett alternativ till generell friklassning. Friklassning kan då göras efter tillståndsansökan där man med kunskap om materialet, plats och hantering demonstrerar att dosen till allmänheten är acceptabel. Detta kan göras med scenarioanalys och dos- och spridningsberäkningar på motsvarande sätt som för framtagning av generella friklassningsnivåer. Begränsningarna, som preciseras i villkor, leder till att färre scenarier är möjliga, färre exponeringsvägar behöver tas hänsyn till och pessimistiska generella antagande kan ersättas med mer realistiska värden och platsspecifika data. I figur 11-1 redovisas en schematisk bild över processen för villkorad friklassning.

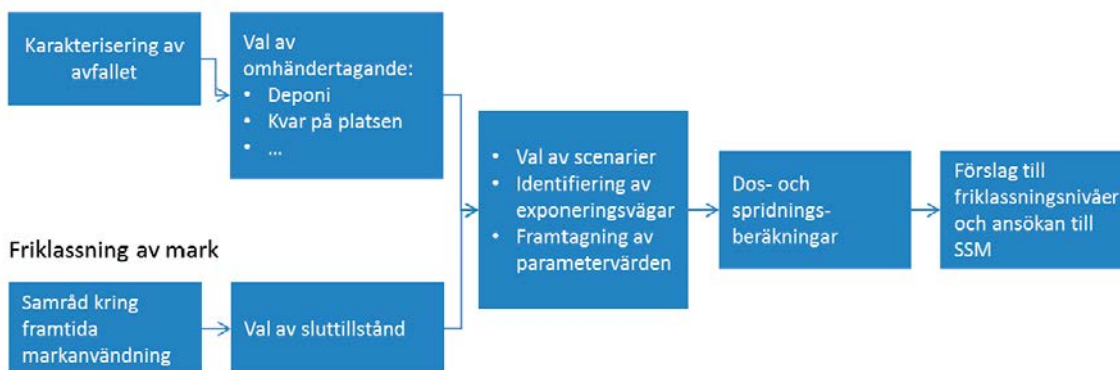
För att visa att beräknade doser för villkorad friklassning är trovärdiga behövs (NRC 2006):

- karakterisering av den radioaktiva källtermen,
- motiv för val och utformning av scenarier,
- redovisning för val av parametervärden,
- redovisning av matematisk modell eller kod som använts,
- analys av osäkerheter.

Osäkerheter finns i val och utformning av scenarier, modeller samt data varför alla dessa bör ingå i analysen av osäkerheter.

För mark gäller de friklassningsnivåer som beslutas av Strålsäkerhetsmyndigheten i det enskilda fallet (SSM 2011). Lämpligen görs ansökan om friklassning av mark med den metodik som beskrivits ovan. SSM arbetar för närvarande med att ta fram regler för friklassning av mark. Den bygger i tillämpliga delar på den metodik som Naturvårdsverket använder vid beräkning av riktvärden för ämnen i förorenad mark (Naturvårdsverket 2009), men anpassas till de speciella exponeringsvägar som gäller för radioaktiva ämnen.

Friklassning till specifika ändamål



Figur 11-1. Schematisk bild över processen för härledning av friklassningsnivåer.

Detta kapitel beskriver exponeringsvägar som tas hänsyn till i scenarier samt hur lämpliga scenarier och representativa data väljs som stöd för friklassning. Som bilaga till denna rapport (bilaga F) redovisas rivningen av sovringsverket i Ranstad som ett exempel på hur scenarioval, dos- och spridningsberäkningar använts som stöd för ansökan om villkorad friklassning av material (byggnadsmaterial, föremål och andra lösa material) för anläggningsarbeten på platsen och för deponering i deponi för farligt avfall.

11.2 Process för härledning av friklassningsnivåer

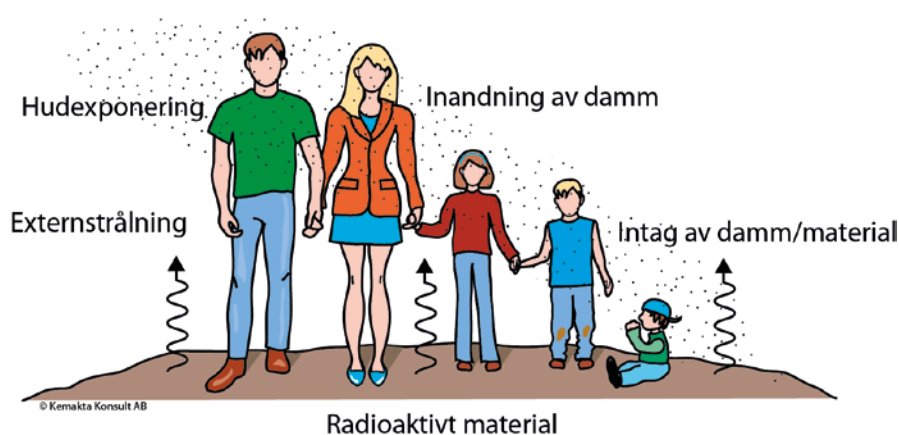
Processen för härledning av friklassningsnivåer (figur 11-1) kan startas oberoende av processen för friklassning. För material, byggnader och mark måste lämpliga bortskaffningsalternativ identifieras och hela hanteringen från och med friklassning måste beskrivas i detalj. För mark måste istället sluttillstånd och fortsatt markanvändning preciseras vilket kräver samråd med lokala intressenter som till exempel kommun och länsstyrelse. Efter detta inledande arbete följer villkorad friklassning och friklassning av mark samma process med val av scenarier och exponeringsvägar samt insamlande av platsspecifika data för de parametrar som ingår i dos- och spridningsberäkningarna. I detta skede måste också de kontaminerade materialets egenskaper ha bestämts, dock behöver inte friklassningsmätningarna ha slutförts.

I samband med friklassning kommer koncentrationen av radionuklider vara mycket låg, sannolikt långt under löslighetsgränsen. Således påverkar inte aktivitetsnivåerna de kemiska och fysikaliska processer som styr radionuklidtransporten. Av denna anledning behöver friklassningsmätning inte ha genomförts för att arbetet med härledning av friklassningsnivåer ska kunna genomföras. Dock måste man tidigt ha bestämt vilka radionuklider som behöver beaktas i dos- och spridningsberäkningarna. Om friklassningsmätningarna genomförs först efter det att friklassningsnivåerna har härletts kan det också visa sig att objektet inte kan (utan en omfattande dekontamineringsinsats) friklassas enligt de härledda friklassningsnivåerna. Ur ett kostnads- och effektivitetsperspektiv finns det därför anledning att ha en god bild av objektets kontaminationsgrad innan friklassningsnivåerna härleds.

Beslut om att tillämpa friklassningsnivåer för mark, eller andra friklassningsnivåer än de som anges i föreskrift, fattas av SSM. Ansökan om att få tillämpa härledda friklassningsnivåer kan skickas separat eller så kan resultaten från spridnings- och dosberäkningar skickas i samband med ansökan om att få friklassa en viss mängd material.

11.3 Metodik för spridnings- och dosberäkningar

Den kritiska gruppen i ett scenario exponeras via en eller fler specificerade exponeringsvägar som bedömts vara betydelsefulla. En överblick av vanliga exponeringsvägar visas i figur 11-2. Några betydelsefulla exponeringsvägar kan även uppstå efter spridning av material eller radionuklider från den ursprungliga platsen för det radioaktiva materialet. I detta avsnitt presenteras därför metodiken för att beräkna dosen via olika exponeringsvägar samt olika spridningsvägar.



Figur 11-2. Exempel på exponering som kan uppkomma från radioaktivt material, i detta fall mark (med tillstånd från Kemakta Konsult AB).

11.3.1 Översiktlig beskrivning av metodik för dosberäkningar

Externexponering

Gammastrålning och andra fotoner som avges från radionuklider ger upphov till en extern exponering av individer som befinner sig i omgivningen av en radioaktiv källa. Storleken på externexponeringen från en viss källa beror på ett antal faktorer såsom:

- källans storlek, form och densitet,
- radionuklider, aktivitet, fotonenergi,
- aktivitetsfördelning i materialet,
- avstånd till den exponerade individen,
- förekomst av skärmning,
- exponeringstiden.

Källans storlek och form påverkar strålningsfältet i omgivningen och därmed hur doshastigheten ändras med avståndet från källan. Avståndet spelar en viktig roll eftersom strålningen och intensiteten blir mindre med avståndet. En användbar analogi är värmen från en eld som också minskar med avståndet. En stor eld ger värme på ett större avstånd än en liten eld, på samma sätt är strålningsfält på ett givet avstånd starkare om källan har större dimensioner.

Skärmning mellan ett radioaktivt material och människa kan minska exponering genom strålningsabsorption. Strålningsenergi förloras även genom växelverkan med själva materialet och detta påverkas av källans form och densitet. Fördelningen av aktiviteten är betydelsefull, ett material med en yttlig kontaminering avger mer strålning än ett material som har en homogen aktivitetsfördelning. Dessutom spelar exponeringstiden en stor roll eftersom dosraten multipliceras med tiden för att beräkna dosen.

Effekten av källans storlek, form och densitet inkluderas i de exponeringsfaktorer som tagits fram för extern exponering. Dessa kan vara radionuklidspecifika, Sv/h per Bq/kg för en given radionuklid eller relatera till en medelfotonenergi, Sv/h per Bq/kg och MeV som avges per sönderfall för att enklare väga samman exponeringen när materialet innehåller många radionuklider. Ofta inkluderas även effekten av självskärmning genom förenklade antaganden om hur aktiviteten fördelar sig i materialet.

Hudexponering

Många radionuklider avger β -strålning. Denna typ av strålning har kort räckvidd i luft, men om damm innehållande β -strålande radionuklider ansamlas på huden kan det ge upphov till en exponering av huden. Den effektiva dosen beror på:

- hur mycket damm som finns på huden,
- aktiviteten i dammet,
- hur stor hudyta som är täckt av damm,
- en radionuklidspecifik huddosfaktor.

Internexponering

Radionuklider kan komma in i kroppen via intag av mat eller dricksvatten som förorenats samt genom oavsiktligt intag av partiklar och jord. Inandning av radioaktiva gaser, aerosoler och mindre partiklar medför att radionuklider hamnar i lungorna. Påverkan av olika radionuklider i kroppen beror på:

- strålslag (α , β , γ),
- energin från strålningen,
- radiokänslighet av den exponerade kroppsdelens,
- ämnets biokemi.

Biokemin är viktig eftersom den kontrollerar hur ämnet förs genom kroppen och uppehållstiden i olika kroppsdelar. Den exponerade personens ålder spelar också en roll eftersom känsligheten för strålning avtar med stigande ålder. Med hänsyn till detta har det för olika radionuklider tagits fram specifika doskoefficienter (in-teknad effektiv dos) för intag och inandning som är givna i Sv/Bq för olika åldersgrupper (ICRP 2012). Separata doskoefficienter finns för intag via munnen respektive inandning. För huvuddelen av radionukliderna ges flera värden på doskoefficienterna beroende på hur snabbt olika kemiska former av en radionuklid omsätts i kroppen.

11.3.2 Spridning av radionuklider

För de scenarier där en påverkan på omgivningen ingår krävs att en beräkning görs av vilka halter som kan uppkomma i vatten, luft samt olika delar av näringskedjan (även ackumulering av radionuklider ska beaktas). I de scenarier som används för friklassning ingår oftast:

- spridning med vatten,
- spridning av damm,
- spridning i näringskedjor.

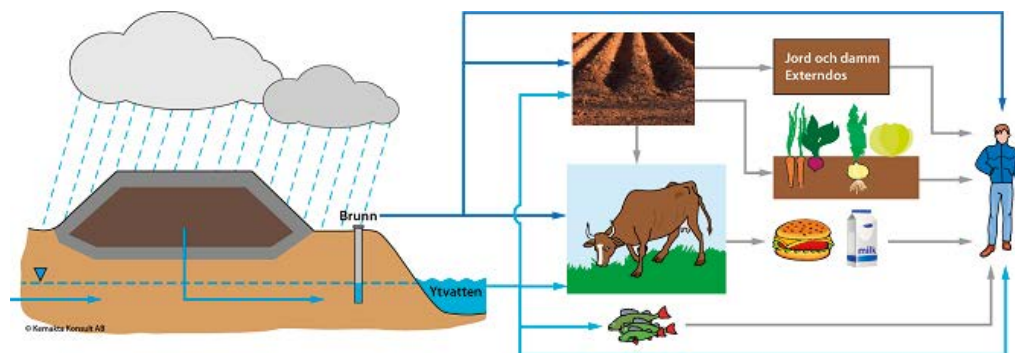
Figur 11-3 visar exempel på spridnings- och exponeringsvägar som kan ingå för fallet med en deponi innehållande radioaktivt material.

Spridning med vatten

Radionuklider i mark eller deponerat material kan spridas när vatten passerar genom materialet och radionuklider lakas ut. Lakningen av radioaktiva ämnen beror både på materialets och radionuklidens egenskaper (se vidare avsnitt 11.5.4). Radionuklider som frigjorts transporteras nedåt till grundvattnet och kan där transporteras vidare till en vattenrecipient, exempelvis en brunn, ett vattendrag eller en sjö. Transporten i grundvattnet kan ske med mycket olika hastighet och beror på genomsläpplighet, vattenflöde, dispersion på grund av att transporthastigheten skiljer sig mellan olika flödesvägar i grundvattenzonen. Vidare påverkas transporthastigheten kraftigt av fastläggning (sorption) av radionuklider på det fasta materialet i grundvattenzonen.

Radioaktivt sönderfall har en stor betydelse för radionuklider med en halveringstid som är kortare än transporttiden i grundvattenzonen. Speciell hänsyn måste tas till nuklider i sönderfallskedjor eftersom de vid sönderfall omvandlas till nya ämnen med andra transportegenskaper och halveringstider, vilket under vissa omständigheter kan leda till en förhöjd koncentration av dotternuklider.

Transporten av radionuklider till en vattenrecipient är tidsberoende och kan beskrivas med en advektions-dispersionsekvation som beaktar fastläggningen av de olika radionukliderna, sönderfall samt även inväxt för fallet med sönderfallskedjor. Ekvationen använder parametrar som beskriver grundvattenzonens egenskaper: densitet, porositet, dispersionskoefficient, avstånd längs med transportsträckan till vattenrecipient och vattenhastighet. Fastläggningen av radionuklider till det fasta materialet beskrivs ofta genom att anta en lokal jämvikt. För detta används ämnesspecifika K_d -värden (K_d = koncentration i fast materialet/koncentration i vattnet).



Figur 11-3. Exempel på spridnings- och exponeringsvägar från en deponi (med tillstånd från Kemakta Konsult AB).

Både utlakning och sönderfall leder till en minskad aktivitet i källan med tiden. Däremot kan inväxt av döttrar göra att aktiviteten för vissa nuklider ökar med tiden. Tidsberoende beräkningar för källan måste ta hänsyn till detta.

Spridning med damm

Förorenat damm kan spridas i atmosfären och ge upphov till dos i omgivningen. Genom omblandning i atmosfären sjunker dammhalten med avståndet från källan. Platsspecifika meteorologiska parametrar kan användas för att beräkna utspädningen, men oftast används uppskattade generella utspädningsfaktorer. Enligt IAEA (IAEA 2005) antas att 1 % av dammet i luften i närheten av en deponi eller anläggning består av förorenat material.

Spridning i näringskedjan

Radionukliderna i en vattenrecipient kan medföra exponering av människor som använder vattnet till dricksvatten, till boskap eller för att bevattna jord för matproduktion. Transportvägar och överföring i näringskedjan till människor illustreras i figur 11-3. Om radionukliderna kommer till en sjö eller annan ytvattenrecipient kan även fiskkonsumtion medföra exponering av människor. Spridning i näringskedjan kan beräknas med hjälp av generella överföringsfaktorer. En mer detaljerad ekosystemsmodell brukar inte behövas på grund av stora osäkerheter associerade med framtidsscenarioer.

11.4 Scenarier

När friklassningsnivåer härleds ska det säkerställas att det friklassade materialet inte utgör mer än en trivial risk för människor, vare sig nu eller i framtiden. Generella friklassningsnivåer har tagits fram genom scenarioanalys, med scenarier som beskriver olika exponeringssituationer och som innehåller en rad förutsättningar inklusive beteende och vanor hos de mest exponerade människorna. Dessa scenarier kan gälla till exempel arbetsplatser, boende, jordbruk eller fritidsområde och innehåller ett antal förenklade exponeringsvägar. De syftar till att inte underskatta doser som skulle kunna uppkomma i ett verkligt fall.

De pessimistiska antagandena om förutsättningarna som görs i dessa scenarier leder till restriktiva friklassningsnivåer. Vidare finns det många olika tänkbara scenarier där exponering av människor kan uppkomma och generella friklassningsnivåer styrs av det scenario som ger högsta dosen. Eftersom villkorad friklassning gäller för en given plats och en given hantering är det möjligt att begränsa vilka exponeringsscenarioer som är relevanta. Dessutom finns ofta platsspecifik information tillgänglig som kan användas i dosberäkningarna. Detta kan möjliggöra friklassning av material med högre aktivitetskoncentrationer utan att risken ökar.

Det finns scenarier som beskriver exponering till följd av utsläpp av radionuklider från kärntekniska anläggningarna vid normal drift. Studsvik EcoSafes projekt inriktades på förbättringar inom områdena spridning i luft och vatten, exponeringsvägar samt områdesbeskrivningar och kritisk grupp för bland annat Barsebäcksverket och Oskarshamnsverket (Studsvik 2002a, b). Det finns gemensamma aspekter med villkorad friklassning, men även saker som skiljer sig. Informationen för platsen är till stora delar lika även om scenarierna för normal drift gäller främst för nutid och för villkorad friklassning behöver framtiden beaktas i större utsträckning. Utsläppet från en kärnteknisk anläggning vid normal drift sker till luft och ytvattenrecipient, medan källan vid villkorad friklassning är förorenat fast material. Därför kommer både kritisk grupp och exponeringsvägar att skilja sig.

I detta avsnitt beskrivs Naturvårdsverkets modell för riktvärden i förorenad mark och internationellt framtagna scenarier som ger en bra utgångspunkt i val av plats- och villkorspecifika scenarier. Vidare beskrivs tänkande bakom val av scenarier och hur man kan säkerställa att valda scenarier uppfyller sitt syfte.

11.4.1 Naturvårdsverket modell för riktvärden i förorenad mark

I Naturvårdsverkets modell för riktvärden i förorenad mark (Naturvårdsverket 2009), som också är en utgångspunkt för SSM, används två scenarier som beror av markens användning, känslig markanvändning (KM) som motsvarar bostäder, daghem, skolor, lekplats samt mindre känslig markanvändning

(MKM) som motsvarar handelsområden, industrier, vägar eller järnvägar. För känslig markanvändning räknas med 6 olika exponeringsvägar som tar hänsyn till direkt exponering för den förorenade jorden genom intag via munnen, hudkontakt och inandning av damm samt en indirekt exponering via inandning av ångor och konsumtion av växter och grundvatten som förorenats. För mindre känslig markanvändning används bara 4 av exponeringsvägarna intag via munnen, hudkontakt, inandning av damm och ångor. För båda scenarierna antas att alla relevanta exponeringsvägar förekommer samtidigt och riktvärdena beräknas utifrån den sammanlagda exponeringen.

11.4.2 Internationellt framtagna scenarier

Det finns en etablerad metodik för att beräkna dos till en kritisk, eller mest exponerad, grupp för olika exponeringsvägar och dessa har kombinerats i många olika scenarier i olika studier. Beskrivningar finns av scenarier som används i härledningen av generella friklassningsnivåer (t ex EC 2000b, IAEA 2005), friklassningsnivåer för byggnader och byggnadsmaterial (EC 1999, 2000a) och friklassning av rivningsavfall och mark från avveckling av kärntekniska anläggningar (NRC 1992, 1998). Tillåten maximal dos till kritisk grupp är högre i USA, 250 $\mu\text{Sv}/\text{år}$ (på delstatsnivå kan dock lägre gränsvärde förekomma), än i Europa, storleksordningen 10 $\mu\text{Sv}/\text{år}$ (EU 2013). Doser på grund av radoninandning betraktas vanligen separat, till exempel genom kontroll av att haltgränser av radon i luft inte överskrids.

De europeiska Basic Safety Standards (EU 2013) tillämpar generella friklassningsnivåer som härleds av IAEA (IAEA 2005). IAEA:s rapport är därför en särskilt viktig internationell *guideline*. I den studien användes åtta sannolika scenerier som är givna i tabell 11-1 och deras exponeringsvägar summeras i tabell 11-2.

Dosgränserna som tillämpades var ungefär 10 $\mu\text{Sv}/\text{år}$ (den triviala dosnivån för kärntekniska anläggningar) för realistiska förutsättningar. Mindre sannolika förutsättningar beaktades också och jämfördes mot lägre krav, 1 $\text{mSv}/\text{år}$. Scenariot ”RH – Byggmaterial i bostadshus” kan användas som exempel för att beskriva hur ett generellt scenario med extern exponering kan utformas. Individens anses vara i bostaden 4500 (realistisk) eller 8700 (låg sannolikhet) timmar per år och bostaden är ett $3 \times 4 \times 2,5$ m rum. Byggmaterialet anses ha en densitet på 1500 kg/m^3 , en tjocklek på 20 cm och byggmaterialet i tak och två väggar består till 10 % av det radioaktiva materialet.

Tabell 11-1 Scenarier som används som stöd för europeiska generella friklassningsnivåer (IAEA 2005). (Varje scenario har getts ett svenskt namn för att förenkla för läsaren.)

Scenario	Kort beskrivning
WL – Deponiarbetare	En arbetare exponeras för förorenat material i en deponi.
WF – Gjuteriarbetare	En arbetare exponeras i ett gjuteri där radioaktivt förorenad metall smälts.
WO – Transportarbetare	En arbetare (till exempel lastbilschaufför) jobbar regelbundet med förorenat material.
RL – Närboende	Individer som bor i närheten av en deponi eller anläggning och som exponeras via damm. De äter även mat som odlats i trädgården. Både vuxna och barn tas hänsyn till.
RF – Barn vid gjuteri	Barn som bor i närheten av ett gjuteri och som exponeras av damm.
RH – Byggmaterial i bostadshus	Återvinning av förorenat byggnadsmaterial. Exponering av individer som bor i hus byggt av detta material.
RP – Offentlig plats	Återvinning av förorenat material för att täcka offentliga platser. Exponering av individer genom extern exponering, inandning av damm och intag av jord/damm, t ex lekande barn.
RW – Spridning till allmänheten	Spridning av förorening via grundvatten till en brunn och möjligtvis ett vattendrag. Exponering av individer som dricker vattnet, använder det i odling och möjligen äter fisk.

Tabell 11-2. Exponeringsvägar tillämpade i IAEA (2005).

Scenario	Extern exponering	Inandning damm	Intag jord/damm	Dricks-vatten	Intag av odlad mat	Intag av fisk
WL – Deponiarbetare	X	X	X			
WF – Gjuteriarbetare	X	X	X			
WO – Transportarbetare	X					
RL – Närboende		X			X	
RF – Barn vid gjuteri		X				
RH – Byggmaterial i bostadshus	X					
RP – Offentlig plats	X	X	X			
RW – Spridning till allmänheten				X	X	X

Europeiska kommissionen (EC 2000b) valde inget scenario med exponeringsvägar till följd av spridning via vatten för att utvärdera generella friklassningsnivåer eftersom det ansågs vara svårt att definiera något generellt fall utan att vara för pessimistisk. Dessa exponeringsvägar bör dock ingå i scenarier för villkorad friklassning.

I de internationella dokumenten finns det generellt fler exempel på scenarier gällande friklassning av material och byggnader än för friklassning av mark, men många av dessa scenarier är ändå relevanta för mark.

11.4.3 Val av scenarier

Scenarier för villkorad friklassning behöver övervägas från fall till fall och förväntas ta hänsyn till möjlig exponering av allmänheten och arbetare under förutsättning att de specificerade villkoren uppfyllts. Det finns många frågor att överväga när scenarier väljs och definieras och i tabell 11-3 ges en sammanställning av tänkbara frågor.

Tabell 11-3. Typ av frågor att tänka på vid val av scenarier för villkorad friklassning.

Vad är det framtida användningsområdet för materialet/marken?
Hur kommer människor att vistas på området? Vilka verksamheter eller aktiviteter kan förekomma?
Hur länge kan människor som längst tänkas vistas på området? Hur kan olika verksamheter eller aktiviteter leda till kontakt med radioaktivt material?
Vilka värden på exponeringsparametrarna (tider, konsumtion av egenodlade växter, djur) är realistiska?
Kan markanvändningen komma att ändras?
Vilka alternativa markanvändningar är tänkbara? Kan dessa leda till högre dos? Vad är sannolikheten för dessa användningar?
Kan material komma att flyttas från platsen för annan användning? Är det sannolikt att den användningen leder till högre dos?
Vilken åldersgrupp kommer att bli mest exponerad?
Vilket scenario skulle kunna leda till den allra högsta dosen? Är detta scenario alls realistiskt?
Hur skulle ett scenario med låg sannolikhet och som ger upphov till hög dos, men som inte är orimligt, kunna se ut?

En bra början är att betrakta scenarier för generell friklassning som finns i internationella dokument (t ex EC 1999, 2000b, IAEA 2005, NRC 1992, 1998, 2006, se även avsnitt 11.4.2). Dessa scenarier har tagits fram av tekniska expertgrupper och de ger därför bra bakgrundsinformation om lämpligt, fast generellt, val och definition av scenarier samt stöd för rimliga antaganden. När det gäller villkorad friklassning finns det ytterligare information (eller möjlighet att ta fram information) om en given plats och/eller specifika friklassningsvillkor som även bör ingå vid framtagningen av scenarierna. I en del fall kan de generella friklassningsscenarierna anpassas till förhållandena, situationen och trolig framtida markanvändning. I andra fall kan andra exponeringsvägar och scenarier vara mer relevanta.

Scenarier behöver väljas för analys av möjliga exponeringsvägar både direkt efter friklassning och i framtiden, på plats och efter spridning av material eller radionuklider (avsnitt 11.5.4). Scenarierna täcker till exempel in återanvändning, återvinning eller deponering, beroende på det ansökta tillståndet. Valet av scenarier kräver ofta en viss insikt i framtida förändringar i markanvändning och hur dessa kan påverka exponeringsvägarna.

När flera alternativa, men ändå sannolika, scenarier identifierats behöver dock inte alla utredas med detaljerade dosberäkningar utan bara de som är mest begränsande (resulterar i högst dos). Bedömningen av vilka scenarier som är begränsande kan göras utifrån tidigare erfarenheter och överslagsberäkningar. Vilka som är de mest begränsande scenarierna beror på de dosrelaterade aktiviteterna/sysselsättningarna som kan ske på platsen i de olika alternativa scenarierna och i vilken omfattning som människor ägnar sig åt dessa aktiviteter/sysselsättningar. Vissa exponeringsvägar är starkt tidsberoende (externdos och interndos på grund av inandning av damm, intag av jord) och andra beror på konsumtionsvanor (till exempel interndos från konsumtion av förorenade grönsaker). Utspädning, djupfördelning och täckning av materialet kan också variera mellan olika scenarier och påverkar därmed dosen.

Jordbruk eller självförsörjning i ett förorenat område är ofta mest begränsande på grund av lång exponeringstid, matproduktion och förekomst av brunnar på något avstånd från det förorenade materialet. NRC (NRC 2006) konstaterar att ett jordbruksscenario är begränsande jämfört med ett boendescenario, men för svenska förhållanden är dessa två scenarier mer lika på grund av större möjlighet till självförsörjning. Således behöver det scenario som passar den aktuella platsen och förhållandena identifieras.

Förenklningar i dosberäkningar inom scenarier behöver också motiveras på grund av begränsade exponeringsvägar. Till exempel bedömde Europeiska kommissionen (EC 2000b) att dosen från intag av jord är högre än dosen från grönsaker och betraktade därför inte dosen från grönsaker. I scenarier med spridning av vatten till ett område på avstånd från det ursprungliga materialet är vattenkonsumtion ofta den viktigaste exponeringsvägen eftersom den är mest direkt, men biologisk ackumulering av några isotoper kan även leda till hög exponering från till exempel intag av fisk.

Ålder spelar en roll för både vanor och känslighet för strålning, och bör övervägas vid val av kritisk grupp i scenarier. Det finns regionala skillnader i vanor (se avsnitt 11.5.5), i USA till exempel är de vuxnas konsumtion högst av all mat utom mjölk och därför brukar de vara mest exponerade i konsumtionsscenarioer (NRC 2006). Data för Sverige visar att tonåringar äter mest (Karlsson och Aquilonius 2001) vilket tillsammans med deras lägre kroppsvikt och högre strålkänslighet jämfört med vuxna gör att de ofta är de mest exponerade i konsumtionsscenarioer.

11.4.4 Säkerställande av valda scenarier

De valda scenarierna måste ge en komplett bild av begränsande, representativa spridningsförlopp och exponeringsvägar. Enligt erfarenheter från tidigare ärenden vill SSM se motiv till valda scenarier, till exempel att de utgår från både publicerade exempel och platsspecifik information. Samstämmighet gällande både scenarier och tillämpade värden (se avsnitt 11.5) med tidigare utredningar kommer att göra det lättare för SSM att bedöma resultaten, medan platsspecifik information och överväganden visar på en bra förståelse för situationen och hur den sannolikt kan utvecklas. Information från kommunen, länsstyrelsen och staten om deras planer och framtidsvisioner för området bör inkluderas för att säkerställa tilltron till valda framtidsscenarioer.

11.5 Databehov för spridnings- och dosberäkningar

Spridnings- och dosberäkningar kräver lämpliga data för att leverera pålitliga resultat, och databehovet kan vara stort, som visas i tabell 11-4. I alla scenarier ska data väljas med rimlig försiktighet och anpassas till de valda scenarierna, plats och markanvändningen. Karakterisering av material och platsspecifika förhållanden behövs ofta för att realistiska spridningsberäkningar ska kunna utföras och det kan även minska pessimismen i andra dosberäkningsparametrar. I detta avsnitt görs en genomgång av var data kan hittas, hur de mäts eller undersöks samt hantering av osäkerheter i data.

Tabell 11-4. Databehov för spridnings- och dosberäkningar

Typ av data	Databehov
Information om materialet och radionuklider	Grundläggande data Materialsammansättning, nuklidspecifik aktivitet, avfallsvikt med mera. Radionuklidens gammaenergi och dosfaktorer för intag och inandning.
	Scenariopåverkade egenskaper Utspänningsfaktorer och djupfördelning av det friklassade materialet. Materialets skärmande förmåga i dess friklassade form. Dambildningsegenskaper.
	Lakegenskaper Lakning av radionuklider.
Extern exponering	Exponeringstider. Exponeringsgeometri och skärmning.
Direkt intern exponering	Exponeringstider. Dammhalter och andningshastighet. Oralt intagen mängd.
Spridning av radionuklider	Meteorologiska data (nederbörd, evapotranspiration ¹ , avrinning). Data som beskriver transportvägar för vatten. Data som beskriver fördröjningen av transport av radionuklider (K_d -värden). Utspädning i brunnar eller ytvatten (sjöar och vattendrag).
Spridning i näringskedjan	Mängd vatten för bevattning av egen odling eller jordbruk. Konsumtion av vatten. Överföringsfaktorer för radionuklider från vatten och jord till föda enligt figur 12-3. Konsumtion av olika typer av mat (grödor och djurprodukter). Överföringsfaktorer för radionuklider från vatten till fisk. Konsumtion av fisk.

¹ Evapotranspiration är summan av avdunstning och växternas transpiration.

11.5.1 Information om materialet och radionuklider

Grundläggande data

Karakterisering av materialsammansättning, nuklidspecifik aktivitetskoncentration, avfallsvikt med mera tas fram i samband med friklassning, se kapitel 4 och 7. Grundläggande data rörande radionuklidernas gammaenergi och dosfaktorer (se avsnitt 11.3.1) är tillgängliga i rapporter. Till exempel publicerar IAEA dosfaktorer i deras *Basic Safety Standards* (senast tillgängliga IAEA 2014a).

Scenariopåverkade egenskaper

Materialegenskaperna kan påverkas mycket till följd av hanteringen som resultat av friklassningsprocessen eller antaganden i scenariot. Ett exempel är inblandning av kalk som kan göras för att höja pH-värdet, vilket medför minskad utlakning av många ämnen. Blandning eller utspädning med andra material påverkar radionuklidkoncentrationen och materialets fysiska egenskaper kan också påverkas. Detta medför att en utspänningsfaktor behöver uppskattas och att uppmärksamhet behövs vid val av andra parametrar gällande materialegenskaper. Djupfördelningen av det radioaktiva materialet i mark eller en deponi påverkar också alla exponeringsvägar via fysisk barriär för det radioaktiva materialet, skärmning av strålningen eller närheten till rotzonen samt grundvattenzonen. Allmän information behövs också om materialets skärmande förmåga, eftersom självabsorption av strålning minskar exponeringen.

Gällande damm behöver man bedöma materialets förmåga att bilda damm och sannolikt bidrag till den totala dammhalten antingen i ett visst område eller vid ett visst arbetsmoment. Här är det också viktigt att bedöma hur radionuklidkoncentrationer kan variera mellan själva materialet och dammet, till exempel när bulk- och ytakoncentrationer inte är lika, eller när flera material bidrar till den totala dammhalten. Koncentrationen av radionuklider kan även variera med partikelstorleken (IAEA 2005).

Lakegenskaper

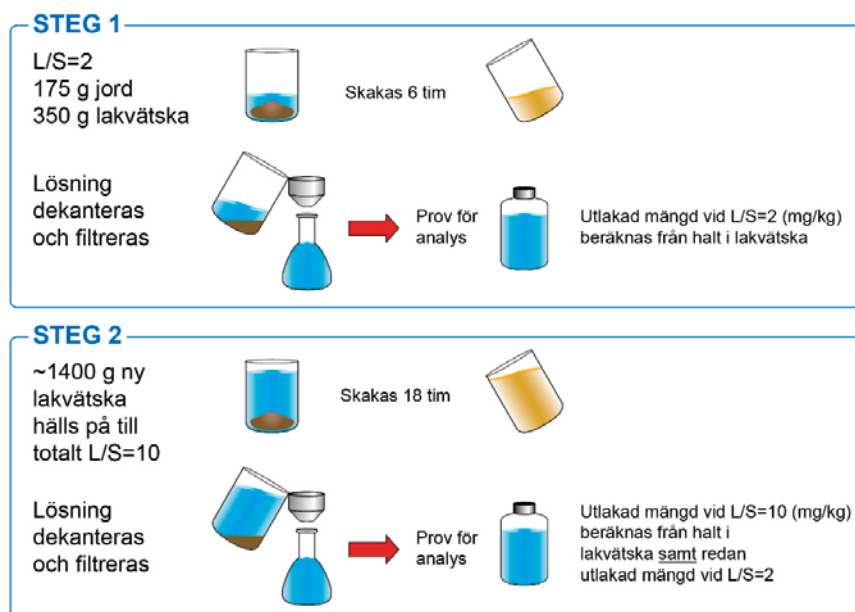
För scenarier där spridning av radionuklider med vatten ingår behövs data som beskriver materialens benägenhet att frigöra radionuklider vid kontakt med vatten, vilket brukar betecknas lakbarhet. En låg lakbarhet innebär att radionukliderna sitter hårt bundna till avfallsmaterialet och att överföringen av radionukliderna till vattnet därför är begränsad. Eftersom lakbarhet varierar mycket med både ämne och kemiska förhållanden behöver ofta laktester genomföras. Lakbarheten mäts vanligen på siktat eller krossat material (<4 mm) i tvåstegs skaktest enligt standard SS-EN 12457-3 (SIS 2003) (figur 11-4).

Det är viktigt att göra en bedömning av vilka analysgränser som kan krävas för att detektera de utlakade radionukliderna i materialet. I de flesta fall är det i storleksordningen enstaka procent av innehållet i det fasta materialet som lakar ut i ett lakförsök. Olika typer av analysmetoder kan användas, spektrometriska, kemiska och isotopanalyser. För svärmätbara radionuklider kan man ibland använda resultat för andra isotoper av ämnet eller för kemiskt liknande ämnen.

Avfall i en deponi kan vara en blandning av diverse olika material och substanser och har mycket heterogena kemiska och fysiska egenskaper. Olika avfallstyper kan därför förväntas ha olika lakegenskaper. Utlakningen av radionuklider från det radioaktiva avfallet bestäms, förutom av det aktuella avfallets egenskaper, också av omgivningen. Det är väldigt viktigt att proven som analyseras är representativa för både materialet och blandningen som kommer att vara på deponin.

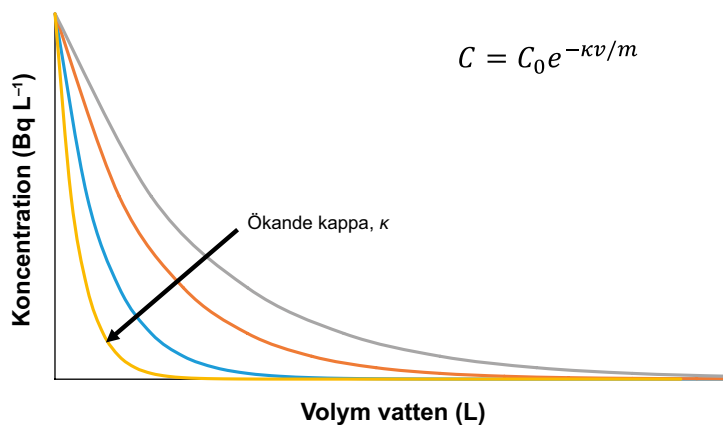
Resultaten från tvåstegslakning kan ofta representeras med antagandet av exponentiell frigörelse av radionuklider från materialet. Detta innebär att koncentrationen i lakvattnet avtar exponentiellt med vattenvolymen/tiden enligt figur 11-5. Formen på kurvan styrs av parametern kapp. Ett högt värde på kapp innebär en snabb utlakning, medan ett lågt kapp-värde innebär en mer konstant utlakning. All aktivitet i ett material är inte lakbar och resultaten från laktester möjliggör även en uppskattning av hur stor andel av radionuklidaktiviteten som kan lakas ut. Uppmärksamhet behövs även för hur avfallets egenskaper kan förändras med tiden, eftersom en ändring av t ex materialets förmåga till pH-buffring kan påverka lakbarheten. Skaktester kan därför kompletteras med pH-statiska lakförsök⁵ för att få information om hur materialet uppträder vid olika pH-värden och materialets buffringförmåga.

Mer information om haltutveckling kan fås från perkolationstester (kolonnstester) enligt standard SS-CEN/TS 14405 (SIS 2004). Här mäts laklösningen som flödat genom en kolonn packad med torkat granulärt material vid olika L/S-kvoter, ofta L/S = 0,1; 2 och 10. Detta test tar längre tid, typiskt några veckor och är väsentligt dyrare än skaktester.



Figur 11-4. Beskrivning av tvåstegslakning (L/S = 2 och 10).

⁵ Vid pH-statiska lakförsök lakas materialet vid ett pH som hålls konstant genom tillsats av bas eller syra. Ofta sker analysen vid pH 4, 6, 8 och 10 samt vid materialets naturliga pH.



Figur 11-5. Lakvattenkoncentration som funktion av vattenvolym som har lakat materialet för olika exponentiellt avtagande lakhastigheter.

11.5.2 Extern exponering

Exponeringstid, -geometri och skärmning definieras i varje scenario och de internationella dokument som stöder val av scenarier (avsnitt 11.4.3) kan också ge stöd till val av lämpliga data.

11.5.3 Intern exponering

Beräkning av interndos baseras på inandning av damm och intag av damm, jord eller partiklar. Data behövs därför på dammhalt i luften och andningshastigheter samt oralt intagen mängd damm, jord eller partiklar. Dammhalten varierar mycket med miljö, från vardagssituationer med låg dammhalt till dammig arbetsmiljö till exempel krossning vid rivning av byggnader. Enligt Arbetsmiljöverket (AFS 2011:18) är maximalt tillåten respirabel dammhalt för arbetsmiljö 5 mg/m³, även om detta ofta överstigs vid rivningsarbete (Karlsson och Christensson 2008). Effekten av att använda mask eller filter i arbetsmaskiner varierar mycket (Fjällström et al. 2009) och utifrån rapporterade mätningar kan man välja en generell reduktionsfaktor på 20 vid användning av mask. IAEA tillämpade en dammhalt på 0,5 mg/m³ i arbetsmiljö och 0,1 mg/m³ för allmänna platser samt en andningshastighet för en vuxen person på 1,2 m³/h (IAEA 2005).

11.5.4 Spridning av radionuklider

För att beräkna spridningen av radionuklider och doserna som uppstår från användning av vatten från en förorenad vattenkälla behöver man data för varje steg av analysen (se avsnitt 11.3.2).

Det första steget är att beräkna utlakning av radionuklider, vilket baseras på lakbarhetsdata som beskrevs i avsnitt 11.5.1. Utlakningen beror även på vattenflödet genom det förorenade materialet och därför behövs meteorologiska data för att välja representativa parametervärden på nederbörd, evapotranspiration och avrinning i det förorenade området. Data är tillgängliga från allmänna datakällor, t ex SMHI, myndigheter och platsspecifika utredningar. Om den villkorade friklassningen ska gälla för deponering är det möjligt att uppgifter finns om deponins infiltration, särskilt om det är en befintlig deponi som har en klassificering.

Efter att radionukliderna har börjat lakas beror spridningen på vattnets transportväg. Om hydrogeologiska data inte redan finns för området bör platsspecifika undersökningar genomföras, inklusive:

- platsspecifik geologi (jordarter, berggrund, genomsläpplighet och porositet),
- hydrologi (läge relativt förorenad mark/deponin; grundvattenzonens djup och utsträckning, vattenflöde),
- vattenrecipienter i närheten och en trolig plats för en brunn behöver identifieras.

De hydrogeologiska förhållandena bestämmer också utspädningen i brunnen eller ytvattnet (sjöar och vattendrag) dit radionukliderna transporteras. Läget för en sannolik framtida eller befintlig brunn måste ta hänsyn till att vattnet ska vara drickbart, varför det även bör tas hänsyn till hur det friklassade materialet kan påverka vattenkvaliteten gällande andra aspekter (pH, lösta ämnen, tungmetaller osv).

Med kunskap om grundvattenzonens fasta material och helst även vattenkemin kan man välja representativa K_d -värden som beskriver fördröjningen av transporten av enskilda ämnen och radionuklider. K_d -värden kan anpassas efter platsspecifika förhållanden, till exempel pH, geokemiska redoxförhållanden eller höga koncentrationer av komplexbildande ämnen i vattnet. Ju mer kunskap om grundvattenzonens fasta material och vattenkemin desto bättre underlag finns för att välja representativa K_d -värden. I avsaknad av platsspecifika data kan generella, pessimistiska K_d -värden användas. Det är även möjligt att mäta platsspecifika K_d -värden, men detta kräver omfattande undersökningar och analyser.

11.5.5 Spridning i näringskedjan

Spridningen i näringskedjan börjar med antingen radioaktiv mark (på den ursprungliga platsen eller i en deponi) eller radioaktivt vatten i brunn eller ytvattenrecipient (efter spridning med vatten). I det första fallet är det utspädning med andra material som kontrollerar radionuklidkoncentrationerna i jorden och i det andra fallet är det bevattningshastigheten och bevattningstiden för odling och fastläggningen av radionukliderna på jorden. Bevattning och fastläggning av radionuklider leder också till extern exponering och intern exponering via intag och inandning av radioaktiva jordpartiklar. Parametervärden för dessa data kan väljas med hjälp av allmänt tillgänglig information.

Vattenkonsumtion måste även definieras för människor och djur i spridningsscenarioer (figur 11-3) och för allmänheten är individens vattenkonsumtion ofta en viktig exponeringsväg. Överföringsfaktorerna från jord till växter varierar beroende på jordtyp, och överföringsfaktorer från olika jordtyper till växter, växter till djurprodukter och sötvatten till fisk har utvärderats (IAEA 2010). Matvanor bör väljas från allmänt tillgänglig information så att de är representativa för platsen, eftersom de varierar regionalt. Till exempel tillämpas tyska konsumtionsvanor av IAEA (IAEA 2005) där vuxna konsumerar 1,7 kg fisk per år i jämförelse med data för svenska konsumtionsvanor på 27 kg fisk per år som används vid beräkning av doskonsekvens vid bortskaffning av uranhaltigt avfall från sovringsverket i Ranstad (Kemakta 2012). Sannolikheten att hemodlad mat är den enda matkällan beror också av platsen och är högre för en individ som bor i glesbygd än tätort. I överensstämmelse med detta bedömer IAEA att 25 % av maten kommer från det förorenade området (IAEA 2005) jämfört med 100 % i en svensk studie (Kemakta 2012).

11.5.6 Hantering av osäkerheter av ingående parametrar

Alla parametrar som används i en dosberäkning omfattas av osäkerheter. Några osäkerheter är lättare att urskilja och bedöma än andra, men det är viktigt att osäkerheterna beskrivs och hanteras på ett konsistent och strukturerat sätt.

Osäkerheter associerade med radionuklidkoncentrationer i materialet och mängder material bedöms i samband med karakteriseringen (se kapitel 4 och 7). Effekten av dessa osäkerheter kan sedan studeras i spridnings- och dosberäkningarna.

Vid beräkning av spridning och dos finns andra osäkerheter som byggs in genom val av parametrar som är realistiska men lite pessimistiska, till exempel de som styrs av möjliga verksamheter eller aktiviteter, utspädning med andra material, beteenden och matvanor. Betydelsen av kända eller förväntade variationer i parametervärden kan belysas genom att beräkna variationsfall. I många fall är de modeller som används linjära så det är ganska enkelt att förutse vad en förändring av ett parametervärde innebär. Vissa delar såsom modeller för spridning i grundvattnet kan ge en olinjär respons och det är därmed inte helt enkelt att förutse vad en variation av en parameter innebär.

Ibland är det svårt att bestämma vad som är en rimlig begränsning av ett parametervärde. Ett sätt att hantera det är att definiera scenarier som är begränsande, men med mycket lägre sannolikhet än basfallet. Eftersom det är en lägre sannolikhet för dessa, kan de därför anses ha lägre krav med hänsyn till beräknad dos. Kraven enligt IAEA (IAEA 2005) för "realistiska" scenarier är en maxdos av 10 $\mu\text{Sv}/\text{år}$ (trivial risk) och för scenarier med "låg sannolikhet" en maxdos av 1000 $\mu\text{Sv}/\text{år}$ (max dos till allmänhet). Detta finns dock inte implementerat i de svenska föreskrifterna SSMFS 2011:2 (SSM 2011).

Ett annat sätt att hantera dataosäkerheter är att utföra probabilistiska beräkningar (t ex Monte Carlo simuleringar). Till exempel görs probabilistiska osäkerhetsanalyser där den "maximala medeldosen" används för att visa överensstämmelse med bestämmelserna i USA (NRC 2006). Dock kräver probabilistiska beräkningar mycket kunskap om parametrarna och dessutom är osäkerheterna vid val och utformning av scenarier troligen mer betydelsefulla. Därför rekommenderas en deterministisk analys i första hand.

12 Kostnadsmodell

12.1 Avgränsningar och förutsättningar

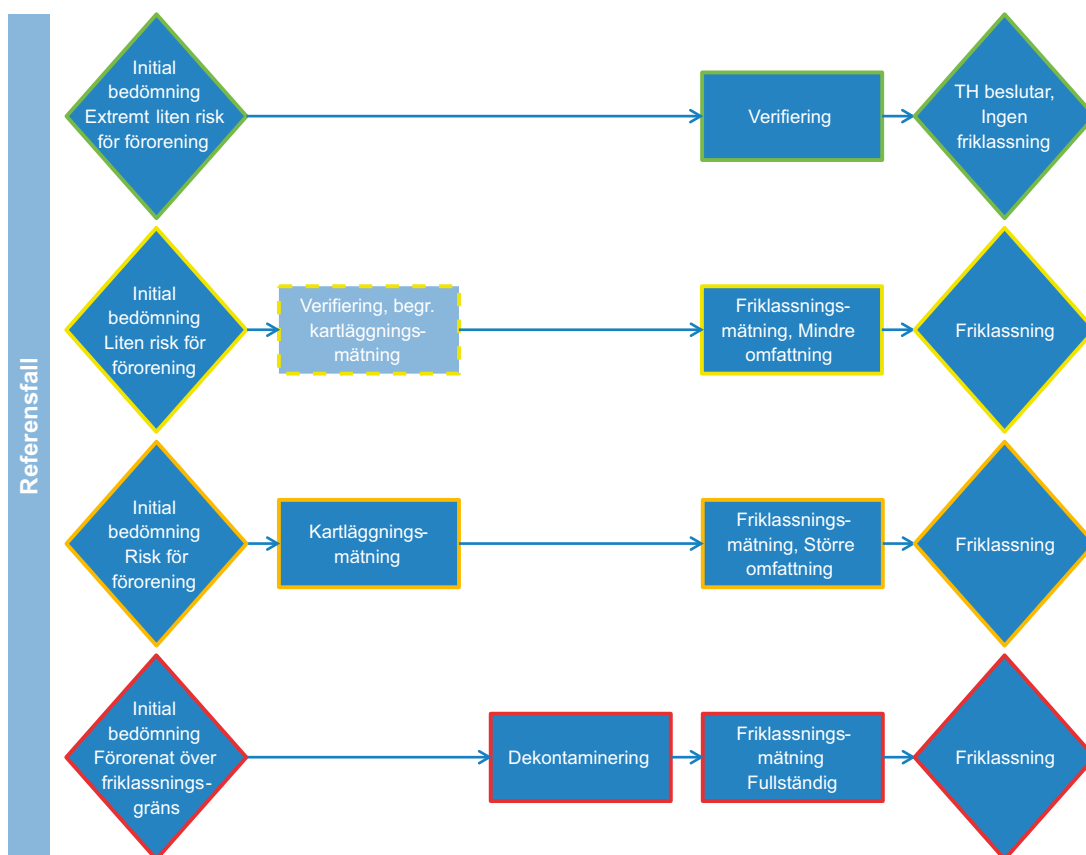
Beräknade kostnader för att avveckla de svenska kärnkraftverken finns redovisade i de senast genomförda rivningsstudierna (SKB 2013a, b, c, Griffiths et al. 2008). Baserat på dessa studier samt friklassningsprocess i avsnitt 2.2 föreslås kostnadsmodell för friklassning i detta kapitel.

Som grund för att utvärdera kostnaderna för att friklassa material jämfört mot andra bortskaffningsalternativ hänvisas till friklassningshandboken (SKB 2011). Detta kapitel kommer endast behandla byggnader och mark då slutförvaring av dessa inom det svenska systemet ej kan antas vara ett realistiskt alternativ. Därför syftar inte detta kapitel till att skapa en modell för jämförelse av olika bortskaffningsalternativ.

12.2 Modell

För att skapa en kostnadsmodell som belyser de faktorer som påverkar kostnaden för friklassningsprocessen, har ingående kostnadselement identifierats utifrån referensfall beroende på riskkategorisering. Resultatet av detta blir en *bottom-up* modell i likhet med hur kostnadsuppskattningar tagits fram för nedmontering och rivning i rivningsstudierna för kärnkraftverken (SKB 2013a, b, c, Griffiths et al. 2008).

Genom att utgå ifrån redovisad friklassningsprocess i figur 2-2 samt framtagna rekommendationer i denna rapport kan fyra referensfall identifieras beroende på riskkategoriseringarna enligt figur 12-1.



Figur 12-1. Fyra referensfall för att hantera ett objekt beroende på riskkategorisering.

Varje element som ingår i referensfallen enligt figur 12-1 är ingående kostnadselement i kostnadsmodellen för friklassning. Varje kostnadselement består av aktiviteter vilka framgår av figur 2-2. Genom att identifiera dessa aktiviteter byggs ett kostnadselement upp beroende på objektets riskkategori.

Varje kostnadselements nödvändiga aktiviteter består i sin tur av olika kostnader. Dessa kostnader består av tidsåtgång för arbetskraft (kompetenser/resurser) samt kostnader för utrustning och förbrukningsmaterial. Utifrån erfarenheter och tidigare kända data för dessa kostnader och tider, byggs en kostnad upp för ett kostnadselement beroende på objektets storlek, beskaffenhet och riskkategorisering.

Vissa framtagna enhetskostnader/nyckeltal för varje moment finns redovisade i rivningsstudierna (SKB 2013a, b, c, Griffiths et al. 2008). Detta kan till exempel vara kostnader och tidsåtgång för olika typer av dekontaminering och friklassningsmätningar. Dessa enhetskostnader kan behöva utvecklas allt eftersom mer erfarenhet av friklassning byggs upp i Sverige med avseende på hur omfattningen av arbetet varierar beroende på riskkategorisering och tillämpning av gällande kravbild. Typ av kompetenser/resurser, utrustning och förbrukningsmaterial kan vara likartad oavsett kostnadselement och referensfall. Genom att applicera olika viktningfaktorer beroende på referensfall fås olika kostnader och tider beroende på omfattning. Exempelvis ses ingen skillnad på utförandet av en friklassningsmätning för riskkategorin *risk för förorening* jämfört med en friklassningsmätning för riskkategorin *förorenat över friklassningsgräns*, men i det senare fallet så kan det vara en fullständig mätning som täcker hela objektet vilket ger en högre viktningfaktor. För att exemplifiera skillnader i mätinsatser beroende på riskkategorisering samt skillnader i kartläggnings- eller friklassningsmätning redovisas omfattningen av kartläggnings- och friklassningsmätning för en hypotetisk anläggning i bilaga D.

Varje kostnadsuppskattning för ett referensfall måste även tidsättas och byggas upp av aktiviteter som förslagsvis tas fram via ett Gant-schema, vilket är en typ av flödesschema som används i projektledning för att beskriva olika faser. Detta kan sedan infogas i hela avvecklingsprojektets projektplan och därefter kan analys dras av i vilken omfattning friklassningen påverkar den kritiska linjen och därmed vilka tidsberoende kostnader i form av projektledning, energiförbrukning, med mera som påverkas.

12.2.1 Exempel på kostnadsuppskattning

För att beskriva hur kostnader kan uppskattas och kan variera beroende på riskkategori följer här ett antal exempel. Dessa baseras på riskkategoriseringen i figur 12-1 för ett antaget utrymme med rumsmåttan bredd=10 m, längd=20 m och takhöjd=5 m och med följande förutsättningar (SKB 2013a, b):

- Fullständig friklassningsmätning genomförs med 100 % mätning av β/γ -emitterande nuklider och stickprov för α -emitterande nuklider. Tidsåtgången är 20 min/m².
- Friklassningsmätning med större omfattning genomförs med 50 % mätning av β/γ -emitterande nuklider och stickprov för α -emitterande nuklider. Tidsåtgången är 15 min/m².
- Friklassningsmätning med mindre omfattning genomförs med mätning av β/γ -emitterande nuklider genom stickprov vilket motsvarar att ca 20 % av ytan mäts. Tidsåtgången är 10 min/m².

Tidsåtgången för respektive objekt innefattar friklassningsmätning och dokumentation av resultat.

Exempel 1

Takyta	200 m ²	Liten risk för förorening	Friklassningsmätning mindre omfattning	10 min/m ²	33 tim
Väggyta	300 m ²	Risk för förorening	Friklassningsmätning större omfattning	15 min/m ²	75 tim
Golvyta	200 m ²	Förorenat över friklassningsgräns	Fullständig friklassningsmätning	20 min/m ²	67 tim
				Summa	175 tim

Exempel 2

Takyta	200 m ²	Liten risk för förorening	Friklassningsmätning mindre omfattning	10 min/m ²	33 tim
Väggyta	300 m ²	Liten risk för förorening	Friklassningsmätning mindre omfattning	10 min/m ²	50 tim
Golvyta	200 m ²	Risk för förorening	Friklassningsmätning större omfattning	15 min/m ²	50 tim
Summa					133 tim

Exempel 3

Takyta	200 m ²	Liten risk för förorening	Friklassningsmätning mindre omfattning	10 min/m ²	33 tim
Väggyta	300 m ²	Liten risk för förorening	Friklassningsmätning mindre omfattning	10 min/m ²	50 tim
Golvyta	200 m ²	Liten risk för förorening	Friklassningsmätning mindre omfattning	10 min/m ²	33 tim
Summa					117 tim

Ovanstående exempel visar på ca ±25 % skillnad i tidsåtgången för erforderlig friklassningsmätning i ett antaget utrymme beroende på vilken föroreningsgrad som ansätts för de olika ytorna och vilken specifik tid som ansätts för mätning av dessa ytor.

12.3 Framtagning av kostnadsuppskattningar

Under en friklassningsprocess behöver kostnadsuppskattningen ses över och revideras baserat på den ökade information och insikt som fås. Uppskattningar kommer även att övergå i budgeterande kostnader då arbetsomfattning och offerter från utförare tas fram. I detta avsnitt beskrivs en rekommendation kring i vilka skeden i friklassningsprocessen de uppskattade kostnaderna bör uppdateras.

Genom den information som inhämtas under den *initiala bedömningen* då en plan tas fram för det fortsatta arbetet så bör kostnadsuppskattningen anpassas till denna och jämföras mot tidigare uppskattningar.

Innan *kartläggning* genomförs är planeringen av dess omfattning viktig. Beroende på hur arbete planeras och handlas upp kan kostnadsuppskattningen kompletteras med uppgifter från verkliga offerter från leverantörer. Allt eftersom arbetet fortskrider och kostnadsutfallet jämförs mot den återstående uppskattade kan en mer precis kostnadsbild ges.

Efter kartläggningsarbetet kan omfattningen av dekontamineringsarbetet klarställas vilket är en del i *förberedelse inför friklassningsmätning*. I och med att dessa arbeten handlas upp och fastställs uppdateras kostnadsuppskattningen. Då dekontamineringsarbetet är genomfört kommer den uppskattade delen av kostnaderna bestå av friklassningsmätningarna medan de övriga är utfall.

Då har man kommit så långt i sitt arbete att det är dags för *friklassningsmätning*. I denna planering är det av vikt att arbeten handlas upp och kostnadsuppskattningen uppdateras.

När arbetet med *friklassningsmätning* preciseras och handlas upp kan kostnadsuppskattningen uppdateras en sista gång. Under denna fas sker huvudelen av mätningarna inom friklassningsprocessen och resursåtgången är hög, vilket även avspeglas i bilaga D där mätningarnas omfattning exemplifieras. Om olika delar av ett objekt genomgår friklassningsmätning vid olika tillfällen kan resultatet av den första friklassningsmätningen visa om mätomfattningen varit tillräcklig. Om nödvändigt kan mätomfattningen revideras för kvarstående delar av objektet och då kan kostnadsuppskattningen också revideras.

De återstående kostnaderna utgörs av att ta fram ansökan för *friklassning* där friklassningsrapporten utgör underlag. Efter detta skede kan avvecklingsprojektet utvärdera det slutgiltiga utfallet för kostnaden friklassning vilket kan inarbetas i kostnadsmodellen i form av nya enhetskostnader och viktningfaktorer.

12.4 Utvärdering av kostnader

ALARA och BAT ska tillämpas som övergripande principer under friklassningsprocessen till exempel vid val av mät- och dekontamineringsmetoder. Dessa principer ska dock även ställas mot kostnaden för olika alternativa metoder. Kostnad kan till exempel åberopas för att motivera

- villkorad friklassning,
- ökad omfattning för dekontaminering,
- större mängd radioaktivt avfall.

12.5 Osäkerheter

Uppskattade kostnader för ett referensfall utgår ifrån givna förutsättningar samt att hanteringen är ideal och sker enligt plan. Beroende på en rad olika faktorer kan förutsättningar ändras och därmed kommer även kostnadsuppskattningen att förändras både i form av ökade eller minskade kostnader. Till exempel kan ett objekt klassas om till en annan riskkategori efter kartläggning eller friklassningsmätning, vilket direkt påverkar kostnaden för att friklassa objektet.

I osäkerhetsanalysarbetet och utvärderingen av vilket referensfall som ska råda för ett objekt kan det vara motiverat att utföra en kostnadsberäkning för flera referensfall (alternativa riskkategorier) för att bilda sig en uppfattning om vilka risker och möjligheter som råder beroende på utfallet av riskkategoriseringen.

Under genomförande av ett friklassnings- och avvecklingsprojekt arbetar man kontinuerligt med osäkerheterna genom att sänka risker och genomföra möjligheter. Allt eftersom projektet fortskrider består kostnadsuppskattningen av både verkligt utfall och uppskattade kostnader vilket gör att osäkerheten minskar successivt.

12.6 Kostnadsdrivare

Med kostnadsdrivare avses i detta sammanhang faktorer som påverkar kostnaderna och nedan följer ett antal exempel på kostnadsdrivare med koppling till friklassning för en kärnteknisk anläggnings hela livslängd. Detta innefattar perioderna drift, avställnings-/servicedrift och nedmontering och rivning. Det är av vikt att identifiera kostnadsdrivare och hur dessa påverkar kostnaderna för att hantera osäkerheter.

Ett arbete inom OECD/NEA (OECD/NEA 2010) har identifierat betydande kostnadsdrivare i kostnadsuppskattningar för avveckling och de som berör friklassning är:

- ändrad omfattning av avvecklingsprojektet, det vill säga ökad eller minskad omfattning,
- förändrad kravbild och ökat krav på information och detaljeringsgrad,
- intressenters påverkan på sluttillstånd och hantering avfall,
- karakterisering av anläggningen med avseende på material, aktivitet och miljöfarligt avfall,
- lagring av avfall och tillgång till bortskaffningsalternativ,
- förvaltning av friklassade objekt.

12.6.1 Drift

Under driften av en kärnteknisk anläggning ställs krav på att det ska finnas en plan för avvecklingen, inklusive hantering av avfall och friklassning, vars detaljnivå ökar ju närmare avställning man kommer. Vidare utförs kontinuerliga kostnadsberäkningar för avvecklingen och dess osäkerheter bör minska ju närmare avvecklingsprojektet man kommer.

Innan avställningen närmar sig och avvecklingsprojektet startar inför avställningen kan det vara tillräckligt att på övergripande nivå veta vad som utgör stora kostnadsdrivare.

När ett avvecklingsprojekt har startat och detaljplanering sker för avvecklingen några år innan avställning behöver kostnads-kalkylerna preciseras så att investeringsbeslut kan tas för genomförande av projektet. Då är det viktigt att ha en heltäckande och detaljerad bild av kostnadsdrivarna. Detta för att framförallt kunna göra så korrekta osäkerhetsanalyser som möjligt och aktivt arbeta med att minimera projektrisker och genomföra projektmöjligheter.

Exempel kostnadsdrivande faktorer under drift med avseende på friklassning är:

- felaktigt hanterade av kontaminerat material på anläggningen, alltså felaktigt förvaltande av riskkategoriseringen av anläggningen,
- hur/om man bedriver ett systematiskt karakteriserings-/kartläggningsarbete,
- underhåll i anläggningen som minimerar läckage,
- bristfällig planering/projektering för friklassningen och hur det påverkar projektet då det startar,
- vilket sluttillstånd som är bestämt eller att det inte är bestämt, påverkar friklassningens omfattning och kostnader,
- kvalitet på historiska data/information så som instruktioner för arkivering, systematisk rapportering av händelser som påverkar friklassningen,
- avsaknad av adekvat inventering/karakterisering/information,
- brist på resurser/kompetens för avveckling och friklassning,
- avsaknad av ställda krav under normaldrift med avseende på avveckling och friklassning i verksamhetsledningssystemet,
- bristfällig hantering av riskkategorisering.

12.6.2 Avställnings-/servicedrift

Avvecklingsprojektet pågår under denna period vilket innebär att faktorer som påverkar den kritiska linjen för projektet blir betydelsefulla.

Exempel kostnadsdrivande faktorer under avställnings-/servicedrift med avseende på friklassning är:

- bristfällig kartläggning vilket får betydelse för verifiering/revidering av riskkategorier, därmed kan inte flera rivningsinsatser påbörjas så fort som möjligt och ske parallellt beroende på vad som avses friklassas,
- omfattning av mätningar för kartläggning som påverkar tidsplanen och även det som utgör underlag för att fatta vidare beslut,
- utdragen tidsplan för denna period vilket gör att information och dokumentation blir föråldrad samt att kompetens och erfarenheter förloras.

12.6.3 Nedmontering och rivning

Under nedmontering och rivning är avvecklingsprojektet som mest aktivt och pågår med maximal personalstyrka. Därför blir de faktorer som påverkar den totala tidsplanen kostnadsdrivare. Denna period avslutas med friklassning vilket är den formella avslutande delen som gör att avvecklingsprojektet kan anses som avslutat. Därigenom blir friklassning den viktigaste parametern för att avsluta projektet.

Exempel på kostnadsdrivande faktorer under nedmontering och rivning med avseende på friklassning är:

- antal/omfattning av mättningsresurser för friklassningsmätningar som påverkar tidsplanen,
- otydlighet och otillräckligt underlag för beslut om friklassning, projektet tar ej slut,
- val av mätmetoder,
- om friklassning sker som material eller byggnad,
- om friklassning av byggander sker för rivning eller användning,
- processflödet (anläggning) för friklassning, att göra det rationellt och storskaligt,
- teknikval för friklassning,
- myndighetskrav,
- tillståndsprocesser.

Referenser

Publikationer utgivna av SKB (Svensk Kärnbränslehantering AB) kan hämtas på www.skb.se/publikationer. SKBdoc-dokument lämnas ut vid förfrågan till dokument@skb.se.

AFS 2011:18. Hygieniska gränsvärden. Stockholm: Arbetsmiljöverket.

Carrel F, Gmar M, Schoepff V, 2011. GAMPIX: a new generation of gamma camera. Proc. Characterization and Visualization Technologies in DD&R. Tillgänglig: https://www.iaea.org/OurWork/ST/NE/NEFW/WTS-Networks/IDN/idnfiles/Characterization&Visualization/04-New_gamma_imaging_GAMPIX.pdf [20 Juni 2016].

Desnoyers Y, Dubot D, 2012. Data analysis for radiological characterisation: geostatistical and statistical complementarity. Proceeding of Workshop on Radiological Characterisation for Decommissioning, Studsvik, Sweden, 17–19 April 2012.

EC, 1993. Principles and methods for establishing concentrations and quantities (exemption values) below which reporting is not required under the European directive, Radiation Protection 65, Doc XI-028/93, Europeiska kommissionen, Luxemburg.

EC, 1999. Definition of clearance levels for the release of radioactively contaminated buildings and building rubble. Radiation Protection 114. Europeiska kommissionen, Luxemburg.

EC, 2000a. Recommended radiological protection criteria for the clearance of buildings and building rubble from the dismantling of nuclear installations. Radiation Protection 113. Europeiska kommissionen, Luxemburg.

EC, 2000b. Practical use of the concepts of exception and clearance – Part 1. Guidance on general clearance levels for practices. Radiation Protection 122, Europeiska kommissionen, Luxemburg.

EPA, 2006a. Guidance on systematic planning using the data quality objective process, (EPA QA/G-4). EPA/240/B-06/001, U.S. Environmental Protection Agency, Washington, DC.

EPA, 2006b. Reference guide for radioactively contaminated surfaces. EPA-402-R-06-003, U.S. Environmental Protection Agency, Washington, DC.

EPA, 2007. Technology reference guide for radioactively contaminated media. EPA-402-R-07-004, U.S. Environmental Protection Agency, Washington, DC.

EU, 2010a. Fördraget om upprättandet av Europeiska atomenergigemenskapen. Luxemburg: Europeiska unionen.

EU, 2010b. Kommissionens rekommendation 2010/635/Euratom av den 11 oktober 2010 om tillämpningen av artikel 37 i Euratomfördraget. Luxemburg: Europeiska unionen.

EU, 2013. Rådets direktiv 2013/59/Euratom av den 5 december 2013 om fastställande av grundläggande säkerhetsnormer för skydd mot de faror som uppstår till följd av exponering för joniserande strålning, och om upphävande av direktiven 89/618/Euratom, 90/641/Euratom, 96/29/Euratom, 97/43/Euratom och 2003/122/Euratom. Luxemburg: Europeiska unionen.

Fjällström P, Wängberg I, Christensson B, 2009. Hur effektivt skyddar andningsskydd i praktiken? IVL Rapport B1876, IVL Svenska Miljöinstitutet AB.

Gelman A, Carlin J, Stern H, Dunson D, Vehtari A, Rubin D, 2004. Bayesian data analysis. 2. uppl. Boca Raton, FL: Chapman & Hall.

Gilmore G, 2008. Practical gamma-ray spectrometry. 2. uppl. Chichester: Wiley.

Griffiths G M, Garrett T J, Cloutier W A, Adler J J, 2008. Decommissioning cost analysis for Barsebäck nuclear station. Document S33-1567-002, rev 0, TLG Services, Inc. SKBdoc 1403739 ver 1.0, Svensk Kärnbränslehantering AB.

IAEA, 2002. Record Keeping for the Decommissioning of Nuclear Facilities: Guidelines and Experience. IAEA Technical Reports Series 411, Internationella atomenergiorganet, Österrike.

IAEA, 2003. Derivation of activity limits for the disposal of radioactive waste in near surface disposal facilities. IAEA-TECDOC-1380, Internationella atomenergiorganet, Österrike.

- IAEA, 2005.** Derivation of activity concentration values for exclusion, exemption and clearance. IAEA Safety Reports Series 44, Internationella atomenergiorganet, Österrike.
- IAEA, 2007.** IAEA safety glossary: terminology used in nuclear safety and radiation protection. 2007 Edition. Internationella atomenergiorganet, Österrike.
- IAEA, 2010.** Handbook of parameter values for the prediction of radionuclide transfer factors in terrestrial and freshwater environments. IAEA Technical Reports Series 472, Internationella atomenergiorganet, Österrike.
- IAEA, 2012.** Monitoring for Compliance with Exemption and Clearance Level. IAEA Safety Reports Series 67, Internationella atomenergiorganet, Österrike.
- IAEA, 2014a.** Radiation protection and safety of radiation sources: International Basic Safety Standards. IAEA Safety Standards Series GSR Part 3, Internationella atomenergiorganet, Österrike.
- IAEA, 2014b.** Decommissioning of Facilities. IAEA Safety Standards Series GSR Part 6, Internationella atomenergiorganet, Österrike.
- ICRP, 2012.** Compendium of dose coefficients based on ICRP Publication 60. Oxford: Pergamon. (ICRP Publication 119; Annals of the ICRP 41 (Supplement 1)).
- ISO, 2005.** ISO/IEC 17025:2005: General requirements for the competence of testing and calibration laboratories (Allmänna kompetenskrav för provnings- och kalibreringslaboratorier). Genève: International Organization for Standardization.
- ISO, 2008.** ISO 9001:2008: Quality Management Systems – Requirements (Ledningssystem för kvalitet – Krav). Genève: International Organization for Standardization.
- Karlsson A, Christensson B, 2008.** Effektiva åtgärder mot damm på byggarbetsplatser: etapp 1. IVL Rapport B1794, IVL Svenska Miljöinstitutet AB.
- Karlsson S, Aquilonius K, 2001.** Dosomräkningsfaktorer för normaldriftsutsläpp. C. Exponeringsvägar och radioekologiska data. STUDSVIK/ES-01/35, Studsvik Eco & Safety AB.
- Kemakta, 2012.** Beräkning av doskonsekvens vid bortskaffning av uranhaltigt avfall från rivning av sovringsverket i Ranstad. AR 2012-35, Kemakta Konsult AB, Sverige.
- Lilliefors H W, 1967.** On the Kolmogorov–Smirnov test for normality with mean and variance unknown. Journal of the American Statistical Association 62, 399-402.
- Lundgren K, 2012.** Svenska LWR – Aktivitetsinventarium vid rivning – Modellbeskrivning. Studsvik ALARA Engineering. Rapport 12-0028R, Studsvik Nuclear AB.
- Naturvårdsverket, 2009.** Riktvärden för förorenad mark: modellbeskrivning och vägledning. Rapport 5976, Naturvårdsverket.
- Norberg T, 2012.** Analys av osäkerheter i uppmätta medelaktiviteter e dyl i sovringsverket. Matematik- och statistikonsult, Sverige.
- NRC, 1992.** Residual radioactive contamination from decommissioning: technical basis for translating contamination levels to annual effective dose equivalent: final report. NUREG/CR-5512, Nuclear Regulatory Commission, Washington, DC.
- NRC, 1998.** Decision methods for dose assessment to comply with radiological criteria for license termination. NUREG-1549, Nuclear Regulatory Commission, Washington, DC.
- NRC, 2000.** Multi-agency radiation survey and site investigation manual Rev. 1. NUREG 1575, Nuclear Regulatory Commission, Washington, DC.
- NRC, 2004.** Multi-agency radiological laboratory analytical protocols manual. NUREG-1576, Nuclear Regulatory Commission, Washington, DC.
- NRC, 2006.** Consolidated Decommissioning Guidance: Characterization, Survey and determination of radiological criteria. NUREG-1757, Nuclear Regulatory Commission, Washington, DC.
- OECD/NEA, 2010.** Cost estimation for decommissioning: an international overview of cost elements, estimation practices and reporting requirements. Paris: OECD/NEA.

- OECD/NEA, 2013.** Radiological characterisation for decommissioning of nuclear installations. Paris: OECD/NEA.
- ORISE, 2008.** Survey procedures manual for the independent environmental assessment and verification program. Oak Ridge, TN: Oak Ridge Institute for Science and Education.
- SDF, 2005.** Clearance and radiological sentencing: principles, processes and practices for use by the nuclear industry. A nuclear industry code of practice, Issue 2. Nuclear Industry Safety Directors Forum, Storbritannien.
- SFS 1977:1160.** Arbetsmiljölöag.
- SFS 1984:3.** Lag om kärnteknisk verksamhet.
- SFS 1988:220.** Strålskyddslag.
- SKB, 2011.** Kärntekniska industrins praxis för friklassning av material, lokaler och byggnader samt mark. Handledning. SKB R-11-15, Svensk Kärnbränslehantering AB.
- SKB, 2013a.** Decommissioning study of Forsmark NPP. SKB R-13-03, Svensk Kärnbränslehantering AB.
- SKB, 2013b.** Decommissioning study of Oskarshamn NPP. SKB R-13-04, Svensk Kärnbränslehantering AB.
- SKB, 2013c.** Ringhals Site Study 2013 – An assessment of the decommissioning cost for the Ringhals site. SKB R-13-05, Svensk Kärnbränslehantering AB.
- SIS, 1997.** SS-ISO 11932: Kärnenergi – Mätning av radioaktivitet på fasta material som avses återanvändas eller disponeras som icke-radioaktivt avfall. Stockholm: Swedish Standards Institute.
- SIS, 2003.** SS-EN 12457-3: Karaktärisering av avfall – Laktest – Kontrolltest för utlakning från granulära material och slam – Del 3: Tvåstegs skaktest vid L/S 2 l/kg och L/S 8 l/kg för material med hög fastfashalt och med partikelstorlek mindre än 4 mm (utan eller med nedkrossning). Stockholm: Swedish Standards Institute.
- SIS, 2004.** SS-CEN/TS 14405: Karaktärisering av avfall – Bestämning av lakegenskaper – Uppströms perkolationstest (under bestämda förhållanden). Stockholm: Swedish Standards Institute.
- SIS, 2010.** SS-ISO 11929:2010: Determination of the characteristic limits (decision threshold, detection limit and limits of the confidence interval) for measurements of ionizing radiation – Fundamentals and application (ISO 11929:2010, IDT). Stockholm: Swedish Standards Institute.
- SSM, 2008.** Strålsäkerhetsmyndighetens föreskrifter och allmänna råd om säkerhet i kärntekniska anläggningar. Stockholm: Strålsäkerhetsmyndigheten. (SSMFS 2008:1)
- SSM, 2011.** Strålsäkerhetsmyndighetens föreskrifter och allmänna råd om friklassning av material, lokaler, byggnader och mark vid verksamhet med joniserande strålning. Stockholm: Strålsäkerhetsmyndigheten. (SSMFS 2011:2)
- Studsvik, 2002a.** Dosomräkningsfaktorer för utsläpp till luft och vatten vid normal drift av Barsebäcksverket, STUDSVIK/ES-02/26. BKAB id nr B1013810, Studsvik Eco & Safety AB.
- Studsvik, 2002b.** Dosomräkningsfaktorer för utsläpp till luft och vatten vid normal drift av Oskarshamnsverket, STUDSVIK/ES-02/26, Studsvik Eco & Safety AB.

Definitioner

A1 Definitioner, termer och begrepp

Aktivitetsbestämning

Nuklidspecifik aktivitetsbestämning erhålls genom mätning eller beräkning (nuklidvektor) av aktiviteten.

Aktivitetskontroll

Innebär mätning av radioaktiv förorening och bör till att börja med ske genom kontroll av lös kontamination med strykprov och via mätning med pulsratsinstrument. För allt material förutom verktyg och utrustning som ska användas på samma sätt krävs även nuklidspecifik aktivitetsbestämning för att verifiera att de av myndigheterna uppsatta friklassningsvillkoren innehålls.

Alfastrålare med låg radiotoxicitet

Naturligt uran, utarmat uran, naturligt torium, uran-235 eller uran-238, torium-232, torium-228 och torium-230 när dessa förekommer i malm eller i fysikaliska eller kemiska koncentrat, samt alfastrålare med en halveringstid under tio dagar.

Avställnings- och servicedrift

Bygger på SSMFS 2008:1, 9 kap. Den inledande perioden under avveckling direkt efter slutgiltig avställning av en anläggning. Under denna period omhändertas bränslet samt att vissa förberedelser kan ske för nedmontering och rivning som exempelvis systemdekontaminering av primärsystem, kartläggningsarbete och anpassning av byggnader och system.

Avveckling

SSMFS 2008:1, 1 kap. 2 §. Åtgärder som vidtas av tillståndshavaren efter slutgiltig avställning av en anläggning för att nedmontera och riva hela eller delar av anläggningen samt för att minska mängden av radioaktiva ämnen i mark och kvarvarande byggnader till sådana nivåer som möjliggör friklassning av anläggningen.

BAT

Best Available Technique, användande av den mest effektiva metod för att begränsa utsläpp av radioaktiva ämnen och utsläppens skadliga effekter på människans hälsa och miljön, och som inte medför orimliga kostnader, (SSMFS 2008:23, 2 §).

Bortskaffning

Omhändertagande av avfall med metoder specificerade i avfallsförordningen SFS 2001:1063 bilaga 5 till exempel olika typer av deponering, förbränning med mera.

Dekontaminering

Dekontaminering avser åtgärder för avlägsnande av aktivitet från ett objekt genom fysisk eller kemisk separation.

Direktfriklassning

Genom mätning med avancerat instrument logga och medelvärdesbilda resultatet möjliggöra friklassning i ett moment.

Drift

Avser den huvudverksamhet för vilken en anläggning är uppförd. Perioden sträcker sig från uppförandet och fram till slutgiltig avställning. Därefter vidtar avveckling som pågår tills anläggningen är nedmonterad och riven.

Egenkontroll

Kontroll som utförs i egen verksamhet (även hos utomstående aktörer) och på eget ansvar.

Ex situ-mätning

Mätobjektet förs till en annan plats där mätning genomförs, exempelvis då bakgrundsivån på ordinarie plats är för hög.

Fissila ämnen

Fissila nuklider avser uran-233, uran-235, plutonium-239 och plutonium-241.

Friklassning

Med friklassning menas att strålskyddslagen (1988:220) och kärntekniklagen (1984:3) inte längre ska tillämpas på material, lokaler, byggnader eller mark som kan ha förorenats med radioaktivt ämne vid tillståndspliktig verksamhet med joniserande strålning (SSMFS 2011:2, 2§). Material, byggnader och mark har kontrollerats och vars innehåll av radioaktiva ämnen understiger fastställda **friklassningsnivåer**.

Friklassningsgräns

Avser en gräns för inteckning då friklassning kan ske. Detta återges som ett krav enligt summaformel av nuklider i SSMFS 2011:2.

Friklassningsnivå

Avser nuklidspecifika nivåer för friklassning

Industriområde

Område avsett för etablering av industrier och andra företag utan direkt kontakt med konsumenter. I ett industriområde kan även finnas avfallshantering, serviceverkstäder, eller andra verksamheter som inte låter sig blandas med bostäder.

In situ-mätning

Mätning av ett objekt på plats.

ISOCS

In Situ Object Counting System (varumärke). Mätutrustning för mobil gammaspektroskopi baserad på en HPGe detektor från CANBERRA.

ISOTOPIC

Mätutrustning från ORTEC (varumärke) som är av samma typ av system som ISOCS.

Karakterisering

Genom att undersöka och analysera ett objekt skapa sig en uppfattning av dess beståndsdelar. Exempelvis materialsammansättning och förekomst av radioaktiva och miljöstörande ämnen

Kartläggning

Statusbestämning av ett objekt utifrån förekomst av radioaktiva ämnen.

Kartläggningsmätning

Riktad mätning som utförs under kartläggning.

Kategorisering

Se **Riskkategorisering**. Indelning av objekt utefter risk för radiologisk förorening.

Konfidens

Tillförlitligheten för ett försök eller mätvärde.

Kontrollerat område

Bygger på SSMFS 2008:5, 3§. Ett område där årlig effektiv dos kan vara över 6 mSv, eller där ytkontamination kan överstiga gällande gränsvärde (4/40 kBq/m²).

För ett kontrollerat område gäller särskilda regler i syfte att skydda mot joniserande strålning eller förhindra spridning av radioaktiv kontamination. Tillträdet till kontrollerat område är övervakat. Vid entrén till det kontrollerade området skall anges nivåer för direktstrålning, ytkontamination samt luftburen aktivitet.

I friklassningssammanhang är områden klassade med avseende på ytkontamination och/eller luftburen aktivitet av störst betydelse. Kontrollerat område enbart avseende på direktstrålning kan vara av betydelse vid riskkategoriseringen då det kan innebära en viss risk för radioaktiv förorening.

Se även **Skyddat område**.

Kontrollprogram

Bygger på SSMFS 2011:2, 8 §. En upprättad dokumentation som beskriver metoder och omfattning av kontrollen, vem som är behörig att utföra kontrollen samt uppgifter om kvalitetssäkring, egenkontroll och dokumentation av resultaten.

Friklassningsmätning

Bygger på SSMFS 2011:2, 8 §. Avser den mätning som verifierar kontrollen, enligt framtaget **kontrollprogram**, med avseende på förekomst av radioaktiva ämnen innan friklassning kan ske.

Kärnavfall

(hämtat från ”Lag (1984:3) om kärnteknisk verksamhet”).

- a. använt kärnbränsle som har placerats i slutförvar,
- b. radioaktivt ämne som har bildats i en kärnteknisk anläggning och som inte har framställts eller tagits ur anläggningen för att användas i undervisnings- eller forskningssyfte eller för medicinska, jordbrukstekniska eller kommersiella ändamål,
- c. material eller annat som har tillhört en kärnteknisk anläggning och blivit radioaktivt förorenat samt inte längre skall användas i en sådan anläggning, och
- d. radioaktiva delar av en kärnteknisk anläggning som avvecklas.

Lös och fast kontamination

Lös kontamination sitter löst på ytan på ett objekt och kan tas bort med hjälp av lättare saneringsmetoder såsom avtorkning eller tvättning. Fast kontamination är integrerat i materialet och kan endast tas bort med speciella dekontamineringsmetoder, exempelvis blästring.

MDA

Minimum Detectable Activity. Den minsta aktivitet ett system med säkerhet kan mäta, beroende på önskad grad av tillförlitlighet, bakgrunds nivå, mätinstrumentets effektivitet och mättid.

Nedmontering och rivning

Bygger på SSMFS 2008:1, 1 kap. 2 §, 9 kap. 6–8 §. Perioden under avveckling som kräver upplysning enligt artikel 37 i Euroatomfördraget samt en omarbetad säkerhetsredovisning med hänsyn till en planerad verksamhet. Under denna period sker dekontaminering, demontering och rivning av anläggningen i den omfattning att mängden radioaktiva ämnen minskar till sådana nivåer att friklassning är möjlig.

Se även definitionen av **Rivning**.

Nuklidvektor

En nuklidvektor används för att beräkna aktiviteten för nuklider som inte mäts direkt. Detta görs genom att aktiviteten hos vektorns nuklider relateras via en faktor till antingen en nuklid som mäts, eller till en totalmätning av en aktivitetstyp i ett specifikt system eller avgränsat område.

Oberoende kontroll

En kontroll som utförs av en intern eller extern kompetent och oberoende resurs, som inte tidigare varit involverade i hanteringen av det specifika ärendet.

Objekt

Avser ett system, en yta eller ett område som är definierat och avgränsat i sin omfattning. Det kan bestå i hela eller delar av system/systemidentitet, yta eller område.

Operativt gränsvärde

Gränsvärde vid mätning med handinstrument då föremålet (material, lokal/byggnad eller mark) är så förorenat att friklassning inte kan ske. Mätning bör avbrytas för sanering om det operativa gränsvärdet uppnås.

Pulsratsinstrument

Instrument som räknar antal alfa- och/eller betapartiklar som träffar instrumentets aktiva yta. Vissa pulsratsinstrument kan även mäta gammastrålning. Används mest för mätning av ytkontamination.

Radiologiskt skyddat område

Se även **Skyddat område**.

Representativ provtagning/mätning

Provtagning/mätning syftande till att skapa en representativ bild av helheten.

Riktad provtagning/mätning

Provtagning/mätning i visst syfte till exempel kontroller av ytor med större risk för radioaktiv förorening än andra.

Riskbegrepp

Risk är ett mått på de skadliga konsekvenserna av en framtida händelse. Risk brukar, även om det saknas en allmänt accepterad definition, definieras som en funktion av:

- sannolikheten för att en viss händelse inträffar och
- konsekvensen av att denna händelse inträffar.

Sannolikheten för en skadlig händelse multiplicerat med någon värdering av skadan är den gängse betydelsen av risk inom tekniska tillämpningar. I friklassningssammanhang avses till största delen sannolikhet i uttrycket ”risk”. Parametern konsekvens är dock inte på något sätt oväsentlig.

Konsekvensen av en felaktig friklassning kan i ett extremfall utgöra ett potentiellt hot mot människors hälsa, djur och miljö. Ett sådant scenario är mycket osannolikt. En mer sannolik potentiell konsekvens vid en felaktig friklassning är ett minskat förtroende hos myndigheter, mottagare av friklassat material och hos allmänheten.

Riskkategorisering

Indelning av objekt och områden i kategorier baserat på risken för radioaktiv förorening:

- **Extremt liten risk för förorening** – material, lokaler eller byggnader där det, baserat på bedömning inte har funnits risk för radioaktiv förorening och som därför kan antas vara fria från förorening.
- **Liten risk för förorening** – material, lokaler eller byggnader där det kan ha funnits risk för radioaktiv förorening, men som på goda grunder kan antas vara rena.
- **Risk för förorening** – material, lokaler eller byggnader där det finns eller har funnits risk för radioaktiv förorening.
- **Förorenat över friklassningsgräns** – radioaktiv förorening över friklassningsgräns.

Rivning

I Kommissionens rekommendation (2010/635/Euratom) om tillämpning av artikel 37 i Euroatomfördraget finns en definition av nedmontering som lyder:

”Inom dessa verksamheter omfattar nedmontering isärtagning, skärning och rivning av kontaminerade eller radioaktiva komponenter, system och strukturer, inklusive förpackning, och överföring till annan plats.”

Begreppet nedmontering kan således sägas ersätta rivning fram till dess att anläggningen eller del av anläggningen har friklassats. Därefter vidtar rivning av friklassade delar, vilket då innebär konventionell rivning.

Sanering

Sanering är en enklare form av dekontaminering och innefattar avtorkning eller tvättning.

Stratifiering

Uppdelning av ett objekt till delområden.

Skyddat område

Enl. föreskrift SSMFS 2008:51. Ett arbetsställe som omfattas av föreskrifterna och som inte är **Kontrollerat område**, det vill säga där den årliga effektiva dosen kan uppgå till 1–6 mSv. OBS, ej att förväxla med **Skyddat område** enligt SSMFS 2008:12 (fysiskt skydd).

Stickprovsmässig kontroll

Sluppmässig, styrd eller systematisk kontroll/informationsinhämtning i syfte att skapa en representativ bild av helheten. Vid litet antal prover föreligger en stor osäkerhet. Styrda (via instruktion/rutin) och systematiska stickprovsmässiga kontroller är att föredra framför slumpmässiga.

Strykprov

Provtagning och utvärdering av lös ytkontamination enligt ISO-SS 7503-1.

Strålskyddskontroll

Avser avsökning med till exempel strykprovtagning, mätbox eller probe för att kontrollera friklassningsvillkoret kopplat till total specifik ytaktivitet.

Totalaktivitet

Totala mängden aktivitet för ett objekt.

Villkorad friklassning

Friklassning med speciella villkor, enligt till exempel RP89.

Ytaktivitet

Aktivitet som sitter på ytan på ett objekt.

Ytkontamination

Radioaktiv förorening på ytan.

A2 Symboler i matematiska formler

Symbol	Betydelse
C_i	Yt- eller massspecifik aktivitet för nuklid i
C_{FNI}	Yt- eller massspecifik friklassningsnivå för nuklid i
Y_D	Detektoreffektivitet (scintillationsdetektor)
r_N	Nettopulsrat
ρ_N	Nettopulsrat i en enskild mätning
b_R	Friklassningskonstant
\bar{x}	Skattning av medelvärdet för variabeln x
s_x	Skattning av standardavvikelsen för variabeln x
μ_x	Väntevärde för variabeln x
σ_x	Standardavvikelse för variabeln x
n	Antalet mätningar eller prov
v	Antalet frihetsgrader
t	En variabel vars slumpvisa variation följer en t-fördelning
z	En variabel vars slumpvisa variation följer en standardnormalfördelning

Mät- och provningsutrustning

B1 Mät- och provningsutrustning – exempel

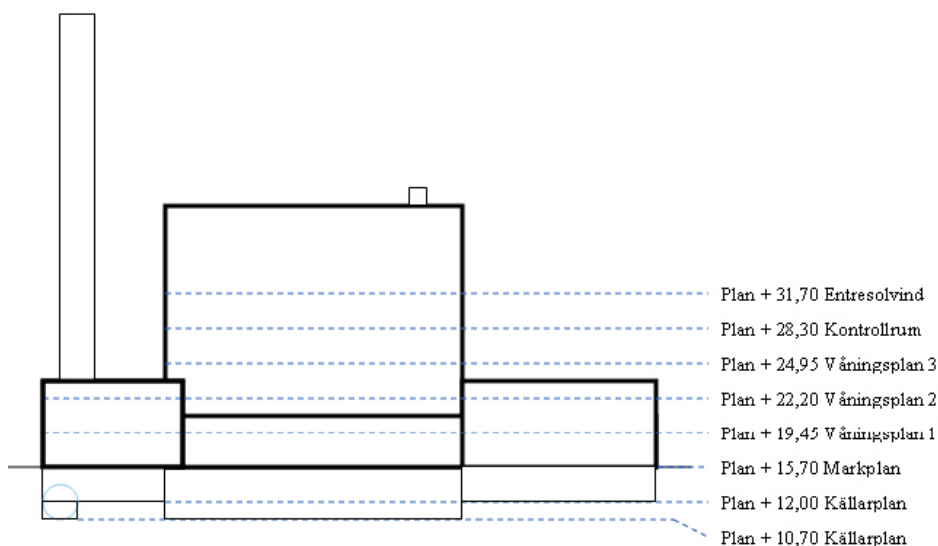
Denna bilaga ger exempel på hur mät- och provningsutrustning för radiologisk kartläggning och friklassningsmätning kan se ut. Ett konkret exempel från ett svenskt projekt beskrivs. Det projekt som valts är R2-avvecklingens fas 3 i Studsvik, vilket inkluderar hela R2-anläggningen (figur B-1) utom reaktorerna (fas 1) och den biologiska skärmen (fas 2). Både radiologisk kartläggning (RKL) och friklassningsmätning behöver utföras i hela anläggningen innan friklassning kan ske.

B1.1 Systemöversikt

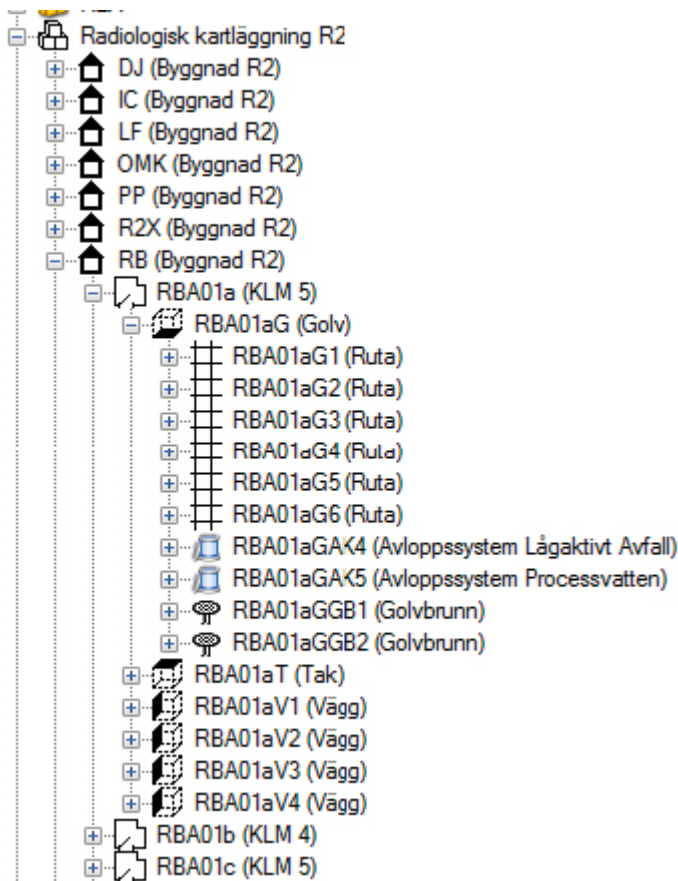
R2-anläggningen i Studsvik omfattar tio byggnader och ungefär 250 rum. Alla byggnader, rum och rumsytor finns i databasen SVALA i en trädstruktur. Till en rumsyta kan andra objekt höra, till exempel en ruta att mäta i eller objekt som finns i rummet och tillhör ytan. Även servicesystem är inlästa i trädstrukturen. Del av trädstrukturen visas i figur B-2.

En inventering i anläggningen gjordes för att i varje rum kunna ange hur många rumsytor som fanns och vilka objekt som hörde till respektive yta. En initial riskkategorisering enligt en femgradig skala (från *extremt liten risk för förorening* till *risk för förorening* samt en ytterligare kategori för *icke friklassningsbart*) gjordes för alla lokaler, vilken också finns i SVALA. Den initiala riskkategoriseringen är också länkad till ett planerat mät- och provprogram i SVALA, vars omfattning ökar med ökande risk. I SVALA går det löpande att se hur många planerade mätningar och provningar som ingår i kartläggningen, samt hur många genomförda mätningar respektive provresultat som finns.

SVALA-registreringar görs direkt i databasen, det vill säga internetuppkoppling behövs då objekt ska läggas till eller redigeras, eller då mätdatafiler ska läsas in.



Figur B-1. Bild på R2-anläggningen och dess olika våningsplan.



Figur B-2. Del av det radiologiska kartläggningsträdet i SVALA för R2-utvecklingsprojektet.

SVALA infördes 2006 hos AB SVAFO (SVAFO) och Studsvik Nuclear AB (SNAB) för all avfallshandling, och har genom åren uppdaterats med ny funktionalitet och för att möta nya friklassningskrav. Idag finns en rad olika funktioner implementerade i SVALA till exempel

- personlig rollbaserad inloggning,
- projektspecifik indata för avfall och transporter,
- mätdata integreras automatiskt från externa utrustningar, till exempel fatmätningar,
- dagliga QA-kontroller av databasen för att leta felregistreringar,
- olika typer av rapporter och sökformulär,
- komplett nuklidvektorhantering på olika nivåer (bolag, order, transport, container, emballage eller avfallspost),
- transportloggning internt och externt som till SKB,
- friklassning av material enligt SSMFS2011:2,
- spårbarhet av avfall från utvecklingsprojekt,
- positioneringssystem för mätningar och provningar från utvecklingsprojekt.

SVALA utgör idag ett värdefullt verktyg för all avfallshandling och RKL hos SVAFO och SNAB. SVALA används dagligen i alla anläggningar som genererar, behandlar eller konditionerar avfall på Studsviks område samt för områdets anläggningar under utveckling. Utveckling av funktionalitet i SVALA pågår fortfarande eftersom verksamheten ändras. SVALA:s tillgänglighet genom åren har varit god.

B1.1.1 Förutsättningar

Inför den praktiska delen av kartläggningen hade en initial bedömning och riskkategorisering gjorts baserat på kännedom om anläggningen och dess historik. Denna bedömning dokumenterades i en separat rapport vilken utgör en förutsättning för de efterkommande kartläggningsmätningarna.

Databasen SVALA hade innan R2-avvecklingen används för radiologisk kartläggning i Ranstad, och till R2-kartläggningen utökades databasens funktionalitet för att ytterligare säkra kvalitén på data. Ett positioneringssystem som använder radiotaggar (RFID) var en del av den funktionalitet som lades till.

Den radiologiska kartläggningen beskrevs i ett antal instruktioner, till exempel

- namngivning av lokaler, system och objekt,
- registrering av lokaler, system och objekt i SVALA,
- montageprinciper för RFID och registrering i SVALA,
- mätningar vid RKL,
- inläsning av mätdata till SVALA,
- provtagningar vid RKL,
- registrering av utrustning och användare för RKL i SVALA.

Det är viktigt att hålla isär de roller och ansvar som finns vid genomförandet av RKL. I SVALA definieras följande roller för RKL-arbetet

- mätare,
- granskare,
- godkännare,
- admin.

Rollerna har olika ansvar under RKL och används för att kvalitetssäkra data under projektet. Admin har utökade databasrättigheter för att administrera databasen.

B1.1.2 Mätutrustning

I projektet används mätutrustning som kan samla in data i filer för direkt överföring till SVALA. Projektet har valt att fokusera mätningar kring Canberra Colibri av följande skäl:

- Personlig inloggning gör det tydligt vem som mäter.
- Möjligt att konfigurera flera enheter lika garanterar att alla mätningar blir likadana.
- Möjligt att ansluta upp till åtta prober samtidigt ger effektivare mätning.
- Integrering med radiotaggar eliminerar behov av manuell positionering.
- Inbyggd GPS ger ett bra komplement vid utomhusmätningar.
- Mätdatafilen innehåller detaljerad information om vem som mätt var och när, använd utrustnings serienummer och kalibreringsstatus (samma filformat för upp till åtta prober).
- En webbserver kan användas för åtkomst av data samt konfiguration.

Figur B-3 visar exempel på använd utrustning i projektet. Två olika radiotaggar används, en trådmodell som kan fräsas ner i golv där truckar ska köra och en annan modell som kan klistras eller skruvas fast. En utrustning (*vita klubban*) används för att läsa ID på radiotaggar och kommunicerar med Canberra Colibri-instrumentet via Blåtand (Bluetooth). Radiotaggar måste tilldelas respektive objekt i kartläggningsträdet i SVALA, detta kan göras i förväg via en USB-ansluten läsare, eller direkt ute i anläggningen om nya objekt behöver skapas. Projektet har valt några olika scintillationsdetektorer för olika ändamål, bland annat används Canberra Smart Probe SAB-100 och Thermo DP8.



Figur B-3. Använd mätutrustning för RKL i R2-utvecklingsprojektet.

B1.1.3 Provningsutrustning

Utrustningen som används vid dokumentation av provtagning visas i figur B-4. Samma typ av radiotaggarna som används vid mätningar placeras ut där provtagning ska ske. Vid provtagningen läser handdatorn av radiotaggens ID, som sedan skrivs ut som en streckkod på en klisteretikett på den anslutna skrivaren. Etiketten klistras på påsen i vilken provets placeras. På analyslaboratoriet läses streckkoden av, samma ID följer sedan med resultatrapporteringen från analyslaboratoriet till SVALA. Skulle inte SVALA hitta ID för ett resultat som analyslaboratoriet skickar in larmar SVALA genom e-post. På detta sätt garanteras att resultat matchar den aktuella kartläggningen.

B1.1.4 Positionsbestämning

Radiotaggarna används för att automatiskt positionsbestämma plats där mätning eller provtagning skett. Ingen manuell registrering ska behövas för att i anläggningen under mätning eller provtagning ange giltig position. Eftersom det i en större RKL ofta blir tusentals positioner för mätningar och provtagningar är det lätt gjort att förväxla positioner om manuell registrering krävs. Positionsbestämning med hjälp av radiotaggarna ökar kvaliteten på gjorda insatser samt sparar arbetstid och därmed kostnader.

B1.1.5 QA

Kvalitetssäkringen av insatserna under RKL eller friklassningsmätning bestäms till stora delar av det QA-system som finns på plats och tillämpas i projektet. Insatserna, såväl mätning som provtagning, som vidare datahantering och utvärdering bör vara instruktionsstyrda för att göra arbetet tydligt och möjligt för andra att upprepa.

Samtliga inblandade roller och deras ansvar behöver likaså definieras och beskrivas som del av projektet.

All dokumentation inom projektet ska klara bolagets interngranskning och andra krav.

Se till att alla instrument är kalibrerade innan projektstart.



Figur B-4. Utrustning för att dokumentera var provtagning sker i anläggningen.

B1.2 Praktiskt genomförande

För att praktiskt genomföra RKL och friklassningsmätning krävs bland annat:

- En första kartläggingsrapport med initial riskkategorisering av alla lokaler.
- Inventering av alla lokaler och byggnader.
- Lokaler och byggnader tömda på lös utrustning.
- Initialt mät- och provprogram för varje bedömd risknivå:
 - Hur mycket måste mätas och provtas?
 - Vad ska mätas och provtas?
 - Hur ska det mätas och provtas?
 - Är den statiska utvärderingen förberedd?
- Inventeringens objekt överfört till databasens kartläggningsträd:
 - Ladda samtidigt upp foton från varje lokal eller objekt så att det är åtkomligt från kartläggningsträdet.
- Mät- och provningsutrustning som är testad för uppgiften:
 - Tillräcklig integrationstid vid mätning.
 - Tillräckligt lågt MDA för mätutrustning.
- Godkända nuklidvektorer för berörd anläggning.
- Friklassningsnivåer översatta till den aktuella mät- och provningsutrustningen.
- Databas som är testad för uppgiften.
- Instruktioner för alla relevanta delar.
- Utbildad personal för mätning och provning, databashantering, utvärdering och rapportering.
- Dedikerad arbetsstyrka för de olika rollerna.

- Mätare.
 - Granskare.
 - Godkännare.
 - Admin.
 - Utvärdering av resultat.
 - Rapportskrivning.
 - Myndighetsunderlag.
 - Redundans för de olika rollerna.
- radiotagg placeras ut i anläggningen i samband med mätning eller provtagning, eller i förväg om möjligt
 - en realistisk tidsplan.

För friklassningsmätningen krävs också att nivåer beräknas för vilka åtgärder krävs, beaktat den statistiska osäkerheten. Dessa nivåer behöver finnas framme under friklassningsmätningen så att mätpersonal kan reagera direkt då friklassningsmätning sker.

Det kan finnas behov att göra flera mätningar på samma objekt för att få en uppfattning om spridningen i data, samt att jämföra mellan olika utrustningar/mätteam. En viss mängd upprepade riktade mätningar och en del upprepade slumpmässiga kan behövas. Omfattningen av de upprepade riktade och slumpmässiga mätningarna kan vara i storleksordningen 1–3 % vardera.

B1.2.1 Mätningar

Mätningar behöver göras både inomhus och utomhus under både RKL och friklassningsmätning. Med Canberra Colibri har två olika typer av mätningar förberetts:

1. Svepande mätningar med en (eller flera) större scintillationsdetektor (DP8):
 - Används på den stora majoriteten av golvytor och väggytor upp till 2m under RKL för att få en radiologisk överblick av tillståndet i anläggningen.
 - En RFID placeras på varje yta som ska mätas.
 - Mätningen genomförs med Canberra Colibri och med en till åtta DP8-prober anslutna parallellt.
 - DP8-proberna sveps över mätytan i ett mönster och med en hastighet som är instruktionsstyrd.
 - Mätfiler överförs till SVALA dagligen och utvärderas löpande.
 - Medelvärdesbildning görs i SVALA som också sparar maxvärde.
 - Förhöjd aktivitet markeras för att eventuellt mätas mer noggrant som en avgränsad ruta.
 - Figur B-5 visar en enkel mätvagn med två DP8-prober monterade.
2. Hela ytan i en avgränsad ruta mäts med en alfa-beta scintillationsdetektor (Canberra SAB-100) och en längre integrationstid för varje mätning (till exempel 20 s):
 - Totalt krävs 32 mätningar för att täcka rutan och ger 32 alfa- och 32 betavärden.
 - Denna typ av mätningar kan användas då mer noggrannare mätningar av enskilda områden behövs.
 - En RFID placeras vid rutan.
 - Medelvärdesbildning för rutan görs i SVALA, som också sparar maxvärde.
 - Figur B-6 visar hur en ruta kan se ut.
 - Figur B-7 visar resultaten i SVALA från mätning av en ruta.

Samtidigt som mätning sker med scintillationsdetektorerna mäter Canberra Colibri även dosrater.



Figur B-5. Mätvagn med plats för två DP8-scintillationsdetektorer monterade för svepande mätning av golvytor. Mätdata från bägge probena samlas i en Colibri mätdatafil.



Figur B-6. Ruta för noggrannare mätning med scintillationsdetektor Canberra SAB 100.

Namn	Data	Typ	Registrerat	Reg. av
armärkning	Beskrivning: Ruta på vägg		2009-11-05 16:40:44	System, Converting /...
91008000 akv	0,9 kB	skv	2009-11-30 10:21:29	Lider, Per / SRW
ägare	RAN (Ranstad)		2009-09-16 16:21:02	System, Converting /...
SAB(G)-100_00085_0007.csv	54,2 kB	csv	2009-11-28 19:24:12	Lider, Per / SRW
övriga mätvär...	Strökhov Total Bq	Planerad	2009-12-03 11:45:16	Stöknatt, Gustav / R...
SV101V120	0,00 kB/m ²		2009-11-05 16:40:44	System, Converting /...
SV101V120RV1		3401	2009-11-05 16:40:44	System, Converting /...
..				
Totala	5,00E+00eps (2009-10-07 16:48:18)	Uppläsnings...	2009-11-28 19:24:12	Lider, Per / SRW
scint				
Totala	1,00E+00cps (2009-10-07 16:48:47)	Uppläsnings...	2009-11-28 19:24:12	Lider, Per / SRW
scint				
Totala	5,00E+00eps (2009-10-07 16:49:14)	Uppläsnings...	2009-11-28 19:24:12	Lider, Per / SRW
scint				
Totala	1,00E+00cps (2009-10-07 16:45:45)	Uppläsnings...	2009-11-28 19:24:12	Lider, Per / SRW
scint				
Totala	1,00E+00cps (2009-10-07 16:50:11)	Uppläsnings...	2009-11-28 19:24:12	Lider, Per / SRW
scint				
Totala	5,00E+00eps (2009-10-07 16:50:38)	Uppläsnings...	2009-11-28 19:24:12	Lider, Per / SRW
scint				
Totala	2,00E+00cps (2009-10-07 16:51:05)	Uppläsnings...	2009-11-28 19:24:12	Lider, Per / SRW
scint				
Totala	5,00E+00eps (2009-10-07 16:51:37)	Uppläsnings...	2009-11-28 19:24:12	Lider, Per / SRW
scint				
Totala	1,00E+00cps (2009-10-07 16:52:36)	Uppläsnings...	2009-11-28 19:24:12	Lider, Per / SRW
scint				
Totala	0,00E+00cps (2009-10-07 16:52:35)	Uppläsnings...	2009-11-28 19:24:12	Lider, Per / SRW
scint				
Totala	5,00E+00eps (2009-10-07 16:53:02)	Uppläsnings...	2009-11-28 19:24:12	Lider, Per / SRW
scint				
Totala	1,50E+00cps (2009-10-07 16:53:28)	Uppläsnings...	2009-11-28 19:24:12	Lider, Per / SRW
scint				
Totala	5,00E+00eps (2009-10-07 16:53:55)	Uppläsnings...	2009-11-28 19:24:12	Lider, Per / SRW
scint				
Totala	2,00E+00cps (2009-10-07 16:54:26)	Uppläsnings...	2009-11-28 19:24:12	Lider, Per / SRW
scint				
Totala	1,00E+00cps (2009-10-07 16:54:52)	Uppläsnings...	2009-11-28 19:24:12	Lider, Per / SRW
scint				
Totala	1,00E+00cps (2009-10-07 16:55:20)	Uppläsnings...	2009-11-28 19:24:12	Lider, Per / SRW
scint				
Totala	1,00E+00cps (2009-10-07 16:55:51)	Uppläsnings...	2009-11-28 19:24:12	Lider, Per / SRW
scint				
Totala	0,00E+00cps (2009-10-07 16:56:17)	Uppläsnings...	2009-11-28 19:24:12	Lider, Per / SRW
scint				
Totala	0,00E+00cps (2009-10-07 16:56:45)	Uppläsnings...	2009-11-28 19:24:12	Lider, Per / SRW
scint				
Totala	5,00E+00eps (2009-10-07 16:57:15)	Uppläsnings...	2009-11-28 19:24:12	Lider, Per / SRW
scint				
Totala	0,00E+00cps (2009-10-07 16:57:47)	Uppläsnings...	2009-11-28 19:24:12	Lider, Per / SRW
scint				
Totala	4,00E+00cps (2009-10-07 16:58:14)	Uppläsnings...	2009-11-28 19:24:12	Lider, Per / SRW
scint				
Totala	2,00E+00cps (2009-10-07 16:58:43)	Uppläsnings...	2009-11-28 19:24:12	Lider, Per / SRW
scint				
Totala	1,00E+00cps (2009-10-07 16:59:09)	Uppläsnings...	2009-11-28 19:24:12	Lider, Per / SRW
scint				
Totala	5,00E+00eps (2009-10-07 16:59:36)	Uppläsnings...	2009-11-28 19:24:12	Lider, Per / SRW
scint				
Totala	1,00E+00cps (2009-10-07 17:00:03)	Uppläsnings...	2009-11-28 19:24:12	Lider, Per / SRW
scint				
Totala	1,50E+00cps (2009-10-07 17:00:30)	Uppläsnings...	2009-11-28 19:24:12	Lider, Per / SRW
scint				
Totala	2,00E+00cps (2009-10-07 17:00:59)	Uppläsnings...	2009-11-28 19:24:12	Lider, Per / SRW
scint				
Totala	1,50E+00cps (2009-10-07 17:01:27)	Uppläsnings...	2009-11-28 19:24:12	Lider, Per / SRW
scint				
Totala	5,00E+00eps (2009-10-07 17:01:55)	Uppläsnings...	2009-11-28 19:24:12	Lider, Per / SRW
scint				
Totala	2,50E+00cps (2009-10-07 17:02:22)	Uppläsnings...	2009-11-28 19:24:12	Lider, Per / SRW
scint				
Totala	1,50E+00cps (2009-10-07 17:02:50)	Uppläsnings...	2009-11-28 19:24:12	Lider, Per / SRW
scint				
Totala	0,00E+00cps (2009-10-07 16:47:51)	Uppläsnings...	2009-11-28 19:24:12	Lider, Per / SRW
balgrundm...				
scint medel				
Totala	1,06E+00cps (2009-11-28 19:29:44)	Beräknad	2009-11-28 19:24:12	Lider, Per / SRW
scint max				
Totala	4,00E+00cps (2009-11-28 19:29:44)	Beräknad	2009-11-28 19:24:12	Lider, Per / SRW

Figur B-7. Mätvärden för den blåmarkerade rutan visas i det högra fönstret.

B1.2.2 Provnig

Provnig behöver göras både inomhus och utomhus under både RKL och friklassningsmätning. Flera typer av provtagningar är beskrivna i instruktioner och SVALA är förberedd för att dels registrera proven och ta emot resultatfiler från utvärdering. Aktuella provtagningstyper är

- materialprov,
- borrhprov,
- borrhkärneprov,
- vattenprov.

B1.2.3 Skalbarhet

Det kan skilja en faktor hundra mellan mängden mätningar och provningar för RKL jämför med friklassningsmätning, vilket behöver beaktas. Främst påverkas tiden för att genomföra alla mätningar och ta alla prover. En del tid sparas genom att använda redan beprövade metoder (utrustning, databas, utvärdering).

B1.3 Erfarenhetsåterföring

Även om R2-avvecklingsprojektet är pågående och RKL inte är avklarad går det ändå att göra en erfarenhetsåterföring av gjorda insatser så här långt.

B1.3.1 Utveckling av system

Den version av SVALA för RKL som R2-avvecklingsprojektet använder är en utveckling av den version som användes för RKL i Ranstad 2009–2010. Utvärderingen efter Ranstad RKL visade att SVALA fungerade bra för att ta emot en stor mängd data från instrument men att en del funktionalitet saknades. Avsaknaden av ett positioneringssystem noterades, det behövdes även bättre möjlighet att söka provningar och mätningar.

SVALA-funktionaliteten och positioneringssystemet i sig tog ett halvår att utveckla (från start till leverans), men den längsta tiden åtgick till att få en av de större instrumenttillverkarna att integrera stöd för den industristandard av RFID som valdes (det finns tre RFID-standarder). Instrumenttillverkaren behövde mer än ett år på sig att implementera RFID-stödet mot den utrustning som ingick i positioneringssystemet.

B1.3.2 Livslängd på data

Genom att ha kvalitetssäkrade data redan från RKL kan livslängden på dessa data förlängas och möjliggöra besparingar senare i projektet. En vanlig hantering vid tidigare projekt har varit att RKL-data inte används till mer än RKL, och att därmed livslängden på data blivit kort.

B1.3.3 Kompetens och resurser för hantering av data

En striktare hantering av data, och ett mer instruktionsstyrt genomförande av RKL innebär en längre startsträcka i projektet. Mer utbildning och en del nytänkande krävs speciellt då personal med olika erfarenhet samlas kring ett nytt sätt att arbeta.

Erfarenheten så här långt är ändå att alla inblandade strävar efter samma mål och att har hjälps åt för att få ett system och en hantering som fungerar i verkligheten. Ett mål i sig har varit att få ner antalet manuella registreringar som behöver göras under RKL till ett minimum, tidigare erfarenheter visar att det blir felregistreringar i en liten andel, och att det kan vara svårt att veta vilken denna andel är, vilket i sig kan minska trovärdigheten för arbetssättet och resultatet.

B1.3.4 QA

Erfarenheten så här långt i R2-avvecklingsprojektet är att den ökade ambitionen vad gäller kvalitets-säkring kommer att löna sig i längden, även om uppstartsträckan blir längre än jämfört med RKL i tidigare projekt. Det är också sagt att system utvecklade för R2-avvecklingsprojektet ska användas av SVAFO för andra kommande projekt. Då kan en större synergieffekt erhållas eftersom personal och rutiner redan är bekanta med befintliga system.

Informationshantering och mjukvarustöd

C1 Informationshantering och mjukvarustöd

Denna bilaga beskriver informationshantering och mjukvarustöd vid radiologisk kartläggning (RKL) och friklassningsmätning.

C1.1 Informationskedja

Det är ofta många programvaror som behöver utbyta information i ett större projekt och i ett bolag. De data som samlas in och behandlas vid RKL och friklassningsmätning kommer att efterfrågas i andra sammanhang både inom och utanför projektet och bolaget. Därför är det viktigt att mjukvaran för RKL och friklassningsmätning både kan ta in data från andra system och lämna information vidare till andra system, ofta behöver detta ske med kort varsel för att ge aktuell status.

C1.2 Kvalitet i varje steg

I hela informationskedjan är det viktigt att informationen har rätt kvalitet i varje steg. Rätt kvalitet innebär inte bara att data i sig är kvalitetssäkrade utan också att den som utvärderar och tolkar information har rätt kunskap och gör rätt tolkning, samt att data presenteras och rapporteras på ett riktigt sätt.

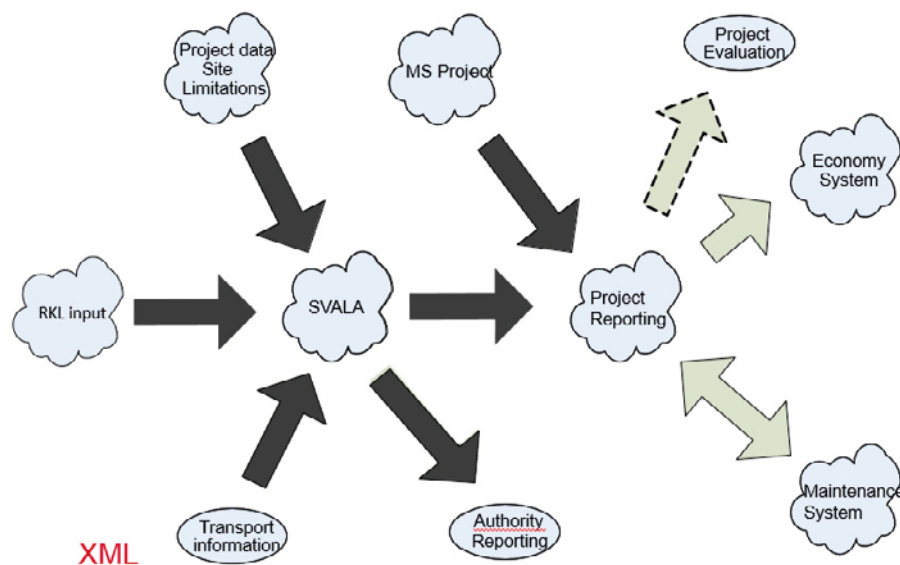
Kvalitet i varje steg behöver genomsyra kontrollprogrammet för RKL och friklassningsmätningen.

C1.3 Integrerad informationshantering

För att få en informationskedja med kvalitet i varje steg krävs en integrerad informationshantering. Information som samlats in i ett system ska inte manuellt behöva överföras till ett annat system, utan de system som används behöver kunna importera och exportera information i rimlig omfattning. I praktiken visar det sig att samma information ofta behövs i flera system.

C1.4 Exempel från verkligheten

Figur C-1 visar ett exempel från Studsvik hur en integrerad informationshantering har används. En mängd data behövs i SVALA för avfallsprojekt, såsom transport- och avfallsinformation. För avvecklingsprojekt behövs motsvarande RKL-information. Från SVALA behöver information exporteras vidare inom projektet och som underlag för myndighetsrapportering.



Figur C-1. Information från RKL och friklassningsmätning behöver integreras i flera andra system. Där stora mängder information behöver flyttas mellan olika databaser görs detta med fördel med XML-standard.

C1.5 Erfarenheter från tidigare projekt

Erfarenheten från tidigare projekt vad gäller en integrerad informationshantering för avvecklingsprojekt är i Sverige ganska begränsad. Till de någorlunda nyligen genomförda avvecklingsprojekten kan räknas ACL i Studsvik och Ranstadsverket.

ACL-projektet började använda en databas för mät- och provningsdata under projekttiden men hade inte frågeställningen med från början.

För avvecklingen i Ranstad har det genom åren varit olika inblandade aktörer, med olika infallsvinklar till och olika fokus på hur en integrerad informationshantering bäst sker.

Avvecklingen i Studsvik R2-reaktorn pågår och avvecklingen i Barsebäck förbereds. Det är i dessa projekt som den integrerade informationshanteringen kommit längst, men mer finns att göra för att få en optimal informationshantering vid avveckling.

Bland erfarenheterna utomlands kan nämnas två exempel:

- 1 ENRESA har för avvecklingen av kkv José Cabrera integrerat informationshanteringen ganska långt, och har haft ett uttalat mål att kvalitetssäkra informationen under projektet [ICEM2013-96227].
- 2 SCK-CEN har för avvecklingen av kkv BP3 och bränslefabriken Belgo Nucleaire utvecklat en informationshantering liknande SVALA för att få god spårbarhet på avfallet från projekten. Se vidare i [ICEM2013-96317].

Kartläggning och friklassningsmätning i hypotetisk anläggning

Denna bilaga beskriver omfattningen av en radiologisk kartläggning (RKL) och friklassningsmätning (FKM) i en hypotetisk anläggning.

D1 Anläggningen

Anläggningen användes under många år för radiologisk verksamhet men är nu tagen ur drift och ska rivas efter friklassning. Då anläggningen togs ur drift fanns lokaler med samtliga riskkategorier, från *extremt liten risk för förorening* till *ej föremål för friklassning*, se tabell D-1, där en riskkategori ansatts per lokal utifrån bedriven verksamhet. De finns ingen mark som tillhör anläggningen, all drift har skett inomhus. Total golvyta i anläggningen är ca 2 500 m², varav ca 70 m² som icke-kontrollerat område.

D1.1 Anläggningsbeskrivning

Byggnaden uppfördes på 1960-talet med en tillbyggnad som ansluter direkt till huset på västra sidan (annan kärnteknisk anläggning på samma område), och har inrymt verksamhet med hantering av bestrålade preparat. Vissa av lokalerna användes som kontors- och konferensrum. Byggnaden är utförd i fyra plan (ca 31 × 20 m per våningsplan) och innefattade i huvudsak följande lokaler:

- I källarplanet: Verkstad, med en mindre maskinpark, aktivt laboratorium, isotoplaboratorium, preparatbank och kulvert för aktivt avlopp, vidare utrymmen såsom värmeundercentral och ställverk.
- I markplanet: Lokaler för blyceller, förråd för transportskydd, lager och kontor.
- På övervåningen: Kontor och aktiveringslaboratorier.
- I vindsvåningen: Fläktar och filter för aktiv ventilation och fläktar för rörpostsystemet samt utrymmen för placering av avfall.
- Entré, korridorer och omklädningsrum användes gemensamt för de verksamma företagen.

D1.2 Verksamhetsbeskrivning

Vid anläggningen utfördes hantering av olika ämnen före och efter bestrålning. Förberedelser inför samt hantering efter bestrålning av isotoperna utfördes. Isotoperna placerades därefter i transportskydd. Hantering i celler och handskboxar har ingått i den dagliga verksamheten.

System i anläggningen är

- aktivt ventilationssystem,
- aktivt avloppssystem,
- kraftförsörjning,
- system för isotopverksamhet,
- ett rörpostsystem finns, är ungefär 100 m långt och binder samman bestrålningsposition och mottagningscellen i byggnaden.

Allmänna försörjningssystem är

- ventilationssystem,
- avloppssystem,
- värmesystem,
- dejonatsystem,
- renvattensystem/stadsvattensystem,
- kylvattensystem (brackvatten),
- tryckluftssystem,
- elsystem.

D1.3 Händelser vid anläggningen samt till byggnaden hörande system

De lokaler i byggnaden som utnyttjats för verksamheten förväntas ha en relativt sett hög grad av kontaminering i förhållande till medelvärdet för svenska anläggningar.

Översvämningar har förekommit i källaren, mindre rörläckage likaså.

I den mån historisk kontamination finns så härstammar den från tidigare verksamheter och det finns ytor i golvet som innehåller kontamination men som målades in vid tidigare renovering.

I källarplanets verkstad bearbetades diverse material. En viss risk finns dock att Co-60, numera inmålade, finns kvar i väggarna.

Ventilationssystemet kan befaras vara kontaminerat eftersom ett visst genombrott genom filtren från respektive installation kan ha uppkommit genom många års användning.

Det rörpostsystem som binder samman en position i reaktorn och mottagningscellen på anläggningen befaras vara kraftigt kontaminerat på insidan.

I några utrymmen befaras det finnas kontamination i golvet ytskikt. Golvytan underhölls frekvent och kan därför via upprepade epoxiskikt dölja kontamination.

Risken för *hot spots* i anläggningen är liten förutom i använda celler, där *hot spots* förekommer.

D2 Radiologisk kartläggning och friklassningsmätning

Strategin för den radiologiska kartläggningen följer beskrivningen i rapportens kapitel 4 och 7. Fokus läggs på att arbeta enligt DQO. RKL ska resultera i en uppdelning av anläggningen i homogena paket. Delar som är homogena med avseende på riskkategori, nuklidvektor, kontaminationsförekomst och grad av kontamination. Strategin för friklassningsmätningen följer beskrivningen i rapportens kapitel 7.

D2.1 Anläggningens uppdelning i riskkategorier

Följande uppdelning i riskkategorier görs för anläggningens olika lokaler:

Tabell D-1. Anläggningens lokaler per riskkategori.

Riskkategori	Antal lokaler	Ungefärlig golvyta/m ²
Extremt liten risk för förorening	2	70
Liten risk för förorening	3	100
Risk för förorening	23	790
Förorenat över friklassningsgräns	36	1230
Ej aktuellt för friklassning	9	310

D2.2 Mätning och provning

Den typ av mätning och provning som avses genomföras under RKL och FKM visas i tabell D-2. Mätningarna består av pulsrats- och dosratsmätningar, samt mätningar med ISOCS. Provningarna består av strykprover, materialprover, borrhoprover (ger ett pulver som prov) samt borrhörneprover (ger en borrhörna som prov).

En stor del av mätningarna och provningarna under RKL är riktade systematiska insatser baserade på anläggningshistorik. De slumpvisa RKL-mätningarna är främst pulsratsmätningarna i rutnät på golv och väggar. Under FKM är mätningarna systematiska och heltäckande.

Om RKL-mätningarna görs slumpmässigt efter stratifiering kan de mätningarna även användas för friklassningen om inga saneringsåtgärder behöver göras. Vilket innebär att det då inte behövs fullt så många mätningar för FKM. Denna möjlighet är inte inräknad nedan.

Tabell D-2. Provning och mätning under RKL och FKM.

Riskkategori	Fas	Provn./Mätn.	Var	Kommentar
Extremt Liten Risk	RKL	E A		
	FKM	E A		
Liten Risk	RKL	Strykprov	Lokalens mest belastade yta	Antag golv
	RKL	Strykprov	Ytorna närmast klassad zon	Antag golv + två väggar
	RKL	Pulsrat	Stickprov på lokalens högst belastade yta	Antag golv
	RKL	Pulsrat	Lokalens allmännivå	Bakgrundsvärde. Antag mitt på golv
	FKM	Pulsrat	Stickprov på lokalens högst belastade yta	Antag golv i tömd lokal
	FKM	Strykprov	Som för RKL	Antag golv i tömd lokal
Risk	RKL	Strykprov	Samlingsprov för samtliga inloppskanalers ventilation	
	RKL	Strykprov	Utloppskanal ventilation	
	RKL	Strykprov	Lokalens mest belastade yta	Antag golv
	RKL	Strykprov	Ytorna närmast klassad zon	Antag golv + två väggar
	RKL	Pulsrat	Rutnät med en integrerande mätning (tex 20 s) per kvm	Antag golv + två m upp på väggarna
	RKL	Materialprov	Samlingsprov på lokalens mest belastade ytor	Antag golv
	RKL	Materialprov	Ett skrapprov per avlopp	
	RKL	Dosrat	Lokalens allmännivå	Antag mitt på golv
	RKL	ISOCS	I repr. lokaler för att bestämma nuklidvektor	
	FKM*	Pulsrat	Sakta svepande mätning över hela ytan (alla m ²)	Golv + väggar upp till 2 m. Använd op. gränsvärde cps
	FKM*	Strykprov	Som för RKL	
FKM*	Materialprov	Ett skrapprov per avlopp		
Förorenat över friklassningsgräns	RKL	Materialprov	Slam ur lokalens tankar och behållare	
	RKL	Materialprov	Riktade insatser	
	RKL	Materialprov	Ett skrapprov per avlopp	
	RKL	Strykprov	Samlingsprov för samtliga inloppskanalers ventilation	
	RKL	Strykprov	Utloppskanal ventilation	
	RKL	Materialprov	Borrprov om misstanke om djupt liggande kontamination	Lägg till manuellt vid behov
	RKL	Pulsrat	Stickprov på lokalens högst belastade yta	Antag golv + två m upp på väggarna
	RKL	Dosrat	Lokalens allmännivå	Antag mitt på golv
	RKL	Pulsrat	På system och utrustningar i lokalen	
	RKL	Dosrat	På system och utrustningar i lokalen	
	RKL	ISOCS	I repr. lokaler för att bestämma nuklidvektor	
	FKM	E A		Inga provningar eller mätningar ska göras
	Ej aktuellt för friklassning	RKL	Materialprov	Slam ur lokalens tankar och behållare
RKL		Materialprov	Riktade insatser	
RKL		Materialprov	Ett skrapprov per avlopp	
RKL		Strykprov	Samlingsprov för samtliga inloppskanalers ventilation	
RKL		Strykprov	Utloppskanal ventilation	
RKL		Materialprov	Borrkärneprov för djupt liggande kont och inducerad akt	Lägg till manuellt vid behov
RKL		Pulsrat	Stickprov på lokalens högst belastade yta	Antag golv
RKL		Dosrat	Lokalens allmännivå	Antag mitt på golv
RKL		Pulsrat	På system och utrustningar i lokalen	
RKL		Dosrat	På system och utrustningar i lokalen	
FKM		E A		Inga provningar eller mätningar ska göras

*) Även för områden sanerade från de initiala riskkategorierna Förorenat över friklassningsgräns och Ej aktuellt för friklassning.

Omfattningen av mätningarna och provningarna framgår av tabell D-3. Totala antalet provningar eller mätningar för varje rad i tabellen är summan av Antal per Lokal och Antal per Objekt multiplicerat med Antal objekt.

Tabell D-3. Mät- och provtagningsomfattning för RKL och FKM.

Riskkategori	Fas	Provn./Mätn.	Var	Antal/ Lokal	Antal/ Objekt	Antal objekt	Kommentar
Extremt Liten Risk	RKL	E A					
	FKM	E A					
Liten Risk	RKL	Strykprov	Lokalens mest belastade yta	1		3	Antag golv
	RKL	Strykprov	Ytorna närmast klassad zon	3		3	Antag golv + två väggar
	RKL	Pulsrat	Stickprov på lokalens högst belastade yta	1		3	Antag golv
	RKL	Pulsrat	Lokalens allmännivå	20		3	Bakgrundsvärde. Antag mitt på golv
	FKM	Pulsrat	Stickprov på lokalens högst belastade yta	20		3	Antag golv i tömd lokal
	FKM	Strykprov	Som för RKL	3		3	Antag golv i tömd lokal
Risk	RKL	Strykprov	Samlingsprov för samtliga inlopps-kanalers ventilation	1		23	
	RKL	Strykprov	Utloppskanal ventilation		1	23	
	RKL	Strykprov	Lokalens mest belastade yta	1		23	Antag golv
	RKL	Strykprov	Ytorna närmast klassad zon	3		23	Antag golv + två väggar
	RKL	Pulsrat	Rutnät med en integrerande mätning (tex 20 s) per kvm	1		1185	Antag golv + ca. två m upp på väggarna
	RKL	Materialprov	Samlingsprov på lokalens mest belastade ytor	1		23	Antag golv
	RKL	Materialprov	Ett skrapprov per avlopp		1	23	
	RKL	Dosrat	Lokalens allmännivå	20		23	Antag mitt på golv
	RKL	ISOCS	I repr. lokaler för att bestämma nuklidvektor	0,5		23	
	FKM	Pulsrat	Sakta svepande mätning över hela ytan (varje m ²)		20	1185	Golv + väggar upp till ca. 2 m. Använd op. gränsvärde cps
	FKM	Strykprov	Som för RKL	5	1	23	
	FKM	Materialprov	Ett skrapprov per avlopp		1	23	
	FKM*	Pulsrat	Sakta svepande mätning över hela ytan (varje m ²)		20	1845	Golv + väggar upp till ca. 2 m. Använd op. gränsvärde cps
	FKM*	Strykprov	Som för RKL	5	1	36	
	FKM*	Materialprov	Ett skrapprov per avlopp		1	36	
	FKM**	Pulsrat	Sakta svepande mätning över hela ytan (varje m ²)		20	465	Golv + väggar upp till ca. 2 m. Använd op. gränsvärde cps
	FKM**	Strykprov	Som för RKL	5	1	9	
	FKM**	Materialprov	Ett skrapprov per avlopp		1	9	

Riskkategori	Fas	Provn./Mätn.	Var	Antal/ Lokal	Antal/ Objekt	Antal objekt	Kommentar
Förorenat över friklassningsgräns	RKL	Materialprov	Slam ur lokalens tankar och behållare		1	36	
	RKL	Materialprov	Riktade insatser	1		36	
	RKL	Materialprov	Ett skrapprov per avlopp		1	36	
	RKL	Strykprov	Samlingsprov för samtliga inloppskanalers ventilation	1		36	
	RKL	Strykprov	Utloppskanal ventilation		1	36	
	RKL	Materialprov	Borrprov om misstanke om djupt liggande kontamination	1		36	Lägg till manuellt vid behov
	RKL	Pulsrat	Stickprov på lokalens högst belastade yta	20		36	Antag golv + två m upp på väggarna
	RKL	Dosrat	Lokalens allmännivå	20		36	Antag mitt på golv
	RKL	Pulsrat	På system och utrustningar i lokalen	3	1	36	
	RKL	Dosrat	På system och utrustningar i lokalen	3	1	36	
	RKL	ISOCS	I repr. lokaler för att bestämma nuklidvektor	0,5		36	
	FKM	E A					Inga provningar eller mätningar ska göras förrän lokalen sanerats ner och kan uppfylla kriterierna för någon av de lägre kategorierna.
	Ej aktuellt för friklassning	RKL	Materialprov	Slam ur lokalens tankar och behållare		1	9
RKL		Materialprov	Riktade insatser	1		9	
RKL		Materialprov	Ett skrapprov per avlopp		1	9	
RKL		Strykprov	Samlingsprov för samtliga inloppskanalers ventilation	1		9	
RKL		Strykprov	Utloppskanal ventilation		1	9	
RKL		Materialprov	Borrkärneprov för djupt liggande kont och inducerad akt	1		9	Lägg till manuellt vid behov
RKL		Pulsrat	Stickprov på lokalens högst belastade yta	20		9	Antag golv
RKL		Dosrat	Lokalens allmännivå	20		9	Antag mitt på golv
RKL		Pulsrat	På system och utrustningar i lokalen	3	1	9	
RKL		Dosrat	På system och utrustningar i lokalen	3	1	9	
FKM		E A					Inga provningar eller mätningar ska göras förrän lokalen sanerats ner och kan uppfylla kriterierna för någon av de lägre kategorierna.

*) Sanerade områden med initiala riskkategorin Förorenat över friklassningsgräns.

**) Sanerade områden med initiala riskkategorin Ej aktuellt för friklassning.

Den totala mängden mätningar och provningar framgår av tabell D-4.

Det kan konstateras från tabell D-4 att mängden mätningar under FKM är ungefär en faktor 17 fler än under RKL.

Tabell D-4. Total mängd mätningar och provningar under RKL och FKM.

Riskkategori	Fas	Antal prov	Antal mätningar
Extremt Liten Risk	RKL	0	0
	FKM	0	0
Liten Risk	RKL	12	63
	FKM	9	60
Risk	RKL	184	1657
	FKM	161	23 700
	FKM*	252	36 900
	FKM**	63	9 300
Över Friklassningsgräns	RKL	216	1 746
	FKM***	0	0
Ej aktuellt för friklassning	RKL	54	432
	FKM***	0	0
Summa:	RKL	466	3898
	FKM	485	69 960

*) Sanerade områden med initiala riskkategorin Över Friklassningsgräns.

***) Sanerade områden med initiala riskkategorin Ej aktuellt för friklassning.

***) Sanering måste först göras ner till en lägre kategori.

D2.3 Resultatutvärdering

Resultatutvärdering sker genom att jämföra resultaten (systematiska och slumpvisa) med gällande friklassningsgränser för lokal och byggnad (SSMFS 2011:2).

För de slumpvisa mätningarna måste speciell hänsyn tas till statistisk utvärdering för att säkerställa att osäkerheten i uppskattningen är acceptabel.

D2.4 Nuklidvektorer

Anläggningsspecifika nuklidvektorer bestäms med hjälp av en kombination av ISOCS-mätningar och laboratorieanalyser av materialprov (för alfa- och betaemitterande nuklider) under RKL. Det kan även bli aktuellt att använda masspektrumanalys.

D2.5 Informationshantering

All information från mätningar och provningar sparas i databas avsett för RKL och FKM, se bilaga B.

D2.6 Bemanning och tidsplanering

Bemanning och kalendertid för RKL och FKM har bedömts enligt tabell D-5. Sammantaget bedöms RKL kräva 13 manmånaders insats under knappt ett års kalendertid. FKM bedöms kräva 19 manmånaders insats under knappt ett års kalendertid. Det förutsätts att mer tidseffektiva mätningar kan genomföras under friklassningsmätningarna, till exempel med flera prover parallellt för en operatör.

Tabell D-5. Bedömd bemanning och kalendertid för RKL och FKM.

Fas	Steg	Bemanning (antal)	Kalendertid (månader)
RKL	Inventering och riskkategorisering	2	2
	Sätta upp databasen	1	1
	Planeringsrapport RKL	2	1
	Förbereda mätningar och provningar (märk upp i anläggningen)	2	1
	Genomföra mätningar och provningar	2	1
	Resultatutvärdering	1	1
	Resultatrapport RKL	1	1
FKM	Underlag till kontrollprogram för friklassning	2	2
	Förbered mätningar och provningar	1	1
	Genomför mätningar och provningar	3	4
	Resultatutvärdering	1	1
	Resultatrapport FKM	1	1

Statistikexempel

E1 Inledning

I denna bilaga redovisas ett exempel på statistisk analys av en hypotetisk friklassningsmätning för ett ytkontaminerat objekt. I exemplet antas att friklassningsmätningar har genomförts med scintillationsutrustning som kalibrerats med avseende på totalaktivitet genom parvisa mätningar med scintillationsdetektor och gammaspectroskopi och en representativ nuklidvektor som bestämts ifrån analys av förekommande nuklider i ett antal materialprover.

E2 Bestämning av parametrar

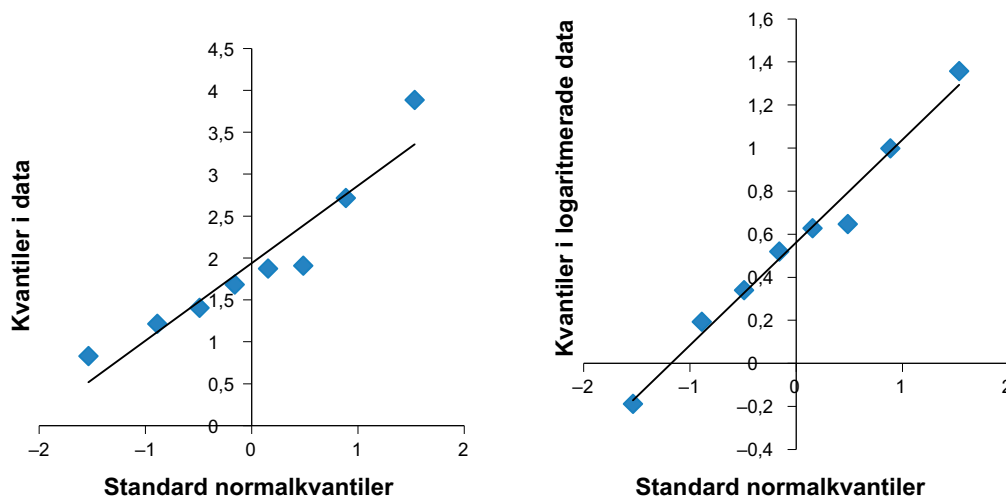
E2.1 Detektoreffektivitet

Detektoreffektiviteten (γ_D) har bestämts genom kalibrering mot gammaspectroskopiska mätningar i 8 mätpunkter enligt tabell E-1.

Genom att plotta kvantiler i data, respektive logaritmerade data mot standardnormalkvantiler (figur E-1) kan man dra slutsatsen att log-normalfördelningen ser ut att vara den bättre modellen för att beskriva osäkerheten i data vilket också syns i beräknade p-värden för normalfördelningstest (tabell E-1).

Tabell E-1. Bestämning av scint-effektivitet (γ_D) för 8 oberoende mätningar (p-värdet refererar till Lilliefors normalfördelningstest).

Mätning	γ_D cps/kBq	$\ln \gamma_D$
1	1,21	0,19
2	0,83	-0,19
3	2,71	1,00
4	1,40	0,34
5	1,68	0,52
6	1,87	0,63
7	3,88	1,36
8	1,91	0,65
Medel	1,94	0,56
Standardavvikelse	0,96	0,48
p-värde (Lilliefors test)	0,11	0,64



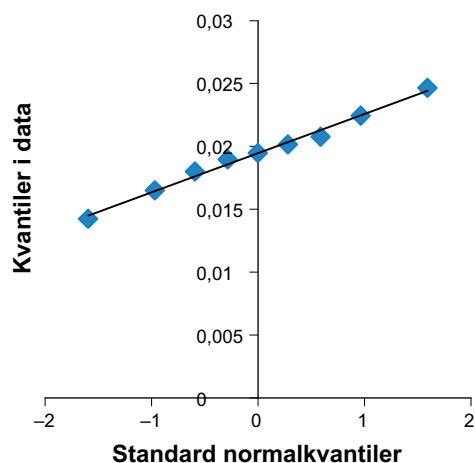
Figur E-1. Kvantilplottar med avseende på normal- respektive log-normalfördelning för scint-effektiviteten.

E2.2 Nuklidvektor

Ur 9 materialprover har nuklidsammansättningen bestämts. För nuklider som inte kunnat detekteras har konservativa beräknade värden antagits (se kapitel 6 samt bilaga 3 i friklassningshandboken (SKB 2011)). Ur dessa mätningar har 9 värden på friklassningskonstanten b bestämts (tabell E-2). Kvantilplotten (figur E-2) och normalfördelningstestet visar att det är rimligt att anta en normalmodell.

Tabell E-2. Bestämning av friklassningskonstanten från nuklidsammansättning i 8 materialprov.

Mätning	b Bq/m ²
1	0,0224
2	0,0195
3	0,0180
4	0,0202
5	0,0190
6	0,0142
7	0,0208
8	0,0165
9	0,0246
Medel	0,0195
Standardavvikelse	0,0031
p-värde (Lilliefors test)	0,98



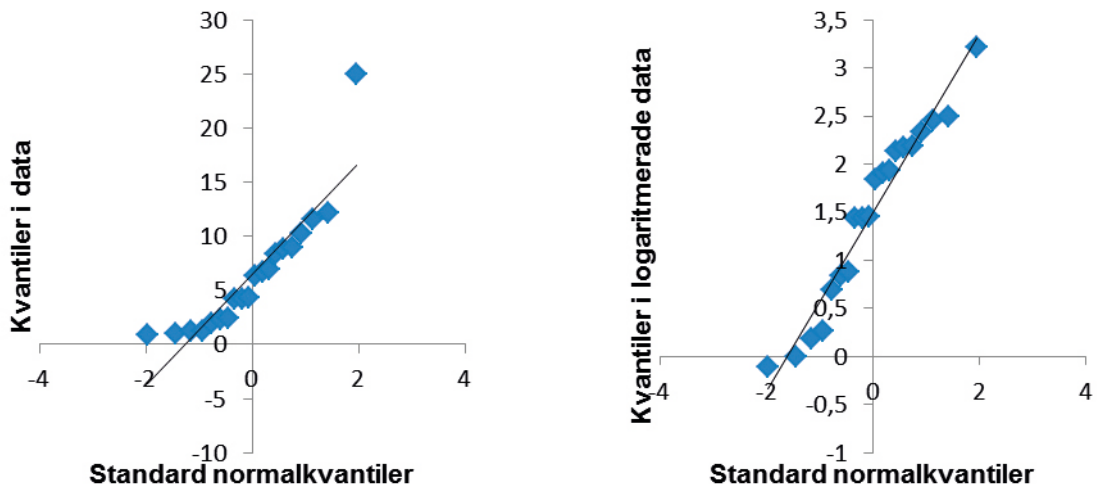
Figur E-2. Kvantilplott med avseende på normalfördelning för friklassningskonstanten.

E2.3 Nettopulsrat

Nettopulsrat (r_N) har beräknats genom parvisa mätningar i 20 mätpunkter (tabell E-3). I kvantilplottarna (figur E-3) kan man se att normalmodellen avviker från data vid låga och höga värden. Därför används lognormal-modellen vid analys av aktivitetsnivån för objektet.

Tabell E-3. Uppmätt nettopulsrat (ρN) för 20 oberoende mätningar.

Mätning	ρN m ² /cps	$\ln \rho N$
1	8,8	2,2
2	12,1	2,5
3	8,4	2,1
4	0,9	-0,1
5	4,2	1,4
6	1,3	0,3
7	10,3	2,3
8	1,2	0,2
9	2,3	0,8
10	4,3	1,5
11	6,7	1,9
12	25,0	3,2
13	4,2	1,4
14	8,9	2,2
15	2,4	0,9
16	6,9	1,9
17	2,0	0,7
18	6,3	1,8
19	11,6	2,5
20	1,0	0,0
Medel (r_N)	6,44	1,49
Standardavvikelse	5,55	0,92
p-värde (Lilliefors test)	0,16	0,30



Figur E-3. Kvantilplottar med avseende på normal- respektive log-normalfördelning för uppmätt nettopulsrat.

E3 Statistisk analys av friklassningsmätningar

E3.1 Osäkerhet i uppmätta värden

Ur uppmätt total- och bakgrundspulsrat (ρ_T respektive ρ_B) kan osäkerheten i varje enskild mätning bestämmas

$$s_{\rho_N}^2 = \frac{\rho_B}{t_B^2} + \frac{\rho_T}{t_T^2}$$

Standardavvikelsen för inteckningen s_i i varje enskild mätpunkt kan då skattas enligt

$$s_i^2 = (\gamma_D b)^2 s_{\rho_N}^2 + \left(\frac{\rho_N b}{n_\gamma}\right)^2 s_{\gamma_D}^2 + \left(\frac{\rho_N \gamma_D}{n_b}\right)^2 s_b^2$$

där n_γ och n_b är antalet mätningar vid bestämning av γ_D och b . s_{γ_D} och s_b tas från den skattade standardavvikelsen i tabell E-1 respektive tabell E-2. I tabell E-4 redovisas beräknad inteckning, standardavvikelse samt en övre gräns för ett konfidensintervall för inteckningen för uppmätta värden. Inteckningen ligger under 1 i alla mätpunkter, men i ett fall (nr 12) överstiger den övre gränsen villkoret för friklassning. Saneringsåtgärder bör övervägas för denna mätpunkt och man bör studera hur uppmätta pulsrateer är fördelade över objektet för att se om det finns ett avgränsat område med förhöjd nettopulsrat.

Tabell E-4. Beräknad inteckning (i) för uppmätt nettopulsrat inklusive bedömning av osäkerhet.

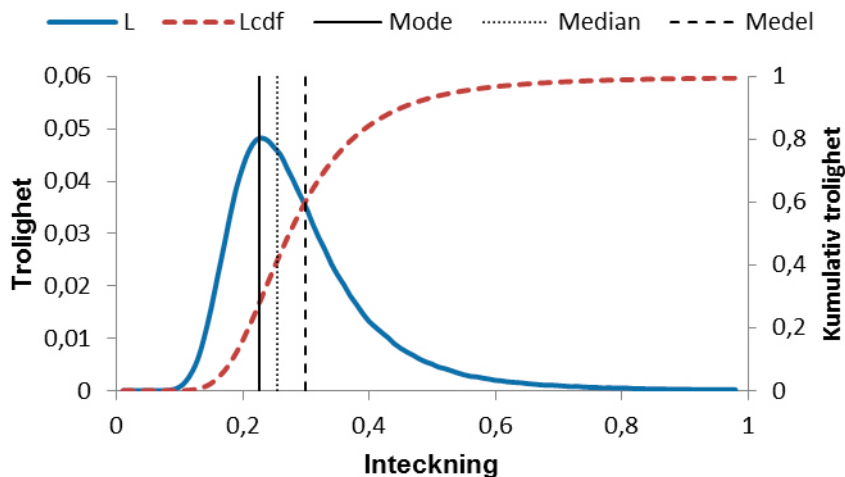
Mätning	Inteckning	s_i	$i + 1645s_i$
1	0,33	0,03	0,38
2	0,46	0,04	0,51
3	0,32	0,02	0,35
4	0,03	0,01	0,05
5	0,16	0,01	0,18
6	0,05	0,01	0,06
7	0,39	0,03	0,44
8	0,05	0,01	0,06
9	0,09	0,01	0,10
10	0,16	0,01	0,18
11	0,25	0,02	0,28
12	0,94	0,10	1,10
13	0,16	0,01	0,18
14	0,34	0,03	0,38
15	0,09	0,01	0,11
16	0,26	0,02	0,29
17	0,08	0,01	0,09
18	0,24	0,02	0,27
19	0,44	0,03	0,49
20	0,04	0,01	0,05

E3.2 Aktivitetsnivå för objektet

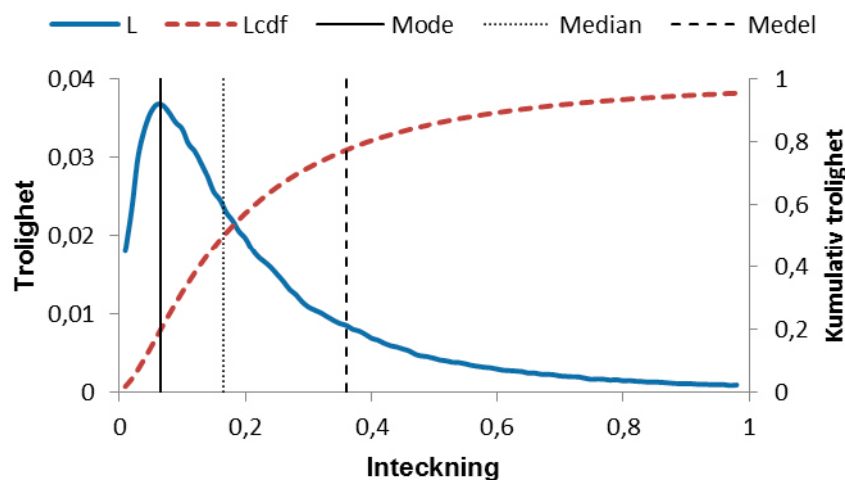
Utifrån bestämning av scint-effektivitet och friklassningskonstant samt uppmätta nettopulsrateer har skattningar av medelvärde och standardavvikelse bestämts för samtliga parametrar som behövs för beräkning av inteckningen. Osäkerhetsfördelningen (L) för inteckningens medelvärde och inteckningen i samband med en ny (hypotetisk) mätning av nettopulsrateen kan då bestämmas genom simulering (figur E-4 och figur E-5). Ur simuleringarna kan en 95 % gräns för dessa parametrar skattas (UCL95 respektive P95 i tabell E-4) genom att beräkna det värde som endast överskrids av 5 % av de simulerade värdena. En över gräns för dessa skattningar kan bestämmas genom att först beräkna

$$p = 0,95 + 1,645 \cdot \sqrt{\frac{0,95 \cdot (1 - 0,95)}{10^6}} \approx 0,9504$$

och sedan hitta det värde som endast överskrids av $(1-p) \cdot 100\%$ av alla simulerade värden.



Figur E-4. Osäkerhetsfördelning (L) och kumulativ osäkerhetsfördelning (Lcdf) för medelvärdet av in-teckningen. Fördelningen har beräknats genom simulering (10^6 simuleringar).



Figur E-5. Osäkerhetsfördelning (L) och kumulativ osäkerhetsfördelning (Lcdf) för in-teckning för en ny (hypotetisk) mätning av nettopulsraten (10^6 simuleringar).

Från simuleringen av en ny mätning kan man också beräkna den percentil som motsvarar in-teckningen 1 ($P(i=1)$) i Tabell E-4).

Resultaten från beräkningarna visar att objektet kan friklassas (trots den något höga nettopulsraten i mätpunkt nr 12) då en ny mätning av nettopulsraten med stor sannolikhet inte skulle resultera i en in-teckning större än ett (se avsnitt 8.1.2 i huvudrapporten).

Tabell E-5. Beräknade gränsvärden för in-teckningens medelvärde samt in-teckning vid en ny mätning av nettopulsrat. Den övre gränsen motsvarar den övre gränsen i ett 95% konfidens-intervall för simulerade data. $P(i=1)$ är den percentil som motsvarar in-teckning = 1.

	Gränsvärde	Övre gräns
UCL95	0,527	0,528
P95	0,938	0,941
$P(i=1)$	0,954	0,954

E3.3 Aktivitetsfördelning och förekomst av anomalier

Risken för att det förekommer en eller flera punkter med förhöjd aktivitet (anomali) följer en beta fördelning (beta (1,21)) för ett objekt med 20 uppmätta nettopulsrate. Detta ger att vi med 95 % säkerhet kan säga att sannolikheten för anomalier är mindre än 13 % och med 66 % kredibilitet är sannolikheten mindre än 5 %. Genom att även beakta objektets totalyta, riskkategori och eventuella svepande (heltäckande) mätningar från den radiologiska kartläggningen bör man kunna argumentera varför denna risknivå är acceptabel.

Friklassningsnivåer för Sovringsverket i Ranstad

F1 Sovringsverket i Ranstad – ett illustrativt exempel

I Ranstadsverket lakades uran från alunskiffer, under åren 1965–1968, med syftet att stödja den inhemska kärnbränsletillverkningen åt det svenska kärnkraftsprogrammet. Under de efterföljande åren pågick andra aktiviteter inklusive lakning av låg- och medelaktivt avfall från tillverkning av kärnbränsle. Ranstad är en kärnteknisk anläggning och följer bestämmelserna för dessa. Anläggningen består av ett antal byggnader samt stora mängder föremål, lakrester, grus, elkomponenter och brännbara material. Både friklassning och villkorad friklassning behöver appliceras för att hantera de olika materialerna som uppstår vid nedmontering och rivning av anläggningen. Avvecklingen av anläggningen genomförs etappvis och här har avvecklingen av sovringsverket valts för att illustrera ett utförligt exempel eftersom den nyligen slutfördes. Beskrivningen baseras på spridnings- och dosberäkningarna (Kemakta 2012) som utgjorde en del av ansökan för villkorad friklassning.

Eftersom det fanns olika sorters radioaktivt material var det viktigt att beskriva varje material med hänsyn till koncentration och lakbarhet för de viktigaste radionukliderna samt deras damningsbenägenhet. Det fanns även olika möjligheter för bortskaffning av det radioaktiva materialet. De olika bortskaffningsalternativen kartlagdes inklusive möjliga platser för slutgiltigt omhändertagande. Därefter var det möjligt att utvärdera olika kombinationer av radioaktivt material och bortskaffningsalternativ för att bestämma den optimala lösningen. Utvärderingen genomfördes baserat på beräkningar för utvalda scenarier.

F2 Val av scenarier

Valet av scenarier gjordes utifrån scenarier som finns redovisade i litteraturen, (speciellt IAEA 2005). För exponering av allmänheten valdes ett scenario med spridning till ett självförsörjande hushåll. De exponeringsvägar som inkluderades är brunn eller ytvattenrecipient som används som dricksvatten, ytvattenrecipient som används för fiske, mark som bevattnas med vatten från brunn eller ytvattenrecipient och mark som används för odling av grödor. Människorna intar föda i form av egenproducerade rot- och grönsaker, mjölk och kött samt exponeras för den bevattnade jorden via damning och direktintag av jord. Boskapen äter egenproducerat foder och dricker vatten från brunnen eller ytvattenrecipienten. Eftersom detta scenario omfattar många exponeringsvägar, bedöms det vara gränssättande för om erhållen dos är acceptabel.

Utöver detta möjliga scenario valdes två scenarier för framtida intrång, eftersom även villkorad friklassning innebär att kunskapen om att det förekommer radioaktivt material på platsen inte är säkerställd. I det ena intrångscenariot antas att någon bosätter sig på platsen och att i det andra antas att anläggningsarbetare exponeras vid ett vägbygge på platsen. För scenariot med boende på deponin beaktas externdos, dos via damning och direktintag av jord samt odling av rot- och grönsaker i jord som förorenats genom blandning med underliggande radioaktivt material. För anläggningsarbetare beaktas externdos och dos genom inandning av damm.

F3 Val av indata

Valet av indata gjordes så att värdena var så representativa/realistiska som möjligt men ändå med rimlig försiktighet. I tabell F-1 görs en genomgång av alla olika typer av indata med kommentarer för hur valet av parametervärden gjorts.

Tabell F-1. Sammanställning av indata för Ranstad med kommentarer för hur de valts.

Typ av data	Kommentar om val av parametervärden
Material och radionuklider	Samtliga scenarier – Radionuklidspecifika mätningar genomfördes på olika typer av radioaktivt material före rivningen. Utifrån mätningarna bestämdes vilka radionuklider som behövde ingå i beräkningarna. Vikten av material av olika typer bestämdes. Radionuklidens gammaenergi och interna dosfaktorer hämtades från allmänt tillgängliga data. Dammet antogs ha samma koncentration av radionuklider som det fasta materialet.
Extern exponering	Allmänheten – Radionuklidkoncentrationen i marken beräknas med spridningsberäkningar. Exponeringen från den förorenade marken bedöms ske huvuddelen av tiden som tillbringas utomhus. Med hänsyn till årstidsvariationer är den valda exponeringstiden i genomsnitt drygt sju timmar per dag. Geometrin för exponeringen är en "oändlig yta" (EC 1993). Ingen extern skärmning tillgodoräknades. Boende – Radionuklidkoncentrationen i marken beräknas för en utspädning med matjord, där det radioaktiva materialet utgör 3 % (EC 1999). Exponeringstid och exponeringsgeometri är samma som för självhushållningsscenarioet för allmänheten. Anläggningsarbetare – Arbetet med anlägga en väg genom området med radioaktivt material bedöms pågå under 100 timmar (IAEA 2003). Geometrin för exponering valdes som 1/3 av exponeringen från en <i>oändlig yta</i> . Ingen extern skärmning tillgodoräknades.
Intern exponering	Allmänheten – Radionuklidkoncentrationen i marken beräknas med spridningsberäkningar. Allmänt tillgängliga data används för åldersberoende oavsiktligt intag av jord, dammkoncentration i luft och för åldersberoende inandningshastighet. Exponeringstiden för inandning av damm antas vara samma som exponeringstiden för extern exponering, det vill säga huvuddelen av tiden som tillbringas utomhus. Boende – Radionuklidkoncentrationen i marken beräknas för en utspädning med matjord, där det radioaktiva materialet utgör 3 % (EC 1999). Övriga data är samma som för självhushållningsscenarioet för allmänheten. Anläggningsarbetare – Under hela anläggningsarbetstiden, 100 timmar, har dammkoncentrationen valts utifrån allmänt tillgängliga mätdata av koncentrationen i förarhytten i maskiner som arbetar i dammig miljö.
Spridning av radionuklider med vatten	Allmänheten – Lakdata bestämdes för betydelsefulla radionuklider på prover av olika typer av material. Utöver vanliga två-stegs skaktester genomfördes tre-stegs skaktester och pH-stat tester. Allmänt tillgängliga data användes för beräkning av fördröjningen i grundvattenzonen, bland annat sorptionsdata (K_d -värden). Platsspecifika data användes för yta med radioaktivt material, infiltration (rimlig bedömning utifrån nederbörd, egenskaper hos överlagrade material samt växtlighet), avstånd till brunn och ytvattenrecipient (rimlig bedömning utifrån kartor), hydraulisk gradient (topografi och mätningar i grundvattenrör), hydraulisk konduktivitet (materialprov från området), grundvattenzonens mäktighet (mätningar/kartor), porositet och densitet. Mätdata för flödet i ytvattenrecipienten. Boende – Ingår ej i detta scenario. Anläggningsarbetare – Ingår ej i detta scenario.
Spridning i näringskedjan	Allmänheten – Radionuklidkoncentrationen i marken beräknas från antagna data om odlingsyta, bevattningstakt (bevattning med vatten från brunn/ytvatten som innehåller radionuklider), odlingsdjup, densitet, porositet, nettonederbörd, bioturbation ¹ , sorptionsdata (K_d -värden). Nettoinfiltrationen har bedömts utifrån platsspecifik information om nederbörd, medan övriga data har valts utifrån allmänt tillgängliga data. Allmänt tillgängliga data gällande överföring mellan till exempel vatten–djur, jord–foder, foder–kött/mjolk och vatten–fisk. Allmänt tillgängliga data om djurens konsumtion av vatten och foder. Allmänt tillgängliga åldersberoende data gällande normal svensk konsumtion av vatten, rot- och grönsaker, mjölk, kött och fisk (till exempel Karlsson och Aquilonius 2001). Boende – Radionuklidkoncentrationen i marken beräknas för en utspädning med matjord, där det radioaktiva materialet utgör 3 % (EC 1999). Övriga data är samma som för självhushållningsscenarioet för allmänheten. Anläggningsarbetare – Ingår ej i detta scenario.

¹ Bioturbation är ett samlingsnamn för fauna (djurs) och floras (växters) omblandning och transport av material, vätskor och gaser.

F4 Osäkerhetsanalys

Parametervärden för beräkning av spridning och exponering har valts för att inte underskatta den dos som kan uppkomma i framtiden. Av olika anledningar finns det osäkerheter i valda antaganden och parametervärden. För att förstå hur dessa påverkar den beräknade dosen har ett antal variationsfall genomförts där en eller i något fall flera parametervärden har ändrats. Variationsfallen ger en förståelse för modellens känslighet för olika antaganden och parametervärden.

I variationsfallen studerades inverkan på doskonsekvensen vid ändrade parametervärden gällande bland annat inventarium, utlakningstakt, utlakad andel, infiltration genom rivningsmassorna, transportavstånd och transporttid samt fastläggning vid transporten i grundvattenzonen.

Beräkningarna för allmänheten visar att för samtliga typer av radioaktivt material domineras den maximala dosen av Ra-226 med döttrar, den dominerande exponeringsvägen är via intag av dricksvatten från brunn och den mest utsatta åldersgruppen är 12–17 år. För exponering via närmaste ytvattenrecipient domineras dosen av Ra-226 med döttrar från intag av fisk. Variationsfallen visade på störst skillnad i de beräknade doserna för ändrade värden för fastläggning samt avstånd och transporttid till brunnen.

Den beräknade dosen vid intrång domineras av Ra-226 med döttrar för både boende och anläggningsarbetare. Dosen för boende domineras av intag av rot- och grönsaker som odlas på platsen (80 % av totaldosen). För anläggningsarbetare är bidraget från externexponering ungefär 60 % och från inandning av damm ungefär 40 %.

SKB har som uppdrag att ta hand om och slutförvara radioaktivt avfall från de svenska kärnkraftverken på ett säkert sätt.

skb.se