

Rapport  
**R-15-10**  
Maj 2015



# Dekontamineringshandbok – Volym 1

## Dekontaminering vid återanvändning

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-15-10**

ID 1472534

Maj 2015

# **Dekontamineringshandbok – Volym 1**

## **Dekontaminering vid återanvändning**

Svensk Kärnbränslehantering AB

En pdf-version av rapporten kan laddas ner från [www.skb.se](http://www.skb.se).

© 2015 Svensk Kärnbränslehantering AB



# Innehåll

<b>1</b>	<b>Introduktion</b>	7
1.1	Definitionslista	8
<b>2</b>	<b>Metallers egenskaper</b>	9
2.1	Sammanfattning	9
2.2	Metallografi	9
2.2.1	Metallkristaller	9
2.2.2	Kolstål	11
2.2.3	Rostfria stål	12
2.2.4	Sensibilisering	14
2.2.5	Övriga material	15
2.3	Ytors egenskaper	15
2.3.1	Leveranstillståndet	15
2.3.2	Ytjämnhet	16
2.3.3	Adsorption	17
2.3.4	Mekanisk ytbearbetning	18
2.3.5	Kemisk ytbearbetning	19
2.4	Korrosion	20
2.4.1	Drivkraften för korrosion	20
2.4.2	Passivitet	21
2.4.3	Betnhämmare	22
2.4.4	Allmän korrosion	23
2.4.5	Galvanisk korrosion	24
2.4.6	Punktfrätning	27
2.4.7	Spaltkorrosion	27
2.4.8	Interkristallin korrosion	28
2.4.9	Interkristallin spänningskorrosion	29
2.4.10	Transkristallin spänningskorrosion	29
2.4.11	Korrosionsegenskaper för järn och stål	31
2.4.12	Rostfria ståls korrosionsegenskaper	32
2.4.13	Koppar och kopparlegeringar	33
2.4.14	Aluminium	33
2.4.15	Zinkbeläggningar	34
2.4.16	Nickel och dess legeringar	35
2.4.17	Stellite	36
<b>3</b>	<b>Förekommande material</b>	37
3.1	Sammanfattning	37
3.2	Speciella villkor vid kärntekniska anläggningar	37
3.3	Principer vid materialval	40
3.3.1	Säkerhetskrav	40
3.3.2	Reaktortanken	40
3.3.3	Interndelar	41
3.3.4	Primära system	41
3.4	Kol- och låglegerade stål	42
3.4.1	Allmänna konstruktionsstål	42
3.4.2	Tryckkärlsstål	43
3.4.3	Maskinstål	45
3.5	Rostfria stål och nickelbaslegeringar	45
3.5.1	Martensitiska rostfria stål	45
3.5.2	Ferritiska rostfria stål	46
3.5.3	Austenitiska rostfria stål	47
3.5.4	Ferrit – austenitiska (duplex) rostfria stål	48
3.5.5	Nickelbaslegeringar	49



3.6	Höghållfasta material	49
3.6.1	Allmänt	49
3.6.2	Inconel X-750 (Alloy X-750)	50
3.6.3	SS 2570 (A286)	50
3.6.4	Rostfritt stål 17-4 PH	50
<b>4</b>	<b>Aktivitetssupplemen</b>	<b>51</b>
4.1	Sammanfattning	51
4.2	BWR-miljö	51
4.3	PWR-miljö	52
4.3.1	PWR-miljö Lovisa VVER-440	52
4.3.2	PWR-miljö Ringhals	52
4.4	Aktiveringsprodukter	53
4.4.1	Produktion av korrosionsprodukter	53
4.4.2	Korrosion i processvatten	55
4.4.3	Oxidskiktens egenskaper	58
4.4.4	Deponering på bränslet	60
4.4.5	Aktivering	62
4.4.6	Aktivitetsspridning	63
4.5	Fissionsprodukter och transuraner (TRU)	65
4.5.1	Bränslet	65
4.5.2	Klyvning	66
4.5.3	Fissionsprodukter	67
4.5.4	Bränsleskador	69
4.5.5	Frigörelse av klyvningsprodukter	70
4.6	Dosrater i BWR-system	73
4.6.1	Allmänt om strålning	73
4.6.2	Reaktorvattensystem	73
4.6.3	Sekundärsystem	77
4.6.4	Ängledningar och turbinsystem	82
4.7	Dosrater i PWR-system	84
4.7.1	Lovisa 1	84
4.7.2	Ringhals 2	86
4.8	Zinkdosering	86
<b>5</b>	<b>Kvalitetssäkring – krav och rutiner vid dekontaminering</b>	<b>89</b>
5.1	Sammanfattning	89
5.2	Allmänna krav och regler	89
5.2.1	Klassning av kemikalier	89
5.2.2	Introduktion av nya kemikalier	90
5.2.3	Materialkvalificering för dekontaminering	91
5.2.4	Uppfyllnad av acceptanskriterier för slutförvar	91
5.3	Renlighet i stationen	92
5.3.1	Krav på dekontamineringskemikalier	93
5.4	Lokala krav	94
5.4.1	FKA	94
5.4.2	OKG	94
5.4.3	RAB	94
5.4.4	TVO	94
5.4.5	Lovisa	95
5.4.6	SVAFO	95
5.4.7	WSE	95
<b>6</b>	<b>Dekontamineringsmetoder</b>	<b>97</b>
6.1	Sammanfattning	97
6.2	Säkerhet vid dekontaminering	97
6.2.1	Kemiska risker	98
6.2.2	Mekaniska risker	98
6.2.3	Radiologiska risker	99
6.2.4	Sammanfattning	99

6.3	Att tänka på vid dekontaminering	100
6.4	Materialavverkning	100
6.5	Sköljning, passivering och rekontamination	103
6.5.1	Sammanfattning	103
6.5.2	Sköljteknik	103
6.5.3	Passivering	106
6.5.4	Rekontamination	107
6.6	Val av dekontamineringsmetod	109
6.7	Kemisk dekontaminering	111
6.7.1	FKA	111
6.7.2	OKG	115
6.7.3	RAB	119
6.7.4	TVO	120
6.7.5	Lovisa	123
6.7.6	SVAFO	126
6.7.7	WSE	126
6.8	Systemdekontaminering	131
6.8.1	FKA	131
6.8.2	OKG	132
6.8.3	RAB	137
6.8.4	TVO	137
6.8.5	Lovisa	137
6.8.6	SVAFO	137
6.8.7	WSE	137
6.9	Mekanisk dekontaminering	147
6.9.1	FKA	147
6.9.2	OKG	151
6.9.3	RAB	153
6.9.4	TVO	156
6.9.5	Lovisa	158
6.9.6	SVAFO	161
6.9.7	WSE	161
<b>7</b>	<b>Erfarenheter och lärdomar</b>	165
7.1	Sammanfattning	165
7.2	Dosreducering till följd av systemdekontaminering	165
7.2.1	RAB	165
7.2.2	OKG	168
7.2.3	FKA	174
7.2.4	Lovisa	175
7.2.5	SVAFO	181
7.3	Dekontamineringsmetoder som inte längre används	183
7.3.1	RAB	183
7.3.2	OKG	183
7.3.3	FKA	183
7.4	Dekontamineringsmetoder som används inom kärnkraftsbranschen men inte i Sverige och Finland	184
7.4.1	Kolsyreblästring	184
7.4.2	Diskmaskiner	184
7.4.3	Dekontamineringsutrustning för drivdon till styrtavar (DDT-2000)	186
7.4.4	Mobil dekontamineringsutrustning för tankar och rör	186
7.4.5	Reaktor- och bränslebassängsrengörare (RCC)	187
7.4.6	Reaktor- och bränslebassängsrengörare (Platom)	188
7.4.7	Laser	189
7.5	Erfarenhetsåterföring	190
	<b>Referenser</b>	193
	<b>Litteratur</b>	195
<b>Bilaga 1</b>	Dekontamineringsverkstäder vid de kärntekniska anläggningarna	197
<b>Bilaga 2</b>	Arbetsgruppen	223



# 1 Introduktion

Föreliggande handbok är en uppdatering av 1991 års utgåva. I föreliggande upplaga har också erfarenheter från de finska verken inkluderats.

Framtida uppdatering erfordras när t ex nyare rön kommer fram eller när uppgifter i handboken visar sig vara felaktiga. Kompletteringar måste även göras när nya dekontamineringsmetoder introduceras vid de kärntekniska anläggningarna.

Dekontaminering av komponenter och system är en nödvändig verksamhet på våra kärntekniska anläggningar. Med dekontaminering avses rengöring av komponenter och system från främst radioaktivitet som ansamlats på mediaberörda ytor.

Dekontamineringen kan ha olika syften, som att möjliggöra friklassning, reparation och återanvändning eller enbart för att minska dosraten för underhåll och drift av anläggningen.

Den här handboken innehåller endast information om och erfarenheter från dekontaminering för dosratssänkning, reparation och återanvändning. Handboken tar upp både kemiska och mekaniska metoder.

Dekontaminering för skrotning av komponenter tas upp i volym 2.

Målgruppen för handboken är dekontamineringspersonal med varierande teknisk bakgrund. För att helt kunna tillgodogöra sig innehållet i boken krävs det en teoretisk utbildning på minst gymnasieingenjörnivå. Förhoppningen är emellertid att även personal med lägre utbildning ska kunna tillgodogöra sig åtminstone delar av bokens innehåll.

Handboken är upplagd så att de tre första kapitlen (2–4) tar upp metaller och deras egenskaper hur de korroderar och varför, vilka metaller som förekommer i anläggningarna samt hur aktivitetssuppbbyggnaden sker i systemen. Dessa kapitel innehåller mycket teori och kan eventuellt uppfattas som lite svåra men ger en god överblick över hur metallerna och radioaktiviteten samverkar i reaktorsystemen.

Därefter kommer ett kapitel (5) om kvalitetssäkring, både av metoder som används och kemikalierna till dessa, men även hur slutförvarens kvalitetskrav på det avfall de ska ta emot påverkar vilka metoder som kan användas för dekontaminering.

I de avslutande kapitlen har anläggningsägare i Sverige och Finland beskrivit de dekontamineringsmetoder som används på respektive anläggning eller som finns tillgängliga på varje företag. Ett kapitel innehåller även ett avsnitt om risker och ett om sköljteori. Erfarenheter och lärdomar från ett antal större dekontamineringar utförda på anläggningarna redovisas också. I den avslutande bilagan presenteras ett antal olika dekontamineringsverkstäder, främst i form av bilder, tillsammans med några reflektioner angående hur man skulle ha byggt dekontverkstaden om man byggt den idag.

## 1.1 Definitionslista

BCC	Body Centered Cubic.
FCC	Face Centered Cubic.
Stål	Benämningen på järn/kol legeringar som innehåller < 2 % kol samt andra legeringselement.
Låglegerade stål	Stål som innehåller max 5 % legeringselement.
Rostfritt stål	Järnkrom legeringar innehållande mer än 12 % krom.
mdd	mg per dm <sup>2</sup> och dygn.
ipy	Inches per year (inch per år).
CRUD	Chalk River Unidentified Deposit. Huvudsakligen en korrosionsprodukt av nickelferrit spinell som avlagras på bränsleytorna i kärnreaktorer. Avlagringen kan ge upphov till spridning av aktivitet i den primära kretsen.
Deponering	Förvaring av avfall med avsikten att inte kunna återvinna det.
Dekontaminering	Vanligen avses dekontaminering i en dekontamineringsverkstad om inget annat anges, t ex systemdekontaminering. I en dekontamineringsverkstad kan både kemiska och mekaniska metoder användas.
Systemdekontaminering	Dekontaminering av ett system i ett kärnkraftverk, t ex 321, utan att någon eller några delar av systemet flyttas till dekontamineringsverkstad. Dekontamineringen sker alltså in situ. För systemdekontaminering är endast kemiska metoder möjliga att använda.
Komponentdekontaminering	Dekontaminering av en komponent. Detta kan ske in situ, på samma sätt som för systemdekontaminering eller så kan komponenten, om den är liten nog, flyttas till en dekontamineringsverkstad för dekontaminering, ex situ. Komponentdekontaminering kan ske med kemiska metoder om komponenten sitter på plats i systemet. Om komponenten flyttats till dekontamineringsverkstaden kan både kemiska och mekaniska metoder användas.
FKA	Forsmark Kraftgrupp AB.
TVO	Teollisuuden Voima Oyj eller Industrins Kraft Abp driver Olkiluoto kärnkraftverk.
OKG	Oskarshamnsverkets Kraftgrupp.
RAB	Ringhals AB.
WSE	Westinghouse Electric Sweden AB.

## 2 Metallerers egenskaper

### 2.1 Sammanfattning

I detta kapitel behandlas frågor kring metallerers egenskaper. Dekontaminatören måste känna till det material hen dagligen bearbetar med olika kemikalier.

Utan kunskaper om material och korrosion kan dekontaminatören oavsiktligt förstöra komponenter genom behandling av dessa i olämpliga kemikalier. Meningen är att dekontaminatören efter genomläsning av detta kapitel ska kunna bedöma när risk för korrosionsangrepp kan föreligga och vilka typer av korrosion som kan förekomma.

Kapitlet börjar med en allmän metallografisk beskrivning av främst de rostfria stålerna och kolstålen. Begreppet sensibilisering beskrivs lite mera utförligt.

Övriga material behandlas endast i avsnitt 2.4, "Korrosion".

I därpå följande avsnitt behandlas ytters egenskaper samt inverkan av mekanisk och kemisk bearbetning på ytstrukturer. Dekontaminatören ska vara medveten om att många dekontamineringsmetoder kan påverka ytstrukturen i positiv eller negativ riktning.

Under avsnittet om korrosion beskrivs drivkraften till korrosionsprocesserna, passivitetsbegreppet samt olika typer av korrosionsangrepp på metaller. Slutligen behandlas olika metallegeringars korrosionsegenskaper kortfattat.

De viktigaste aspekterna från detta kapitel belyser de väsentliga skillnaderna mellan mekaniska metoder t ex blästring och kemiska/ elektrokemiska metoder.

### 2.2 Metallografi

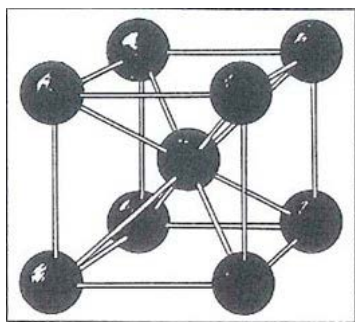
#### 2.2.1 Metallkristaller

Inom kemin uppdelas elementen i metaller och icke-metaller. Fasta och flytande metaller uppvisar metallglans och är goda ledare för både värme och elektricitet. Alla metaller utom kvicksilver är fasta vid rumstemperatur.

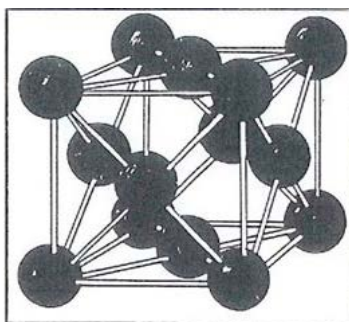
Atomerna i en metall bildar kristaller där enhetscellen är det minsta upprepningsbara mönstret. Atomerna binds till varandra av fritt rörliga yttre s k valenselektroner, som delas av omgivande atomer i gittret. Dessa fria valenselektroner gör metallerna till utmärkta ledare för elektricitet.

Utöver periodiskt kristallina material, som har en tredimensionell enhetscell, finns även aperiodiska kristaller. De ska inte förväxlas med amorfa (oordnade) material.

Ett flertal olika enhetsceller för uppbyggnad av kristallgittren förekommer. För vårt vidkommande i dekontaminerings-sammanhang är speciellt den kubiskt ytcentrerade (FCC) och kubiskt rymdcentrerade (BCC) enhetscellen intressant. Exempel på dessa finns illustrerade i figur 2-1 nedan.



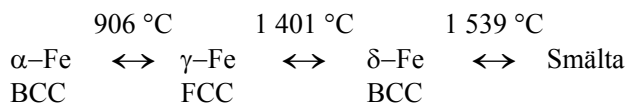
Kubiskt rymdcentrerad struktur (BCC), ferrit



Kubiskt ytcentrerad struktur (FCC), austenit

**Figur 2-1.** Kubiska kristallstrukturer. BCC = Body Centered Cubic. FCC = Face Centered Cubic.

En metall kan uppvisa flera olika konfigurationer, och kallas därför polymorf. Rent järn utan några legerings tillsatser eller föroreningar uppvisar en rymdcentrerad kubisk struktur vid temperaturer upp till 906 °C.



Vid temperaturer över 906 °C omvandlas den till austenit ( $\gamma$ -Fe) och får en ytcentrerad kubisk gitterstruktur.

Omvandlingen vid 906 °C, 1 401 °C och 1 539 °C är blixtsnabb och sker utan diffusion av atomer eller fasomvandling. Atomerna placerar sig endast lite annorlunda i förhållande till varandra.  $\gamma$ -Fe (austenit) är inte så tätpackad som  $\alpha$ -Fe (ferrit) och en densitetsskillnad uppstår.

Vid 1 401 °C omvandlas åter austeniten till BCC-gitterstruktur.

Nickel uppträder enbart med ytcentrerad kubisk tätpackad struktur medan t ex kobolt, i likhet med järn, är polymorf.

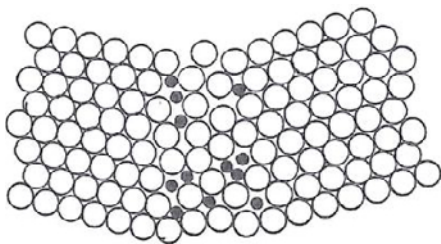
Enhetscellerna i en metall bildar oregelbundna kristaller eller korn. Detta finns åskådligt gjort i figur 2-2.

Inom varje korn har atomgittret samma orientering. Vid gränsytan mellan två korn uppstår störningar i gittret. Gränsytor kallas för korngränser och där sker företrädesvis anrikning på främmande atomer, som skiljer sig i storlek från matrisatomerna.

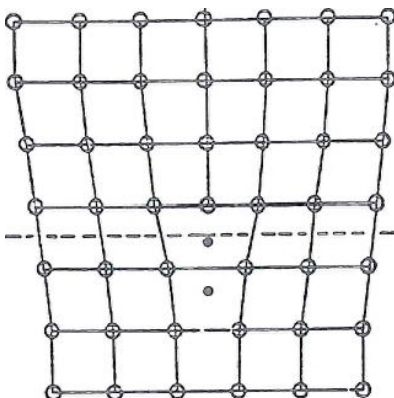
Olika legeringselement tillsätts till en metall för att förbättra dess egenskaper. Det kan röra sig om förbättring av korrosionsbeständighet, hårdhet, draghållfasthet etc. Om de främmande atomerna är av samma storleksordning som ursprungsatomerna i kristallgittret intar de lätt dess plats i gittret. Mindre atomer, som kol eller bor, tränger sig först och främst in i tomrummen mellan atomerna i gittret och bygger upp spänningar i strukturen (interstitialer), vilket åskådliggörs i figur 2-3.

När de små atomernas löslighet i huvudmetallen överskrids bildar de främmande faser i gitterstrukturen. Exempel på främmande faser är järnkarbid ( $\text{Fe}_3\text{C}$ ) i kolstål eller grafit i gjutjärn. Även olika metallatomer kan bilda främmande faser i gitterstrukturen.

Främmande faser i en metalls gitterstruktur påverkar metallens egenskaper kraftigt. Kolatomer som interstitialer i järngittret bygger upp hårdheten osv.



**Figur 2-2.** Två korn möts vid en korngräns som är anrikad på främmande atomer (svarta).



**Figur 2-3.** Främmande mindre atom i mellanrumposition i defekt kristallgitter.

## 2.2.2 Kolstål

Stål är benämningen på järn-/kollegeringar vars innehåll av kol är  $< 2\%$  och som även innehåller andra legeringselement. Halten av andra legeringselement avgör om stålet ska kallas legerat eller olegerat. Konstruktionsstål har en kolhalt av  $0,1\text{--}0,6\%$  och verktygsstål  $0,5\text{--}1,5\%$ . I så kallat olegerat stål ingår alltid små mängder av mangan och kisel som legeringselement.

Kol (C) höjer det ohärdade stålets sträckgräns, brottgräns och hårdhet men minskar dess seghet. Vid kolhalter över  $0,5\text{--}0,6\%$  blir stålet härdbart.

Under smältprocessen tillsätts kisel för att binda upp löst syre i smältan (desoxidation). Kisel reagerar med syret under bildning av kiseldioxid som flyter upp till ytan och avlägsnas som slagg. Desoxidation eller tätning av stål förhindrar att gasbubblor i form av koldioxid bildas när stålet svalnar. Kisel fungerar därför som tätningsmedel och bidrar till en homogener sammansättning på stålet. Kisel ingår i fast lösning med järnet.

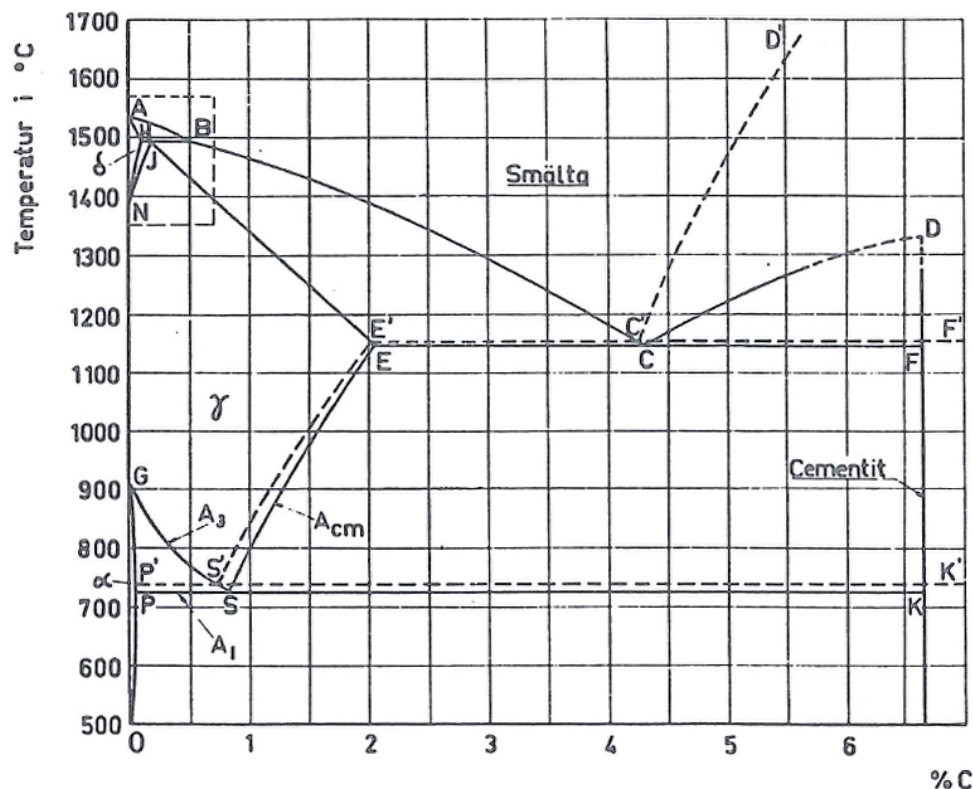
Mangan fungerar precis som kisel som tätningsmedel men har dessutom till uppgift att motverka svavlets skadliga inverkan i stålet. I de flesta fall ingår svavel som förorening i stålet och kan bilda ett lättsmält eutektikum i korngränserna då stålsmältan stelnar. Finns det emellertid tillräckliga mängder mangan i stålet utskiljs i stället mangansulfidrika inneslutningar i kornen. Därigenom elimineras risken för s k rödskörhet.

Även mangan bildar fast lösning med järnet och verkar något höjande på det ohärdade stålets sträckgräns, brottgräns och hårdhet.

Som låglegerade stål räknas sådana som innehåller max  $5\%$  legeringselement.

Kolet är det viktigaste legeringselementet i stålet. Tillståndsdigram för järn-/kollegeringar med upp till  $6,7\%$  kol framgår av figur 2-4.

Det rena järnet förekommer som ferrit eller  $\alpha\text{-Fe}$  under  $910\text{ }^\circ\text{C}$ . Ferriten kan endast lösa mycket små mängder kol. Ferriten är mjuk och seg och har en rymdcentrerad kubisk gitterstruktur (BCC).



Figur 2-4. Tillståndsdigram för järn-/kollegeringar.



Järn bildar tillsammans med kol en fas benämnd cementit eller järnkarbid ( $\text{Fe}_3\text{C}$ ). Kolhalten i cementiten är 6,67 %. Cementiten är den hårdaste strukturbeståndsdel i kolstål.

Om rent järn (ferrit) värms omvandlas det vid 910 °C till austenit eller  $\gamma\text{-Fe}$ , som har en ytcentrerad kubisk gitterstruktur (FCC). Det är omagnetiskt och kan till skillnad från ferriten lösa avsevärda mängder kol, upp till 2 %. Den kolhaltiga austeniten är beständig även vid lägre temperaturer än 910 °C. Austenit med 0,8 % kol omvandlas till ferrit vid 720 °C.

Ferrit och cementit bildar en eutektoid vid 0,8 kolhalt benämnd perlit. Det innebär att det ur en fast fas ( $\gamma$ ) bildas två olika faser (ferrit + karbider) vid kylning. Vid kolhalter under 0,8 % existerar både ferrit och perlit parallellt i strukturen och vid kolhalter över 0,8 % perlit och cementit.

Hållfasthetsegenskaperna hos olegerade stål kan påverkas genom värmnings- och kylningsförlopp. Om t ex ett stål med 0,5 % kolhalt värms till 900 °C löser sig kolet helt i austeniten. Om det därefter snabbt kyls i vatten hinner inte austeniten omvandlas till ferrit och järnkarbid utan kolet förblir i tvångslösning i ferriten.

Denna ferrit med tvångslöst kol kallas för martensit. Martensiten är hård och spröd. Genom anlöpning, dvs upphettning av martensiten till temperaturer < 700 °C, utskiljs en del av kolet som cementit, och hårdheten sjunker och segheten ökar.

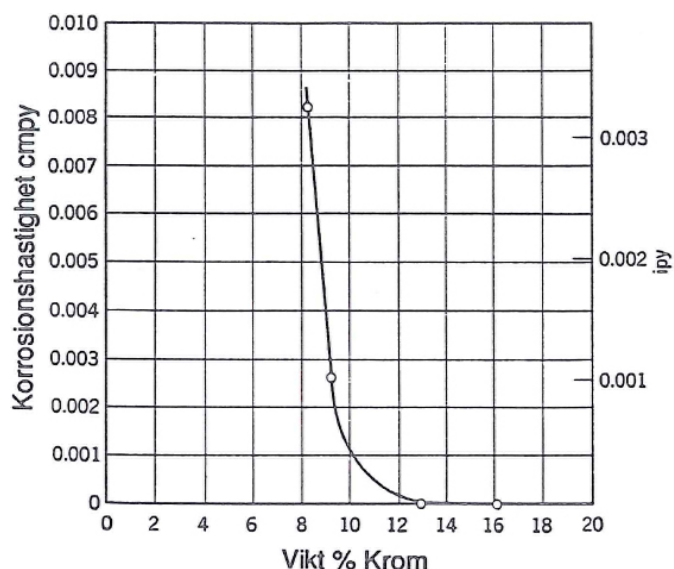
Genom legering av stålet med olika element som krom, nickel, vanadin, molybden etc kan dess egenskaper förändras i önskad riktning. Stålen indelas vanligen i konstruktions- och verktygsstål.

Konstruktionsstål är avsedda för bärande och tryckupptagande konstruktioner som broar, tryckkärl, fartygsskrov och maskindelar. Kolhalten ligger i stort sett mellan 0,1 och 0,6 %, vilket även gör stålen svetsbara.

Verktygsstålen är i första hand avsedda för tillverkning av verktyg såsom borrar, knivar, svarvstål osv. Kolhalten är högre än hos konstruktionsstålen, mellan 0,6 och 1,2 %. Genom den högre kolhalten blir hårdheten högre och slitstyrkan bättre. Svetsbarheten försämras vid höjning av kolhalten.

### 2.2.3 Rostfria stål

Många metaller, som krom (Cr) uppträder naturligt i passivt tillstånd i luft och förblir blanka och opåverkade i flera år till motsats till t ex järn (Fe) som missfärgas av korrosion redan efter kort tid. Genom att legera järn med krom kan denna egenskap överföras till legeringen. Korrosionsegenskaperna förbättras med ökande kromhalt i stålet, vilket framgår av figur 2-5.



Figur 2-5. Korrosionshastighet (cm/år) för krom-/järnlegeringar i intermittent vattenspray vid rumstemperatur.

Järnkromlegeringar innehållande mer än 12 % krom kallas för rostfria stål. De har förmågan att i luft spontant bygga upp en passiv film på ytan. På liknande sätt kan också rostfria självpassiverande legeringar byggas upp av t ex systemen Fe-Cr-Ni-Mo, Fe-Ni-Mo och Cr-Ni-Fe.

De rostfria stålen legerade med enbart krom uppvisar en ferritisk kristallstruktur (BCC) vid samtliga temperaturer upp till smältning, och kallas därför följdriktigt för ferritiska rostfria stål.

Om man till ett 13 % kromstål tillsätter mer än 0,15 % kol kan det omvandlas till austenit vid högre temperaturer. Vid relativt snabb svalning i luft omvandlas austeniten till martensit och man erhåller s k martensitiska rostfria stål.

Dessa ferritiska och martensitiska rostfria stål har relativt goda korrosionsegenskaper speciellt då kromhalten tillåts stiga mot högre värden. De har dock mindre goda egenskaper ur konstruktions-synpunkt med tanke på svetsbarhet, bearbetbarhet och seghet. Hos de ferritiska stålen tenderar svetsfogarna att bli spröda och de martensitiska stålen uppvisar ännu sämre svetsbarhet. De ferritiska och martensitiska rostfria stålen är inte heller särskilt väl lämpade för kallböckning.

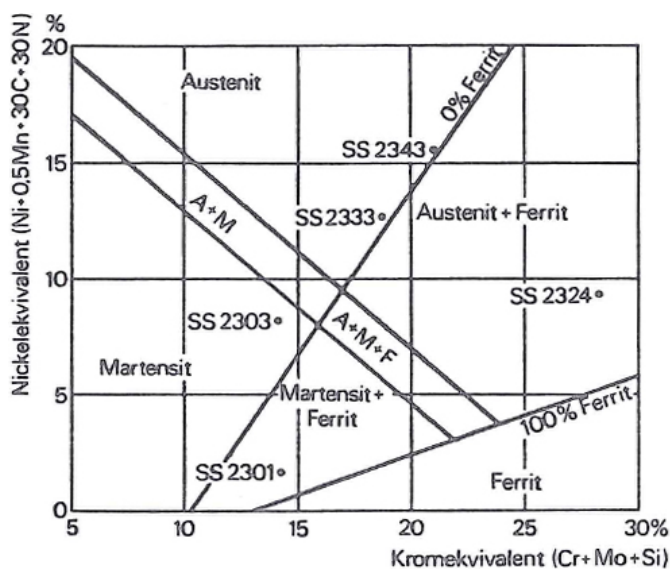
Martensitiska rostfria stål används för detaljer där det krävs högre hållfasthet och där kraven på korrosionsbeständighet är måttliga. De används också där det krävs nötningsbeständighet. Typiska användningsområden är axlar, spindlar, pumpdetaljer, ventilkäglor, bultar, muttrar, ringar och flänsar. Martensitiska rostfria stål är också lämpliga som ena parten i förband mot austenitiska stål när risk för skärning föreligger.

Genom att tillsätta nickel (Ni) till järn-/kromlegeringarna kan man erhålla ett rostfritt stål som är austenitiskt (FCC) vid samtliga temperaturer. Principen åskådliggörs i ett Schaeffler de Long-diagram, figur 2-6.

En typisk sammansättning på ett dylikt austenitiskt rostfritt stål är 18 % Cr och 8 % Ni. Av diagrammet framgår att även mangan (Mn), kol (C) och kväve (N) stabiliserar den austenitiska strukturen medan molybden (Mo) och kisel (Si) är ferritstabiliserande. De austenitiska rostfria stålen är omagnetiska medan de ferritiska och martensitiska är magnetiska vid rumstemperatur.

För att förbättra korrosionsbeständigheten för de rostfria stålen i kloridmiljöer och reducerande syramiljöer legeras de med molybden. Även genom ytterligare höjning av krom- och nickelhalten kan korrosionsbeständigheten förbättras under bibehållande av den austenitiska strukturen.

De austenitiska rostfria stålen har förutom en mycket god korrosionsbeständighet i många miljöer även god svetsbarhet, goda hållfasthetsegenskaper även vid mycket låga temperaturer, mycket god bearbetbarhet vid kallt tillstånd etc, vilket gör dem till mycket goda konstruktionsstål.



Figur 2-6. Schaeffler de Long diagram för Fe-/Cr-/Ni-legeringar vid rumstemperatur.

## 2.2.4 Sensibilisering

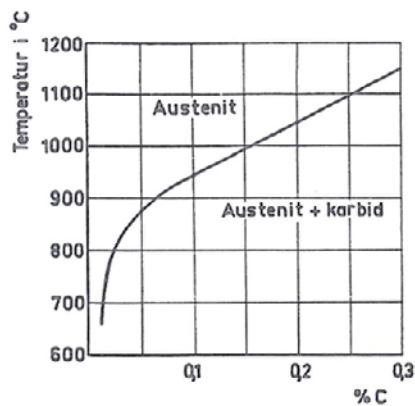
Vid framställning av de austenitiska rostfria stålen släckglödgas de som sista åtgärd för att få kolet i tvångslösning i den austenitiska kristallstrukturen. Släckglödningen sker normalt från 1 050 °C i vatten. Av figur 2-7 framgår att lösligheten för kol i austenit är mycket ringa vid lägre temperaturer och mycket stor vid 1 050 °C.

Vid uppvärmning av ett släckglödgt austenitiskt stål till högre temperaturer börjar kolet i den övermättade austeniten att diffundera, främst till korngränserna, och där reagera med framför allt krom under bildning av kromrika karbider ( $M_{23}C_6$ ). Ungefär 60–70 % av metallatomerna i M består av krom. På grund av skillnaden i diffusionshastighet mellan de stora kromatomerna i gittret och de små kolatomerna i interstitiala positioner i gittret börjar korngränserna så småningom att bli utarmade på krom, figur 2-8.

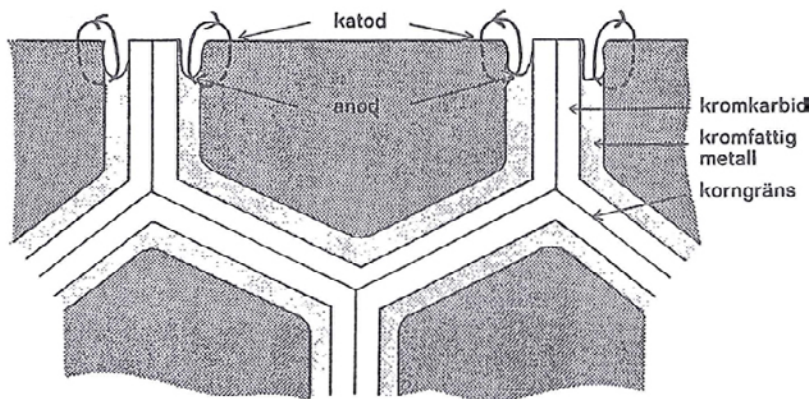
När kromhalten i korngränserna sjunker blir materialet allt mer känsligt för angrepp just där. Speciellt känsliga blir korngränserna om kromhalten sjunker under 12 %, dvs materialet är inte längre rostfritt vid korngränserna.

Känsligheten för sensibilisering ökar med ökande kolhalt i stålet dvs kolet förmår binda flera kromatomer vid korngränserna.

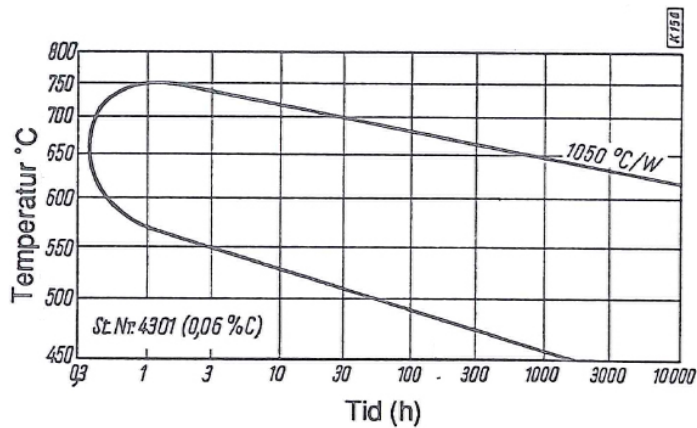
Testning av stålets känslighet för sensibilisering görs genom att koka prover i olika syralösningar som specifikt angriper korngränserna vid kromutarmning. Innan provningen värmebehandlas stålen vid varierande temperaturer under olika långa tider. Figur 2-9 och figur 2-10 visar exempel på två s k TTS-diagram (tid-temperatur-sensibilisering) för ett austenitiskt rostfritt stål innehållande 0,06 % kol och för ett innehållande 0,02 % kol.



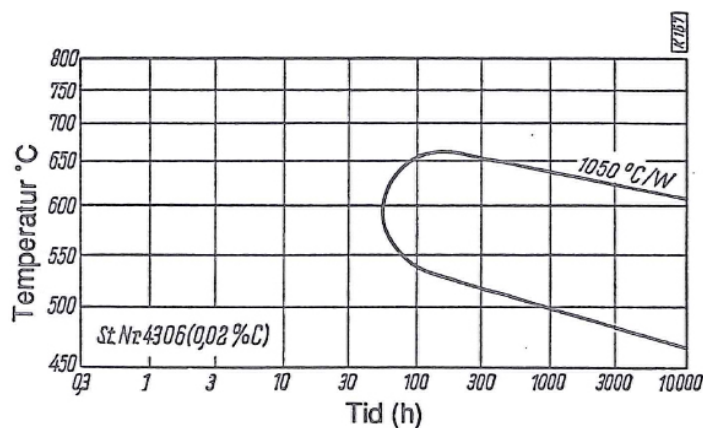
Figur 2-7. Kolets löslighet i 18-8-stål vid olika temperaturer.



Figur 2-8. Sensibilisering av austenitiskt rostfritt stål.



Figur 2-9. TTS-diagram för stål innehållande 0,06 % C, 17–20 % Cr och 9–11,5 % Ni.



Figur 2-10. TTS-diagram för stål innehållande 0,02 % C, 17–20 % Cr och 10–12,5 % Ni.

Av diagrammen framgår att stålet innehållande 0,06 % kol blir känsligt för korngränsangrepp redan efter ca 20 minuters glödning vid 650–700 °C medan den lågkolhaltiga varianten med 0,02 % kol kräver ca 50 timmars glödning vid 600 °C. Kurvornas utseende visar att känsligheten minskar och upphör efter långa glödningstider genom att allt kol bundits till karbiderna och genom att kromdiffusionen så småningom ser till att kromhalten åter börjar stiga i korngränserna. Känsligheten för korngränsfrätning är som störst efter glödning vid temperaturen mellan 500 och 750 °C. Vid högre temperaturer är diffusionshastigheten för krom tillräckligt stor för att utarmning aldrig ska hinna ske. Vid lägre temperaturer blir glödningstiderna mycket långa. Sensibilisering kan inträffa i den värme-påverkade zonen intill själva svetsfogen, speciellt då efter påläggning av många svetssträngar på samma ställe. Antalet reparationer av samma svets måste därför begränsas. Numera använder man i Sverige austenitiska rostfria stål med låga kolhalter (0,03 % kol) för att eliminera risken för sensibilisering.

## 2.2.5 Övriga material

Nickel, titan, koppar, zink, aluminium och deras legeringar behandlas under avsnitt 2.4 ”Korrosion”. Även speciallegeringar som Stellite berörs kortfattat under detta avsnitt.

## 2.3 Ytors egenskaper

### 2.3.1 Leveranstillståndet

Redan i leveranstillståndet kan materialet vara behäftat med fel och defekter som kan påverka ytkonitionen hos en komponent och påverka dess integritet i det långa perspektivet. Gasblåsor, som bildats vid göttillverkningen, kan efter valsning uppträda som flagor eller långsträckta tungor. Slaggprodukter kan uppträda som sammanhängande utvalsade stråk etc.

Vid varmvalsning av rostfritt stål kan materialet i ytskiktet bli anrikt på vissa legeringselement som kol, krom, nickel, kisel och mangan. Vanligtvis konditioneras ytan före leverans med mineralsyror. Denna betningsoperation avlägsnar de grövsta felen men kan också angripa korngränser och därigenom ge en grov överbetad yta.

Vid t ex kalldragning av tråd kan smörjmedelrester bakas in och överlappas i ytskiktet. Vid en efterföljande värmebehandling kan smörjmedelresterna i ytskiktet ge upphov till uppkolning och eventuell sensibilisering av det rostfria materialet.

### 2.3.2 Ytjämnhet

En ytas jämnhet är av stor betydelse för materialets egenskaper i en lösning. Ju ojämnare en yta är desto större är den exponerade ytan mot lösningen, vilket t ex kan påverka aktivitetssupbyggnaden och därigenom dosraten från en komponent. En ojämn yta är dessutom svårare att hålla ren från kontamination, vilket livsmedelsindustrin beaktar. Inom livsmedelsindustrin är processytorna ofta elektrolytiskt polerade till stor ytjämnhet av denna anledning. Till sist påverkar krökta ytor adsorptionen av främmande atomer och molekyler genom höjning av ytenergin.

Olika slags mekanisk och kemisk bearbetning av en metallyta ger upphov till olika grad av ytprofil och jämnhet. Mekanisk ytbearbetning, såsom slipning och blästring, kan påverka materialet på djupet genom kalldeformation och sprickbildning. Kemiska och elektrokemiska metoder påverkar däremot endast ytskiktet.

Mätningarna av ytprofil utförs vanligen med en släpnål som förs fram över provytan. Registreringen sker i form av profilkurvor på papper, vilket framgår av figur 2-11. Viktiga mått på ytjämnhet är enligt SMS-normer visas också i figur 2-11.

De angivna måtten definieras på följande sätt:

Ra-värde: Det aritmetiska medelvärdet av de absoluta värdena av profilkurvornas avvikelser från medellinjen inom referenslängden.

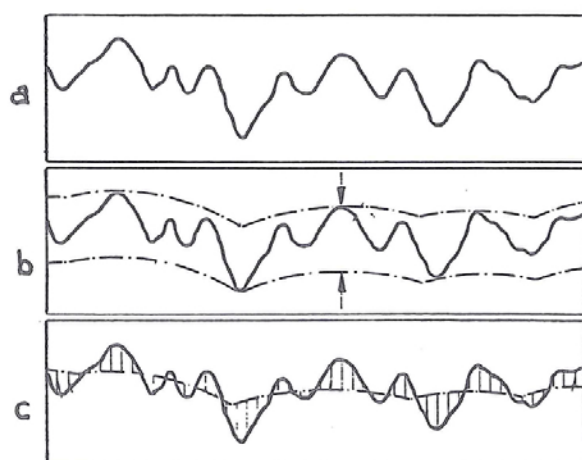
R<sub>max</sub>-värde: Avstånd i vertikalled mellan topplinje och bottenlinje.

H: Profildjupet är avståndet mellan övre och undre grundlinje.

Ra-värde: Medelytavvikelse (CLA)

R<sub>max</sub>-värde: Max-värde för ytavvikelser

H: Profildjup



Figur 2-11. Profilkurvor för ytor: a profillinje, b övre och undre grundlinje, c medellinje.



Tabell 2-1 visar några exempel på ytfinheter hos olika produkter. Av sammanställningen framgår att både betning och sandblästring i leveransutförande ger en grövre yta än t ex en slipning med fin smärgel.

**Tabell 2-1. Ytfinhet hos några rostfria stålprodukter.**

Produkter	Ytutförande	Ytfinhet $\mu\text{m}$ Ra	H
Kalldraget rör	Betad	0,5–2,0	2,0–10,0
Kalldraget rör	Betad + elektrolytpolerad	0,1–0,4	0,5–1,3
Kalldraget rör	Slipat 180 smärgel	0,2–0,8	0,6–1,6
	Slipat 240 smärgel	0,1–0,3	0,3–0,9
Varmvalsad plåt	Betad	1,5–3,0	6,0–10,0
Kallvalsad plåt	2D	0,3–0,5	0,9–1,6
Kallvalsad plåt	2B	0,2–0,3	0,6–0,9
Draget rör	Sandblästrat	3,8	19

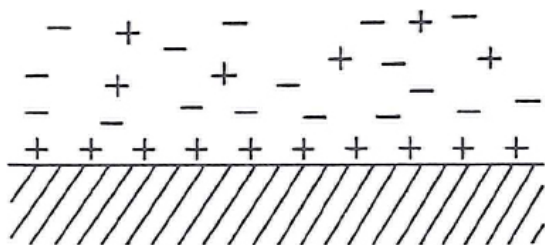
### 2.3.3 Adsorption

Atomerna i den fria ytan av en metall omges inte fullständigt av grannatomer som inne i metallen och är därför lösare bundna. Det förekommer utåtriktade, fria (omättade) bindningskrafter från atomerna på den fria ytan. Dessa kan mättas genom bindning till olika slags atomer och molekyler. Detta fenomen kallas för adsorption. Adsorptionen kan också vara negativ om ytan repellerar de främmande atomerna eller molekylerna.

När ett enkelt skikt av atomer eller molekyler adsorberats vid en fasgränsyta (monoatomärt eller monomolekylärt) kan ytterligare adsorption ske utanpå på detta adsorberade skikt, men då blir de bindande krafterna snabbt av ett annat slag än för det första skiktet.

Adsorption av joner till en metallyta är av mycket stor betydelse. Om ett visst jonslag adsorberas starkare än lösningens övriga jonslag blir adsorptionsskiktet i sin helhet laddat. Denna laddning orsakar i sin tur en anrikning av joner med motsatt laddning i lösningar omedelbart utanför adsorptionsskiktet, figur 2-12.

I det ovan anförda fallet utsträcker sig ytans inflytande några atomlager in i lösningsfasen. De passiva skikten på de rostfria stålen är av ungefär samma tjockleksordning. Tunna oxidskikt, som bildas på en metallyta i samband med t ex anlöpning, är ofta några hundra Ångström ( $1 \text{ \AA} = 10^{-7} \text{ mm}$ ) tjocka. De bildar ofta färgade sk interferensskikt på stålytan. Ytan hos en metall påverkar följaktligen lösningens egenskaper några atomskikt in i bulken men denna påverkan är helt avgörande för materialets beteende i en lösning.



**Figur 2-12.** Adsorption av ett visst jonslag ger ett laddat adsorptionsskikt.

### 2.3.4 Mekanisk ytbearbetning

Om spånavskiljande bearbetning, som svarvning och hyvling, utförs på ett olämpligt sätt kan sprickbildning uppstå i materialet genom kallbearbetning i kombination med lokal överhettning, figur 2-13.

Dyliga sprickor kan vara ett tillhåll för skäroljor och föroreningar som kan påverka materialegenskaperna i negativ riktning.

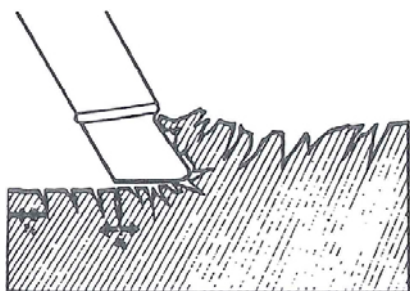
Även vid slipning kan materialytan påverkas i negativ riktning om bearbetningen sker på ett olämpligt sätt, figur 2-14.

I det aktuella fallet deformeras och smälts ytans upphöjda partier över de lägre områdena av ytan. Därigenom bildas slipfickor i ytan. Dessa slipfickor kan innehålla slipdamm, lösryckta metallpartiklar och smörjmedel. Dyliga slipfickor kan utgöra ett korrosionsproblem om t ex en rostfri stålyta exponeras för en kloridmiljö (se spaltkorrosion).

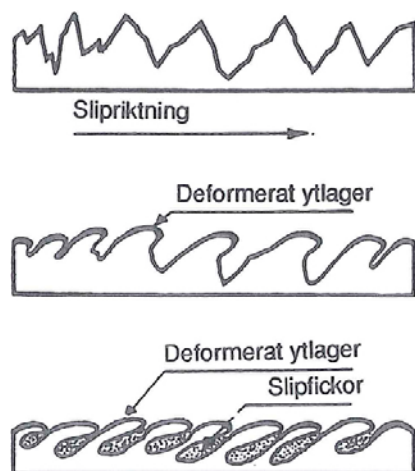
Mekanisk polering och fiberborstning påverkar inte en metallyta på ett så ogynnsamt sätt som ovan. Båda bearbetningsmetoderna anses ha en gynnsam effekt på materialets korrosionsbeständighet mot atmosfärisk korrosion jämfört med slipning, blästring etc.

Blästring kan ske torrt, med t ex sand, eller vått med glaspärlor i vatten.

Blästring utnyttjas på kolstål i första hand som en rengöringsmetod före målning. Den rengjorda ytan får en grov ytprofil och lämpar sig väl för förankring av färgen på stålytan. Vid blästringen avlägsnas rost och föroreningar som kan inverka menligt på resultatet. Blästermedlet blåses med tryckluft eller slungas på stålytan. Som blästermedel används naturkiselsand, krossad kvarts eller granit, aluminiumoxid, stålsand, trädklipp och liknande produkter.



Figur 2-13. Sprickbildning vid spånavskiljande bearbetning.



Figur 2-14. Slipning av metallyta.

Blästringen innebär att blästermedel och partiklar från ytskiktet som ska avlägsnas trycks in i metall-  
ytan i viss utsträckning. Vid blästring av en stålyta med mjuka blästermedel utsätts stålytan för kall-  
deformation och tryckspänningar. Tryckspänningar är inte så farliga som dragspänningar vad beträffar  
risker för t ex spänningskorrosion. Vid användning av hårda material som kvarts, sand eller alumini-  
umoxid rivs och deformerar ytan på ett ogynnsammare sätt. Förutsatt att komponenten, efter dekon-  
taminering, ska sättas in i systemet igen är «torrblästring» av rostfritt stål inte att rekommendera, dels  
med tanke på den grova ytan som samlar partiklar, dels med tanke på risken för spänningskorrosion i  
system utsatta för varmt reaktorvatten. Däremot används torrblästring vid dekontaminering av mate-  
rial som ska skrotas. Torrblästring kommer att behandlas i volym två av boken.

Den blästringmetod som används vid blästring av rostfritt stål i kärnkraftsammanhang är våt-  
blästring med glaspärlor. Vid blästringen omges kulorna av en vattenfilm som vid stöten mot kompo-  
nenter fungerar som en tryckupptagande kudde. Därigenom förhindras glaspärlorna från att komma  
i direktkontakt med metallytan. Oxiderna på metallytan sprängs bort av tryckstöterna genom vatten-  
kuddarna runt pärlorna. Normalt används glaspärlorna i storleken 180–210 µm. Det är viktigt att  
andelen splittrade glaspärlor inte får bli för stor eftersom risken för avverkning av metallytan ökar då  
andelen skarpa korn ökar. Den yta som erhålls är lämplig med tanke på risken för spänningskorro-  
sion eftersom endast tryckspänningar förekommer.

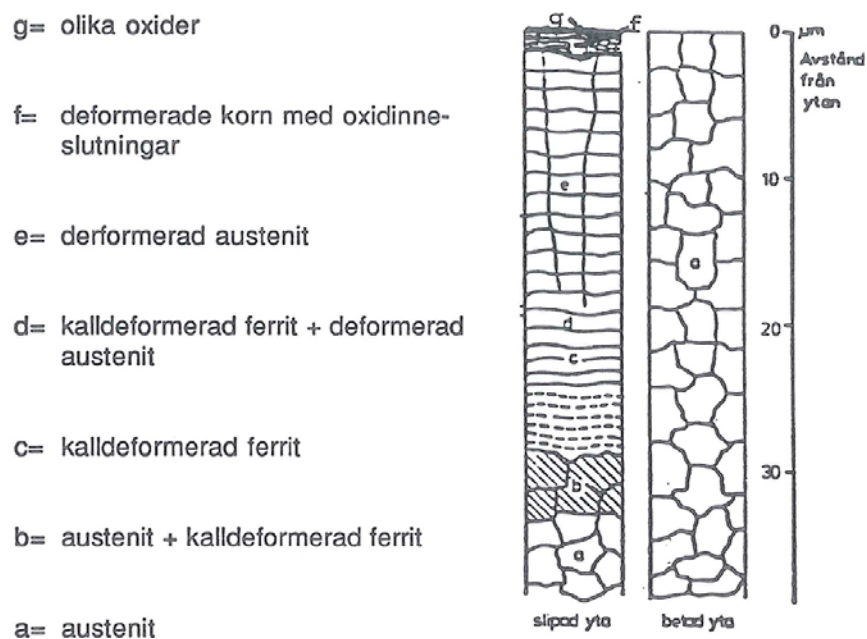
### 2.3.5 Kemisk ytbearbetning

Kemisk ytbearbetning som exempelvis betning i syralösningar skiljer sig från de mekaniska bearbet-  
ningsmetoderna genom att materialet inte påverkas i djupled av kallbearbetning, figur 2-15.

Vid mekanisk bearbetning som slipning påverkas ett rostfritt austenitiskt stål till ett djup av ca 30 µm  
i det aktuella fallet. Kalldeformerad ferrit i austenitkornen förekommer vid 30 µm medan den betade  
ytan är helt opåverkad av kalldeformation.

Genom kemisk ytbearbetning kan dock ytans profil påverkas genom att kornen angrips olika starkt  
beroende på kristallorientering. Korngränser kan också angripas av en syra vilket ger en ojämn  
ytprofil.

Vid elektrolytisk dekontaminering med arbetsstycket som anod avlägsnas materialet jämnt över hela  
ytan. Toppas i konstruktionen angrips i allmänhet starkare eftersom strömtätheten där är störst.



Figur 2-15. Ytpåverkan vid mekanisk och kemisk ytbearbetning.



## 2.4 Korrosion

### 2.4.1 Drivkraften för korrosion

Med korrosion avses ett angrepp på ett material genom en kemisk eller elektrokemisk reaktion med det omgivande mediet.

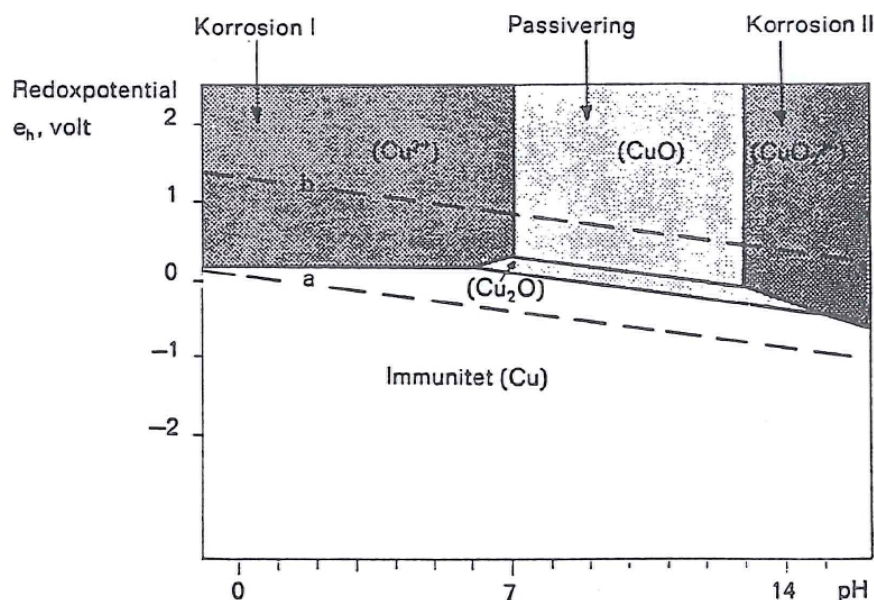
Vid korrosionsstudier har s k Pourbaix-diagram visat sig vara mycket praktiska att använda. Ett Pourbaix-diagram är ett tillståndsdigram för den termodynamiska jämvikten mellan en metall, i det aktuella fallet koppar, och dess korrosionsprodukter i vattenlösning, figur 2-16. Koordinaterna i diagrammet är lösningens pH och metallens redoxpotential i den aktuella lösningen vid 25 °C. Redoxpotentialen är ett mått på lösningens oxiderande förmåga. Starkt oxiderande lösningar har stor tendens att ta upp elektroner från metallen och får hög redoxpotential. Starkt reducerande lösningar har stor tendens att avge elektroner till elektroden och får låg redoxpotential. En metalls redoxpotential i en lösning är ett mått på mängden elektroner som finns tillgängliga för reaktioner.

Vid redoxpotentialer från ca 0 volt och nedåt är koppar immun, oberoende av lösningens pH. Detta innebär att metallen termodynamiskt inte kan korrodera och att den därigenom är i den stabila tillståndsformen.

Inom område I, dvs vid  $\text{pH} < 7$  och redoxpotentialer  $> 0,1$  volt, är metallens stabila form jonform  $\text{Cu}^{2+}$ . Det finns följaktligen en drivkraft för metallens korrosion men av diagrammet framgår inte något om reaktionskinetiken, dvs hur snabbt reaktionen kan förväntas ske.

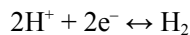
Inom område II är metallen vattenlöslig som  $\text{CuO}_2^{2-}$ -jon.

Mellan dessa två områden är metallen i sin stabila form som oxid ( $\text{CuO}$  och  $\text{Cu}_2\text{O}$ ). Om metalliskt koppar utsätts för vatten vid 25 °C inom detta pH- och redoxpotentialintervall strävar den att inta sin stabila oxidform, dvs det finns en termodynamisk drivkraft för korrosion. Med tiden skulle all metall omvandlas till metalloxid om inte det bildade oxidskiktet skulle försvåra en fortsatt oxidation. Efter en snabb initialoxidation blir reaktionshastigheten allt långsammare. Den avtar aldrig helt men får metaller att verka helt resistent i lösningen. Metallen har passiverats i lösningen och den har blivit täckt av ett skyddande passivt täcksikt som förhindrar fortsatt korrosion.

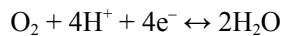


**Figur 2-16.** Potential-pH-diagram för Cu-H<sub>2</sub>O vid 25 °C enligt Pourbaix. Bandet mellan a och b är vattnets stabilitetsområde.

Den streckade linjen "a" representerar jämvikten för reaktionen:



På motsvarande sätt representerar den streckade linjen "b" jämvikten för reaktionen:



Vid redoxpotentialer mellan de streckade linjerna "a" och "b" är vattnet stabilt i förhållande till sönderdelning till vätgas och syrgas vid 1 atmosfärs tryck.

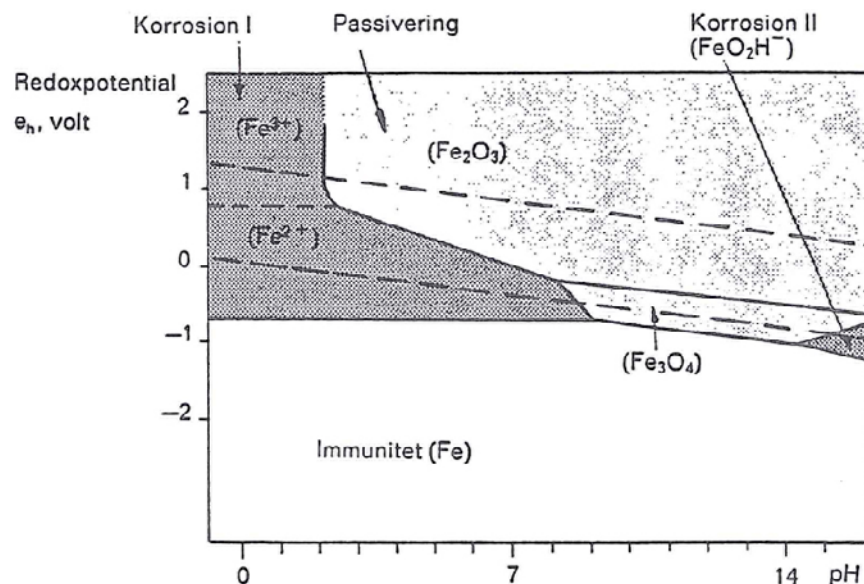
Av diagrammet framgår att koppar inte inom något redoxområde korroderar under vätgasutveckling vid 25 °C. Den streckade linjen "a" ligger inom området för immunitet. Figur 2-17 visar ett kraftigt förenklat Pourbaix-diagram för Fe–H<sub>2</sub>O vid 25 °C.

I praktiken innehåller vattenlösningar ofta lösta ämnen. Många anjoner kan reagera med de lösta metalljonerna under bildning av fällningar. Så kan t ex fosfatjoner ( $\text{PO}_4^{3-}$ ) reagera med järn under bildning av ett heltäckande järnfosfatskikt på metallytan. Komplexbildare kan förbättra metalljonernas löslighet i vatten vilket påverkar beständighetsområdena i diagrammen högst väsentligt.

## 2.4.2 Passivitet

Redan i början av 1900-talet upptäckte man att järn korroderar kraftigt i utspädd salpetersyra ( $\text{HNO}_3$ ), men förblir till synes opåverkat i koncentrerad salpetersyra. Den uteblivna korrosionen i koncentrerad salpetersyra beror på att syrans oxiderande verkan är så stark att järnet tappar tre elektroner och därmed oxideras till trevärt järn (Fe(III)). Det trevärda järnet bildar ett skyddande skikt av svårslöslig och tät järn(III)oxid ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , III syftar på järnets oxidationstal), vilket förhindrar vidare angrepp – järnytan har passiverats och befinner sig i passivt tillstånd. Den bildade oxidfilmen är mycket tunn, någon eller några nanometer.

I utspädd salpetersyra är den oxiderande verkan svagare, och järnet oxideras bara till tvåvärt järn (Fe(II)). Eftersom tvåvärt järn inte bildar någon tät oxid kan korrosionsangreppet fortgå – järnet har inte passiverats och befinner sig i aktivt tillstånd. En redan passiverad järnyta angrips inte i utspädd salpetersyra, men om den skyddande oxidfilmen skadas exponeras aktivt järn, varpå korrosion sker.



Figur 2-17. Potential-pH-diagram för Fe–H<sub>2</sub>O vid 25 °C enligt Pourbaix.

Rostfritt stål har en sammansättning som gör att en liknande passivfilm bildas även utan närvaro av en starkt oxiderande syra eller andra speciella förutsättningar. Det rostfria stålets krominnehåll gör att en kromoxidhaltig film bildas i många vanligt förekommande miljöer, såsom vatten eller luft. Denna film är mycket tunn, ca 1–3 nm. Om en sådan film repas sker snabbt en återtillväxt, vilket bidrar till att filmens skyddsverkan blir robust även efter mekanisk åverkan på materialet. Såväl sammansättning som tjocklek av passivfilmen påverkas av den omgivande miljön. Under starkt oxiderande förhållanden oxideras kromoxiden till lättlösliga kromatjoner, men eftersom stål innehåller järn kan järn(III)oxid, som inte oxideras lika lätt som krom(III)oxid, bildas enligt ovan.

Det finns många olika sorter av rostfritt stål, med olika korrosionsresistans i olika miljöer. Det är viktigt att använda en sort som bildar en stabil passivfilm i den miljö där det ska användas. I exempelvis havsvatten orsakar kloridjonerna punktangrepp på passivfilmen om stålsorten inte är god nog, och denna gropfrätning leder till accelererad korrosion i de bildade frätgroparna, vilket till och med kan vara värre än den jämna avfrätning från hela ytan som skulle ske på ett icke-rostfritt stål. Av den anledningen behövs rostfria stål av högre kvalitet, med exempelvis molybden inlegerat för att öka motståndskraften mot gropfrätning.

För att förstärka passivfilmen förekommer det att rostfritt stål passiveras i salpetersyra i samband med produktionen. De rostfria stålens krominnehåll gör att det till skillnad från för järn inte sker någon aktiv utlösning vid låga koncentrationer av salpetersyra. Förutom att den naturliga passivfilmen förstärks löses även sulfidineslutningar, som annars skulle kunna initiera gropfrätning.

Kolstål kan passiveras genom fosfatering, där fosforsyra används för att bilda ett järnfosfatlager. Den bildade beläggningen fungerar även som ett fästlager innan lackering. Eftersom kolstål inte passiveras spontant och angrips av korrosion redan i fuktig luft, är någon form av behandling nödvändig för att erhålla en yta som inte angrips av korrosion under exempelvis lagring i en fuktig miljö.

Tidigare var kromatering vanlig för att passivera zink och aluminium, men pga. giftigheten hos de kromat- eller dikromatjoner som används i processen används numera andra metoder, exempelvis fosfatering.

När en ny eller dekontaminerad komponent sätts in i reaktormiljö byggs det tunna passiva skiktet på. Tjockleken av oxidskiktet på en komponent i reaktormiljö kommer att bli betydligt större än vid rumstemperatur. Detta beror på att korrosionshastigheten ökar vid ökad temperatur. Den innersta delen av passivskiktet förblir tät, men den tjocka yttre delen blir porös och ojämn med inbyggda kristalliter. Massflödet in till oxiden från reaktorvattnet innebär att aktiva nuklider kan inkorporeras i oxiden. Detta innebär att alla komponenter som kommer i kontakt med reaktorvattnet kan kontamineras.

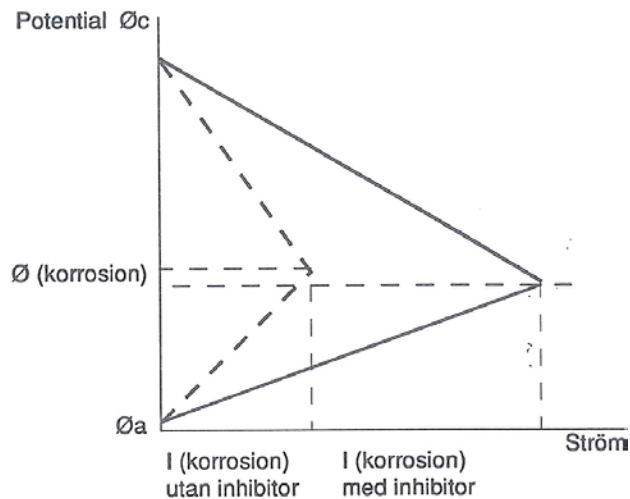
### 2.4.3 Betinhibitorer

De flesta betinhibitorer fungerar genom att bilda ett adsorberat lager på metallytan, som huvudsakligen blockerar vätejonens ( $H^+$ ) omvandlingsreaktion till vätgas ( $H_2$ ) och upplösningen av metalljoner. Vissa inhibitorer blockerar kraftigare katodreaktionen ( $2 H^+ + 2e^- \rightarrow H_2$ ) och andra anodupplösningen, men adsorption över hela ytan är typisk för alla inhibitorer. Inhibitorn påverkar mindre själva korrosionspotentialen än korrosionshastigheten, figur 2-18.

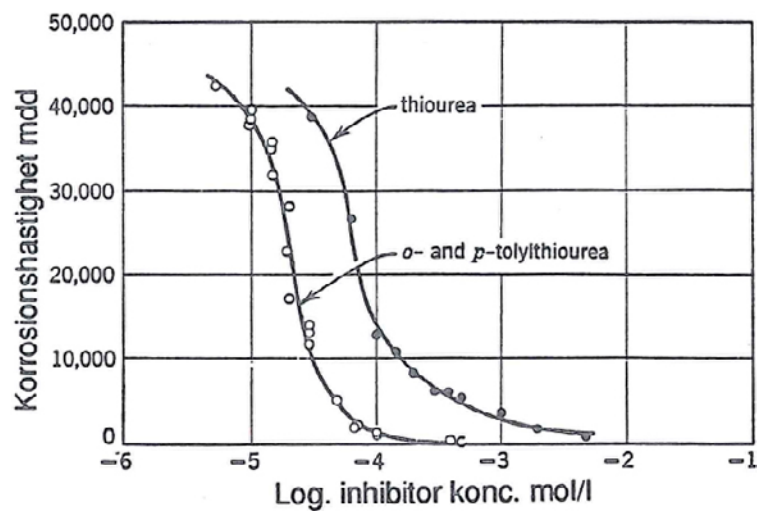
Föreningen, som används som inhibitor, behöver en lämplig polär grupp eller grupper som fäster molekylerna vid metallytan. Dessa polära grupper omfattar organiska kvävegrupper, aminer, svavel och hydroxylgrupper. Kemikalieleverantörer kan vid behov plocka ut lämpliga inhibitorer för ett ändamål.

Inhibitorers effektivitet vid lika koncentrationer kan lätt testas genom att i speciella mätglas registrera den volym vätgas, som utvecklas vid betning av ett stålprov. Figur 2-19 visar ett par typiska korrosionskurvor för 0,1 % kolstål i 5 %  $H_2SO_4$  vid 70 °C.

När mängden inhibitor är större än vad som krävs för att täcka stålytan med ett monomolekylärt skikt påverkas inte korrosionen av ytterligare tillsatser. Inhibitor förbrukas emellertid kontinuerligt i t ex en betlösning eftersom det adsorberade lagret följer med komponenterna ut ur badet.



Figur 2-18. Polarisationsdiagram för stål i betsyra med och utan inhibitor.



Figur 2-19. Inverkan av korrosionsinhibitors koncentration på korrosionen hos 0,1 % kolstål i 5 %  $H_2SO_4$ , 70 °C. Korrosionshastigheten ges i mdd (mg per  $dm^2$  och dygn).

Genom användning av betinhibitorer uppnås följande fördelar:

- Önskad korrosion av komponenter undviks.
- Förbrukningen av syra minskas.
- Mängden syra-aerosoler i luften minskas genom minskning av vätgasutveckling ( $H_2$ ).

Det finns lämpliga betinhibitorer för bl a fosforsyra och svavelsyra. I många fosforsyrabetlösningar finns redan lämpliga inhibitorer.

#### 2.4.4 Allmän korrosion

Den allmänna korrosionen i en lösning förlöper med ungefär samma hastighet över hela den yta som är utsatt för det korrosiva mediet. Den leder därför till relativt jämn avfrätning. Allmän korrosion kommer vanligen till stånd genom verkan av korrosionsceller utan särskiljbara anod- och katodytor.

Stålproducenter har genom årens lopp kartlagt olika stålqualiteters korrosionsbeständighet i ett stort antal miljöer genom enkla bestämningar av medelfrätning. Korrosionskuponger utsätts för den aktuella miljön, t ex kokande 65 %-ig salpetersyra, under ett visst antal dygn varefter medelfrätningen per tidsenhet och ytenhet beräknas. Medelfrätningen anges vanligen som mm/år eller  $g/m^2/h$ .

Vid allmän korrosion står materialets korrosionshårdighet och den därav beroende användbarheten vanligen i direkt samband med medelfrätningen enligt uppställningen nedan:

Korrosionshårdighet	Medelfrätning (mm/år)
Utomordentligt god	< 0,001
Mycket god	0,001–0,01
Ganska god	0,01–0,1
Mindre god	0,1–1,0
Dålig	1,0–3,0
Mycket dålig	> 3,0

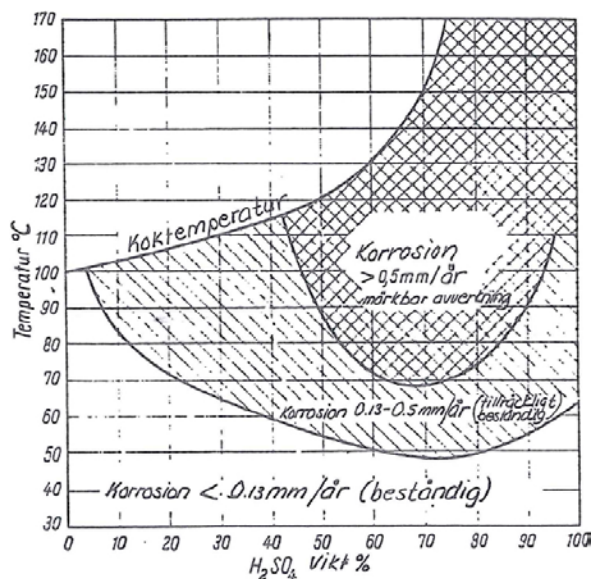
Ofta kartläggs materialets korrosionsbeständighet i en miljö genom att på basis av frätningförsök konstruera isokorrosionsdiagram, figur 2-20.

Av figuren framgår att materialet ifråga är fullständigt korrosionsbeständigt i svavelsyra av alla koncentrationer vid temperaturer < 50 °C. Den korroderar med en hastighet > 5 mm/år i t ex 70 % H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> vid temperaturer > 70 °C.

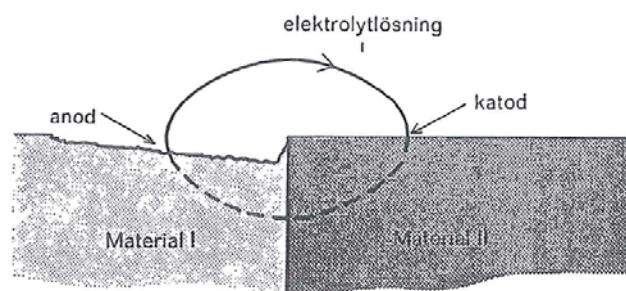
Om osäkerhet råder beträffande en stål kvalitets korrosionsbeständighet i en viss miljö är det alltid att rekommendera att stålleverantören rådfrågas före val av stål kvaliteten.

### 2.4.5 Galvanisk korrosion

Galvanisk korrosion uppkommer då två olika metaller eller material står i kontakt med varandra vid närvaro av en elektrolyt, figur 2-21.



Figur 2-20. Isokorrosionskurvor för ett rostfritt stål i svavelsyra (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>).

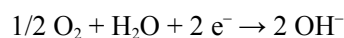


Figur 2-21. Korrosionscell vid galvanisk korrosion.

Den ädla metallen i den galvaniska spänningskedjan går då i lösning enligt:



Vid katoden, den ädlare materialytan, sker samtidigt en reducerande reaktion enligt:



Det är viktigt att observera att materialen måste stå i ledande kontakt med varandra så att elektroner kan transporteras från den ädla metallen (anoden) till det ädlare materialet (katoden). En förutsättning är också att en elektriskt ledande vätska, elektrolyt, finns tillgänglig. Så kan komponenter av kolstål stå i kontakt med rostfritt stål utan att korrodera nämnvärt i avjoniserat vatten, som är en mycket dålig elektrolyt. I havsvatten kan däremot kraftig korrosion förväntas eftersom det handlar om en god elektrolyt med utomordentlig elektrisk ledningsförmåga.

De olika metallerna kan ordnas i en galvanisk spänningsserie i en bestämd elektrolyt, t ex vanligt havsvatten. Kopplas två olika metaller ihop medelst en ledande förbindelse kommer ofta en av metallerna att börja korrodera. Den ädlare metallen förblir opåverkad. Elektrodpotentialerna för de olika metallerna bestäms experimentellt genom att försökselektroden (metallen) över en "saltbro" förenas med en sk referenselektrod (t ex platina). De olika metallernas uppmätta elektrodpotentialer bestämmer därefter deras plats i spänningskedjan. Det bör dock observeras att mätningarna gäller vid oxidfri metallyta. I praktiken bildas det ofta oxider på metallytan som påverkar elektrodpotentialen.

Den galvaniska spänningsserien för några vanliga metaller i havsvatten vid 20 °C redovisas i figur 2-22.

	Elektrodpotential $e_H$ , volt
ädlare metaller	
	+ 0,42
	+ 0,19
	+ 0,09
	+ 0,02
	- 0,26
	- 0,29
	- 0,31
	- 0,46
	- 0,49
	- 0,51
	- 0,81
	- 0,86
	- 1,36
oädlare metaller	

**Figur 2-22.** Galvanisk spänningsserie omfattande några olika metaller i havsvattnet vid 20 °C.



I spänningsserien är guld ädlast och magnesium oädlast. Rostfritt stål kan uppträda både i aktivt och passivt tillstånd och intar då olika potentialer. Närvaro av syre i vattnet gynnar passiviteten.

Elektrolytens betydelse vid galvanisk korrosion framgår av figur 2-23.

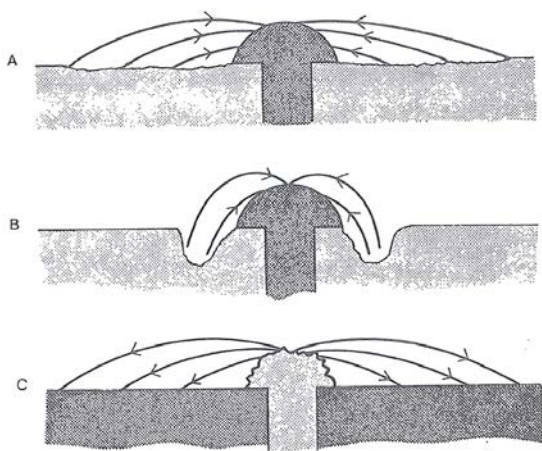
Två metaller står i kontakt med varandra i figur 2-23. Niten är ädel i förhållande till plåten i fallen A och B. Om elektrolyten har en mycket god ledningsförmåga utsträcker sig korrosionen långt ut i plåtmaterialet och korrosionsaverkan blir lokalt liten. Vid sämre ledningsförmåga kan däremot korrosionen lokalt intill niten bli stor. Om däremot niten är oädel i förhållande till plåten och elektrolyten har god ledningsförmåga kan den upplösas mycket snabbt med katastrofala följder. Vid svetsning av fartygsplåtar i skrovet används därför alltid tillsatsmaterial av ädlare kvalitet än plåten. En liten anodyta i förhållande till en stor katodyta är katastrofalt i en god elektrolyt.

Galvanisk korrosion mellan två olika material kan undvikas om de fogas ihop med isolerade bultar, figur 2-24.

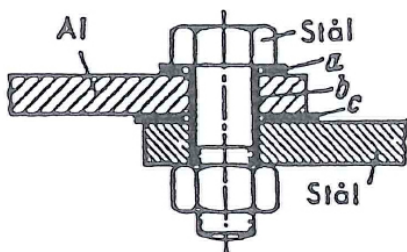
Som isolering kan t ex neoprengummi eller något annat icke ledande material användas.

Vid dekontaminering måste hänsyn tas till risken för galvanisk korrosion eftersom de organiska dekontamineringsbaderna är goda elektrolyter. Olika material kan förekomma i en komponent och speciellt om den exponerade ytan hos den oädla metallen är liten i förhållande till det andra materialet kan kraftig korrosion förväntas. I dylika fall kan man täcka över de oädla partierna med plastfilm eller tape.

Grafit i kontakt med stål kan bilda en galvanisk cell där grafiten är ädel. Vanligt gjutjärn kan därför uppträda både som anod och katod gentemot olegerat stål genom att den först korroderar men efter ett tag täcks den av grafit som gör gjutjärnsytan ädel i förhållande till det olegerade stålet. Grafit förekommer ofta i packningar etc.



**Figur 2-23.** Galvanisk korrosion vid nit i plåt vid närvaro av elektrolytlösning, olika typfall: A Stor anodyta, liten katodyta, god elektrisk ledningsförmåga hos elektrolytlösningen. B Stor anodyta, liten katodyta, dålig elektrisk ledningsförmåga hos elektrolytlösningen. C Liten anodyta, stor katodyta.



**Figur 2-24.** Skydd mot galvanisk korrosion i skruvförband av aluminium/stål; a, b och c anger isolering av t ex neoprengummi.

## 2.4.6 Punktfrätning

Punktfrätning uppträder på passiverbara metaller som rostfritt stål och aluminium om tillräckliga koncentrationer av klorider finns närvarande i en lösning. En förutsättning är att metallen är täckt av ett passivt skikt. Detta passiva skikt bryts lokalt ned. Vid nedbrytningen spelar kloridjonerna en avgörande roll. Nedbrytningen sker ofta på någon plats där det passiva skiktet skadats mekaniskt, under avlagringar där syretillförseln är försämrad etc. Det passiva skiktet uppvisar därvid en mycket ädlare potential än det skadade stället, som uppträder som anod i ett aktiv-passiv-element. Potentialdifferensen kan uppgå till 0,5–1 volt vilket medför ett mycket kraftigt lokalt korrosionsangrepp, som snabbt kan penetrera materialet, figur 2-25.

I punktfrätningsgroparna sker en försurning av lösningen mot lägre pH på grund av hydrolys av upplösta metalljoner. Ett exempel på en dylik reaktion är krom (III) joners hydrolys enligt:



För varje stålqualität finns det en bestämd kloridkoncentration som erfordras för att punktfrätning ska uppträda. En ökande temperatur sänker den erforderliga koncentrationen, dvs risken för punktfrätning angrepp i en kloridlösning ökar med temperaturen.

Ett vanligt austenitiskt 18:8 Cr Ni-stål är inte resistent mot punktfrätning i havsvatten vid rumstemperatur. Under mycket gynnsamma omständigheter kan det klara sig, dvs om det kontinuerligt är i kontakt med strömmande syrerikt, slamfritt havsvatten. Avstannar vattenflödet är risken stor för att punktfrätningen uppstår.

Genom att välja ett austenitiskt höglegerat stål med molybden och höga kromhalter kan risken för punktfrätning elimineras. Propelleraxlar till småbåtar tillverkas ofta av ferritaustenitiska stål typ CrNiMo 22:5:5:3 med höga krom- och molybdenhalter. I en propelleraxel finns risk för spaltkorrosion vid lagergenomföring. Risken för korrosion är stor om båten står oanvänd längre tid, dvs stagnanta förhållanden råder och risken för beläggning med havsorganismer är stor (fouling). Om båten används mycket är miljön gynnsam genom att syreberikat strömmande vatten kommer i kontakt med axelmaterialet och även tränger in i spalten.

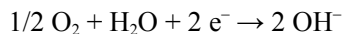
## 2.4.7 Spaltkorrosion

I trånga vätskefyllda spalter kan en typ av korrosion som kallas spaltkorrosion uppträda, figur 2-26.

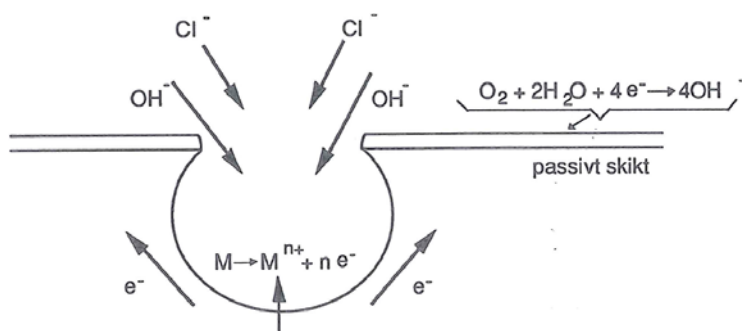
Flera olika faktorer bidrar till spaltkorrosionen. Om materialet i figuren består av rostfritt stål i en neutral kloridlösning kan den försvårade syretransporten in i en spalt medföra att passiviteten upphävs och stålet inne i spalten blir aktivt och korroderar enligt:



Syret är nödvändigt för upprätthållandet av passiviteten i kloridmiljö. Syretillförseln till ytan vid spaltmynningen är emellertid god och en luftningscell bildas varvid katodreaktionen lyder:

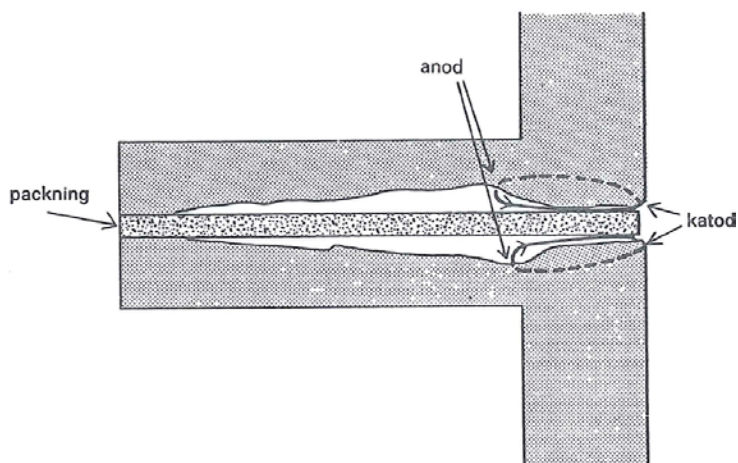


Vid hydrolysen av upplösta korrosionsprodukter i spalten ( $\text{Fe}^{2+}$  och  $\text{Cr}^{3+}$ ) blir lösningen i spalten surare än utanför, dvs pH kan bli 3–4.



Figur 2-25. Punktfrätning angrepp med anod- och katodreaktioner.





**Figur 2-26.** Tvärsnitt genom flänsförband med spaltkorrosion (i figuren är spalten överdrivet bred).

Vid dekontaminering kan vätska innehållande kemikalier tränga in i spalten och bli kvar där även efter sköljningsoperationer. Det kan ofta vara mycket svårt att avlägsna dessa kemikalierester från spalter efter dekontaminering. Ofta krävs det upprepade sköljningsoperationer med kallt och varmt totalavsaltat vatten för att bli kvitt kemikalieresterna. Kvarblivna rester kan försäkra angrepp i spalter.

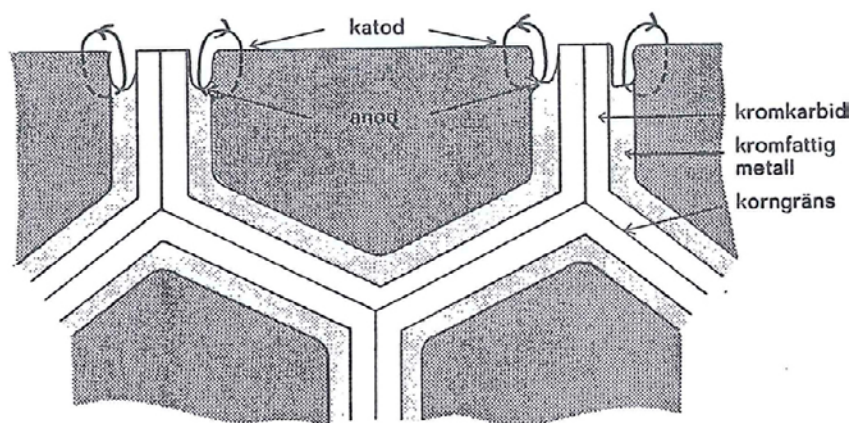
#### 2.4.8 Interkristallin korrosion

Sensibiliserat rostfritt stål med kromutarmade korngränser kan i vissa lösningar utsättas för korngränsfrätning varvid de utarmade korngränserna uppträder som anoder och resten av kornen som katoder, figur 2-27.

De kromutarmade korngränserna har inte samma korrosionsbeständighet som grundmaterialet har.

Lösningar som kan framkalla interkristallin korrosion på rostfritt sensibiliserat stål är kraftigt oxiderande till sin karaktär, t ex koncentrerad salpetersyra. Dyliga lösningar används därför vid stålverken för kontroll av tillverkningen. Två välkända tester är Strauss-provning (kokande svavelsyrasur kopparsulfatlösning innehållande kopparspån) och Huey-test (kokande 65 % salpetersyra). Proven som utsatts för dessa tester spricker vid bockning varvid sprickdjupen utgör ett mått på sensibiliseringsgraden. Även avfrätningen utgör ett mått på sensibiliseringsgraden.

Dekontamineringskemikalierna är normalt reducerande till sin karaktär och framkallar inte interkristallin korrosion på komponenter. Oxiderande försteg förekommer dock men inte heller dessa kemikalier är tillräckligt aggressiva för att kunna orsaka angrepp.



**Figur 2-27.** Interkristallin korrosion i rostfritt stål.

### 2.4.9 Interkristallin spänningskorrosion

Rörledningarna och komponenter av rostfritt stål eller nickelbaslegeringar kan, i reaktorvatten vid höga temperaturer, utsättas för något som kallas för interkristallin spänningskorrosion. En annan benämning på fenomenet är IGSCC från det engelska uttrycket "Intergranular Stress Corrosion Cracking". Sprickor penetrerar vid IGSCC efter en inhiberingstid mycket snabbt det rostfria stålet (med läckage som följd).

Tre olika förutsättningar måste samtidigt vara uppfyllda för att fenomenet ska kunna uppträda:

- 1 Materialet måste vara sensibiliserat genom olämplig värmebehandling eller kallbearbetning.
- 2 Dragspänningar över en viss nivå måste förekomma.
- 3 Syre vid koncentrationer > 10 ppb eller någon annan oxiderande substans måste finnas tillgänglig i elektrolyten.

Sensibiliseringen behöver inte härstamma från själva tillverkningsprocessen av rören eller komponenterna. I den värmepåverkade zonen intill en svetsfog kan materialet ha blivit sensibiliserat i samband med montagearbetet. Ju kraftigare sensibiliseringen är desto känsligare är stålet för interkristallin spänningskorrosion. En ökande kolhalt ökar därför risken för sensibilisering och interkristallin spänningskorrosion. Utvecklingen har därför gått mot rostfria stål med låg kolhalt, < 0,03 % kol. De svenska normerna för kvaliteten SS 2333 har föreskrivit max 0,05 % kol vilket är förklaringen till varför Sverige i stor utsträckning skonats från denna typ av skador. Dock är IGSCC den vanligaste orsaken till korrosionsskador i Sverige. I många andra länder används högre kolhalt i stål.

Kallbearbetning av rostfritt stål kan resultera i bildning av mekanisk martensit. Martensiten har sämre korrosionsegenskaper än austeniten. Martensit sensibiliseras snabbare än austenit beroende på att diffusionshastigheterna är högre i BCC-material (martensit) än i FCC-material (austenit). Vid kallbearbetning byggs också spänningar upp i materialet beroende på en högre densitet av dislokationer. Dessa spänningar kan skada det skyddande oxidskiktet samt påskynda spricktillväxten. Känsligheten för IGSCC växer med graden av kallbearbetning. Kallbearbetat material kan omkristalliseras genom värmebehandling.

Nickellegeringar är precis som rostfria material känsliga för sensibilisering och för IGSCC. Inconel är därför känsligt för vissa typer av värmebehandlingar som används vid härdning (åldringsprocess). I härdningsprocessen bildas främmande faser i kristallstrukturen vilket gör materialet hårt men det bygger också upp spänningar i materialet vilket kan påskynda spricktillväxten.

Dragspänningar i materialet är svåra att undvika eller eliminera i gamla reaktorer. Spänningar kan ha uppstått vid svetsning eller uppkommer i samband med termiska gradienter. Rör konstruerade med termiska expansionsringor är mindre benägna att utsättas för IGSCC än system utan slingor.

IGSCC förekommer inte i rostfria system i PWR beroende på den reducerande vätgasmiljön i reaktorvattnet. Fenomenet är typiskt för BWR som normalt körs enligt NWC (Normal Water Chemistry). Vid drift produceras i härden både vätgas och syrgas. Syrgashalten vid normal drift är 0,2 ppm (parts per million) vilket ger materialet en tillräckligt hög elektrokemisk potential för att framkalla IGSCC när de två andra kriterierna är uppfyllda. Ju högre elektrokemisk potential desto större drivkraft för korrosionen ifråga. Genom dosering av vätgas till matarvattnet kan syrehalten i reaktorvattnet sänkas till låga nivåer på de flesta håll i systemen. Därvid börjar miljön mera likna den i en PWR och risken för IGSCC är eliminerad. Körsättet kallas för HWC (Hydrogen Water Chemistry).

Nickellegeringar är också känsliga för IGSCC i reducerande miljö som råder i primärsystem.

Oxidfilmen som bildas på rostfria stål i reaktormiljö har troligen ett stort inflytande på känsligheten för IGSCC. Om skiktet skadas ökar risken för spänningskorrosion enligt gängse hypoteser. Vid dekontaminering avlägsnas ofta detta skikt helt och hållet. Ofta handlar det emellertid om komponenter som pga. sin geometriska utformning etc inte är så känsliga för denna typ av korrosion.

### 2.4.10 Transkristallin spänningskorrosion

Rostfria stål kan utsättas för transkristallin spänningskorrosion om dragspänningar belastar konstruktionen och om aggressiva joner som klorider finns närvarande i lösning. Tryckspänningar framkallar inte spänningskorrosion utan kan verka inhiberande på processen. Så är fallet t ex med våtblästring med glaspärlor, som ger en yta med tryckspänningar.

Vid transkristallin spänningskorrosion propagerar sprickorna tvärs genom kornen i metallen i motsats till interkristallin spänningskorrosion, då sprickorna propagerar längs korngränserna, figur 2-28.

En förutsättning för att transkristallin spänningskorrosion ska initieras på ett rostfritt stål är att ytan är passiverad. En ökande syrekonzentration i vattnet ökar risken för korrosion. Den erforderliga koncentrationen av kloridjoner minskar som funktion av syrehalten vilket framgår av figur 2-29.

Vid mycket höga syrekonzentrationer blir den för framkallandet av spänningskorrosion erforderliga kloridkoncentrationen mycket låg.

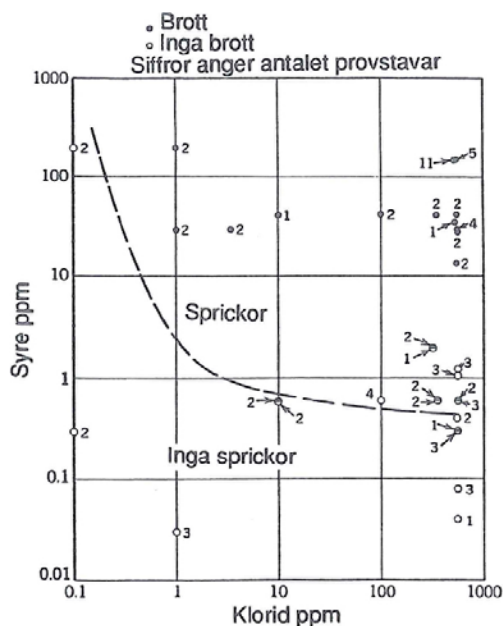
Transkristallin spänningskorrosion uppträder inte på 18-8-stål vid temperaturer  $< 50\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Med ökande temperatur hos en bestämd kloridlösning ökar även risken för transkristallin spänningskorrosion, dvs tiden till brott minskar.

Med ökande dragspänning minskar också tiden till brott. Även mycket låga dragspänningar kan framkalla spänningskorrosion även om både inkubations- och propageringstiden för sprickor då blir lång.

Mycket höga krav ställs på vattenkvaliteten i en reaktorläggning beroende på risken för transkristallin spänningskorrosion i processystemen. Reaktorläggningar levererade av ABB ATOM har som krav att koncentrationerna av klorider och fluorider måste vara  $< 0,1\text{ ppm}$  i reaktorvattnet. Krav ställs även på halogeninnehåll i rengöringsmedel, blästermedel, packningsmaterial etc. Dessa krav ställs för att halogener inte ska tillföras processvattnet med komponenter som installeras i systemen.



Figur 2-28. Transkristallina sprickor i ett austenitiskt rostfritt stål.



Figur 2-29. Sambandet mellan klorid- och  $\text{O}_2$ -koncentrationen med avseende på risken för TGSCC hos 18-8 stål utsatta för intermittant våtning och ånga. pH 10,6, 50 ppm fosfatlösning, 242–260  $^{\circ}\text{C}$ , 1–30 dagars exponering (William och Echel).

### 2.4.11 Korrosionsegenskaper för järn och stål

Vid frånvaro av vatten i luften korroderar stål med en marginell hastighet. Stålkomponenter kvarglömda i öknar förblir så gott som opåverkade under långa tidsperioder. Även i klimat med lufttemperaturer under vattnets fryspunkt är korrosionshastigheten för rostfritt stål låg. Is, som knappast innehåller några salter, är en mycket dålig elektrolytisk ledare. För att stål ska korrodera i luft krävs det närvaro av fuktighet i atmosfären. Rostning börjar uppträda när den relativa luftfuktigheten är över 60 %. Vid lagring av komponenter måste därför luften i lokalen värmas minst 7 °C jämfört med uteluften för att eliminera risken för korrosion. Risken för korrosion är störst under sommaren då uteluftens temperatur kan vara mycket högre än inne i lagerlokalen och då luftfuktigheten kan vara hög.

Nära kusterna kan luften innehålla saltaerosoler från havsvattnet vilket ökar risken för korrosion främst på grund av närvaron av koksalt (NaCl). I områden nära större industrier kan korrosiviteten öka genom närvaron av SO<sub>2</sub> som omvandlas till svavelsyra (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) i närvaro av vatten. Även genom kontakt med bara händer kan salter från svett förorena metallytan och orsaka missfärgningar på den.

Vid normala temperaturer krävs det närvaro av syre (O<sub>2</sub>) i neutrala och nära neutrala vattenlösningar för att stål ska korrodera med märkbar hastighet. Detta framgår av figur 2-30 som visar korrosionshastigheten för stål i sakta strömmande destillerat vatten vid 25 °C.

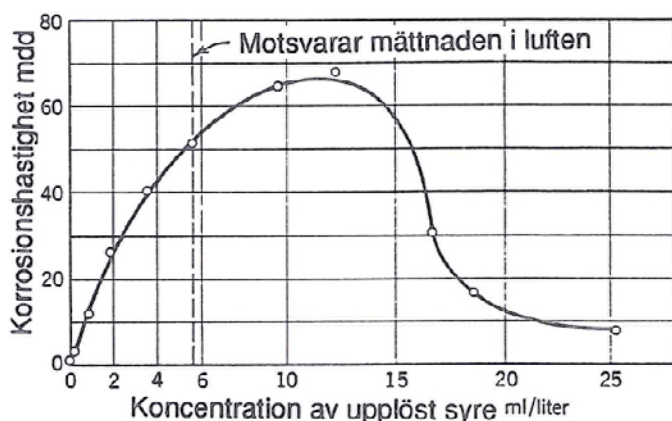
Hastigheten för korrosionen når ett maximum vid ca 12 ml syre per liter vatten eftersom stålet passiveras vid högre syrekoncentrationer. Vid närvaro av klorider i vattenlösningen kan passiviteten emellertid lokalt brytas ned och punktfrätningar uppstå.

Effekten av lösningens pH på korrosionshastigheten framgår av figur 2-31.

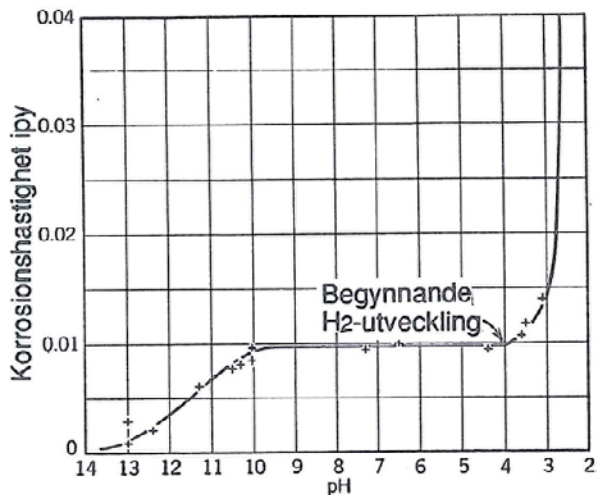
Inom pH-området 4–10 är korrosionshastigheten oberoende av pH och styrande för en korrosionsprocess blir därför syrediffusionen till metallytan. I sura lösningar, pH < 4, löses järn (II) oxid filmen upp varvid metallytan kommer i direktkontakt med den sura lösningen. Korrosionshastigheten blir beroende av vätgasutveckling och syrets depolarisation eller annorlunda uttryckt, syrets långsamma reaktionshastighet vid anodreaktionen. Vid pH > 10 blir stålet passivt.

Temperaturens inflytande på korrosionshastigheten framgår av figur 2-32.

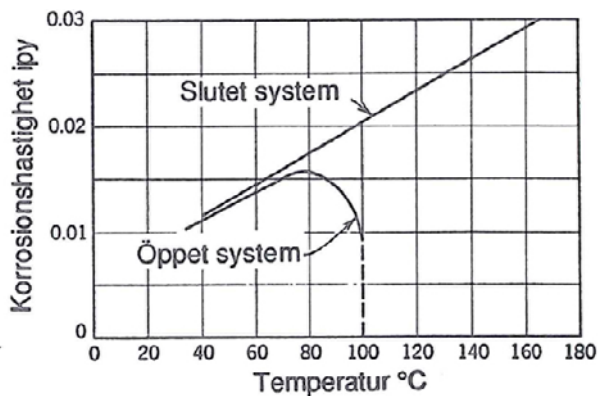
Vid närvaro av syre ökar till att börja med korrosionshastigheten med stigande temperatur. I öppna system börjar korrosionshastigheten därefter att avta vid temperaturer > 80 °C genom att vattnet börjar avgasas på syre. I slutna system fortsätter korrosionshastigheten att stiga med ökande temperatur.



**Figur 2-30.** Inverkan av syrekoncentrationen på korrosionshastigheten för stål i sakta strömmande destillerat vatten vid 25 °C. Tid 48 h. Korrosionshastigheten ges i mdd (mg per dm<sup>2</sup> och dygn).



**Figur 2-31.** Surhetens inflytande på korrosionen i avluftat vatten vid rumstemperatur. Korrosionshastigheten ges i ipy (inches per år).



**Figur 2-32.** Temperaturens inflytande på korrosionen i vatten innehållande syre ( $O_2$ ). Korrosionshastigheten ges i ipy (inches per år).

#### 2.4.12 Rostfria ståls korrosionsegenskaper

De rostfria stålen uppvisar mycket god korrosionsbeständighet mot atmosfärisk korrosion i både havsatmosfär och industrietmosfär. I havsatmosfär är ett molybdenlegerat rostfritt stål att föredra. Med tiden kan den blanka passiva ytan bli missfärgad, men detta påverkar inte stålets integritet. Ytutförandet har ett stort inflytande på korrosionsegenskaperna. En fin yta ger bättre beständighet mot missfärgning än en grov yta som t ex en blästrad yta.

Missfärgning av en rostfri yta kan även uppstå vid hantering av en blank metallisk yta med svettiga händer. Svett innehåller alltid lite klorider som kan bryta ned den passiva ytan lokalt med missfärgning som följd. Även genom att bearbeta en yta med t ex kolstålborste kan skräpande rost bildas på den rostfria ytan. Små järnpartiklar, som slits loss från borsten, korroderar och anrostar ytan. Detta sker så fort fukt finns närvarande i miljön.

Vid måttliga temperaturer äger samtliga rostfria stålqualiteter en god beständighet mot korrosion i bruksvatten. En diskbank av rostfri plåt förblir blank under oöverskådlig tid precis som köksutrustning av martensitiska, ferritiska och austenitiska kvaliteter. Dessa tvättas ofta i diskmaskin i vatten vid högre temperaturer. I vissa fall kan emellertid mindre punktfrätning angrepp genom kloriders inverkan uppstå på sämre rostfria kvaliteter efter flera års diskning i diskmaskin. Med ökande kloridhalt i vattnet försämras beständigheten mot punktfrätning och spaltkorrosion allt mera. I havsvatten är inte de martenitiska rostfria stålen eller de lägre legerade ferritiska och austenitiska rostfria stålen beständiga. Så utsätts ett 18:8-stål typ SS 2333 redan efter kort tids exponering för lokala korrosionsangrepp. För att uppnå resistens måste krom- och/eller molybden-halten i stålet ökas. Enligt en grov

tumregel motsvarar en molybdenhaltsökning av 1 % en kromhaltsökning på 3,3 % för att uppnå likvärdig resistens mot punktfrätning. Även stål legerade med 3–4 % molybden kan efter några års exponering för havsvatten under stagnanta förhållanden utsättas för punktfrätning och spaltkorrosion.

De austenitiska rostfria stålen är även känsliga för transkristallin spänningskorrosion vid temperaturer > 80 °C och vid närvaro av kloridjoner och dragspänningar. De ferritiska och martenitiska rostfria stålen uppvisar inte känslighet för denna kloridinducerade korrosion. Även austenitiska kvaliteter med mycket hög nickelhalt (> 45 %) är immuna.

De rostfria stålen är även beständiga mot oxiderande syror (HNO<sub>3</sub>), många organiska syror, alkalier, utspädda reducerande syror etc.

### 2.4.13 Koppar och kopparlegeringar

Koppar är en metall som används i stor omfattning på grund av sin goda korrosionsresistens i många miljöer, sin formbarhet, goda termiska och elektriska konduktivitet samt goda lödbarhet. Den är ädel i förhållande till vätgaselektroden i spänningsserien och termodynamiskt stabil i vatten utan tendenser till korrosion. Den är också beständig i reducerande syror utan upplöst syre. I oxiderande syror och i vattenlösningar innehållande komplexformande joner (CN<sup>-</sup>, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) kan korrosionen bli svår. Koppar är också känslig för erosionskorrosion.

Koppar är resistent mot havsvatten och utsätts inte heller för beväxning eller fouling genom havsorganismer på grund av kopparjonernas giftverkan. Koppars korrosionsresistens är beroende av den skyddande oxidfilmen på metallytan. Denna oxidfilm löses upp av strömmande vatten eller av kolsyra eller andra organiska syror i t ex bruksvatten.

Koppar är också resistent mot utspädda avluftade syralösningar så som svavelsyra (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>), fosforsyra (H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>), ättiksyra och andra reducerande syror. Oxiderande syror som salpetersyra (HNO<sub>3</sub>) och varm koncentrerad svavelsyra (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) angriper koppar.

Ammoniumhydroxid (NH<sub>4</sub>OH) angriper koppar under bildning av kopparkomplex: Cu(NH<sub>3</sub>)<sub>4</sub><sup>2+</sup>.

Oxiderande tungmetallsalter som FeCl<sub>3</sub> och Fe<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub> angriper också koppar.

Mässing är benämningen på kopparlegeringar innehållande zink och eventuellt andra tillsatser. Kopparhalten varierar från ca 56 % till 85 % medan resten utgörs av zink eller något annat legeringselement. Allmänt sett är korrosionsbeständigheten något sämre än för rent koppar.

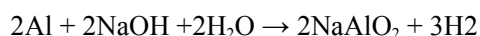
Under den gemensamma beteckning ”brons” ingår ett antal legeringar, som till största delen består av koppar och som dessutom innehåller mindre mängder av andra metaller såsom tenn eller tenn och bly eller aluminium. Korrosionshärdigheten är i allmänhet avsevärt bättre än för mässing.

### 2.4.14 Aluminium

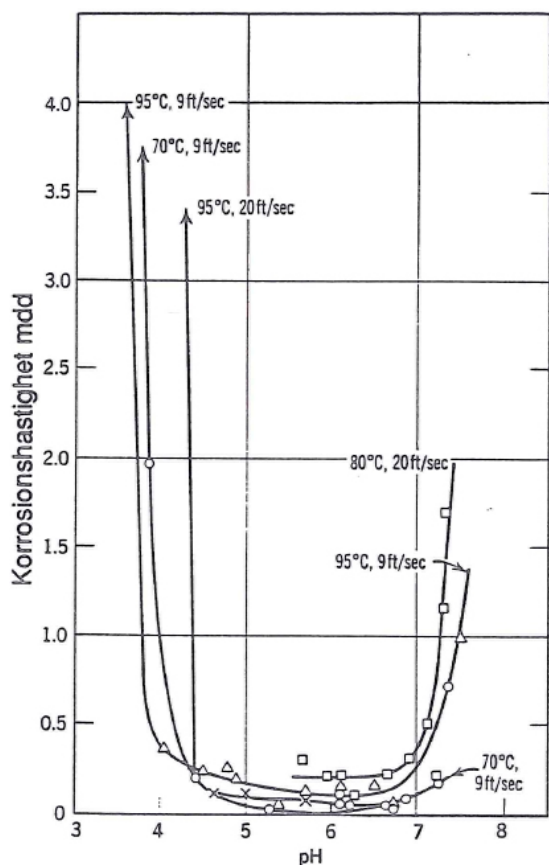
Aluminium är en lättmetall (densitet 2,71 g/cm<sup>3</sup>) med god korrosionsresistens mot atmosfärisk korrosion och gentemot många vattenlösningar. Den har dessutom god elektrisk konduktivitet. Den är mycket aktiv i den galvaniska spänningsserien men passiveras lätt vid vattenexponering. Den passiveras även lätt i vatten utan närvaro av syre och det passiva skiktet gör att metallen behåller sin glans vid exponering av metallen mot fuktig luft.

Ett flertal olika aluminiumlegeringar förekommer på marknaden. De fysikaliska egenskaperna förbättras genom tillsats av koppar, kisel, magnesium, zink och mangan. Av dessa förbättras dessutom korrosionsegenskaperna genom tillsats av mangan.

Aluminium korroderar under vätgasutveckling både i alkalisk och sur miljö vilket framgår av figur 2-33. Korrosionsminimum uppträder vid pH 4,5–7 vid 95 °C. Vid rumstemperatur är området något utvidgat till pH 5,5–8,5. Korrosionen i det alkaliska området ökar kraftigt med pH i motsats till järn och stål som förblir oangripna vid höga pH. Anledningen till detta är att Al<sup>3+</sup> lätt bildar komplex med OH<sup>-</sup> under bildning av AlO<sub>2</sub><sup>-</sup> enligt:







Figur 2-33. Korrosionshastighet (mdd = mg/(dm<sup>2</sup> dygn)) av aluminium som funktion av pH, som justerats med H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> och NaOH.

Aluminium angrips alltså lätt av alkalier vilket måste beaktas vid rengöring av metallen med alkaliska rengöringsmedel. Kalk angriper också aluminium under tydlig vätgasutveckling vilket gör att metallen inte får stå i kontakt med cement. Så länge cementen är fuktig fortgår korrosionen.

Aluminium är resistent mot både varm och kall ammoniak (NH<sub>4</sub>OH) och ättiksyra. Den är dessutom resistent mot många andra organiska syror som citronsyra, vinsyra, äppelsyra och fettsyror.

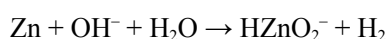
Den angrips av havsvatten under bildning av punktfrätning på ytan genom att kloriderna lokalt bryter ned den passiva filmen. I allmänhet angrips metallen om tungmetaller finns närvarande i vattenlösning.

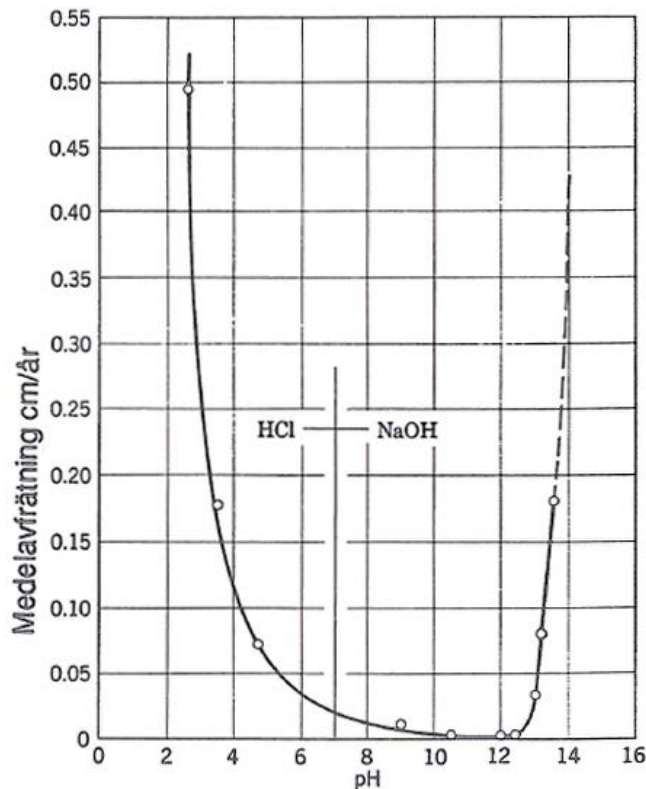
#### 2.4.15 Zinkbeläggningar

Zink är en billig metall med relativt god korrosionsbeständighet mot vatten och fuktig luft. Den används som beläggning på stål i stor omfattning varvid dess goda korrosionsegenskaper utnyttjas för att skydda själva stålkonstruktionen. Den skyddar dessutom stålet katodiskt om beläggningen skulle råka gå sönder lokalt.

Beläggningen kan appliceras på stålytan antingen elektrolytiskt eller genom doppning i zinksmälta. Elektrolytiskt belagda skikt är något duktilare än varmgalvaniserade skikt, som bildar en spröd intermetallisk förening av zink (Zn) och järn (Fe) närmast metallytan. Å andra sidan är ett varmgalvaniserat skikt bättre förankrat i sitt underlag än elektrolytiskt galvaniserat.

I vattenlösningar vid rumstemperaturen är allmänkorrosionen som lägst inom pH-området från 7 till 12, figur 2-34. I sur och starkt alkalisk miljö är korrosionsprocessen förenad med vätgasutveckling. Vid pH över ungefär 12,5 reagerar zink häftigt under bildning av vattenlösliga zinkater enligt:





Figur 2-34. Zinks korrosion i luftade vattenlösningar vid 30 °C.

Zink uppvisar god korrosionsbeständighet både i marin och lantlig atmosfär. I industriadmosfär kan livslängden bli begränsad om luften är starkt förorenad med svavelföreningar, som angriper metallen som svavelsyra.

I havsvatten skyddar zinkbeläggningen stålet mot korrosion varvid livslängden i huvudsak bestäms av skiktets tjocklek. En beläggning på 0,13 mm skyddar stålet under en tid av ca 5 år.

I varma vatten kan polariteten för zink och järn kastas om så att zink blir ädlare än järn. Detta kan inträffa vid temperaturer > 60 °C. Därvid kan järn utsättas för punktfrättingsangrepp. Vatten innehållande karbonater och nitrater gynnar polomvändningen medan de innehållande klorider och sulfater motverkar fenomenet.

#### 2.4.16 Nickel och dess legeringar

Ren nickel har ett ytcentrerat kubiskt kristallgitter precis som  $\gamma$ , Fe eller austenit. Nickel och dess legeringar har därför en austenitisk struktur vid alla temperaturer under smältpunkten.

Vad som menas med nickellegeringar är inte helt klart eftersom även legeringar innehållande < 50 % nickel ofta benämns som nickellegeringar. Incoloylegeringar innehållande 30–35 % nickel och 40–50 % järn kallas t ex för nickellegeringar.

Nickellegeringar har goda hållfasthetsegenskaper även vid höga temperaturer. Sammansättningarna varierar stort men vanligtvis ingår järn, krom, molybden och koppar som legeringselement.

Nickel är oädlare (aktiv) än väte men ädlare än järn enligt den elektrokemiska spänningsserien. Den korroderar inte i avluftat vatten vid rumstemperatur genom att det bildas en skyddande film av  $\text{Ni}(\text{OH})_2$  på metallytan. Den är passiv i många avluftade vattenlösningar men det passiva skiktet är inte så stabilt som t ex hos krom. Nickel utsätts för korrosionsangrepp i havsvatten.

Nickel har mycket god korrosionsbeständighet mot varma och kalla alkalilösningar. Endast silver och möjligen zirkonium har bättre korrosionsbeständighet i dylika lösningar. Även beständigheten mot utspädda organiska syralösningar är god.



Nickel har däremot dålig korrosionsbeständighet mot oxiderande syror ( $\text{HNO}_3$ ), oxiderande salter ( $\text{FeCl}_3$ ,  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ ), syresatt ammoniak, havsvatten etc.

Korrosionsresistensen mot reducerande syralösningar förbättras genom att legera nickel med koppar. Därigenom förbättras även beständigheten mot havsvatten. I havsvatten utsätts rent nickel lätt för punktfrätningssangrepp. Vid 60–70 % kopparhalter uppvisar legeringen liknande passiva egenskaper som ren koppar och utsätts inte längre för punktfrätningssangrepp i stagnant havsvatten. Genom att tillsätta 1,75 % järn till legeringen förbättras resistensen mot erosionskorrosion väsentligt. Den vanliga Monelmetallen har sammansättningen 30 % koppar, 2–3 % järn och resten nickel.

Genom att tillsätta krom till nickel förbättras resistensen mot oxiderande lösningar som salpetersyra ( $\text{HNO}_3$ ) och kromsyra ( $\text{H}_2\text{CrO}_4$ ). För att uppnå en stabil passivitet i svavelsyra ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) erfordras det en kromhalt på 14 %. Känsligheten mot punktfrätning ökar dock jämfört med rent nickel speciellt då i stagnant havsvatten.

Genom att tillsätta molybden till nickel förbättras i hög grad beständigheten under reducerande förhållanden. Den goda beständigheten orsakas inte av en stabil passiv film utan av att korrosionsprocessen är långsam.

Oftast används i tekniska sammanhang legeringar innehållande minst tre element på grund av de binära legeringarnas dåliga fysikaliska egenskaper. Ett exempel är Hastelloy C som innehåller både krom och molybden vilket framgår av riktanalysen nedan:

54 % Ni, 15–17 % Mo, max 2,5 % Co, 14,5–16,5 % Cr, 3–4,5 % W, 4–7 % Fe

Denna legering har goda korrosionsegenskaper både i oxiderande och reducerande miljöer. Den är immun mot punktfrätning och spaltkorrosion i havsvatten.

En annan nickellegering som är aktuell i reaktorsammanhang är Inconel Alloy 600. Den innehåller:

76 % Ni, 16 % Cr, 7,2 % Fe, 0,2 % Si, 0,2 % Mn, 0,04 % C

och används i viss utsträckning fortfarande som tubmaterial i PWR ånggeneratorer (RAB har bytt ut samtliga ånggeneratorerna till Inconel 690). Inconel 600 används också som spridarmaterial i bränslepatroner, som material i backventiler till drivdon etc.

#### 2.4.17 Stellite

Stelliter är en grupp material med högt koboltinnehåll och mycket god nötningsbeständighet. De uppvisar dessutom låg friktionskoefficient gentemot stål, god resistens mot högtemperaturvatten och god oxidationsbeständighet.

Sammansättningen varierar mycket legeringarna sinsemellan. För kol, volfram och krom gäller följande:

1–3 % C, 4–25 % W, 30 % Cr

För härdningens skull tillsätts dessutom något molybden, tantal, niob och bor i vissa fall. För att förbättra korrosionsbeständigheten kan nickel tillsättas. Molybden förbättrar hårdheten vid höga temperaturer och järn tillsätts ibland för att sänka priset.

Stellite 6 är den legering som normalt används i reaktorsammanhang. Den har följande riktanalys:

Max 3 % Fe, 3 % Ni, 56 % Co, 30 % Cr, 5 % W, 1,25 % C

Strukturen består av kromkarbider ( $\text{Cr}_7\text{C}_3$ ) i en eutektisk matris. Vid betning med organiska syror kan selektiv avfrätning av matrisen eventuell vara ett problem. I så fall skulle karbiderna förbli opåverkade av bettsyror. Detta måste emellertid bekräftas genom försök.

Det är värt att påpeka att legeringar med högt innehåll av kobolt, såsom Stellite, bör undvikas i reaktorsammanhang. Detta eftersom då Co-60 kan bildas genom neutronaktivering av kobolt och Co-60 är den isotop som bidrar mest till stråldosen på en reaktoranläggning.

## 3 Förekommande material

### 3.1 Sammanfattning

I detta kapitel görs en generell översikt över de vanligast förekommande materialen i våra kärntekniska anläggningar vilka kan bli föremål för dekontaminering. I kapitlet jämförs också de olika anläggningarnas konstruktionsmaterial och hur neutronstrålningen påverkar materialens hållbarhet.

Man försöker belysa de speciella villkoren som gäller för och vid de kärntekniska anläggningar och de designkriterier som konstruktören har att ta hänsyn till då det gäller att välja rätt material. Detta är nödvändig information för att skapa förståelse för varför ett visst material har valts just för denna komponent eller systemdel och därigenom hur det aktuella dekontamineringsobjektet kan behandlas av dekontaminatören.

Givetvis har tyngdpunkten lagts på de rostfria och nickelbaslegerade stålen då ju dessa är dominerande när det gäller föremål för dekontaminering. Även kolstål, låglegerade stål och höghållfasta stål behandlas.

### 3.2 Speciella villkor vid kärntekniska anläggningar

Det karakteristiska för en kärnteknisk anläggning är stråldoserna, både under drift och vid avställning, på komponenter i systemen. Strålningsfälten försvårar i större eller mindre utsträckning underhållsarbetet. Vid reparationer och underhållsarbeten måste man ta hänsyn till dosraterna med tanke på dosbelastning till personalen, och till aktivitetsuppbyggnaden med tanke på risken för aktivitetsspridning i omgivningen. Det är följaktligen önskvärt att minska antalet åtgärder i system så mycket som möjligt under anläggningens livstid. Livstiden för kärnkraftverken uppskattas vara minst 40 år. Detta ställer speciella krav på reaktorkomponenternas och materialens beständighet.

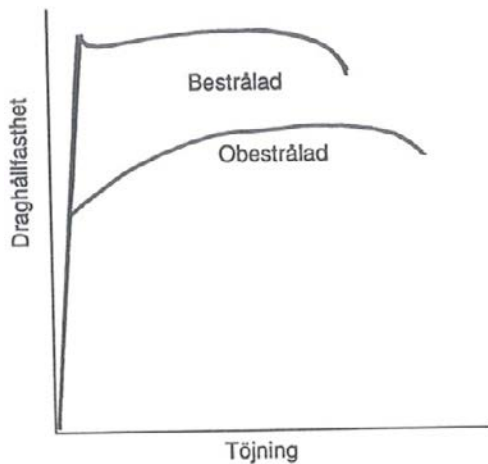
Mycket höga krav ställs på kvalitetssäkring (QA) och kvalitetskontroll (QC) beträffande komponenter i primärsystemen vid en kärnteknisk anläggning. Detta fördyrar högst väsentligt anskaffningskostnaden för nya komponenter vilket gör reparation och återanvändning av gamla komponenter till en lönsam affär. Komponenterna uttagna ur de varma reaktorsystemen är täckta av oxider medan de som tagits ur kalla system oftast endast är kontaminerade av lösa partiklar. Denna kontamination försvårar underhållsarbetet genom risken för aktivitetsspridning och genom dospåverkan på personalen. Inspektioner försvåras också av de oxidskikt som bildats på komponentytorna.

Genom dekontaminering kan underhållsarbetet förenklas, aktivitetsspridning undvikas och kostnaderna därigenom minskas genom ökad återanvändning av gamla komponenter.

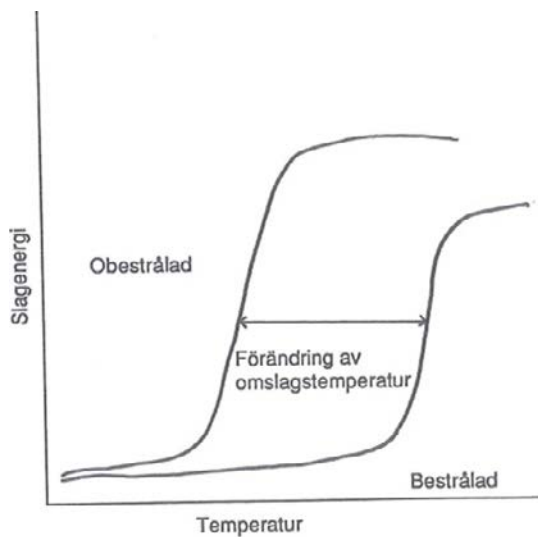
Under kapitel 4 behandlas aktivitetsuppbyggnaden genom neutronaktivering av korrosionsprodukter närmare. Vissa metaller har högre absorptionsvärsnitt för neutroner än andra. Detta faktum ställer också speciella krav på reaktormaterialen. Begränsningar på t ex koboltföreningar i rostfria stål har gjorts just med tanke på risken för aktivitetsuppbyggnad i system. För att minska mängden korrosionsprodukter i processvattnet har material med god korrosionsbeständighet kommit till användning i kontakt med reaktorvattnet. Det innebär att austenitiska rostfria kvaliteter i allmänhet används i rörledningar och komponenter.

Även den intensiva neutronbestrålningen i reaktorhärden och dess närmaste omgivning ställer speciella krav på materialval. Alla material påverkas förr eller senare av denna bestrålning, som påverkar atomerna i kristallgittren. En högenergetisk neutron slår lätt bort en atom från dess plats i gittret vid en kollision. Utstötningarna leder till att både vakanser och interstitialer bildas. Med vakans menas ett hålrum i kristallgittret, en atom saknas, och med interstitial en atom som lagt sig mellan atomerna i gittret. De mekaniska egenskaperna styrs av möjligheterna till glidning i olika kristallplan i atomgittret. Genom bestrålningen försvåras glidningen i allmänhet vilket leder till ökad draghållfasthet och försämrad duktilitet<sup>1</sup>, figur 3-1 och figur 3-2.

<sup>1</sup> Duktilitet är ett mått på materialets förmåga att utsättas för plastisk deformation utan att sprickor uppstår.



Figur 3-1. Inverkan av neutronbestrålning på draghållfastheten.



Figur 3-2. Inverkan av neutronbestrålningen på omslagspunkten vid slagprovning.

Av särskilt stor betydelse är den väsentliga höjningen av omslagspunkten för duktiliteten som drabbar ferritiska stål som utsätts för neutronbestrålning. Uppställningen nedan ger mått på påverkan på hållfasthetsegenskaper och på inducerad aktivering av material i en BWR-reaktortank:

Placering	Snabba neutroner ( $\text{ncm}^2 \times \text{sek}$ )
Härdens centrum	$6 \times 10^{13}$
Härdens periferi	$2 \times 10^{13}$
Moderatortank	$1 \times 10^{12}$
Reaktortank mitt i härden	$1 \times 10^9$
Dito, locket	$< 10$
Dito, botten	0
Härdgaller	$2 \times 10^{12}$
Moderatortanklock	$7 \times 10^9$

Ju större neutronflödet av snabba neutroner är, desto större är materialpåverkan och den inducerade aktiviteten. För en kokarreaktor innebär detta att endast komponenter i själva härden (bränslepatroner etc), moderatortank med lock, härdgaller samt begränsade delar av själva reaktortanken erhåller så hög neutrondos att bestrålningsförsprödning överhuvudtaget behöver beaktas.

Förhållandena i en tryckvattenreaktor är något annorlunda på grund av den kompaktare konstruktionen och därigenom större neutronpåverkan på själva tanken.

Andelen snabba neutroner anges ofta till ca 10 % av antalet neutroner totalt. Omslagstemperaturen påverkas vid 1 018 snabba neutroner per cm<sup>2</sup> i tryckkärletsstålet medan austenitiska stål börjar påverkas först vid ca 1 020, Efter ca 40 års drift förväntas den totala neutrondosen mitt för härden i tanken för TVO 1 och 2 uppgå till 1 018 n/cm<sup>2</sup>.

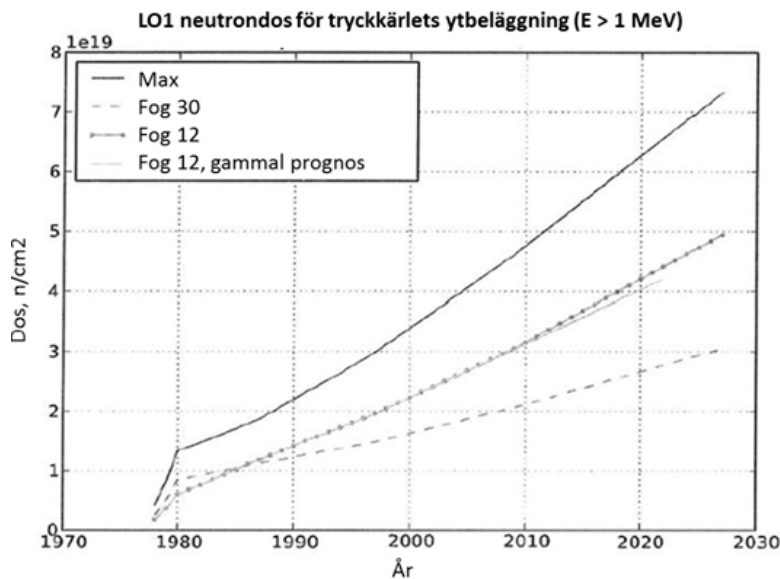
För att minska bestrålningen av reaktorkärlet och samtidigt förbättra neutron utnyttjandet är OL3-reaktorn utrustad med neutronreflektor. Reflektorn reflekterar tillbaka neutroner som lämnat reaktorkärlet vilket medför att färre neutroner kommer i kontakt med själva reaktortrycktanken och följaktligen kommer bestrålningseffekten vara lägre.

I Lovisa märkte man redan 1980 att neutronstrålningen på reaktortryck-kärlet ökade snabbare än det ursprungligen var förväntat. Därför installerades det 1980 på LO1 och 1981 på LO2 så kallade skyddselement ”dummy element” för att skydda reaktortryckkärlet från neutronstrålningen. De yttersta bränslestavarna i reaktorn ersattes med 36 skyddselement. De motsvarar till dimensionen de fasta bränsle-stavarna, men de består endast av ståldelar och innehåller inget bränsle. Skyddselementens uppgift är att dämpa den neutronstrålning som påfrestar tryckkärlet till en lägre nivå. Figur 3-3 visar tydligt den inverkan skyddselementen hade på reaktortryckkärlets neutronstrålning.

Komponenter utsatta för neutronbestralning uppvisar större eller mindre grad av inducerad aktivitet, allt beroende på materialsammansättning. Dylika komponenter är ”kontaminerade” i hela godset och går inte att dekontaminera om aktiveringsgraden är för stor.

**Tabell 3-1. Neutronfluens under perioden av designens livslängd (n/m<sup>2</sup>).**

Reaktortyp (design)	Temperatur °C	Neutronflux, n×m <sup>-2</sup> ×c <sup>-1</sup>	Design livstid, år	Max neutronflöde, n×m <sup>-2</sup> (E ≥ 0,5 MeV)
VVER-440 (V-230)	270	~ 1,7×10 <sup>15</sup>	40	BM 2,2×10 <sup>24</sup> WM 1,5×10 <sup>24</sup>
VVER-1000 (V-320)	290	~ 2,85×10 <sup>14</sup>	40	BM 3,58×10 <sup>23</sup> WM 3,55×10 <sup>23</sup>
VVER-1200 (V-491)	290	~ 2,2×10 <sup>14</sup>	60	BM 4,22×10 <sup>23</sup> WM 3,99×10 <sup>23</sup>
EPR AREVA	295	~ 3,2×10 <sup>13</sup>	60	1,00×10 <sup>23</sup>
US-APVR	288	~ 3,2×10 <sup>13</sup>	60	BM 9,8×10 <sup>22</sup> WM 8,5×10 <sup>22</sup>



**Figur 3-3. Skyddselementens inverkan på neutrondosen för LO1.**

### 3.3 Principer vid materialval

#### 3.3.1 Säkerhetskrav

Tryckbärande komponenters integritet får inte i något fall äventyras. De måste ha tillräcklig hållfasthet, ha tillräcklig seghet, korrosionsbeständighet, åldringsbeständighet etc för att brott inte ska kunna uppträda ens i slutet av reaktorns livslängd. Om kylningen skulle gå förlorad finns det risk för svår omgivningspåverkan pga. aktivitetsspridning samt för mycket kostsamma upprepningsaktioner i reaktorn.

Materialen i t ex reaktorn har även valts för att minska risken för aktivitetssuppbbyggnad i system genom aktiverade korrosionsprodukter. Detta ställer krav på både korrosionsbeständighet och sammansättning. Lättaktiverade legeringselement får helst inte alls ingå som legeringselement eller förorening. Ämnen, som under neutronbestrålning kan omvandlas till besvärliga radioaktiva produkter är koppar, fosfor, kobolt, zink, silver och antimon.

#### 3.3.2 Reaktortanken

Reaktortanken är ett stort tryckkärl som i en 1 000 MW BWR väger ca 750 ton och i en lika stor PWR väger ca 350 ton. Den är tillverkad av ett låglegerat seghärdat stål med invändig plätering av austenitiskt rostfritt stål. Plätningen utförs genom påläggssvetsning. Därigenom kommer ytan som exponeras mot processvattnet att ha god korrosionsbeständighet. Sprickbildning under claddingen, s k Under Clad Cracking, har observerats. Denna beror på att vissa metoder för påläggssvetsning med hög värmeförsel skapade förutsättningar för korngränsseparation i en viss del av den värmepåverkade zonen. Härvid har lokalt sprickor bildats i områden med hög spänningsnivå.

Tabell 3-2. Reaktortankmaterial.

Land	Fallspalter, bottnar	Korrosionsresistent plätering
USA	SA 302 GR B SA 533 GR B, klass 2 SA 508, klass 1 SA 508, klass 2	Första lagret – 308L- och 309L-typer Andra och efterkommande lager – 304-typ
Frankrike	16 MnD5 RCC-M 2111 18 MnD5 RCC-M 2112	Första lagret – 309L-typ Andra och efterkommande lager – 304-typ
Tyskland	20 MnMoNi 5 5 22 NiMoCr 3 7	Första lagret – 309L-typ Andra och efterkommande lager – 304-typ
Sovjet/Ryssland VVER-440 VVER-1000	15Cr2MoVN, 15Cr2MoVN-A 15Cr2NiMoVN, 15Cr2NiMoVN-A 15Cr2NiMoVN, klass 1	Första lagret – 07Cr25Ni13 Andra lagret – 08Cr19Ni10Mn2Nb (04Cr20Ni10Mn2nb)

Tanken är utsatt för belastning i form av t ex inre övertryck samt belastningar uppkomna pga. temperaturvariationer och önskade eller oönskade driftändringar.

På grund av den radioaktiva miljön är reparation av tanken svår att genomföra vilket ställer höga krav på dess integritet under hela dess förväntade livslängd på minst 40 år. Den får inte under denna tid utsättas för sådan försprödning genom strålningsmiljön att dess integritet äventyras. Försprödningen följs upp genom att ett antal provstavar finns inmonterade i närheten av härden. De utsätts för 2–3 gånger högre neutrodoser än själva tanken. Därigenom fås en framförhållning vad sprödhetensfenomen beträffar. Försprödningen i reaktortanken undersöks i samband med att anläggningens livslängd förlängs.

**Tabell 3-3. Exempel på reaktortankförutsättningar (västerländsk samt rysk design).**

Reaktor typ (design)	Kylvattentemperatur, °C			Tryck MPa	Diameter (intern) mm	Vägg tjocklek mm	Stålkategori
	Inlopp	Utlopp	Design				
VVER-440 (V-230) (V-213)	269	300	350	12,2-operat. 13,7-design	3 560	140	15Cr2MoVN 15Cr2MoVN 15Cr2MoVN-A CoP 40
VVER-1000 (V-320)	288	322	350	15,7-operat. 17,6-design	4 250	190	15Cr2NiMoVN CoP 45
VVER-1200 (V-491)	288	322	350	15,7-operat. 17,6-design	4 250	197	15Cr2NiMoVN 15Cr2NiMo VN-A 15Cr2NiMoVN class 1 CoP 45
EPR AREVA NP	295	327	351	15,5-operat. 17,6-design	4 885	250	SA508 C2
US-APVR	288	325	343	17,1-design	5 151	264	SA508 C2

### 3.3.3 Interndelar

Förutom att interndelar ska uppvisa god korrosionsbeständighet bör komponenter som utsätts för neutronbestralning vara så okänsliga för aktivering som möjligt. Detta med tanke på att strålningsdoserna till personalen vid hantering av komponenterna i bassängerna annars kan bli för höga.

Den besvärligaste isotopen är kobolt-60. Halten av inaktiv kobolt (Co-59) i interndelar har begränsats till 0,05 % på komponenter inom ett avstånd av 3 m från härden för att minska på aktiveringen. I övriga interndelar liksom i rörsystem > 100 °C drifttemperatur och där processvattenflödet är riktat mot reaktortanken har kobolthalten begränsats till 0,2 %.

Normalt tillverkas interndelarna av rostfritt stål eller nickelbaslegering (typ Inconel 600) förutsatt att inte speciella hållfasthetskrav ställs på materialet.

Kvävehalten i vissa interndelar av rostfritt stål har begränsats till max 0,08 % på grund av risken för bildning av aktiveringsprodukten kol-14 vid neutronbestralning. I vanliga rostfria stål brukar kvävehalten ligga omkring 0,05 % så denna begränsning medför inga problem.

Bestralningen i härden har en tendens att åstadkomma sensibilisering av rostfritt stål, vilket gör att lågkolhaltiga kvaliteter med < 0,03 % kol (SS 2333 eller SS 2352) normalt väljs för ändamålet. Det är mycket svårt att byta interndelar på grund av den höga strålningsnivån vilket motiverar den låga kolhalten.

Detaljer som kräver hög hållfasthet tillverkas av utskiljningshärda de rostfria stål eller nickelbaslegeringar. Exempel på stål som används är SS 2570 och 17-4 PH. Av nickelbaslegeringar används nästan uteslutande Inconel X-750.

Några exempel på material i interndelar följer nedan:

Flänsar och mantelstöd till moderatortankstativ utförs i SS 2333, medan pumpdäck och mantel görs i Inconel 600. Moderatortanken är huvudsakligen konstruerad i SS 2333. Styrstavsledrör är tillverkade i SS 2343 förutom låsringar och strypbrickor vilka är gjorda i Inconel X-750.

### 3.3.4 Primära system

Med primära system avses system som transporterar kylmedel eller ånga. Reaktortank, interndelar, ånggeneratorerna i PWR och turbinsystemen behandlas emellertid separat.

#### **BWR**

I BWR används kolstål och låglegerade stål i de flesta reaktorer i matarvattenledningarna. Temperaturen i matarvattenledningarna är ca 100 °C lägre än i själva härden och korrosionen därför mindre. Rörsystemen i matarvattenförvärmarna är på grund av den stora ytan av rostfritt stål. Även

delar av rörledningarna är av rostfritt stål i de fall temperaturerna är högre. Kolstål och låglegerade stål används också i alla delar där allmänkorrosionen inte är besvärande eller där korrosionsprodukter kan filtreras bort innan de når reaktortanken, dvs före kondensatreningsfiltren.

Huvudcirkulationssystemet i reaktorer med externpumpar är konstruerat av låglegerat stål invändigt pläterat med rostfritt stål. Övriga primära system är byggda i rostfritt stål, SS 2333. I nyare anläggningar förekommer även SS 2352. Gjutna och smidda hus samt T-stycken och rörböjar är ofta utförda i SS 2343, SS 2337 och SS 2338.

Mellan reaktortanken och de rostfria rörledningarna finns i BWR-anläggningar ett övergångsstycke av Inconel 600, så kallad ”safe end”. Dess funktion är att minska de termiska spänningarna mellan kolstålet och det austenitiska rostfria stålet, då nickelbaslegeringar har en värmeutvidgningskoefficient mitt emellan de båda. Problem i form av spänningskorrosionssprickor har uppstått i anslutning till dessa övergångsstycken, mer om detta i avsnitt 3.5.5.

Samtliga klenledningar mindre än A50 byggs i rostfritt stål.

## **PWR**

Primärlooparna i svenska PWR är konstruerade i rostfritt stål, huvudsakligen typ 304N och typ 316 motsvarande svensk standard SS2333 med kvävetillsats samt 2347. Vanligt förekommande material i rörböjar är SA-351, CF8A och i pumphus SA-351, CF8. Därutöver kan det finnas lite nickelbasmaterial men i huvudsak är det materialen ovan som används.

## **3.4 Kol- och låglegerade stål**

### **3.4.1 Allmänna konstruktionsstål**

Allmänna konstruktionsstål väljs när det ställs krav på god svetsbarhet, hållfasthet och seghet vid tillverkning av komponenter och system. Stålen har relativt låga kolhalter och även låga legeringshalter i övrigt. De kan indelas i fyra grupper efter legeringsinnehållet. Med ökande legeringsinnehåll ökar hållfastheten (sträckgränsen) samtidigt som svetsbarheten försämras. Exempel på standardiserade allmänna konstruktionsstål ges i tabell 3-4.

Kolståls kolhalt begränsas till ca 0,25–0,30 % då svetsbarheten begränsas av risken för att få martensit, vilken ju är hård och spröd. Hållfastheten i ett kolstål är max ca 300 N/mm<sup>2</sup>.

Genom höjning av manganhalten upp mot 1,5–2 % Mn erhålls ett stål med högre hållfasthet än de rena kolstålen. Svetsbarhet och seghet förblir likvärdiga.

Sträckgränser upp mot ca 350 N/mm<sup>2</sup> uppnås i dessa kol-mangan-stål.

Genom tillsats av mycket små mängder (0,001–0,1 %) av aluminium, titan, niob, vanadin (och zirkonium) uppnås en markant förbättring av hållfasthetsegenskaperna utan att svetsbarhet eller seghet försämras. I kombination med värmning till hög temperatur (1 200 °C) före valsning och därefter varmvalsning vid låg temperatur fås ett material med små korn och en mängd mikroskopiskt små karbid/nitridutskiljningar, vilket ger sträckgränser upp emot 600–700 N/mm<sup>2</sup> hos dessa mikrolegerade stål.

Utmärkande för seghärtningsstålen är att de har en kolhalt mellan 0,25 % och 0,60 % samt att de dessutom ofta innehåller metalliska legeringselement som krom, nickel och molybden i halter upp mot ca 5–6 % sammanlagt, tabell 3-5. De används i maskinbearbetade detaljer där hög hållfasthet krävs. Exempel är axlar, kuggjul, vevstakar m m. Seghärtningen är en process där stålet först härddas och sedan anlöps vid en relativt hög temperatur (500–650 °C). Genom denna behandling får materialet en hög hållfasthet och tämligen god seghet. De är inte lämpliga för svetsning även om det är möjligt. Genom att variera anlöpningstemperaturen och tiden kan mycket varierande värden på hållfastheten erhållas för ett och samma material. Exempelvis kan sträckgränsen för det seghärdade stålet SS 2225 variera från 500 till 900 N/mm<sup>2</sup>, tabell 3-5.



**Tabell 3-4. Exempel på Allmänna konstruktionsstål.**

Beteckning enligt svensk standard	Sammansättning (max % om ej intervall ges)									Hållfasthet		Slagseghet	
	C	Si	Mn	P	S	N	Cr	Cu	Övr.	R <sub>e</sub> L, min N/mm <sup>2</sup>	R <sub>m</sub> N/mm <sup>2</sup>	T °C	KV, min J
SS 13 00	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	Max 490	–	–
SS 13 11	–	–	–	0,060	0,050	–	–	–	–	210	360–460	–	–
SS 13 12	0,20	–	–	0,050	0,050	0,009	–	–	–	210	360–460	–	–
SS 14 12	0,20	0,5	–	0,050	0,050	0,009	0,3	0,4	–	250	430–530	–	–
SS 14 14	0,18	0,5	–	0,040	0,040	0,009	0,3	0,4	–	250	430–450	–20	27
SS 21 32	0,20	0,5	1,6	0,035	0,035	0,02	–	–	Finkornsbeh	350	Min 510	–	–
SS 21 34	0,20	0,5	1,6	0,035	0,035	0,02	–	–	Finkornsbeh	350	Min 510	–20	27
SS 21 42	0,20	0,5	1,8	0,035	0,035	0,02	–	–	Finkornsbeh	390	Min 530	–	–
SS 21 44	0,20	0,5	1,8	0,035	0,035	0,02	–	–	Finkornsbeh	390	Min 530	–20	27
SS 21 74	0,18	0,5	1,8	0,040	0,040	0,009	0,2	0,3	–	290	470–590	–20	27
SS 26 14	0,20	0,55	1,7	0,030	0,030	0,014	–	–	Finkornsbeh	480	610–770	–20	40
SS 26 24	0,20	0,10–0,80	1,7	0,030	0,030	0,015	–	–	Finkornsbeh	670	770–940	–20	40
SS 26 34	0,18	0,50	1,30	0,030	0,030	0,015	–	–	Finkornsbeh	280	Min 350	–20	27
SS 26 44	0,18	0,50	1,65	0,030	0,030	0,015	–	–	Finkornsbeh	350	Min 420	–20	27
SS 26 54	0,18	0,50	1,65	0,030	0,030	0,015	–	–	Finkornsbeh	420	Min 480	–20	27
SS 26 64	0,18	0,50	1,80	0,030	0,030	0,015	–	–	Finkornsbeh	490	Min 550	–20	27

– Betyder att krav saknas.

**Tabell 3-5. Exempel på Seghärtningsstål.**

Beteckning enligt svensk standard	Sammansättning (max % om ej intervall ges)						Hållfasthet	
	C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	R <sub>e</sub> L, min N/mm <sup>2</sup>	R <sub>m</sub> N/mm <sup>2</sup>
SS 15 72	0,32–0,39	0,15–0,40	0,50–0,80	–	–	–	270–420	490–770
SS 16 72	0,43–0,50	0,15–0,40	0,50–0,80	–	–	–	280–480	590–850
SS 16 74	0,48–0,55	0,15–0,40	0,60–0,90	–	–	–	290–510	590–900
SS 21 20	0,38–0,45	0,15–1,40	1,10–1,40	–	–	–	400–650	600–1 100
SS 22 25	0,22–0,29	0,15–0,40	0,50–0,80	0,90–1,20	–	0,15–0,30	410–900	640–1 300
SS 22 34	0,30–0,37	0,15–0,40	0,50–0,80	0,90–1,20	–	0,15–0,30	500–900	700–1 300
SS 22 44	0,38–0,45	0,15–0,40	0,60–0,90	0,90–1,20	–	–0,15–0,30	600–900	800–1 250
SS 25 34	0,28–0,35	0,15–0,40	0,40–0,70	0,90–1,20	3,00–3,50	0,20–0,30	700–1 200	1 100–1 500
SS 25 41	0,32–0,39	0,15–0,40	0,50–0,80	1,20–1,60	1,20–1,60	0,15–0,25	600–1 200	800–1 500
SS 29 40	0,38–0,45	0,20–0,50	0,50–0,80	1,50–1,80	–	0,25–0,35	600–750	850–1 150

– Betyder att krav saknas.

### 3.4.2 Tryckkärlsstål

Tryckkärlsstålen förekommer som kol- och kol-manganstål, mikrolegerade stål samt som molybden- eller krom-molybdenstål, de två sistnämnda är högttemperaturmaterial. Krav på tryckkärlsstål är hållfasthet och seghet vid låg temperatur, vid rumstemperatur eller vid förhöjd temperatur, samt svetsbarhet. Exempel på standardiserade tryckkärlsstål framgår av tabell 3-6. Kol- och kolmanganstålen samt de mikrolegerade stålen är nära släkt med motsvarande allmänna konstruktionsstål, med den skillnaden att betydligt högre krav på säkerhet ställs för tryckkärlsstålen. Föreskrifterna för provning är därför betydligt mer omfattande. För tryckkärlsplåt med godstjocklek över 3 mm krävs t ex att dragprov tas ut från varje plåt.

De låglegerade stålen (molybden- och krom-molybdenstål) har hög hållfasthet vid höga temperaturer (400–500 °C), dock på bekostnad av svetsbarheten som är något nedsatt. I en del fall erhålls bättre seghet vid låga temperaturer (ner till –100 °C). De låglegerade stålen kan förutom krom och molybden (samt naturligtvis kol och mangan) även innehålla exempelvis nickel och vanadin. Ökande halt legeringsämnen leder till nedsatt svetsbarhet med krav på förhöjd arbetstemperatur redan vid små godstjocklekar. Ofta krävs en värmebehandling för att uppnå bästa tänkbara hållfasthetsegenskaper. De låglegerade stålen kan i seghärdat tillstånd ha sträckgränser upp mot 800–900 N/mm<sup>2</sup>.

Tabell 3-6. Exempel på Tryckkärlsstål.

Beteckning enligt svensk standard	Sammansättning (max % om ej intervall ges)												Hållfasthet		Slagseghet	
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Cu	Nb+V	Ti	Almet	N	R <sub>eL</sub> , min N/mm <sup>2</sup>	R <sub>m</sub> N/mm <sup>2</sup>	T °C	KV, min J
SS 13 30	0,17	0,40	1,0	0,045	0,045	0,25	–	0,30	–	–	–	0,009	210	360–480	–	–
SS 14 30	0,20	0,40	–	0,045	0,045	0,25	–	0,30	–	–	–	0,009	250	430–520	–	–
SS 14 32	0,16	0,40	–	0,040	0,040	0,25	–	0,30	–	–	–	0,009	250	430–520	–20	27
SS 21 01	0,20	0,50	0,8–1,6	0,045	0,045	0,25	–	0,30	–	–	–	0,009	290	490–610	–	–
SS 21 03	0,16	0,10–0,50	0,9–1,6	0,040	0,040	0,25	–	0,30	–	–	–	0,009	290	490–610	–30	27
SS 21 06	0,20	0,5	1,6	0,035	0,035	–	–	–	0,10	0,20	0,015–0,06	0,015	350	Min 510	–20	27
SS 21 07	0,20	0,5	1,6	0,035	0,035	–	–	–	0,10	0,20	0,015–0,06	0,015	350	Min 510	–40	27
SS 21 16	0,20	0,5	1,8	0,035	0,035	–	–	–	0,10	0,20	0,015–0,06	0,015	390	Min 530	–20	27
SS 21 17	0,20	0,5	1,8	0,035	0,035	–	–	–	0,10	0,20	0,015–0,06	0,015	390	Min 530	–40	27
SS 22 16	0,10–0,18	0,15–0,35	0,4–0,8	0,040	0,040	0,70–1,30	0,4–0,60	0,25	–	–	0,020	–	300	440–590	–	–
SS 22 18	0,08–0,15	0,15–0,50	0,4–0,7	0,040	0,040	2,0–2,5	0,9–1,1	0,25	–	–	0,020	–	260	480–630	–	–
SS 29 12	0,12–0,2	0,15–0,35	0,5–0,8	0,030	0,040	0,30	0,25–0,35	0,30	–	–	0,012	–	260	430–550	–	–

– Betyder att krav saknas.

### 3.4.3 Maskinstål

Dessa material är avsedda främst att användas till maskinbearbetade konstruktionsdetaljer. Skillnaden mellan maskinstål och allmänna konstruktionsstål/tryckkärlsstål är att man för maskinstålen i första hand beaktat hållfasthet och bearbetbarhet, medan för de allmänna konstruktionsstålen/tryckkärlsstålen svetsbarheten och i viss mån hållfastheten prioriterats. Prioriteringen av bearbetbarhet och hållfasthet har medfört att kraven på hållfasthet och maximerad manganhalt specificerats medan kolhalten tillåts variera inom vida gränser. Detta gör maskinstålen mindre lämpade för svetsning. Maskinstålen i de högre hållfasthetsklasserna kan härddas och seghärdas pga. sina höga kolhalter. Exempel på standardiserade maskinstål ges i tabell 3-7.

Tabell 3-7. Exempel på Maskinstål.

Beteckning enligt svensk standard	Sammansättning					Hållfasthet	
	C (ca)	Si (min)	Mn (ca)	P (max)	S (max)	R <sub>e</sub> L, min N/mm <sup>2</sup>	R <sup>m</sup> N/mm <sup>2</sup>
SS 14 50	0,16–0,28	0,10	0,4–0,9	0,05	0,05	230	430–520
SS 15 50	0,28–0,40	0,10	0,4–0,9	0,05	0,05	260	490–610
SS 1650	0,28–0,40	0,10	0,4–0,9	0,05	0,05	300	590–710
SS 16 55	0,48–0,60	0,10	0,4–0,9	0,05	0,05	350	690–800

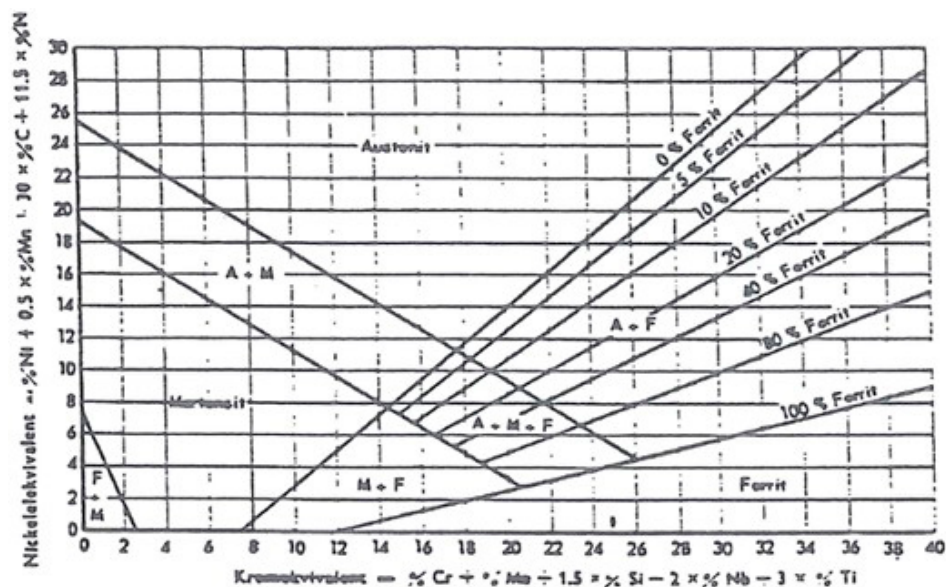
Krav på slagseghet förekommer inte.

## 3.5 Rostfria stål och nickelbaslegeringar

### 3.5.1 Martensitiska rostfria stål

Av Schaeffler-diagrammet framgår det att en martensitisk struktur hos ett rostfritt stål med en kromhalt > 13 % endast kan uppnås inom ett litet sammansättningsintervall med kromekvivalenten 13–14 % och nickelekvivalenten 6–9 %, figur 3-4.

Martensit kan beskrivas som ferrit med tvångsinlöst kol, och den är följaktligen mycket hård. Av den anledningen anlöps martensiten vid högre temperaturer, varpå kol skiljs ut i form av kromkarbider. Detta innebär att kromhalten sjunker runt karbiderna med nedsatt korrosionsmotstånd som följd. Val av anlöpningstemperatur sätts av de egenskaper materialet ska ha i sin tillämpning. Anlöpning vid ca 300 °C ger ett hårt material med dålig slagseghet medan anlöpning vid 600–650 °C ger god seghet. Ju hårdare materialet är desto högre hållfasthet, men lägre duktilitet, har det.



Figur 3-4. Modifierat diagram enligt Schaeffler för bestämning av rostfria ståls struktur.

Martensitiska rostfria stål har dålig svetsbarhet eftersom det vid svetsningen bildas ny martensit som ju inte anlöps. För att öka svetsbarheten måste kolhalten sänkas, vilket kräver (ökad) tillsats av andra austenitbildande legeringselement (kol stabiliserar austeniten vid höga temperaturer), såsom ex Ni och Mo.

Martensitiska rostfria stål används för detaljer där något högre hållfasthet krävs och där kraven på korrosionsbeständighet är måttliga. De används också där det behövs nötningsbeständighet. Typiska användningsområden är axlar, spindlar, pumpdetaljer, ventilkäglor, ventilsäten, bultar, muttrar, ringar och flänsar. Martensitiska rostfria stål är också lämpliga som ena part i förband mot austenitiska stål när risk för skärning föreligger. Slutligen är de lämpliga som material i glidytor i verktyg.

Tabell 3-8 visar några svenska rostfria martensitiska standardstål, av vilka endast SS 2303 har en rent martensitisk struktur. SS 2302 har en blandstruktur av ferrit och martensit. SS 2321 innehåller både ferrit och austenit vid sidan av martensit efter härdning. Genom sin relativt höga kromhalt på 17 % uppvisar stålet relativt goda korrosionsegenskaper. SS 2321 har den bästa korrosionsbeständigheten av stålen i tabell 3-8. Det är det enda martensitiska rostfria stålet som används i kontinuerlig kontakt med processvatten i svenska reaktorer. För verktyg, som endast kommer i kontakt med vatten under avställningar och som ska vara rostfria är de billigare kvaliteterna SS 2302 och SS 2303 tillräckligt bra. Vid dekontaminering av martensitiska rostfria stål bör metoder användas som över huvudtaget inte angriper grundmetallen. Redan en mindre avfrätning kan göra att karbider friställs på materialytan vilket ger upphov till en dammliknande beläggning.

**Tabell 3-8. Martensitiska rostfria stål enligt svensk standard, riktvärden (tabellen upptar ej normala låga av Si och Mn, ej heller max-krav för föroreningselement).**

Beteckning enligt svensk standard	Sammansättning, %			Hållfasthet, N/mm <sup>2</sup> (min, 20 °C)	
	C	Cr	Ni	Sträckgräns	Brottgräns
SS 23 02	0,12	13	–	410 <sup>1</sup>	590 <sup>1</sup>
SS 23 03	0,22	13	–	490 <sup>1</sup>	690 <sup>1</sup>
SS 23 21	0,20	17	2	635 <sup>1</sup>	830 <sup>1</sup>

<sup>1)</sup> I seghärdat tillstånd.

### 3.5.2 Ferritiska rostfria stål

Rena krom-järn-legeringar med högre kromhalt än 13 % är i princip helt ferritiska vid alla temperaturer under smältpunkten. I tabell 3-9 redovisas några i Sverige standardiserade ferritiska rostfria stål.

Korrosionsbeständigheten stiger med ökande legeringshalt av bl a krom och molybden. En stor fördel med de ferritiska stålen är deras okänslighet för spänningskorrosion. De används därför ofta inom den kemiska industrin. De mekaniska egenskaperna liknar mycket de lågkolhaltiga, låglegerade stålen; god formbarhet vid rumstemperatur och ett relativt litet deformationshårdnande, dålig slagseghet på grund av en (vanligtvis) grovkornig struktur, samt hög omslagstemperatur. Ferritiska rostfria stål drabbas av två fenomen vid användning vid höga temperaturer:

- 475 °C-försprödningen.
- $\sigma$ -fasutskiljningen vilken sker vid temperaturer runt 600 °C.

Båda dessa fenomen leder till en sänkt kromhalt i grundmaterialet eftersom de utskiljda faserna är kromrika, samt till att materialet försprödas avsevärt.

Stålen är svetsbara men de värmepåverkade zonerna intill svetsarna får en mycket grov kornstruktur vilket försämrar slagsegheten. Även korrosionsbeständigheten vid korngränserna kan vara nedsatt om halten av föroreningselement är hög där (segring).

I allmänhet har stålen vid lägre kolhalter en ren ferritisk struktur utan alltför stora mängder karbider i kornen vilket gör stålen lättare att dekontaminera utan att ytan förstörs.

**Tabell 3-9. Ferritiska rostfria stål enligt svensk standard, riktvärden (tabellen upptar ej normala låga halter av Si och Mn, ej heller max-krav för föroreningselement).**

Beteckning enligt svensk standard	Sammansättning, %				Hållfasthet, N/mm <sup>2</sup> (min, 20 °C)	
	C	Cr	Mo	Ti	Sträckgräns	Brottgräns
SS 23 01	0,05	13	–	–	250	440
SS 23 20	0,08	17	–	–	250	440
SS 23 22	0,15	26	–	–	240	740
SS 23 25	0,06	17	1,5	–	330	490
SS 23 26	0,02	18	2,2	0,4	340	440

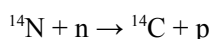
### 3.5.3 Austenitiska rostfria stål

Av Schaeffler-diagrammet framgår att nickel, kol, mangan och kväve stabiliserar austeniten för ett rostfritt stål till lägre temperaturer under förutsättning att halterna är tillräckligt höga, Figur 3-4. De austenitiska rostfria stålen levereras i allmänhet i släckglödgat tillstånd (1 050 °C/vatten) vilket gör att de har en ren austenitisk struktur nästan helt utan inneslutningar av karbider eller intermetalliska faser. Denna rena struktur är mycket gynnsam med tanke på korrosionsbeständigheten. Austeniten är också mycket seg vilket ger de austenitiska stålen en god säkerhet mot spröda snabba brott. Sträckgränserna vid rumstemperatur är 180–300 N/mm<sup>2</sup>. Vid plastisk deformation bildas det martensit i den austenitiska strukturen. Denna deformationsmartensit höjer hållfastheten. Genom kalldragning kan sträckgränser på ca 2 000 N/mm<sup>2</sup> erhållas på klen tråd eller klena rör. Martensiten har emellertid sämre korrosionsegenskaper (karbidutskiljning och bindning av krom till karbider). Även känsligheten för spänningskorrosion ökar. Av detta skäl undviker man t ex att slipa svetsar i rostfria rörledning.

De inom reaktortekniken aktuella rostfria stålen samt nickelbaslegeringarna finns redovisade i tabell 3-10. Angivna hållfasthetsdata gäller för släckglödgat utförande. Eftersom släckglödgningen vid 1 050 °C ofta medför att det bildas en mer eller mindre tjock oxidfilm på metallytan betas stålen ofta före leverans i salpetersyra/fluorvätesyra-bad. Denna betning kan påverka ytstrukturen genom att t ex angripa korngränserna och därigenom åstadkomma en grov yta.

En nackdel med de austenitiska rostfria stålen är deras känslighet för spänningskorrosion i vissa media. Denna känslighet är bl a betingad av materialets kolhalt eftersom kol binder krom till sig vid bildning av kromkarbider. Dessutom kan det i den värmepåverkade zonen intill en svets uppträda kromkarbider i ogynnsamma fall. Med tanke på risken för denna sensibilisering används i reaktor-sammanhang stål med kolhalten < 0,05 % för stål som ska svetsas. I gjutgods accepteras 0,06 % kol. Ett annat sätt att undvika sensibilisering är att legera de austenitiska rostfria stålen med element som bildar stabila karbider med kol. Därigenom binds inte krom till karbiderna vid t ex svetsning. Som stabiliseringselement används vanligtvis titan och niob i små mängder. En nackdel med stabilisering är att kolet bildar karbider i den annars rena austenitiska strukturen och detta medför en försämrad korrosionsbeständighet i många miljöer. Legering med molybden ger ett stål med förbättrade punktfrätningsegenskaper.

Det säkraste sättet att undvika problem med sensibilisering är att använda stål med kolhalter < 0,03 %. Dessa är lätta att svetsa. Den något lägre hållfastheten kan höjas genom legering med kväve i halter 0,06–0,2 %. Interndelar med kväve kan under neutronbestrålning genomgå reaktion enligt:



C-14 har en halveringstid av ca 5 700 år.

De austenitiska rostfria stålen används i varma system i kontakt med reaktorvatten på grund av sina goda korrosionsegenskaper.

**Tabell 3-10. Austenitiska rostfria stål och nickellegeringar enligt svensk standard, riktvärden. På grund av det stora antalet material visas endast ett urval (tabellen upptar ej normala låga halter av Si och Mn, ej heller max-krav för föroreningselement).**

Beteckning enligt svensk standard	Sammansättning, %					Hållfasthet, N/mm <sup>2</sup> (min, 20 °C)	
	C, max	Cr	Ni	Mo	Övrigt	Sträckgräns	Brottgräns
SS 23 33	0,05	18	10	–	–	190	490
Type 304SS <sup>1</sup>	0,08	19	10	–	–	210	480
SS 23 37	0,08	18	10	–	Ti 0,4	190	490
SS 23 38	0,08	18	10	–	Nb 0,8	200	490
SS 23 43	0,05	17	12	2,7	–	200	490
SS 23 52	0,03	18	11	–	–	180	460
SS 23 53	0,03	17	13	2,7	–	200	490
316 Nuclear Grade <sup>1</sup>	0,02	17	13	2,5	N 0,08	210	520
SS 23 61	0,08	25	20	–	–	220 <sup>3</sup>	490 <sup>3</sup>
SS 23 71	0,03	18	10	–	N 0,2	250	540
SS 23 75	0,03	17	11	2,7	N 0,2	270	590
Incoloy 800 <sup>2</sup>	0,10	21	32	–	Ti 0,3, Al 0,3	210	515
Inconel 600 <sup>2</sup>	0,15	16	75	–	Fe 8	175	515

<sup>1</sup> Amerikansk beteckning.

<sup>2</sup> International Nickel Co handelsbeteckning.

<sup>3</sup> Ej föreskriven.

### 3.5.4 Ferrit – austenitiska (duplex) rostfria stål

Genom att legera ett rostfritt stål med lämpliga mängder av ferrit- och austenit-blidare kan ett stål med blandstruktur erhållas, figur 3-5. Ferrithalten är delvis beroende av glödningstemperatur där en hög temperatur ger högre ferrithalt. Några standardstål visas i tabell 3-11.

De duplexa rostfria stålen är beständiga mot spänningsskorrosion eftersom en eventuell SCC-spricka i austeniten stannar upp då den nått fasgränsen ferrit-austenit. Fortsatt propagering i ferriten sker inte. Duplexa stål har lika god beständighet mot allmän korrosion som de austenitiska rostfria stålen. De är känsliga för försprödning vid temperaturer mellan 300 och 500 °C vilket begränsar deras användningsområde. De är relativt enkla att svetsa.

Användningsområden är dränagedningar där det finns risk för punktfrättnings- och spänningsskorrosionsangrepp orsakade av klorider. De används också i pumpaxlar, ventilspindlar etc.



**Figur 3-5. Ferrit-austenitisk (duplex) mikrostruktur.**

**Tabell 3-11. Ferrit-austenitiska rostfria stål enligt svensk standard, riktvärden (tabellen upptar inte normala låga halter av Si och Mn, inte heller max-krav för föroreningselement).**

Beteckning enligt svensk standard	Sammansättning, %					Hållfasthet, N/mm <sup>2</sup> (min, 20 °C)	
	C, max	Cr	Ni	Mo	Övrigt	Sträckgräns	Brottgräns
SS 23 24	0,10	26	6	1,5	–	450	590
SS 23 76	0,03	18,5	4,7	2,7	Si 1,7, N 0,08	380	660
SS 23 77	0,03	22	5,5	3	N 0,15	430	660

### 3.5.5 Nickelbaslegeringar

Nickelbaslegeringar används i reaktormiljö bl a i form av svetsgods, som övergångsstycken mellan låglegerat och austenitiskt rostfritt stål vid t ex tankstutsar (s k safe ends) samt i ånggeneratoruber (ÅG-tuber). Nickelbaslegeringarna har mycket goda korrosions- och hållfasthetsegenskaper. Den termiska utvidgningskoefficienten ligger mellan de för kolstål/låglegerat stål och austenitiskt rostfritt stål, vilket förklarar dess användning som övergångsstycken i komponenter där termisk cykling kan förekomma. Exempel på nickelbaslegering är Inconel 600 som har riktanalysen 17 % Cr, 72 % Ni, 9 % Fe, 0,2 % Al. Denna används bl a som safe end och har tidigare använts i ÅG-tuber. Dess svetsmaterial är Alloy 182 (15 % Cr, 69 % Ni, 8 % Fe, 1,75 % Nb/Ta, 0,45 % Ti).

Det ansågs länge att nickelbaslegeringarna var exceptionellt beständiga mot korrosionsangrepp i reaktormiljö, men på senare tid har man funnit sprickor i svetsgods av Alloy 182. Sprickorna har legat i övergångszonen mellan tank-stuts och safe end. Orsaken är korngränsutskiljningar av kromkarbider varpå materialet tappat sin korrosionshårdighet. Ett annat vanligt förekommande svetsmaterial, Alloy 82, med lägre kolhalt och högre kromhalt har inte drabbats av spänningskorrosion (SCC). Alloy 82 är en tillsatstråd för TIG- och MIG svetsning men har fått ungefär samma användning som Alloy 182. Båda används också som påsvetsning.

Också i ÅG-tuber har SCC-sprickor observerats. Samtliga RAB ÅG-tuber har därför bytts ut till Inconel 690, som med sin betydligt högre kromhalt och lägre kolhalt förväntas klara sig bättre.

Nickelbaslegeringar används också i applikationer där extra hållfasthets krävs, se avsnitt 3.6.

## 3.6 Höghållfasta material

### 3.6.1 Allmänt

I vissa sammanhang krävs material med förhöjd hållfasthet. Det kan bero på utrymmesskäl, t ex i bultar och dragstänger som måste uppta stora krafter trots klena dimensioner. Fjädrar måste kunna fånga upp krafter genom deformation utan att plasticeras.

Hög hållfasthet kan åstadkommas på flera sätt. Gemensamt är att man på olika sätt låser dislokationerna och förhindrar dem att röra sig varpå materialet inte tillåts plasticeras/deformeras. Man talar om tre hållfasthetshöjande metoder:

- Lösningshårdning.
- Utskiljningshårdning.
- Deformationshårdning (används inte i reaktorsammanhang).

För ändamålet utnyttjas i reaktorsammanhang ofta utskiljningshärdbara stål. Principer för utskiljningshårdning är att stålet legeras med ett ämne som har låg löslighet i grundmassan vid lägre temperaturer men vars löslighet är hög vid förhöjda temperaturer. Materialet värms till så hög temperatur att legeringsämnet i fråga går i lösning i grundmaterialet. Vid efterföljande hastiga kylning ("släckning") hinner inte legeringsämnet skiljas ut i form av intermetalliska faser, karbider eller dylikt, utan befinner sig i fast övermättad lösning i grundmassan. Stålet värms därefter till sådan temperatur att legeringsämnet nätt och jämnt utskiljs genom diffusion. Ämnet faller då ut i form av talrika, mycket små partiklar. De utskilda partiklarna blockerar glidplanen med avsevärd hållfasthetsstegring som följd.

### **3.6.2 Inconel X-750 (Alloy X-750)**

Alloy X-750 är en utskiljningshärdad austenitisk legering med goda korrosionsegenskaper. Analysen är i huvudsak:

70 % Ni, 15,5 % Cr, 7,0 % Fe, 2,5 % Ti, 1,0 % Nb + Ta, 0,7 % Al

Materialet är känsligt för interkristallin spänningskorrosion (IGSCC) om det värmebehandlas olämpligt (åldringsprocess). Risken ökar med belastningen vilket är naturligt. Materialet är känsligt för spaltmiljö och stillastående vatten.

Inconel X-750 används framför allt till skruvar, fjädrar och dragstänger i interndelar där krav på korrosionsbeständighet föreligger.

### **3.6.3 SS 2570 (A286)**

SS 2570 är ett austenitiskt stål som genom utskiljningshärdning erhåller hög hållfasthet vid såväl rumstemperatur som förhöjd temperatur. Dess riktanalys är:

0,05 % C, 15 % Cr, 25 % Ni, 1,3 % Mo, 0,3 % V, 2 % Ti

Tester och erfarenheter har visat att materialet är känsligt för IGSCC i BWR-miljö.

Stålet används bl a i lockbalkar och härdgallerskruvar.

Utvecklingen av austenitiska utskiljningshärdade stål kom för övrigt till då man fick behov av att kunna valsa materialet före komponenttillverkning. De martensitiska stål man tidigare använt saknades denna möjlighet.

### **3.6.4 Rostfritt stål 17-4 PH**

17-4 PH är ett rostfritt martensitiskt utskiljningshärdbart stål med riktanalysen 0,05 % C, 17 % Cr, 4 % Ni, 4 % Cu, 0,3 % Nb

Den används framför allt till drivdonsskruv samt i begränsad omfattning i någon interndel.

Erfarenheterna är synnerligen goda.



## 4 Aktivitetsuppbyggnad i system

### 4.1 Sammanfattning

I detta kapitel behandlas frågor rörande aktivitetsuppbyggnad i system. Detta är viktigt att känna till vid val av dekontamineringsmetod.

Kapitlet börjar med en kort beskrivning av den kemiska miljön i reaktorer av typen BWR och PWR. Därefter följer ett avsnitt om aktiveringsprodukter som mycket allmänt beskriver produktion av korrosionsprodukter, korrosion i processvatten, oxidskiktens egenskaper, deponering på bränsle, aktivering samt aktivitetsutbredning.

Nästa avsnitt handlar om fissionsprodukter och transuraner där frågor rörande bränsle, klyvning, fissionsprodukter, bränsleskador samt frigörelse av klyvningsprodukter behandlas.

Kapitlet avslutas med en beskrivning av dosrater i BWR- och PWR-system samt ett kort avsnitt rörande zinkdosering.

### 4.2 BWR-miljö

Miljön som konstruktionsmaterialerna utsätts för varierar i en reaktoranläggning. De miljöer man måste ta hänsyn till med tanke på aktivitetsuppbyggnaden i system är vatten och ånga vid olika temperaturer.

I BWR innehåller såväl primärvatten som ånga en hög halt syre. Det innebär 200–400 ppb  $O_2$  och ca 10 ppb  $H_2$  i vattnet. Arbetstrycket är 7,0 MPa i själva reaktorn. Det svarar mot en kokningstemperatur av 286 °C i vattnet ovanför härden och i ångan till turbinerna. Temperaturen i nedre delar av reaktortanken är vid full temperatur 10–15 °C lägre på grund av uppblandning av återcirkulerat vatten med matarvatten. Matarvattnets temperatur vid inträde i reaktorn ligger ca 100 °C under koktemperaturen vid 7,0 MPa.

För att minska avlossningen av korrosionsprodukter från matarvattensystemen orsakad av bl a erosionskorrosion eftersträvas en syrehalt av ca 40 ppb i matarvattnet. Temperaturen i matarvattenstråket varierar från ca 70 °C till ca 186 °C.

Drift enligt så kallad "NWC" (Normal Water Chemistry) innebär att högre vatten utan tillsatser används i processen. Detta åstadkoms genom kontinuerlig rening av vattnet i reningssystem med hög kapacitet. I ABB BWR:er innebär det att ca 2 % av cirkulationsflödet tas ut till jonbytarna i system 331 för rening. Under avställningar kan upp emot 4 % av flödet tas ut för rening. Primärvattnets ledningsförmåga under ostörd kraftproduktion ligger mellan 0,10 och 0,20  $\mu S/cm$  (25 °C).

Reaktorångan innehåller då den lämnar reaktortanken 15–18 ppm syre ( $O_2$ ) och 2,5 ppm väte ( $H_2$ ). Ångan innehåller alltid en viss fukthalt som i en väl fungerande anläggning ligger vid ca 0,1 % i ångledningarna mellan reaktortank och turbin. I avtappningen kan fukthalten vara högre och orsaka problem med både erosion och erosionskorrosion. De besvärligaste förhållandena råder vid ca 150 °C då vattnets förmåga att bygga upp skyddsskikt är sämre än vid högre temperaturer.

I vissa anläggningar doseras väte till matarvattnet för att sänka syrehalten i reaktorvattnet (HWC = Hydrogen Water Chemistry). Detta görs för att minska risken för interkristallin spänningskorrosion i primärsystemen. HWC innebär att syrehalten i delar av primärsystemet sänks till < 10 ppb  $O_2$  och att vätehalten blir 50–150 ppb  $H_2$ . I ångan blir syrehalten 10–12 ppm  $O_2$  och vätehalten 2 ppm  $H_2$ .

### 4.3 PWR-miljö

Arbetstemperaturen är ca 320 °C och arbetstrycket 15,5 MPa i en PWR.

Vattenkemin i primärsystemet skiljer sig från ”NWC” genom att borsyra doseras för effekreglering som komplement till styrstavarna. Borkoncentrationen i primärsystemet varierar under en bränslecykel. Typiska värden är 1 800 ppm bor i början av en bränslecykel och 10 ppm bor i slutet. Eftersom korrosion för järn- och nickellegering är lägst i basisk lösning tillsätts alkali i form av LiOH för att motverka borsyrans sura effekt. Alkalikoncentrationen styrs så att pH ligger mellan 7,2 och 7,4 vid reaktortemperatur.

För att undertrycka bildningen av syre genom radiolys tillsätts vätgas till primärkretsen. Normala driftvärden för vätgashalten ligger vid 2 ppm vätgas men stora avvikelser kan förekomma.

Konduktiviteten för processvattnet ligger vid 20 µS/cm (25 °C).

Primärsystemet är till sin volym mycket mindre i en PWR än i en BWR beroende på att turbinen inte ingår i kretsen. De exponerade materialytorna blir därigenom också mindre.

#### 4.3.1 PWR-miljö Lovisa VVER-440

De rysktillverkade VVER-anläggningarna såsom i Lovisa är PWR-reaktorer, men miljön och vattenkemin skiljer sig till en viss del från de västerländska PWR-reaktorerna.

Arbetstemperaturen är ca 300 °C och arbetstrycket är 123 bar. För att hålla vattnet rent cirkulerar en del av vattnet kontinuerligt genom jonbytfilter, varvid korrosionsprodukter och andra föroreningar binds till jonbytarmassorna. Till kretsen matas tre olika kemikalier: borsyra ( $H_3BO_3$ ), kaliumhydroxid (KOH) och ammoniumhydroxid ( $NH_4OH$ ). Under normal drift används borsyran till att reglera reaktiviteten hos reaktorn. Kaliumhydroxid, i samverkan med ammoniumhydroxid, används till att reglera pH-värdet som beräknas vid 300 °C hos kylmedlet. Ammoniumhydroxiden används dessutom till att generera ett överskott av vätgas i reaktorn för att binda syre som bildas vid radiolys, samt till att sänka redox-potentialen i kylmedlet. Typiska värden för vätgashalten för primärkretsen under drift är 30–50 ml/l. Ammoniaken styr hela pH(T)-kemin, varför den doseras kontinuerligt, vilket i sin tur kräver totalavgasning av kontinuerligt flöde i samma storlek, pH ligger mellan 7,2 och 7,3 vid reaktortemperatur.

Koncentrationen av borsyra, som används för reglering av reaktorns reaktivitet, avtar under normal drift i praktiken lineärt som funktion av tiden. Typiska värden för borsyrakoncentrationen i början av bränslecykeln är 6,5 g/kg och i slutet av cykeln 0,06 g/kg. Kalium- och ammoniumkoncentrationerna är beroende av varandra på grund av att man använder katjonbytarmassor för rening av kylmedlet. Dessa jonbytarmassor binder kalium och ammonium som funktion av kylmedlets kalium- och ammoniumkoncentration. Kaliumhydroxiden doseras som en batch i början av en bränslecykel, medan ammoniumhydroxid doseras kontinuerligt under hela cykeln. Konduktiviteten för processvattnet ligger på 70–180 µS/cm.

#### 4.3.2 PWR-miljö Ringhals

Arbetstemperaturen är ca 320 °C och arbetstrycket 154 bar ö i Ringhals PWR.

Borsyra doseras för effekreglering som komplement till styrstavarna. Borkoncentrationen i primärsystemet varierar under en bränslecykel. Typiska värden är ca 1 800 ppm bor i början av en bränslecykel och ca 5 ppm bor i slutet. Eftersom korrosion för järn- och nickellegering är lägst i basisk lösning tillsätts basisk lösning i form av LiOH för att motverka borsyrans sura effekt. Alkalikoncentrationen styrs så att pH ligger mellan 7,1 och 7,4 vid reaktortemperatur.

För att undertrycka bildningen av syre genom radiolys tillsätts vätgas till primärkretsen. Normala driftvärden för vätgashalten ligger vid ca 40–50 ml/kg vätgas men stora avvikelser kan förekomma.

Konduktiviteten för processvattnet ligger normalt mellan 10–55 µS/cm (25 °C).

Primärsystemet är till sin volym mycket mindre i en PWR än i en BWR beroende på att turbinen inte ingår i kretsen. De exponerade materialytorna blir därigenom också mindre.

## 4.4 Aktiveringsprodukter

### 4.4.1 Produktion av korrosionsprodukter

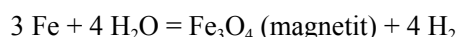
Inaktiva korrosionsprodukter, som utsätts för en intensiv neutronbestrålning i härden kan omvandlas till radioaktiva nuklider. Dessa avlossar delvis från härdytorna och sprider sig till reaktorsystemen och turbinen (BWR) och bygger därmed upp strålningsnivåerna på komponenter, tankar och rörledningar.

Korrosion och erosion av konstruktionsmaterialen i en anläggning leder till att ansevärliga mängder korrosionsprodukter tillförs reaktorn. I en BWR tillförs väsentliga mängder via matarvattensystemet. I en ABB BWR, generationerna 1–3 (O1, O2, B1, B2, F1, F2, OL1, OL2 och R1), härstammar ca 85 % av allt järn, som tillförs reaktorn via matarvattensystemet, från dränagen (högtrycksturbin, fuktavskiljare) och resten från förvärmare och turbinkondensator. I vissa reaktorer uppgår inflödet av järn till kondensatreningen (system 332) till ca 50 mg/s och efter reningen är flödet av järn ca 0,3 mg/s. Kondensatreningen har en avgörande inverkan på korrosionsprodukttillförseln i en BWR.

I en PWR härstammar en stor del av korrosionsprodukterna från systemytor i primärkretsen.

Figur 4-1 visar schematiskt hur korrosionsprodukter, som tillförs reaktorn, fördelas mellan deponat på härdytan, deponat på systemytor och vattenburna föroreningar i reaktorvattnet eller avlägsnas i reningssystemet för reaktorvatten.

Processvattnet, som används i lättvattenreaktorer, karaktäriseras av mycket hög renhet för att minska korrosionen på konstruktionsmaterial och risken för aktivering av föroreningar. Processvattnets temperatur är i många system mycket hög och en viss allmän korrosion går därför aldrig att undvika trots att mycket korrosionsresistent material används som konstruktionsmaterial. Även helt utan närvaro av syre (O<sub>2</sub>) i processvattnet är vattnet korrosivt. Som exempel på en korrosionsprocess kan järnets oxidation till magnetit nämnas:

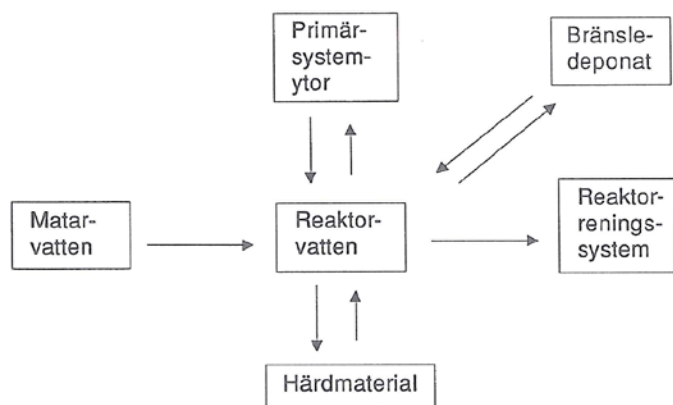


Vattenmolekyler oxiderar järnet under avspjälkning av vätgas.

De vanligaste konstruktionsmaterialen i en ABB BWR framgår av tabell 4-1.

**Tabell 4-1. Materialsammansättning för några konstruktionsmaterial.**

	Exempel på normal analys (vikt-%)				
	Rostfritt stål SS 23 33	Inconel Z-750	Kolstål	Zircaloy-2	Stellite
Cr	18,5	16	0,2	0,10	28
Fe	Bal.	7	Bal.	0,15	3,0
Ni	10	Bal.		0,05	
Sn	0,01	0,01		1,5	
Zr				Bal.	
C	0,04	0,03	0,2	0,015	1,0
Al	0,002	0,7	0,025	0,005	
Si	0,6	0,3	0,25	0,01	1
Ti	0,01	2,5	0,01	0,004	
Mn	1,3	0,2	1,4	0,003	
Cu	0,1	0,1	0,1	0,0003	
Mo	0,2	0,05		0,0005	
Hf				0,1	
W	0,01	0,01	0,01	0,005	4,0
V	0,001	0,001	0,001		
As	0,01	0,05	0,01		
Nb	0,01	0,9	0,01		
Sb	0,001	0,005	0,0025		
Ta	0,01	0,1	0,001		
Co	0,03	0,05	0,02	0,0002	63



Figur 4-1. Spridning av korrosionsprodukter i reaktorsystemen i BWR.

Av speciellt intresse att notera är att kobolt (Co) ingår som legeringselement i Stellite. Den inaktiva isotopen Co-59 omvandlas lätt under neutronbestrålning till den radioaktiva isotopen Co-60.

Att Stellite spelar en stor roll vad beträffar aktivitetsupbyggnad i system framgår av en jämförelse med tabell 4-2, som visar de vattenberörda ytornas storlek i ABB BWR.

Tabell 4-2. Vattenberörda materialytor i ABB BWR.

	Material	Materialyta (m <sup>2</sup> )		
		O2, B1, B2	O1	R1
<b>Reaktorsystem</b>				
Interndelar	Rostfritt stål	5 080	4 640	6 760
	Inconel	300	290	440
	Zircaloy	6 330	6 190	9 240
	SS 25 70	6	4	22
Rörledningar	Rostfritt stål	760	670	850
<b>Matarvatensystem</b>				
Förvärmare	Rostfritt stål	7 130	2 890	8 070
Rörledningar	Rostfritt stål	75	75	575
	Kolstål	500	500	–
<b>Ventiler i reaktor- och matarvatensystem</b>	Stellite	5	5	5

Av denna tabell framgår att den exponerade ytan för Stellite är liten jämfört med andra konstruktionsmaterial. Om rostfritt stål och Stellite skulle korrodera med samma hastighet bör produkten av

exponerad yta (m<sup>2</sup>) x Co-halt % = faktor

vara ett mått på materialens roll som bidragsgivare av kobolt till reaktorvattnet. För rostfritt stål blir faktorn 391 och för Stellite 315, dvs av samma storleksordning. Det innebär att Stelliten trots den ringa exponerade ytans storlek bidrar med lika mycket kobolt till reaktorvattnet som den totala rostfria exponerade ytan. Nu finns det emellertid skäl att förmoda att Stelliten korroderar med en högre hastighet än rostfritt stål på grund av sin sämre korrosionsresistens och då materialet används i slit- och tätningssystem på ventiler, dvs risken för erosionskorrosion i delvis stängda ventiler är stor. Strömbildningen kan ofta vara mycket turbulent.

Slit- och tätningssystem utsätts dessutom för ren mekanisk nötning varvid eventuellt skyddande oxidskikt lätt skadas.

För att minska mängden kobolt i reaktorvattnet har den tillåtna föroreningshalten av kobolt begränsats till 0,05 % i rostfria stål och till 0,01 % i Inconel – X750. I Stellite ingår kobolt som legerings-element.

De olika materialens användningsområden i reaktorsammanhang behandlas mera ingående under avsnitt 4.5.3.

Trots att korrosionshastigheten oftast är mycket låg i system utsatta för processvatten kan mängderna korrosionsprodukter som hamnar i härden ändå bli stor på grund av de vattenexponerade ytornas storlek. En stor källa till koppar- och zinkkontaminering var under tidigare år kondensortuberna av aluminiummässing. Tuberna i turbinkondensorn utgör en mycket stor processvattenberörd yta. Samtliga ABB BWR har i dag omtubats från mässing till titan vilket i stort sett eliminerat koppar- och zinkkällan. Omtubningarna gjordes på grund av svåra korrosionsproblem på havsvattensidan av tuberna. Titan uppvisar mycket god korrosionsbeständighet mot havs- och processvattnet och bidrar inte till uppbyggnaden av aktiverade korrosionsprodukter i reaktorsystemen.

#### 4.4.2 Korrosion i processvatten

Processvattnets temperatur i matarvattensystemet och reaktorsystemen varierar från ca 100 °C till 285 °C i en ABB BWR och upp till 320 °C i en PWR. I kontakt med processvattnet bildas det på stålytor utsatta för högre temperaturer skyddande oxidskikt huvudsakligen bestående av:

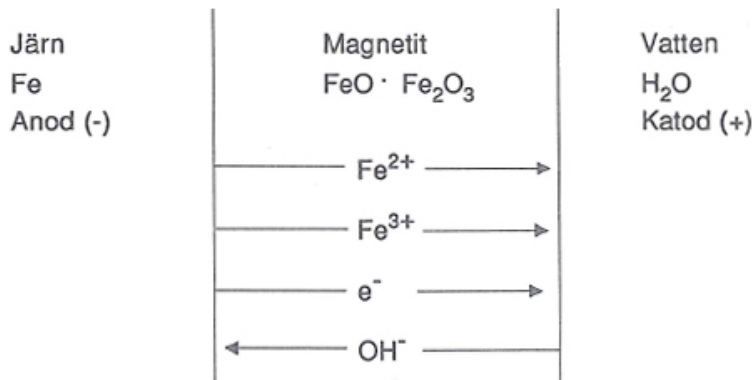
Magnetit $\text{Fe}_3\text{O}_4$	BWR, PWR
Hematit $\text{Fe}_2\text{O}_3$	BWR
Ferritspineller $\text{M}_x\text{Fe}_{3-x}\text{O}_4$	BWR, PWR

Med ferritspineller menas oxider sammansatta av järn med valensen 3+ ( $\text{Fe}^{3+}$ ) samt någon tvåvärd metall som kobolt (Co), mangan (Mn), nickel (Ni), zink (Zn) eller koppar (Cu). Om enbart järn ingår blir formeln  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ , dvs magnetit.

Hematiten är mera rik på syre än magnetiten. Den bildas endast i BWR, där miljön i en anläggning körd med ”normal” kemi är mera oxiderande än i PWR, dvs processvattnet innehåller alltså högre koncentrationer av syreatomer ( $\text{O}_2$ ).

Förenklat kan korrosionsprocessen beskrivas på följande sätt för material utsatta för strömmande vatten vid hög temperatur.

När en materialyta utsätts för strömmande vatten bildas det närmast ytan ett gränsskikt med laminär strömning. Gränsskiktets tjocklek styrs av bl a metallytans finhet samt vattnets flödes hastighet. Jonkoncentrationen är oftast högre i detta gränsskikt och den förhöjda koncentrationen försvårar jontransporterna genom gränsskiktet (koncentrationspolarisation). Själva tillväxtprocessen av oxidskiktet på metallytan kan ses som en elektrokemisk process med metall/metalloxid gränsytan som anod och gränsytan mellan metalloxid/vattengränsskikt som katod, figur 4-2.



Figur 4-2. Oxidation av stål i vatten.

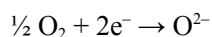
Anodprocessen vid metall/metalloxid gränsskiktet är i det aktuella fallet:



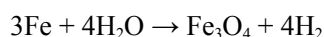
De bildade järnjonerna transporteras utåt genom oxidskiktet via s k katjonvalenser. Figur 4-3 visar schematiskt en katjonvakans hos nickeloxid (NiO).

Jontransporten sker i en katjonvakans genom att en nickeljon hoppar in på en tom plats i oxidgittret varvid en ny vakans bildas på dess ursprungliga plats. Elektroner rör sig också på liknande sätt genom det kompakta oxidskiktet.

Vid gränssytan mellan metalloxid/vatten sker katodreaktionen. Ett exempel på katodprocess är syremolekyleras reduktion till tvåvärda syrejoner genom reaktion med elektroner från oxidskiktet:



Syreatomerna reagerar med metalljoner i oxidskiktet under bildning av ny oxid. Vid processer i högtemperaturvatten behöver syreatomer emellertid inte finnas närvarande utan bruttoreaktioner av typen:



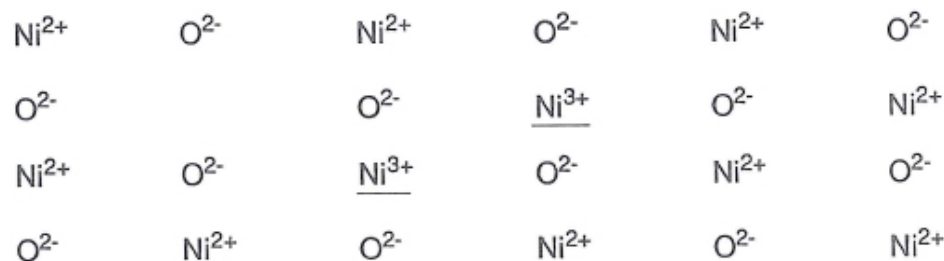
är fullt möjliga, dvs vattnet oxiderar järnet under avgivning av vätgas.

Sammanfattningsvis kan sägas att metalljoner och elektroner transporteras utåt genom oxidskiktet och bygger på oxiden vid gränsskiktet mellan metalloxid/vatten.

Nu är verkligheten emellertid mera komplicerad än så. Oxidskiktet växer även vid gränssytan mellan metall/metalloxid i tjocklek genom att hydroxidjoner ( $\text{OH}^-$ ) transporteras in mot metallytan från vattenfasen. Jontransporten underlättas av sprickor och porositeter i oxiden. Rent kolstål i högtemperaturvatten uppvisar denna typ av tillväxt medan legerade stål (rostfritt stål) har kompaktare oxidskikt och sannolikt växer enbart vid vattenyttskiktet.

Oxidskiktets egenskaper påverkas av volymförhållandena mellan nybildad oxid och ursprunglig metall. För att ett oxidskikt ska bli tätt måste oxiden inta en större volym än ursprungsmetallen. Om så inte är fallet kan oxiden inte bilda heltäckande skikt på metallen. Om emellertid den bildade oxiden upptar en mycket större volym än metallen kommer det att spricka eller helt skalas bort av stora inre spänningar.

Som tidigare nämnts kan förloppet jämföras med en elektrokemisk elektrodprocess i en galvanisk cell med oxiden som halvledare (extern krets) och som elektrolyt (lösning). Ju mera oxidskiktet växer i tjocklek desto större blir motståndet i kretsen. Jontransporterna genom skiktet försvåras efterhand.



**Figur 4-3.** Katjonvakans i nickeloxid (NiO).

Korrosionshastigheten för t ex rostfritt stål avtar efter hand och oxidtillväxten följer ett logaritmiskt samband enligt:

$$W = K_1 \cdot \log(K_2 \cdot t + 1)$$

där

$W$  = oxidens massa (g/m<sup>2</sup>)

$t$  = exponeringstid (h)

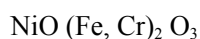
$K_1$  = konstant

$K_2$  = konstant

Vid 280 °C och vid närvaro av ca 200 ppb O<sub>2</sub> ser sambandet ut på följande sätt:

$$W = 1,5 \cdot \log(0,0043 \cdot t + 1)$$

Den låga och logaritmiskt avtagande av oxidationsprocessen förklaras bl a bero på att det bildas ett kompakt kromrikt oxidskikt på stålytan. Dessa kromrika spineller har följande ungefärliga sammansättning:



För kolstål sker oxidtillväxten i det närmaste linjärt enligt:

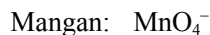
$$W = K \cdot t^{0,9}$$

Ett utbyte av metalljoner sker kontinuerligt mellan metallytan/metalloxidytan och vattenfasen.

Vid utbytet tillförs korrosionsprodukter från vattenfasen till metalloxidtillväxten men den omvända processen överväger genom att korrosionsprodukter kontinuerligt avlägsnas i reningssystemen.

Avlossningshastigheten är beroende av bl a löslighetsprodukten för ifrågavarande joner i vattnet.

Korrosionsprodukterna förekommer som partiklar (oxider) och joner i vattnet. Precoat-filtren i matarvattensystemet (332) avlägsnar effektivt partiklarna och joner. Intransport av korrosionsprodukter härrör främst från korrosion i matarvattensystemet efter kondensatreningen samt dränage som inte renas i kondensatreningen. Järn förekommer främst i partikulär form medan övriga korrosionsprodukter förekommer i både jonogen och partikulär form. Nedan ges exempel på några viktigare jonformiga korrosionsprodukter, som kan förväntas uppträda i reaktorvattnet:



Vid temperaturer > 200 °C förekommer emellertid knappast järnhydroxiden  $\text{Fe(OH)}_2$  eftersom den spontant omvandlas till magnetit under bildning av vätgas och vatten:



Reaktionen kallas för Schikorr-reaktion.

I vissa fall kan strömningshastigheterna hos vattnet eller strömningsbilden som sådan bli så ogynnsam (turbulent) att erosionskorrosion börjar uppträda. Ytbeläggningen kan lokalt helt slitas bort och metallytan blottläggas. Korrosionen accelereras genom galvaniska förlopp varvid den blottlagda metallytan uppträder som anod och oxiden som katod. Högre vatten har emellertid dålig elektrisk ledningsförmåga vilket inte gynnar galvanisk korrosion. Erosions korrosion är mycket snabb och kan lokalt helt penetrera materialet med läckage som följd.

### 4.4.3 Oxidskiktens egenskaper

Sammanställningen hos oxidskikt bildade i PWR-, BWR- och BWR-anläggningar körda med HWC varierar mycket i tjocklek, sammansättning och egenskaper. Rent allmänt kan sägas att PWR-oxider kräver ett kraftigt oxiderande försteg vid dekontaminering för att de ska kunna upplösas med organiska syralösningar (CITROX). Exempel på kraftiga oxidationsmedel är kaliumpermanganat ( $\text{KMnO}_4$ ) som oxiderar  $\text{Cr}^{3+}$  i oxid- eller spinellskikt till  $\text{Cr}^{6+}$ , som är vattenlöslig. BWR-oxider dekontamineras i allmänhet lätt utan detta oxiderande försteg.

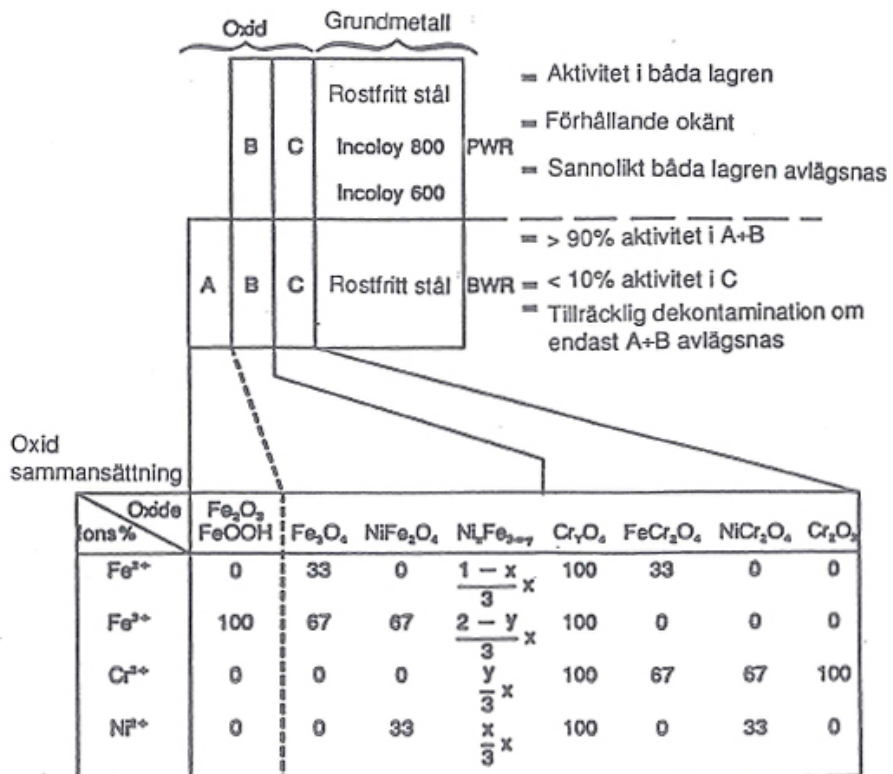
Reaktorvattenmiljön i en BWR-anläggning, som körs med normal vattenkemi, är oxiderande jämfört med vattenkemin i en PWR-anläggning. Genom dosering av vätgas till reaktorvattnet i en PWR trycks syrehalten ned till mycket låga koncentrationer vilket sänker redoxpotentialen.

På grund av den oxiderande miljön i en BWR kan det bildas ett yttre syrerikare oxidskikt i kontakt med reaktorvattnet. Det innebär att järnoxiderna uppträder som hematit ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) i stället för magnetit ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ) i det yttre skiktet. I hematiten har järn valensen 3+ och magnetit både 3+ och 2+. Magnetitens formel lyder sålunda egentligen  $\text{Fe}^{2+}\text{O Fe}_2^{3+}\text{O}_3$ , figur 4-4.

Hematiten är betydligt mera svårslöslig i organiska syrelösningar än magnetiten men å andra sidan bildar den inte några kompakta heltäckande skikt som magnetiten gör. Den kan därför undermineras genom upplösning av den underliggande magnetiten och spjälkas loss.

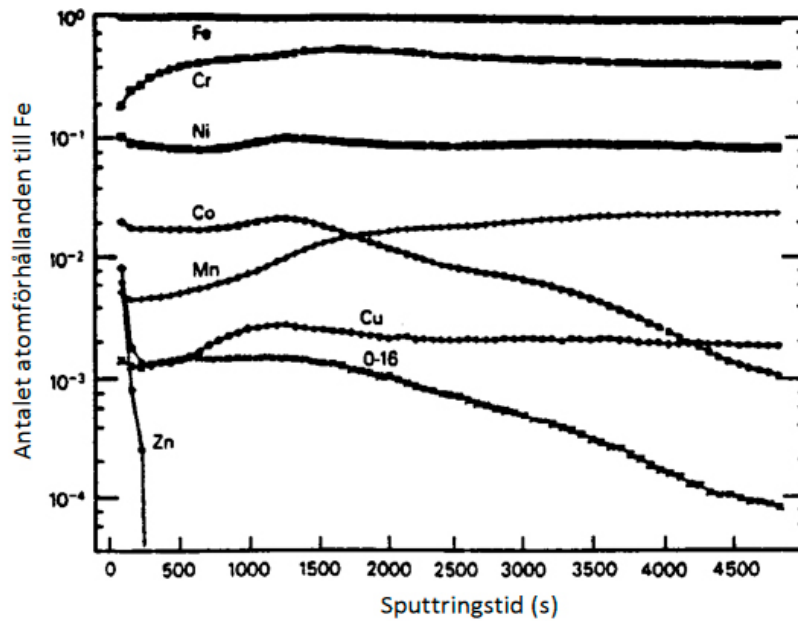
I en oxiderande BWR-miljö oxideras krom i de yttre lagren i kontakt med reaktorvatten från  $\text{Cr}^{3+}$  till  $\text{Cr}^{6+}$ . Den senare är vattenlöslig och avlägsnas därför lätt från oxiden. Det sker därför en utarmning av krom i de yttre skikten, figur 4-5.

Ju kortare den s k "Sputter Time" är desto längre ut på oxiden anges förhållandet mellan aktuellt element och järn. Av figuren framgår att förhållandet Cr/Fe är ca 20 % vid ytan och 60 % längre in i oxiden. Det krom, som når ytan, oxideras upp till  $\text{Cr}^{6+}$  och övergår i vattenlöslig form vid ytan. I reaktorvattnet i BWR-miljö uppträder krom som kromatjon ( $\text{CrO}_4^{2-}$ ) och fångas upp av anjonbytare i reaktorrenningskretsen.



Figur 4-4. Uppbyggnaden av oxidskikt på några legerade material.



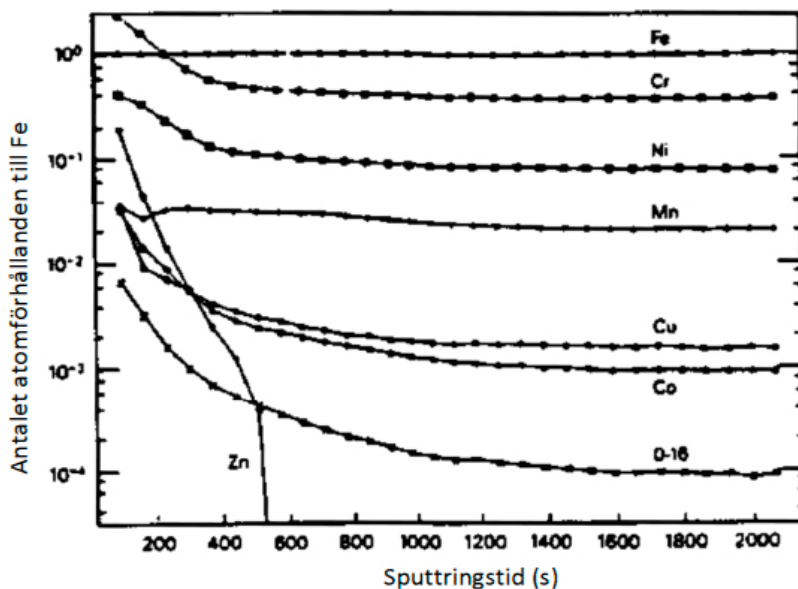


Figur 4-5. Djupprofil hos oxidfilm bildad under normal vattenkemi.

I en reducerande PWR-miljö bildas inte hematit i det yttre oxidskiktet. Inte heller oxideras  $\text{Cr}^{3+}$  i spinellerna upp till  $\text{Cr}^{6+}$ . Krom löses därför inte ut från oxidskiktet utan bildar ofta ett kompakt yttre skikt som ofta är mycket kromrikt.

Figur 4-6 visar djupprofilerna hos oxidfilm bildad under HWC, som liknar kemien i PWR-miljö i stor utsträckning.

Andelen krom kan i detta skikt ofta vara högre än andelen järn. För att kunna avlägsna en dylik oxid genom dekontaminering måste mycket kraftigt oxiderande lösningar i ett försteg tillgripas. Genom behandling av en PWR-komponent i t ex kaliumpermanganat ( $\text{KMnO}_4$ ) kan krom i de yttre kromrika spinellerna oxideras upp till valensen 6+ och lösas ut. Därigenom blir den kvarvarande oxiden porös och angrips lättare av de organiska reducerande syrorna som t ex oxalsyra, citronsyra och askorbinsyra.



Figur 4-6. Djupprofil hos oxidfilm bildad under HWC.

Den kontinuerliga utlösningen av krom från BWR-oxider gör att elementet inte förekommer i samma utsträckning i spinellerna. I en BWR-oxid stiger i allmänhet andelen krom närmare metallytan. Sannolikt pågår en ständig transport av krom ut mot de yttre lagren där de oxideras upp och löses ut som  $\text{Cr}^{6+}$ .

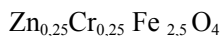
En annan skillnad mellan PWR- och BWR-oxid är att det yttersta lagret hos den senare ofta är porös och har dålig vidhäftning. I många fall kan hälften av aktiviteten avlägsnas mekaniskt med hjälp av högtrycksspolning, borstning, ultraljud eller dylikt.

Nickel i spineller av typ  $\text{NiFe}_2\text{O}_4$  kan lösas upp på samma sätt som magnetit  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  men upplösningshastigheten är långsammare då spinellerna termodynamiskt är stabilare. Försök har också visat att  $\text{Ni}^{2+}$  i spinellerna inte oxideras upp till  $\text{Ni}^{3+}$  ens med persulfat, som är ett mycket kraftigt oxidationsmedel.

Vid HWC i BWR kan oxid sammansättningen börja likna den för PWR men en omvandling av ”gamla” oxider kan förväntas ske långsamt. Helt lika PWR-oxider torde ”gamla” BWR-skikt aldrig bli eftersom redan tjockleken skiljer sig kraftigt från varandra.

Vissa iakttagelser tyder även på att ytaktiviteten snabbt ökar vid övergång från normal BWR-kemi till HWC. Detta kan bero på omvandlingar i ytskiktet under övergångstiden. Ytaktiviteten orsakad av nukliden Cr-51 är lägre vid HWC än under normala BWR-förhållanden.

Det finns även andra element som kan påverka oxidskiktets egenskaper vad beträffar dekontaminerbarhet. De mest aktuella elementen är zink och koppar. Zink bildar ett kompakt yttre skikt tillsammans med krom och järn:

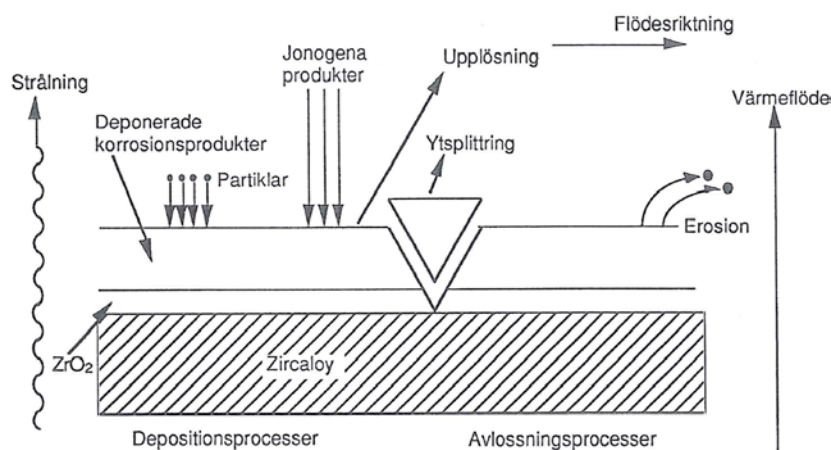


Detta skikt kan vara mycket svårt att lösa upp och avlägsna vid en dekontaminering. Tidigare var den stora zinkkällan aluminiummässingtuberna i turbinkondensorer. Samtliga turbinkondensorer är i dag utbytta mot titantuber. Zink doseras till matarvattnet i vissa BWR-anläggningar för att bilda ovan nämnda kompakta oxidskikt vilket minskar aktivitetssupbyggnaden i primärsystemet.

#### 4.4.4 Deponering på bränslet

Med matarvattnet pumpas fortlöpande avlossade metalljoner och korrosionsprodukter i form av små partiklar in till reaktorhärden. Som nämnts tidigare uppträder järnjoner som  $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{FeOH}^{2+}$ ,  $\text{Fe}(\text{OH})_2^+$  och  $\text{Fe}_2\text{O}_4^{2-}$ , kobolt som  $\text{Co}^{2+}$  och  $\text{CoOH}^+$  etc. De vanligaste partiklarna som förekommer är magnetit ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ) och olika ferritspineller ( $\text{M}_x\text{Fe}_{3-x}\text{O}_4$ ). Partikelstorleken är i allmänhet  $< 10 \mu\text{m}$ . Självfallet produceras fortlöpande korrosionsprodukter i själva reaktortanken med interndelar.

Korrosionsprodukterna deponeras företrädesvis på värmealstrande ytor inne i härden, dvs på bränslestavarna. Deponeringsmiljön i en reaktorhård har schematiskt framställts i figur 4-7.



Figur 4-7. Schematisk framställning av deponeringsmiljön på bränslet.

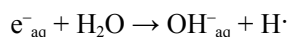
Det är viktigt att notera att den kemiska miljön i härden mycket dramatiskt skiljer sig från den kemiska miljön i övriga processsystem beroende på radiolysen. Den joniserande strålningen sönderdelar vatten varvid väte, syre och väteperoxid erhålls som slutprodukter. I strålmiljön bildas en rad radikaler och reaktionsprodukter förutom ovannämnda sönderfallsprodukter. Det första steget är sannolikt:



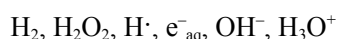
där  $\xrightarrow{\text{strålning}}$  anger att reaktionen sker genom strålnings inverkan. De fria elektronerna solvatiseras enligt:



De solvatiserade elektronerna är ett av de huvudsakliga reduceringsmedlen i strålmiljön i härden:



Efter en mycket kort tidsrymd ( $10^{-8}$  s) finns följande specier närvarande i processvattnet:



Även om vätgas doseras till processvattnet för att trycka ned syrehalten har sönderfallsprodukterna en halveringstid (livslängd) som gör att oxiderande förhållanden råder i härden.

På grund av den oxiderande miljön i härden genom bildning av syre och väteperoxid vid radiolysen sker sannolikt en partiell omvandling av magnetit ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ) till hematit ( $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ ) i deponatet.

Det finns många parametrar som styr deponeringen för joner och partiklar i härden. Några av dessa parametrar behandlas kort nedan:

- Värmeöverföringen från bränslet till kylmedlet är en drivande kraft i deponeringsprocessen. En formel, som anses uttrycka deponeringshastighetens beroende av värmeflödet, lyder:

$$D = k \cdot \varphi_A^n$$

där:

$D$  = deponeringshastighet

$k$  = konstant

$\varphi_A$  = värmefflöde

$n$  = exponent

Meningarna går starkt isär vad beträffar exponenten  $n$ :s storlek. Vad som emellertid är viktigt att konstatera är att deponeringshastigheten direkt är beroende av värmefflödet. I vissa modeller har linära förhållanden erhållits, det vill säga  $n = 1$ .

- En ökad CRUDmängd på bränslet innebär ett ökat utbyte mellan CRUD och korrosionsprodukter i kylmediet. Det innebär i sin tur att mängden aktiverade korrosionsprodukter i reaktorvattnet ökar och därigenom även aktivitetsupbyggnaden i system utanför härden.

När den deponerade mängden korrosionsprodukter på bränslet överstiger  $20 \text{ g/m}^2$  börjar nettodeponeringshastigheten att minska. I extremfall kan i nordiska BWR deponatmängder på ca  $70 \text{ g/m}^2$  förekomma.

- Kokningsförloppet i en BWR har ett inflytande på deponeringsförloppet. Vid kokning bildas det ångblåsor på kapslingsrörets yta. När ångblåsan växer sker det en lokal uttorkning av den underliggande materialytan. Ångblåsan växer i storlek tills den plötsligt lämnar ytan.

Det har kunnat påvisas att uppbyggnaden av CRUD sker ringformat i anslutning till de ställen där ångblåsor bildas. Ångan utgörs av absolut rent vatten och eventuella föroreningar blir därför kvar på ytan. På samma ställe bildas därefter en ny blåsa som växer och lämnar ytan. När en ring vuxit till en diameter av ca  $50 \mu\text{m}$  flyttar kokningen till en annan plats. Denna process upprepas tills hela ytan är täckt av CRUD.

- Strömningsförhållandena i härden påverkar på flera olika sätt deponeringsförloppet. En ökning av strömningshastigheten krymper bubbelstorleken, minskar det laminära gränsskiktets tjocklek etc. Självfallet påverkas även reaktiviteten av flödet vilket komplicerar förhållandena. Rent allmänt påstås det att en ökad strömningshastighet resulterar i mindre CRUDmängder på bränslet.

Bränsledeponat har följande ungefärliga sammansättning i en ABB BWR (DZO = Depleted Zinc Oxide):

	NWC	HWC	HWC+DZO
Järn (Fe)	55	60	47
Nickel (Ni)	9.8	11	8.4
Krom (Cr)	2.7	2.1	6.4
Koppar (Cu)	0.83	0.34	0.92
Mangan (Mn)	1.6	1.1	1.6
Kobolt (Co)	0.24	0.19	0.24
Zink (Zn)	1.7	0.66	9.6
Kisel (Si)	28	24	26

Sammansättningen speglar väl vilka konstruktionsmaterial som är i kontakt med processvattnet. Analyser på skrapprover visar att deponat i huvudsak består av ferriter av spinelltyp:



där  $M_x$  representerar en tvåvärd metall (kobolt, mangan, nickel, zink eller koppar)

Bränsledeponatets porösa karaktär är en viktig faktor för att säkerställa nödvändig kylning av bränslet.

Deponaten är som tjockast längst ned på stavarna. Där förekommer underkyld kokning och bubbelkokning. Skikten växer i tjocklek med en hastighet av ca 2 g/m<sup>2</sup> och driftår.

Uppehållstiden för korrosionsprodukter i härden hos en ABB BWR är mycket lång vilket innebär att de uppvisar en liten tendens att lossna och sprida sig till övriga system.

I en PWR är uppehållstiderna för korrosionsprodukter väsentligt kortare. Det anses bero på doseringen av borsyra och alkali till reaktorvattnet. Skiktjocklekarna har troligtvis en stor betydelse i detta sammanhang.

#### 4.4.5 Aktivering

I härden utsätts de deponerade korrosionsprodukterna för intensiv neutronbestrålning. Aktiveringsraten är proportionell mot neutronflödet vilket innebär att den CRUD som fastnat på bränslestavarna och bränsleboxarna dominerar aktivitetsproduktionen och aktivitetsinventariet. Den CRUD som sitter på ytor utanför härden aktiveras följaktligen i mindre utsträckning eftersom neutronflödet snabbt avtar med avståndet från härden.

Aktiveringsraten bestäms av neutronflödet och neutrontvärsnittet för respektive nuklid. Reaktionstvärsnittet varierar för en nuklid allt beroende på neutronernas energi. Tabell 4-3 visar neutronaktiveringsreaktioner för olika inaktiva modernuklider och halveringstiderna för de bildade aktiveringsprodukterna.

**Tabell 4-3. Aktiveringsreaktioner för några olika korrosionsprodukter.**

Modernuklid	Reaktion	Aktiveringsprodukt	Halveringstid	Reaktionstyp
Co-59	(n, $\gamma$ )	Co-60	5,27 y	Termisk
Cr-50	(n, $\gamma$ )	Cr-51	27,7 d	Termisk
Zn-64	(n, $\gamma$ )	Zn-65	244 d	Termisk
Fe-58	(n, $\gamma$ )	Fe-59	45,1 d	Termisk
Ni-58	(n, p)	Co-58	70,8 d	Snabb
Fe-54	(n, p)	Mn-54	312 d	Snabb
Sb-123	(n, $\gamma$ )	Sb-124	60,3 d	Termisk
Sb-124	(n, $\gamma$ )	Sb-125	2,77 y	Termisk
Sn-112	(n, $\gamma$ )	Sn-113	115 d	Termisk
Ag-109	(n, $\gamma$ )	Ag-110m	250 d	Termisk-epitermisk
Cu-63	(n, 2n)	Co-60	5,27 y	Snabb

Av tabellen framgår det t ex att den icke radioaktiva kobolt-isotopen Co-59 genom reaktion med en termisk neutron bildar den radioaktiva isotopen Co-60 med en halveringstid på 5,27 år. Samtidigt som omvandlingen sker avges energi i form av gamma-strålning.

Dosbidraget från Co-60 dominerar klart strålningsmiljön på systemytor utanför härden tillsammans med isotopen Co-58, vars modernuklid är nickelisotopen Ni-58. Efter några års drift av en svensk reaktor härrör mer än 80 % av dosbidraget från dessa nuklider. Efter 4–5 års drift är bidraget från Co-60 ensamt 70–90 % i primärsystemen.

Huvudparten av aktivitetsinventariet i form av aktiverade korrosionsprodukter sitter i härden. Endast en mindre del sprider sig och lägger sig på övriga systemytor utanför härden eller befinner sig i reaktorvattnet. Uppställningen nedan visar läget efter ca 8 års drift av en ABB BWR:

Härdytor	200 TBq Co-60 (98 %)
Systemytor	4 TBq Co-60 (2 %)
Reaktorvatten	0,001 TBq Co-60 (0,0005 %)

Eftersom ca 20 % av bränslet årligen lyfts ut ur härden vid bränslebyten kommer merparten att följa med bränslet via CLAB till kärnbränsleförvaret.

Den uppmätta radiokemiska sammansättningen på bränsledeponatet i en ABB BWR efter några års drift framgår av tabell 4-4.

**Tabell 4-4. Radiokemisk sammansättning på bränsledeponat efter några års drift (ABB BWR).**

Nuklid	Aktivitetsmängd	Produktionsrat (Bq/s·g)	Mättnadsaktivitet (Bq/g)
Cr-51		$7,0 \cdot 10^4$	$2,4 \cdot 10^{11}$
Mn-54	$1,9 \cdot 10^5$	$9,4 \cdot 10$	$3,6 \cdot 10^9$
Fe-59	$1,1 \cdot 10^5$	$2,5 \cdot 10^2$	$1,4 \cdot 10^9$
Co-58	$9,3 \cdot 10^5$	$6,2 \cdot 10^3$	$3,4 \cdot 10^{13}$
Co-60	$2,2 \cdot 10^6$	$6,4 \cdot 10^4$	$1,5 \cdot 10^{13}$
Zn-65	$2,4 \cdot 10^6$	$4,8 \cdot 10^3$	$1,5 \cdot 10^{11}$

Produktionsrat och mättnadsaktivitet finns dessutom angivna. Mättnadsaktiviteten definieras som den aktivitetsmängd som bildas i en BWR-härd vid bestrålning av 1 g modernuklid, till exempel Co-59 i fallet Co-60.

I en PWR är aktivitetsmängderna på bränslet ofta betydligt lägre.

#### 4.4.6 Aktivitetsspridning

##### **Varma systemytor**

De aktiverade korrosionsprodukterna har en mycket lång uppehållstid i härden hos en ABB BWR men en del av produkterna utlöses dock efter hand och transporteras med reaktorvattnet ut i reaktorsystemen, där de i större eller mindre utsträckning åter deponerar på materialytor. Detta medför problem eftersom det aktiva deponatet utgör strålkällor som ger upphov till stråldoser till personalen. En del av aktiviteten tas upp av reaktorreningskretsen (ca 1 TBq Co-60 per år).

Avlossningen av de aktiverade korrosionsprodukter från bränsleCRUDen kan ske i jonform eller som partiklar. Typiska joner är  $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{FeOH}^{2+}$ ,  $\text{Fe}(\text{OH})_2^+$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_4^{2-}$  etc.

Partikelavlossningen från bränslet kan variera stort med tiden allt beroende på ändrade driftförhållanden och transienter. Ett ökat kylflöde kan öka avlossning genom vattnets ökade tryck mot partiklarna i CRUDen och genom att öka vibrationerna i bränslestavarna. Storleken och mängden av ångbubblor kan medföra förändrad avlossningshastighet. Styrstavsvrörelser kan medföra plötsligt ökad avlossning liksom hantering av bränslet under avställningar. Självfallet medför en ökad

deponeringsmängd på bränslestavarna större risk för avlossning av både partiklar och joner både genom att den totala exponerade ytan blir större och genom att vidhäftningen fysiskt blir svagare för tjocka skikt.

Eftersom oxidskikten på systemytor ständigt växer i tjocklek finns det förutsättningar för att de radioaktiva partiklarna och jonerna i reaktorvattnet kan byggas in i dem. Olika mekanismer för deponering av de aktiva nukliderna förekommer.

Fysisk inbyggnad sker då partikulära korrosionspartiklar genom inverkan av adsorptionskrafter deponerar på oxidytan varefter de byggs in i det växande skiktet.

Vid stora mängder lös CRUD i reaktorvattnet kan även partiklar fastna i fickor i systemen där vattnet är så gott som stillastående. Dylig lös CRUD byggs inte in i oxidskikten utan går ofta att spola loss med vatten. Besvärliga s k hot spots kan uppträda i systemen på grund av dylika CRUDansamlingar.

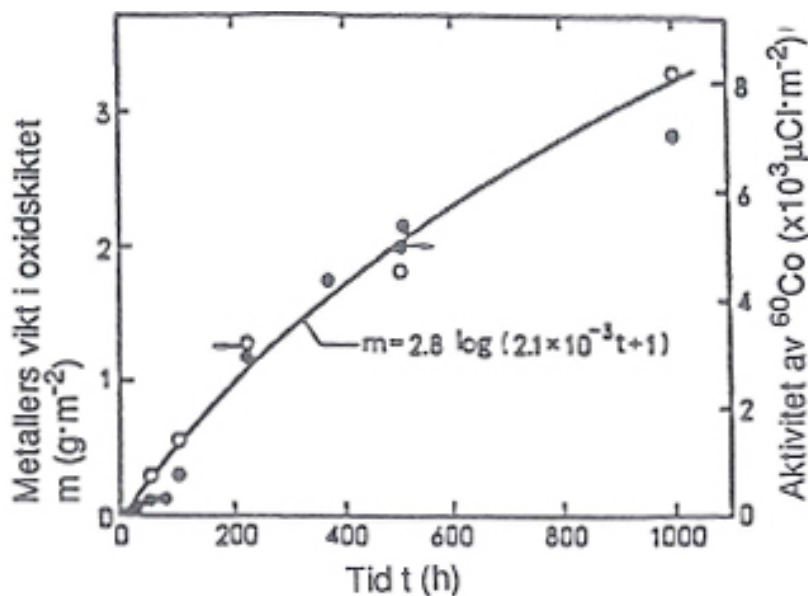
Kemisk inbyggnad av aktiverade joner sker främst genom samkristallisation och genom jonbytesreaktioner. Samkristallisation innebär att jonogena produkter ingår i bildandet av spineller under korrosionsprocessen. Till exempel kan en tvåvärd jon av Co-60 bindas som  $\text{CoO} + \text{Fe}_2\text{O}_3$  till oxiden. Jonbytesreaktioner innebär att den aktiverade korrosionsprodukten i jonogen form byter plats med ämnen bundna i oxiden. De aktiverade korrosionsprodukterna kan även byggas in i oxidfilmen genom att de fyller vakanser som förekommer i filmen.

Benägenheten för olika ämnen att byggas in i oxidskikt i reaktormiljö uppges avta i ordningsföljden  $\text{Ni} = \text{Co} > \text{Zn} > \text{Mn} > \text{Cu}$ . Ordningsföljden förutsätter en koncentration av 10 ppm av jonerna ifråga. Aktivitetsupbyggnaden uppges stå i proportion till korrosionshastigheten för rostfritt stål, figur 4-8.

Aktivitetsupbyggnaden på kolstål följer inte ett liknande samband. Avlossningshastigheten är mycket större vilket minskar aktivitetsupbyggnadshastigheten. Det bör observeras att korrosionen sker både i gränsskiktet mellan metall/metalloxid och mot vattenfasen när det gäller magnetitillväxt på kolstål. Hastigheten styrs delvis av jontransport ( $\text{O}^{2-}$ ,  $\text{OH}^-$ ) in mot grundmaterialet från vattenfasen.

### Kalla systemytor

På kalla systemytor är aktivitetsupbyggnaden inte lika stor som på varma ytor beroende på den ringa korrosionshastigheten. Olika adsorptions- och utfällningsreaktioner torde spela en större roll vid kontamineringsprocessen. Kontamineringen sitter därför ofta mycket löst på underlaget och går med enkla medel som högtrycksspolning att avlägsna.



Figur 4-8. Korrosionshastigheten och Co-60 deponering på rostfritt stål i reaktorvatten.

## 4.5 Fissionsprodukter och transuraner (TRU)

### 4.5.1 Bränslet

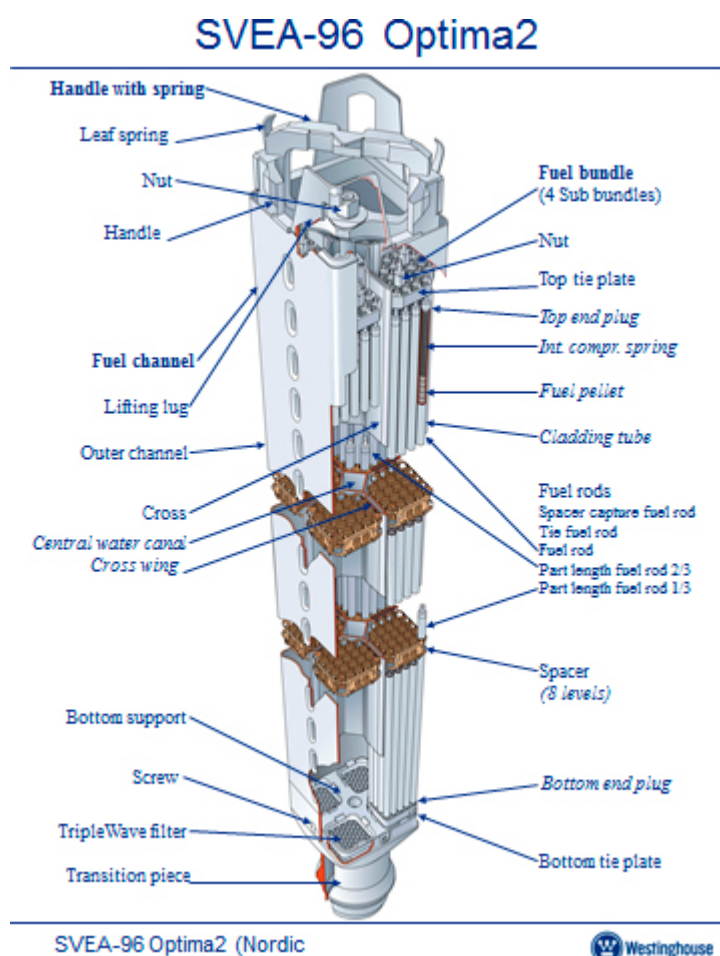
Bränslet i lättvattenreaktorer av typ BWR och PWR består av  $UO_2$  med inblandning av brännbara absorbatörer, vanligtvis  $Gd_2O_3$  i BWR-reaktorer. Det sintras till kutsar vars diameter är ca 10 mm och höjden varierar mellan 3 och 12 mm i en ABB BWR. Kanterna är oftast fasade.

Bränslekutsarna tillverkas genom pressning av  $UO_2$ -pulver och sintring vid hög temperatur i vätgas. Densiteten motsvarar 93–96 % av den teoretiska densiteten för  $UO_2$ , 19,96 g/cm<sup>3</sup>.

$UO_2$  har valts som material till bränslekutsarna beroende på dess:

- Kemiska stabilitet under bestrålning.
- Goda lakningsegenskaper eller korrosionsegenskaper i vatten.
- Kompatibilitet med kapslingsmaterialet Zirkaloy.
- Goda dimensionsbeständighet under bestrålning.
- Höga smältpunkt 2 800 °C.
- Acceptabla värmeledningsförmåga.
- Urantäthet.

Kutsarna staplas i bränslestavar av zirkoniumlegering, figur 4-9. Kapslingsröret tillsluts med ändpluggar och tätsvetsas. Stavens fria volymer fylls före tillslutningen med helium. Helium är en ädelgas. Ädelgaser reagerar inte kemiskt med andra material. Helium har dessutom en relativt god värmeöverföringsförmåga.



Figur 4-9. BWR-SVEA-96 Optima2 (Nordic) Westinghouse.



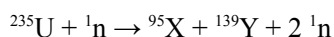
I bränslestavarnas överdel finns ett s k fissionsgasplenum som fungerar som expansionsvolym för producerade fissionsgaser och för kutsplarens eventuella svällning vid hög utbränning. Under en stor del av drifttiden ökar dock fissionsplenum i volym genom förtätning av bränslekutsarna samt genom kapslingsrörets förlängning.

Bränslestavarna byggs ihop till stavknippen som hålls ihop av en botten- respektive toppplatta samt av sex jämnt fördelade distanselement, s k spridare. Stavknippena är nedsänkta i bränsleboxar och utgör ett bränsleelement. Ett bränsleknippe av WSE standardkonstruktion består av 96 nära 4 m långa bränslestavar och en spridarhållarstav. Dessa är samlade i ett kvadratisk 10×10-mönster. Andra konfigurationer förekommer.

Antalet bränsleelement i en härd varierar. I Ringhals 1 finns det 648 element à 202 kg UO<sub>2</sub>. Bränslet har en medelanrikning av 3,49 % på isotopen U-235, som utgör den klyvbara isotopen. Resten består huvudsakligen av U-238.

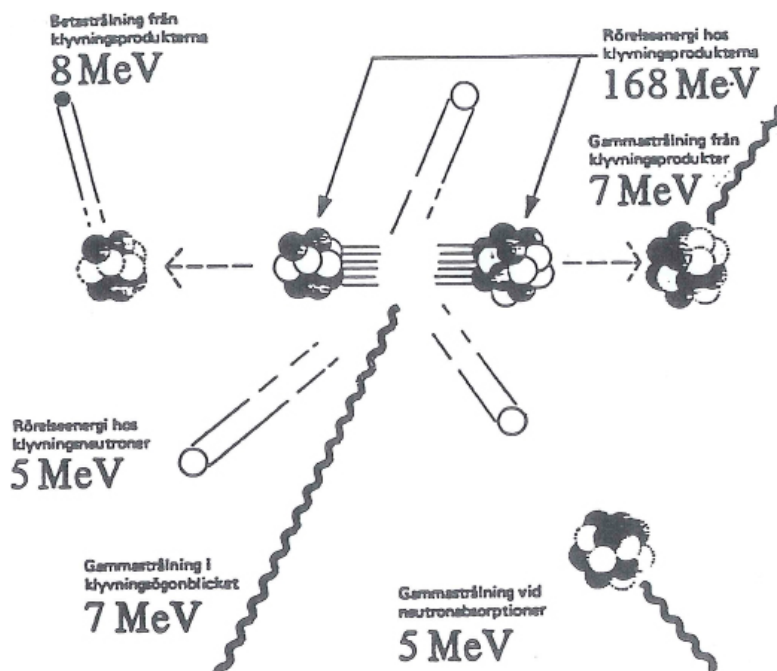
#### 4.5.2 Klyvning

Under neutronbestralning klyvs U-235 atomer varvid s k fissionsprodukter (klyvningsprodukter) bildas enligt:



I reaktionsformeln har två icke namngivna isotoper <sup>95</sup>X och <sup>139</sup>Y bildats samtidigt med två nya neutroner. Genom massförlust i samband med klyvning frigörs en total energimängd motsvarande ca 200 MeV, figur 4-10.

Det mesta av energin förekommer som rörelseenergi hos klyvningsprodukterna (168 MeV). Dessa stoppas först efter att ha avverkat en sträcka på ca 10 µm. De frigör sin energi till omgivningen, oftast bränslekutsen. Därvid omvandlas rörelseenergin till termisk energi i det omgivande atomgittret. Under själva klyvningsprocessen orsakar klyvningsprodukterna skador på och förändringar i gitterstrukturen. Det är denna energi samt gamma-energin från klyvning och förändringar i fissionsprodukterna som ger upphov till värmets från bränslet.



Figur 4-10. Fission av U-235.



Gammastrålning från klyvningsprodukterna frigör värme även efter det att själva klyvningsprocessen stoppats. Kylning av härden krävs därför en lång tid efter det att reaktorn stoppats (resteffekt).

Klyvningsbenägenheten för U-235 ökar med minskande rörelseenergi hos neutronerna, dvs med långsammare neutroner. Dessa s k termiska neutroner, vars hastighet har ”modererats” av reaktorvattnet, har största benägenheten att klyva U-235.

Med tiden börjar även klyvning av Pu-239 och Pu-241 bidra till energiproduktionen i en härd, figur 4-11. Under en härds livstid kommer fission av plutoniumisotoper bidra med ca 40 % av energiproduktionen.

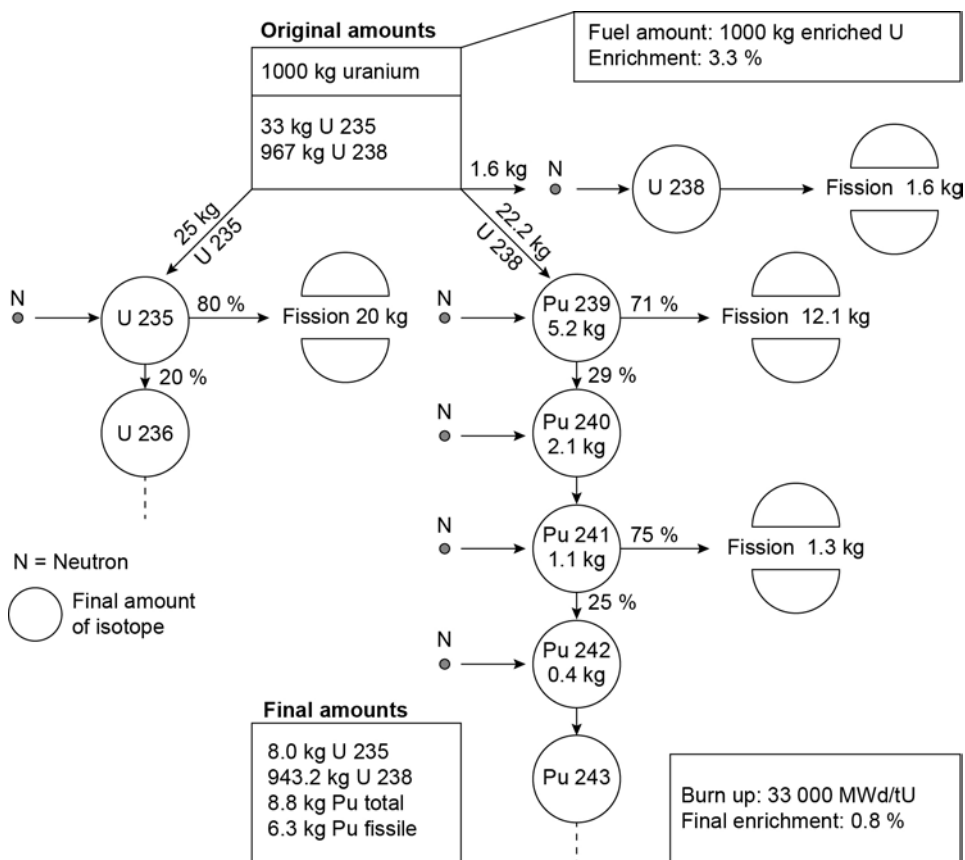
I genomsnitt konsumerar en 1 000 MW lättvattenreaktor med 33 % verkningsgrad 2,2 kg U-235 och 2,0 kg U-238 per dag. Under samma tid producerar reaktorn ca 3,1 kg fissionsprodukter från klyvning av uran- och plutoniumatomer.

### 4.5.3 Fissionsprodukter

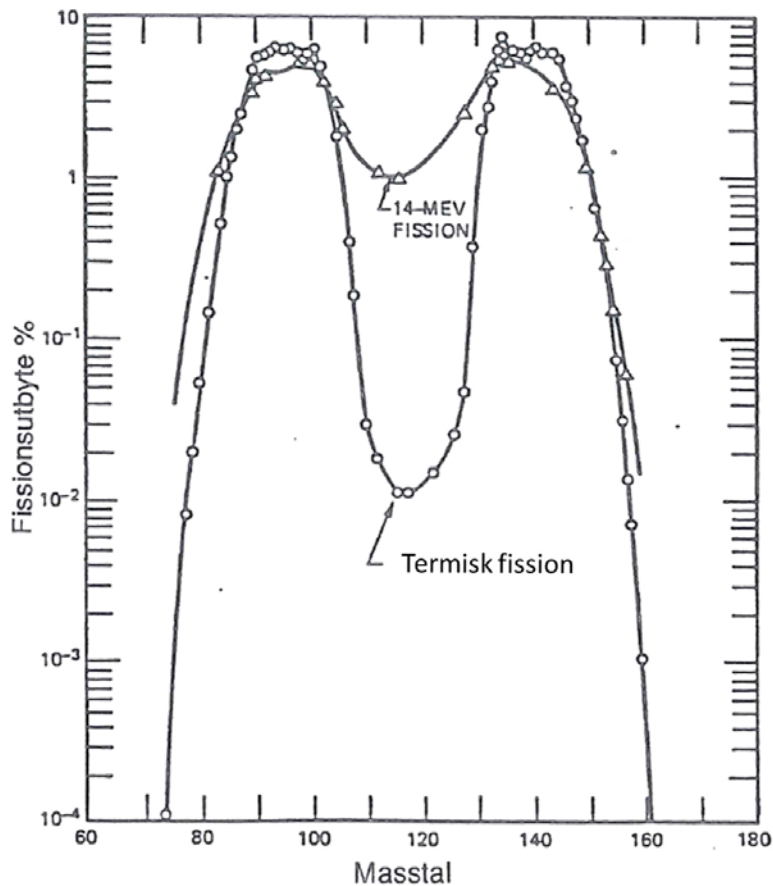
Fissionsprodukternas massa varierar från fission till fission. Vanligast förekommande är element med masstalen 80–110 och 125–155, figur 4-12.

Om U-235 alltid skulle klyvas i två lika stora fragment skulle de båda ha masstalet 117. Detta masstal är emellertid sällsynt efter klyvning av U-235-isotopen med termiska neutroner. Asymmetrisk klyvning är däremot mycket vanlig vid fission.

Några viktigare fissionsprodukter samt aktinider (ej fissionsprodukter) finns sammanställda i tabell 4-5.



Figur 4-11. Fissionsbalans i en lättvattenreaktor.



Figur 4-12. Fissionsutbyte och masstal vid klyvning av U-235 med termiska och snabba neutroner.

Tabell 4-5. Nuklider med högst aktivitet i utbränt bränsle efter 150 dagars avklingning.

Nuklid	Halveringstid år	Sönderfall	Aktivitet
<b>Fissions produkter</b>			
Strontium-89	0,14	B	$3,6 \times 10^{15}$
Strontium-90	29	B	$2,8 \times 10^{15}$
Zirkonium-95	0,18	$\beta, \gamma$	$1,0 \times 10^{16}$
Niob-95	0,095	$\beta, \gamma$	$1,9 \times 10^{16}$
Rutenium-106	1,0	$\beta$	$1,5 \times 10^{16}$
Cesium-134	2,05	$\beta, \gamma$	$7,7 \times 10^{15}$
Cesium-137	30	$\beta, \gamma$	$4,1 \times 10^{15}$
Cerium-134	0,78	$\beta, \gamma$	$2,8 \times 10^{16}$
Promentium-147	2,6	B	$3,7 \times 10^{15}$
<b>Aktinider</b>			
Plutonium-238	88	$\alpha$	$1,0 \times 10^{13}$
Plutonium-239	24,400	$\alpha$	$1,2 \times 10^{13}$
Plutonium-240	6,500	$\alpha$	$1,8 \times 10^{13}$
Plutonium-241	14	$\beta$	$4,1 \times 10^{15}$
Plutonium-242	387,000	$\alpha$	$5,0 \times 10^{10}$
Americium-241	433	$\alpha, \gamma$	$7,4 \times 10^{12}$
Americium-243	7,370	$\alpha, \gamma$	$6,4 \times 10^{12}$
Curium-242	0,45	$\alpha, sf^*$	$5,5 \times 10^{14}$
Curium-244	18	$\alpha, sf^*$	$9,3 \times 10^{13}$

\* Signifikant spontan fission följt av neutronemission.

Den angivna aktivitetsmängden för respektive nuklid har beräknats för 1 000 kg plutoniumfri uran i en 3 300 MW termisk lättvattenreaktor med en utbränningsgrad på 33 MWd/kgU (termisk) i ursprungsbränslet. Avklingningstiden för bränslet är 150 dygn.

Sönderfallsdata för gasformiga krypton- och xenonisotoper samt för jodisotoper finns sammanställda i tabell 4-6.

**Tabell 4-6. Sönderfallsdata för några olika radioaktiva nuklider.**

Nuklid	T <sup>1/2</sup>	Alfa	Beta	Gamma
Kr-85m	4,48 h	–	0,243	0,158
Kr-85	10,7 y	–	0,246	0,0021
Kr-87	76 m	–	1,35	1,48
Kr-88	2,84 h	–	0,39	1,74
Kr-89	3,18 m	–	1,39	2,30
Xe-133	5,25 d	–	0,153	0,0292
Xe-135m	15,6 m	–	0,104	0,423
Xe-135	9,10 h	–	0,306	0,261
Xe-137	1,41 m	–	–	1,92
I-131	8,04 d	–	0,188	0,385
I-132	2,28 h	–	0,465	2,297
I-133	20,9 h	–	0,45	0,639
I-134	52,6 m	–	0,68	2,115
I-135	6,61 h	–	0,34	1,775

#### 4.5.4 Bränsleskador

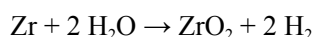
En bränslestav under drift utsätts för en rad belastningar som kan påverka dess integritet:

- Nya element bildas och omvandlas ständigt i bränslet på grund av klyvningar och neutronbestrålning.
- Temperaturvariationerna är stora i bränslekutsarna. Centrumtemperaturen kan variera mellan 1 200 K (ca 1 500 °C) och 2 000 K (ca 2 300 °C) och yttemperaturen kan uppgå till 600 K (ca 900 °C).
- I bränslet sker ständigt materialtransporter i form av syre och många fissionsprodukter.
- Kornstorlekar, porositeter och sprickmönster i bränslekutsarna förändras ständigt med förändring i transportvägar för fissionsprodukter och syre som följd.
- De kemiska reaktionshastigheterna påverkas av den intensiva strålningen. Atomer kan joniseras lättare.

Förloppen är följaktligen mycket komplexa och svåra att i detalj beskriva.

Kapslingsmaterialet kan skadas på olika sätt varvid klyvningsprodukter och bränslefragment kan frigöras från bränslet.

Tidigare år orsakade invändig hydrering (väteupptagning) skador på kapslingsmaterialet. Zirkoniumlegeringarna har en hög affinitet till både syre och väte. Genom vattnets sönderdelning enligt



kommer vätgas att finnas tillgänglig för hydrering. Normalt reagerar Zirkaloy långsamt med vatten under bildning av ett tättslutande skyddande oxidskikt på metallytan. Kvarblivet vatten inne i bränslestavarna orsakade under tidigare år invändig oxidation och hydrering med svåra lokala bränsleskador (sunbursts) som följd.

Den bildade zirkoniumhydriden har lägre densitet än grundmetallen och orsakade flagning och sprickbildning av materialet. Numera förekommer inte denna typ av skador eftersom fukten eliminerar vid tillverkning av bränslet.

Ett antal fall har däremot förekommit där främmande föremål fångats upp av spridarna under drift och genom nötning orsakat bränsleskador. Vattenflödet genom härdar kan framkalla vibrationer som ger upphov till skadorna.

Enstaka fall av s k "dry-out", lokal överhettning av bränslet, har också förekommit. Vid den lokala överhettningen angriper ångan zirkonium-legeringen mycket snabbt. Överhettningen får lokalt ytan att täckas av en ångfilm i stället för ångbubblor och vattenfilm. Värmeöverföringen försämras därigenom drastiskt på det överhettade stället. Denna typ av kokning kan lokalt pågå mycket länge och det är ytterst svårt att "våta" ytan igen vilket försök i Halden visat.

Det finns följaktligen ett flertal olika mekanismer, som kan orsaka bränsleskador.

En vanlig typ av bränsleskada i dag är s k "Pellet-Cladding-interaction" (PCI). Förenklat kan händelseförloppet vid PCI beskrivas som en samverkan mellan mekaniska dragspänningar på kapslingsmaterialet, samt aggressiva gasformiga klyvningsprodukter (jod) i spalten mellan kapsling och kutsar. Denna samverkan ger upphov till sprickbildning typ spänningskorrosion.

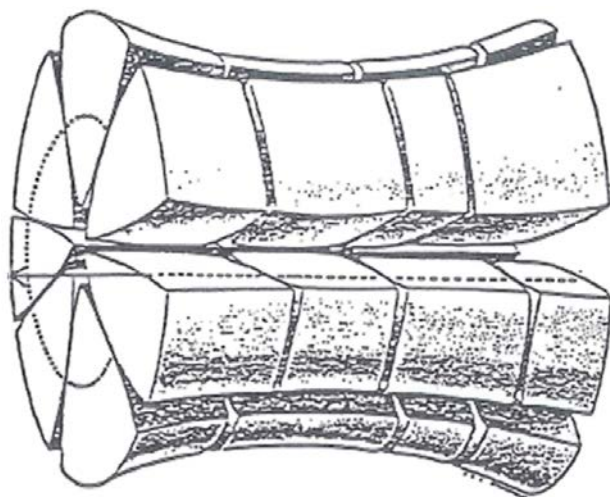
De mekaniska dragspänningarna på kapslingsmaterialet orsakas av expanderande krackelerande bränslekutsar, figur 4-13.

Genom att studera denna kraftigt överdrivna bild på en bränslekuts utsatt för sprickbildning är det lätt att förstå att den kan utöva tangentiella dragspänningar på kapslingsmaterialet.

#### 4.5.5 Frigörelse av klyvningsprodukter

Klyvningsprodukter kan grupperas i enlighet med deras fysikaliska och kemiska egenskaper (enligt NRC Reg 1.183).

Ädelmetaller		Lätt oxiderbara men olösliga i $UO_2$		Lätt oxiderbara och lösliga i $UO_2$		Flyktiga fissionsprodukter		Ädelgaser	
Molybden	Mo	Barium	Ba	Zirkonium	Zr	Cesium	Cs	Xenon	Xe
Rutenium	Ru	Strontium	Sr	Cerium	Ce	Tellur	Te	Krypton	Kr
Teknetium	Tc			Neodym	Nd	Jod	I		
Palladium	Pd					Antimon	Sb		
Rodium	Rh					Brom	Br		
						Tenn	Sn		



Figur 4-13. Överdriven beräknad form på  $UO_2$ -kuts efter en viss tids drift.

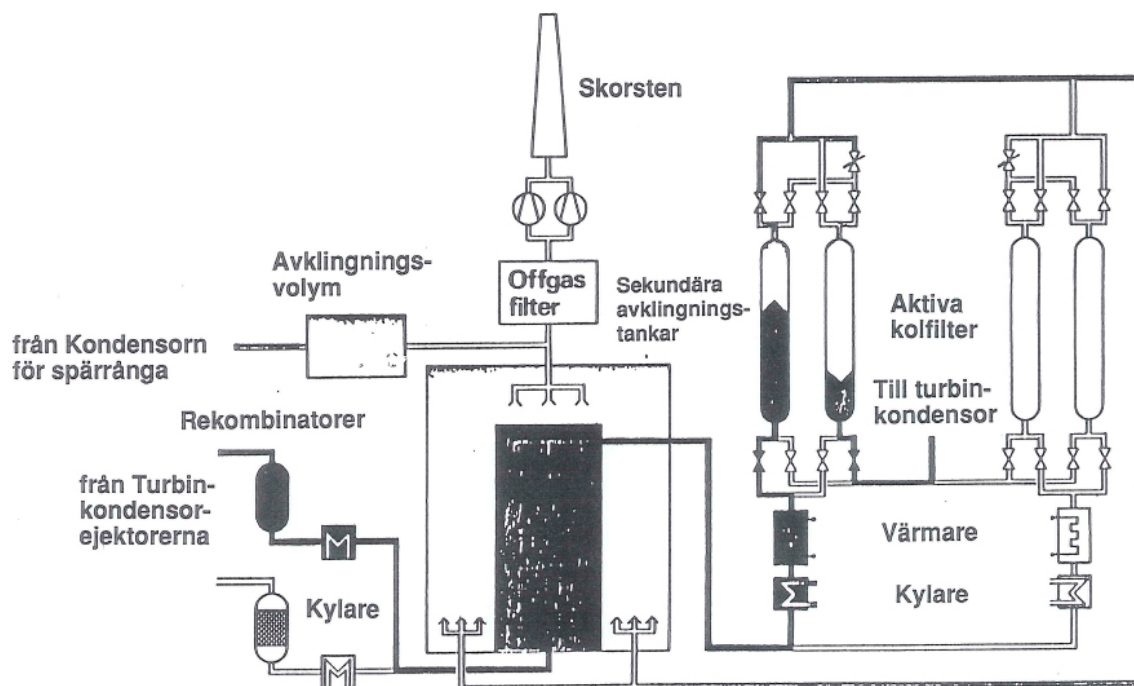
I bränslet finns alltid ett överskott på syreatomer. Vid klyvning av uranatomer bildas det ofta ädelgaser och ädelmetaller som inte kan binda syret i urangittret som blir tillgängligt i och med att uranatomerna omvandlas. En uranatom binder två syreatomer i  $UO_2$ -gittret. Miljön i en bränslekuts är oxiderande och bildning av stabila oxider med lätt oxiderbara klyvningselement som barium, strontium, zirkonium etc är därför möjlig.

De bildade klyvningselementen kan reagera kemiskt med  $UO_2$  eller andra tillgängliga specier och bli kvar i bränslet. De kan också transporteras ut ur bränslet på olika sätt. För att ge en bild av vad som kan pågå i bränslet under drift kommer ädelgasernas beteende kort att diskuteras.

Ungefär 15 % av de bildade klyvningsprodukterna består av ädelgaserna xenon och krypton samt jod (ej ädelgas). Vid klyvningsögonblicket accelereras elementen upp i en hög hastighet och kan därför, om de bildas nära kutsytan, slungas ut till de fria utrymmena utanför kutsen (recoil). De kan också stötas ut av andra kolliderande atomer (knock-out). I annat fall bildar gasatomerna små bubblor i kutsarna. Dessa bubblor sammansmälter i bränslematrisen och växer i omfång. De transporteras också inåt mot kutscentrum, som är varmast. Att de rör sig mot varmare partier är lätt att förstå om man tänker sig att uranatomer förångas på bubblornas varma sida och kondenseras på den kalla sidan.

Bubblornas vandring stoppas av korngränserna i bränslekutsarna. Vid korngränserna bildar de sammanhängande nätverk som rör sig mot kutscentrum. Där kan en stor voidvolym (tomt utrymme) bildas. Gas frigörs därför kontinuerligt i denna fria void. Gas kan också frigöras genom att de försvagade korngränserna spricker vid transienter, t ex då anläggningen stoppas.

Vid temperaturer  $> 1\ 000\ ^\circ C$  frigörs så gott som hela gasinventariet i en bränslekuts till den fria gasvolymen i bränslestaven. Vid en eventuell bränsleskada kommer ädelgaser läcka ut till reaktorvattnet och i en BWR därefter mycket snabbt koka av och följa med ångan till turbinkondensorn. Från kondensorn sugas gaserna av med gasavdraget till stationernas avgassystem, figur 4-14. Ädelgaserna är inte filtrerbara och därför fördröjs utsläppet till atmosfären så pass att de mera kortlivade isotoperna hinner klinga av. Fördröjning av storleksordningen timskala sker i sandfyllda fördröjningstankar. Även kolkolonner utnyttjas för fördröjning av Xe-isotoper.



Figur 4-14. BWR-75 – System 341 – Behandling av aktiva avloppsgaser.

I en BWR finns det även andra transportvägar för ädelgaser. Via ventilationen kan ädelgaser från ångläckage, turbinens spärrängesystem samt avfallstankar släppas ut. I det sistnämnda fallet orsakas utsläppet av radioaktivt sönderfall av jodisotoperna I-133 och I-135 som kan uppträda i både jonogen och molekylär form i processvattnet. Dessa isotoper ger vid sitt sönderfall upphov till Xenon-isotoperna Xe-133m, Xe-135m och Xe-135.

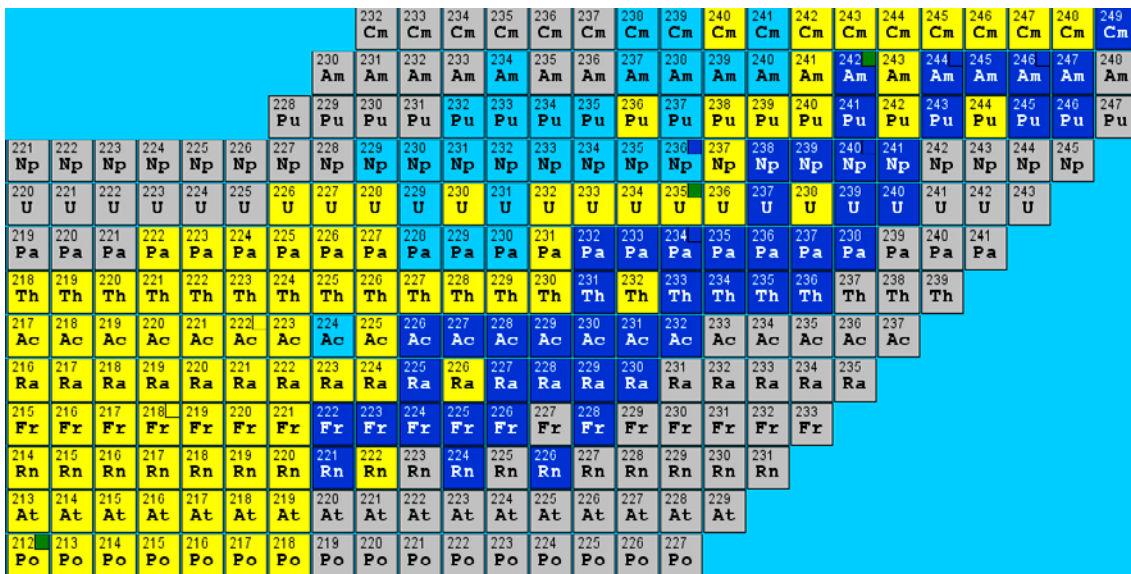
I en PWR förekommer i primärkretsen inget avkok av ånga som kan avlägsna ädelgaserna från reaktorvattnet. De huvudsakliga transportvägarna går via volymkontrolltanken (VCT), borevaporatorer och samlingstankarna (Hold Up Tanks) till avklingningstankarna. Utsläpp från avklingningstankarna sker därefter under kontrollerade förhållanden, dvs hänsyn tas till avklingningstider och vindförhållanden.

Mindre bränsleskador behöver inte ge upphov till andra utsläpp till reaktorvattnet än ädelgaser, jod och cesium. Små mängder vatten tränger in genom hålet eller sprickorna. I många fall kan hålet åter täppas igen genom oxidation av kapslingsmaterial, främmande föremål eller någon annan process.

Större sekundära skador kan erhållas långt ifrån en primärskada om vatten tränger in i staven. I många fall kan skadorna bli så omfattande att bränslekutsarna helt friläggs och utsätts för reaktorvattnets erosiva krafter. Kutsar kan helt smulas sönder och sprida sig i reaktorsystemen. I dylika fall kommer alla tänkbara klyvningsprodukter och aktinider att kontaminera systemen.

Transuraner (neptunium, plutonium, americium, curium) bildas genom neutroninfångning samt beta/gamma avgivning av energi enligt schemat i figur 4-15.

Det finns skäl att förmoda att en stor del av transuraninventarier i SFR kommer att härröra sig från några enstaka större bränsleskador, där bränslekutsar kommit i direktkontakt med reaktorvattnet. Vid en större bränsleskada kan rester från eroderade kutsar sprida sig vidare ut till primärsystemet via reaktorvattnet.



Figur 4-15. Isotopkarta med olika radionuklider och dess sönderfallsprocesser. Ljusblå = elektroninfångning (EC, beta+), mörkblå = beta- och gul = alfa.

## 4.6 Dosrater i BWR-system

### 4.6.1 Allmänt om strålning

Erfarenheten visar att den helt dominerande delen av stråldoserna till personalen vid kärnkraftverk härrör från gammastrålning. Endast i fall där man har att göra med öppna strålkällor, t ex demonterade komponenter, kan betastrålningen ge ett bidrag av betydelse. Det beror på att även ett tunt stålrör skärmar betastrålningen.

Gammastrålningsutbytet och fotonenergin för olika sönderfallande nuklider avgör strålningsnivån utanför ett processrör. Detta illustreras av tabell 4-7, där kontaktdosraten utanför ett processrör med diameterna ca 200 mm beräknats för olika nuklider under förutsättning att aktivitetsmängden är densamma för dessa.

**Tabell 4-7. Sönderfallsdata och beräknat strålningsbidrag från några aktiverade korrosionsprodukter.**

Nuklid	Halv.tid	Strålning beta	(MeV/dis) gamma	Dosrat A200-rör <sup>1)</sup> (mSv/h)
Cr-51	27,7 d	–	0,029	0,006
Mn-54	312 d	–	0,84	0,287
Fe-59	44,6 d	0,122	1,19	0,425
Co-58	70,8 d	0,0304	0,98	0,318
Co-60	5,27 7	0,09	2,5	0,898
Zn-65	244 d	–	0,581	0,206

<sup>1)</sup> Ytterdiam. = 220 mm, godstjocklek = 14 mm, isolering = 14 mm, antagen ytaktivitet = 1 GBq/m<sup>2</sup>, nuklid, röret vattenfyllt.

Av tabellen framgår att Co-60 intar en särställning med sin höga fotonenergi per sönderfall och därigenom sin stora genomträngningsförmåga för strålningen.

Strålningsnivån varierar med avståndet från strålkällan beroende av källans geometriska utformning dvs dess storlek. Grundregeln är att ju mera utbredd källan är desto mindre avtar dosraten med avståndet. Den praktiska konsekvensen är att punktkällor med höga kontaktdosrater bidrar mindre till den allmänna strålningsnivån i ett utrymme än stora komponenter med mera utbredd aktivitet och lägre kontaktdosrat.

### 4.6.2 Reaktorvattensystem

I reaktorvattensystemen utsätts systemytorna för hett kontaminerat reaktorvatten. Förutsättningarna för aktivitetssuppbbyggnad är stora speciellt före 331-jonbyterna.

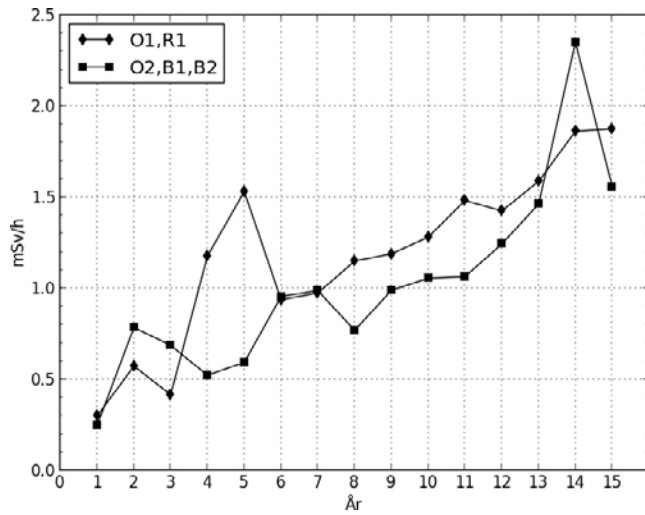
Kontaktdosrater under avställning på vertikala ledningar i huvudcirkulationssystemen för O1, O2, B1, B2 och R1 framgår av figur 4-16.

Kontaktdosraterna varierar mellan 0,5 och 2,5 mSv/h. Motsvarande mätningar utförda på horisontella rör uppvisar kontaktdosrater mellan 1,0 och 6,0, dvs väsentligt högre än för vertikala rör, figur 4-17. Detta visar på betydelsen av partikeldeposition på horisontella ytor.

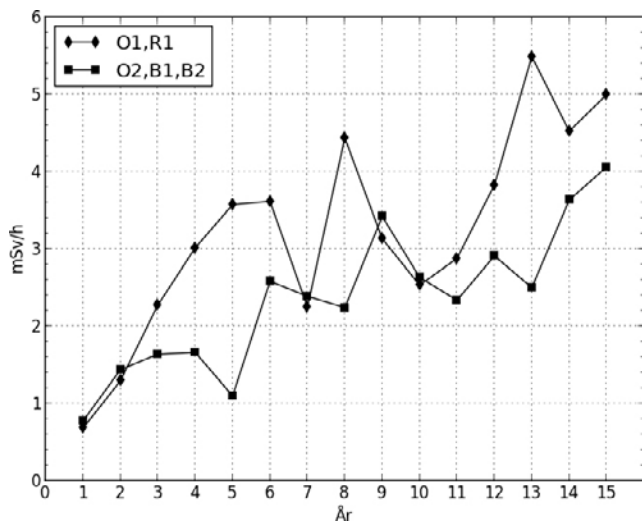
Uppmätta kontaktdosrater på vertikala 321-ledningar uppströms pumparna visas i figur 4-18.

Kontaktdosraterna kan jämföras med dosraterna för de vertikala ledningarna i huvudcirkulationssystemet för de tre första generationerna av ABB BWR medan generation 4 (O3 och F3) avviker kraftigt genom väsentligt snabbare dosratvillväxt.

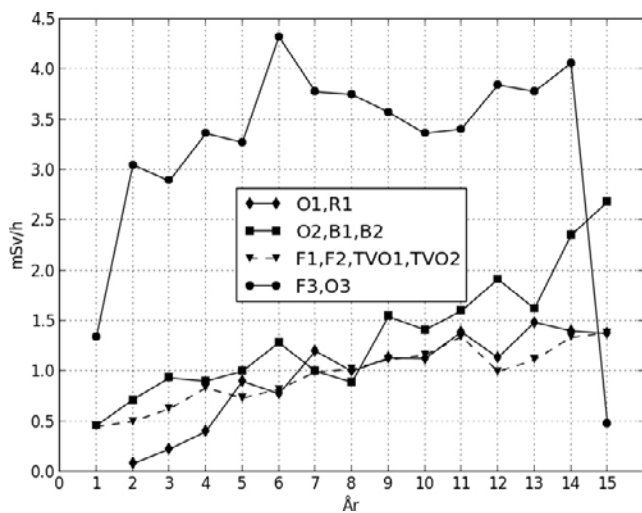
Mätningar har visat att bidragen från koboltisotoperna Co-58 och Co-60 utgör mera än 80 % av dosratsbidraget efter några års drift, figur 4-19 och figur 4-20.



Figur 4-16. Kontaktdosrat under avställning på vertikala ledningar i huvudcirkulationssystemet i ABB BWR. År avser år efter uppstart.

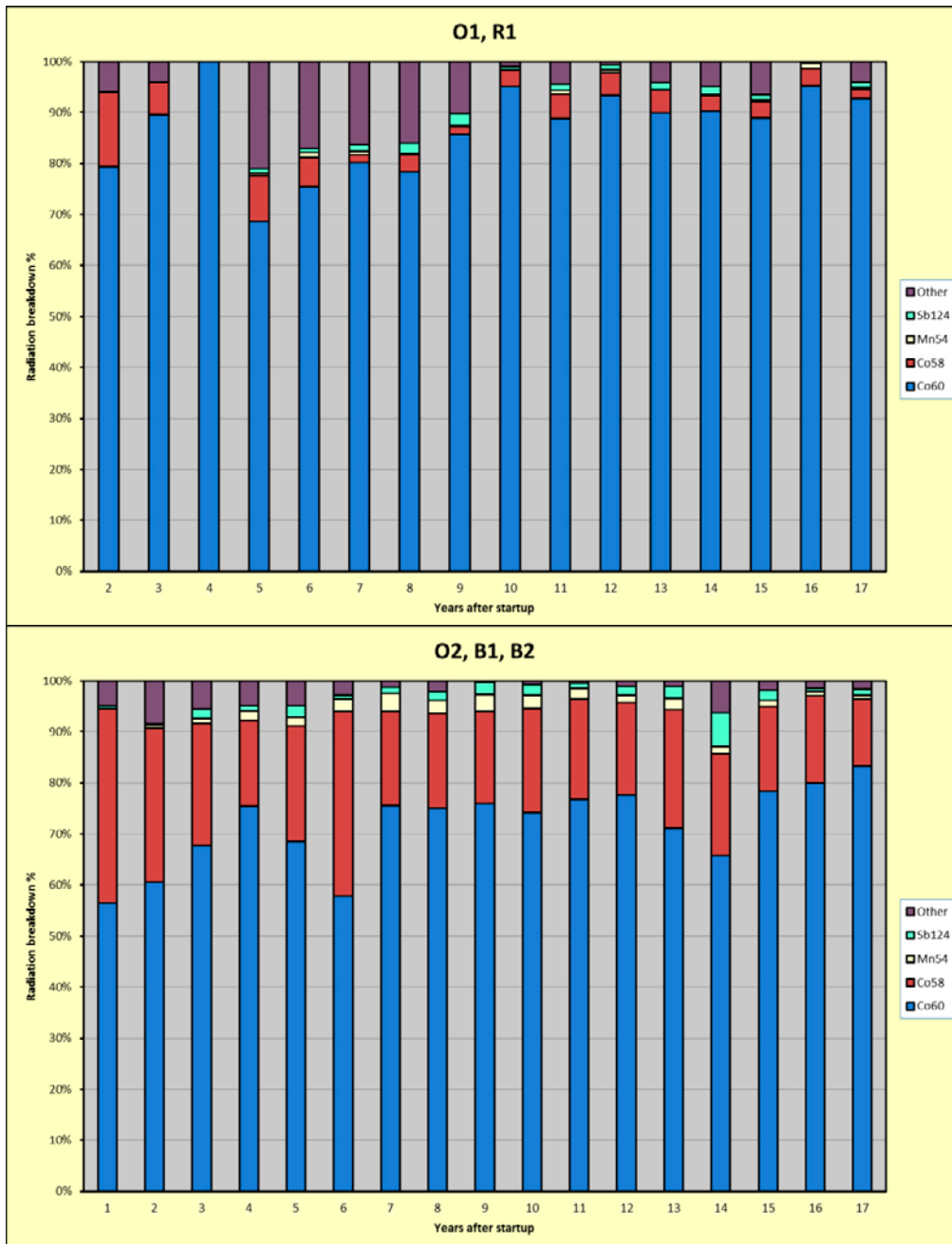


Figur 4-17. Kontaktdosrat under avställning på horisontella ledningar i huvudcirkulationssystemet i ABB BWR. År avser år efter uppstart.

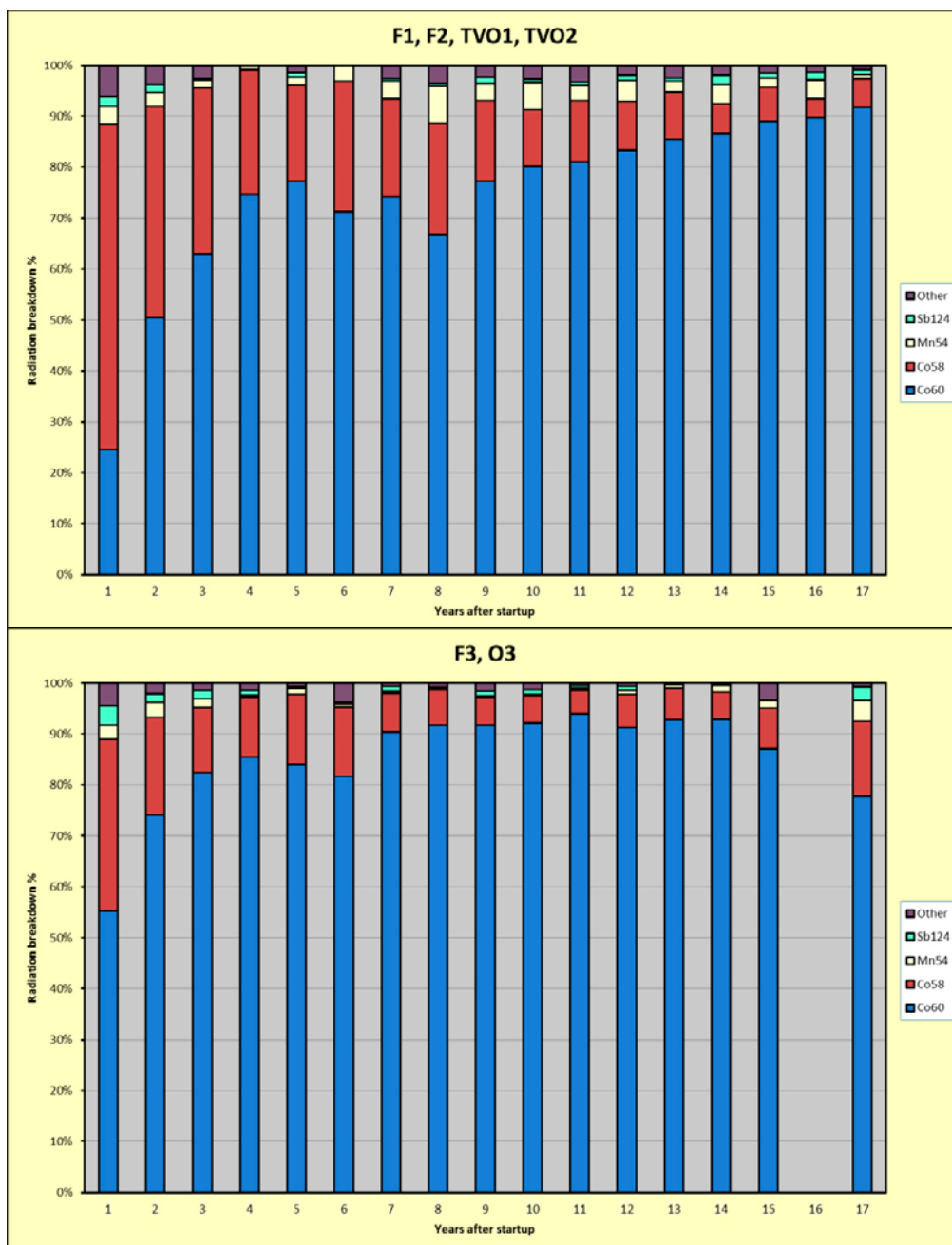


Figur 4-18. Kontaktdosrat under avställning på rör till reaktorvattenreningsystemet, system 331. År avser år efter uppstart.





**Figur 4-19.** MADAC-mätningar under avställning på rör till reaktorvattenreningen för reaktorerna O1, R1, O2, B1 och B2. Olika nuklidens relativa bidrag till strålningsnivån.

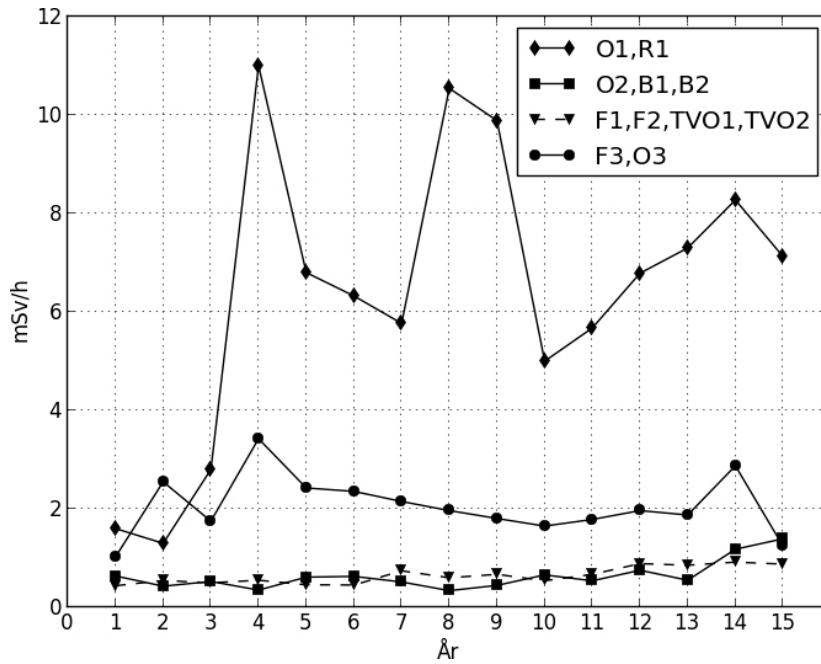


**Figur 4-20.** MADAC-mätningar under avställning på rör till reaktorvattenreningen för reaktorerna F1, F2, TVO1, TVO2, F3 och O3. Olika nuklidens relativa bidrag till strålningsnivån.

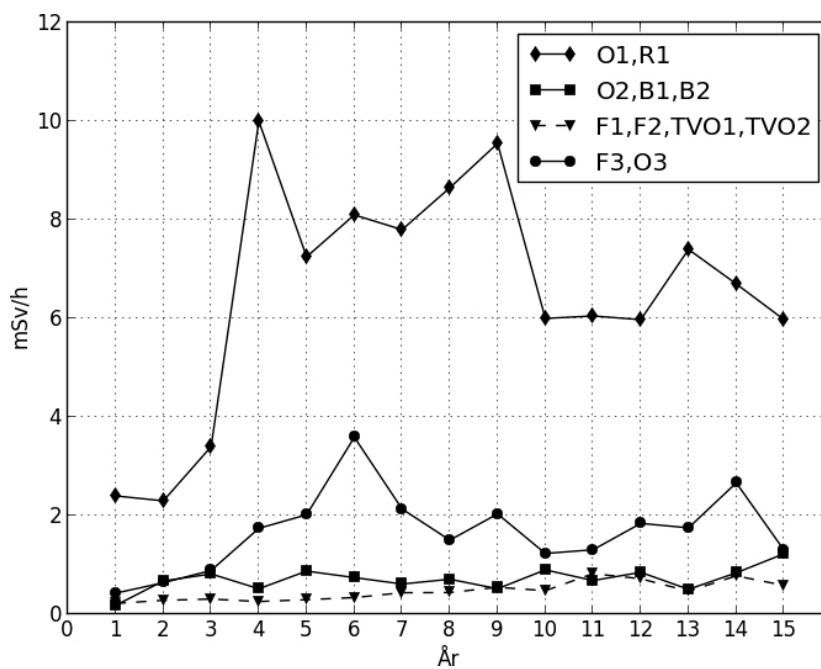
Av dessa två isotoper ökar Co-60 succesivt sin andel med drifttiden och efter 4–5 års drift är bidraget från den ensamt 70–90 %.

Stråket till reaktorreningskretsen inleds i ABB BWR med en regenerativ värmeväxlare (331E1) följt av en eller flera kylare, varvid den sista i allmänhet har beteckningen 331E2. Kontaktdoserna på dessa komponenter redovisas i figur 4-21 och figur 4-22. Av figurerna framgår klart den särställning som O1 och R1 har, med strålningsnivåer väsentligt högre än de övriga reaktorgenerationerna. Det mesta tyder på att den stora skillnaden kan hänföras till partikeldeposition, åtminstone i fallet 331 E2 där drifttemperaturen är låg. I 331 E1 är temperaturen högre varför oxidbunden aktivitet kan ha en viss betydelse.

Vid partikeldeposition ökar andelarna av Mn-54, Fe-59 och Zr-95/Nb-95. De senare härrör från korroderade bränslematerial.



Figur 4-21. Kontaktdosrat under avställning på regenerativ värmväxlare i reaktorvattenreningsystemet. År avser år efter uppstart.

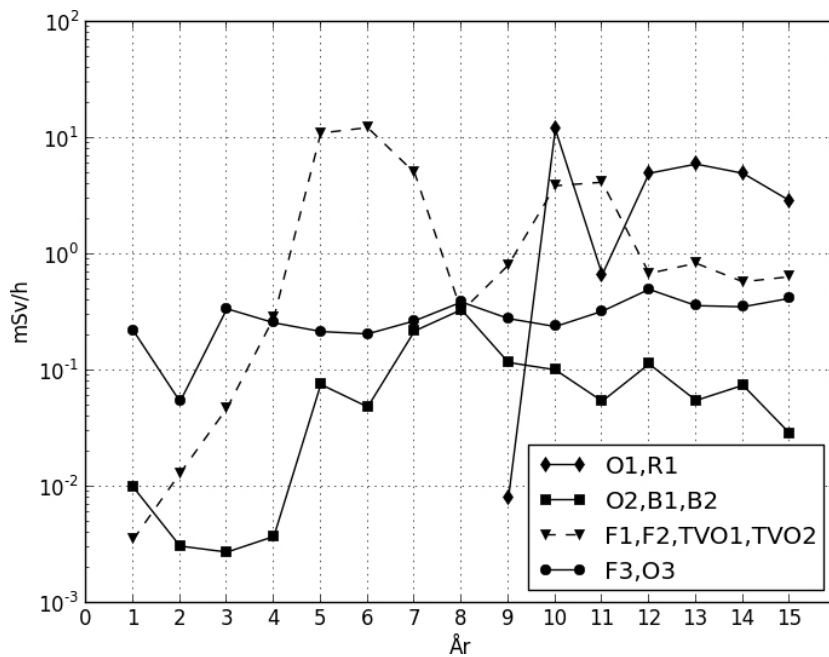


Figur 4-22. Kontaktdosrat under avställning på kylare i reaktorvattenreningsystemet. År avser år efter uppstart.

### 4.6.3 Sekundärsystem

Till sekundärsystemen räknas i detta sammanhang systemen för bassängrening, bassängkylning, avställningskylning, nödkylning samt snabbstopp. Vattentemperaturen är i allmänhet låg i dessa system och partikeldepositionen spelar en stor roll vid aktivitetssupbyggnaden.

Figur 4-23 visar kontaktdosraterna på kylare hörande till systemet för kylning och rening av bränslebassängerna.



**Figur 4-23.** Kontaktdosrat under avställning på kylare i systemet för kylning och rening av bränslebassängerna (system 324). År avser år efter uppstart.

De stora skillnaderna i dosrater reaktorerna sinsemellan beror på skiljaktigheter i systemuppbyggnad och drift. Större insatser i bränslebassängerna, t ex kompaktering av bränsleboxar, kan kontaminera kylarna. De båda reaktorerna av första generationen, O1 och R1, intar en tätplacering till stor del beroende på att kylarna placerats uppströms filtren.

Även här dominerar Co-60 men bidragen från övriga nuklider till stråldoserna är ofta väsentliga och till och med dominerande i vissa fall, figur 4-24 och figur 4-25.

Isotoperna Ag-110m och Fe-59 tillhör de isotoper som ger väsentliga bidrag till dosraterna strax efter avställning av en reaktor. Bidragen från andra nuklider än Co-58 och Co-60 tyder på att partikeldepositionen är den enda och dominerande faktorn vid aktivitetssuppbbyggnad i kalla system.

Denna typ av aktivitet är lätt att avlägsna med rent mekaniska medel från systemytor. I vissa fall kan s k ”främmande rost” fästa aktiviteten hårdare på underlaget.

Nedkylningen av reaktorerna sker med kylarna i system 321. Kontaktdoserna på dessa kylare finns redovisade i figur 4-26.

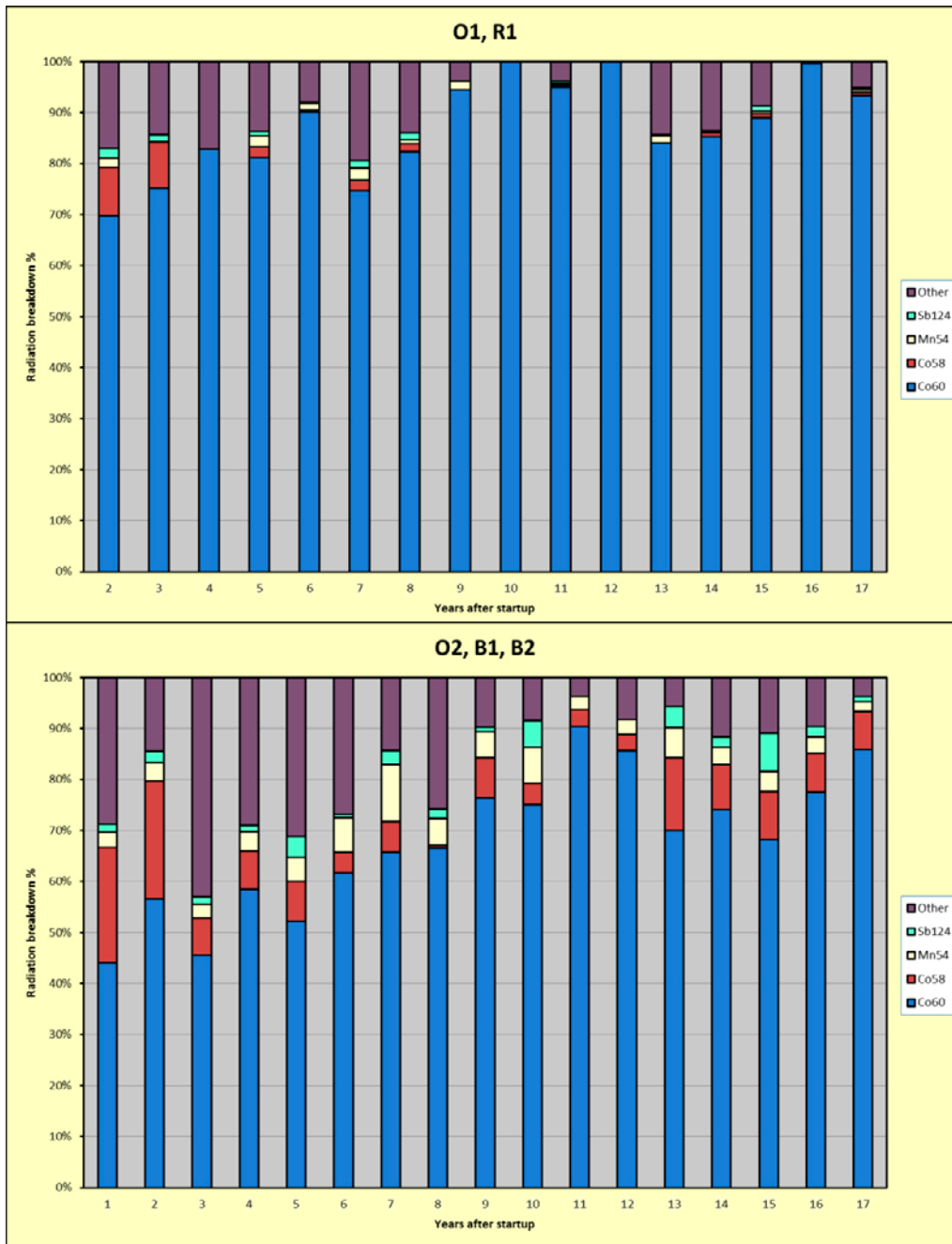
Själva avställningsproceduren är förknippad med frigörelse av aktivitet från bränslet. Dessutom är reaktorvattnets temperatur hög i början av kylningsförloppet.

Vad beträffar dosraterna för O1 bidrar doserna från 331-systemets värmare till de uppmätta doserna på kylarna i 321-systemet eftersom de placerats i samma utrymme.

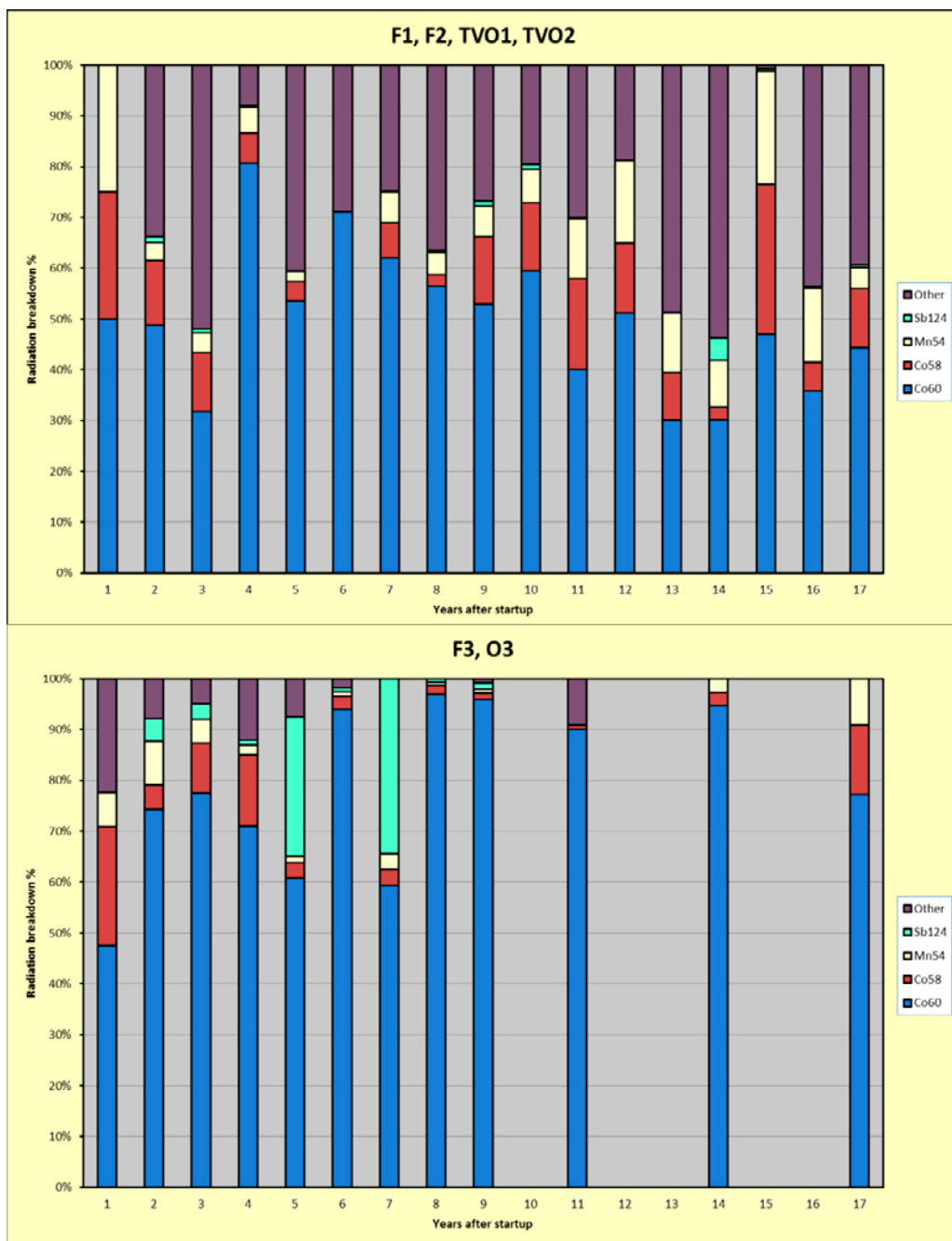
Kontaktdosraterna på kylarna i kondensationsbassängerna (system 322) är låga beroende på att vattentemperaturerna är låga, figur 4-27.

Rörledningarna i detta system uppvisar i normalfall dosrater < 0,01 mSv/h på ytan. Kylarna fungerar delvis som slamfällor där CRUD kan ansamlas och ge upphov till högre dosrater.

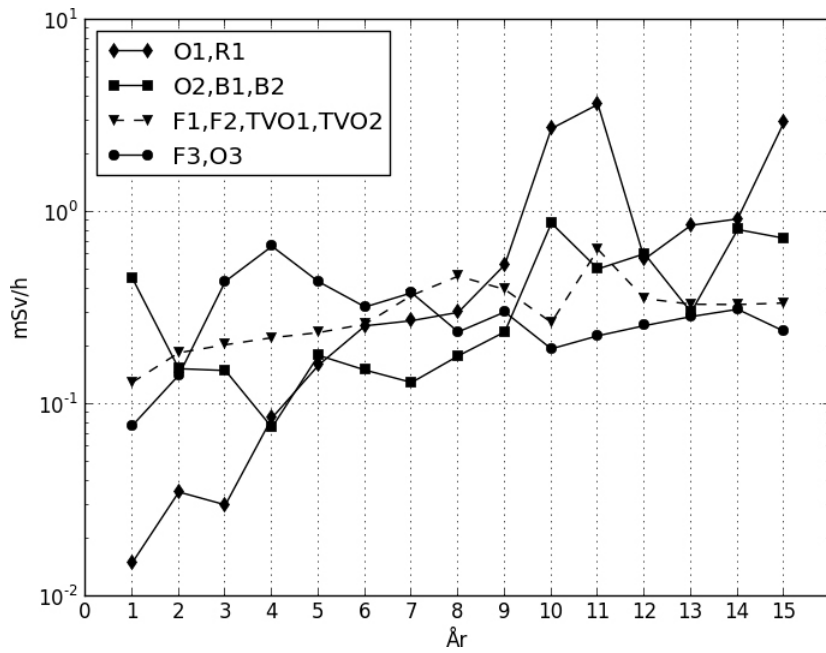
Det hydrauliska snabbstoppsystemet 354 genomspolas under reaktordrift av högre reaktorvatten från system 331. Detta flöde utgör ett spolflöde till drivdonen. Drifttemperaturerna varierar från 60 °C till 245 °C, allt beroende på vilken reaktor det är frågan om. Dessa variationer i drifttemperatur påverkar aktivitetssuppbbyggnaden i systemet. Kontaktdoserna på de vattentankar som ingår i systemet redovisas i figur 4-28. Av figuren framgår att nivåerna är klart högre i externpumpsreaktorerna O1, O2, R1, B1 och B2 vilket helt kan hänföras till den högre drifttemperaturen 245 °C.



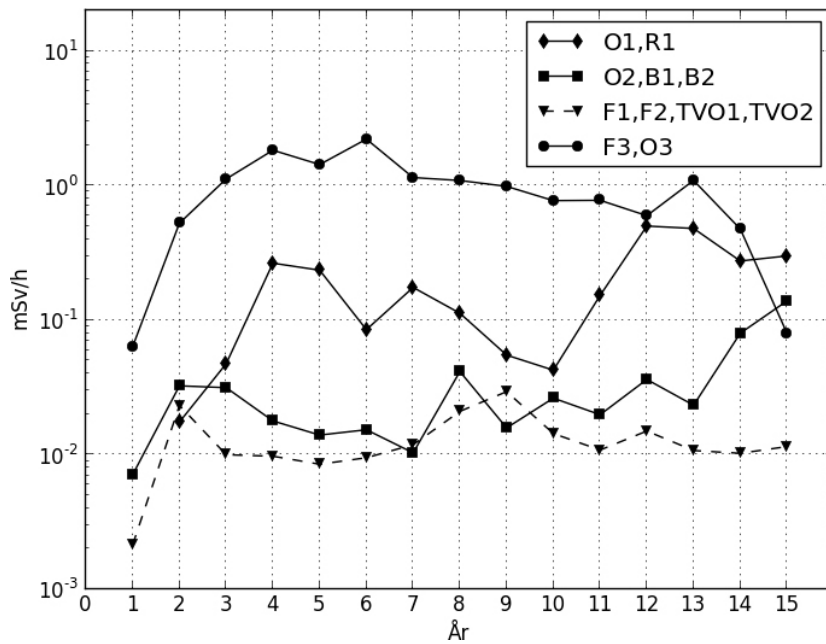
**Figur 4-24.** MADAC-mätningar på rör i systemet för kylning och rening av bränslebassängerna för reaktorerna O1, R1, O2, B1 och B2. Olika nuklidens relativa bidrag till strålningsnivån.



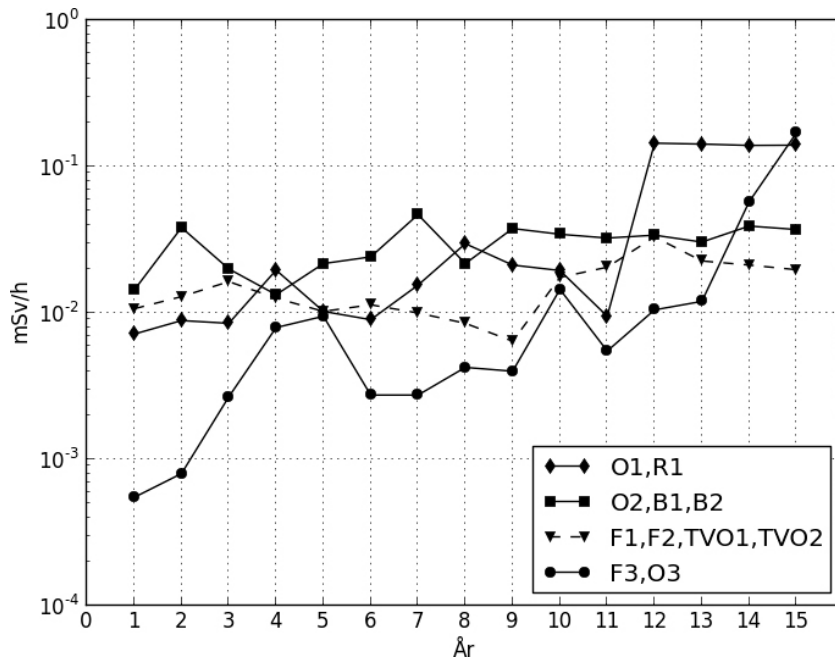
Figur 4-25. MADAC-mätningar på rör i systemet för kylning och rening av bränslebassängerna för reaktorerna F1, F2, TVO1, TVO2, F3 och O3. Olika nuklidens relativa bidrag till strålningsnivån.



**Figur 4-26.** Kontaktdosrat under avställning på kylare för avställningsnedkylning (system 321). År avser år efter uppstart.



**Figur 4-27.** Kontaktdosrat under avställning på kylare för kondensationsbassängen (system 322). År avser år efter uppstart.



**Figur 4-28.** Kontaktdosrat under avställning på vattentankar i det hydrauliska snabbstoppsystemet (system 354). År avser år efter uppstart.

#### 4.6.4 Ångledningar och turbinsystem

Spridningen av aktivitet till turbinsystem och ångledningar är helt och hållet beroende av fukthalten i ångan. Det är i vattenpartiklarna de vattenburna radioaktiva nukliderna finns. Vattenpartiklarna representerar ett litet ”prov” av reaktorvattnet i härden.

Kontaktdoserna på huvudångledningarna just utanför reaktorinneslutningen finns redovisade i figur 4-29.

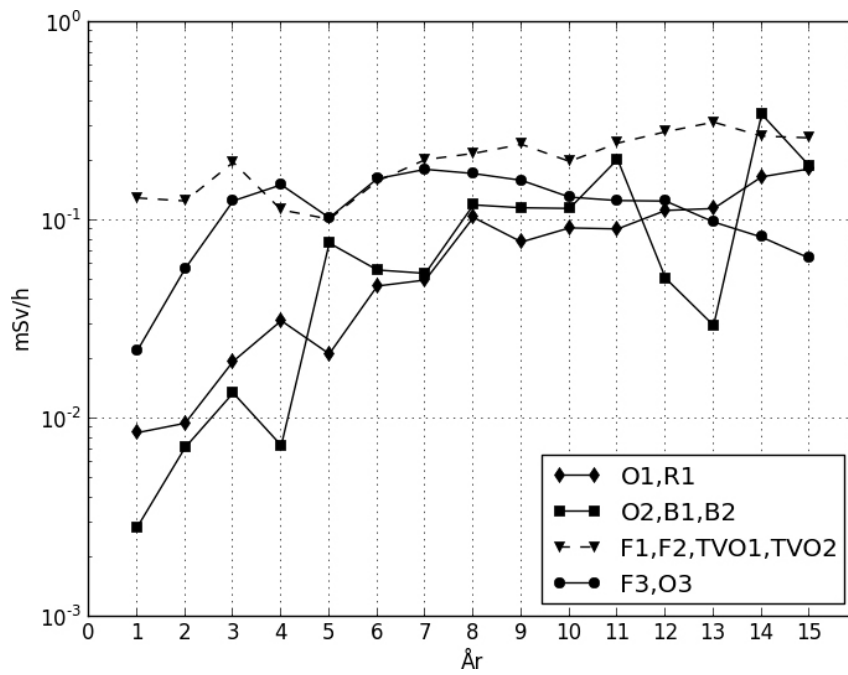
Korrelationen till fukthalten i ångan är god.

Speciellt demistermattorna i fuktavskiljaren hör till de komponenter som fångar upp stora mängder aktivitet på grund av den stora exponerade ytan. Kontaktdosraterna under avställning finns redovisade i figur 4-30.

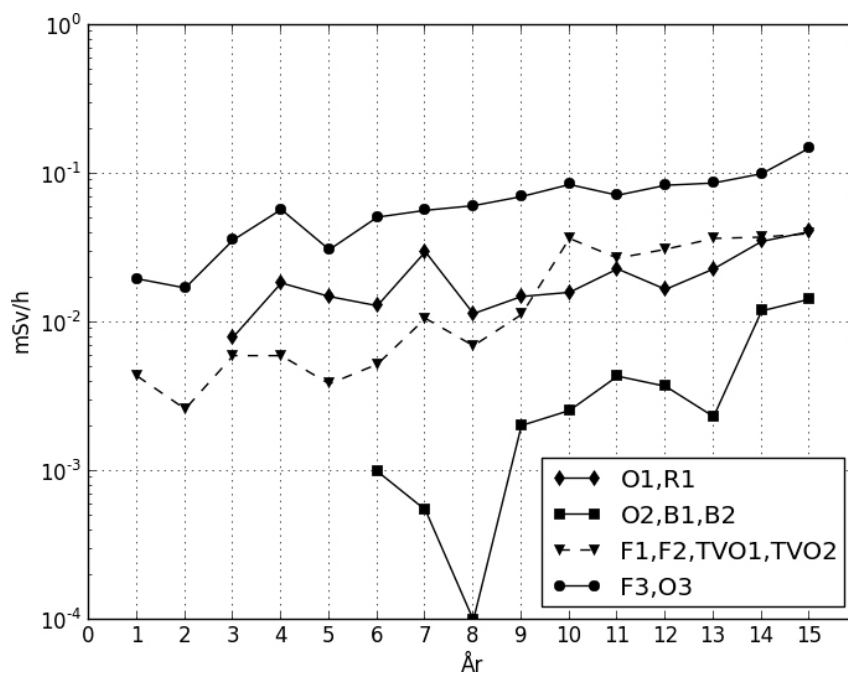
Mätningarna har visat att strålningsbidraget från Co-60 dominerar, men jämfört med rör i kontakt med reaktorvatten gäller att framför allt Mn-54 ger ett väsentligt bidrag. Överensstämmelsen med sammansättningen på reaktorvattnet är god. Det innebär att indunstning av vatten från systemtytor spelar en stor roll vid aktivitetssupplemningsprocessen.

I reaktorvattnet finns även klyvningsprodukter i form av oxider (partiklar) och joner. Trots försumbar ånglöslighet sker en viss transport av dessa element med vattendropparna i den fuktiga ångan. Fukthalten i reaktorångan varierar de olika reaktorerna sinsemellan men ett typiskt värde är ca 0,1 %. Det motsvara också överföringsfaktorn för dessa ämnen till ångan. Till de viktigaste nukliderna i denna grupp hör cesiumisotoperna Cs-134 och Cs-137 samt strontiumisotopen Sr-90.





**Figur 4-29.** Kontaktdosrat under avställning på huvudångledning just utanför reaktorinneslutningen. År avser år efter uppstart.



**Figur 4-30.** Kontaktdosrat under avställning på fuktavskiljare/mellanöverhettare i turbinanläggningen. År avser år efter uppstart.

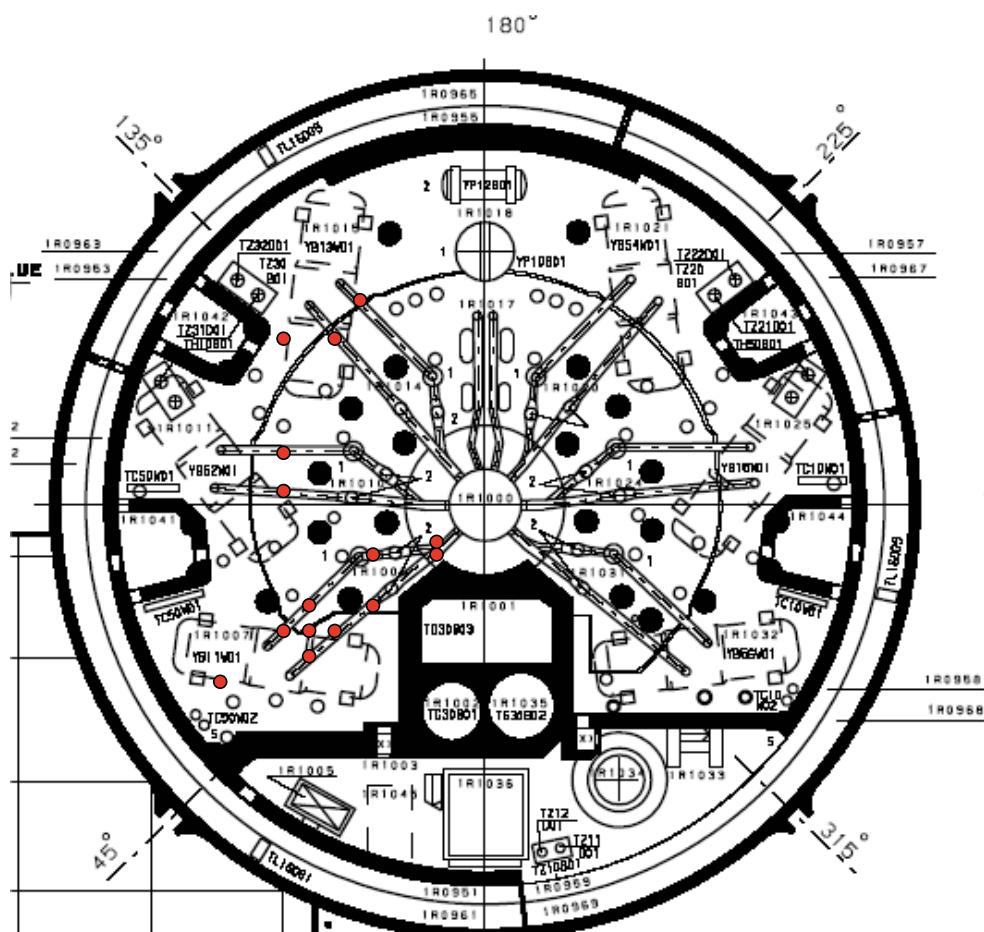
## 4.7 Dosrater i PWR-system

### 4.7.1 Lovisa 1

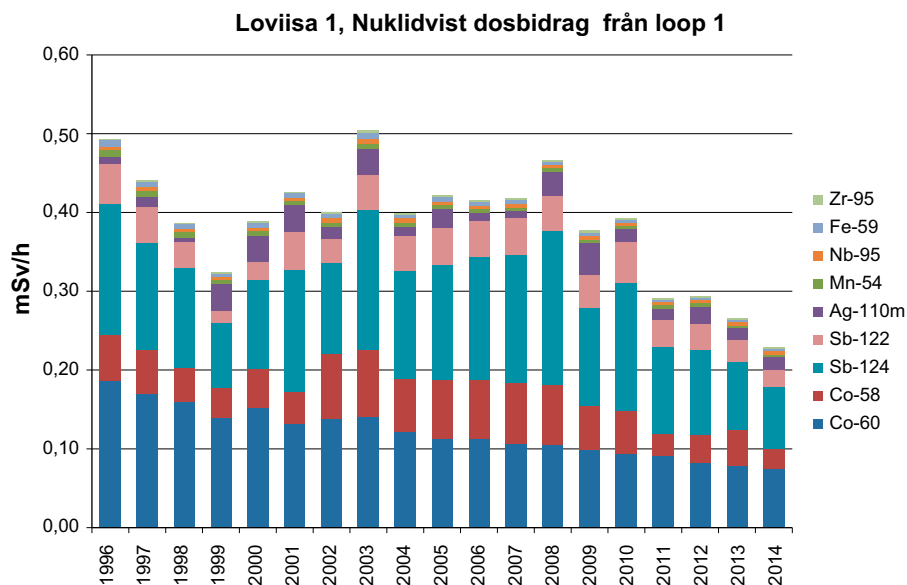
De rysktillverkade VVER anläggningarna såsom i Lovisa är PWR reaktorer, men vissa skillnader påverkar oxidbildningen, dosratsupbyggnaden och totaldosen vid underhåll av stationen. Såsom tidigare nämnts är materialet i de sex liggande ånggeneratorerna (15 000 m<sup>2</sup>) syrafast stål med mycket låg kobolthalt och ca 17 % Ni, liksom även annat material i primärkretsen. Stellitematerial används inte i konstruktioner, men ett 50-tal reglerventiler har nötningsyta av Stellite.

Om reaktorns pH(T) optimeras väl minskar korrosionen och då blir dosbidraget av Co-58/60 mindre. VVER-anläggningarna använder kaliumhydroxid (KOH) för pH-styrning i samverkan med ammoniak (NH<sub>3</sub>), med vilken man håller vätgaskoncentrationen uppe, då ammoniakken sönderfaller i reaktorns strålningsfält. Ammoniakken styr hela pH(T)-kemin, varför den doseras kontinuerligt, vilket i sin tur kräver totalavgasning av kontinuerligt utflöde i samma storlek.

Lovisa kraftverk har en annorlunda layout än sina systemmodeller, då kraftverket försågs med inneslutning och hela primärkretsen skulle rymmas på ett litet utrymme, se figur 4-31. Primärrören har dimensionen 500×(38–42) mm så nuklidspecifika dosbidraget blir lite förändrat jämfört med värdena i figur 4-32, men layouten gör att totaldosen ändå är relativt hög. Likaledes har Lovisa haft 10 ggr högre bidrag till dosraten av antimon (Sb-122 och Sb-124) och silver (Ag-110m) jämfört med sina systemanläggningar. Källan till antimon byttes ut under 2012–2014 så förhållandena mellan nukliderna kommer att förändras i framtiden samtidigt som dosraterna sjunker, se figur 4-32.



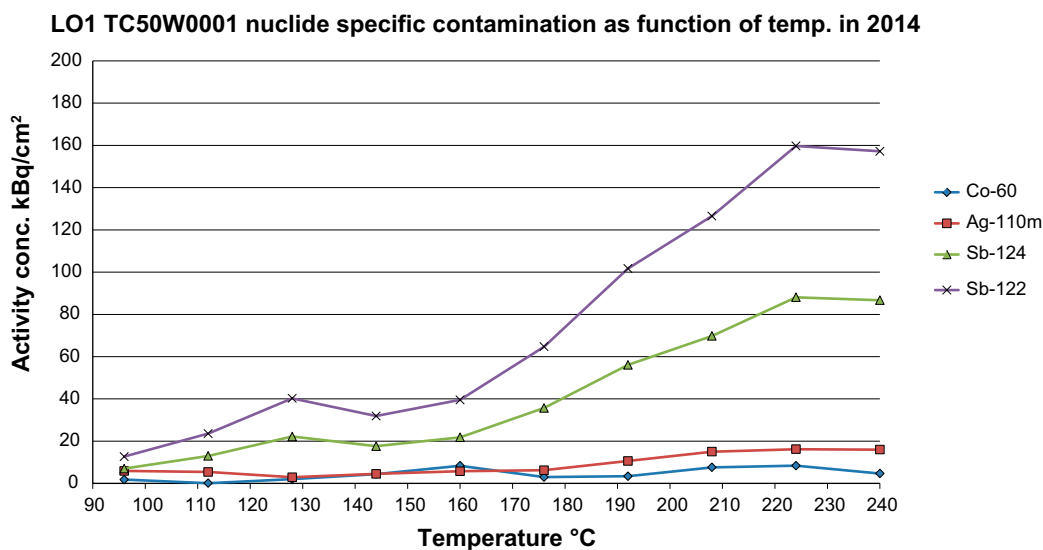
Figur 4-31. Layout bild av ånggeneratorutrymmet vid Lovisa 1 och 2. Gammaspektrometriska mätningar av ytkontamination görs vid de rödmarkerade punkterna.



Figur 4-32. Dosratsbidraget från primärrörens nuklidspecifika kontamination vid Lovisa 1 åren 1996–2014.

I ÅG-utrymmet finns även rengingssystemens rör och värmeväxlare, vilka även är dominerande strålkällor. I detta nu finns det inget rengingsystem under avställning av reaktorn, då systemet är tryckavsatt. Detta gör att CRUD-ansamlingar lätt bildas i dessa rör. I värmeväxlarna dominerar i detta nu Sb-122 och Sb-124 till 95 % och kontaktdosraten från dessa är 1–20 mSv/h, som funktion av temperaturen se figur 4-33, medan Ag-110m dominerar i laddningsbassängens värmeväxlare.

Mätningarna på värmeväxlarna är utförda med CZT-detektor vars resolution inte tillåter små halter av Co-58, Mn-54, Nb-95 och Zr-95, vilka ses vid HPGe-mätning (jfr primärrör i figur 4-32).



Figur 4-33. Nuklidspecifik distribution i regenerativ värmeväxlare (10-steg) vid Lovisa 1 år 2014.

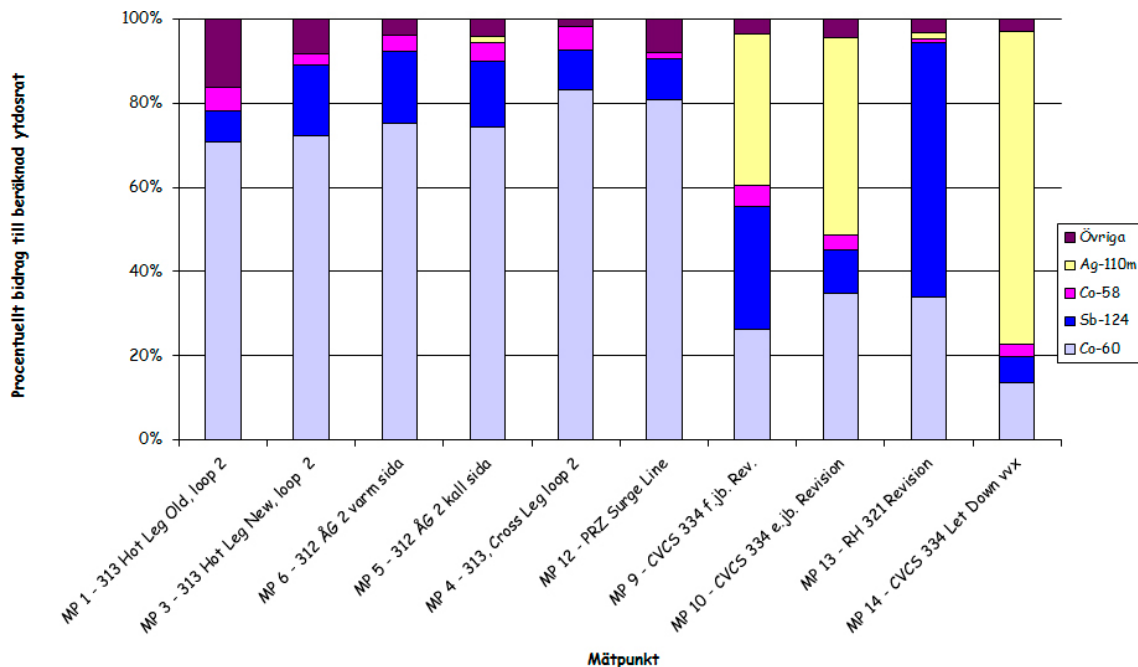
## 4.7.2 Ringhals 2

Figur 4-34 sammanfattar mätningar år 2014 med fördelning av dosbidrag från olika nuklider i diverse system på Ringhals 2. Detta kan se lite olika ut på Ringhals PWR-reaktorer och vilket år mätningen utförs.

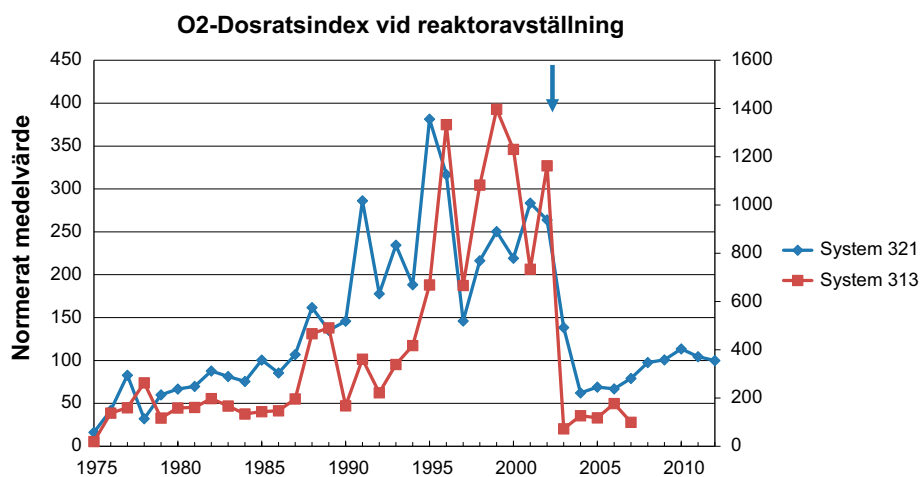
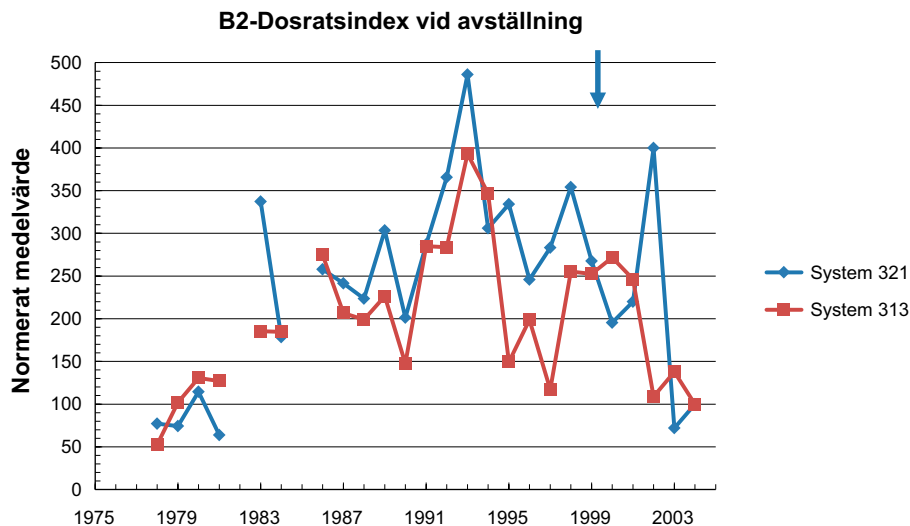
## 4.8 Zinkdosering

På flera anläggningar runt om i världen har zinkdosering visat sig vara ett sätt att hålla nere strålningsnivåerna från primärsystemens komponenter, och därmed också doserna för personal under avställning. Praktiskt görs detta genom att man på olika sätt tillför en zinklösning till matarvattnet strax innan en matarvattenpump. På så sätt förs zinkjonerna ut i reaktorvattnet och vidare ut i primärsystemen. Resultatet blir att zinken blir en del av de oxider som byggs upp på både bränsle och systemytorna, vilket leder till förändrade egenskaper hos dessa oxider i form av förändrad upplösningshastighet och förmåga att fånga upp och binda de aktiverade korrosionsprodukter som leder till strålningen från primärsystemen.

Erfarenheterna från zinkdosering visar på väldigt skiftande resultat. I vissa fall har strålningsnivåerna på anläggningen sjunkit betydligt efter man börjat dosera zink medan man i vissa fall inte har sett några större förändringar alls. Detta beror dels på vilken vattenkemi som anläggningarna har haft, dels vilket utgångsläge man har haft när man börjat med zinkdosering. Som exempel kan nämnas Barsebäck 2 och Oskarshamn 2. Båda reaktorerna tillämpade HWC-drift och vattenkemin i övrigt var snarlik. I Oskarshamn 2 inledde man dock zinkdoseringen efter systemdekontaminering till skillnad från i Barsebäck 2. Som framgår av figur 4-35 ledde detta till att dosraterna från komponenter i Oskarshamn 2 minskade radikalt efter man börjat med zinkdosering. Man ska då också komma ihåg att man även tidigare utfört systemdekontamineringar i Oskarshamn 2 (1996 bland annat) men att dosraterna då snabbt hade återgått till tidigare nivåer.



Figur 4-34. Dosbidrag Ringhals 2.



**Figur 4-35.** Normerade dosrater på komponenter i system 321 och 313 i Barsebäck 2 och Oskarshamn 2. Pilarna visar när man började med zinkdosering.

I dagsläget är det endast Oskarshamn 1 och Oskarshamn 2 av de nordiska reaktorerna som zinkdoserar. Även mellan dessa två kan man se relativt olika effekter av zinkdoseringen. I Oskarshamn 2 är erfarenheten som sagt mycket god, men i Oskarshamn 1 är det dock svårt att påvisa någon större förändring på dosraterna som följd av zinkdosering. Det som skiljer dessa reaktorer åt är framför allt att Oskarshamn 1 körs med NWC och Oskarshamn 2 med HWC.

Som nämns ovan börjar man få en bättre förståelse för vad som händer med koncentrationen av aktiverade korrosionsprodukter i reaktorvattnet samt deras upptag på systemytorna när man doserar zink till matarvattnet. Däremot krävs det mer forskning innan man helt kan förklara de mekanismer som ger upphov till dessa förändringar i oxiden. Klart är att oxiderna på systemytorna förändras i de fall då zinkdoseringen har gett en gynnsam effekt på dosraterna från primärsystemen. Detta har bland annat visat sig i Oskarshamn 2 där man vid systemdekontaminering av system 321 efter införsel av zinkdosering haft betydligt svårare att lösa upp systemoxiderna. Det har lett till att man har behövt köra betydligt fler dekontamineringscykler för att nå de önskade dekontamineringsfaktorerna.

Detta beror troligen på att den oxid man har på systemytorna har gått från att ha en viss porositet till att nu vara betydligt tätare. Från USA har liknande erfarenheter rapporterats vid reaktorer där zinkdoseringen liksom i Oskarshamn 2 haft en klart reducerande verkan på upptaget av aktiverade korrosionsprodukter i systemoxiden. I reaktorer där zinkdosering gett upphov till minskade dosrater för att halterna av aktiverade korrosionsprodukter minskat i reaktorvattnet men där upptagsförmågan på systemytor inte har förändrats märkbart har inte samma, vid dekontaminering, svår borttagna oxider observerats i lika stor utsträckning.

## 5 Kvalitetssäkring – krav och rutiner vid dekontaminering

### 5.1 Sammanfattning

Det finns många krav som ska uppfyllas när man ska dekontaminera för att kunna återanvända komponenter och system.

Förutom att val av kemikalier görs utifrån generella kriterier såsom påverkan på hälsa och miljö ska kemikalier även kvalificeras med avseende på eventuell påverkan på materialet. Vidare ska kemikalierna även utvärderas m.a.p. egenskaper som kan ha påverkan på slutförvarets långsiktiga säkerhet, t ex komplexbildande egenskaper hos kemikalien. Dessutom ska kemikalierna värderas utifrån vad som kan hända om det blir små rester kvar som då kan hamna i reaktorvattnet och vilka effekter det kan få.

Lokala krav på kemikalier, kemikaliehantering och hur godkännande av nya kemikalier görs finns också.

Givetvis gäller även att mekaniska metoder kvalificeras för sin påverkan på material.

### 5.2 Allmänna krav och regler

All hantering av kemiska produkter ska bedrivas på ett säkert sätt med tanke på hälsa, miljö och brand. Nedanstående riktlinjer ska tillämpas vid införande/bedömning av kemiska produkter:

- Endast bedömda och godkända produkter ska användas.
- Undvik att ta in likvärdiga produkter. I första hand ska redan bedömda och godkända produkter användas.
- Produktvalsprincipen ska tillämpas så långt möjligt och där så är möjligt ska farliga kemiska produkter ersättas med miljöanpassade. Miljöanpassade kemiska produkter är alltid första valet.
- Undvik cancer- och allergiframkallande produkter så långt som möjligt.

Vid hantering av kemiska produkter ställs krav på att hanteringen bedrivs på ett säkert sätt med avseende på hälsa, miljö och brand vilket även ska beaktas vid produktutveckling och i olika projekt. Detta kan endast uppnås genom noggrann planering och genomförande av inköp, förvaring, användning och avfallshantering.

#### 5.2.1 Klassning av kemikalier

Farliga kemiska produkter är märkningspliktiga och omfattas av reglerna för klassificering och märkning.

Att klassificera en kemisk produkt (enligt kemikalieinspektionens föreskrifter) innebär att den placeras i en eller flera sk faroklasser och att den tilldelas riskfraser. Kriterier för produktens farlighet finns både för rena kemiska ämnen och för blandningar av flera ämnen (beredningar). Produktens samtliga farliga egenskaper ska framgå av klassificeringen.

Kemiska produkter ska vara märkta. Märkningen markerar att det t ex är en hälsoskadlig eller brandfarlig kemisk produkt.

Enligt gällande miljölagstiftning är arbetsgivare skyldiga att upprätta en kemikalieförteckning över de kemiska produkter som används inom verksamheten.

Den kärntekniska anläggningens miljöorganisation eller motsvarande bedömer kemiska produkter ur hälso-, miljö- och brandsynpunkt. Godkända kemiska produkter registreras i en kemikalieförteckning.

Dessutom tas skyddsblad fram som därefter finns tillgängliga t ex via intranätet eller i pärmar.

Generellt gäller att det inte är tillåtet att införskaffa en kemisk produkt som inte är registrerad i kemikalieförteckningen.

En begränsad mängd kan eventuellt tas in på prov efter överenskommelse med miljöorganisationen. Även i detta fall gäller att säkerhetsdatablad som behövs för bedömning av produktens hälso-, miljö- och brandspekter ska uppvisas.

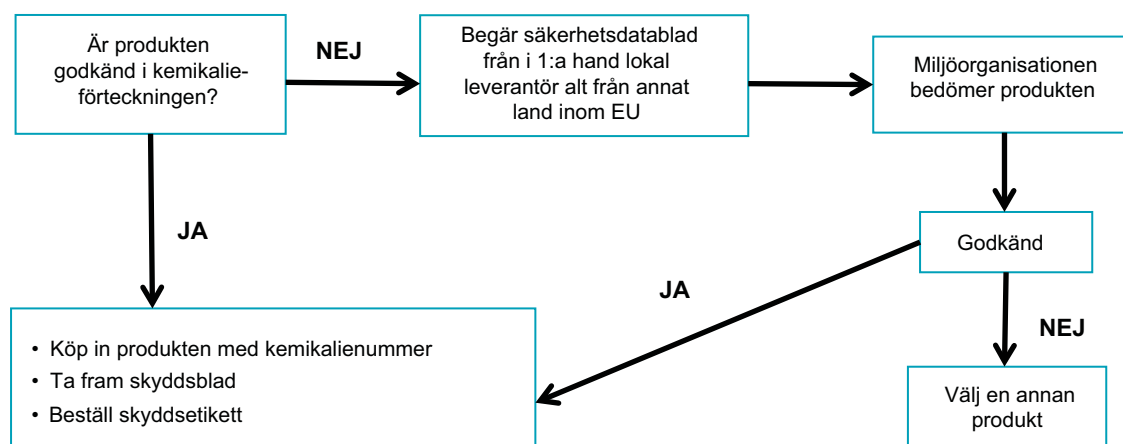
Bedömning görs från fall till fall om skyddsblad ska tas fram för respektive produkt under denna provperiod. Innan en ny kemisk produkt tas i varaktigt bruk skall den godkännas slutgiltigt av miljöorganisationen.

## 5.2.2 Introduktion av nya kemikalier

Om produkten saknas i kemikalieförteckningen eller inte finns som skyddsblad gäller följande:

- Säkerhetsdatablad ska införskaffas från leverantören före inköp och lämnas till Miljöorganisationen för granskning.
- Miljöorganisationen gör en bedömning av produktens lämplighet ur hälso-, miljö- och brandsynpunkt.
- Godkända produkter registreras i kemikalieförteckningen och förs upp med en identitet i ett materialregister.
- Kemiska produkter bör köpas in av en leverantör inom Sveriges eller EU:s gränser som också kan leverera ett giltigt säkerhetsdatablad till produkten på svenska. För övriga fall av kemikalieimport/inköp måste Miljöorganisationen kontaktas för bedömning från fall till fall.
- Användaren av produkten ska se till att skyddsföreskrifter och skyddsetiketter finns tillgängliga och att den kemiska produkten har erforderlig svensk märkning, exempelvis WSE:s skyddsetikett. Skyddsetiketter kan beställas av Miljöorganisationen.

### Arbetsgång vid inköp/införande av kemisk produkt



Figur 5-1. Principiell process för introduktion av nya kemikalier.

### 5.2.3 Materialkvalificering för dekontaminering

För att få använda en dekontamineringsmetod på material som ska sättas tillbaka i reaktorsystemen måste metoden kvalificeras. Kvalificeringen syftar till att säkerställa att en kemisk eller mekanisk dekontamineringsmetod inte skadar materialet direkt eller på lång sikt. I praktiken görs detta genom att sensibiliserade bitar av metaller som ska dekontamineras exponeras för den metod som ska användas och därefter undersöks för t ex punkt-, spalt- eller allmänkorrosion.

Oavsett om det gäller en dekontaminering av ett helt system på plats eller dekontaminering i dekontamineringsverkstaden så bör följande punkter tas i beaktande:

- Korrosion under dekontamineringsprocessen.
- Accelererad korrosion efter dekontamineringen.

Följande punkter är av särskilt intresse för material, främst metalliska, som exponerats för dekontamineringslösningen:

- Allmänkorrosion.
- Galvanisk korrosion.
- Punktfrätning.
- Korngränsfrätning (sensibilisering).
- Spaltkorrosion.
- Spänningskorrosion.
- Effekter på icke-metalliska material typ packningar.

De kemikalier som används ska även vara kvalificerade för användning i kärntekniska anläggningar med avseende på kvalitet och spårämnen, se vidare avsnittet klassning av kemikalier.

Vid en fullsystemsdekontaminering bör det övervägas hur kemikalier, även små mängder, kan påverka bränsle, interndelar och styrstavssystemet (drivdonen).

Dessa undersökningar ska sammanfattas i rapporter som blir del av säkerhetsdokumentationen för anläggningen.

### 5.2.4 Uppfyllnad av acceptanskriterier för slutförvar

För att få slutförvara avfall måste avfallet, i form av avfallskolli, vara kvalificerat och uppfylla de krav som ställs av slutförvarsägaren.

#### **Sverige**

I Sverige är Avfallshandboken det styrande dokumentet för den administrativa hantering kring låg- och medelaktivt avfall som är avsett för slutförvar i SFR. I Avfallshandboken anges generell information kring acceptanskriterier och anvisningar i form av vilken information och underlag som en typbeskrivning ska innehålla.

Mer detaljerad information gällande acceptanskriterier ges i ”Acceptanskriterier för avfall i SFR” (SKBdoc 1336074)<sup>2</sup>.

Syftet med Acceptanskriterierna för SFR anges i rapporten som:

- Att beskriva acceptanskriterierna för avfall i SFR, inklusive bakgrund och härledning. Rapporten beskriver även hanteringen kring verifieringen av att acceptanskriterierna uppfylls, samt hur avfall som avviker från acceptanskriterierna hanteras.

För kemikalier gäller bl a att komplexbildare är begränsade och att lakbarheten från den slutliga avfallsformen ska redovisas. Miljöfarliga ämnen är även dessa begränsade.

<sup>2</sup> 1336074 ver 1.0 Acceptanskriterier för avfall i SFR. Svensk Kärnbränslehantering AB. Intern rapport, kan lämnas ut vid förfrågan.



Kemikalier med komplexbildande egenskaper kan destrueras med termiska metoder och i vissa fall med kemiska metoder.

Typbeskrivningar ska godkännas av SKB och av SSM innan avfallskollin av en definierad typ får börja tillverkas.

### **Finland**

Acceptanskriterier för låg- och medelaktivt avfall för slutförvar (baserat på reglerade finska riktlinjer och på slutgiltig redovisning av säkerhetsanalys för TVO).

Acceptanskriterierna för låg- och medelaktivt avfall för slutförvar är baserade på de säkerhetskrav som anges i de bestämmande föreskrifterna. Syftet med föreskrifterna är att säkerställa att den angränsande miljön är isolerad från avfallet på ett lämpligt sätt samt att oönskade händelser skall kunna undvikas.

Strålsäkerheten för slutförvaret ska säkerställas genom användning av flera tekniska och naturliga barriärer. De tekniska barriärerna ska isolera det radioaktiva avfallet från miljön i 500 år. Samtidigt som de naturliga barriärerna ska säkerställa att de tillåtna strålskyddsgränsvärdena inte överskrids. Avfallshanteringen ska vara utformad på ett sådant sätt att det även vid uppkomst av oönskade händelser inte äventyrar effektiviteten i säkerhetsbarriärerna. Detta genom att ta hänsyn till fenomen som svällning och korrosion av avfallskollin och betongkonstruktion samt reaktioner som orsakar betydande gasbildning. Innan avfallet slutförvaras måste en säkerhetsredovisning utformas där avfallets egenskaper fastställts och analyserats.

Vid arbetet med avfallet vid själva slutförvaret är det framförallt avfallets antändnings- och brännbarhet som måste tas i beaktning. Vid själva hanteringen av avfallet är det viktigt att det inte korskontamineras och att hanteringen sker på ett enkelt sätt.

Avfallsmatrisen ska väljas så att elueringshastigheten av de radioaktiva nukliderna är låga. Komplexbildare kan orsaka oönskade reaktioner i avfallsmatrisen och därmed ändra elueringsbeteendet hos de radioaktiva nukliderna. Således skall användandet av komplexbildare minimeras. Dessutom ska avfallskollin inte innehålla varken vatten eller aggressiva kemiska föreningar då detta kan medföra aggressiv korrosion.

Innan dekontaminering av avfallskomponenter måste en utredning utföras för det avfall som bildas vid själva dekontamineringen. Dekontamineringsavfallets egenskaper får inte orsaka större behandlingsproblem än det ursprungliga avfallet vad gäller strålningsdos för personal samt kostnader vid behandlingen. Beslut tas beroende på den teknik som finns att tillgå vid varje enskilt kraftverk för behandling av det dekontaminerade avfallsvattnet.

## **5.3 Renlighet i stationen**

Renligheten i stationen är av stor betydelse för komponenters livslängd och integritet samt för strålningsnivån. Det är följaktligen mycket viktigt att hindra ”främmande” föroreningar att komma in i processsystemet. Exempel på föroreningar är:

- Partikelföroreningar: damm, sand, glaspärlor från blåstring, eventuell slipmedel, rost.
- Kemiska föroreningar: klorider, fluorider, tungmetaller, lösningsmedelsrester, fetter.

Dessa föroreningar kan orsaka mer eller mindre omfattande skador i form av:

- Korrosion, allmän och spaltkorrosion.
- Nötning på tex ventilytor och pumpar.
- Korrosion under avlagringar.
- Förhöjd strålningsnivå.
- Utfällning på bränslestavar.

Komponenter som dekontaminerats och ska sättas tillbaka in i systemet igen måste därför:

- Sköljas noggrant och slutsköljas i totalavsaltat vatten. Rester från lösningsmedel i form av t ex klorider, fluorider, tungmetaller och svavel kan orsaka korrosion i spalter samt punktfrätning. Dessutom stiger den totala nivån av ämnet i fråga i processvattnet vilket leder till ökad korrosivitet. Krav på det totalavsaltade sköljvattnet är:
  - Konduktiviteten högst 2  $\mu\text{S}/\text{cm}$  vid 25 °C.
  - pH 5,5–8,6.

Slutsköljningen pågår till konduktiviteten i det vatten som varit i kontakt med ytan sjunkit till 10  $\mu\text{S}/\text{cm}$  vid 25 °C.

- Skyddas mot fukt och smuts i verkstaden. Komponenter ska läggas på rent underlag, aldrig direkt på mark eller golv, i torrt utrymme. Underlag för rostfritt stål ska vara av hyvlat och rent trä, halogenfri plast, rostfritt material eller aluminium. Rostfritt material måste förvaras inomhus och inte tillsammans med andra metalliska material.

Eventuella öppna rörändar ska vid lagring och transport (samt hantering) vara slutna och avtätade med plugg, eller lock fasttejpade med godkänd tejpqualität. Transportskydd för flänsar etc på prefabricerade enheter får inte demonteras förrän vid anslutning.

- Framför allt rostfritt stål ska skyddas mot nedsmutsning av halogener, kolstål, koppar, bly och andra tungmetaller. Vid eventuell bearbetning ska därför skruvstyckens spännbackar förses med mellanvägg av t ex aluminium. Skydd ska finnas för arbetsbänkar och riktskivor. Spånavskiljande verktyg och slipskivor ska endast användas för rostfritt material. Klubbor av bly får inte användas.
- Tätningsytor ska skyddas vid dekontaminering.
- Hanteras med handskar av godkänt material. Tar man komponenten med bara händerna tillförs salter och smuts.
- Vara fria från främmande material. Med främmande material menas här allt annat än konstruktionsmaterialet, t ex olja, fett, tusch, plast, trä, sand, krita.
- Halogenkoncentrationen (klorid + fluorid) får vara högst 10  $\text{mg}/\text{dm}^2$ . (Skillnader kan dock förekomma mellan olika anläggningar.)
- Hos kolstål ska ytorna vara täckta av svart eller brun oxidfilm.

### 5.3.1 Krav på dekontamineringskemikalier

Dekontamineringskemikalier måste kvalificeras för att få användas i en dekontamineringsverkstad. Det innebär att sammansättningen måste vara känd för en produkt så att det går att identifiera eventuella skadliga ämnen i den. Mycket hårda krav ställs på produkten vad beträffar koncentrationen av skadliga ämnen så som klor, fluor, kvicksilver, bly etc. Produkten ska för godkännande analyseras med avseende på dessa ämnen av stationens kemigrupp eller externt kemilaboratorium.

Produktens egenskaper ska vara kända och dokumenterade. Genom parameterstudier fastställs inom vilka gränser produkten får användas. Materialavverkan fastställs genom korrosionsförsök med kuponger. Detta görs vid olika strömtätheter, kemikaliekoncentrationer, temperaturer etc. Produkterna får under inga omständigheter förorsaka oacceptabla korrosionsangrepp på ett material som ska återinsättas i system.

En god regel är att utföra stickprovsvis kontroll av en produkt vid inköp av ett nytt parti. Denna kontroll utförs lämpligen av anläggningens kemigrupp för att eliminera risken för felleveranser.

Driftinstruktionerna för produkterna måste följas. Om det finns skäl att misstänka att badsammansättningen förändrats utom kontroll eller att badet förorenats av oönskade ämnen bör badet bytas ut. Avfettningssbad blir t ex så småningom så förorenade av olja och fett att kemikaliernas emulgerande verkan upphör och oljan avskiljs som en hinna på badytan. Blästermedlen kan också bli så kraftigt nedsmutsade av olja och fett att glaspärlorna börjar klumpa sig. Blästermedel som använts för dekontaminering av kolstålkomponenter får inte efteråt användas för blästring av rostfritt stål. För varje produkt bör det finnas framtaget en ordentlig instruktion som tar upp dylika frågor.

Krav ställs även på sköljvattnets kvalitet. Konduktiviteten får inte överstiga 2 µS/cm vid 25 °C och pH ska vara 5,5–8,6. Slutsköljning pågår tills konduktiviteten hos vattnet i kontakt med komponenten sjunkit till 10 µS/cm vid 25 °C. Det bör observeras att spalter kan innehålla vatten med kemikalier vilket är oacceptabelt med tanke på risken för korrosion. Genom doppning av komponenten i sköljvattenbad kan koncentrationen i spalten sänkas, speciellt om sköljning sker i omväxlande varmt och kallt vatten.

## 5.4 Lokala krav

### 5.4.1 FKA

Inga krav utöver de ovan nämnda har identifierats på Forsmark.

### 5.4.2 OKG

#### **Kemikaliegrupp**

Kemikaliegruppens huvudsakliga uppgift är att bedöma de produkter som är nödvändiga för att OKG:s anläggningar ska kunna drivas på ett säkert och effektivt sätt. Kemikaliegruppen godkänner kemiska produkter som får tas in, hanteras och användas inom OKG. I bedömningen ingår produktens påverkan på människa, anläggning och miljö.

### 5.4.3 RAB

De lokala krav som finns på Ringhals är bl a krav på kemikalier enligt avsnitt 5.3.1 ovan.

För varje kemikalie som finns ska det finns ett skyddsblad i anslutning till arbetsplatsen. Personalen ska i förväg vara insatt i vad som gäller vid eventuella olycksfall, t ex stänk i ögonen.

### 5.4.4 TVO

Vid kvalificering av kemikalier som ska användas vid dekontaminering följs de allmänna urvalsförfarandena för material. Förfarandena har fastställts för att säkerställa att materialen är säkra ur arbetsskydd- och processsäkerhetsperspektiv samt utifrån kärnkraftssäkerhet. Utöver detta tas även miljöaspekter och avfallshantering i beaktning vid utvärderingen.

Som en del av den allmänna kvalificeringsprocessen måste den avsedda användningen av kemikalien beskrivas och motiveras. Vid granskningsprocessen måste ett kemikaliesäkerhetsdatablad, en produktspecifikation samt ett analyscertifikat finnas att tillgå. Dessutom måste leverantören/ tillverkaren tillhandahålla information om deras kvalitetsstyrningssystem och kvalitetscertifikat. Om tillverkarens produktinformation eller annan information ändras måste således även dokument uppdateras. Kvalificeringsprocessen utförs av experter inom respektive område.

Godkännande ges endast för det beskrivna ändamålet och kan styras av ytterligare anvisningar eller begränsningar. Om nya kemikalier införs eller redan godkända kemikalier förslås användas på ett annat sätt eller för andra ändamål, måste en ytterligare granskning utföras i lämplig utsträckning.

Kemikalier som används vid dekontaminering har inga ytterligare kvalitetskrav än de industrikrav som redan finns.

Ämnena måste uppfylla följande kriterier:

Ämne	Gränsvärde
F + Cl (mg/kg)	Max 1 000
Cu + Zn (mg/kg)	Max 1 000
Pb (mg/kg)	Max 100

Det kemiska säkerhetsdatabladet och fraktsedeln måste tas emot vid varje leverans.

#### 5.4.5 Lovisa

I Lovisa kvalificerar man de kemiska produkterna som används i dekontamineringen enligt samma krav och rutiner som TVO i punkt 5.4.4 ovan. De lokala kraven är de samma, men de skadliga ämnena och gränsvärdena skiljer sig till en del från TVO. Kriterierna för Lovisa finns i sammanställningen nedan.

Ämne	Gränsvärde
Halogener (Cl, F, Br)	200 ppm
Svavel (S)	200 ppm
Antimon (Sb)	100 ppm
Silver (Ag)	100 ppm
Kobolt (Co)	100 ppm

#### 5.4.6 SVAFO

SVAFO har inga lokala krav utöver de ovan beskrivna.

#### 5.4.7 WSE

För bränsletillverkning gäller särskilda renhetskrav kring processmaterial/utrustningsmaterial som gäller för tillverkning, kontroll, förvaring, packning och leverans av material och komponenter som ingår i bränsletillverkningens produkter. Tydliga rutiner för en ren produkt följs enligt ett särskilt program benämnt Foreign Material Exclusion (FME). Processmaterial som används inom ett speciellt verkstadsavsnitt ska vara godkända och finnas med i en Processmateriallista. Material som är speciellt förbjudna att vara i kontakt med produkten finns också listade. FME programmet innefattar även rutiner kring bland annat städning och vilka arbeten som får utföras i olika s k FME-zoner.

## 6 Dekontamineringsmetoder

### 6.1 Sammanfattning

I detta kapitel beskrivs de övergripande säkerhetsaspekter som ska tas hänsyn till vid dekontamineringsarbete. Kapitlet beskriver även de dekontamineringsmetoder som används på de svenska och finska kärntekniska anläggningarna. Vidare beskriver kapitlet även de olika dekontamineringsmetodernas materialavverkning samt vad man ska tänka på innan val av metod.

### 6.2 Säkerhet vid dekontaminering

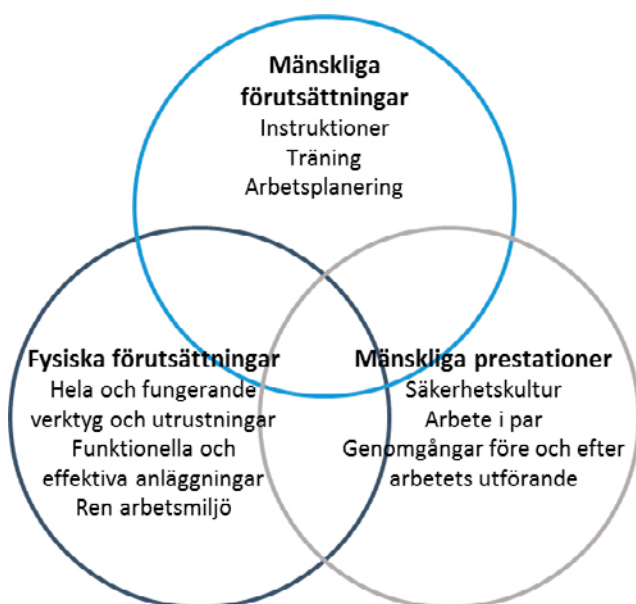
Vid arbete med komponent- eller processdekontaminering är säkerhetsfrågor väldigt viktiga. Dekontamineringsarbete kan inkludera flera olika tekniker beroende på vilka komponenter eller systemdelar som ska dekontamineras. För att garantera säkerheten för personalen och för att få en effektiv verksamhet är det viktigt att upptäcka och specificera riskerna i varje arbetsmoment för sig. I det här kapitlet kommer grunderna för säker dekontaminering tas upp. Andra risker identifieras i dekontamineringsverkstadsmiljö inom de mest använda dekontamineringsteknikerna.

Säkerhet inom dekontaminering, eller annan verksamhet, bygger på tre huvudblock:

- 1 Fysiska förutsättningar.
- 2 Mänskliga förutsättningar.
- 3 De mänskliga prestationerna vid drift.

Varje block är viktigt, men för den sammantagna säkerheten krävs balans mellan dem. Fysiska förutsättningar utgörs av själva hårdvaran, lokaler, utrustning och verktyg. Mänskliga förutsättningar täcker in förberedd och kompetent personal som är kapabel att utföra de åtgärder som förväntas av dem. Människans förmåga fungerar som det sista säkerhetssteget och täcker in säkerhetskulturen.

I figur 6-1 visas ett exempel på en sammantagen säkerhet utifrån de tre blocken. De två blocken mänskliga förutsättningar och fysiska förutsättningar kan anses vara fullt fungerande med goda instruktioner och träning samt funktionella verktyg. Den sammantagna säkerheten beror dock även på de mänskliga prestationerna. Fungerar inte säkerhetskulturen under driften fungerar inte säkerheten i stort.



**Figur 6-1.** Sammantagen säkerhet utifrån de tre blocken mänskliga förutsättningar, fysiska förutsättningar samt mänskliga prestationer.

De fysiska förutsättningarna är de enklaste att identifiera och förbättra. För att få ett välbalanserat säkerhetssystem krävs att man även identifierar och förbättrar mänskliga förutsättningar och prestationer. Alla operatörer inom dekontaminering ska ha baskunskaper om dekontamineringsmekanismer och -teknologi. De ska även besitta omfattande praktisk träning utifrån den teori som de blivit utbildade i.

Ledningen har ansvar för att ge tillräckligt med resurser och planering av arbetet för att möjliggöra en säker och effektiv implementering av de verktyg som ingår i blocket mänskliga prestationer. Inom ledningens ansvar ligger också att skapa, testa och uppfölja förbättrad säkerhetskultur. Den gemensamma praxis som finns inom kärnkraftsbranschen är bra att tänka på även vid dekontaminering; innan man börjar handla är det bra att tänka igenom situationen utifrån STARK: Stanna upp, Tänk efter, Agera, Reflektera och Kommunicera.

I samtliga fall ska metoder för att förbättra säkerheten inom dekontamineringsverksamhet vara baserad på säkerhets- och strålskyddspolicys inom den specifika kärntekniska anläggningen.

### **6.2.1 Kemiska risker**

Då kemiska och elektrokemiska dekontamineringsmetoder samt passiveringsmetoder används allmänt på de kärntekniska anläggningarna i både Sverige och Finlands är kemikalier en risk som måste hanteras.

Många olika kemikalier används t ex syror och baser men även andra kemikalier som kan vara skadliga. Exponering för kemikalier bör undvikas om möjligt, och om det inte är möjligt ska exponering minimeras. Kemiska datablad sammanställer kända risker och annan viktig information. Det är viktigt att man är medveten om riskerna för de kemikalier som används. Skyddsbladen ger även information om hur man skyddar personalen och miljön samt information om avfallshantering av icke-kontaminerade kemikalier.

I praktiken har databladerna visat sig komplicerade om man inte har omfattande kemiska kunskaper. Istället har det visat sig vara mer effektivt med så kallade informationsaffischer. Affischerna sammanfattar den viktigaste informationen från de kemiska databladerna och presenterar den på ett pedagogiskt och enkelt sätt. Information om bland annat utrustning och hur man ska behandla avfallet finns med.

Funktionell och effektiv ventilation tillsammans med separerade arbetsområden är viktigt för att förhindra spridning av luftburna föroreningar. Dessutom krävs personlig utrustning för att skydda personal från både extern och intern kemisk exponering. En ren arbetsmiljö är viktig för att undvika oavsiktlig kemisk kontaminering, och materiella skador orsakade av aggressiva kemikalier.

### **6.2.2 Mekaniska risker**

Förutom kemiska metoder finns även mekanisk dekontaminering. Vid behandling av olika komponenter används olika utrustning som innefattar flera källor av mekaniska risker. För att förhindra mekaniska risker gäller det framförallt att utrustningen är funktionell och i gott skick. Utrustningen ska vara enkel att använda och anpassad till ändamålet.

Även anläggningen ska vara funktionell och effektiv med tillräckligt utrymme för att kunna upprätthålla en säker drift. Ergonomin i verksamheten bör analyseras eftersom god ergonomi leder till både goda hälsoförutsättningar och effektivare arbete.

I dekontamineringsanläggningen dekontamineras komponenter med varierande egenskaper vad gäller utformning. Det varierar från små komponenter som till exempel verktyg till större komponenter som axlar och ventiler. När man handskas med tunga komponenter är det framförallt vid lyft som särskilt försiktighet måste vidtas. Grundläggande säkerhetsprinciper måste följas vid lyft av tunga laster:

- Försök inte att lyfta tunga komponenter manuellt (särskilt inte om det finns risk för hög dosrat och kontamination).
- Endast personer med tillräcklig utbildning och kunskap får köra kranar.

- Använd endast kontrollerad och oskadd utrustning vid lyft.
- Kontrollera alltid utrustningen i förväg så att de är i gott skick.
- Ingen får gå under den tunga komponenten.
- Överskrid inte de maximala belastningarna.
- Säkerställ att lyftoperatören har god sikt av lasten eller att någon kan guida operatören.
- Vid komplexa lyft krävs god planering inför lyftet samt en genomgång efteråt.

Vid användning av rörlig utrustning finns alltid risk för att någon fastnar eller kläms av utrustningen, varför de rörliga delarna alltid måste beaktas med försiktighet. För att minska risken för att fastna i de rörliga delarna måste hår och kläder ses över. Flyttbar utrustning måste vara försedd med lämpliga säkerhetsspärrar för att förhindra oavsiktlig åtkomst till de farliga områdena. Vid arbete inom ett farligt område krävs övervakning från en kollega som vid missöden kan agera och stänga av utrustningen. Endast behörig personal får beträda dekontamineringsanläggningarna. Ljudnivån i byggnaden kan vara väldigt hög vid vissa tillfällen och hörselskydd ska då användas. Vid arbeten med komplexa uppgifter och begränsad hörsel krävs stor koncentration.

Vid arbeten med högtryck (flytande eller gasformig) måste det säkerställas att personalen inte kommer i kontakt med högtrycksflödet. Föreskriven skyddsutrustning ska användas vid arbete med höga tryck. Skydd måste även finnas vid arbete med värme. Både kort och lång exponering måste granskas och analyseras för att säkerställa säkerheten.

Elektrisk utrustning måste kontrolleras innan användning. Kopplingar och ledningar måste kontrolleras, verifieras och fastställas vara i gott skick. Risker för elstötar ökar vid arbeten i fuktig miljö.

### 6.2.3 Radiologiska risker

Vid dekontaminering av radioaktiva komponenter eller system försvåras arbetet vid höga dosrater samt luft- och ytdekontaminering. Vid arbete med radioaktivitet är det tre principer som tas i beaktning: tid, skärmning och avstånd. Håll ett avstånd till den radioaktiva källan så länge som möjligt och håll exponeringstiden så kort som möjlig. Vid arbeten direkt i strålning är det viktigt att använda skärmning för att minska dosraten.

Dosraten måste mätas på varje inkommande komponent som måste vara märkt och utrustad med skärmning. I dekontamineringsanläggningen ska komponenterna förvaras i ett skärmat förvaringsområde. Områden med förhöjda doser måste vara tydligt märkta. I anläggningen måste mätningar göras i realtid, och larm måste utlösas vid avvikelser på dosraten. Även varningslampor måste finnas då ljudnivån kan vara mycket hög i anläggningen.

Liksom vid kemiska risker är en god ventilation och skilda arbetsområden en viktig del för att förhindra spridning av luftburen kontamination. Förutom skydd för personalen mot intern och extern kontamination ska även personlig skyddsutrustning användas. Strålskyddspersonal bestämmer den skyddsutrustning som ska användas vid olika arbeten. Särskilt försiktig måste man vara vid arbeten som sprider luftburen kontamination.

När det handlar om kontamination är en ren arbetsmiljö det viktigaste verktyget för att förhindra spridning av radioaktiva ämnen. Mätningar ska regelbundet göras vad gäller ytkontamination. Direkt vid hög dosrat eller radioaktivitet måste dekontamineringsanläggningen och dess utrustning dekontamineras. Vid sådan dekontaminering är det inte endast personalens exponering som minskar, även korskontamination mellan olika komponenter kan undvikas. Endast behörig personal ska ha tillgång till anläggningen.

### 6.2.4 Sammanfattning

I tabell 6-1 är säkerhetsaspekterna identifierade i den övergripande säkerheten och även i de tre delgrupperna vid dekontamineringsarbeten; mekaniska risker, kemiska risker och radiologiska risker.

**Tabell 6-1. Övergripande säkerhetsaspekter.**

**Övergripande säkerhetsaspekter**

- Utbildning
- Instruktioner
- Arbetsplanering
- Verktyg, utrustning och lokaler i gott skick
- Säkerhetskultur
- Mänskliga prestationer

<b>Kemiska risker</b>	<b>Mekaniska risker</b>	<b>Radiologiska risker</b>
<ul style="list-style-type: none"><li>• Kemiska risker i posterform</li><li>• Ventilation</li><li>• Personlig skyddsutrustning</li><li>• Ren arbetsplats</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Verktyg och utrustning i gott skick</li><li>• Bra ergonomi</li><li>• Säkerhetsanordningar</li><li>• Personlig skyddsutrustning</li><li>• Avgränsat arbetsområde</li><li>• Säkra lyft</li><li>• Genomgång före och efter genomfört arbete</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Tid, skärmning och avstånd</li><li>• Dosratsmätningar</li><li>• Personligskyddsutrustning</li><li>• Ventilation</li><li>• Ren arbetsplats</li><li>• Avgränsat arbetsområde</li></ul>

### 6.3 Att tänka på vid dekontaminering

Dekontaminering utförs alltid med ett ALARA perspektiv för hela processen. Det innebär att den beräknade dosbelastningen ska inkludera både eventuellt utmontage, dekontamineringsarbete och efterföljande arbeten på system eller komponent.

Innan man ska dekontaminera bör man fråga sig varför ska man dekontaminera, vad man förväntar sig av dekontamineringen och vilka resultat man kan uppnå.

Om syftet är att kunna utföra underhåll på komponenter eller system är det givetvis dosrat efter dekontamineringen som är av stor vikt men även att ytorna är visuellt rena inför renovering eller underhåll av komponent.

Det är även viktigt att se över vilken eller möjligen vilka metoder som tidigare använts på komponenten eller i det aktuella systemet.

Om det är första gången en komponent eller ett system utsätts för dekontaminering är det alltid bra att kontrollera om man tidigare dekontaminerat motsvarande komponent eller system från någon av de andra reaktorerna på site. Det kanske man kan finna i loggböcker eller databaser.

Om man ska systemdekontaminera är det viktigt att man har tillräckligt med tid, så att man inte råkar i tidsnöd och inte hinner köra så många cykler man tänkt sig och därför inte uppnår det resultat man faktiskt behöver. Det finns många exempel på att man fått köra någon cykel kortare än man egentligen planerat på grund av oförutsedda händelser under dekontamineringen.

Vad gäller kemikalier och vad man behöver tänka på specifikt med dessa hänvisas till kapitel 5.2.

### 6.4 Materialavverkning

Några mera omfattande försök att fastställa materialavverkning och påverkan på yta vid dekontaminering har sannolikt inte genomförts i Sverige. Endast i ett fåtal fall har försök genomförts. Sannolikt handlar det ofta om enkla avverkningsförsök med ett par materialkvaliteter. Några systematiska parameterstudier har sannolikt inte gjorts. Som exempel kan nämnas inverkan av koncentration, temperatur, strömtäthet, polaritetsvändning, pH etc på materialavverkan och ytprofil vid elektrolytisk dekontaminering i Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>. Det är följaktligen svårt att avgöra om en process ska betraktas som kvalificerad eller inte.



De processer som används i dekontamineringsverkstäder innehåller inga kemikalier som kan ställa till med korrosionsproblem i primärsystemen även om mindre mängder skulle följa med komponenterna vid återmontering .

Oxalsyra och citronsyra ingår i många dekontamineringskemier för systemdekontaminering (CanDecon, CORD) och kan betraktas som väl dokumenterade genom otaliga korrosionsförsök bl a i USA.

ELDECON-processen har utvecklats av ABB ATOM. Metoden baseras på  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ . Metoden är därmed accepterad av en leverantör av reaktorinstalleringar.

Salpetersyra har ingen skadlig inverkan på korrosionen hos rostfria stål. Tvärtom fungerar den som oxidationsmedel och förbättrar de passiva korrosionsegenskaperna. Dessutom ingår den i den av EPRI framtagna NP-steget (Nitric Permanganate) i LOMI-processen. NP är ett oxidationssteg som används tillsammans med många dekontkemier, inte bara LOMI.

En del enkla korrosionsförsök har genomförts vid OKG för att bestämma materialavverkningen på rostfritt stål typ SS 2333, tabell 6-2.

**Tabell 6-2. Materialavverkning på SS 2333 genom olika dekontamineringsmetoder.**

	Metod	pH	Temp (°C)	Ström (A/dm <sup>2</sup> )	Tid (min)	Avverkan (µm)
1	0,67 % citronsyra 0,33 % oxalsyra katod (anod 2 min)	1,9	75	5	40	0,04
2	Som ovan	1,9	75	5	90	0,09
3	13,4 % citronsyra 6,6 % oxalsyra		70	–	120	< 0,0006
4	Som ovan		70	–	300	0,0006
5	Som ovan		70	–	1 050	0,0006
6	Elektrolyt 5 % $\text{Na}_2\text{SO}_4$ anod	Neutral	45	20	10	0,1
7	Som ovan	Neutral	45	20	30	0,4
8	Vätblåstring med glaspärlor				1	0,08

Elektrolytisk dekontaminering i 5 %  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  kan betraktas som ett standardförfarande i Sverige eftersom samtliga kärnkraftverk använder sig av det. Materialavverkningen är starkt beroende av strömtäthet, temperatur, pH etc.

Försök utförda vid Studsvik visar bland annat att det för varje temperatur finns en maximal avverkningshastighet, dvs en ytterligare ökning av strömtätheten medför inte någon förhöjd avverkningshastighet, figur 6-2. Som exempel på en typisk materialavverkan anges 0,1 µm vid strömtätheten 20 A/dm<sup>2</sup>, temperaturen 45 °C och tiden 10 minuter. Om tiden förlängs med 30 minuter blir avverkningen ca 0,4 µm. Dessa värden kan ses som konservativa eftersom komponenter normalt i början av processen är täckta av skyddande oxid som förhindrar korrosion av grundmetallen. Grundmetallen börjar angripas först efter det oxiden avlägsnats. Ovannämnda försök har genomförts på blanka provkupper. Eftersom polaritetsvändning normalt utnyttjas halveras i allmänhet avfrätningen ytterligare. Den verkliga korrosionen torde därför vara flerfaldt lägre än vad som framgår av tabell 6-2.

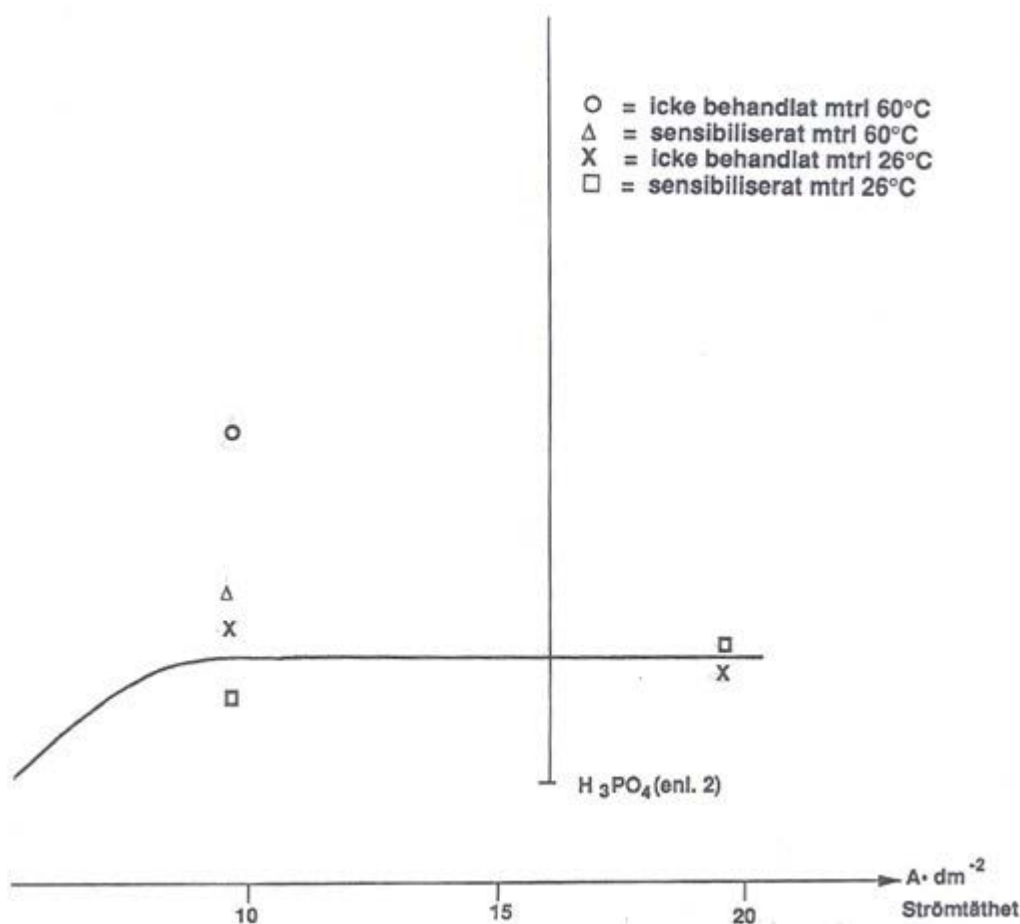
Efter det att huvudparten av oxiderna avlägsnats genom dekontaminering återinsätts komponenten normalt i processsystemet. Den utsätts för reaktorvatten vid full temperatur varvid ett nytt oxidskikt börjar byggas upp. Oxiduppbyggnadshastigheten för rostfritt stål typ SS 2333 sker enligt ett logaritmiskt samband i en BWR-anläggning vid 280 °C:

$$w = 1,5 \log_{10}(0,0043t+1)$$

där

$w$  = oxidens massa (g/m<sup>2</sup>)

$t$  = exponeringstid (h)



Figur 6-2. Materialavverkning vid elektrolytisk dekontaminering med 5 %  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ -lösning.

En enkel överslagsberäkning ger för handen att materialavverkningen genom oxidation av grundmetallen motsvarar ca  $0,2 \mu\text{m}$  efter ett års drift. Eftersom kurvan är logaritmisk avtar oxidationshastigheten kontinuerligt med tiden. Det bör i sammanhanget observeras att  $w$  anges i enheten  $\text{g}/\text{m}^2$ . Andelen järn i oxiden  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  är t ex ca 72 %<sup>3</sup>. Det är detta järn tillsammans med det integrerade nettoflödet av järn mellan oxid och vatten som går förlorat vid oxidation av metallen.

De finaste toleranser, som förekommer i reaktorsammanhang, är av storleksordningen  $\pm 30 \mu\text{m}$ . Exemplet gäller en patronuppställningsplatta till bränslepatroner.

I absolut värsta fall är materialavverkningen sålunda ca en faktor 100 lägre. Nu skyddas emellertid känsliga ytor vid en dekontaminering med plastfilmer för undvikande av korrosion.

Av tabell 6-2 framgår vidare att de andra aktuella kemiska dekontamineringsmetoderna är ännu skonsammare mot material. Elektrolytisk dekontaminering i organiska syror med komponenten som katod ger materialavverkningar på  $0,004$ – $0,009 \mu\text{m}$  allt beroende på behandlingstid. Även detta på komponenter utan skyddande oxidfilm.

På komponenter utsatta för organisk syrablandning bestående av 13,4 % citronsyra + 6,6 % oxalsyra vid  $70 \text{ }^\circ\text{C}$  har inte någon materialavverkan kunnat konstateras. Man ska vara medveten om att även om ingen generell materialavverkning kan påvisas kan gropfrätning eller korngränsfrätning förekomma, angreppen ökar med ökande temperatur.

Av ovan sagda framgår att de kemiska förfaranden som används inte ger upphov till störande materialavverkning på komponenter.

<sup>3</sup> I exemplet har förutsatts att en driftcykel motsvarar 8 000 timmar och att stålets densitet är  $7\,800 \text{ kg}/\text{m}^3$ .

Självfallet måste största möjliga försiktighet iakttas vid dekontaminering av komponenter med höga toleranskrav. Det finns då möjlighet att välja en så skonsam metod som möjligt för säkerhets skull.

I tabell 6-2 finns även medtaget våtblästring med glaspärlor. Även här gäller att man normalt inte bearbetar redan oxidfria ytor. Avverkningshastigheten är dessutom starkt beroende av glaspärlornas kondition.

## 6.5 Sköljning, passivering och rekontamination

### 6.5.1 Sammanfattning

I detta kapitel behandlas sköljning efter avslutad dekontaminering och den rekontamination som sker när passivskikten omarbetas i samband med att dekontaminerade komponenter åter tas i drift.

I allmänhet kan sägas att en effektiv sköljning där även åtgången av sköljvatten minimeras kan uppnås genom att fylla på nytt vatten i det sista sköljbadet, och låta avloppsvattnet från detta bad rinna till det näst sista badet osv. När komponenten lyfts från ett bad till nästa är det viktigt att avrinningen blir så god som möjligt, samtidigt som komponenten inte får torka, eftersom utfällningar som kan bli besvärliga att lösa upp i nästa sköljsteg då kan bildas. En effektiv metod för att uppnå detta är att kombinera sköljning i bad med sprutsköljning när godset tas upp ur badet.

Den rekontamination som sker när en dekontaminerad komponent åter tas i drift beror till stor del på att passivskikten omformas i driftsmiljön. Ny aktivitet deponeras och byggs in i de passiva skikten. Möjliga metoder för att minska denna rekontamination diskuteras, exempelvis att undvika uppruggning av ytorna och förpassivering i en miljö som bygger upp ett liknande (men inaktivt) skikt som det som fås i reaktorsystemet.

### 6.5.2 Sköljteknik

#### Sköljteori

Noggrann sköljning av komponenter efter dekontaminering är nödvändig för att avlägsna rester av kemikalier från metallytor. Dessa kemikalierester kan under olyckliga omständigheter orsaka korrosion på metall och bidrar dessutom till förorening av reaktorvattnet, vilket också är negativt ur korrosionssynpunkt.

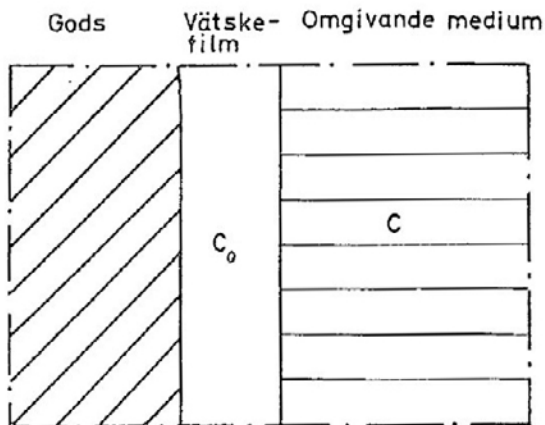
När en komponent lyfts ur ett behandlingsbad följer det med en tunn vätskefilm på metallytan, ett s k utdrag. Det innehåller kemikalier från behandlingsbadet, och det kan även finnas svårslösliga metallsalter under vätskefilmen, t ex vissa järnoxalater. Utdragets storlek bestäms främst av komponentens storlek och form, men även behandlingsbadets kemikaliesammansättning har betydelse. För att minska utdragets storlek ska komponenten hållas i ett läge så att avrinningen sker från så liten yta som möjligt, exempelvis vertikalt med ett hörn som lägsta punkt. Det är även viktigt att se till att alla håligheter töms. I tabell 6-3 ges exempel på ungefärliga utdrag för några typiska ytor efter god avrinning.

Tabell 6-3. Utdrag för olika ytor.

Typ av yta	Utdrag (ml/m <sup>2</sup> )
Flat	15–40
Svagt profilerad	35–55
Små profilerade detaljer	50–80

För att minska koncentrationen kemikalier i vätskefilmen sköljs godset. Det kan antingen göras genom att godset duschas av (sprutsköljning) eller genom att doppa godset i sköljbad.

För enkelt gods som plåtar, balkar och utsidor av rör är sprutsköljning ofta effektivast. Sköljningen påbörjas uppfifrån och komponenten bör hållas i ett läge så att avrinningen blir så god som möjligt.



$C_0$  = Koncentration av icke önskvärda ämnen i vätskefilm  
 $C$  = Ev. konc. av samma ämnen i omgivande medium

**Figur 6-3.** Vätskefilm på gods i sköljbad omedelbart efter nedsänkning.

För mer komplicerade former är sköljning i bad ofta att föredra, eftersom sköljvattnet då kan tränga in i godsets håligheter och andra områden som kan vara svåra att duscha av. Figur 6-3 visar ett schematiskt snitt av vätskefilmen på en bit gods som precis har sänkts ned i ett sköljbad. Vätskefilmen definieras här som den del av vätskan som kommer att stanna kvar på komponenten då den tas ur sköljbadet.

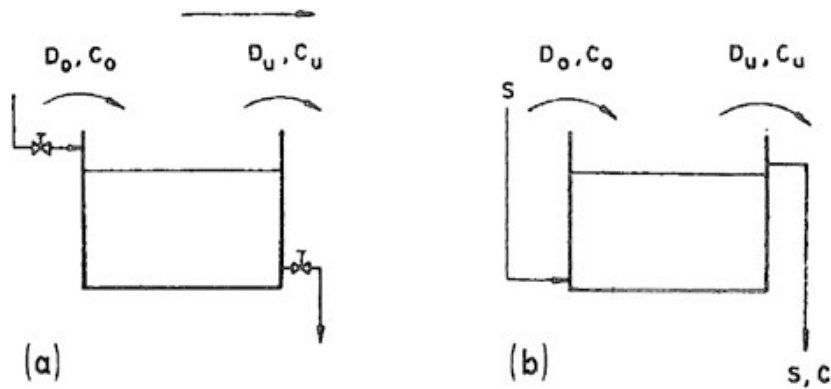
I sköljbadet blandar sig vätskefilmen med den omgivande sköljvätskan genom diffusion, varpå koncentrationen av kemikalier minskar i vätskefilmen och ökar i sköljvätskan. Den del av sköljvätskan som är närmast vätskefilmen kommer då till en början att få en högre koncentration av kemikalier än resten av sköljvätskan. Denna gradient leder till att överföringen av kemikalier från vätskefilmen till sköljvätskan bromsas upp. Ett effektivt sätt att utjämna gradienten i sköljvätskan och därmed snabba på sköljningen är mekanisk omrörning, vilket kan ske exempelvis genom inblåsning av luft i vätskan.

Bästa möjliga sköljeffektivitet uppnås vid fullständig blandning, med andra ord då kemikaliekoncentrationen blir densamma i vätskefilmen och sköljvätskan. Sköljeffektiviteten  $E$  definieras som kvoten mellan sköljvätskans kemikaliekoncentration  $C$  och kemikaliekoncentrationen i utdraget från sköljbadet  $C_u$  (båge koncentrationerna avser medelkoncentrationer):

$$E = \frac{C}{C_u}$$

Ett bra sätt att öka sköljeffektiviteten vid sköljning i bad är att sprutskölja komponenten när den tas upp ur badet. Nedsänkning i ett bad med sprutsköljning efter upptagandet kan i många fall vara ett fullt tillfredsställande sköljsystem. Samma teknik är även tillämpbar då komponenten lyfts ur behandlingsbadet.

I ett sköljbad där sköljvätskan står still (se figur 6-4a) kommer kemikaliekoncentrationen efter hand att stiga beroende på utdragen från kemikaliebadet, varpå det blir nödvändigt att tömma och återfylla sköljbadet periodvis. Ett alternativ är sköljbad med genomströmning (se 6-4b). Sköljvattnet tillförs då kontinuerligt i botten av badet och får rinna av från toppen (s k bräddning). Bräddning är det effektivaste sättet att avlägsna så mycket kemikalier som möjligt via avrinningen, eftersom koncentrationen blir störst vid ytan då komponenten sänks ned.



Figur 6-4. Enstegssköljning utan (a) och med genomströmning (b).

Under ideala förhållanden kan erforderligt sköljvattenflöde till ett genomströmningsbad beräknas utifrån den sköljfaktor som önskas. Utdraget från kemikaliebudet  $D_o$  kan antas vara lika stort som utdraget ur sköljväsken  $D_u$ . Vidare måste vid steady-state gälla att den mängd kemikalier som tillförs sköljbadet per tidsenhet är densamma som den mängd som lämnar sköljbadet under samma tid via brädning och utdrag från sköljbadet:

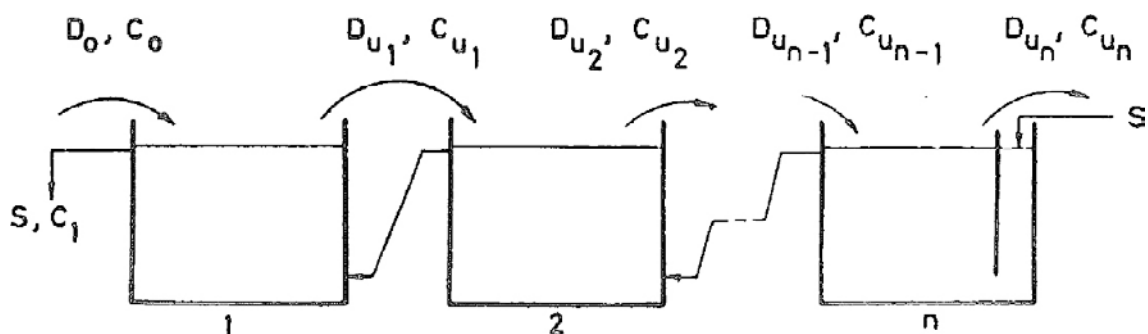
$$NDC_o = SC + NDC_u$$

där  $N$  är antal komponenter som doppas i och ur sköljbadet per tidsenhet,  $D$  utdragets storlek per komponent,  $C_o$  koncentrationen i behandlingsbadet,  $C_u$  koncentrationen i sköljbadet och  $S$  flödet genom sköljbadet. Givet  $E = C/C_u$  enligt ovan fås:

$$S = \frac{ND}{E} \left( \frac{C_o}{C_u} - 1 \right)$$

där  $C_o/C_u$  är den önskade skölj faktorn, dvs den faktor med vilken koncentrationen i utdraget minskas.

Sköljningen blir betydligt effektivare om den utförs i flera steg (se figur 6-5). För att spara på sköljvattnet kan det begagnade sköljvattnet i närmast följande steg utnyttjas som ingående sköljvatten i steget innan. Godsflödet går då i motsatt riktning jämfört med sköljvattnet och färskt vatten tillsätts endast i det sista sköljsteget.



Figur 6-5. Motströmssköljning i n steg.

Även för ett sköljsystem med motströmning kan erforderligt vattenflöde för en given sköljfaktor beräknas under ideala förhållanden. I ett sköljsystem med  $n$  tankar gäller för tank  $r$ ,  $1 \leq r \leq n$ , följande massbalans (analogt med resonemanget för endast en tank ovan):

$$SEC_{r+1} + NDC_{r-1} = SEC_r + NDC_r$$

där  $C_r$  är utdragets koncentration ( $C_u$ ) för tank  $r$ , och  $EC_r$  koncentrationen i tank  $r$ .  $EC_{n+1}$  är koncentrationen i det oanvända sköljvatten som tillsätts till den sista tanken, tank  $n$  ( $C_{n+1}$  blir då det tänkta utdraget ur den ej existerande tank  $n+1$ ).  $C_0$  är koncentrationen i behandlingsbadet ( $C_o$ ). Flödet kan lösas ut som:

$$S = \frac{ND}{E} \times \frac{C_{r-1} - C_r}{C_r - C_{r+1}}$$

Om man ansätter att sköljfaktorn för varje bad  $\frac{C_r}{C_{r+1}}$  är konstant måste även  $\frac{C_{r-1} - C_r}{C_r - C_{r+1}}$  vara (samma) konstant. Detta antagande stämmer inte för det sista badet (om det skulle stämma skulle det färska sköljvattnet som tillsätts det sista badet vara tvunget innehålla en låg koncentration av kemikalier, precis som om det fanns ännu fler sköljsteg efteråt). Förutsatt att det färska sköljvattnet är rent från kemikalier kommer detta antagande att leda till en marginell överskattning av flödet. Flödet  $S$  blir då:

$$S = \frac{ND}{E} \times \frac{C_r}{C_{r+1}}$$

Eftersom den totala sköljfaktorn  $C_0/C_n$  är lika med produkten av sköljfaktorerna för samtliga sköljbad och varje sköljbad har sköljfaktorn  $C_0/C_{n+1}$  fås:

$$\frac{C_0}{C_n} = \left( \frac{C_r}{C_{r+1}} \right)^n$$

Det erforderliga flödet för en given total sköljfaktor blir då:

$$S = \frac{ND}{E} \times \left( \frac{C_0}{C_n} \right)^{1/n}$$

Det fel som introducerades enligt ovan får en försumbar inverkan på det beräknade flödet  $S$  och dessutom alltid i en riktning så att flödet tenderar att överskattas.

### Sköljvatten

Uppvärmning av sköljvattnet ökar dess effektivitet av många olika anledningar. Svårlosliga salters löslighet ökar oftast med temperaturen, kinetiken vid masstransporten ökar, metallers längdutvidgning medför att springor och porer öppnar sig etc. En nackdel är att en alltför hög temperatur medför att avrinningen minskar genom att vattnet dunstar från metallytan och lämnar salterna kvar. Ofta blir dessa intorkade salter svårare att avlägsna vid den efterföljande högtrycksspolningen. För att minska risken för indunstade salter kan komponenten sprutsköljas i samband med att den lyfts ur badet.

Några formella krav på sköljvattenkvaliteten i sköljbad finns inte idag hos de nordiska anläggningarna.

Sprutsköljning är den vanligaste sköljmetoden på anläggningarna idag. Det finns idag inte heller några formella krav på konduktiviteten på sköljvattnet vid sprutsköljning. Inom OKG används riktlinjen att sprutsköljningen avbryts då konduktiviteten i sköljvattnet understiger 3  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Ett liknande krav kan ställas på sköljvattnet vid högtryckssköljning med avjonat vatten i dekontamineringsverkstäderna.

### 6.5.3 Passivering

Så snart en komponent gjord av en självpassiverande legering (ofta rostfritt stål) tas ur behandlingsbadet, börjar ett passivt skikt bildas (se avsnitt 2.4.2). Detta sker för ett rostfritt stål praktiskt taget omedelbart, och passivfilmen växer därefter ytterligare något under tiden sköljningen pågår. Därtill

omorganiseras passivfilmens struktur med tiden. Eftersom detta sker spontant måste ingen speciell passivering utföras för att stålet ska behålla sina rostfria egenskaper efter en dekontaminering. Däremot är det viktigt att inte förorena rostfritt stål med exempelvis kolstål, svetsloppor från annat material eller liknande, eftersom detta kan leda till lokala korrosionsangrepp. Rostfria komponenter ska därför inte hanteras med verktyg av kolstål.

Då kolstål uppvisar dålig korrosionsbeständighet redan i fuktig luft, kan någon form av efterbehandling behöva tillgripas:

- Elektrolytiskt dekontaminerat kolstål, som i slutskedet av behandlingen fungerat som anod vid potentialer över den för syrgasutveckling, får en sådan resistens att det mycket väl tål exponering i fuktig luft under kortare tid utan att rosta. Elektrolytiskt betad tråd har klarat sig i industrimiljö mer än 6 år utan att rosta medan kemiskt betad tråd angrips efter några timmar i jämförelsevis torr miljö.
- En kolstålyta, som betats i fosforsyra ( $H_3PO_4$ ), blir överdragen av ett tunt järnfosfatskikt som skyddar det mot korrosion. Ytan kan efter betningen eller annan behandling passiveras i 1–2 %  $H_3PO_4$ -lösning eller i en utspädd lösning med följande sammansättning:
  - 0,5–2 % fosforsyra
  - 0,1–0,3 % järnfosfat
  - 0,5 % vätmedel
- Utspädda lösningar (~ 1 %) av nitrater och nitriter (tidigare även kromater) används ofta vid passivering. Vanligtvis tillsätts då upp till 0,5 % vätmedel och 0,5–1,0 % soda. Lösningarna har bästa verkningsgraden vid pH 6–10, Behandlingstider på 1–2 minuter vid rumstemperatur är tillfyllest.

#### 6.5.4 Rekontamination

Som nämndes i 2.4.2 ökar oxidskiktets tjocklek när en ny eller dekontaminerad komponent utsätts för miljön i primärsystemet. Då detta leder till att aktiveringsprodukter som finns närvarande i primärsystemet byggs in i oxidskiktet riskerar en dekontaminerad komponent att snabbt rekontamineras. Oxidskiktets tillväxthastighet och därmed inbyggnadshastigheten för aktiveringsprodukter avtar då oxidskiktets tjocklek tilltar, samtidigt som redan inbyggd aktivitet klingar av med tiden. Det medför att rekontaminationen är som snabbast i början efter att en komponent har installerats (och systemet är i bruk).

Som en allmän regel gäller att rekontaminationshastigheten efter en relativt mjuk dekontaminering är liknande eller något högre än vid uppstart av en ny anläggning, men något lägre än då nya komponenter sätts in i en gammal anläggning. Vid insättning av nya komponenter i en gammal anläggning uppnås samma dosrater på komponenten som tidigare noterats på den gamla komponenten redan efter en bränslecykel.

Dekontaminerade komponenter brukar normalt återfå ca 50 % av de ursprungliga dosraterna efter en bränslecykel och ursprungliga dosrater efter två bränslecykler.

Rostfritt stål skapar ett skyddande oxidskikt i rumstempererad luft. Detta oxidskikt är i storleksordningen några nanometer tjockt. Vid passivering oxideras metallen ytterligare genom att ytan utsätts för ett oxidationsmedel, vanligtvis en oxiderande syra så som salpetersyra eller citronsyra<sup>4</sup>. Oxideringen gör oxidationsskiktet tjockare, ca 20 nanometer tjockt, dessutom ökar förhållandet mellan krom/järn i oxiden vilket ökar korrosionsresistansen. Exponeringstiden i syrabadet är ca 30 minuter. I hög tempererat vatten ökar korrosionshastigheten betydligt och oxidtjockleken i primärsystemet är ca 1–2 mikrometer. Beroende på att oxidens tjocklek och sammansättning varierar med temperaturen bör föroxideringen ske under förhållanden som är så lika de som råder där komponenten ska installeras som möjligt, men utan några radioaktiva nuklider närvarande. Det är viktigt att såväl tryck och temperatur som koncentrationer av olika ämnen (föroreningar eller önskvärda) är desamma som i den del av primärsystemet där komponenten ska sitta. Komponenterna kommer då

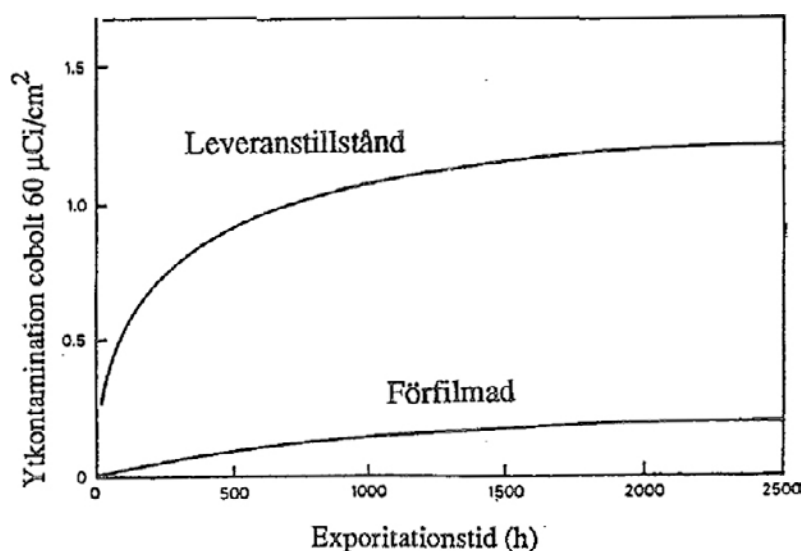
<sup>4</sup> Citronsyra kan vara både oxidationsmedel och reduktionsmedel beroende på andra ingående kemikalier.

att få en tjock oxidfilm med samma sammansättning och struktur som den som fås i primärsystemet, men utan inbyggd aktivitet. Det bör dock noteras att denna föroxideringsmetod knappast är praktiskt genomförbar då det skulle krävas betydande mängd utrustning som ska utsätta komponenter för hög tempererat vatten under höga tryck och höga flödes hastigheter under långa exponeringstider. Autoklavförsök har också visat att det är svårt att återskapa samma vattenkemi som under reaktordrift vilket resulterar i att oxiden kan ombildas när den utsätts för reaktorvatten.

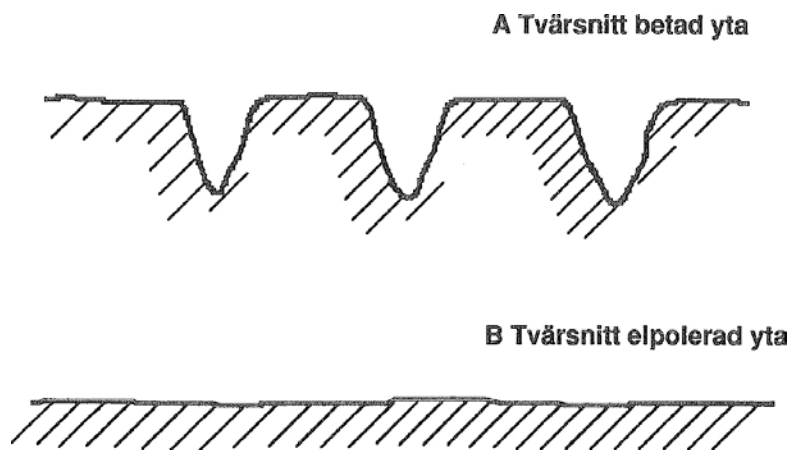
Inom ABB:s BKM-projekt (Bränsle-Kemi-Material) har autoklavförsök genomförts med förfilmning i vatten (270 °C, 70 bar) med exponeringstider på 1 000 timmar (~42 dygn). Syrehalten var 200 ppb i vattnet. Efter exponering i reaktorvatten under 6 dygn var ytaktiviteten en faktor 2–4 lägre för de förfilmade kupongerna jämfört med ofilmade.

Liknande resultat har också erhållits vid försök som genomförts med förfilmad och ofilmad (i leverans-tillstånd) material av General Electric (se figur 6-6).

Förutom genom förfilmning kan rekontaminationen även minskas genom elektrolytpolering eller elektrolytisk dekontaminering med komponenten som anod. Vid försök har aktivitetsupbyggnads-hastigheten kunnat minskas med en faktor 2–3 (Neeb 1997). Förklaringen till detta anses vara den mycket jämna yta dessa behandlingar ger, dvs den mot reaktorvattnet exponerade ytan reduceras med en faktor 2–3 (se figur 6-7).



Figur 6-6. Jämförelse mellan förfilmad och icke förfilmad material. Förfilmningar skedde i vatten (270 °C, 70 bar) med syrehalten 200 ppb och exponeringstiden 500 timmar.



Figur 6-7. Schematisk framställning av exponerad yta hos betad och elektroplerad yta.



En elektropolerad yta renderar i ett lägre aktivitetsupptag beroende på mindre exponerad yta mot reaktorvattnet i både varma och kalla system. I varma system inkorporeras aktiverade nuklider in i oxiden beroende på den betydligt högre korrosionshastigheten vid högre temperaturer. I kalla system är korrosionshastigheten betydligt långsammare och deponerad aktivitet förblir löst budet till ytan. Är ytan dessutom elektropolerad får deponerad partiklar dålig vidhäftning på ytan. Aktiverade partiklar på en elektropolerad yta i kalla system kan därför enkelt spolats bort med vatten.

I kalla system kan en elektrolytpolerad yta vara till fördel genom att partiklar inte fastnar så lätt i underlaget. De radioaktiva partiklarna är dessutom enklare att spola bort med vatten om ytan är blank. Detta förhållande utnyttjas speciellt inom livsmedelsindustrin där det ofta ställs stora krav på ytfinhet hos systemytor.

## 6.6 Val av dekontamineringsmetod

För att kunna utföra dekontaminering av komponenter på ett kvalitetsmässigt och effektivt sätt krävs vissa uppgifter om komponenten. Här nedan kommer några frågor som det är nödvändigt att få svar på innan arbetet börjar:

- **Hur ska komponenten användas efter dekontaminering?**  
(återmontage, kontroll, bearbetning, lagring, friklassning, skrotning m m) Detta är mycket viktigt eftersom det avgör till vilken nivå dekontaminering ska göras. Här måste en bedömning enligt ALARA-principen göras.
- **Var kommer komponenten från?**  
(systemnummer, objektnummer eller liknande).
- **Material**  
Typen av material kan påverka val av metod.
- **Ytdosrat och ytkontamination**  
Strålskyddsaspekter, ALARA.
- **Övriga förutsättningar**  
Känslig elektronik, ömtåliga ytor, ej glasblästring, ej kemiska bad m m.
- **Kontaktperson**  
Namn och telefonnummer till beställare av arbetet. Frågor kan uppstå under arbetets gång. Dekontamineringsmetoder kan delas upp i tre kategorier vilket ges exempel på nedan.

### 1 Mekanisk dekontaminering

- **Högtrycksspolning**  
Vattentryck mellan 200 och 800 bar. Metoden används för att avlägsna löst sittande kontamination på komponentytor.
- **Glasblästring i blästerbox**  
Utförs i slutna box med en glaskulesuspension vid fem bars tryck. Rostfritt material ska inte blästras med samma blästermedel som använts för kolstål. Metoden används för att avlägsna oxidskikt och kontamination som är hårdare bunden till komponentytor. Metoden används ofta efter förbehandling med elektrolyt eller kemiska bad.
- **Ultraljudsvätt**  
Används för att tillsammans med lämplig tvättvätska avlägsna löst sittande smuts. Metoden skickar ut en högfrekvent ultraljudsvåg som i sin tur bildar små bubblor som imploderar och på så sätt påverkar materialytan mekaniskt.
- **Manuell hantering**  
Avtorkning, diskning. Används för att få bort löst sittande kontamination där en skonsam metod krävs eller där kontaminationen kräver någon form av mekanisk bearbetning.

## 2 Kemisk dekontaminering

### – Syrabad

Varmt bad med stark omrörning där komponenten sänks ner. Olika typer av syror kan användas beroende på material och oxidskiktets beskaffenhet. Metoden kräver ett starkt flöde på de kontaminerade ytorna för att vara effektiv.

### – Elektrolyt (elektronpump)

Bad med en utspädd lösning av 1 % syrablandning där elektroder och komponent kopplas till en likriktare med polvändningsautomatik. Polvändningen gör att oxidskiktet spricker och lossnar från komponenten. Efterföljande högtrycksspolning eller glaskuleblästring krävs. Badet kan renas med jonbytare och därefter rekonditioneras till ursprunglig funktion. Badet kan även utgöras av en 5 % dinatriumsulfatlösning ( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ) men denna lösning innebär en besvärligare avfallshantering eftersom rening inte kan göras med jonbytare.

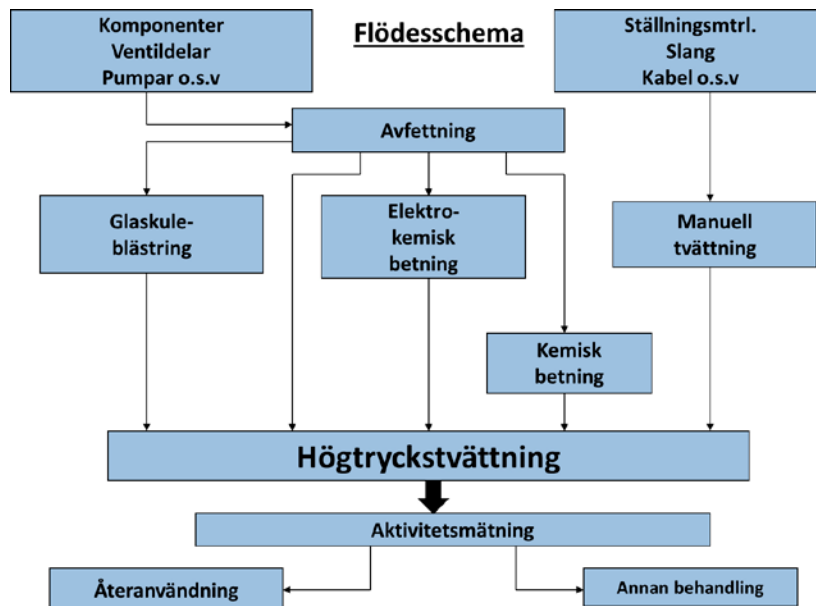
### – Avfettningsbad

Används för att avlägsna fett och lösa partiklar från komponenters yta. Används ofta innan efterföljande behandling med kemiska metoder samt glaskuleblästring. Ett bra flöde gör att effektiviteten ökar. Högtrycksspolning ska användas innan efterföljande behandling i kembad eller bläster.

## 3 Systemdekontaminering

Systemdekontaminering utförs på komponenter eller hela system. Dekontamineringen utförs på plats i maskinstationen med en mobil utrustning som kopplas in mot ett isolerat system eller komponent. Dekontamineringsvätskan pumpas runt med starkt flöde och förhöjd temperatur. Att dekontaminera hela eller delar av ett system kräver lite mer i planering och utrustningsväg än om man kan demontera en komponent och skicka iväg den till dekontverkstaden. Här avses utslutande någon form av kemisk dekontaminering. Vilka kemikalier som används avgörs från fall till fall utifrån material i systemet.

I figur 6-8 ges ett exempel på flödesschema vid dekontaminering.



Figur 6-8. Flödesschema vid dekontaminering.

## 6.7 Kemisk dekontaminering

### 6.7.1 FKA

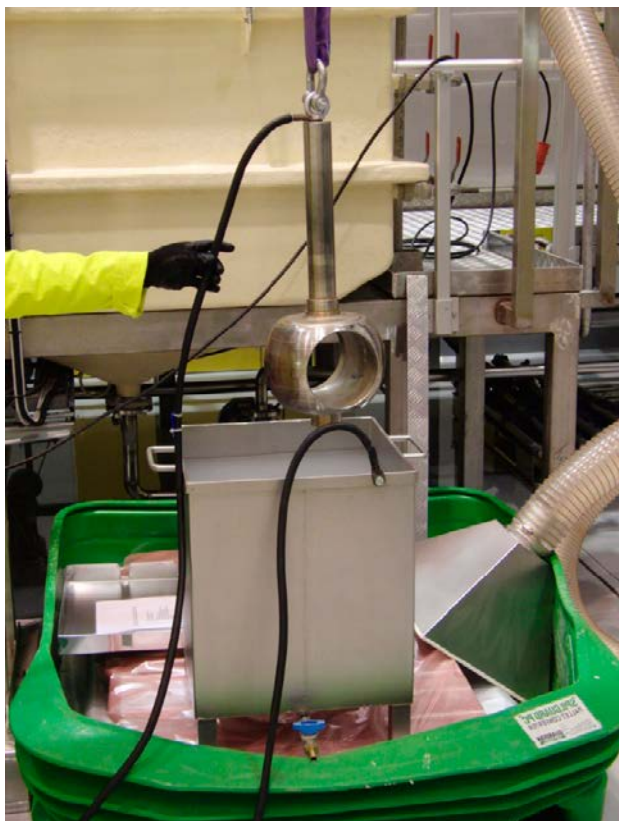
#### Avkromning

Namn	Avkromning
Beskriver tabellen dekontaminering i bad eller systemdekontaminering?	Bad
Ägare av processen/kemin Saluförs av	FKA
Har processen flera steg? (Ja/Nej)	Nej
Är processen EI-dekont? Om så ange strömtäthet	Ja Likriktare – 32A, polväxlingstid 30 s
Ingående kemikalier och koncentrationer (g/l) för varje ingående steg	Natriumhydroxid 5 l / 80 l vatten
Arbetstemperatur (°C)	50–70 °C
pH	Över 14
Tid (h)	2–8 timmar
Dekontamineringsfaktor (DF) Ange gärna för olika material/komponenter	
Materialavverkning för olika material	Bara kromet avverkas, grundmaterialet påverkas inte.
Beskriv processen: Hur körs processen? Packar man korgar och sänker ner i bad? Om flera steg lyfter man då korgen mellan baden? Hur vet man att badet inte är utarmat med kemikalier? Hur regenereras kemin? Hur den används i aktuell anläggning? Hur/när/varför man väljer att använda just denna process?	Rostfritt kärl med vatten (80 l) och natriumhydroxid (5 l). Polväxling över likriktare i badet. Ventilationshuv appliceras under körning. Katod varierar beroende på om det rör sig om invändig eller utvändig geometri som skall avkromas. Körtid varierar mellan 2–8 timmar. Efter avkromning blåstras, som regel, godset för att få bort lutrester och skapa fin ytfinish.
Beskriv utrustningen som används i aktuell anläggning. tankar (volym, tillvekningsmaterial) pumpar (kapacitet) ventilation mängd metall per batch	Tankar – Rostfrittstål om ca 100 liter Likriktare – 32 A, polväxlingstid 30 s Kopplingar – Kopparkablar som skruvas fast i gods och katod. Ventilationshuv – Aluminiumkåpa med sugslang till befintlig ventilation.
Annan information	
Har processen modifierats för användning i aktuell anläggning?	Tillverkad på verket
Speciella säkerhetsaspekter? T ex kemikalier (varma syror), gasbildning, avfallshantering	Skyddsutrustning som för annat arbete med kemikalier
Använd sedan år?	1985.
Använd mellan år?	
Använd ggr per år?	2 ggr/år.
På vilka material/komponenter används metoden?	Kromade komponenter där kromet ska avlägsnas (system 332 och 411)
Hur ser avfallshanteringen ut? Reducering innan avfallshantering Blanda båda stegen och avfallshandera sedan? Fällning Jonbytarmassa	Vätskan neutraliseras med hjälp av saltsyra, kromet samlas ihop och transporteras till avfallsanläggningen för omhändertagande.
Avfallsmängd vid användning Per år eller per batch eller vad som är applicerbart	Några hekto krom per objekt och körning.

Namn	Avkromning
Vilken typbeskrivning används för deponering SFR? Eller motsvarande i Finland?	F12 eller F23
Erfarenheter – besvara frågor av typen: Metoden har fungerat bäst på... Metoden fungerar acceptabelt på... Bör inte användas på... Man får ofta problem om man... Vi slutade använda metoden för att... Om man kör för länge så kan det hända att... Om man spiller på golvet... Alfa nuklider kan ställa till problem om... Reningen av lösningen är lätt/svår om...	Om man kör länge kan det hända att både vatten och lut måste tillföras för att bibehålla effekten. Vätskan är starkt frätande.
Annan information du ser som viktig för att använda eller inte använda metoden	Är främst en metod för att avkroma tätytor, dekontaminering är inte den primära orsaken för behandling med denna metod.

### Om metoden används för systemdekontaminering behövs även följande information

Ingår passiveringssteg? (Ja/Nej)	Nej.
Om så – vad består detta av?	
Vilka system har metoden använts på? Ange gärna vilka år	System 332 och 411, varje år.
Hur ofta har metoden använts på dessa system?	2 ggr per år.
Dosreduktionsfaktor (DRF)	
Beskriv återuppbyggnaden av aktivitet på systemet Hur ofta behöver systemet dekontamineras?	Är främst en metod för att avkroma tätytor, inte speciellt kontaminerade komponenter. När kromytan är sliten.



Figur 6-9. FKA, avkromning av ventilkägla.

## Elektrolyt

Namn	Elektrolyt
Beskriver tabellen dekontaminering i bad eller systemdekontaminering?	Bad
Ägare av processen/kemin Saluförs av	FKA Sigma innovation AB
Har processen flera steg? (Ja/Nej)	Nej
Är processen EI-dekont? Om så ange strömtäthet	Ja Polväxling (30 s) över likriktare (1 500 A)
Ingående kemikalier och koncentrationer (g/l) för varje ingående steg	Elektrolytvätskan består av 733-vatten (2,2 m <sup>3</sup> ) och natriumsulfat (200 kg), blandningen ska ha en saltkoncentration 9%.
Arbetstemperatur (°C)	Värme 50 °C
pH	Över 14
Tid (h)	30–90 min
Dekontamineringsfaktor (DF) Ange gärna för olika material/komponenter	
Materialavverkningsfaktor för olika material	
Beskriv processen: Hur körs processen? Packar man korgar och sänker ner i bad? Om flera steg lyfter man då korgen mellan baden? Hur vet man att badet inte är utarmat med kemikalier? Hur regenereras kemin? Hur den används i aktuell anläggning? Hur/när/varför man väljer att använda just denna process?	Elektrolytvätskan består av 733-vatten (2,2 m <sup>3</sup> ) och natriumsulfat (200 kg), blandningen ska ha en saltkoncentration 9%. Godset omges av en katod i badet. Polväxling (30 s) över likriktare (1 500 A). Värme 50 °C. Körning i intervall om 30 min.
Beskriv utrustningen som används i aktuell anläggning. tankar (volym, tillverkningsmaterial) pumpar (kapacitet) ventilation mängd metall per batch Annan information	Tankar – 2×3,4 m <sup>3</sup> (sedimenttank och klarfastank) Kärl – 2,5 m <sup>3</sup> Pumpar – 2 pumpar om 1,5kW ger ca 3,3 m <sup>3</sup> /h med 15 m uppföringshöjd Ventilation – Sugslang i lock till befintlig ventilation Kopplingar – 600 A kablar för koppling till anod och katod Manöverskåp – Utrustning för styrning och övervakning av processen
Har processen modifierats för användning i aktuell anläggning?	Platsanpassad
Speciella säkerhetsaspekter? T ex kemikalier (varma syror), gasbildning, avfallshantering	Normal skyddsutrustning samt god ventilation för att undvika knallgas.
Använd sedan år?	1988
Använd mellan år?	
Använd ggr per år?	3 ggr/år
På vilka material/komponenter används metoden?	Kolstål och rostfritt (system 311, 313, 321 och 411)
Hur ser avfallshanteringen ut? Reducering innan avfallshantering Blanda båda stegen och avfallshandera sedan? Fällning Jonbytarmassa	CRUD och elektrolytvätska transporteras i kokill (1 m <sup>3</sup> ) som i sin tur placerats i strålskärm till avfallet för indunstning och vidare omhändertagande.
Avfallsmängd vid användning Per år eller per batch eller vad som är applicerbart	600 liter till avfallet som genererar 40 kg avfall.
Vilken typbeskrivning används för deponering SFR? Eller motsvarande i Finland?	F12 eller F23

Namn	Elektrolyt
Erfarenheter – besvara frågor av typen: Metoden har fungerat bäst på... Metoden fungerar acceptabelt på... Bör inte användas på... Man får ofta problem om man... Vi slutade använda metoden för att... Om man kör för länge så kan det hända att... Om man spiller på golvet... Alfa nuklider kan ställa till problem om... Reningen av lösningen är lätt/svår om...	Utformning av katoden är viktig, 20–50 mm avstånd från godset.
Annan information du ser som viktig för att använda eller inte använda metoden	Används inte på elektronik
Ingår passiveringssteg? (Ja/Nej) Om så – vad består detta av?	Nej
Vilka system har metoden använts på? Ange gärna vilka år	System 311, 313, 321 och 411
Hur ofta har metoden använts på dessa system?	Varje år
Dosreduktionsfaktor (DRF)	
Beskriv återuppbyggnaden av aktivitet på systemet Hur ofta behöver systemet dekontamineras?	Återuppbyggnaden beror på antal/storlek påbränsleskador, annars ingen större skillnad år från år. Dekontaminering 1 ggr per år



*Figur 6-10. FKA, elektrolytbad.*

## 6.7.2 OKG

### SEDECON

Namn	SEDECON (Studsвик Electrolyt Decon)
Beskriver tabellen dekontaminering i bad eller systemdekontaminering?	Bad
Ägare av processen/kemin Saluförs av	Utvecklad av Studsvik
Har processen flera steg? (Ja/Nej)	Nej
Är processen El-dekont? Om så ange strömtäthet	Ja (polvändning) Max 10 A/dm <sup>2</sup>
Ingående kemikalier och koncentrationer (g/l) för varje ingående steg	0,6 % citronsyra 0,3 % oxalsyra
Arbetstemperatur (°C)	65 °C
pH	1,8
Tid (h)	5 min–30 min beroende på oxidskiktets tjocklek och komponentens geometri
Dekontamineringsfaktor (DF) Ange gärna för olika material/komponenter	Hög
Materialavverkning för olika material	Rätt hanterat sker ingen materialavverkning
Beskriv processen: Hur körs processen? Packar man korgar och sänker ner i bad? Om flera steg lyfter man då korgen mellan baden? Hur vet man att badet inte är utarmat m.a.p. kemikalier? Hur regenereras kemin? Hur den används i aktuell anläggning? Hur/när/varför man väljer att använda just denna process?	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Badets koncentration mäts. Vid pH högre än 1,8 justeras koncentrationen enligt tabell.</li> <li>– Badet värms till ca 65 °C under omrörning.</li> <li>– Komponenter som ska dekontamineras avfettas och högtryckstvättas så att allt fett är avlägsnat.</li> <li>– Komponenten sänks ned i badet mellan de hängande skenorna/elektroderna. Om komponenten har svåråtkomliga ytor som t ex rör och ventiler måste lämpliga elektroder monteras invändigt i dessa. Elektroderna ska helst ha ett avstånd på 2 cm från komponentens yta för bästa resultat.</li> <li>– Komponenten kopplas till badets pluspol och övriga elektroder till minuspol.</li> <li>– Strömstyrkan anpassas till komponentens exponerade yta. Max 10 A/dm<sup>2</sup>.</li> <li>– Polvändningsautomatiken ställs in. Man utgår från 30 sek anodiskt och 10 sek katodiskt som körs i lämpligt antal cykler beroende på oxidskiktets tjocklek. Avslut sker alltid anodiskt för att undvika rekontamination.</li> <li>– Det uppspruckna oxidskiktet spolats sedan bort med högtryck.</li> <li>– Efter användning renas badet vid behov genom Jonbytarmodul. Modulen laddas med kornformig jonbytarmassa. 10 liter katjonmassa i en behållare samt 10 liter blandbädd i en behållare. Elektrolyten cirkuleras genom jonbytarna vid en temperatur om max 55 °C. Dosrat på jonbytare och bad mäts tills godkänt resultat uppnåtts. Jonbytare kan behöva bytas om badet är mycket kontaminerat.</li> <li>– Metoden används framförallt på varma system med tjocka oxidskikt.</li> </ul>
Beskriv utrustningen som används i aktuell anläggning. tankar (volym, tillverkningsmaterial) pumpar (kapacitet) ventilation mängd metall per batch	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Badet består av en öppen fyrkantig tank av plast som rymmer 2 m<sup>3</sup>. Även rostfri tank finns.</li> <li>– Cirkulation sker med omrörare (propeller) eller med insläpp av luft från botten av badet.</li> <li>– Ventilering sker med riktade utsug. Ventilationen kan även kopplas till scrubber.</li> </ul>
Annan information	
Har processen modifierats för användning i aktuell anläggning?	– Metoden har kompletterats med polvändningsautomatik
Speciella säkerhetsaspekter? T ex kemikalier (varma syror), gasbildning, avfallshantering	– Gasbildning kan förekomma i vissa fall och behöver då ventileras bort.

Namn	SEDECON (Studsvik Electrolyt Decon)
Använd sedan år?	– 1998
Använd mellan år?	
Använd ggr per år?	– Används framförallt vid och efter revisionsavställningar på komponenter som ska repareras.
På vilka material/komponenter används metoden?	– Rostfria stål i huvudsak. Pumphjul, ventilkäglor, drivdonsdetaljer. Komponenter från varma system.
Hur ser avfallshandlingen ut? Reducering innan avfallshandling Blanda båda stegen och avfallshandla sedan? Fällning Jonbytarmassa	– Lösta metaller och aktivitet tas upp med katjonbytare samt efterföljande blandbädd katjon/anjon. Använda jonbytare dumpas till betongtank i källaren. – Vid dumpning av bad görs reduktion av 6-värd krom innan vätskan körs genom UV-ljus. Badet har endast behövt dumpas ett fåtal gånger under de 16 år det varit i drift.
Avfallsmängd vid användning Per år eller per batch eller vad som är applicerbart	– Varje reningscykel genererar 20 l jonbytarmassa. Rening görs normalt ca 10 ggr/år
Vilken typbeskrivning används för deponering SFR? Eller motsvarande i Finland?	– Jonbytarmassan går till samma betongtank som förbrukad glaskulesuspension. Betongtanken är av samma typ som används för förbrukade pulvermassor. Godkänd typbeskrivning finns ej framtagen men kommer troligen att heta O.07:xx.
Erfarenheter – besvara frågor av typen: Metoden har fungerat bäst på... Metoden fungerar acceptabelt på... Bör inte användas på... Man får ofta problem om man... Vi slutade använda metoden för att... Om man kör för länge så kan det hända att... Om man spiller på golvet... Alfa nuklider kan ställa till problem om... Reningen av lösningen är lätt/svår om...	– Metoden fungerar bäst på rostfria stål som varit monterade i varma system. Även kolstål och legerade stål kan dekontamineras. – Metoden används nästan enbart för dosreduktion inför reparationer och besiktningar.
Annan information du ser som viktig för att använda eller inte använda metoden	Det är en fördel om man har möjlighet att tillverka motelektroder för pumphjul och liknande återkommande komponenter innan de sätts in i systemen. Lämpligen görs detta på rena reservdelar eller efter att första dekontaminering utförts.

### Sedecon-bad i dekontverksstad

SEDECON står för Studsviks ElektrolytDECONTaminering av komponenter.

Badet togs fram som ersättning för ELDECON med 5 % dinatriumsulfatlösning som var mycket svår att destruera.

Dekontamineringsmetoden använder en utspädd lösning av 1 % citron/oxalsyra (0,33 % oxalsyra och 0,66 % citronsyra). Till badet, som är en öppen tank med volymen 2 m<sup>3</sup>, utrustad med värmare och omrörning, är det kopplat en likriktare med polvändningsautomatik. Metoden är lämplig för dekontaminering av betat kolstål samt legerade och rostfria stål gärna med tjocka oxidskikt. Även Stellite och Inconel går att dekontaminera men arbetsstycket måste då vara kopplat som anod vilket innebär att det blir en viss materialavverknings.

Lösta metaller och aktivitet plockas upp med hjälp av en katjonbytare (dock icke krom) som är inbyggd i en reningskrets kopplad till badet.

Koncentrationsbestämningen av badet sker indirekt med pH-mätning. Variationer av koncentrationen i badet kan även bero på volymförändringar på grund av avdunstning.



## Arbetsgång

Badet värms till arbetstemperatur 67 °C varefter ett prov tas ut för kontroll att koncentrationen i badet är 1 %. Koncentrationen bestäms med hjälp av pH-mätning och avläsning på en indirekt koncentrationskurva. Vid 1 % koncentration ska badet ha ett pH på 1,8.

Komponenten avfettas/högtryckstvättas alltid, för att avlägsna fett. Som avfettningsmedel används natriumhydroxid, rening av badet sker via filtrering.

Komponenten sänks ned i badet och kopplas till likriktarens plusskena. Runt komponenten finns hängande skenor som fungerar som motelektroder. Dessa är kopplade till likriktarens minuspol. Om komponenten har svåråtkomliga invändiga oxidskikt, t ex pumphjul och ventilhus, måste extra elektroder appliceras i dessa utrymmen för att kunna spräcka upp oxidskikten på ett bra sätt.

Innan start av likriktare görs ett överslag av hur stor yta av komponenten som kommer att exponeras. För att undvika materialavverkning bör inte värdet 10 A/dm<sup>2</sup> överstigas. Innan likriktaren kopplas på ställs polvändningsautomatiken in, normala värden är 10 s anodiskt och 40 s katodiskt vilket körs i ett antal cykler beroende på hur operatören bedömer hårdhet och tjocklek i oxidskiktet. Cyklerna avslutas alltid med komponenten som anod för att undvika att få en rekontamination.

Efter elektrolytbehandlingen högtrycksspolas komponenten. Vanligtvis är oxidskiktet uppsprucket och lätt att avlägsna. Det är först då som operatören kan avgöra om resultatet är godkänt eller om en ytterligare behandling behöver göras. Ofta kan det vara små områden som inte är helt rena från oxider. Om det är tillåtet tas kvarvarande oxider bort med glasbläster.

## Rening av sedeconbad

När ytdosraten på utsida bad överstiger 1 mSv/h renas badet via en i kretsen inbyggd strålskärmad jonbytarmodul med två 10-litersbehållare. Den ena behållaren fylls med katjonbytare och den andra fylls med en anjon/katjon-blandbädd. Flödet genom jonbytarna är ca 300 l/tim. Innan rening måste badet svalna till under 50 °C för att inte skada jonbytaren. Rening sker normalt under natt eller när badet inte behöver användas. När ytdosraten på jonbytarna närmar sig 20 mSv/h dumpas dessa till ett sluförvarskolli i dekontverkstadens källare.

Efter rening kontrolleras badets koncentration. Vid behov doseras citronsyra och oxalsyra så att 1 % kemikaliekoncentration återställs.

Metoden används nästan uteslutande på komponenter från 300- och 400-system där man har tjocka oxidskikt med höga dosrater som behöver avlägsnas för kontroller och reparationer. Metoden har visat sig effektiv för att minimera dosraterna på dessa komponenter.

Arbetsmiljömässigt sker den mesta hanteringen av komponenten med travers. Det mest doskrävande arbetet är applicering av elektroder vilket dock utförs med komponenten nedsänkt i badet. Dosbelastningen till dekontpersonalen är fullt acceptabel.

Erfarenheten är att badet är mycket hållbart och behöver ytterst sällan dumpas utan kan efter rening rekonditioneras och återanvändas.

## Kemisk dekontamineringsmetod

Grundläggande information om metoden.

Namn	Alkaliskt avfettningsbad
Beskriver tabellen dekontaminering i bad eller Systemdekontaminering?	Bad
Ägare av processen/kemin Saluförs av	Chemetall AB Produktnamn: Gardoclean S 5171
Har processen flera steg? (Ja/Nej)	Nej
Är processen EI-dekont? Om så ange strömtäthet	Nej
Ingående kemikalier och koncentrationer (g/l) för varje ingående steg	Kalium/Natriumhydroxidlösning 10 g/l
Arbetstemperatur (°C)	20–60°C
pH	Mellan 12,2–13,2
Tid (h)	Erfarenhetsmässigt beroende på smutsighetsgrad, storlek och utseende.
Dekontamineringsfaktor (DF). Ange för olika material/komponenter	–
Materialavverknig för olika material	–
Beskriv utrustningen som används i aktuell anläggning. Tankar (volym, tillverkningsmaterial) Pumpar (kapacitet) Ventilation Mängd metall per batch Annan information	Badet består av en 2 m <sup>3</sup> rostfri tank med öppningsbart lock. Tanken är försedd med värmare, omrörare samt punktutsug. Komponenter som ska avfettas lastas i rostfri korg.
Har processen modifierats för användning i aktuell anläggning?	–
Speciella säkerhetsaspekter? T ex kemikalier (varma syror), gasbildning, avfallshantering	Lösningen är starkt alkalisk. Forcerad ventilation, handskar samt ögonskydd ska användas.
Används sedan år? Använd mellan år?	2012
På vilka material används metoden?	Alla stål men framförallt rostfria material
Hur ser avfallshanteringen ut? Reducering innan avfallshantering? Blanda båda stegen och avfallshanteras sedan? Fällning? Jonbytarmassa?	Badet renas genom rundpumpning till partikelfilter. Försök pågår för rening från aktivitet samt destruktion.
Avfallsmängd vid användning Per år eller batch eller vad som är applicerbart.	Beroende på användning. Uppskattningsvis ca 1 kg partiklar/år.
Vilken typbeskrivning används för deponering i SFR? Eller motsvarande i Finland.	Beroende på filtrets ytdosrat. O.23 (sopor och skrot kokill till SFR) O.60 (sopbal för markdeponi)
Erfarenheter – besvara frågor av typen: Metoden fungerar bäst på... Metoden fungerar acceptabelt på... Bör inte användas på... Man får problem om man... Vi slutade använda metoden för att... Om man kör för länge kan det hända att... Om man spiller på golvet... Alfanuklider kan ställa till problem... Rening av lösningen är lätt/svår om...	Metoden fungerar bäst på rostfria och svarta material. På andra material kan viss avverknig förekomma. En efterföljande sköljning är nödvändig för att få bort alla ev. rester av partiklar och kemikalier som kan vara kvar. Används främst för avfettning på komponenter som ska blåstras eller elektrolytbehandlas. Används även för rengöring av igensatta jonbytarfilter (stavfilter, tallriksfilter) Försök pågår med reningsmetod för aktivitet i jonform.
Annan information du ser som viktig för att använda eller inte använda metoden.	Ingen färdig lösning för rening/destruktion av uttjänt bad.

### 6.7.3 RAB

Här beskrivs de kemiska dekontmetoder som används på Ringhals. De är antingen syrabad eller traditionella kemikalier i kombination med handtorkning eller högtryckstvättning/spolning.

Namn	Kemisk dekontaminering
Beskriver tabellen dekontaminering i bad eller systemdekontaminering?	Dekontaminering i Bad
Ägare av processen/kemin	
Saluförs av	
Har processen flera steg? (Ja/Nej)	Ja
Är processen EI-dekont? Om så ange strömtäthet	Nej
Ingående kemikalier och koncentrationer (g/l) för varje ingående steg	2 g/l oxalsyra 2 g/l kaliumpermanganat
Arbetstemperatur (°C)	Ca. 70 °C
pH	1,8–2
Tid (h)	4 tim. per cykel. Cyklerna kan behöva upprepas.
Dekontamineringsfaktor (DF)	
Ange gärna för olika material/komponenter	
Materialavverkning för olika material	
Förbehandling/förtvättning	Komponent måste vara ren av olja och smuts. Avfettning och högtryckvattenrening rekommenderas före dekontaminering.
Beskriv processen: Hur körs processen? Packar man korgar och sänker ner i bad? Om flera steg lyfter man då korgen mellan baden? Hur vet man att badet inte är utarmat m.a.p. kemikalier? Hur regenereras kemin? Hur den används i aktuell anläggning? Hur/när/varför man väljer att använda just denna process?	Komponenten läggs i en korg och sänks ned i kalium-badet mha travers. Efter ca. 4 timmar lyfts korgen över till et sköljbad och sköljs i ca. 10 minuter för att sedan lyftas över till oxalsyra-badet. Före varje objekt kontrolleras pH-halten
Beskriv utrustningen som används i aktuell anläggning. tankar (volym, tillvekningsmaterial) pumpar (kapacitet) ventilation mängd metall per batch	Syrabad: 1 oxalsyra, 1 kaliumpermanganat, 1 sköljbad med 733-vatten volym av 3,8 m <sup>3</sup> per bad
Annan information	
Har processen modifierats för användning i aktuell anläggning?	Den ursprungliga TURCO-metoden är utbytt mot nuvarande metod med kaliumpermanganat och oxalsyra.
Speciella säkerhetsaspekter? T ex kemikalier (varma syror), gasbildning, avfallshantering	Ögonskydd, skyddshandske och skyddsförkläde måste användas.
Använd sedan år?	
Använd mellan år?	
Använd ggr per år?	
På vilka material/komponenter används metoden?	Rostfria stål Nickelbas legeringar Kromlegeringar Låglegerat stål Kolstål
Hur ser avfallshanteringen ut? Reducering innan avfallshantering Blanda båda stegen och avfallshanterar sedan? Fällning Jonbyttarmassa	När kaliumpermanganat reagerar med oxalsyra bildas brunsten i form av slam/klumpar. Förbrukade vätskor pumpas till en avfallstank och kontrolleras map halt av oxalsyra, pH och aktivitet. Innan vätskan kan pumpas vidare till avfallsbyggnaden måste oxalsyran vara nedbruten och pH måste vara ca 7.

Namn	Kemisk dekontaminering
Avfallsmängd vid användning Per år eller per batch eller vad som är applicerbart	
Vilken typbeskrivning används för deponering SFR? Eller motsvarande i Finland?	
Erfarenheter – besvara frågor av typen:	Metoden bör inte användas på aluminium, koppar och kopparlegeringar.
Metoden har fungerat bäst på...	
Metoden fungerar acceptabelt på...	
Bör inte användas på...	
Man får ofta problem om man...	
Vi slutade använda metoden för att...	
Om man kör för länge så kan det hända att...	
Om man spiller på golvet...	
Alfa nuklider kan ställa till problem om...	
Reningen av lösningen är lätt/svår om...	
Annan information du ser som viktig för att använda eller inte använda metoden	Effektiv metod för tjocka oxidskikt.

### 6.7.4 TVO

Här beskrivs kemiska dekontamineringsmetoder som används inom TVO. Valet av den metoden stöder sig på både tekniska krav och säkerhetskrav. Inom TVO används två kemiska metoder: elektrokemisk dekontaminering Eldecon och kemisk-mekanisk ultraljudsdekontaminering i syralösning. Vidare används även enkla metoder som avfettning med tvätt- och lösningsmedel. Tvätt- och lösningsmedlen kan också användas med avtorkning och högtrycksspolning. De här metoderna används också som förtvättning för de huvudsakliga dekontamineringsmetoderna.

#### ***El-kemisk dekontaminering***

Namn	El-kemisk dekontaminering
Beskriver tabellen dekontaminering i bad eller systemdekontaminering?	Bad dekontaminering
Ägare av processen/kemin Saluförs av	ELDECON/ ABB ATOM
Har processen flera steg? (Ja/Nej)	Nej
Är processen El-dekont? Om så ange strömtäthet	Ja Strömtäthet beror av yta (dm <sup>2</sup> ), elektroddistans, spänning och konduktivitet. < 20 A/dm <sup>2</sup> för tunna och lätt lösbara oxidskikt och komponenter med krävande toleranser eller kort elektroddistans (t ex hål eller fåror) 30–40 A/dm <sup>2</sup> för kolstål, verktygs- och snabbstål, låglegerat stål < 50 A/dm <sup>2</sup> för rostfria stål, kromrika legeringar, nickelbaslegeringar
Ingående kemikalier och koncentrationer (g/l) för varje ingående steg	Lösning av Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> eller NaOH Salthalt 5–8 vikt-%. Ses på pH- och konduktivitetmätningar. pH 5,5–7,0 pH-justering med H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> eller NaOH vid behov Lösningar för pH-justering: 84 ml H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> /1 (95 vikt-%) 665 g NaOH/1 (fast) Corrint 1035 för reduktion av krom vid behov
Arbetstemperatur (°C)	För rostfria stål, nickelbaslegeringar, kromlegeringar och låglegerat stål 40–60 °C För kolstål 25–45 °C
pH	5,5–7
Tid (h)	1–6 min, cyklisk växling mellan anod 20 s och anod 10 s. Anod avslutar alltid behandlingen. Tid beror av oxidskikt, strömtäthet och material.
Dekontamineringsfaktor (DF) Ange gärna för olika material/komponenter	

Namn	El-kemisk dekontaminering
Materialavverkning för olika material	Materialavverkning beror av strömtäthet, med strömtäthet 50 A/dm <sup>2</sup> avverkning är ca 1 µm/min.
Förbehandling/förtvättning	Komponent måste vara ren från olja och smuts. Avfettning och högtrycksspolning rekommenderas före el-dekontaminering. Härutöver rekommenderas ultraljud behandling i syralösning för komponenter med hög aktivitetsnivå för att minska dosen till personal.
Beskriv processen: Hur körs processen? Packar man korgar och sänker ner i bad? Om flera steg lyfter man då korgen mellan baden? Hur vet man att badet inte är utarmat m.a.p. kemikalier? Hur regenereras kemin? Hur den används i aktuell anläggning? Hur/när/varför man väljer att använda just denna process?	Dekontaminering genomförs antingen med anodisk eller med växlande anodisk/katodisk metod. Komponenten kopplas på anodskena (+) och motelektrod på katodskena (-). Lätta komponenter hängs upp direkt på anodskenan. Lyftanordning måste användas för tunga komponenter. Obs! lyftlinan måste vara isolerad. Komponent sänks ned under ytan i badet mellan 20 mm och 50 mm. Kontaktytan är viktig för strömledningen, klämmor bör användas. Stor kontaktyta och flera kontaktpunkter måste användas för stora komponenter. Kontakt mellan katod och komponent måste förhindras. Detta kan göras med isolerande plasthållare. Strömtäthet, växlingcykler och behandlingstid ställs på manöverbord. Strömmen kopplas automatiskt av när behandlingstiden är slut. Efter el-dekontamineringen sköljas komponenten med avjoniserat vatten och kromaterna i elektrolyten reduceras.
Beskriv utrustningen som används i aktuell anläggning. tankar (volym, tillverkningsmaterial) pumpar (kapacitet) ventilation mängd metall per batch Annan information	Elektrolytbad elektrolytvoly m 0,4 m <sup>3</sup> Anodskena Katodskena Värmare Manöverbord Skensystem och likriktare Klämmor och ledningar Sköljningsbad Cirkulationspump Tömningspump Sedimenteringsbassäng Dekanteringspump Arbetsplatsventilation Handelektroder Ventiler, rör och slangar
Har processen modifierats för användning i aktuell anläggning?	Nej
Speciella säkerhetsaspekter? T ex kemikalier (varma syror), gasbildning, avfallshantering	Gasbildning (vätgas, syrgas) Baser och syror tillsammans med andra irriterande och skadliga kemikalier. Kan ge hög dos speciellt vid applicering av handelektroder. Giftiga kromater i avfallsvattnet. Skyddsglasögon, skyddshandskar, skyddsförkläde och kemikaliebeständiga stövlar måste användas.
Använd sedan år? Använd mellan år? Använd ggr per år?	
På vilka material/komponenter används metoden?	Rostfria stål Nickelbaslegeringar Kromlegeringar Låglegerat stål Kolstål
Hur ser avfallshanteringen ut? Reducering innan avfallshantering Blanda båda stegen och avfallshandera sedan? Fällning Jonbytarmassa	Elektrolyten fälls i separat sedimenteringsbassäng, där fällningen sjunker i botten. Klarvätskan går tillbaka till elektrolytbadet och återanvändas. Utfällning tas omhand. Fällningen behandlas med vakuumdunstare och gjuts in i bitumen eller i betong.

Namn	EI-kemisk dekontaminering
Avfallsmängd vid användning Per år eller per batch eller vad som är applicerbart	10–40 l/batch
Vilken typbeskrivning används för deponering SFR? Eller motsvarande i Finland?	Bituminiserat avfall eller solidifierat avfall. Bituminiserat avfall deponeras i silo för medelaktivt avfall och solidifierat avfall i silo för lågaktivt avfall.
Erfarenheter – besvara frågor av typen: Metoden har fungerat bäst på... Metoden fungerar acceptabelt på... Bör inte användas på... Man får ofta problem om man... Vi slutade använda metoden för att... Om man kör för länge så kan det hända att... Om man spiller på golvet... Alfa nuklider kan ställa till problem om... Reningen av lösningen är lätt/svår om...	Metoden bör inte användas på aluminium, koppar och kopparlegeringar.
Annan information du ser som viktig för att använda eller inte använda metoden	Effektiv metod för tjockt oxidskikt. Storlek och proportioner av elektrolytbadet begränsar storleken av de komponenter som kan behandlas.

### Ultraljudsbehandling i syralösning

Namn	Ultraljudsbehandling i syralösning
Beskriver tabellen dekontaminering i bad eller systemdekontaminering?	Bad dekontaminering
Ägare av processen/kemin Saluförs av	–
Har processen flera steg? (Ja/Nej)	Nej
Är processen EI-dekont? Om så ange strömtäthet	Nej
Ingående kemikalier och koncentrationer (g/l) för varje ingående steg	10 g oxalsyra/l (fast) och 12,5 g citronsyra/l (fast) pH-justering till pH 2,5 med ammoniaklösning
Arbetstemperatur (°C)	60 °C
pH	2,3–2,6
Tid (h)	2–4 h
Dekontamineringsfaktor (DF)	Låg
Ange gärna för olika material/komponenter	
Materialavverkning för olika material	Försumbar
Förbehandling/förtvättning	Komponenten måste vara ren från olja och smuts. Avfettning och högtrycksspolning rekommenderas före ultraljudsbehandling i syralösning.
Beskriv processen: Hur körs processen? Packar man korgar och sänker ner i bad? Om flera steg lyfter man då korgen mellan baden? Hur vet man att badet inte är utarmat m.a.p. kemikalier? Hur regenereras kemin? Hur den används i aktuell anläggning? Hur/när/varför man väljer att använda just denna process?	Ultraljudsbadet värmas upp till behandlingstemperatur. Komponenten placeras i metallkorg och sänks ned i badet. Ultraljudsbehandlingen startar. När behandlingstiden är slut, stoppas ultraljudet och komponenten tas upp ur badet och sköljs med avjoniserat vatten.

Namn	Ultraljudsbehandling i syralösning
Beskriv utrustningen som används i aktuell anläggning. tankar (volym, tillverkningsmaterial) pumpar (kapacitet) ventilation mängd metall per batch	Ultraljudsbad med värmare – lösningsvolym på 0,2 m <sup>3</sup> Metallkorg Sköljningsstation Arbetsplatsventilation
Annan information	
Har processen modifierats för användning i aktuell anläggning?	
Speciella säkerhetsaspekter?	Varma syror
T ex kemikalier (varma syror), gasbildning, avfallshantering	Syror och baser vid avfallshantering
Använd sedan år?	
Använd mellan år?	
Använd ggr per år?	
På vilka material/komponenter används metoden?	Rostfria stål
Hur ser avfallshanteringen ut? Reducering innan avfallshantering Blanda båda stegen och avfallshandera sedan? Fällning Jonbytarmassa	Lösningen i badet byts om dosraten blir för hög eller när dekontamineringsresultaten försämras. Nedbrytning av oxalsyra och citronsyra med kaliumpermanganat vid låg pH (pH 0–1 nås med svavelsyra) därefter neutraliseras syralösningen med natriumhydroxid. Avfallslösning behandlas med vakuumindestare och gjuts in i bitumen eller i betong.
Avfallsmängd vid användning Per år eller per batch eller vad som är applicerbart	
Vilken typbeskrivning används för deponering SFR? Eller motsvarande i Finland?	Bituminiserat avfall eller solidifierat avfall. Bituminiserat avfall deponeras i silo för medelaktivt avfall och solidifierat avfall i silo för lågaktivt avfall.
Erfarenheter – besvara frågor av typen: Metoden har fungerat bäst på... Metoden fungerar acceptabelt på... Bör inte användas på... Man får ofta problem om man... Vi slutade använda metoden för att... Om man kör för länge så kan det hända att... Om man spiller på golvet... Alfa nuklider kan ställa till problem om... Reningen av lösningen är lätt/svår om...	Metoden bör inte användas på kolstål. Användas som en förbehandling/förtvättning före el-dekontaminering och före våtblästring med glaskulor.
Annan information du ser som viktig för att använda eller inte använda metoden	Effektivitet av den här metoden är låg.

### 6.7.5 Lovisa

I detta kapitel beskrivs den metod som används i Lovisa för kemisk dekontaminering av komponenter i dekontamineringsverkstaden. Detta är samma kemiska metod som användes vid fullsystemdekontamineringen 1994 på Lovisa 2 (avsnitt 7.2.4, FSD (Full System Dekontaminering) av Lovisa 2 1994).

I Lovisa har man haft samma kemiska dekontamineringsmetod sedan verken kördes igång 1977 och 1980. Metoden är en kemisk tvåstegsbehandling med ett basiskt steg och ett syrasteg (en mera exakt beskrivning finns i tabellen nedan). Kemikalierna blandas i tankar (33 m<sup>3</sup>) före årsrevisionen och från tankarna pumpas sedan kemikalierna till dekontamineringsverkstadens kemiska bad och till reaktorhallens ”brunn” där man gör förtvätten på primärkretsens huvudcirkulationspumpar. De använda kemikalierna pumpas sedan till speciella tankar (85 m<sup>3</sup>), som endast är avsedda för hantering av använda dekontkemikalier (en för basiska lösningar och en för sura lösningar).

## Kemisk dekontaminering

Namn	Kemisk dekontaminering
Beskriver tabellen dekontaminering i bad eller systemdekontaminering?	Dekontaminering i bad. Ingen systemdekontaminering utförs i Lovisa.
Ägare av processen/kemin Saluförs av	
Har processen flera steg? (Ja/Nej)	Ja, två steg. Bas- och syrabad
Är processen EI-dekont? Om så ange strömtäthet	Nej
Ingående kemikalier och koncentrationer (g/l) för varje ingående steg	Basbadet: Natriumhydroxid 5,0 % + Kaliumpermanganat > 0,5 % Syrabadet: Oxalsyra 1,2 %
Arbetstemperatur (°C)	80 °C
pH	Varierar under processen
Tid (h)	Ca 2 h/bad + sköljning samt för- och efterbehandling
Dekontamineringsfaktor (DF)	DF är i medel 10, men det kan variera.
Ange gärna för olika material/komponenter	Vissa komponenter kan ha DF på 100–200.
Materialavverknig för olika material	–
Beskriv processen: Hur körs processen? Packar man korgar och sänker ner i bad? Om flera steg lyfter man då korgen mellan baden? Hur vet man att badet inte är utarmat m.a.p. kemikalier? Hur regenereras kemin? Hur den används i aktuell anläggning? Hur/när/varför man väljer att använda just denna process?	<p>Processen är en tvåstegsdekontaminering, de olika stegen är:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Förtvätt – dvs kort och lätt manuell tvätt där fett och smuts avlägsnas</li> <li>2. Bastvätt – komponenten sänks ned i en blandning av 5 % NaOH + 0,5 % KMnO<sub>4</sub>. Tvättiden är ca 2 h, under tvätten hissa tvättkorgen upp och ner eller så cirkuleras lösningen med hjälp av omrörare.</li> <li>3. Mellansköljning – komponenterna spolas, vid behov kan också komponenten högtrycksspolas.</li> <li>4. Syratvätt – komponenten sänks ned en 1,2 % oxalsyralösning. Tvättiden är ca 2 h där korgen hissas upp och ner eller så cirkuleras lösningen med hjälp av omrörare</li> <li>5. Eftersköljning och avtorkning – komponenten spolas av igen och vid behov högtrycksspolas. Vid behov kan svåråtkomliga ställen gnuggas rent manuellt med varm oxalsyralösning och sedan sköljas.</li> <li>6. Efterbehandling – komponenten torkas av med tryckluft och behandlas vid behov med Industol PE2*</li> </ol> <p>Kemikalierna regenereras inte. När aktiviteten blir för hög, töms tankarna och ny lösning pumpas i.</p> <p>Processen används främst under revisionen för att dekontaminera primärkrets pumparnas olika delar. Metoden används också för vissa andra rostfria delar.</p> <p>Alla komponenter mäts både före och efter dekontamineringen.</p>
Beskriv utrustningen som används i aktuell anläggning. tankar (volym, tillverkningsmaterial) pumpar (kapacitet) ventilation mängd metall per batch Annan information	<p>På kemiska sidan har vi totalt 3 olika storleks bad (totalt 6 bad, 3 för syra och 3 för bas). Alla har samma kemikalieblandning:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– 2×4 m<sup>3</sup> (rektangelformat)</li> <li>– 2×1,5 m<sup>3</sup> (cylinderformat)</li> <li>– 2×80 liter (små bad)</li> </ul> <p>Tankarna är tillverkade av Finnsonic och materialet är rostfritt stål. Inga pumpar finns, endast de med vilka man fyller tankarna med. Normal ventilation i rummet + varje tank har egen filterenhet som hanterar eventuella ångor. I de största tankarna kan vi ha max. 1 000 kg. I cylindertankarna kan vi dekontaminera tyngre komponenter, t ex primärkrets pumpens lock ca 2 200 kg. Tankarna värms upp med hjälp av värmeelement.</p> <p>De rektangelformade tankarna har korgar som kan hissas upp och ner. Cylindertankarna har inte denna möjlighet, där cirkulerar kemikalilösningen med hjälp av en motor och omrörare.</p> <p>Alla tankar styrs av egna kontrollpaneler.</p> <p>Det finns ingen jonbytarmassa eller annan rening av tankarna. När aktiviteten blir för hög, töms tankarna och fylls sedan på med ny lösning.</p>
Har processen modifierats för användning i aktuell anläggning?	Tankarna är specialbeställda från Finnsonic, ingen annan modifiering gjord.
Speciella säkerhetsaspekter? T ex kemikalier (varma syror), gasbildning, avfallshantering	Vid hantering av heta kemikalier är skyddsutrustning obligatorisk. Kemikaliesäker skyddsoverall, andningsmask, långskaftade skyddshandskar och gummistövlar.



Namn	Kemisk dekontaminering
Använd sedan år? Använd mellan år?	De första kemikalietankarna införskaffades år 1979. Nya tankar införskaffade 2009 vid ombyggnaden av dekontamineringsutrymmena.
Använd ggr per år?	De stora tankarna används endast under revisionen, en gång per år, under en 2–3 månaders period. De små tankarna används ca 10 ggr/år.
På vilka material/komponenter används metoden?	Rostfritt
Hur ser avfallshanteringen ut? Reducering innan avfallshantering Blanda båda stegen och avfallshantera sedan? Fällning Jonbytarmassa	När tankarna töms, omhändertas avfallet enligt anläggningens egna rutiner
Avfallsmängd vid användning Per år eller per batch eller vad som är applicerbart	Avfallsmängden per batch är: $2 \times 3 \text{ m}^3 + 2 \times 1,5 \text{ m}^3$ , totalt $9 \text{ m}^3$ .
Vilken typbeskrivning används för deponering SFR? Eller motsvarande i Finland?	
Erfarenheter – besvara frågor av typen: Metoden har fungerat bäst på... Metoden fungerar acceptabelt på... Bör inte användas på... Man får ofta problem om man... Vi slutade använda metoden för att... Om man kör för länge så kan det hända att... Om man spiller på golvet... Alfa nuklider kan ställa till problem om... Reningen av lösningen är lätt/svår om...	Används endast på rostfritt stål.
Annan information du ser som viktig för att använda eller inte använda metoden	

\* Blandning av aceton och metylisobutylketon.



*Figur 6-11. Pumpdelar före kemisk dekontaminering*



Figur 6-12. Pumpdelar efter kemisk dekontaminering.

### 6.7.6 SVAFO

I SVAFO:s anläggningar används idag inga metoder för kemisk dekontaminering för återanvändning av komponenter då anläggningen är under avveckling.

### 6.7.7 WSE

I detta avsnitt beskrivs de kemiska dekontamineringsmetoder som WSE genomför för komponentdekontamineringar. I nästa avsnitt beskrivs en motsvarande variant av metoder som används för systemdekontaminering.

Tabell 6-4. Sammanfattning av WSE dekontamineringsprojekt 2004–2014.

Process	Dekontaminerat system	Antal projekt	Antal steg	DF (medelvärde)	DF-spann
NITROX-E	Reaktorkylpumpar	17	multipla	39	11–63
NITROX-E	Komponenter	2	1-steg	10,5	7–12
NITROX-E	Komponenter	25	multipla	30,6	7–66
LOMI-NP	Reaktorrör	17	multipla	19,1	6–51
CITROX	Delsystem	21	1-steg	12,5	5–48
CITROX	Delsystem	8	multipla	15,9	6–45

### NITROX-E

NITROX-E används främst för dekontaminering av reaktorkylpumpar eller pumpkomponenter inför underhållsarbeten. NITROX-E används också i vissa fall då avfall innehållande komplexbildare kan anses som ett problem. Figurerna 6-13 och 6-14 nedan visar en pumpkomponent före och efter pumpdekontaminering med NITROX-E.



*Figur 6-13. Före pumpdekontaminering.*



*Figur 6-14. Efter pumpdekontaminering med NITROX-E.*

## NITROX-E komponentdekontaminering

Namn	Kemisk dekontaminering
Beskriver tabellen dekontaminering i bad eller systemdekontaminering?	NITROX-E för komponentdekontaminering
Ägare av processen/kemin	PNS
Saluförs av	Westinghouse Electric Company
Har processen flera steg? (Ja/Nej)	Ja
Är processen EI-dekont? Om så ange strömtäthet	Nej
Ingående kemikalier och koncentrationer (g/l) för varje ingående steg	Reducerande steg – oxalsyra 0,25–1,5 g/l Oxiderande steg – permangansyra 0,1–0,75 g/l, salpetersyra 0,1 to 0,3 ml/l
Arbetstemperatur (°C)	För rostfritt stål, nickellegeringar, kromlegeringar, låglegerat stål: 85–95 ° C För kolstål: 75–95 ° C
pH	2,0–3,0
Tid (h)	NITROX-E (oxiderande och reducerande steg) 8–14 h per cykel
Dekontamineringsfaktor (DF) Ange gärna för olika material/komponenter	För rostfritt stål, nickellegeringar, kromlegeringar, låglegerat stål: DF 15 till > 100 För kolstål: DF 10 till 25
Materialavverknig för olika material	För rostfritt stål, nickellegeringar, kromlegeringar, låglegerat stål: 0,01 till 0,1 µm/steg För kolstål: 1 till 5 µm/steg
Förbehandling/förtvättning	Reaktorkylpumparnas pumphjul dekontamineras initialt monterade för att reducera stråldos. Därefter tas de isär och dekontamineras igen innan reparation och återmontering.
Beskriv processen: Hur körs processen Packar man korgar och sänker ner i bad? Om flera steg lyfter man då korgen mellan baden? Hur vet man att badet inte är utarmat m.a.p. kemikalier? Hur regenereras kemin? Hur den används i aktuell anläggning? Hur/när/varför man väljer att använda just denna process?	NITROX-E består av cyklisk tillämpning av oxiderande och reducerande kemi genom olika steg med olika dekontamineringsvätskor för att lösa upp deponerad och inväxt oxidfilm Det oxiderande steget tillämpas vanligtvis först i processen. Den oxiderande dekontamineringsvätskan som används i NITROX-E är vanligtvis en utspädd lösning av permangansyra (0,5 g/l) som doseras vid lågt pH (pH 2,5 med små mängder salpetersyra). Den reducerande dekontamineringsvätskan i NITROX-E är en utspädd lösning av oxalsyra (0,5–1,0 g/l). Oxalsyra verkar både som reduktionsmedel och som komplexbildare. NITROX-E-processen tillämpas vid ~90 °C. En cykel i NITROX-E-processen består av ett steg med permangansyra, ett steg med nedbrytning av permangansyra, ett steg med oxalsyra och ett steg med nedbrytning av oxalsyra. Vid slutförandet av det sista steget innehåller dekontamineringsvätskan endast salpetersyra (< 0,005 M). Vid denna fas i processen kan antingen dekontamineringen avslutas eller så kan mer kaliumpermanganat tillsättas för att påbörja en ytterligare dekontamineringscykel. Steget med permangansyra pågår 2–4 timmar, medan steget med oxalsyra pågår 4–8 timmar. Varje nedbrytningssteg pågår ca 1 timme, så varje NITROX-E cykel kräver totalt ca 8–14 timmar.
Beskriv utrustningen som används i aktuell anläggning. tankar (volym, tillverkningsmaterial) pumpar (kapacitet) ventilation mängd metall per batch Annan information	En specialdesignad tank med ett vridbord som håller pumpen på plats. Pumpen roterar sakta under dekontamineringen. En modul (rammonterad supportutrustning) med en processpump med en pumpmotor kopplad till en VSD (Variable Speed Drive). Modulen innehåller också ventiler samt tryckmätare kopplade på sug- respektive utmatningssidan. En separat elektrisk panel tillhandahåller anslutningar för 400 VAC effekt. Instrumenteringen inkluderar temperatur, tryck och flöde. En konformig sil är installerad vid inloppet till pumpen. Modulen innehåller också en värmare för att upphetta dekontamineringsvätskan. Jonbyttarkolonerna är separata moduler så att de kan monteras avskärmat från operatören. Utrustningen sätts upp med pneumatiska ventiler och datorbaserade kontrollsystem.

Namn	Kemisk dekontaminering
Speciella säkerhetsaspekter? T ex kemikalier (varma syror), gasbildning, avfallshantering	Kemikalierna som används är utspädda (låg koncentration), men normala försiktighetsåtgärder bör beaktas vid hantering. Under processen kommer nedbrytningsreagensen att bilda vätgas, syrgas och koldioxid. Dessa gaser ventileras bort från utrustningen och kan hanteras genom anläggningens vanliga ventilation. Huvuddelen av de radioaktiva isotoperna kommer att fastna i katjonbytarmassan. Kärlet kommer att skärmas för att minska stråldosexponeringen.
Använd sedan år? Använd mellan år?	Pumpdekontamineringar har genomförts med NITROX-E i över 25 år.
Använd ggr per år?	Metoden används vanligen 1–2 per år.
På vilka material/komponenter används metoden?	Processen är kompatibel med: Rostfria stål Nickelbaslegeringar Kromlegeringar Låglegerat stål
Hur ser avfallshanteringen ut? Reducering innan avfallshantering Blanda båda stegen och avfallshandera sedan? Fällning Jonbytarmassa	Lösta metaller, radioaktivitet och kemikalier tas om hand av jonbytare. Jonbytarmassorna hanteras och slutförvaras i enlighet med nationella lagar och regler.
Avfallsmängd vid användning Per år eller per batch eller vad som är applicerbart	100–250 liter jonbytarmassa per pumpdekontaminering
Erfarenheter – besvara frågor av typen: Metoden har fungerat bäst på... Metoden fungerar acceptabelt på... Bör inte användas på... Man får ofta problem om man... Vi slutade använda metoden för att... Om man kör för länge så kan det hända att... Om man spiller på golvet... Alfa nuklider kan ställa till problem om... Reningen av lösningen är lätt/svår om...	Denna process har använts för att minska dosrater på reaktorkylpumparnas interna delar. En initial dekontaminering kombinerad med en andra dekontaminering efter att pumpen har demonterats, ger typiska dekontamineringsfaktorer (DF) på 40.

## Projektbeskrivning

NITROX-E dekontamineringsprocess är en cyklisk process med omväxlande oxiderande och reducerande steg. Processen upprepas tills den önskade dekontamineringsgraden uppnåtts. Det reducerande steget är mer effektivt vad gäller järn- och nickeloxider och det oxiderande steget är mer effektivt vad gäller kromoxider.

En specialdesignad tank med ett vridbord som håller pumpen på plats används. Pumpen roterar sakta under dekontamineringen. Dekontamineringsvätskorna sprutas på reaktorkylpumpen med strålrör och sedan återcirkuleras vätskorna under den fortsatta processen.

Pumpen kan demonteras från sina fästpunkter och dekontamineras ytterligare innan underhåll och återmontering. Utöver tanken kommer dekontamineringen genomföras genom användning av en modul (rammonterad supportutrustning). Modulen har en processpump med en pumpmotor kopplad till en VSD (Variable Speed Drive). Modulen innehåller också ventiler samt tryckmätare kopplade på sug- respektive utmatningssidan. En separat elektrisk panel tillhandahåller anslutningar för 400 VAC-effekt. Instrumenteringen inkluderar temperatur, tryck och flöde. En konformig sil är installerad vid inloppet till pumpen. Modulen innehåller också en värmare för att värma dekontamineringsvätskan. Utrustningen sätts upp med pneumatiska ventiler och ett datorbaserat kontrollsystem för ytterligare dosminimering.

En provbehållare inklusive provkylare är monterad på modulen. Prov BIX (before ion exchange) och AIX (after ion exchange) kommer att tas härifrån. En pneumatisk membranpump med sug- och tryckanslutningar är kopplad till modulen så man kan använda pumpen som överflyttings- eller dräneringspump. Modulen innehåller också en processmätsystemsutrustning med metallbrickor för korrosionstest och innehåller också ett filter, tryck- och temperaturgivare samt ventiler.

Modulen innehållande blandningstank för kemikalier används för dosering av kemikalier, men kan också användas för att hålla trycket i systemet och för att hålla vätskenivån genom ”feed-and-bleed”. Jonbytarkolonnerna är designade så att de kan installeras separat från dekontamineringsutrustningen för att minimera stråldosexponeringen. Toppen av varje jonbytarkolonn har pneumatiskt styrda ventiler för fjärrstyrning. Dekontamineringsmodulerna och systemet som ska dekontamineras är sammankopplade med högtrycksslangar som spirallindas för att undvika slangkollaps.

När systemet värms upp, tillsätts dekontamineringskemikalierna till dekontamineringsutrustningens blandningstank. När rätt temperatur uppnåtts doseras de koncentrerade dekontamineringskemikalierna till dekontamineringsystemet, vilket utgör starten på dekontamineringen. Dekontamineringsvätskan provtas var 30:e till var 60:e minut och analyseras med avseende på metaller, koncentration av radionuklider och andra kemiparametrar. När effektiviteten hos dekontamineringsvätskan har planat ut, avslutas dekontamineringen. Inför det reducerande steget tillsätts oxalsyra för att bryta ned återstående permanganat och manganoxid. Denna lösning passerar sedan genom katjonbytarkolonn för att avlägsna metaller, radionuklider och för att återställa oxalysran. När vätskan passerar jonbytarkolonnen, provtas lösningen både innan inloppet till kolonnen och efter jonbytarkolonnen. Skillnaden i lösta metaller och koncentration radionuklider tillsammans med systemets flödes hastighet används därefter för att uppskatta mängden material som ansamlats i jonbyterna.

I början av nästa oxiderande steg är jonbytarkolonnernas ventiler öppna för utflöde, och tillräcklig mängd permangansyra tillsätts för att bryta ned återstående oxalsyra och på så sätt påbörja det oxiderande steget. I slutet på denna process mäts halten av oxalsyra. Nödvändig mängd permangansyra tillsätts för att bryta ned oxalysran till nivåer under vår detektionsgräns. Både anjonbytarkolonner och katjonbytarkolonner används för att avlägsna lösta metaller och kemikalier. Flödet genom kolonnerna upprätthålls under en längre tid för att försäkra sig om att alla blindledningar spolats rena. Detta leder också till att vattenkvaliteten återställs till acceptabla nivåer. Systemet är därefter redo att kylas ned och tömmas. Vid slutförandet av processen kopplas dekontamineringsutrustningen ur systemet. Jonbytmassan töms från kolonnerna till avfallstankar. Kolonnerna och resterande dekontamineringsutrustning packas för sig

Under perioden då systemet fylls med vatten och värms till arbetstemperatur, genomförs dosratsmätningar (både ytdosrater och generella rumsdosrater).

Ytdosrater mäts med en skärmad prob och dospunkterna märks så att dosmätningar kan genomföras vid samma punkt efter dekontamineringen. Dosmätning ska ske vid de mätpunkter på rören som visar högsta dosnivåerna, men undvika ”hotspots” och rör där det flödar processmedia. Mätningar ska ske på sidan eller botten av de horisontella rören och inte på toppen. Dosmätningar efter dekontamineringen genomförs under processens reningsfas.

En dekontamineringsfaktor (DF) beräknas genom att dividera dosratmätningen innan dekontamineringen med dosratmätningen efter dekontamineringen – vid en och samma dosmätpunkt. Ett medelvärde för DF tas fram genom att summera alla DF från respektive ytdosratsmätningar och dividera med antal mätpunkter. Medelvärdet för DF för generell area beräknas på motsvarande sätt.

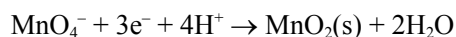
## **Metodbeskrivning**

NITROX-E består av cyklisk tillämpning av oxiderande och reducerande kemi genom olika steg med olika dekontamineringsvätskor för att lösa upp deponerad och inväxt oxidfilm. Oxidfilmen innehåller radionuklider som resulterar i förhöjd stråldos i systemet. NITROX-E processen har visat sig effektiv för att lösa upp de flesta typerna av oxidfilm på rostfritt stål.

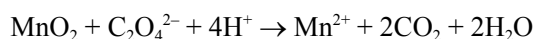


Det oxiderande steget tillämpas vanligtvis först i processen. Den oxiderande dekontamineringsvätskan som används i NITROX-E är vanligtvis en utspädd lösning av permangansyra (0,5 g/l) som doseras vid lågt pH (pH 2,5 med små mängder salpetersyra). Permangansyran löser kromoxider effektivt såsom kromoxid, Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, och järnkromit, FeCr<sub>2</sub>O<sub>4</sub>. Den reducerande dekontamineringsvätskan i NITROX-E är en utspädd lösning av oxalsyra (0,5–1,0 g/l). Oxalsyra verkar både som reduktionsmedel och som komplexbildare för att åstadkomma en reduktiv upplösning av järninnehållande oxider, såsom hematit, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, magnetit, Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> och nickelferrit, NiFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>.

NITROX-E-processen tillämpas vid ~90 °C. Steget med permangansyra genomförs utan att ha jonbytarna on-line. När steget med permangansyra fortskrider bildas fast manganoxid (MnO<sub>2</sub>) som reaktionsprodukt från reduktionen av permanganat:

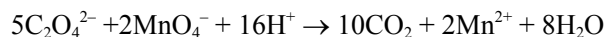


Vid slutfasen av steget med permangansyra tillsätts överskott av oxalsyra för att reducera MnO<sub>2</sub> och återstående MnO<sub>4</sub><sup>-</sup> till Mn<sup>2+</sup>:



Oxalsyra tillsätts i en mängd tillräcklig för att både destruera MnO<sub>2</sub> och MnO<sub>4</sub><sup>-</sup> samt för att initiera det efterföljande steget med oxalsyra.

Oxalsyrafasen tillämpas i ett regenerativt läge genom att kontinuerligt låta vätskan passera genom en katjonbytarkolonn för att avlägsna lösta metaller/aktivitet och för att regenerera oxalsyran. Genom att tillämpa detta förfarande minskas kemikaliebehovet, man håller strålnivåerna låga, minskar korrosion från dekontamineringsvätskan, minskar risken för utfällning av metalloxalater, minskar avfallsmängderna samt minskar bildningen av koldioxid under nedbrytningsfasen av processen. I slutfasen av steget med oxalsyra tillsätts en stökiometrisk mängd permanganat för att oxidera den återstående oxalaten till koldioxid (CO<sub>2</sub>):



Katjonbyteskolonnerna förblir on-line under nedbrytningsfasen för att avlägsna Mn<sup>2+</sup>- och K<sup>+</sup>-joner, och för att generera de nödvändiga H<sup>+</sup>-jonerna för att reaktionen ska bli fullständig. När nedbrytningen av oxalsyran är fullständig tas katjonbyteskolonnen off-line och ytterligare permanganat tillsätts för att påbörja nästa NP-steg.

En cykel i NITROX-E-processen består av ett steg med permangansyra, ett steg med nedbrytning av permangansyra, ett steg med oxalsyra och ett steg med nedbrytning av oxalsyra. Vid slutförandet av det sista steget innehåller dekontamineringsvätskan endast salpetersyra (< 0,005 M). Vid denna fas i processen kan antingen dekontamineringen avslutas eller så kan mer kaliumpermanganat tillsättas för att påbörja en ytterligare dekontamineringscykel. Steget med permangansyra pågår 2–4 timmar, medan steget med oxalsyra pågår 4–8 timmar. Varje nedbrytningssteg pågår ca 1 timme, så varje NITROX-E-cykel kräver totalt 8–14 timmar.

## 6.8 Systemdekontaminering

### 6.8.1 FKA

FKA har vid tre tillfällen utfört kemisk systemdekontaminering. Två gånger på F3 (2001 och 2011) och en gång på F2 (2012). Vid alla tre tillfällen använde man sig av CORD/UV-metoden. Leverantör har varit AREVA med assistans av personal från OKG. Dekontamineringsutrustningen (AMDA) hyrdes från OKG. Mer detaljerad beskrivning om dekontaminering ges finns i avsnitt 7.2.3.

## 6.8.2 OKG

### CORD-UV™

Namn	CORD-UV™
Beskriver tabellen dekontaminering i bad eller systemdekontaminering?	Systemdekontaminering
Ägare av processen/kemin Saluförs av	AREVA GmbH
Har processen flera steg? (Ja/Nej)	Ja, cyklisk process
Är processen EI-dekont? Om så ange strömtäthet	Nej
Ingående kemikalier och koncentrationer (g/l) för varje ingående steg	Permangansyra 300 ppm Oxalsyra 2 000 ppm Väteperoxid 19 %
Arbetstemperatur (°C)	95 °C
pH	Mellan 2 och 3
Tid (h)	Ca 24–30 h per cykel. Normalt behövs 3 cykler
Dekontamineringsfaktor (DF). Ange för olika material/komponenter	> 10
Materialavverkning för olika material	–
Beskriv utrustningen som används i aktuell anläggning. tankar (volym, tillverkningsmaterial) pumpar (kapacitet) ventilation mängd metall per batch Annan information	AMDA (Automated Modular Decontamination Appliance) är tillverkad av rostfritt stål och består av följande delar: – Tryckhållningstank (ca 1 m <sup>3</sup> ) – Huvudcirkulationspump (max 6 bar) – Genomflödesvärmare 2 (600 kW tot) – Kemikaliedosermodul – Mätbrygga (pH, redoxpot., cps) – Hjälppump – Jonbytarkolonner, 2 st (250 l vardera) – Ventilmodul till jonbytarna – UV-modul – Påsfilter – Kontrollpaneler – Processdator – Diverse smådelar såsom ventiler, rörböjar, T-stycken osv
Har processen modifierats för användning i aktuell anläggning?	Varje systemdekont är unik för just den anläggning den utförs på. Eventuella modifikationer av processen tas fram för varje applikation
Speciella säkerhetsaspekter? T ex kemikalier (varma syror), gasbildning, avfallshantering	Processen innebär hantering av varma och aktiva slangar och syror, vilka är huvudriskerna. Riskvärdering tas fram för varje applikation.
Används sedan år? Använd mellan år?	CORD-processen har använts sedan början av 90-talet i Sverige och Finland.
På vilka material används metoden?	Rostfritt stål
Hur ser avfallshanteringen ut? Reducering innan avfallshantering? Blanda båda stegen och avfallshandera sedan? Fällning? Jonbytarmassa?	Avfallet består av kornformig jonbytarmassa där de radioaktiva nukliderna har fångats upp, samt den renade lösningen. Allt avfall tas omhand enligt anläggningens egna rutiner för dessa typer av avfall
Avfallsmängd vid användning Per år eller batch eller vad som är applicerbart	Vid varje applikation genereras ca 400–2 500 l kornformig jonbytarmassa. Vattenvolymen kan uppgå till ca 10–25 m <sup>3</sup>
Vilken typbeskrivning används för deponering i SFR? Eller motsvarande i Finland.	O.02 Betongkill innehållande kornformig jonbytarmassa



Namn	CORD-UV™
Erfarenheter – besvara frågor av typen: Metoden fungerar bäst på... Metoden fungerar acceptabelt på... Bör inte användas på... Man får problem om man... Vi slutade använda metoden för att... Om man kör för länge kan det hända att... Om man spiller på golvet... Alfanuklider kan ställa till problem... Rening av lösningen är lätt/svår om...	Metoden fungerar bäst på rostfria material. På andra material kan viss avverkning förekomma. Det är viktigt att slutföra varje dekontcykel och inte avbryta i förtid, eftersom de lösgjorda oxiderna då kan stanna kvar i systemet. En efterföljande sköljning är nödvändig för att få bort alla eventuella rester av partiklar och oxider som kan vara kvar. Spill på golvet bör torkas upp omgående då det kan innehålla syror och aktivitet.
Annan information du ser som viktig för att använda eller inte använda metoden.	Denna metod genererar minimalt med sekundäravfall och är mycket effektiv

## Allmänt

AMDA har varit i OKGs ägo sedan juli 1996 och över 20 systemdekontamineringar har utförts med denna utrustning. Dessförinnan användes den s k MODU-utrustningen för samma ändamål. Under åren har också en stor mängd tillbehör köpts och tillverkats för att kunna utföra dekontamineringar på primärsystem.

Systemdekontaminering är, som namnet antyder, en dekontaminering av system eller delar av system. Det går ut på att man pumpar runt olika dekontamineringsvätskor i systemet under förhöjd temperatur.

Till detta använder man en dekontutrustning, som i stora drag består av en kraftfull pump, ett par genomflödesvärmare, en doseringsmodul för kemikalier, samt för avfallshanteringen, en UV-modul och två jonbytare. Det tillkommer även kontrollutrustning i form av vanliga kontrollpaneler samt en dator.

## Utförande

En systemdekontaminering går till på följande sätt. Man kopplar upp sig mot systemet på lämpligt sätt, så att vätskan kan pumpas runt med högt flöde. Därefter fyller man med 733-vatten (avjoniserat vatten) och värmer till 95 °C.

Första steget är ett dekontamineringssteg. Man doserar oxalsyra för att skölja bort de oxider som sitter löst eller relativt löst i systemet. Därefter följer ett oxidationssteg. Man doserar permangansyra för att oxidera upp det hårt sittande oxider som inte följde med ut i första steget. Oxidationen innebär att oxiderna luckras upp och kan sköljas ut då doseras oxalsyra igen. Första dekontcykeln består alltid av endast oxalsyra. De följande cyklerna består av ett permangansyrasteg och ett oxalsyrasteg. Efter varje cykel sker behandling av sekundäravfall. Eftersom all aktivitet åker runt i lösningen i partikulär och jonogen form, behöver man rena vattnet mellan varje cykel på jonbytare. För att detta ska kunna ske på ett tillfredsställande sätt måste man först bryta ner de rester av oxalsyra som finns kvar efter dekontamineringssteget, annars bildar dessa komplex med vissa metaller och då fastnar inte dessa på jonbytaren.

Nedbrytning av oxalater sker med hjälp av väteperoxid och UV-ljus via en UV-panna. Det slutliga reningssteget går till på samma sätt. Under hela dekonten använder endast en volym vatten som sedan släpps ut.

Nedanstående beskriver huvudkomponenterna av systemdekontutrustningen AMDA. Dess mått och vikt samt funktion och strömförsörjningsbehov beskrivs.

## Huvudkomponenter

### Tryckhållningstank

Systembeteckning 347 A2

Volym 1 m<sup>3</sup>

l×b×h (mm) 1 410×1 410×4 160

Vikt 950 kg

Används för att bibehålla trycket i dekontamineringskretsen.

All dosering av kemikalier sker till denna.



### Huvudcirkulationspump

Systembeteckning 347 A3

l×b×h (mm) 2 280×1 495×1 170

Vikt 1 700 kg

Strömförsörjning 160A/400V Hard Wire

Upprätthåller cirkulationen av dekontamineringsvätskan



### Kemikaliedosermodul

Systembeteckning 347 A4

l×b×h (mm) 1 000×1 080×1 800

Vikt 480 kg

Strömförsörjning 32A/400V CEE

Tanken är försedd med omrörare och värmarelement.

Modulen har två pumpar: en för dosering av tillredda kemikalier och en för dosering av väteperoxid.



### 600 kW Värmarpaket

Systembeteckning 347 A5

l×b×h (mm) 1 900×1 530×1 900

Vikt 1 250 kg

Strömförsörjning 1 100 A/400 V

Hard wired

Detta är en sk genomströmningsvärmare som har till uppgift att dels värma dekontvätskan samt hålla dess temperatur vid 95 °C. Varje värmarpaket är på 300 MW, vilket ger en totaleffekt på 600 MW.



### **Mätbrygga**

Systembeteckning 347 A6

l×b×h (mm) 1 370×600×800

Vikt 150 kg

Mäter pH, redoxpotential, cps samt flöde kontinuerligt under körning.

Mätningen sker i det snedställda röret.

Elektroden sitter i speciella hållare då det inte körs.



### **Ventilmodul till jonbytare**

Systembeteckning 347 A 7

l×b×h (mm) 800×800×1 370

Vikt 180 kg

Denna modul möjliggör olika manövrer såsom beläggning och backspolning av jonbytarna, sköljning av dem osv.



### **Jonbytarkolonner**

Systembeteckning 347 A8 och A9

Volym 1 00l

l×b×h (mm) 550×520×1 370

Vikt 200 kg (tomma, utan blyskydd)

För sekundäravfallshantering. Beläggs med kat- och anjonmassa, granulär.



### **Hjälpump**

Systembeteckning 347 A10

l×b×h (mm) 1 370×500×690

Vikt 200 kg

Strömförsörjning 64A/400V CEE

Pumpar ett delflöde genom jonbytarkolonnerna.



### Kontrollpanel och Dator

Systembeteckning 347 KZD 99 och KZD 100

Kontrollpanel (KDZ 99):

l×b×h (mm) 810×610×1 995

Vikt 290 kg

Dator (KDZ 100):

l×b×h (mm) 446×483×177

Power supply (UPS):

l×b×h (mm) 446×483×87

Vikt tot 30 kg

Styrning av dekontamineringsprocessen

Förvaringskabinett för

Processtyrningskomponenterna

- UPS
- Dator
- 2 monitorer
- Tangentbord
- Mus
- Kablage



### UV-modul

l×b×h (mm) 1 400×1 700×1 900

Vikt 1 200 kg

Strömförsörjning 125A/3×400VAC/50 Hz

Oxalsyranedbrytning.



### Dränagemodul

l×b×h (mm) 900×500×760

Vikt 140 kg

Att slutdränera AMDA.



### 6.8.3 RAB

Se information angående beskrivning av använd metod i OKG avsnitt 6.8.2 samt erfarenhet under avsnitt 7.2.1.

### 6.8.4 TVO

Ingen systemdekontaminering har hittills genomförts på TVO.

### 6.8.5 Lovisa

I Lovisa har man endast utfört en fullsystemdekontaminering (FSD) sedan start, denna gjordes år 1994 på LO2 vilken var den första tryckvattenreaktor i världen som utförde en FSD. Mer detaljerad beskrivning om dekontamineringen finns i avsnitt 7.2.4, FSD (Full System Dekontaminering) av Lovisa 2 1994.

Det finns inga planer på att utföra flera systemdekontamineringar i Lovisa.

### 6.8.6 SVAFO

SVAFO har inga speciella metoder för systemdekontaminering av system som ska tas i drift då anläggningen är under avveckling.

### 6.8.7 WSE

#### ***NITROX-E systemdekontaminering och dekontaminering av delsystem***

Namn	Kemisk dekontaminering
Beskriver tabellen dekontaminering i bad eller systemdekontaminering?	NITROX-E för systemdekontaminering och dekontaminering av delsystem
Ägare av processen/kemin	PNS
Saluförs av	Westinghouse Electric Company
Har processen flera steg? (Ja/Nej)	Ja
Är processen EI-dekont? Om så ange strömtäthet	Nej
Ingående kemikalier och koncentrationer (g/l) för varje ingående steg	Reducerande steg – oxalsyra 0,25–1,0 g/l Oxiderande steg – permangansyra 0,1–1,0 g/l salpetersyra 0,1 till 0,3 ml/l
Arbetstemperatur (°C)	För rostfritt stål, nickellegeringar, kromlegeringar, låglegerat stål: 85–95 °C För kolstål: 75–95 °C
pH	2,0–3,0
Tid (h)	NITROX-E (oxiderande och reducerande steg) 8–14 h per cykel. Typisk applikation innehåller 3–5 cykler.
Dekontamineringsfaktor (DF) Ange gärna för olika material/komponenter	För rostfritt stål, nickellegeringar, kromlegeringar, låglegerat stål: DF 15 till > 100 För kolstål: DF 10 till 25
Materialavverknig för olika material	För rostfritt stål, nickellegeringar, kromlegeringar, låglegerat stål: 0,01 till 0,1 µm/steg För kolstål: 1 till 5 µm /steg
Förbehandling/förtvättning	
Beskriv processen: Hur körs processen? Packar man korgar och sänker ner i bad? Om flera steg lyfter man då korgen mellan baden? Hur vet man att badet inte är utarmat m.a.p. kemikalier? Hur regenereras kemin? Hur den används i aktuell anläggning? Hur/när/varför man väljer att använda just denna process?	NITROX-E består av cyklisk tillämpning av oxiderande och reducerande kemi. Det oxiderande steget tillämpas vanligtvis först i processen.

Namn	Kemisk dekontaminering
Beskriv utrustningen som används i aktuell anläggning. tankar (volym, tillverkningsmaterial) pumpar (kapacitet) ventilation mängd metall per batch Annan information	Se LOMI
Speciella säkerhetsaspekter? T ex kemikalier (varma syror), gasbildning, avfallshantering	Kemikalierna som används är utspädda (låg koncentration), men normala försiktighetsåtgärder bör beaktas vid hantering. Under processen kommer nedbrytningsreagensen att bilda vätgas, syrgas och koldioxid. Dessa gaser ventileras bort från utrustningen och kan hanteras genom anläggningens vanliga ventilation. Huvuddelen av de radioaktiva isotoperna kommer att fastna i katjonbytarmassan. Kärlet kommer att skärmas för att minska stråldosexponeringen.
Använd sedan år? Använd mellan år?	Se LOMI
Använd ggr per år?	1–2 dekontamineringar av denna typ per år.
På vilka material/komponenter används metoden?	Processen är kompatibel med: Rostfria stål Nickelbaslegeringar Kromlegeringar Låglegerat stål
Hur ser avfallshandlingen ut? Reducering innan avfallshantering Blanda båda stegen och avfallshandtera sedan? Fällning Jonbytarmassa	Lösta metaller, radioaktivitet och kemikalier tas om hand av jonbytare. Jonbytarmassorna hanteras och slutförvaras i enlighet med nationella lagar och regler.
Avfallsmängd vid användning Per år eller per batch eller vad som är applicerbart	Dekontaminering med NITROX genererar 1–2 m <sup>3</sup> jonbytarmassa
Erfarenheter – besvara frågor av typen: Metoden har fungerat bäst på... Metoden fungerar acceptabelt på... Bör inte användas på... Man får ofta problem om man... Vi slutade använda metoden för att... Om man kör för länge så kan det hända att... Om man spiller på golvet... Alfa nuklider kan ställa till problem om... Reningen av lösningen är lätt/svår om...	Denna process har använts framgångsrikt för att minska dosrater.

## Projektbeskrivning

NITROX-E är en dekontamineringsprocess med omväxlande oxiderande och reducerande steg. Processen upprepas tills den önskade dekontamineringsgraden uppnåtts. Det reducerande steget är mer effektivt vad gäller järn- och nickeloxider och det oxiderande steget är mer effektivt vad gäller kromoxider.

I en typisk processtillämpning så dräneras och isoleras först systemet som ska dekontamineras. Tillfälliga slangar och rör används för att ansluta systemet till dekontamineringsutrustningen. Dekontamineringsystemet (innehållande systemet som ska dekontamineras och dekontamineringsutrustningen) fylls med vatten och trycktestas för att identifiera eventuella läckor. Vattnet cirkuleras sedan med hjälp av dekontamineringsutrustningens pump och värms upp till arbetstemperaturen för dekontamineringsvätskan. I vissa fall innebär flödesvägen att vattnet pumpas fram och tillbaka mellan rören tillhörande cirkulationspumparna, i en skvalprörelse. För det reducerande steget så passerar återflödet en katjonbytare för att avlägsna metaller och radionuklider.

Dekontamineringsutrustningen är en specialdesignad modul (rammonterad utrustning). Utrustningen består av en pumpmodul, en blandningstank för kemikalier och jonbytarkolonner. Övrig utrustning såsom t ex värmare, hjälppump och återcirkulationsmodul kan inkluderas efter behov.

Huvudmodulen är en enkel rammonterad utrustning som innehåller en cirkulationspump med flödes-hastigheter på upp till 136 m<sup>3</sup>/h, processvärmare, kontrollpaneler och en provbehållare inklusive prov kylare är monterad på modulen. Prov BIX (before ion exchange) och AIX (after ion exchange) kommer att tas härifrån. En pneumatisk membranpump med sug- och tryckanslutningarna är kopplad till modulen så man kan använda pumpen som överflyttnings- eller dräneringspump. Modulen innehåller också en processmätsystemsutrustning med metallbrickor för korrosionstest och innehåller också ett filter, tryck- och temperaturgivare samt ventiler. Modulen innehållande blandningstank för kemikalier används för dosering av kemikalier, men kan också användas för att hålla trycket i systemet och för att hålla vätskenivån genom ”feed-and-bleed”.

Jonbytarkolonnerna är designade så att de kan installeras separat från dekontamineringsutrustningen för att minimera stråldosexponeringen. Toppen av varje jonbytarkolonn har pneumatiskt styrda ventiler för fjärrstyrning. Dekontamineringsmodulerna och systemet som ska dekontamineras är sammankopplade med högtrycksslangar som spirallindas för att undvika slangkollaps.

När systemet värms upp, tillsätts dekontamineringskemikalierna till dekontamineringsutrustningens blandningstank. När rätt temperatur uppnåtts doseras de koncentrerade dekontamineringskemikalierna till dekontamineringsystemet, vilket utgör starten på dekontamineringen. Dekontamineringsvätskan provtas var 30:e till var 60:e minut och analyseras med avseende på metaller, koncentration av radionuklider och andra kemiparametrar. När effektiviteten hos dekontamineringsvätskan har planat ut, avslutas dekontamineringen. Inför det oxiderande steget tillsätts oxalsyra för att bryta ned återstående permanganat och manganoxid. Denna lösning passerar sedan genom katjonbytarkolonn. När vätskan passerar jonbytarkolonnen, provtas lösningen både innan inloppet till kolonnen och efter jonbytarkolonnen. Skillnaden i lösta metaller och koncentration radionuklider tillsammans med systemets flödes-hastighet används därefter för att uppskatta mängden material som ansamlats i jonbyterna.

I början av nästa oxiderande steg är jonbytarkolonnernas ventiler öppna för utflöde och tillräcklig mängd permangansyra tillsätts för att bryta ned återstående oxalsyra och på så sätt påbörja det oxiderande steget. Både anjonbytarkolonner och katjonbytarkolonner används för att avlägsna lösta metaller och kemikalier. Flödet genom kolonnerna upprätthålls under en längre tid för att säkra att alla blindledningar spolats rena. Detta leder också till att vattenkvaliteten återställs till acceptabla nivåer. Systemet är därefter redo att kylas ned och tömmas. Vid slutförandet av processen kopplas dekontamineringsutrustningen ur systemet. Jonbytermassan töms från kolonnerna till avfallstankar. Kolonnerna och resterande dekontamineringsutrustning packas för sig.

Under perioden då systemet fylls med vatten och värms till arbetstemperatur, genomförs dosratsmätningar (både ytdosrater och generella rumsdosrater).

Ytdosrater mäts med en skärmad prob och dospunkterna märks så att dosmätningar kan genomföras vid samma punkt efter dekontamineringen. Dosmätning ska ske vid de mätpunkter på rören som visar högsta dosnivåerna, men undvika ”hotspots” och rör där det flödar processmedia. Mätningar ska ske på sidan eller botten av de horisontella rören och inte på toppen. Dosmätningar efter dekontamineringen genomförs under processens reningsfas

En dekontamineringsfaktor (DF) beräknas genom att dividera dosratmätningen före dekontamineringen med dosratmätningen efter dekontamineringen – vid en och samma dosmätpunkt. Ett medelvärde för DF tas fram genom att summera alla DF från respektive ytdosratsmätningar och dividera med antal mätpunkter. Medelvärdet för DF för generell area beräknas på motsvarande sätt.

### **Metodbeskrivning**

Se metodbeskrivning under kemisk dekontaminering

## CITROX

CITROX-processen har huvudsakligen använts för kolstålsbaserade system i de fall där avfall innehållande komplexbildare inte har varit ett problem. CITROX tillämpas vanligtvis som en en-stegsprocess, men kan också genomföras som tre-stegsprocess om det finns komponenter av rostfritt stål i systemet som också ska dekontamineras. Denna process används bl a för att minska stråldoserna på komponenter. Kolstålsrör har också betydligt tjockare oxidskikt som kan vara för omfattande för vissa andra processer.

Namn	CITROX
Beskriver tabellen dekontaminering i bad eller systemdekontaminering?	CITROX-NP för dekontaminering av delsystem
Ägare av processen/kemin	
Saluförs av	Westinghouse Electric Company
Har processen flera steg? (Ja/Nej)	Ja
Är processen EI-dekont? Om så ange strömtäthet	Nej
Ingående kemikalier och koncentrationer (g/l) för varje ingående steg	Reducerande steg – citronsyra 0,75–1,75 g/l oxalsyra 0,5–1,0 g/l Oxiderande steg – permangansyra 0,1–1,0 g/l salpetersyra 0,1 to 0,3 ml/l
Arbetstemperatur (°C)	För rostfritt stål, nickellegeringar, kromlegeringar, För låglegerat stål – 85–95 °C För kolstål – 85–95 °C
pH	2,0–3,0
Tid (h)	CITROX-NP (reducerande steg och oxiderande steg) Typisk process kommer att vara CITROX steg eller CITROX-NP-CITROX
Dekontamineringsfaktor (DF) Ange gärna för olika material/komponenter	För rostfritt stål, nickellegeringar, kromlegeringar, låglegerat stål – DF 15 till > 100 Kolstål – DF 10–25
Materialavverknig för olika material	För rostfritt stål, nickellegeringar, kromlegeringar, låglegerat stål – 0,1 till 1 µm/steg För kolstål – 1 till 10 µm/steg
Förbehandling/förtvättning	
Beskriv processen: Hur körs processen? Packar man korgar och sänker ner i bad? Om flera steg lyfter man då korgen mellan baden? Hur vet man att badet inte är utarmat m.a.p. kemikalier? Hur regenereras kemin? Hur den används i aktuell anläggning? Hur/när/varför man väljer att använda just denna process?	Den reducerande lösningen i CITROX processen består av en utspädd lösning av citronsyra (0,75–1,75 g/l) och oxalsyra (0,5–1,0 g/l). CITROX används vid 90–95 °C Metoden tillämpas i ett regenererande flöde genom att kontinuerligt låta lösningen passera genom katjonbytarmassa för att avskilja lösta metaller/aktivitet och för att regenerera CITROX-lösningen. Tiden för CITROX-steget bestäms av reningsflödet och målvärden för dosrater och kan variera mellan 6–36 timmar eller än lägre om så krävs. Salpetersyra och permanganat process (NP) Den oxiderande lösningen som emellanåt kombineras med CITROX-processen baseras på en utspädd permanganatlösning (0,5–1,0 g/l), som tillämpas i sur miljö (pH 2,5 med salpetersyra).
Beskriv utrustningen som används i aktuell anläggning. tankar (volym, tillverkningsmaterial) pumpar (kapacitet) ventilation mängd metall per batch	Tillfälliga slangar och rör används för att ansluta systemet till dekontamineringsutrustningen. För det reducerande CITROX-steget så passerar återflödet en katjonbytare. Dekontamineringsutrustningen är en specialdesignad modul (rammonterad utrustning) bestående av en pumpmodul, en blandnings-tank för kemikalier och jonbytarkolonner.
Annan information	Övrig utrustning såsom t ex värmare, hjälppump och återcirkulationsmodul kan inkluderas efter behov.



Namn	CITROX
Speciella säkerhetsaspekter? T ex kemikalier (varma syror), gasbildning, avfallshantering	Använda kemikalier tillsätts i låga koncentrationer, men normal försiktighetsåtgärder ska iakttas vid hantering. Under processen kommer nedbrytning av reagens att producera vätgas, syrgas och koldioxid. Majoriteten av radioaktiva isotoper kommer att fångas i katjon- eller anjonbytarmassan, vars kärl kommer att vara strålskyddat för att minska exponeringen för strålning.
Använd sedan år? Använd mellan år?	Metoden har använts i över 30 år.
Använd ggr per år?	Metoden används vid en eller två systemdekontamineringar per år.
På vilka material/komponenter används metoden?	Processen är kompatibel med Rostfritt stål Nickelbaserade legeringar Krombaserade legeringar Låglegeringsstål
Hur ser avfallshanteringen ut? Reducering innan avfallshantering Blanda båda stegen och avfallshandera sedan? Fällning Jonbytarmassa	Lösta metaller, aktivitet och kemikalier avskiljs med jonbytarmassor. Jonbytarmassor deponeras i enlighet med myndigheters och avfallshandlingsorganisationers förordningar och rekommendationer avseende hantering av jonbytarmassor.
Avfallsmängd vid användning Per år eller per batch eller vad som är applicerbart	CITROX-NP-processen tillämpad i en trestegsprocess kan resultera i mellan 1 och 3 m <sup>3</sup> jonbytarmassor.
Erfarenheter – besvara frågor av typen: Metoden har fungerat bäst på... Metoden fungerar acceptabelt på... Bör inte användas på... Man får ofta problem om man... Vi slutade använda metoden för att... Om man kör för länge så kan det hända att... Om man spiller på golvet... Alfa nuklider kan ställa till problem om... Reningen av lösningen är lätt/svår om...	Processen har använts för att reducera ytdosrater på system, där ytorna innehåller mer än 30 % kolstål.

## Projektbeskrivning

Dekontamineringsprocessen tillämpas typiskt i ett enstaka processteg, CITROX, eller i en sekvens av tre steg av CITROX-NP-CITROX. CITROX-steget utgör det reducerande steget och är mer effektivt vad gäller järn- och nickeloxider och det oxiderande NP-steget är mer effektivt vad gäller kromoxider. I en typisk processtillämpning dräneras och isoleras först systemet, som ska dekontamineras, från övriga system.

Tillfälliga slangar och rör används för att ansluta systemet till dekontamineringsutrustningen. Dekontamineringsystemet (innehållande systemet som ska dekontamineras och dekontamineringsutrustningen) fylls med vatten och trycktestas för att identifiera eventuella läckor.

Vattnet cirkuleras sedan med hjälp av dekontamineringsutrustningens pump och värms upp till arbetstemperaturen för dekontamineringsvätskan. I vissa fall innebär flödesvägen att vattnet pumpas fram och tillbaka mellan rören tillhörande cirkulationspumparna, i en skvalprörelse.

För det reducerande CITROX-steget passerar återflödet en katjonbytare. Dekontamineringsutrustningen är en specialdesignad modul (rammonterad utrustning). Utrustningen består av en pumpmodul, en blandningstank för kemikalier och jonbytarkolonner. Övrig utrustning såsom t ex värmare, hjälppump och återcirkulationsmodul kan inkluderas efter behov.

Huvudmodulen är en enkel rammonterad utrustning som innehåller en cirkulationspump med flödes-hastigheter på 136 m<sup>3</sup>/h, processvärmare, kontrollpaneler, en provbehållare och en provkylare som är monterad på modulen. Prov BIX (before ion exchange) och AIX (after ion exchange) kommer att tas här. En pneumatisk membranpump med sug- och tryckanslutningar är kopplad till modulen så

att man kan använda pumpen som överflyttnings- eller dräneringspump. Modulen innehåller också en processmätssystemsutrustning med metallbrickor för korrosionstest och innehåller också ett filter, tryck- och temperaturgivare samt ventiler. Modulen innehållande en blandningstank för kemikalier används för dosering av kemikalier, men kan också användas för att hålla trycket i systemet och för att hålla vätskenivån genom ”feed-and-bleed”. Jonbytarkolonnerna är designade så att de kan installeras separat från dekontamineringsutrustningen för att minimera stråldosexponeringen. Toppen av varje jonbytarkolonn har pneumatiskt styrda ventiler för fjärrstyrning. Dekontamineringsmodulerna och systemet som ska dekontamineras är sammankopplade med högtrycksslanger som spirallindas för att undvika slangkollaps.

När systemet värms upp, tillsätts dekontamineringskemikalierna till dekontamineringsutrustningens blandningstank. När rätt temperatur uppnåtts doseras de koncentrerade dekontamineringskemikalierna till dekontamineringsystemet, vilket utgör starten på dekontamineringen. Dekontamineringsvätskan provtas var 30:e till var 60:e minut och analyseras med avseende på metaller, koncentration av radionuklider och andra kemiparametrar. När effektiviteten hos dekontamineringsvätskan har planat ut, avslutas dekontamineringen. I fallet CITROX placeras anjonkolonnerna efter katjonkolonnerna. Inför det oxiderande NP-steget tillsätts oxalsyra för att bryta ned återstående permanganat och manganoxid. Denna lösning passerar sedan genom katjonbytarkolonn. Provtagning på lösningen sker både före och efter jonbytare. Koncentrationsskillnader ifråga om lösta metaller och radionuklider används för att bedöma mängden material som har samlats i jonbytarna.

Vid trestegsprocessen tillämpas ett andra CITROX-steg efter NP-steget på samma sätt som det första CITROX-steget. Vid slutet av denna process upprätthålls flödet under en längre tid för att försäkra sig om att blindledningar spolats rena. Detta leder också till att vattenkvaliteten återställs till acceptabla nivåer. Systemet är därefter redo att kylas ned och tömmas. Vid slutförandet av processen kopplas dekontamineringsutrustningen ur systemet. Jonbytermassan töms från kolonnerna till avfallstankar. Kolonnerna och resterande dekontamineringsutrustning packas för sig.

Under perioden då systemet fylls med vatten och värms till arbetstemperatur, genomförs dosrättsmätningar (både ytdosrater och generella rumsdosrater).

Ytdosrater mäts med en skärmat prob och dospunkterna märks så att dosmätningar kan genomföras vid samma punkt efter dekontamineringen. Dosmätning ska ske vid de mätpunkter på rören som visar högsta dosnivåerna, men undvika ”hotspots” och rör där det flödar processmedia. Mätningar ska ske på sidan eller botten av de horisontella rören och inte på toppen. Dosmätningar efter dekontamineringen genomförs under processens reningsfas.

En dekontamineringsfaktor (DF) beräknas genom att dividera dosrättsmätningen före dekontamineringen med dosrättsmätningen efter dekontamineringen – vid en och samma dosmätning. Ett medelvärde för DF tas fram genom att summera alla DF från respektive ytdosrättsmätningar och dividera med antal mätpunkter. Medelvärdet för DF för generell area beräknas på motsvarande sätt.

## Metodbeskrivning

CITROX-processen består av tillämpning av reducerande kemi för att påverka upplösningen av deponerad och inväxt oxidfilm.

CITROX-processen har visat sig effektiv för att lösa upp de flesta typerna av oxidfilm på de flesta ståltyper (rostfritt och kolstål). Den kan tillämpas i kombination med en oxiderande lösning (NP) för vissa typer av oxidfilm.

Den reducerande dekontamineringsvätskan i CITROX är en utspädd lösning av citronsyra (0,75–1,75 g/l) och oxalsyra (0,5–1,0 g/l). Citronsyran verkar som komplexbildare för att minska mängderna fritt järn(II) i lösningen. Oxalsyra verkar både som reduktionsmedel och som komplexbildare för att åstadkomma en reaktiv upplösning av järninnehållande oxider såsom hematit,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ; magnetit,  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  och nickelferrit,  $\text{NiFe}_2\text{O}_4$ .

CITROX-processen tillämpas vid 90–95 °C, och tillämpas i ett regenerativt läge genom att kontinuerligt låta vätskan passera genom en katjonbytarkolonn. Genom att tillämpa detta förfarande minskar kemikaliebehovet; man håller strålnivåerna låga, minskar korrosion från dekontamineringsvätskan,

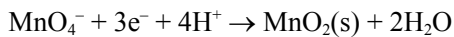
minskar risken för utfällning av metalloxalater, minskar avfallsmängderna samt minskar bildningen av koldioxid under nedbrytningsfasen av processen. Varaktigheten hos ett CITROX-steg bestäms av reningsflöde och målvärden för dosrater och kan variera mellan 6 och 36 timmar om så krävs. I slutfasen av CITROX-steget inleds ett fullständigt jonbyte.

### Salpetersyra-permanganat-processen (NP)

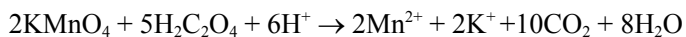
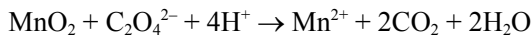
Den oxiderande lösningen som emellanåt används i kombination med CITROX-processen är en utspädd kaliumpermanganatlösning (0,5–1,0 g/l) som tillämpas under sura förhållanden, pH 2,5, vilket säkerställs med salpetersyra. Permangansyra (HMnO<sub>4</sub>) tillreds genom att låta koncentrerad kaliumpermanganatlösning passera en katjonbytare.

Salpetersyra- och permanganatlösningen (NP) är effektiv för upplösningen av krominnehållande oxider (t ex kromoxid, Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, järnkromit FeCr<sub>2</sub>O<sub>4</sub>) och används i kombination med standardiserade reduktionsmedel (t ex LOMI, CITROX eller CanDerem) för dekontaminering av delsystem hos kärnkraftverk.

När steget med permangansyra fortskrider bildas fast manganoxid (MnO<sub>2</sub>) som reaktionsprodukt från reduktionen av permanganat:



Vid slutfasen av NP-steget passerar lösningen en jonbytare för att avskilja icke förbrukad permanganat. Efter passagen genom jonbytaren, tillsätts överskott av oxalsyra för att reducera MnO<sub>2</sub> och återstående MnO<sub>4</sub><sup>-</sup> till Mn<sup>2+</sup>:



Oxalsyra tillsätts i en mängd tillräcklig för att både destruera MnO<sub>2</sub> och MnO<sub>4</sub><sup>-</sup> samt för att initiera det efterföljande steget med CITROX. Vid tillämpning av kombinerade CITROX och NP-steg kommer sekvensen bestämmas av den förväntade mängden oxid och typen av oxid. Varaktigheten hos ett NP-steg är två till fyra timmar, medan CITROX-steget avgörs av reningsflöde och målvärden för dosrater, men brukar variera i intervallet 6–36 timmar.

### LOMI-NP

LOMI-NP har bl a använts i primärsystemen i amerikanska BWR där HWC har använts pga. att de bildade oxidfilmerna i HWC-miljö är svårare att avlägsna och kräver en kombination av LOMI och NP för att erhålla tillräckliga DF.

Namn	LOMI-NP
Beskriver tabellen dekontaminering i bad eller systemdekontaminering?	LOMI-NP för dekontaminering av system och delsystem
Ägare av processen/kemin	EPRI
Saluförs av	Westinghouse Electric Company
Har processen flera steg? (Ja/Nej)	Ja
Är processen EI-dekont? Om så ange strömtäthet	Nej
Ingående kemikalier och koncentrationer (g/l) för varje ingående steg	Vanadinformat (0,22 mmol V <sup>2+</sup> ) Pikolinsyra 4:1 eller 3:1 molarförhållande mot vanadinjonen Natriumhydroxid för att balansera pH till 4,0–5,0
Arbetstemperatur (°C)	För rostfria stål, nickellegeringar, kromlegeringar, låglegerat stål och kolstål – 85–95 °C
pH	4,0–5,0
Tid (h)	LOMI applikation 4 till 8 h per applikation.  Normalt används NP processen i samband med LOMI enligt 3-steg LOMI-NP-LOMI (60 h) eller 5-steg NP-NP-LOMI-NP-LOMI (72 h) sekvens.

Namn	LOMI-NP
Dekontamineringsfaktor (DF) Ange gärna för olika material/komponenter	För rostfria stål, nickellegeringar, kromlegeringar, låglegerat stål – DF 15 till 30
Materialavverkning för olika material	För rostfria stål, nickellegeringar, kromlegeringar, låglegerat stål – 0,01 till 0,1 µm/steg För kolstål – 1 till 3 µm/steg
Förbehandling/förtvättning	Systemet är vattenfyllt och uppvärmt till arbetstemperaturen. Systemet doseras med kvävgas och hydrazin för att reducera syrehalten.
Beskriv processen: Hur körs processen? Packar man korgar och sänker ner i bad? Om flera steg lyfter man då korgen mellan baden? Hur vet man att badet inte är utarmat m.a.p. kemikalier? Hur regenereras kemin? Hur den används i aktuell anläggning? Hur/när/varför man väljer att använda just denna process?	LOMI (Low Oxidation State Metal Ion) är en utspädd, icke-regenerativ dekontamineringslösning som används för att avlägsna oxidfilmen från systemytorna i en kärnkraftsreaktor. Oxidfilmen avlägsnas genom en komplexbildar-assisterad reduktiv upplösning. De aktiva specierna i lösningen är vanadinjoner (V <sup>2+</sup> , reducerande ämne) och pikolinsyra. LOMI appliceras vid en temperatur på 90 °C ±3 °C och en typisk tidslängd på upp till 8 timmar. Processkontrollen är främst baserat på analys av koncentrationer av upplösta radionuklider och järn. Vid ett slutfört LOMI-steg så har man lösningen att först passera genom en katjonbytare och sedan genom en anjonbytare. LOMI-lösningen är inte effektiv mot oxidfilmer som innehåller mer än 20 vikt-% krom. Därför måste man först avlägsna sådana kromoxidfilmer genom att applicera ett oxiderande-steg (t ex NP) före LOMI-steget.
Beskriv utrustningen som används i aktuell anläggning. tankar (volym, tillverkningsmaterial) pumpar (kapacitet) ventilation mängd metall per batch	Dekontamineringsutrustningen är specialdesignad modul (rammonterad utrustning). Utrustningen består normalt av en huvudmodul (pump), en kemikalieblandningstanksmodul och jonbytalkolumner. Övrig utrustning såsom t ex värmare, hjälppump och återcirkulationsmodul kan inkluderas efter behov.
Annan information	
Speciella säkerhetsaspekter? t ex kemikalier (varma syror), gasbildning, avfallshantering	Kemikalierna används i låg koncentration, men normal försiktighetsåtgärder bör vidtas vid hantering. Under processen kommer nedbrytning av reagens att producera väts-, syr- och koldioxidgas
Använd sedan år? Använd mellan år?	LOMI har använts i mer än 25 år.
Använd ggr per år?	Normal en till två dekontamineringar per år.
På vilka material/komponenter används metoden?	Processen är kompatibel med rostfritt stål, nickellegeringar, kromlegeringar, låglegerat stål och kolstål.
Hur ser avfallshanteringen ut? Reducering innan avfallshantering Blanda båda stegen och avfallshandera sedan? Fällning Jonbytarmassa	Upplösta metaller och radioaktivitet avlägsnas genom att använda jonbytare. Jonbytarmassorna hanteras och slutförvaras i enlighet med nationella lagar och regler.
Avfallsmängd vid användning Per år eller per batch eller vad som är applicerbart	En fem-stegs applicering med NP dekontaminering enligt NP-NP-LOMI-NP-LOMI kan producera 2–4 m <sup>3</sup> av jonbytaravfall.
Erfarenheter – besvara frågor av typen: Metoden har fungerat bäst på... Metoden fungerar acceptabelt på... Bör inte användas på... Man får ofta problem om man... Vi slutade använda metoden för att... Om man kör för länge så kan det hända att... Om man spiller på golvet... Alfa nuklider kan ställa till problem om... Reningen av lösningen är lätt/svår om...	Denna process har använts framgångsrikt för att minska dosrater på rören i reaktorkylsystemet i BWR. Processen är normalt applicerad i en flerstegstillämpning med NP-steg och med resultat kring DF på 15–40.

## Projektbeskrivning

LOMI-NP-dekontamineringsprocessen är vanligtvis utförd i en sekvens av tre steg LOMI-NP-LOMI eller i en sekvens av fem steg; NP-NP-LOMI-NP-LOMI. LOMI-processen är ett reducerande steg och är mera effektivt på järn- och nickeloxider och NP är ett oxiderande steg och är mera effektivt på kromoxider.

I en typisk process så är systemet som ska dekontamineras dränerat på vätska och isolerat från övriga reaktorsystem, och kopplat till en temporär dekontamineringsutrustning. Dekontamineringsystemet (som inkluderar systemet som ska dekontamineras och dekontamineringsutrustningen) fylls sedan med vatten och provtrycks för att identifiera läckor. Vattnet pumpas sedan runt i systemet med hjälp av dekontamineringsutrustningen under tiden det värms upp till rätt temperatur för processlösning-applisering. I vissa fall innebär flödesvägen att vattnet pumpas fram och tillbaka mellan rören tillhörande cirkulationspumparna, i en skvalprörelse.

Dekontamineringsutrustningen är en specialdesignad modul (rammonterad utrustning) som kan installeras och demonteras på kort tid. Utrustningen består av en pumpmodul, en blandningstank för kemikalier och jonbytarkolonner. Övrig utrustning såsom t ex värmare, hjälppump och återcirkulationsmodul kan inkluderas efter behov.

Genom att utrustningen är i form av en modul kan den flyttas snabbt och installeras på olika sätt beroende på tillgänglig golvyta.

Huvudmodulen är en enkel dekontamineringsystemmodul som inkluderar en cirkulationspump med en flödes hastighet på 136 m<sup>3</sup>/h, processvärmare, kontrollpaneler och en provbehållare med en provkylare. Härifrån tas före-jonbytare-prover (BIX) och efter-jonbytare-prover (AIX).

En pneumatisk membranpump med sug- och tryckanslutningar är kopplad till modulen så att man kan använda pumpen som överflyttning- eller dräneringspump. Modulen innehåller också en processmätningssystemutrustning med metallbrickor för korrosionstest och innehåller också ett filter, tryck- och temperaturgivare samt ventiler. Modulen innehållande en blandningstank för kemikalier används för dosering av kemikalier, men kan också användas för att hålla trycket i systemet och för att hålla vätskenivån genom ”feed-and-bleed”. Jonbytarkolonnerna är designade så att de kan installeras separat från dekontamineringsutrustningen för att minimera stråldosexponeringen. Toppen av varje jonbytarkolonn har pneumatiskt styrda ventiler för fjärrstyrning. Dekontamineringsmodulerna och systemet som ska dekontamineras är sammankopplade med högtrycksslangar som spirallindas för att undvika slangkollaps

Under tiden systemet värms upp så tillförs kemikalierna till dekontamineringsutrustningens blandningstank. När den önskade temperaturen har uppnåtts doseras de koncentrerade kemikalierna in i dekontamineringsystemet. I fallet med LOMI injiceras vanadinformat direkt in i systemet efter tillsats av en natriumpikolinatlösning genom blandningstanken. Detta är början på appliceringssteget. Man tar prov på lösningen varje 30 till 60 minuter och provet analyseras med avseende på metaller och radionuklidkoncentrationer och andra kemiska parametrar. När effektiviteten hos dekontamineringsvätskan har planat ut, avslutas dekontamineringen. I fallet med LOMI cirkulerar man lösningen genom jonbytarkolonnerna (katjon och anjon) för att avlägsna kemikalier, lösta metaller och radionuklider samt för att återställa syran. När lösningen cirkulerar genom jonbytarna tar man prov före och efter jonbytarna. Skillnaden i lösta metaller och radionuklidkoncentrationer tillsammans med systemflöde används för att uppskatta den mängd material som samlats i jonbytarna.

Vid slutet av processen inkluderas anjonbyttarmassa i lösningens flödesväg för att avlägsna kemikalierester och för att återställa processvattnet. Därefter är systemet redo för nästa applicering av processlösning, men om dekontamineringen är slutförd så kyls och dräneras systemet.

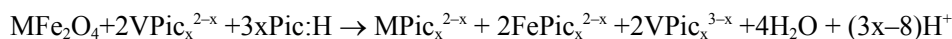
Vid slutförandet av processen kopplas dekontamineringsutrustningen ur systemet. Jonbyttarmassan töms från kolonnerna till avfallstankar. Kolonnerna och resterande dekontamineringsutrustning packas för sig.

## Metodbeskrivning

LOMI (Low Oxidation State Metal Ion) är en utspädd, icke-regenerativ dekontamineringslösning som används för att avlägsna oxidfilmen (inkluderad radioaktivitet) från systemytorna i en

kärnkraftreaktor. Oxidfilmen avlägsnas genom en komplexbildar-assisterad reduktiv upplösning. Britain's Central Electricity Generating Board utvecklade lösningen i mitten av 80-talet, på uppdrag av EPRI. De aktiva specierna i lösningen är vanadinjoner ( $V^{2+}$ , reducerande ämne) och pikolinsyra (komplexbildare).

Upplösning sker enligt följande generella reaktion:



Där  $M$  är en divalent metalljon (t ex  $Co^{2+}$ ,  $Ni^{2+}$  eller  $Fe^{2+}$ ),  $Pic_x$  är pikolinatjonen och  $x$  är 1, 2 eller 3 beroende på metalljonen och den relativa mängden metall och pikolinatjoner som är närvarande. Till exempel, vid upplösning av kobolt(II)ferrit i närvaro av ett överskott av pikolinsyra, gäller följande:



LOMI-lösningen tillreds genom att blanda vanadinformat och pikolinsyra med natriumhydroxid för att höja pH till mellan 4,0 och 5,0. Pikolinsyra tillsätts i ett 4:1 eller 3:1 molarförhållande till vanadinjonen för att försäkra att tillräckligt med pikolinat är närvarande för att undvika utfällning av metallhydroxider (vanadin(III)hydroxid inkluderat).

Formatets enda uppgift är att vara motjon för vanadin och är inte ett aktivt ämne i lösningen. Pikolinsyran och natriumhydroxiden är tillsatta som fasta ämnen. Vanadinformat tillsätts som en vätska (ca 0,2 molar vanadinjonkoncentration) och tillhandahålls av tillverkaren i speciella stålfat. Faten är inertat med kvävgas och förseglade. Faten får inte öppnas förrän omedelbart innan användning för att undvika att produkten bryts ner.

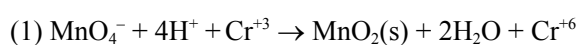
Vid en dekontaminering tillreds först natriumpikolinatlösningen i blandningstanken och doseras sedan till systemet. När natriumpikolinatet är väl omblandat doseras vanadinformatet direkt till systemet. Detta gör man för att undvika att vanadinjonen oxideras i kontakt med luft. LOMI appliceras vid en temperatur på  $90 \text{ }^\circ\text{C} \pm 3 \text{ }^\circ\text{C}$  och en typisk tidslängd på upp till 8 timmar. På grund av vanadinjonens luftkänslighet är det opraktiskt att ha direktmätning av koncentrationen i processproverna. Därför mäter man den relativa vanadinkoncentrationen genom att använda en on-line spektrofotometer. Processkontrollen är främst baserad på analys av koncentrationer av upplösta radionuklider och järn.

Vid ett slutfört LOMI-steg passeras först lösningen genom en katjonbytare för att avlägsna komplexbildarna och metalljoner och sedan genom en anjonbytare för att avlägsna pikolinat, format och andra anjoner. LOMI-lösningen är inte effektiv mot oxidfilmer som innehåller mer än 20 vikt-% krom. Detta inkluderar oxidfilmer som har fått ökad relativa kromhalt genom att de har exponerats i ett tidigare skede mot en reducerande lösning. Därför måste man först avlägsna sådana kromoxidfilmer genom att applicera ett oxiderande-steg (t ex NP) före LOMI-steget.

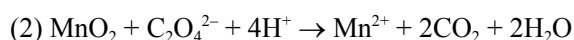
### Salpetersyra-permanganat-processen (NP – Nitric Permanganate)

Permanganat-salpetersyralösningen är en utspädd lösning av permangansyra som doseras vid lågt pH (pH 2,5 med salpetersyra). Permangansyran tillreds genom att föra en natriumpermanganatlösning genom en katjonbytare för att byta ut natriumjoner mot vätejoner. NP-lösningen löser kromoxider såsom kromoxid,  $Cr_2O_3$  och järnkromit,  $FeCr_2O_4$  effektivt. NP-lösningen används ofta tillsammans med LOMI-processen för att dekontaminera olika system i kärnkraftsreaktorer eftersom LOMI-lösningen inte är effektiv mot kromrika oxidfilmer.

NP-steget tillämpas vid  $\sim 90 \text{ }^\circ\text{C}$  och vid en koncentration på 0,5 g/l permanganat. När steget med permangansyra fortskrider bildas fast manganoxid ( $MnO_2$ ) som reaktionsprodukt från reduktionen av permanganat:



Vid slutfasen av NP-steget tillsätts överskott av oxalsyra för att reducera  $MnO_2$  och återstående  $MnO_4^-$  till  $Mn^{2+}$ :



Oxalsyra tillsätts i en tillräcklig mängd för att både destruera  $MnO_2$  och  $MnO_4^-$  samt för att initiera det efterföljande oxalsyrasköljsteget (Ox Rinse). Ox Rinse-steget innehåller 400 ppm oxalsyra. Katjonjonbytare inkluderas i flödesvägen under Ox Rinse-steget för att avlägsna  $Mn^{2+}$  och lösta metalljoner samt för att tillföra vätejoner som är nödvändiga för att slutföra reaktionen.

När man har slutfört Ox Rinse-steget placerar man anjonbytare on-line i serie med katjonbytare för att avlägsna lösningskemikalier och rester av upplösta metaller och aktivitet. NP-steget (avslutas som Ox-Rinse) avslutas när processvatten har nått en konduktivitet som är mindre än 100  $\mu S/cm$ .

Tidsåtgången för NP-steget är 4–6 timmar, 2–4 timmar för Ox Rinse-steget och för uppställningsfasen behövs ca 3 timmar, vilket betyder att varje NP-applisering behöver ca 9–13 timmar.

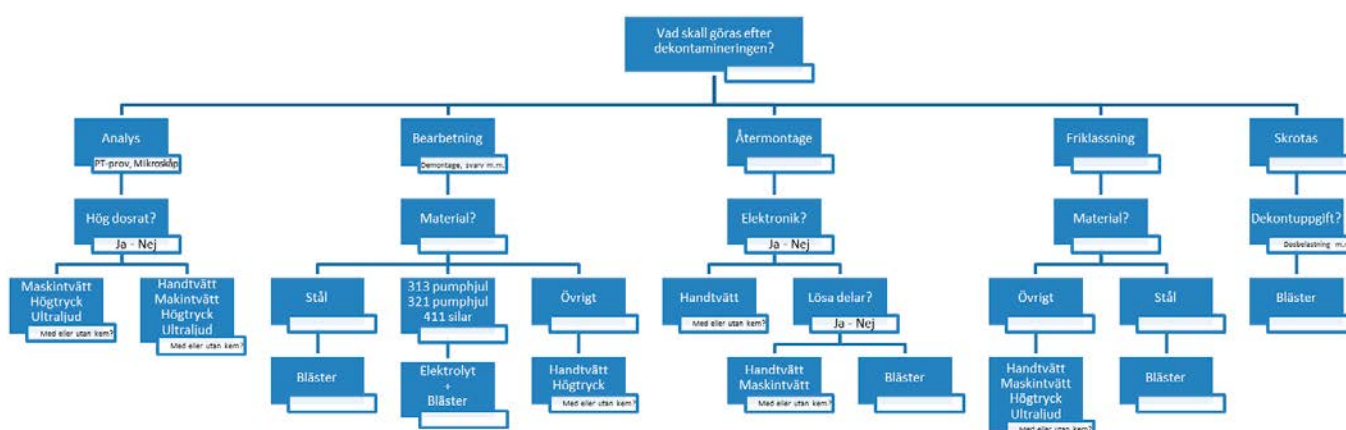
## 6.9 Mekanisk dekontaminering

### 6.9.1 FKA

#### Blästring

Namn	Blästring
Vilken typ av mekanisk process är det? Blästring Högtrycksspolning Ultraljud	Blästring med glaskulor. I vissa fall används även aluminiumoxid i kombination med glaskulorna.
Tillverkare av utrustning	UVA dekontaminationsteknik (Tyskland) Fagerström industrikonsult
På vilka material/komponenter används metoden?	Rostfritt Kolstål Stellite Teflon Polypropylen Inconel Krom
Metoden används absolut inte på dessa material/komponenter	Aluminium Mässing Koppar Kablage Provutrustning till reaktortank Handverktyg
Applicerings tid	Varierar utifrån krav från inlämnare och godsets egenskaper.
Dekontamineringsfaktor (DF)	Varierar med material, tid, avstånd och blästermedia.
Ange gärna för olika material/komponenter	
Materialavverkning för olika material	
Beskriv processen: Hur körs processen?	Glaskulor i kombination med vatten och luft bearbetar ytan under tryck. Oxidskiktet hamras sönder och avlägsnas från godset. Viss avverkning/komprimering sker även på godsets yta om metoden används efter att oxidskiktet avlägsnats.
Beskriv utrustningen som används i aktuell anläggning. tankar (volym, tillverkningsmaterial) pumpar (kapacitet) ventilation blästercell blästertryck blästermedel effekt på ultraljudsbad Annan utrustning	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Blästerkabin – 4 000×2 700×2 500 mm, Rostfritt stål (2343), avrinning till tankar genom konor under golvgreting</li> <li>• Blästerboxar – 1 300×1 300×1 300 mm, Rostfritt stål (2343), avrinning till tankar genom kona</li> <li>• Tankar – En mediatank och en spoltank om vardera ca 200 liter.</li> <li>• Pumpar – En pump med hel respektive halvfart för distribution av blästermedia.</li> <li>• Ventilation – Takutsug, passerar fuktfälla och filterbank innan luften lämnar dekonten.</li> <li>• Blästertryck – 5–8 bar</li> <li>• Blästermedel – Glaskulor, aluminiumoxid</li> <li>• Blästermunstycke – Nosslemunstycke (12 mm) med luftdysa (4,8 mm)</li> </ul>

Namn	Blästring
Har processen/anläggningen modifierats för användning i aktuell anläggning?	Platsmonterad vid byggnation år 1976
Speciella säkerhetsaspekter?	Kommunikationsutrustning (Peltor) för arbete inne i kabinen, skyddsutrustning i form av integrerad luftdräkt (URANUS), gummistövel med stålhatta.
Använd sedan år?	1976
Använd mellan år?	
Använd ggr per år?	Varje vecka, under revision dagligen.
Hur ser avfallshanteringen ut?	Uttjänt blästermedia pumpas över till ringlåsfat från mediatanken. Ringlåsfatet transporteras i strålskärm till avfallet för toppfyllning och vidare omhändertagande.
Avfallsmängd vid användning Per år eller per batch eller vad som är applicerbart	750 kg per år
Vilken typbeskrivning används för deponering SFR? Eller motsvarande i Finland?	F12 eller F23
Erfarenheter – besvara frågor av typen: Metoden har fungerat bäst på... Metoden fungerar acceptabelt på... Bör inte användas på... Man får ofta problem om man... Vi slutade använda metoden för att... Om man kör för länge så kan det hända att... Om man spiller på golvet... Alfa nuklider kan ställa till problem om... Avfallshanteringen är lätt/svår om...	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Turbindelar är lättare att blåstra med gott resultat än reaktordelar.</li> <li>• Avfallshanteringen för dekonten är inte optimal med avseende på personalens dosbelastning.</li> <li>• Viktigt att hålla koll på att blästermediet håller tillräcklig kvalitet under användning, annars påverkas effektivitet och tid negativt vilket leder till sämre resultat och högre dosbelastning.</li> <li>• Kommunikationsutrustningen som gör det möjligt att hålla kontakt och kontinuerlig dialog vid arbete inne i kabinen är oerhört viktig ur ett säkerhetsperspektiv men också viktig för utbyte av erfarenheter och tips under arbetets gång som på så sätt ökar effektivitet och förbättrar resultat.</li> <li>• Kontinuerligt underhåll på luftdysor/munstycken är viktigt för att inte tappa effekt över tid då de inre dimensionerna förändras vid långvarig användning.</li> <li>• Elektrolytbehandling innan blästring skapar goda förutsättningar för effektivare blästring och bättre resultat (exempelvis 313 huvud-cirkulationspumphjul).</li> <li>• Kontroll och underhåll av ventilationsutsug och konor minskar bakgrundsstrålningen vid arbete inne i kabinen.</li> </ul>
Annan information du ser som viktig för att använda eller inte använda metoden	



Figur 6-15. Flödesschema för val av dekontamineringsmetod.



## Högtryckstvätt

Namn	Högtryckstvätt
Vilken typ av mekanisk process är det? Blästring Högtrycksspolning Ultraljud	Högtrycksspolning
Tillverkare av utrustning	Partek Butterworth Europe BV
På vilka material/komponenter används metoden?	Rostfritt och kolstål
Metoden används absolut inte på dessa material/komponenter	"Lätta" gods, lättmetaller t ex aluminium
Applicerings tid	
Dekontamineringsfaktor (DF) Ange gärna för olika material/komponenter	
Materialavverknig för olika material	Ingen
Beskriv processen: Hur körs processen?	Tvätt med högtryck (700 bar) i blästerkabin.
Beskriv utrustningen som används i aktuell anläggning. tankar (volym, tillverkningsmaterial) pumpar (kapacitet) ventilation blästercell blästertryck blästermedel effekt på ultraljudsbad	Pump – Butterworth T300 M, 700 bar, 41 l/min
Annan utrustning	
Har processen/anläggningen modifierats för användning i aktuell anläggning?	
Speciella säkerhetsaspekter?	Normal skyddsutrustning för arbete i blästerkabin samt kevlarbyxor. Slangsäkring och säkerhetsventil.
Använd sedan år?	1996
Använd mellan år?	
Använd ggr per år?	< 1 ggr per år
Hur ser avfallshanteringen ut?	Spolvattnet går ut till avloppssystemet.
Avfallsmängd vid användning Per år eller per batch eller vad som är applicerbart	
Vilken typbeskrivning används för deponering SFR? Eller motsvarande i Finland?	
Erfarenheter – besvara frågor av typen: Metoden har fungerat bäst på... Metoden fungerar acceptabelt på... Bör inte användas på... Man får ofta problem om man... Vi slutade använda metoden för att... Om man kör för länge så kan det hända att... Om man spiller på golvet... Alfa nuklider kan ställa till problem om... Avfallshanteringen är lätt/svår om...	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tungt arbete, arbeta i korta pass.</li> <li>• Krav på speciell utbildning för höga tryck.</li> </ul>
Annan information du ser som viktig för att använda eller inte använda metoden	

## Ultraljud

Namn	Ultraljud
Vilken typ av mekanisk process är det? Blästring Högtrycksspolning Ultraljud	Ultraljudsbad i olika storlek och effekt.
Tillverkare av utrustning	FinnSonic Langeds mekaniska (skrotad)
På vilka material/komponenter används metoden?	De flesta material Kamerautrustning
Metoden används absolut inte på dessa material/komponenter	Elektronik förutom godkänd kamerautrustning (rent system)
Appliceringstid	10–120 min
Dekontamineringsfaktor (DF) Ange gärna för olika material/komponenter Materialavverkning för olika material	
Beskriv processen: Hur körs processen?	Kemikalier tillsätts i ultraljudsbadet för att sänka ytspänningen. Badet avgas innan behandlingen startar. Kavitationsbubblorna imploderar och avlägsnar då smuts och kontamination från godsets yta.
Beskriv utrustningen som används i aktuell anläggning. tankar (volym, tillverkningsmaterial) pumpar (kapacitet) ventilation blästercell blästertryck blästermedel effekt på ultraljudsbad Annan utrustning	Tank – 40–120 liter Effekt – 600/1 200 watt, 30 kHz – 1 200/2 400 watt, 30 kHz Nätanslutning – 230 volt, 3 200 watt – 400/230 volt, 7 200 watt
Har processen/anläggningen modifierats för användning i aktuell anläggning? Speciella säkerhetsaspekter?	
Använd sedan år?	Langeds mekaniska 1978–2011
Använd mellan år?	FinnSonic 2012–
Använd ggr per år?	Varje vecka
Hur ser avfallshanteringen ut?	Inget avfall förutom avfallsvattnet som går ner i avloppet efter användning.
Avfallsmängd vid användning Per år eller per batch eller vad som är applicerbart	
Vilken typbeskrivning används för deponering SFR? Eller motsvarande i Finland?	
Erfarenheter – besvara frågor av typen: Metoden har fungerat bäst på... Metoden fungerar acceptabelt på... Bör inte användas på... Man får ofta problem om man... Vi slutade använda metoden för att... Om man kör för länge så kan det hända att... Om man spiller på golvet... Alfa nuklider kan ställa till problem om... Avfallshanteringen är lätt/svår om...	Fungerar bra på komplicerade geometrier, exempelvis gångor och håligheter. Väldigt tidsbesparande metod för rengöring av kamerahuvuden som använts av rent system.
Annan information du ser som viktig för att använda eller inte använda metoden	

## 6.9.2 OKG

### Glasblästring

Namn	Glasbläster
Vilken typ av mekanisk process är det? Blästring Högtrycksspolning Ultraljud	Glasblästring
Tillverkare av utrustning	Fagerström Industrikonsult Helsingborg
På vilka material/komponenter används metoden?	Rostfria material.
Metoden används absolut inte på dessa material/komponenter	Kolstål undviks, hanteras i annan bläster för kolstål
Appliceringstid	Beroende på oxidskikt.
Dekontamineringsfaktor (DF)	Hårda oxider förbehandlas i kemiska bad. SEDECON.
Ange gärna för olika material/komponenter	
Materialavverknig för olika material	Beroende på behandlingstid. Känsliga ytor skyddas med tape.
Beskriv processen: Hur körs processen?	<ul style="list-style-type: none"><li>– Komponenten rengörs från fett och oljor.</li><li>– Mindre komponenter hanteras från utvändig strålskärmad operatörsplats. Komponenten placeras på ett roterande bord och blåstras med handhållet blästermunstycke.</li><li>– Större komponenter placeras på blästerns golv och operatören arbetar inuti boxen klädd i en friskluftsdräkt. Operatören arbetar med handhållen lans.</li><li>– Efter blästring rensas komponenten med avjoniserat vatten.</li></ul>
Beskriv utrustningen som används i aktuell anläggning. tankar (volym, tillverkningsmaterial) pumpar (kapacitet) ventilation blästercell blästertryck blästermedel effekt på ultraljudsbad	<ul style="list-style-type: none"><li>– Blästern består av en sluten box med innermätten 5 500×2 500×2 500 mm.</li><li>– Blästermedlet består av en blandning med glaskulor och avjoniserat vatten. Storleken på glaskulorna kan varieras efter behov och erfarenhet. Normalt har glaskulorna en storlek av 150–200µm.</li><li>– Blästertrycket är 7 bar</li><li>– Under blästern finns en pump samt mediatank som separerar blästermedel från avlägsnade radioaktiva partiklar.</li></ul>
Annan utrustning	
Har processen/anläggningen modifierats för användning i aktuell anläggning?	– Installerad i samband med uppgradering av dekontverkstad 1998. Blästerboxen anpassades för de komponentstorlekar som antogs förekomma.
Speciella säkerhetsaspekter?	– Hörselskydd bör användas.
Använd sedan år?	– 1998
Använd mellan år?	
Använd ggr per år?	– Dagligen
Hur ser avfallshanteringen ut?	– Använt blästermedel dumpas till slutförvarstank i källare. Det vatten som medföljer vid dumpning sugas bort genom filter i botten på slutförvarstanken.
Avfallsmängd vid användning Per år eller per batch eller vad som är applicerbart	– 25 kg/batch. Dumpning sker ca 25 ggr/år
Vilken typbeskrivning används för deponering SFR? Eller motsvarande i Finland?	<ul style="list-style-type: none"><li>– Betongtank Typbeskrivning O.07:xx</li><li>– Betongtanken rymmer 6 m<sup>3</sup> avfall.</li></ul>

Namn	Glasbläster
Erfarenheter – besvara frågor av typen:	
Metoden har fungerat bäst på...	– Oxider som bildats i varma system behöver elektrolytbehandlas i Sedeconbad för snabbare avverkning av oxiden och därmed undvika materialavverkning.
Metoden fungerar acceptabelt på...	
Bör inte användas på...	– Fett förstör blästermedlet.
Man får ofta problem om man...	– Långa hanteringstider avverkar material. Känsliga tätytor måste skyddas med tape för att undvika avverkning.
Vi slutade använda metoden för att...	– Rostfritt och kolstål ska inte hanteras i samma blästermedel.
Om man kör för länge så kan det hända att...	– Partiklar från kolstål kan orsaka skador på rostfria material.
Om man spiller på golvet...	
Alfa nuklider kan ställa till problem om...	
Avfallshanteringen är lätt/svår om...	
Annan information du ser som viktig för att använda eller inte använda metoden	

## Högtrycksspolning

Namn	Högtrycksspolning 500 bar
Vilken typ av mekanisk process är det?	– Högtrycksspolning
Blästring	
Högtrycksspolning	
Ultraljud	
Tillverkare av utrustning	– Hammelmann
På vilka material/komponenter används metoden?	– Alla metaller
Metoden används absolut inte på dessa material/komponenter	– Mjuka material som trä och plast
Appliceringsstid	– Beroende på nedsmutsning.
Dekontamineringsfaktor (DF)	– Lös ytkontamination på "täta material" ger hög DF.
Ange gärna för olika material/komponenter	
Materialavverkning för olika material	– Ingen materialavverkning på metaller.
Beskriv processen:	– Komponenten placeras i spolbox
Hur körs processen?	– Komponenten högtrycksspolas med handhållen lans.
Beskriv utrustningen som används i aktuell anläggning.	– Högtrycksaggregat av märket Hammelmann.
tankar (volym, tillverkningsmaterial)	– Arbetsstryck 500 bar.
pumpar (kapacitet)	– Spolmunstycke: Roterande med flödehastighet 36 l/min,
ventilation	– Endast avjonat vatten.
blästercell	
blästertryck	
blästermedel	
effekt på ultraljudsbad	
Annan utrustning	
Har processen/anläggningen modifierats för användning i aktuell anläggning?	– Installerad i samband med uppgradering av dekontverkstad 1998.
Speciella säkerhetsaspekter?	– Hörselskydd, skyddsstövlar, skyddsoverall samt friskluftsmask eller heldräkt.
Använd sedan år?	– 1998
Använd mellan år?	
Använd ggr per år?	– Vid behov
Hur ser avfallshanteringen ut?	– Vattnet samlas i mellanförvaringstank och pumpas vidare till avfallsanläggningen för O1/O2.
Avfallsmängd vid användning	–
Per år eller per batch eller vad som är applicerbart	
Vilken typbeskrivning används för deponering SFR? Eller motsvarande i Finland?	– Betongtank Typbeskrivning O.07:xx

Namn	Högtrycksspolning 500 bar
Erfarenheter – besvara frågor av typen: Metoden har fungerat bäst på... Metoden fungerar acceptabelt på... Bör inte användas på... Man får ofta problem om man... Vi slutade använda metoden för att... Om man kör för länge så kan det hända att... Om man spiller på golvet... Alfa nuklider kan ställa till problem om... Avfallshanteringen är lätt/svår om...	– Högtrycksspolning fungerar bäst på täta material med löst sittande kontamination – Varma oxidskikt måste lösas upp innan spolning. – Vattentrycket bör begränsas till 500 bar för att undvika materialpåverkan vid längre exponeringstider.
Annan information du ser som viktig för att använda eller inte använda metoden	Förhållandet mellan tryck och vattenmängd är viktigt för att uppnå bästa resultat.

### 6.9.3 RAB

#### Blästring

Namn	Blästring i blästerbox
Vilken typ av mekanisk process är det? Blästring Högtrycksspolning Ultraljud	Blästring med glaskulor, GL6 och GL7.
Tillverkare av utrustning	
På vilka material/komponenter används metoden?	Rostfritt Kolstål
Metoden används absolut inte på dessa material/komponenter	Aluminium Mässing Koppar Kablage Provutrustning till reaktortank Handverktyg
Applicerings tid	Max 10 sek. på varje yta.
Dekontamineringsfaktor (DF) Ange gärna för olika material/komponenter	Varierar med material, tid, avstånd och blästermedia.
Materialavverkning för olika material	
Beskriv processen: Hur körs processen?	Glaskulor i kombination med vatten och luft bearbetar ytan under tryck. Oxidskiktet hamras sönder och avlägsnas från godset. Viss avverkning/komprimering sker även på godsets yta om metoden används efter att oxidskiktet avlägsnats.
Beskriv utrustningen som används i aktuell anläggning. tankar (volym, tillverkningsmaterial) pumpar (kapacitet) ventilation blästercell blästertryck blästermedel effekt på ultraljudsbad	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Blästerboxar 2 st, 1 för rostfritt och 1 för övrigt.</li> <li>• Ventilation – Takutsug om x liter/min, passerar fuktfälla och filterbank innan luften lämnar dekonten.</li> <li>• Blästertryck – 5–8 bar</li> <li>• Blästermedel – Glaskulor, GL6 och GL7.</li> </ul>
Annan utrustning	
Har processen/anläggningen modifierats för användning i aktuell anläggning?	
Speciella säkerhetsaspekter?	
Använd sedan år?	
Använd mellan år?	
Använd ggr per år?	Varje vecka, under revision dagligen.

Namn	Blästring i blästerbox
Hur ser avfallshanteringen ut?	Uttjänt blästermedia pumpas över till ringlåsfat från mediatanken. Ringlåsfatet transporteras i strålskärm till avfallet vidare omhändertagande.
Avfallsmängd vid användning Per år eller per batch eller vad som är applicerbart	?
Vilken typbeskrivning används för deponering SFR? Eller motsvarande i Finland?	?
Erfarenheter – besvara frågor av typen: Metoden har fungerat bäst på... Metoden fungerar acceptabelt på... Bör inte användas på... Man får ofta problem om man... Vi slutade använda metoden för att... Om man kör för länge så kan det hända att... Om man spiller på golvet... Alfa nuklider kan ställa till problem om... Avfallshanteringen är lätt/svår om...	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Viktigt att hålla koll på att blästermediat håller tillräcklig kvalitet under användning, annars påverkas effektivitet och tid negativt vilket leder till sämre resultat.</li> <li>• Kontinuerligt underhåll på luftdysor/munstycken är viktigt för att inte tappa effekt över tid då de inre dimensionerna förändras vid långvarig användning.</li> </ul>
Annan information du ser som viktig för att använda eller inte använda metoden	

### Högtryckstvätt

Namn	Högtryckstvätt
Vilken typ av mekanisk process är det? Blästring Högtrycksspolning Ultraljud	Högtryckstvättning 200, 500 eller 800 bar
Tillverkare av utrustning	
På vilka material/komponenter används metoden?	Metall Plast
Metoden används absolut inte på dessa material/komponenter	"Lätta" gods
Appliceringstid	N/A
Dekontamineringsfaktor (DF) Ange gärna för olika material/komponenter	Helt beroende på hur hårt kontaminationen sitter, om den är bunden i oxidskikt osv.
Materialavverkning för olika material	Ingen
Beskriv processen: Hur körs processen?	Tvätt med högtryck (200–800 bar) i spolbox.
Beskriv utrustningen som används i aktuell anläggning. tankar (volym, tillverkningsmaterial) pumpar (kapacitet) ventilation blästercell blästertryck blästermedel effekt på ultraljudsbad	Högtrycksaggregat – < 800 Bar Ventilation i taket med utsug till fuktfälla (scrubber).
Annan utrustning	
Har processen/anläggningen modifierats för användning i aktuell anläggning?	
Speciella säkerhetsaspekter?	Normal skyddsutrustning för arbete i spolbox. Utbildning i höga tryck krävs för att använda 500 och 800 bar aggregatet.
Använd sedan år?	
Använd mellan år?	

Namn	Högtryckstvätt
Använd ggr per år?	> 1 ggr per vecka
Hur ser avfallshanteringen ut?	Spolvattnet går ut i avloppssystemet (345).
Avfallsmängd vid användning Per år eller per batch eller vad som är applicerbart	
Vilken typbeskrivning används för deponering SFR? Eller motsvarande i Finland?	N/A
Erfarenheter – besvara frågor av typen: Metoden har fungerat bäst på... Metoden fungerar acceptabelt på... Bör inte användas på... Man får ofta problem om man... Vi slutade använda metoden för att... Om man kör för länge så kan det hända att... Om man spiller på golvet... Alfa nuklider kan ställa till problem om... Avfallshanteringen är lätt/svår om...	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tungt arbete, arbeta i korta pass.</li> <li>• Krav på speciell utbildning för höga tryck.</li> </ul>
Annan information du ser som viktig för att använda eller inte använda metoden	

## Ultraljud

Namn	Ultraljud
Vilken typ av mekanisk process är det? Blästring Högtrycksspolning Ultraljud	Ultraljudsbad i olika storlek och effekt.
Tillverkare av utrustning	
På vilka material/komponenter används metoden?	Dom flesta material Kamerautrustning
Metoden används absolut inte på dessa material/komponenter	Elektronik förutom godkänd kamerautrustning (rent system)
Appliceringstid	10–120 min
Dekontamineringsfaktor (DF) Ange gärna för olika material/komponenter	
Materialavverkning för olika material	
Beskriv processen: Hur körs processen?	Vatten och kem för att bryta ytspänningen i ultraljudsbadet. Badet avgasas innan start av behandling. Kavitationsbubblorna imploderar och avlägsnar då smuts och kontamination från ytan på godset.
Beskriv utrustningen som används i aktuell anläggning. tankar (volym, tillverkningsmaterial) pumpar (kapacitet) ventilation blästercell blästertryck blästermedel effekt på ultraljudsbad	Tank – 40–120 liter Bad – 3,6 m <sup>3</sup>
Annan utrustning	
Har processen/anläggningen modifierats för användning i aktuell anläggning?	
Speciella säkerhetsaspekter?	
Använd sedan år?	
Använd mellan år?	
Använd ggr per år?	Ca. 1 gång per månad i genomsnitt

Namn	Ultraljud
Hur ser avfallshanteringen ut?	Inget avfall förutom avfallsvattnet som går ner i avloppet efter användning.
Avfallsmängd vid användning Per år eller per batch eller vad som är applicerbart	
Vilken typbeskrivning används för deponering SFR? Eller motsvarande i Finland?	
Erfarenheter – besvara frågor av typen: Metoden har fungerat bäst på... Metoden fungerar acceptabelt på... Bör inte användas på... Man får ofta problem om man... Vi slutade använda metoden för att... Om man kör för länge så kan det hända att... Om man spiller på golvet... Alfa nuklider kan ställa till problem om... Avfallshanteringen är lätt/svår om...	Fungerar bra på komplicerade geometrier, exempelvis gångor och håligheter. Väldigt tidsbesparande metod för rengöring av kamerahuvuden som använts av rent system.
Annan information du ser som viktig för att använda eller inte använda metoden	

#### 6.9.4 TVO

Nedan beskrivs den enda mekaniska dekontamineringsmetod som används inom TVO, glasblästring. Det används också enklare mekaniska metoder såsom avtorkning och högtrycksspolning. Valet av metod baseras på både tekniska krav och säkerhetskrav. Dessa metoder används också som förvätt för de huvudsakliga dekontamineringsmetoderna. Ultraljud används tillsammans med syralösning och beskrivs i avsnitt 6.7.4.

#### **Glasblästring**

Namn	Glasblästring
Vilken typ av mekanisk process är det? Blästring	Glasblästring
Tillverkare av utrustning	OL1/OL2: Vapormatt OL2: Fagerström (för lågaktiva komponenter)
På vilka material/komponenter används metoden?	Passar till nästan alla material. Kvalitetskraven på komponenterna måste tas i beaktande.
Metoden används absolut inte på dessa material/komponenter	Glasblästring bör inte användas på komponenter med små sprickor och spalter. Glasmedia måste kunna sköljas av fullständigt.
Appliceringstid	Beroende på komponent, oxidskikt, osv. En timme eller ett par timmar.
Dekontamineringsfaktor (DF) Ange gärna för olika material/komponenter	
Materialavverkning för olika material	Liten
Förbehandling/Förtvättning	Komponent måste vara ren från olja och smuts. Avfettning och högtrycksspolning rekommenderas före glasblästring. Dessutom rekommenderas el-dekont och/eller ultraljudsbehandling i syrabad för komponenter med hög dosrat för att minska dos till personal.
Beskriv processen: Hur körs processen?	Dekontamineringen utförs med glas- eller keramiska pärlor i vatten. Effektiviteten justeras genom att variera lufttrycket i munstycket.



Namn	Glasblästring
Beskriv utrustningen som används i aktuell anläggning. tankar (volym, tillverkningsmaterial) pumpar (kapacitet) ventilation blästercell blästertryck blästermedel effekt på ultraljudsbad Annan utrustning	OL1: Glasblästringskabin med två arbetsstationer, en för små och en för stora komponenter. Båda arbetsplatser har roterande arbetsbord. Små komponenter hanteras via en handskbox där det finns både en dekontamineringsrobot och ett manuellt munstycke av pistoltyp. För stora komponenter görs dekontamineringen med dekontamineringsrobot eller manuellt inne i kabinen, med separat munstycke. Skyddsutrustning i form av övertrycksskyddsdräkt måste användas i kabinen. Blästertryck < 6,5 bar Tillblandningen 15–25 vol-% blästringsmedia till vatten OL2: Två glasblästringskabiner för små komponenter en för lågaktiva komponenter och en för komponenter med hög aktivitet (högsta tillåtna ytkontaminationsnivå 10 Bq/cm <sup>2</sup> ). Dekontaminering görs via munstycke av pistoltyp. Blästertryck < 5,5 bar Tillblandningen är ca 10 vol-% blästringsmedia i förhållande till vatten. Alla kabinerna har direkt arbetsplatsventilation. Golvet i kabinen är konstruerat så att aktiva partiklar inte ansamlas i kabinen.
Har processen/anläggningen modifierats för användning i aktuell anläggning?	ABB industrirobot används i glasblästringskabinen på OL1, vilket medför lägre doser till personal vid dekontaminering.
Speciella säkerhetsaspekter?	Högtryck Hög aktivitetsnivå Människa-maskinsystem (MTO) Buller Stora och tunga komponenter
Använd sedan år?	Dekontamineringsrobot har använts sedan 2012.
Använd mellan år?	
Använd ggr per år?	Används året runt.
Hur ser avfallshanteringen ut?	Avfallsvatten som innehåller krossat blästermedel, leds till separat lagertank och vidare till ett 200 liters fat. Klarväska pumpas till avloppssystemet. Avvattnat blästermedel får torka.
Avfallsmängd vid användning Per år eller per batch eller vad som är applicerbart	Beroende av inmatning av avjonat vatten 1–10 m <sup>3</sup> /anläggning
Vilken typbeskrivning används för deponering SFR? Eller motsvarande i Finland?	Avvattnat blästermedel deponeras i silo för lågaktivt avfall.
Erfarenheter – besvara frågor av typen: Metoden har fungerat bäst på... Metoden fungerar acceptabelt på... Bör inte användas på... Man får ofta problem om man... Vi slutade använda metoden för att... Om man kör för länge så kan det hända att... Om man spiller på golvet... Alfa nuklider kan ställa till problem om... Avfallshanteringen är lätt/svår om...	
Annan information du ser som viktig för att använda eller inte använda metoden	Goda erfarenheter. Bra resultat på kort tid.

## 6.9.5 Lovisa

I detta avsnitt beskrivs de mekaniska dekontamineringsmetoder som används i Lovisas dekontamineringsverkstad. Utöver dessa metoder används också enkla manuella metoder för dekontaminering. Alla dessa metoder kan också användas som förtvätt för de huvudsakliga dekontamineringsmetoderna.

### Högtryckstvätt

Namn	Högtrycksspolning/-tvätt
Vilken typ av mekanisk process är det? Blästring Högtrycksspolning Ultraljud	Högtrycksspolning 200 bar
Tillverkare av utrustning	Nilfisk Alto Poseidon 7
På vilka material/komponenter används metoden?	Alla
Metoden används absolut inte på dessa material/komponenter	Elektronik
Appliceringstid	Varierande
Dekontamineringsfaktor (DF) Ange gärna för olika material/komponenter	
Materialavverknig för olika material	Ingen
Beskriv processen: Hur körs processen?	Komponenterna högtrycksspolas i spolbox med handhållen pistol
Beskriv utrustningen som används i aktuell anläggning. tankar (volym, tillverkningsmaterial) pumpar (kapacitet) ventilation blästercell blästertryck blästermedel effekt på ultraljudsbad	Högtryckstvätt: Märket Nilfisk Alto Poseidon 7 Tryck ca 200 bar Endast avjoniserat kallt vatten Vattenflöde 1 280 l/h
Annan utrustning	
Har processen/anläggningen modifierats för användning i aktuell anläggning?	Ingen modifiering. Några extra specialmunstycken finns för tvätt av rör och dylikt på insidan.
Speciella säkerhetsaspekter?	Hörselskydd, stövlar, skyddsoverall, förkläde, friskluftmask och skyddshandskar.
Använd sedan är? Använd mellan år?	Högtryckstvätt har funnits sedan 80-talet, det finns också en högtryckstvätt med trycket 1 000 bar, som inte används säkerhetsskäl. De högtryckstvättar som används idag är införskaffade 2012.
Använd ggr per år?	Dagligen
Hur ser avfallshanteringen ut?	Vattnet samlas i mellanförvaringstank och pumpas vidare till avfallsanläggningen.
Avfallsmängd vid användning Per år eller per batch eller vad som är applicerbart	Varierande
Vilken typbeskrivning används för deponering SFR? Eller motsvarande i Finland?	
Erfarenheter – besvara frågor av typen: Metoden har fungerat bäst på... Metoden fungerar acceptabelt på... Bör inte användas på... Man får ofta problem om man... Vi slutade använda metoden för att... Om man kör för länge så kan det hända att... Om man spiller på golvet... Alfa nuklider kan ställa till problem om... Avfallshanteringen är lätt/svår om...	Metoden används för tvätt, sköljning och dekontaminering. Största delen av komponenterna högtrycksspolas alltid före och efter tvätt.
Annan information du ser som viktig för att använda eller inte använda metoden	

## Glasblästring

Namn	Glasblästring
Vilken typ av mekanisk process är det? Blästring Högtrycksspolning Ultraljud	Glasblästring
Tillverkare av utrustning	Fagerström Industriconsult Reaktor Bult Tvätt (RBT)
På vilka material/komponenter används metoden?	Rostfria material, större bultar främst reaktortankbultar
Metoden används absolut inte på dessa material/komponenter	
Appliceringsstid	10–30 min
Dekontamineringsfaktor (DF) Ange gärna för olika material/komponenter	
Materialavverkningsfaktor för olika material	
Beskriv processen: Hur körs processen?	Blästringen används till reaktortankbultar. Bultarna förbehandlas manuellt med lösningsmedel. Förbehandlingen görs för att avlägsna fetter och oljor från ytorna vilket förbättrar tvätten. Bultarna tvättas en åt gången. De lyfts in i tanken varefter tvättprogrammet startas. Bultarna roterar i tanken och blästermunstycket rör sig automatiskt från ända till ända. Efter tvätten sköljs bulten med avjoniserat vatten och lyfts ut. Som efterbehandling torkas bulten med tryckluft och behandlas med Industol PE2*.
Beskriv utrustningen som används i aktuell anläggning. tankar (volym, tillverkningsmaterial) pumpar (kapacitet) ventilation blästercell blästertryck blästermedel effekt på ultraljudsbad	Blästringen sker i en sluten box med måtten 2 420×540×800 mm. Blästermedlet består av en blandning av glaskulor, avjoniserat vatten och luft. Storleken på glaskulorna är 100–200 µm. Vid start laddas 2–3 säckar (25 kg) blästermedel som fylls på vid behov. Blästertrycket är 6–8 bar. Bredvid blästern finns en pump och mediatank som separerar blästermedlet från avlägsnade större partiklar. Avfallsvatten och glasavfall pumpas till mindre tank där fast avfall filtreras bort och vattnet leds till avloppet.
Annan utrustning	
Har processen/anläggningen modifierats för användning i aktuell anläggning?	Anläggningen är specialbeställd för rengöring av bultar på Lovisa.
Speciella säkerhetsaspekter?	Hörselskydd
Använd sedan år? Använd mellan år?	Första versionen av tvätten levererades 2007, som då var en högtryckstvätt på 1 000 bar. 2009 modifierades den till glasblästring. Tvättresultatet blev betydligt bättre med glaskulor.
Använd ggr per år?	Anläggningen används mycket aktivt under revisionen 1–2 månader per år då 120–240 bultar tvättas
Hur ser avfallshanteringen ut?	Fast avfall filtreras. Vattnet leds till avloppet och omhändertas enligt anläggningens egna rutiner.
Avfallsmängd vid användning Per år eller per batch eller vad som är applicerbart	Glaskulor, ca 150–200 kg/år.
Vilken typbeskrivning används för deponering SFR? Eller motsvarande i Finland?	
Erfarenheter – besvara frågor av typen: Metoden har fungerat bäst på... Metoden fungerar acceptabelt på... Bör inte användas på... Man får ofta problem om man... Vi slutade använda metoden för att... Om man kör för länge så kan det hända att... Om man spiller på golvet... Alfa nuklider kan ställa till problem om... Avfallshanteringen är lätt/svår om...	Fett påverkar blästermedlet och slutresultatet. Denna metod används på rostfria reaktortankbultar och vid behov på andra rostfria bultar. Bultarna är inte radioaktiva, endast fastbränt fett avlägsnas från ytan och gångorna.
Annan information du ser som viktig för att använda eller inte använda metoden	

\* En blandning av aceton och metylisobutylketon.

## Ultraljud

Namn	Ultraljud
Vilken typ av mekanisk process är det? Blästring Högtrycksspolning Ultraljud	Ultraljudsbad
Tillverkare av utrustning	Finnsonic, tillverkad 1991
På vilka material/komponenter används metoden?	Olika metaller och teflon
Metoden används absolut inte på dessa material/komponenter	Elektronik och gummi
Appliceringsstid	15–60 min
Dekontamineringsfaktor (DF) Ange gärna för olika material/komponenter Materialavverkning för olika material	
Beskriv processen: Hur körs processen	Ultraljudstanken fylls med 400 liter vatten och 20 liter Robowash tvättmedel. Mycket smutsiga komponenter förbehandlas och fett avlägsnas. Normalt behövs ingen förbehandling. Komponenterna sätts i korgar.  Badet avgas innan tvätten startar. Kavitationsbubblorna imploderar och avlägsnar då smuts och kontamination från godsets yta. Efter tvätten sköljs komponenterna alltid med högtryckstvätt Temperatur: 70–80 °C
Beskriv utrustningen som används i aktuell anläggning. tankar (volym, tillverkningsmaterial) pumpar (kapacitet) ventilation blästercell blästertryck blästermedel effekt på ultraljudsbad	Tankar: 400 liter + 400 liter sköljbad (används inte) Effekt: 3,6/7,2 kW (medeleffekt/toppeffekt) Frekvens: 30 kHz Nätanslutning: 220/380 VAC  I samband med ultraljudsbadet, finns också ett sköljbad på 400 l. Detta bad används normalt inte, eftersom sköljningen alltid sker med högtryckstvätt. Sköljbadet används då varmt sköljvatten behövs.
Annan utrustning	
Har processen/anläggningen modifierats för användning i aktuell anläggning?	Ultraljudsbadet är modifierat för att vara effektivare
Speciella säkerhetsaspekter?	Hett vatten. Hörselskydd
Använd sedan år?	1991
Använd mellan år?	
Använd ggr per år?	En gång i veckan, oftare under revision
Hur ser avfallshanteringen ut?	Avfall uppstår endast vid tömning av tank
Avfallsmängd vid användning Per år eller per batch eller vad som är applicerbart	400 l/batch
Vilken typbeskrivning används för deponering SFR? Eller motsvarande i Finland?	
Erfarenheter – besvara frågor av typen: Metoden har fungerat bäst på... Metoden fungerar acceptabelt på... Bör inte användas på... Man får ofta problem om man... Vi slutade använda metoden för att... Om man kör för länge så kan det hända att... Om man spiller på golvet... Alfa nuklider kan ställa till problem om... Avfallshanteringen är lätt/svår om...	Minskar den manuella avtorkningen. Används mestadels för att lösgöra smörjmedel som bränts fast. Har fungerat utan problem i många år. Service görs årligen.
Annan information du ser som viktig för att använda eller inte använda metoden	Lätt att använda. Lösgör fastbränd smuts bra från gängor och muttrar. Används som en del av dekontaminering, räcker sällan med endast ultraljudstvätt.

### 6.9.6 SVAFO

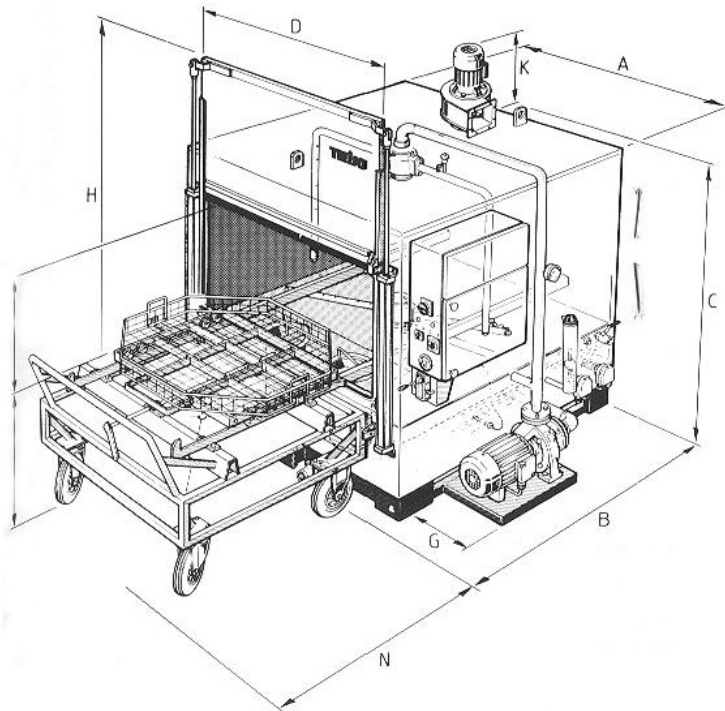
SVAFO har två tvättmaskiner, s k enstegsmaskiner, från Teijo.

Tvättmaskinerna används för material som ska dekontamineras, en för friklassning och en för återanvändning. Maskinerna arbetar vid 70°–80° och vid 6 bars tryck. Till varje maskin är en tank kopplad från vilken vattnet tas till maskinen. Vattnet recirkuleras och filtreras genom ett 50 µm filter. Vattnet till den av maskinerna som används för material som ska friklassas innehåller tvättmedel vilket inte används i den andra tvättmaskinen. I vattentanken sitter en oljeskimmer som skimmar av oljan en gång per dygn.

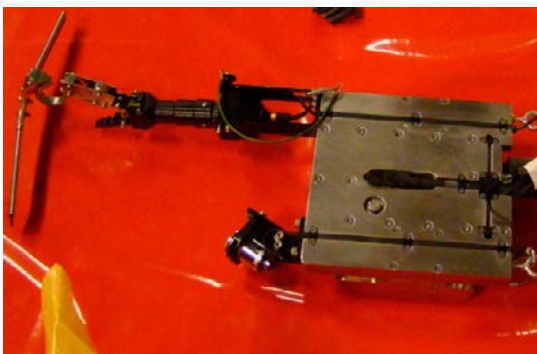
### 6.9.7 WSE

#### CIS-ROV

CIS-ROV är en liten fjärrstyrd undervattensutrustning som kan användas för dekontaminering, inspektion och för att plocka upp föremål från bottenytor i vattenfyllda inneslutningar, figur 6-17. Utrustningens totalhöjd är endast 85 mm vilket möjliggör användning i trånga utrymmen. Den primära dekontamineringsuppgiften som CIS-ROV har används till är rengöring under bränsleställ i bränslebas-sånger eftersom detta är ett väldigt trångt utrymme som inte går att komma åt med andra utrustningar.



Figur 6-16. Principskiss på en enstegstvättmaskin.



Figur 6-17. CIS-ROV.

### Dekontamineringsprocess

Under dekontamineringsprocessen förflyttas maskinen över bottenytan med hjälp av gummidrivband. För att lösgöra hårt sittande CRUD är utrustningens griparm utrustad med en gummiskrapa som dras genom CRUDlagret. För att avlägsna det kontaminerade CRUDlagret är maskinens undersida utrustad med sugmunstycket som är sammankopplade med en slangkoppling i maskinens bakdel. En slang kopplas mellan maskinens bakdel och ett filtersystem med inbyggd sugpump. Vattnet pumpar den lösgjorda CRUDen från bottenytan till filtersystemet. I filtersystemet separeras de kontaminerade partiklarna från vattnet och det rengjorda vattnet återförs till bassängen.

### Funktionalitet

CIS-ROV är utrustad med två kameror, en riktad framåt och en bakåt. I maskinens framända finns det även en griparm och belysning. Griparmen kan användas för att bära utrustning och för att gripa tag i större komponenter. Maskinen med fördel kan användas för inspektion, hämtning av tappade föremål samt för dekontaminering av bottenytor.

### Fördelar

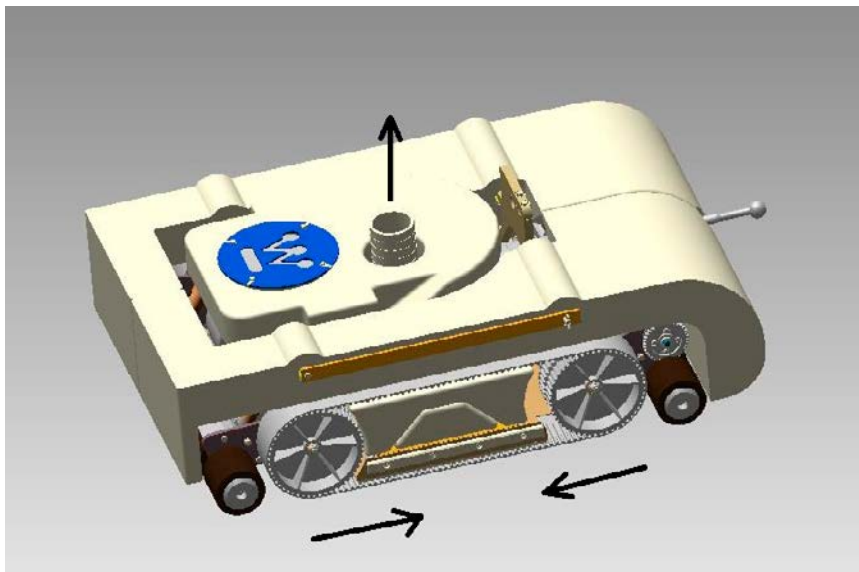
CIS-ROV används för dekontaminering av bottenytor i bränslebassänger. En stor fördel med dekontamineringsmetoden är att bränsleställen inte behöver demonteras. Utrustningen kan också användas i andra mer lättillgängliga vattenfyllda bassänger.

### U-DEC

U-DEC, fjärrstyrd undervattensutrustning för dekontaminering av reaktorsbassängers botten- och väggytor, figur 6-18. De nedre pilarna visar att rengöringsvalsarnas rotationsriktning är inåt. Den övre pilen visar utloppet där lösgjord kontamination förflyttas med vatten genom en inbyggd pump. Normalflödet är ca 15 liter per sekund.

### Dekontamineringsprocess

Under dekontamineringsprocessen förflyttas maskinen med hjälp av drivband i gummi som är i kontakt med den underliggande ytan. Rengöringsvalsarna (i fram och bakända) roterar och skrubbar ytan med hjälp av rengöringsrondellerna. Rengöringsvalsarnas rotationsriktning är inåt, mot maskinens mittpunkt. Den lösgjorda kontaminationen pumpas till ett filtersystem. De kontaminerade partiklarna separeras och det reade vattnet återförs till bassängen.



Figur 6-18. U-DEC.

## **Funktionalitet**

För att möjliggöra dekontaminering av både vägg- och bottenytor så är U-DEC utrustad med två olika typer av flytkroppar beroende på om man ska rengöra vägg eller botten.

## **Material**

Alla material i roboten är kvalificerade för att vara kompatibla med vattenkemin i reaktorbasängen.

## **Fördelar**

Genom att dekontaminera vägg- och bottenytor innan tömning av basängen reduceras dosen till personal avsevärt och den totala avställningstiden för reaktorn kortas. Ytterligare en fördel med att utföra dekontamineringen innan tömning av basängen är att utsläppen av luftburna aerosoler då väggytorna torkar kraftigt reduceras.

## ***Mekaniska metoder vid bränslefabriken***

Metoderna är avsedda för att dekontaminera urankontaminerat icke brännbart process- och verkstadsrestmaterial samt diverse brännbart och icke brännbart byggrestmaterial från ombyggnadsverksamheten inom verkstäderna för öppen uranhantering. Då kontamineringen främst utgörs av ytbundet uran, begränsar sig dekontamineringsmetoderna till högtryckstvätt och blästring. Högtryckstvätt genomförs med vatten eller vatten och alkaliskt rengöringsmedel (Alfanol). Högtryckstvätten är av fabrikat Kränzle och har en kapacitet på 15 liter/min. Spolplatsen där tvätten genomförs är av egen konstruktion och mäter 2 200×1800×2 000 mm. Typiska material som rengörs genom högtryckstvätt är större verktyg och detaljer som ska återanvändas i produktionen eller gods som ska skäras ner och skrotas. Blästring görs på torrt och sönderdelat metalliskt material. Slungblästern är av fabrikat C.M. L50 med blästerutrymme 422×520 mm och har en max kapacitet på 70 kg gods. Blästersanden (stål-kulor) blir efter en tid uttjänt och byts därför ut regelbundet.

## 7 Erfarenheter och lärdomar

### 7.1 Sammanfattning

I detta kapitel sammanfattas resultat och erfarenheter av de systemdekontamineringar som gjorts i Sverige och Finland. I kapitlet ges också exempel på dekontamineringsmetoder som inte längre används beroende på dåliga erfarenheter. I kapitlet berörs också dekontamineringsmetoder som inte används i Sverige och Finland (inom kärnteknisk verksamhet).

Systemdekontaminering har gjorts i Ringhals, Forsmark, Oskarshamn, Lovisa och Studsvik. De svenska verken har tillämpat den kemiska dekontamineringsmetoden CORD/UV från AREVA. Lovisa har använt den kemiska dekontamineringsmetoden CORD från Siemens. I samtliga fall har systemdekontamineringen varit lyckad, men resultaten av passiveringen efter dekontamineringen har varierat. Återkontamineringen är beroende av ett flertal parametrar och uppvisar därför stora variationer. En parameter som ofta förbises är de slutliga eftersköjningarna som erfarenheter visar spelar en stor roll med avseende på dekontamineringsresultatet även i långtidsförloppet. Planeringstiden inför en systemdekontaminering bör vara väl tilltagen så att alla olika aspekter kan gås igenom innan dekontamineringsarbetet börjar. Strålsäkerheten säkerställs genom ett nära samarbete med strålskydd.

Metoderna TURCO, fosforsyrabad och betpasta har tidigare använts för dekontaminering vid de svenska kärnkraftverken. Dessa metoder används inte längre beroende på arbetsmiljörisk samt besvärlig avfallshantering.

Avsnitt 7.4 tar upp ett antal dekontamineringsmetoder som ännu inte används i Sverige eller Finland, men som används i andra kärntekniska anläggningar och därför kan vara intressanta.

### 7.2 Dosreducering till följd av systemdekontaminering

#### 7.2.1 RAB

Ringhals 1 har vid två tillfällen utfört kemisk systemdekontaminering. Den första utfördes 1997 då metoden NP-LOMI användes för systemdekontaminering av 313-loopar och delar av 321 samt 331. Den andra utfördes under 2014 med metoden CORD-UV på delar av 321 och 331. Erfarenheterna är övervägande goda framförallt från CORD-UV som utfördes med hjälp av personal och utrustning från AREVA.

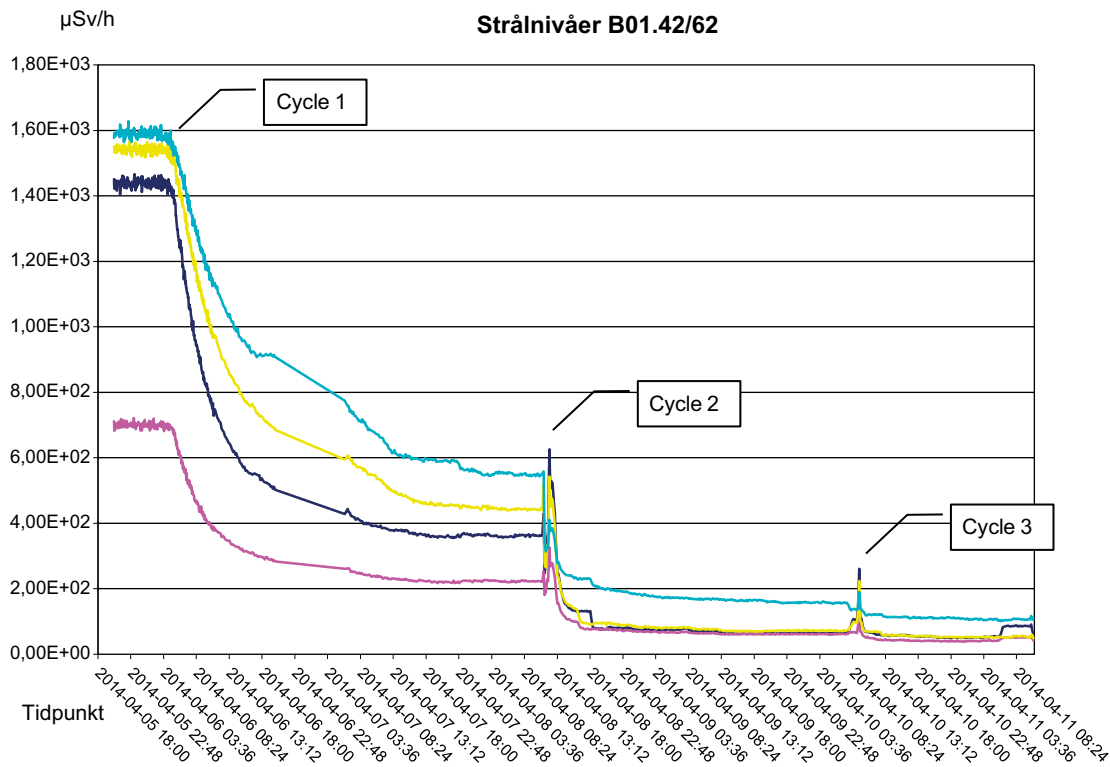
Resultatet från systemdekontamineringen 2014 med CORD-UV blev följande efter 3 cykler:

- DF för 321 blev ca 60.
- DF för 331 blev ca 40.
- Exklusive höga värden blev den generella DF ca 18.
- Värmeväxlaren 331E001 var svårare och fick en slutlig DF på 2.
- Dosbesparingen för personal som arbetade i utrymmen med höga dosrater under revisionen 2014 blev ca 2,3 manSv.

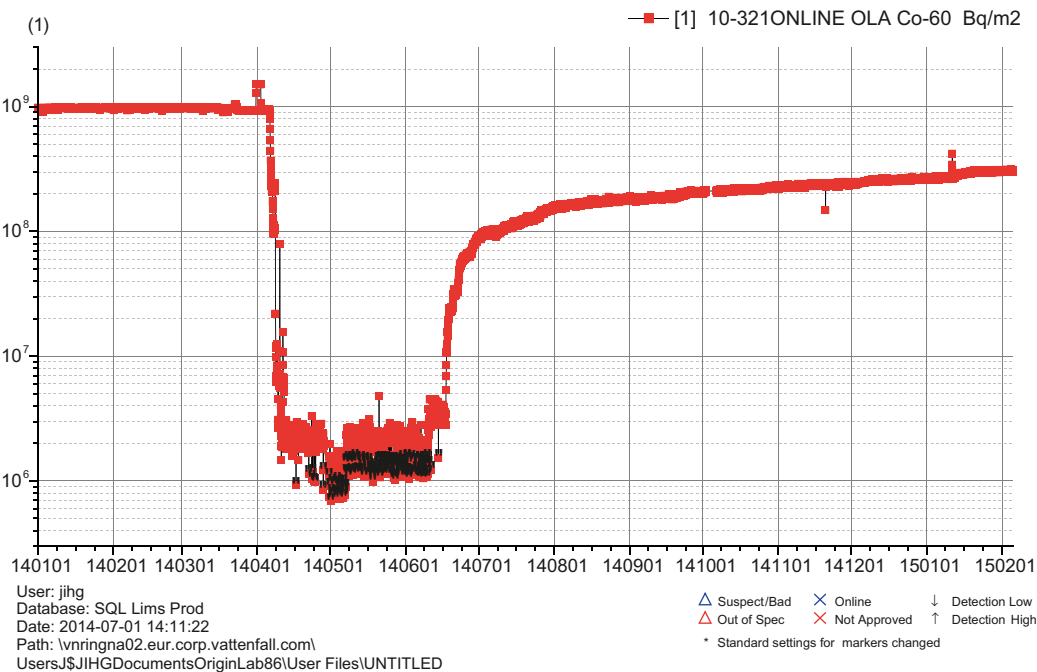
Allmändosrat i utrymme B01.42/62 under systemdekontamineringen kan läsas från figuren nedan.

Systemdekontaminationen samt återkontaminationen av Co-60 på ett 321-rör kan ses i figuren nedan.





**RINGHALS 1**  
321 OLA

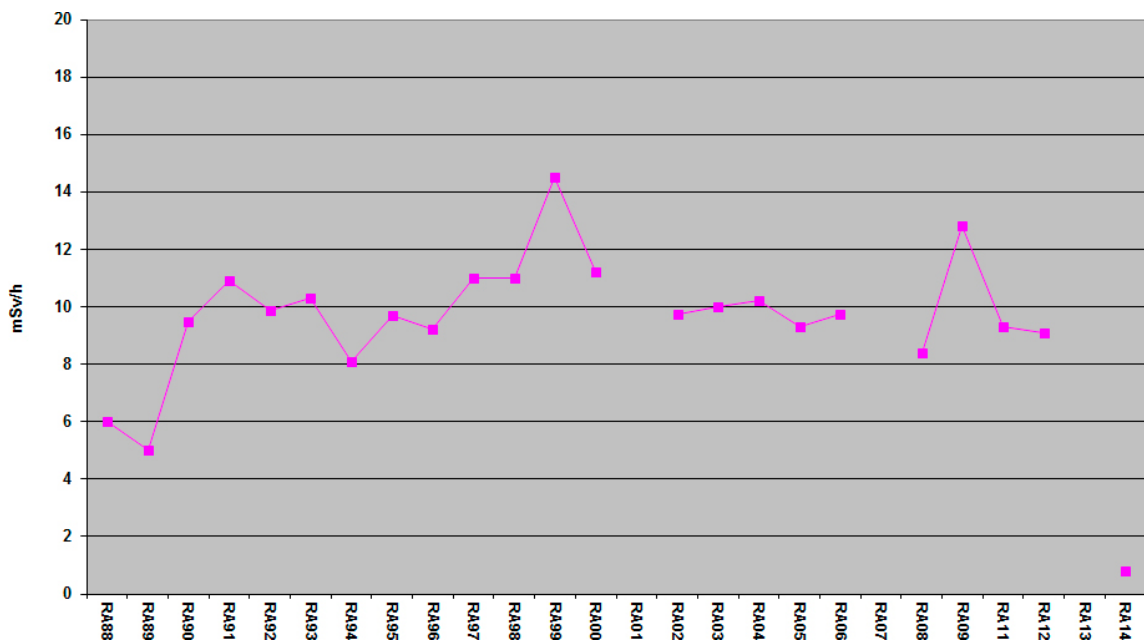
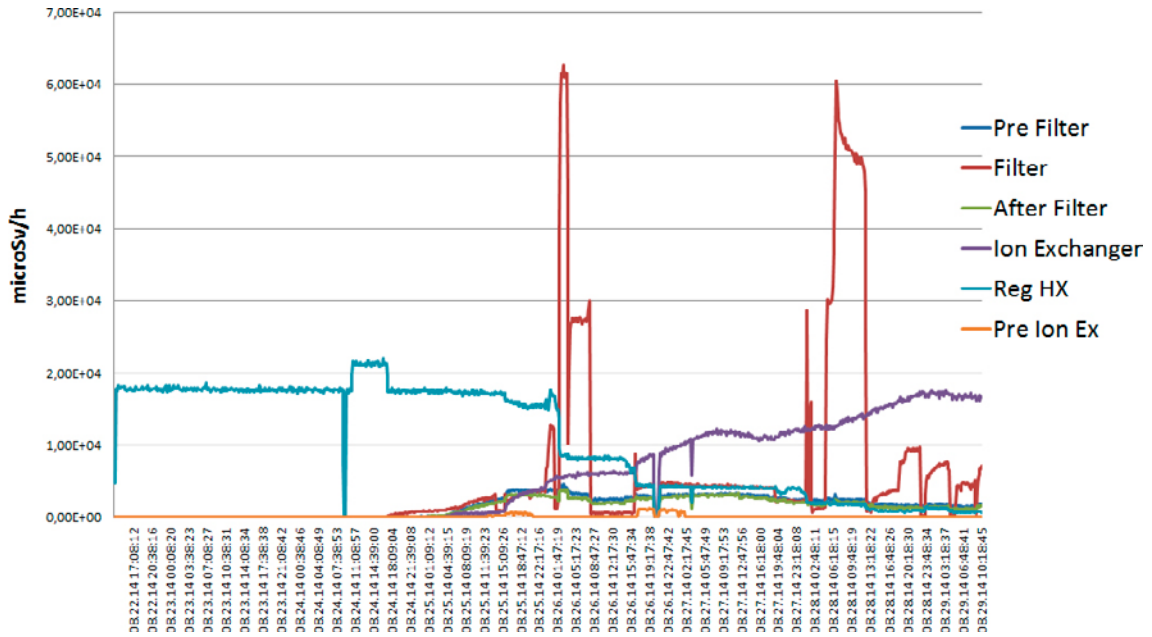


Ringhals 2 utförde en kemisk systemdekontaminering av regenerativa värmeväxlaren under 2014. Arbetet utfördes av Ringhals egen personal samt ett fåtal entreprenörer. Kemikalierna som användes var kaliumpermanganat samt oxalsyra och metoden var liknande CORD-metoden.

Resultatet från dekontamineringen av regenerativa värmeväxlaren blev:

- DF blev 50.
- Sb-124 och Ag-110 var största bidraget till dosraten på värmeväxlaren och dessa avlägsnades effektivt.
- Eftersom dekontamineringen utfördes av egen personal samt ett fåtal entreprenörer blev kostnaden relativt låg.

Effekten av dekontamineringen samt den generella dosratsreduceringen kan läsas från figurerna nedan.



## 7.2.2 OKG

### **Oskarshamn 3 – Dekontaminering av system 321/331 under revisionsavställningen 2014**

#### **Sammanfattning**

För att skapa en radiologisk acceptabel arbetsmiljö under revisionsavställningen 2014 (RA-14), så planerades projekt- och underhållsarbete vid Oskarshamn 3 för att genomföras på ett enkelt, kostnadsoptimalt och säkert sätt (ALARA). Det rekommenderades att reducera dosraterna på Oskarshamn 3 genom systemdekontaminering av systemen 321 och 331.

Nedan beskrivs hur dekontamineringen av system 321/331 på Oskarshamn 3 utfördes. Den beskriver förarbetet, etablering av mobil dekontamineringsutrustning (AMDA), anslutningarna mot systemen, de olika dekontamineringsstegen, uppreningen av dekontovätskan, samt avetablering av utrustningen. Ett särskilt avsnitt tar också upp erfarenheter av arbetet.

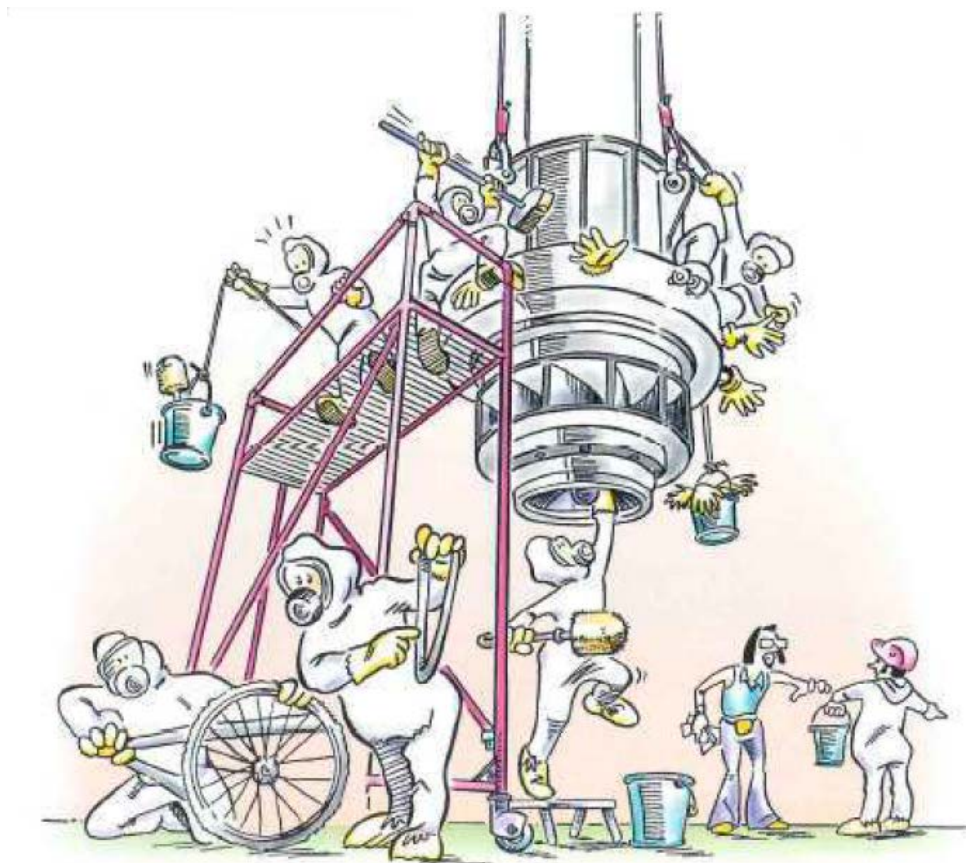
#### **Bakgrund**

År 1999 genomfördes en systemdekontaminering av delar av system 321 på Oskarshamn 3 för att skapa en acceptabel radiologisk miljö för de underhållsarbeten som skulle utföras. Denna utföll med bra resultat och anläggningen har dragit nytta av denna dekontaminering i många år varför beslut togs att åter utföra en systemdekont under RA-14.

Under revisionsavställning 2012 (RA-12) och revisionsavställning 2013 RA-13 noterades att dosraterna och kontaminationsnivåerna från 321 högtryckskretsen hade ökat väsentligt. Detta skulle ha medfört en väldigt hög dosbelastning under RA-14 då mycket arbete skulle ske i utrymmen nära system 321.

Erfarenheterna från RA-13 visade att dosratsutvecklingen på system 321 hade en ökning sedan föregående år, och sett över hela 2000-talet var det en tydligt stigande trend.

På grund av detta väcktes en fråga om att dekontaminera system 321 för att minska kollektivdosen.



## Mål

Att skapa en radiologiskt acceptabel miljö så att de planerade projekt- och underhållsarbetena under RA-14 kunde genomföras på ett enkelt, kostnadsoptimalt och säkert sätt (ALARA).

## Omfattning/Avgränsningar

System	Volym (m <sup>3</sup> )	Vätskeberörd yta (m <sup>2</sup> )
321	Ca 7	Ca 570
331	Ca 7	Ca 950
AMDA	Ca 2	–

## Beskrivning

### Krav och krav efterlevnad

#### *Operatörskrav*

Operatörspersonalen till AMDA-utrustningen var till största delen personer med erfarenhet av tidigare dekontprojekt. Det fanns erfaret folk på varje skift.

#### *Arbetarskyddskrav*

En arbetsmiljöplan för revisionen samt en riskanalys för systemdekonten togs fram. En fördjupad arbetsgenomgång hölls med berörd personal före dekontstart. Erforderlig skyddsutrustning togs fram.

#### *Brandskyddskrav*

Kemikalier som ingick i processen förvarades åtskilda och i förekommande fall (väteperoxid) invallade. Riskvärderingar togs fram för samtliga dekontkemikalier.

#### *Kemiska krav*

Halterna av respektive kemikalier i processen följde rekommendationerna i AREVA:s instruktioner för dekontaminering med CORD.

#### *Materialkrav*

Alla material bedömdes vara verifierade. Kompletta materiallistor fanns och leverantören visade att alla material var verifierade.

#### *Renhetskrav*

Efter slutförd dekontaminering spolades alla ”deadlegs” för att få bort så mycket som möjligt av eventuell inestående dekontvätska.

#### *Strålskyddskrav*

ALARA-principen följdes och gränser i instruktion för ”Dosgränser och planeringsvärden för dos/dosrat” innehölls

## Dekontaminering

Dekontamineringsmetod – AREVA:s CORD-UV, se kapitel 6.8.2 OKG, CORD-UV™ .

## Process

AREVA:s CORD dekontamineringsmetod består av en fyrstegsprocess enligt nedan, denna utförs normalt tre gånger.

### *Oxidationssteg*

I detta steg tillsätts permangansyra (max 250 ppm) för att omvandla svårlösliga kromoxider till lättlösliga kromater, *utförs normalt inte i den första cykeln*.

### *Reduktionssteg*

Här tillsätts oxalsyra för reduktion av kvarvarande permangansyra till manganjoner, koldioxid och vatten, *utförs normalt inte i den första cykeln*.

Manganjonerna renas bort via katjonbytare och koldioxiden avluftas.

### *Dekontamineringssteg*

Under detta steg tillsätts ytterligare oxalsyra (max 2 000 ppm) och oxiden på systemytorna löses upp. Frigjord aktivitet och metalljoner renas kontinuerligt via katjonbytare i detta steg.

### *Nedbrytningssteg*

Som avslutning på varje cykel oxideras resterande oxalsyra till koldioxid genom tillsats av väteperoxid och UV-ljus. Koldioxiden avluftas.

Samtliga steg utförs vid 90–95 °C. Vid dekontaminering av BWR-oxid utelämnas normalt oxidationssteget under den första cykeln eftersom systemytorna redan befinner sig i ett oxiderat tillstånd.

## **Dekontamineringsutrustning**

Den dekontamineringsutrustning som användes bestod av:

- Elvärmare och cirkulationspump för uppvärmning och cirkulation av processmedia, samt buffert-tank till vilken all dosering av kemikalier sker.
- Doseringstank med omrörare och värmepatron, för tillblandning av kemikalier och dosering till bufferttanken.
- Två mobila jonbytare à 250 dm<sup>3</sup>, dessa skärmas av och aktivitetsinventariet övervakas under hela dekontamineringen. Provvattag tas före och efter dessa för analys av processen.
- UV-modul för nedbrytning av organiskt material.
- Påsfilter med fyra filterinsatser för att samla upp crud och partiklar från systemet.

Processen övervakades kontinuerligt online med avseende på viktiga parametrar för styrning (konduktivitet, pH, temperatur, tryck, etc). Dessutom kompletterades denna övervakning med stickprovtagning som analyserades i kemilaboratorium.

För bestämning av dekontamineringsfaktorn användes ett internt system för kontinuerlig registrering av dosraten.

- Mätbrygga för monitorering av processen. Mätning av pH, redoxpotential, temp, samt cps.
- Processdator med två TLD-skärmar. Härifrån styrs hela utrustningen.

<b>Personal</b>	<b>Antal</b>
RA-koordinator	1
Planering	1
Projektledare	1
Driftpersonal	6
Strålskydd	6
Kemi	6
Mek	3
AREVA-personal	5
Montage/demontage	8

Under dekontamineringen utfördes arbetet i treskift.

## Etablering av AMDA

Etableringen av dekontutrustningen AMDA, se figur 7-1, skedde i anpassade i lokaler enligt tidigare erfarenheter.

## Genomförande/dekontaminering av 321/331

Genomförandet av dekontamineringen sammanfattas i tabell 7-1.

Diskussion fördes om att inte köra en tredje cykel. Beslutet blev att vi trots allt skulle köra en tredje, förkortad cykel eftersom vi bedömde att det var värdefullt för anläggningens status. Dock fick vi stryka en extra sköljning av hela systemet efter avslutad dekont, vilket senare visade sig inte vara bra.

Tabell 7-1. Åskådliggörande av dekontamineringens olika processteg.

System	Cykel	Processteg	Kemikalier	Tidsåtgång (h)
321/331	1	Uppfyllning, uppvärmning, läckagesökning samt åtgärd av felkopplade slangar	H <sub>2</sub> O	50, varav ca 14 p g a de felkopplade slangarna
321/331	1	Dekontaminering	HOx, 45 kg	32
	1	UV-oxidation, nedbrytning av oxalsyra samt upprening på jonbytare	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> 30 kg, jonbytarmassa, an- och katjon	12
<b>Tidsåtgång cykel 1</b>				<b>44</b>
	2	Oxidation	HMnO <sub>4</sub> 180 l	13,5
	2	Dekontaminering	HOx 50 kg	15
	2	UV-oxidation, nedbrytning av oxalsyra samt upprening på jonbytare	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> 65 kg, jonbytarmassa, an- och katjon	7,5
<b>Tidsåtgång cykel 2</b>				<b>38</b>
	3	Oxidation	HMnO <sub>4</sub> 150 l	11,5
	3	Dekontaminering	HOx 40 kg	12
	3	UV-oxidation, nedbrytning av oxalsyra samt upprening på jonbytare	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> 37,5 kg, jonbytarmassa, an- och katjon. Extra jonbytare mixbädd	8,5
	3	Deadlegspolning	H <sub>2</sub> O	3
	3	Dränering av AMDA		2
<b>Tidsåtgång cykel 3</b>				<b>37</b>
<b>Tidsåtgång totalt</b>				<b>169</b>



Figur 7-1. Överblick AMDA.

## **Avfall och avfallshantering**

### *Jonbytarmassa, backspolning av jonbytarna*

CORD-processen genererar förhållandevis lite sekundäravfall, endast vatten samt förbrukad kornformig jonbytarmassa. Denna tas omhand enligt anläggningens gängse rutiner. Den jonbytarmassa som hade fyllts i 331 CB2 backspolades av driften till adekvat tank, den massa som varit i AMDA:s mobila jonbytare backspolade vi själva efter ca två veckor då övrigt revisionsarbete tillät detta. Backspolningen skedde till system 331 på samma sätt som skett under Mink-projektet 1999. Arbetet skedde i samarbete med driften och strålskydd. Allt gick som planerat.

## **Erfarenheter drift**

- Statusen på reservdelar bör kontrolleras i ett tidigt stadium i förberedelsefasen, så att inte dessa blir kritiska.
- Identifiering och åtgärder av felfungerande/felanmälda ventiler som ingår i dekontkretsen bör göras innan dekont.
- Vid montering av adaptrar bör man använda sig av gummipackningar vilka är mer förlåtande mellan adapter och ventillhus.
- Avluftningar bör byggas in på lämpliga högpunkter.
- Så högt flöde som möjligt bör eftersträvas för att möjliggöra att partiklar o dylikt verkligen följer med. Högre flöde ger högre tryck vid kritiska anslutningar. Vid dessa anslutningar hade vi under dekontamineringen ett maximalt tillåtet tryck. Flödet blev följaktligen endast 25 kg/s vilket är för lågt.
- Man bör se över möjligheten att ha högre tryck utan att riskera läckage.
- Man ska vara tydlig med att en startad dekontamineringscykel inte bör avbrytas i förtid. Bättre att från början planera en kortare cykel.
- Planeringen startade efter RA-13 och semesterperioden, dvs åtta månader innan RA-14, vilket är alldeles för kort tid för att planera en större systemdekont.
- Montage av adaptrar i systemet är alltid tidskritiskt.
- Driftpersonal ska vara med från början för framtagning av driftorder och flödesscheman.
- En felkopplad slang medförde tidsförlust i början av genomförandet.
- Den slutliga uppreningen påverkades av att det fanns silver i vattnet som inte gick att filtrera bort. Man fick tömma vattnet till avfallet för att kunna ta hand om det.
- Arbetet följde tidsplanen.
- Bra uppställningsplats för dekontutrustning.
- Stor tidsbesparing att använda anläggningens reningsutrustning (331-jonbytaren CB2).
- Hela avetableringen genomförd på ett bra och säkert sätt, beroende på att det inte förelåg någon stor tidspress.

## **Strålskydd**

### *Systemdekontaminering 321*

Med tanke på den mängd mantimmar som planerades i projektet rekommenderade strålskyddsorganisationen att genomföra en systemdekont av 321 under RA-14. Förslaget bifölls och arbetet planerades in i början av RA-14.

Resultatet uppgick inte till de förväntningar som fanns innan RA, men de av leverantören garanterade dekontamineringsfaktorerna innehölls. Dosratssänkningen blev markant och förhållandevis lite oplanerad skärmning behövde tillgripas.

Det som gick sämre var att man i samband med återställningen av dekontutrustningen upptäckte att det fanns mycket lös kontamination i systemet.



Sköljningen efter avslutad dekont utföll inte tillfredsställande. En trolig orsak är att det varit för lågt flöde i samband med sköljningen och därmed inte förmått att lyfta och transportera partiklarna till filter och jonbytare.

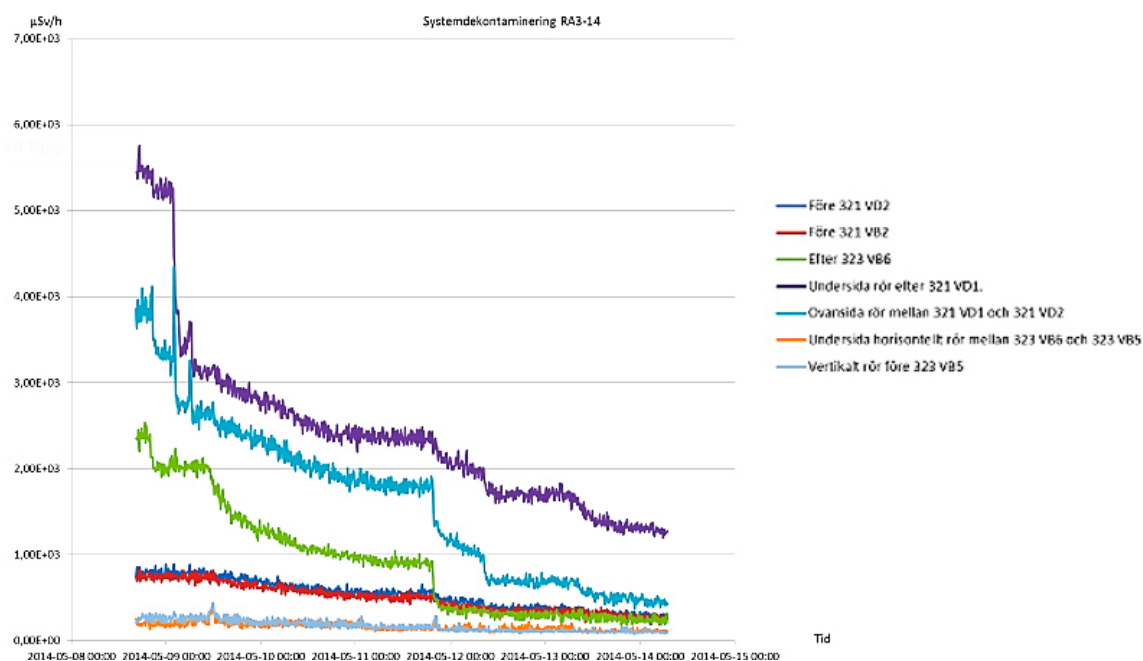
#### Erfarenheter strålskydd

- Hanteringen av AMDA – utrustningen har genomförts på ett, ur arbetsmiljö och strålskydds-synpunkt, bra sätt.
- Stor fokus kring dekontamineringsfaktorn, men inte på de dosrater som erhöles efter avslutad dekontaminering.
- Önskad dekontamineringsfaktor var 10 och den erhållna dekontamineringsfaktorn blev 9,65.
- Mycket hög lös kontamination i systemen efter dekontamineringen. En omfattande sköljning måste genomföras efter en dekontaminering.
- Bra samarbete mellan strålskydd och övrig personal.

Tabell 7-2. Dosutfall per yrkesgrupp.

Dosutfall per yrkesgrupp			
Yrkesgrupp	Benämning	Dos mmanSv	Mantimmar
10	Strålskydd	0,26	32
20	Mek. Reparator	23,51	419
29	Mek. Konstruktör	6,95	357
30	Dekontaminering	0,5	224
31	Sancring	11,26	1025
32	Ställningsbyggare	0,99	19
40	Isolerare	0,08	1
50	Driftpersonal	1,34	142
60	Materialprovare	0,1	1
65	Kontrollanter	0,12	1
70	El/ instrument	0,15	19
80	Kemipersonal	0,08	196
90	Övriga	0	14

Totalt dosutfall blev 45,2 mmanSv.



Figur 7-2. Dosratsreduktion under dekontamineringen.



### Summary of Results

#### System 321/331 Decontamination at the NPP OKG1, Unit 3 May 2014

	Cycle 1	Cycle 2	Cycle 3	Total
Fe [g]	3 555	960	285	4 800
Cr [g]	255	165	75	495
Ni [g]	120	55	20	195
Total Cations Fe, Cr, Ni [g]	3 930	1 180	380	5 490
Activity [Bq]	7,02E+11	1,20E+11	1,40E+10	8,36E+11
DF System 321 (RHR)				0
DF System 331 (RWCU)				0
DF Overall	3,3	8,6	9,7	9,7

Figur 7-3. Materialavverkning och DF under dekontamineringen.

### 7.2.3 FKA

FKA har vid tre tillfällen utfört kemisk systemdekontaminering. Två gånger på F3 (2001 och 2011) och en gång på F2 (2012). Vid alla tre tillfällen använde man sig av AREVA CORD/UV. Skälet till valet är att det finns mycket erfarenheter av metoden från främst OKG. Metoden har också en utvecklad process för att ta hand om det sekundäravfall som bildas. Leverantör var AREVA med assistans av personal från OKG. Dekontamineringsutrustningen (AMDA) har hyrts från OKG.

Erfarenheterna är övervägande goda. Det är viktigt innan man bestämmer sig för kemisk dekontaminering att bedöma om det finns andra åtgärder som kan ge liknande resultat av dosreducering. Detta är viktigt för att kostnaderna för en kemdekont är hög. Nyttan av kemdekont är dessutom begränsad i tiden (återkontamination).

Resultatet blev följande:

- 2001 på F3 dekontaminerades systemen 321 och 323 en genomsnittlig DF på 188.
- 2011 på F3 dekontaminerades systemen 321 och 331. DF för 321 blev 115 och för 331 uppnåddes en DF på 41.
- 2012 på F2 dekontaminerades systemen 321 och 331. DF för 321 blev 41 och för 331 uppnåddes en DF på 6.

Återkontaminationen varierar efter varje dekontaminering. För F3 har återkontaminationen från 2001:s dekont varit endast 30 % av värdena före 2001. För 2011 på F3 var återkontamineringen 60–70 % av värdena före dekonten.

Systemdekonten på F2 som utfördes 2012 uppvisar den högsta återkontaminationen. Värdena överstiger de som var före systemdekontamineringen och ligger vid 2014 års mätningar över 100 %.

## 7.2.4 Lovisa

### Dekontaminering av ånggeneratorer vid Lovisa Kärnkraftverk

#### Inledning

Lovisa 1 och 2 är ryskstillverkade tryckvattenreaktoranläggningar av typen VVER-440. Till skillnad från västerländska tryckvattenreaktorer har VVER-440-reaktorn sex horisontellt ställda ånggeneratorer. De traditionella vattenkammarna för ingående och utgående primärvatten motsvaras av två lodräta cylindrar ”heta och kalla kollektorn”. Sekundärsidans manlucka ligger ovanpå de horisontella tubknippena.

#### Problemställning

Vid de periodiska granskningarna av kollektorernas övre svetsfogar, under årsavställningen 1980, upptäcktes på filmerna vissa indikationer på svetsfel djupt inne i godset. Detta ledde till 100-procentig undersökning av alla motsvarande svetsfogar. I två fall ledde ingreppen till långvariga slip- och svetsarbeten på fogarna. Allt arbete utfördes inuti ånggeneratorerna.

När de förstående arbetenas omfattning stod klar, togs beslut om att dekontaminera de två ånggeneratorerna, i vilka de mest omfattande arbetena skulle utföras. Imatran Voima Oy planerade och framställde ett system för detta ändamål. Med en elmotor kopplad till en vattenpump kunde man cirkulera dekontamineringskemikalier och sköljvatten i en sluten lopp från den ena kollektorn genom tuberna till den andra kollektorn och åter till den förstnämnda övre vägen. Uppgifter om beprövade dekontamineringslösningar erhöles av den ryska leverantören.

#### Resultat

Den totalt avlägsnade radioaktiviteten från båda ånggeneratorerna var 640 GBq och bestod främst av Co-60 (42 %) och Co-58 (25 %). Vidare avlägsnades ca 30 kg Fe-, Ni- och Cr-oxider. Ånggeneratorerna fylldes med dekontamineringslösning batchvis (se lösningar nedan) som sedan pumpades runt enligt tider givna i tabell 7-3. Mellan varje batch sköljdes ånggeneratorerna med avjonat vatten. De använda dekontamineringslösningarna, sköljvatten, aktiviteten och metalloxiderna avblåstes med tryckluft efter varje lösning, totalt 120 m<sup>3</sup>, till tankar avsedda för dekontamineringskemikalier.

De basiska vätskorna indunstades och aktiviteten förflyttades till en tank avsedd för indunstningsrester. De sura lösningarna renades på jonbytare. Sålunda förorsakade den avlägsnade aktiviteten från ånggeneratorerna inte strålskyddsproblem på nya ställen. Själva dekontamineringsarbetet förorsakade heller inga strålskyddsproblem och endast obetydliga stråldoser.

De använda dekontamineringslösningar var:

Lösning 1 KOH (50 g/l) + KMnO<sub>4</sub> (5 g/l)

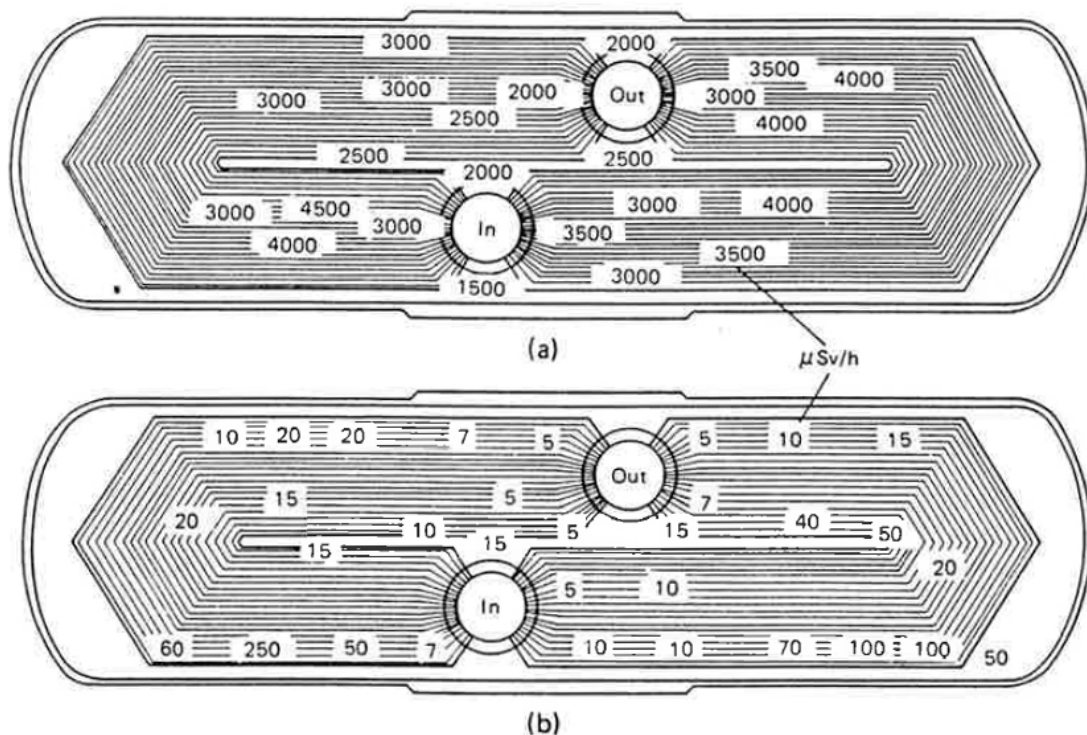
Lösning 2 H<sub>2</sub>C<sub>2</sub>O<sub>4</sub> (12 g/l)

Lösning 3 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (1 g/l) (passivering)

Hela dekontamineringsförfarandet utfördes i två cykler för vardera ånggeneratorn för optimalt resultat. Resultaten för båda ånggeneratorerna framgår ur tabell 7-3.

De angivna tiderna i tabell 7-3 är ”nettotider” inklusive tiden för påfyllning, avluftning, tömning, osv tog dekontamineringen för den första ånggeneratorn 30 h och för den andra 24 h.

Figur 7-4a visar dosraten inuti ånggeneratorn på sekundärsidan före behandlingen. Dosraterna före behandlingen låg på mellan 2,5 och 4,5 mSv/h. En höjning av sekundärsidans vattennivå till ca 10 cm över tuberna minskade strålnivån till ca 1 mSv/h. I figur 7-4b visas situationen efter dekontamineringen, då dosraten sjunkit till ca 0,01 mSv/h. Dekontamineringsfaktorn (DF) uppskattas till ca 300.



Figur 7-4. Dosraterna före (a) och efter (b) dekontaminering.

Tabell 7-3. Avlägsnad aktivitet.

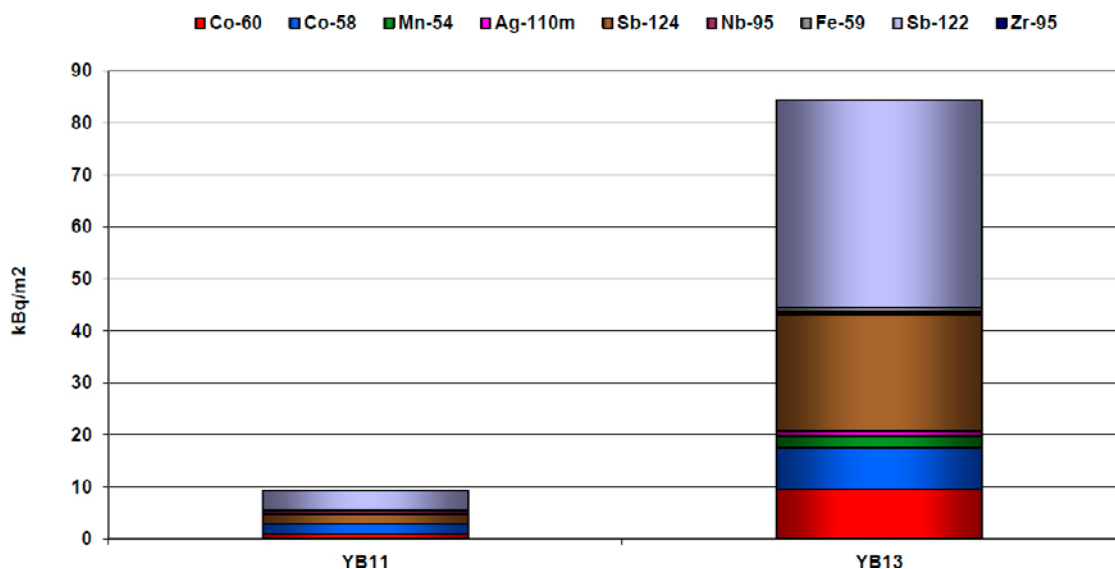
Avlägsnad aktivitet						
Cykel	Behandling		Ånggen. 1		Ånggen. 2	
Nr.	Lösning	Tid (h)	GBq	% av tot.	GBq	% av tot.
1	1	2	55	16.8	55	18.2
	H <sub>2</sub> O	0.5	2.6	0.8	1.8	0.6
	2	2	180	54.4	140	46.1
	H <sub>2</sub> O	0.5	19	5.6	33	10.9
2	1	2	3.7	1.1	3.7	1.2
	H <sub>2</sub> O	0.5	-	-	-	-
	2	2	41	12.3	15	4.9
	3	1	19	5.6	40	13.2
	H <sub>2</sub> O	3 x 0,5	11	3.4	15	4.9
<b>Totalt:</b>		12	330	100	305	100

### Erfarenheter och lärdomar

När man studerar resultaten lyckades dekontamineringen av de båda ånggeneratorerna på 1980-talet mycket bra, DF 300 och de erhållna stråldoserna för själva arbetet var mycket låga. Som passiveringskemikalie valde man att använda väteperoxid (1 m<sup>3</sup>, 1 g/l). Väteperoxiden pumpades in i samband med det första sköljvattnet i den andra cykeln (se tabell 7-3).

När vi ser på hur dekontamineringen, nu över 30 år senare, kan det konstateras att dekontamineringen lyckades mycket bra, men passiveringen misslyckades totalt. Dosraterna i de båda dekontaminerade ånggeneratorerna är ännu i dag nästan 10 gånger högre än vad de är i de fyra andra. Passiveringen lyckades inte. Det finns inga planer på att förnya dekontamineringen, men om det ändå skulle göras, kan man räkna med att dosraterna faller ner till samma nivåer som efter dekontamineringen 1981.

I figur 7-5 kan man tydligt se skillnaden i nuklidspecifika kontaminationen för ånggeneratorerna YB11 (inte dekontaminerad) och YB 13 (dekontaminerad) år 2014.



Figur 7-5. Jämförelse av dekontaminerad (YB13) och inte dekontaminerad (YB11) ånggenerator år 2014.

#### Referens

Decontamination of steam generators at Lovisa nuclear power plant, B.G. Wahström, Nuclear Safety, Vol. 25, No 4, July-August 1984

### FSD (Full System Dekontaminering) av Lovisa 2 1994

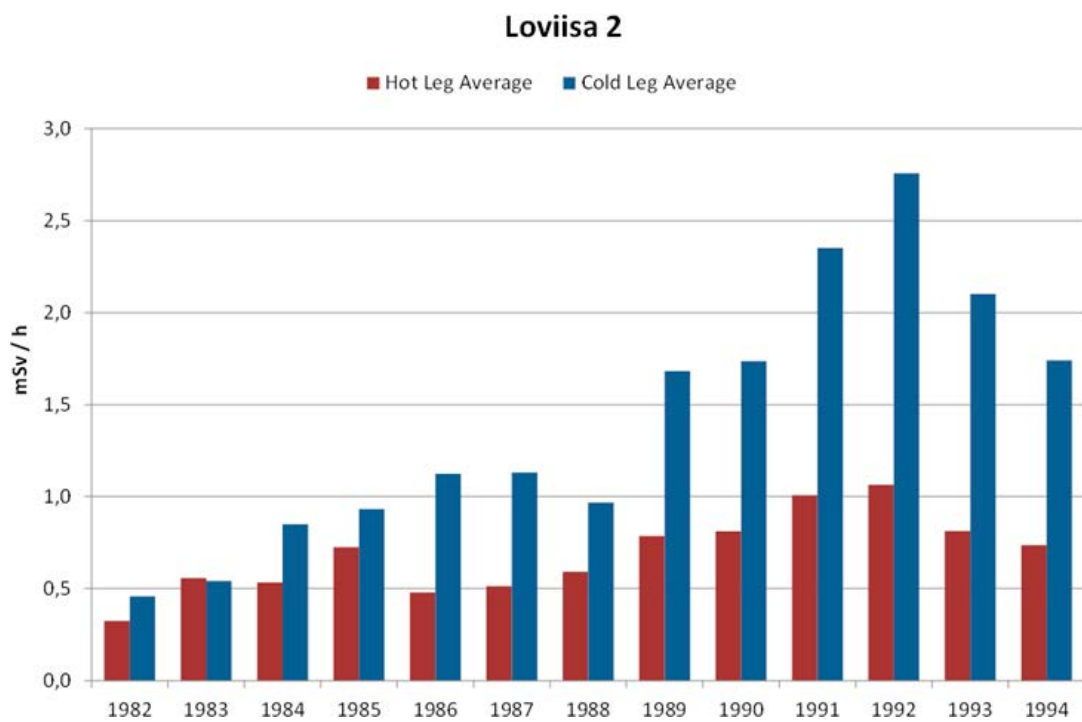
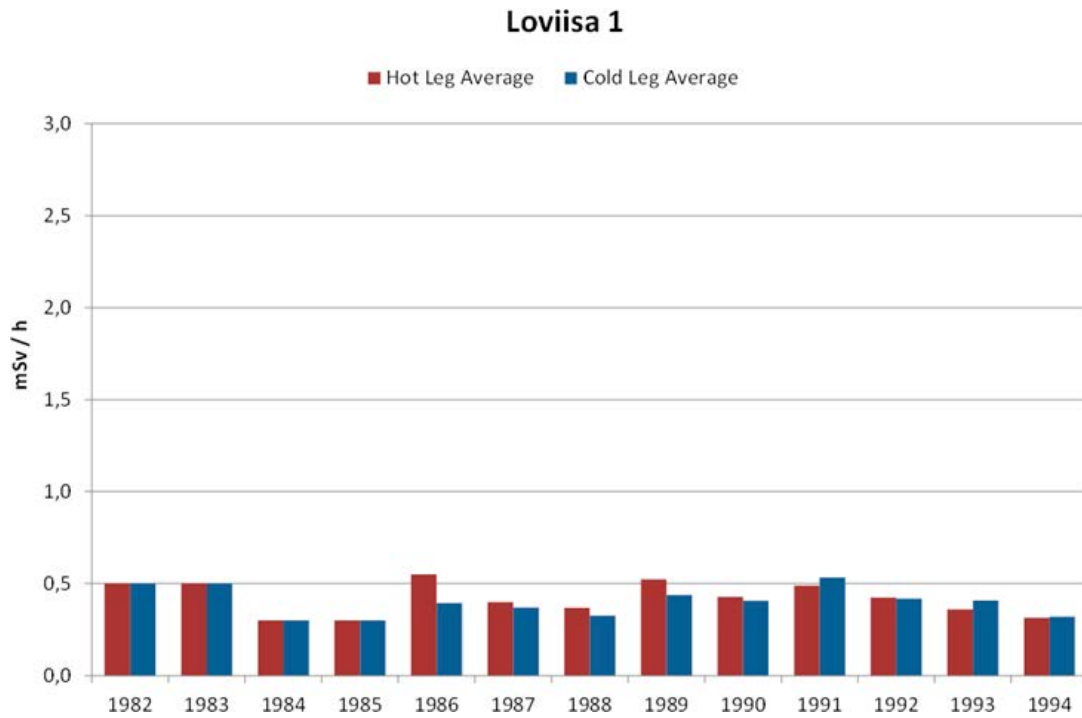
#### Inledning

Lovisa 2 utförde som första tryckvattenreaktor i världen en full systemdekontaminering (FSD) år 1994. Dekontamineringen som utfördes under revisionsavställningen 1994, omfattade hela primärsystemet inklusive reaktortank, huvudcirkulationskretsar (6), tryckhållare och ånggeneratorer (6). Bränslet avlägsnades före dekontamineringen. I stort sett alla primärkretsens hjälpsystem, såsom volymkontroll- och rengöringssystem behövdes dessutom för transport och behandling av dekontamineringslösningarna. Resultatet av dekontamineringen var mycket tillfredsställande. Dosbesparingen i revisionsavställningen var avsevärd. Erfarenheterna från Lovisa 2 visade då att FSD är en helt realistisk metod för att reducera doserna vid omfattande avställningar.

#### Problemställning

Lovisa 2 hade redan sedan starten haft stigande trend i dosrater i jämförelse med Lovisa 1, där utvecklingen har varit stabil (figur 7-6). Dosraterna för primärsystemets heta- och kalla kretsar beräknas med ett medelvärde för 6 punkter, som på båda anläggningarna mäts på samma sätt.

Denna trend var särskilt markant för den kalla loopen. Orsakerna till den stigande dosraten är inte helt kartlagda trots ett intensivt forskningsarbete. Man vet att det yttre oxidskiktet saknades helt på den kalla sidan och det inre oxidskiktet växte och "sög" upp mera aktiva isotoper, med vad som förorsakade oxidstörningen vet man inte. Den höga dosraten härrörde sig inte från endast en ensam nuklid utan hela spektrat av korrosionsprodukter inräknat järn och mangan låg på en helt annan nivå i jämförelse med Lovisa 1. I tabell 7-4 finns en jämförelse av ytkontaminationen på de båda anläggningarna. Mätningarna är gjorda samma år dekontaminering gjordes. Det märkliga var den stora skillnaden på ytaktiviteten mellan anläggningarna, eftersom båda till sin konstruktion och drift i det närmaste är identiska. Samma typ av material, bränsle, tekniska produkter och underhåll används på båda anläggningarna.



Figur 7-6. Dosrater på Lovisa 1 och Lovisa 2 före FSD.

Tabell 7-4. Jämförelse av ytaktivitet på Lovisa 1 och 2 (medeltal av 6 punkter).

Nuklid	Loviisa 1 (kalla sidan) kBq/cm <sup>2</sup>	Loviisa 2 (kalla sidan) kBq/cm <sup>2</sup>
Co-60	37	274
Co-58	28	87
Mn-54	6	44
Ag-110m	3	17
Sb-124	17	102
Fe-59	3	10

## Utförande

Innan dekontamieringen utfördes gjordes en kartläggning av erfarenheter av FSD. Kartläggningen gav snabbt tillhanda att en dekontaminering av hela primärkretsen aldrig tidigare gjorts på en tryckvattenreaktor i väst. Försök hade gjorts i det forna Östtyskland och Ryssland. Metoderna som där använts lämpade sig dock inte för Lovisa. Dekontamieringen på Lovisa 2 var banbrytande och krävde därför ett målmedvetet arbete vad gällde kvalificering av system, metoder och material.

På basis av förstudier valdes CORD-metoden (Chemical Oxidating Reducing Decontamination), som utvecklats av Siemens. Metoden kunde i det närmaste användas direkt för Lovisa 2. Endast ett fåtal systemändringar gjordes för hantering av dekontamineringslösningarna.

Den dekontaminerade kretsens volym var cirka 320 m<sup>3</sup> och ytan ca 17 000 m<sup>2</sup>. Av denna yta utgör ånggeneratorerna värmeöverföringsyta nästan 90 %. Grundmaterialet i kretsen är ett rostfritt stabiliserat austenitiskt stål, motsvarande DIN 1.4541 (SS2337).

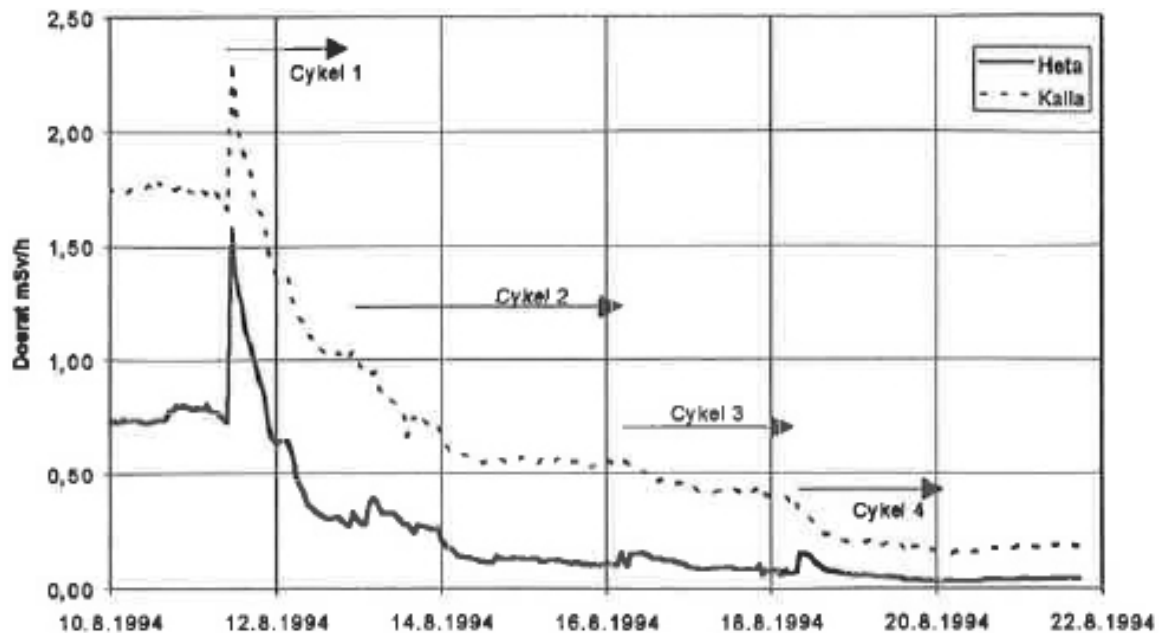
Dekontamineringen genomfördes i fyra CORD-cyklar. Varje cykel sträckte över drygt 40 timmar. Dekontamineringslösningarna renades med både katjon- och anjonbytare. Därtill avlägsnades oxalsyra genom nedbrytning med UV-ljus vilket sparade anjonmassa. Temperaturen i kretsen hölls vid 95 °C och trycket vid 30 bar.

Dekontamineringslösningarna blandades och cirkulerades i kretsen med två huvudcirkulationspumpar. Efter utförd dekontaminering genomfördes en slutrening av primärkretsen vatten varvid vattnet renades till kvalitetskraven för kall avställning. Efter reningen utfördes en passivering av ytorna med väteperoxidlösning vid temperaturen 150 °C.

## Resultat

Slutresultatet av dekontamineringen var mycket tillfredställande. Dosraterna minskade på de kalla looparna från ca 1,7 mSv/h till 0,2 mSv/h och på de heta looparna från 0,8 mSv/h till 0,04 mSv/h. Dosratminskningen under dekontamineringen finns presenterad i figur 7-7.

I fall man räknar en dekontamineringsfaktor (DF) som förhållande emellan dosraten före och efter dekontamineringen erhålls för olika komponenter i primärkretsen (tabell 7-5).



**Figur 7-7.** Medeltal av dosraterna i de heta och kalla looparna. I värdena ingår också dosraten från dekontamineringslösningarna.

**Tabell 7-5. Medelvärde av dekontamineringsfaktorer i primärkretsen.**

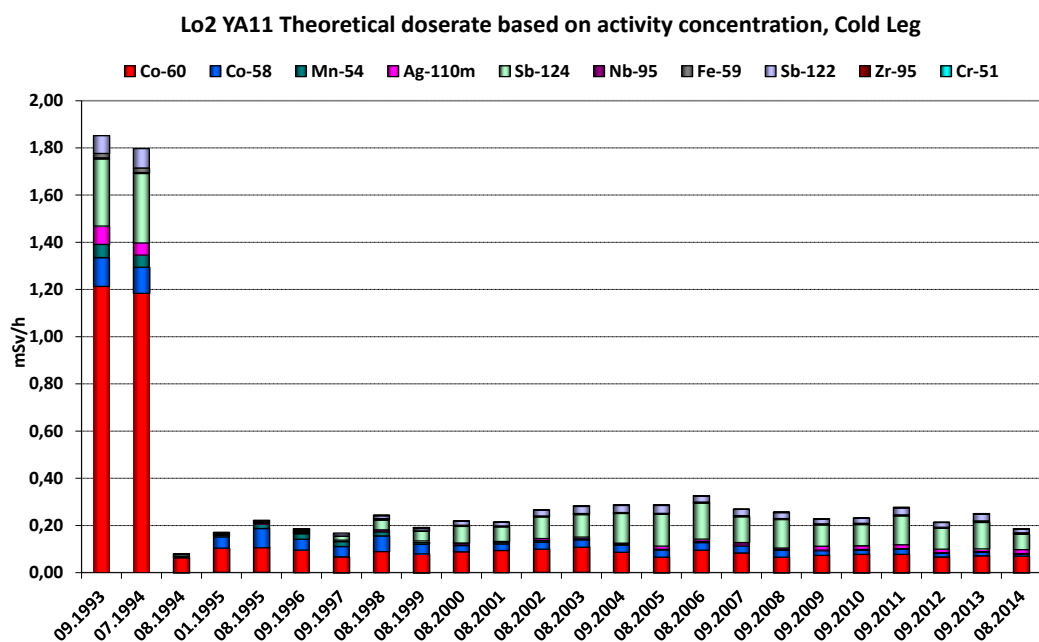
Komponent	DF
Regenerativa VVX	6
Kalla loopar	10
Heta loopar	18
Ånggeneratorer	150

Under dekontamineringen avlägsnades en aktivitetkoncentration uppgående till 41 TBq ( $4,1 \times 10^{13}$  Bq) från primärkretsens systemtytor. Detta motsvarar cirka 98 % av den totala aktiviteten i form av korrosions- och aktiveringsprodukter. Av denna aktivitet var 25 % i form av Co-60. Den avlägsnade mängden oxid beräknades till 410 kg. Avfallsmängden utgjordes av 10 m<sup>3</sup> katjonmassa och 22 m<sup>3</sup> anjonmassa. För att hålla konstant tryck och volym i primärkretsen under dekontamineringen var man tvungen att tidvis dränera via volymkontrollsystemet. Detta avfallsvatten behandlades genom indunstning. Indunstningsresterna beräknades uppgå till ca 50 m<sup>3</sup>. Oxidfilmens tjocklek i primärkretsen uppskattades till ca 4,5 µm.

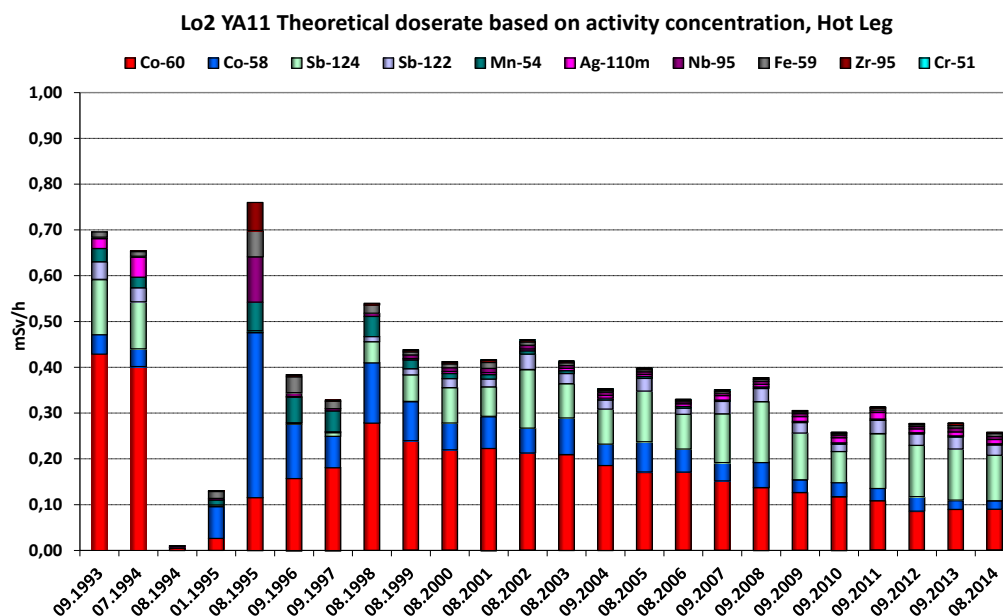
Den kollektiva dosen för den personal som utförde dekontamineringen uppgick till 15,3 manmSv, sammanlagd 54 personer. Den kollektiva dos som inbesparades i revisionsavställningen på grund av dekontamineringen uppgår till minst 8 000 manmSv (8 manSv).

I figur 7-8 och figur 7-9 kan man se på basen av nuklidspecifika mätningar hur dosratsupbyggnaden på primärrören på heta och kalla sida har sett ut före och efter dekontamineringen. Före 1994 var Co-60 dominerande medan situationen efter förändrats så att Co-58/60 bidrar med ca 45 % och Sb-122/124 likaledes med 45 % medan andra nuklider såsom Ag-110m, Mn-54, Fe-59, Nb-95 och Zr-95 bidrar med < 10 % till dosraten. Under några cykler medan oxidskikten återupbyggdes var Co-58, Mn-54 och Fe-59 dominerande på det heta primärröret, men efter de första 5 åren med rekontamination, har nu läget stabiliserats och man har en ständigt sjunkande trend av Co-60. Detta beror främst på bättre optimering av pH i början av bränslecykeln.

Jämfört med Lovisa 1 dekontamineringen av ånggeneratorerna kan man gott påstå att efterbehandlingen dvs passiveringen av ytorna har lyckats exceptionellt bra.



**Figur 7-8.** Dosratsupbyggnaden på kalla primärrör vid Lovisa 2 under åren 1992–2014 beräknade utgående på nuklidspecifika mätningar.



**Figur 7-9.** Dosratsuppbyggnaden på heta primärrör vid Lovisa 2 under åren 1992–2014 beräknade utgående på nuklidspecifika mätningar.

### Erfarenheter och lärdomar

En erfarenhet som Lovisa kan dela med sig av full systemdekontaminering är, att fokusering på välgjord sköljning av alla system är extremt viktigt för annars kan resultatet vara dyrt. Trots sköljningar enligt plan, erhöill man i följande driftcykel mängder av bränsleläckage samt temperaturstegringar i bränslepatronerna. Detta på grund av deponering av partiklar på nedre spridarna, vilket medföljde strypning av flödet och vibrationer i spridarna.

### Krav på dekontamineringsanläggningar (i anslutning till ett kraftverk)

- Tillräckliga resurser och utrustning – basera designen efter den största komponenten som skall dekontamineras.
  - Minst 200 m<sup>2</sup> rekommenderas.
- Bra läge på marknivå.
  - Alla komponenter som ska dekontamineras bör kunna transporteras inom kontrollerat område (ingen transport utomhus eller i okontrollerat område).
  - Enkel transport till lastentrén.
- Komponenthantering inne i anläggningen.
- Två separata ingångar.
  - En för inkommande komponenter och en för utgående.
- Separata områden för förvaring innan och efter dekontaminering.
  - All kontakt mellan kontaminerade och dekontaminerade komponenter skall undvikas.
- Tillräckliga strålskydd för att skydda personalen från strålning som kommer från de kontaminerade komponenterna.

## 7.2.5 SVAFO

### Dekontaminering av slingorna i R2 reaktorn i Studsvik

Slingorna i R2 har dekontaminerats ett flertal gånger innan den sista dekontamineringen som genomfördes 2008 inför avvecklingen.

Då slingorna var i bruk användes de med olika vattenkemi, den ena med PWR kemi (slinga 1) och den andra med BWR kemi (slinga 2).



Slingorna dekontaminerades för vidare användning senast 1996 och 2000, de har även dekontaminerats tidigare.

År 1996 dekontaminerades enbart slinga 1, PWR.

Dekontamineringskemin består av tre steg per cykel, antalet cykler upprepas tills önskat resultat uppnåtts. De olika kemierna är framtagna av Studsvik RadWaste i början av 90-talet och har följande sammansättning:

#### **Kemi steg 1**

Kaliumpermanganat	5 g/l
$\text{KMnO}_4$	
Salpetersyra	0,1–0,2 ml/l till pH 2,5
$\text{HNO}_3$	
Temperatur	80–90 °C
Tid	6–8 timmar

#### **Kemi steg 2**

Oxalsyra	5 g/l
$(\text{COOH})_2 \times 2\text{H}_2\text{O}$	
Temperatur	80°
Tid	2 timmar

#### **Kemi steg 3**

Ammoniumvätecitrat	15 g/l
$(\text{H}_4\text{N})_2\text{HC}_6\text{H}_5\text{O}_7$	
Oxalsyra	10 g/l
$(\text{COOH})_2 \times 2\text{H}_2\text{O}$	
Ascorbinsyra	10 g/l
$\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_6$	
Temperatur	80 °C
Tid	6–8 timmar

pH blir för detta steg ca 3

Steg 2 avbryts när aktivitetsnivån inte längre ökar i lösningen. Efter varje steg töms och sköljs (avjonat vatten) slingan upp till 3 gånger. Under denna dekontaminering kördes totalt 5 cykler om tre steg.

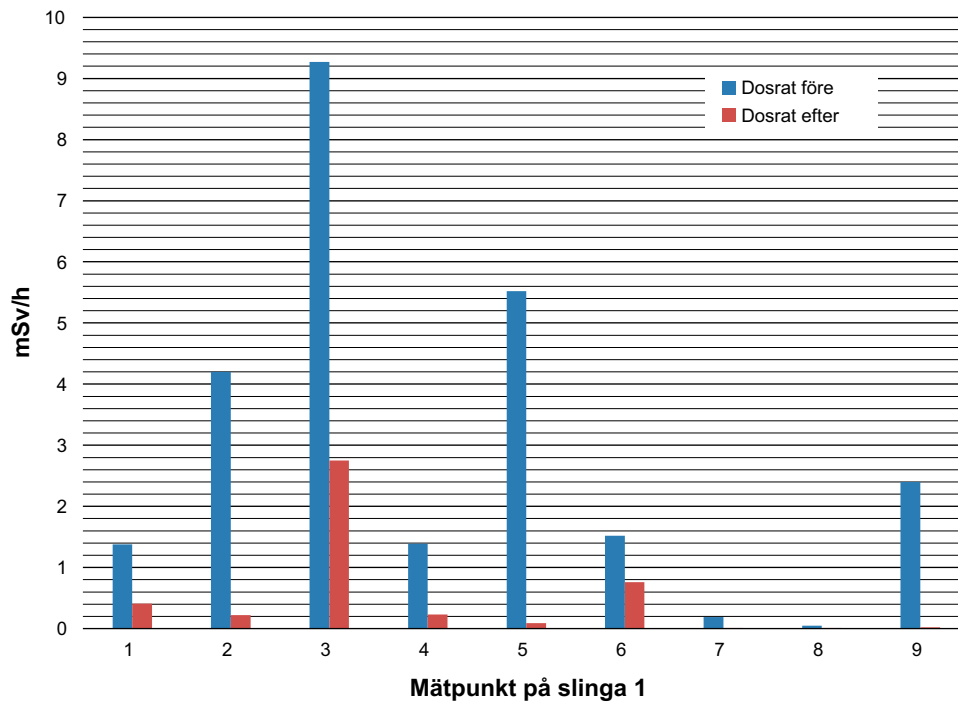
Dekontamineringsvätskorna blandades och skickades till anläggningen för hantering av medelaktivt avfall (HM). Där behandlades de som annat vätskeburet avfall, med fällning. Dock noterade man att vissa utsläpp ökade något, men inte så mycket att närmade sig några tillstånd eller rapporteringsgränser, varken radiologiska eller miljörelaterade.

Under dekontamineringen mättes dosraten på 9 olika punkter på slingan. I figur 7-10 ses dosraten före resp efter dekontamineringen.

Dosreduktionsfaktorn var som högst 120 och som lägst 2, men dosraten runt slingan minskade till under 1 mSv/h förutom på en punkt där dosraten efter dekontaminering var 2,75 mSv/h. Allmändosraten i två rum minskade mellan 5 och 19 gånger. Utifrån detta bedömdes dekontamineringen lyckad och resultatet tillfredsställande.

År 2000 dekontaminerades båda slingorna med samma kemi som beskrivits ovan, denna gång med 3 cykler för slinga 1 och 2 cykler på slinga 2. Till denna dekontaminering införskaffades en UV-utrustning för destruktion av organiska syror vilken fingerade alldeles utmärkt och fällningsprocessen var denna gång effektivare än efter dekontamineringen 1996.

Den sista dekontamineringen av slingorna i R2 gjordes 2008 som del av förberedelserna in avveckling och nedmontering. Den dekontamineringen kommer att redovisas i del 2.



Figur 7-10. Dosrater före och efter dekontaminering på 9 mätpunkter på slinga 1

## 7.3 Dekontamineringsmetoder som inte längre används

### 7.3.1 RAB

#### **TURCO**

Ringhals dekontanläggning byggdes ursprungligen för att användas med en metod som hette TURCO. TURCO består av två kemikalier, TURCO DECON 4521, som innehöll oxalsyra och ammoniumoxalat samt TURCO DECON 4502 som innehöll bl a kaliumkromat. Den klassades som mycket farlig produkt och har av den anledningen slutat användas på Ringhals.

### 7.3.2 OKG

#### **Fosforsyrabad**

Användes för dekontaminering av kolstål. Togs bort med anledning av besvärlig avfallshantering samt arbetsmiljörisken.

#### **Turco 4521**

Kemiskt bad som togs bort med anledning av besvärlig och tidsödande avfallshantering samt dålig hållbarhet.

**Betpasta, (se 7.3.3, Betpasta (Antox 71E)).**

### 7.3.3 FKA

#### **Betpasta (Antox 71E)**

Användes främst vid friklassning. Slutade användas pga. en mängd faktorer, bl a miljö, material-avverkan, avfall, och personhälsa.

#### **Perkloretylen**

Användes för att lösa upp bitumen. Slutade användas pga. personhälsa samt avfallsproblem.

## 7.4 Dekontamineringsmetoder som används inom kärnkraftsbranschen men inte i Sverige och Finland

### 7.4.1 Kolsyreblästring

Kolsyreblästring är en helt miljövänlig rengöringsmetod. Av CO<sub>2</sub> (koldioxid i gasform) framställs kolsyrepellets i en pelletizer: det finns inga tillsatser eller vatten bundet i kolsyrepellets. Vid rengöring via kolsyreblästring övergår torrspellets direkt från fast form till gasform (sublimerar) vilket innebär att gasen återgår till ekosystemet. De enda restprodukter som återstår är det material som man blåstrat bort. Man kan enkelt samla upp det avlägsnade materialet på olika sätt, och för där det krävs, lämna det för destruktion. Processen kan vara ett mycket miljövänligt, effektivt och tidsbesparande alternativ till traditionella industriella och kärntekniska rengöringsmetoder.

Dekonten på FKA genomförde i april 2013 en test av en kolsyreblästerutrustning med gott resultat. Maskinen installerades på dekonten genom att koppla in tryckluft och strömförsörjning, inga modifieringar krävdes utan anslutningar och prestanda överensstämde med våra förutsättningar i dekonten. Från maskinen drogs slang med blästermunstycke in till stora blästerboxen genom en införing avsedd för handskar. Slang och munstycke plastades också in för att minska risken för kontaminationsspridning.

Testet genomfördes genom blästring på ”skarpt” material, dvs gods som inlämnats för dekontaminering. Inga för ändamålet skapade testbitar eller rena objekt användes, detta för att få ett så autentiskt testresultat som möjligt.

Resultatsammanfattning:

- Kolsyrebläster har ingen eller liten påverkan på oxider.
- Vid blästring av objekt täckta av fett märks en snabb och tydlig effekt. Fettet stelnar snabbt och avlägsnas från ytan på godset. Vid tjocka lager eller klumpar är metoden lika effektiv som vid avlägsnandet av en tunn fettfilm.

Objekt: Delar torkararm ID742 30-343BD2.B1  
Före: 1 500 kBq 0,06 mSv  
Efter: 180 kBq 0,01 mSv  
Tidsåtgång: 5 min

- Vid blästring av objekt täckta av bitumen märks en snabb och tydlig effekt. Bitumenresterna stelnar snabbt och avlägsnas från ytan på godset.

Objekt: Skruv + arm ID734 30-343 BD4  
Före: 2 500 kBq 1,5 mSv  
Efter: 250 kBq 0,020 mSv  
Tidsåtgång: 15 min

- Vid blästring av finmekanikutrustning märks en snabb och tydlig effekt. Det är relativt lätt att komma åt och lätt att täcka hela objektet på kort tid.

Objekt: Bränslereparationsutrustning ID741 30-264  
Före: 10 000 kBq 0,14 mSv  
Efter: 70 kBq 0,001 mSv  
Tidsåtgång: 10 min

### 7.4.2 Diskmaskiner

Diskmaskiner används i många olika industriella verksamheter och områden. I figur 7-11 visas diskmaskiner som används för dekontaminering inom kärnteknisk verksamhet.

Ett exempel på en dedikerad diskmaskin för dekontaminering inom kärnteknisk verksamhet är DeconWash. DeconWash är en relativt liten, mobil, automatisk toppladdad diskmaskin för dekontaminering av små komponenter, se figur 7-12.

I diskmaskinen finns en sprinklande cirkulerande bom ovanför en stationär korg, se figur 7-13. Beroende på att korgen är stationär är risken för skador på ömtåliga komponenter liten. Effektiviteten på tvättningen beror på vattnets tryck och temperatur. Olika tvättlösningar kan också användas för att öka tvättningens effektivitet (Fagerström 2012a).



*Figur 7-11. Olika diskmaskiner.*



*Figur 7-12. Industriell diskmaskin DeconWash 60 (Fagerström 2012a).*



*Figur 7-13. Insida DeconWash 60 (Fagerström 2012a).*

### 7.4.3 Dekontamineringsutrustning för drivdon till styrstavar (DDT-2000)

DDT-2000 är en automatisk dekontamineringsutrustning för drivdon till styrstavar, se figur 7-14 och figur 7-15. DDT-2000 är en högtryckstvättmaskin (Fagerström 2012b).

Under drift byggs ett oxidskikt upp på drivdonen. Högtrycksstrålarna i DDT-2000 är tillräckligt starka (800 bar) för att avlägsna oxidlagret samt eventuella smörjmedelsrester. Drivdonen rengörs på både insidan och utsidan. Tvättningen styrs av ett kontrollprogram, det finns dock möjlighet att justera olika parametrar såsom munstyckets hastighet och tvättid (Fagerström 2012b).

### 7.4.4 Mobil dekontamineringsutrustning för tankar och rör

Fagerström Industrikonsult AB har tagit fram en modulär lösning för dekontaminering av tankar och rör. Dekontamineringsutrustningen består av fem små flyttbara moduler (Fagerström 2014a), se figur 7-16:

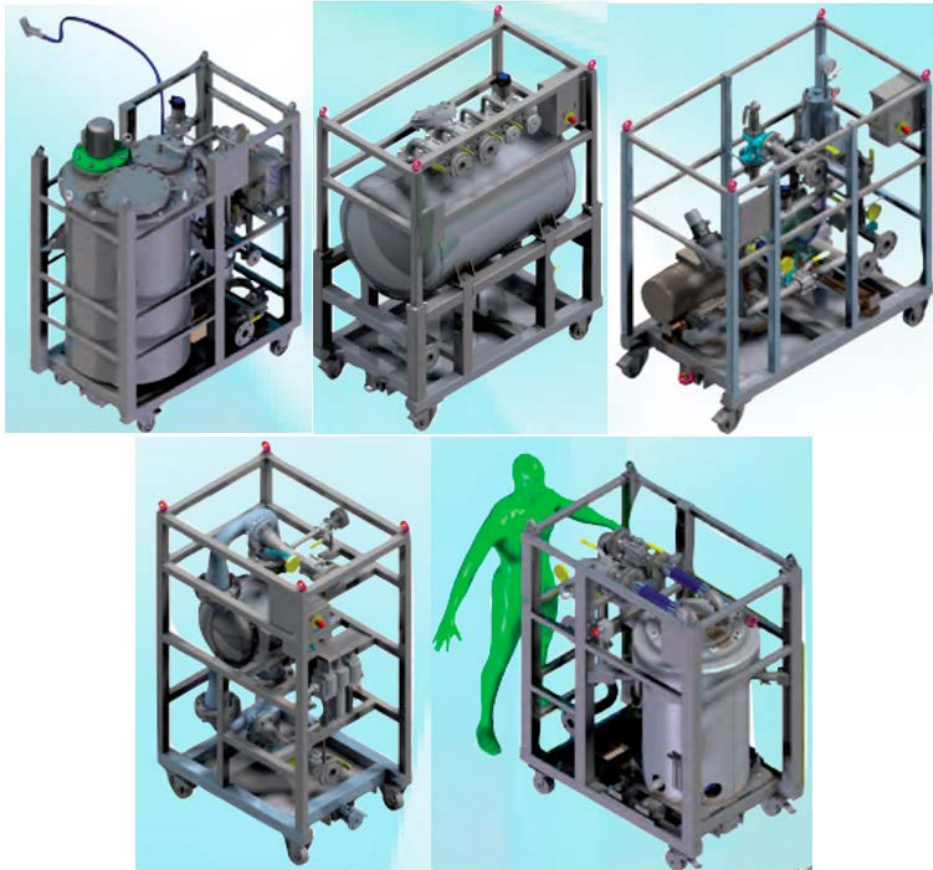
- Modul 1 Tank för blandning av kemikalier. Kemikalierna pumpas direkt till dekontaminerings-slingan.
- Modul 2 Dekontamineringstank. Dekontamineringstanken är en bufferttank till dekontaminerings-pumpen. Till dekontamineringstanken finns också ett antal kopplingar där tillsatser av t ex kemikalier, vatten och dekontamineringsvätska kan göras till dekontamineringsssystemet. Dekontamineringsssystemet kan också ventileras via dekontamineringstanken.
- Modul 3 Dekontamineringspump. Pumpen är en centrifugalpump som pumpar dekontaminerings-vätska från dekontamineringstanken till munstycket.
- Modul 4 Extraktionspump. Pumpen är en luftdriven membranpump ("sandwich") som är ansluten till komponentens utloppsfläns.
- Modul 5 Dekontamineringsfilter. Filtret, som är av kassettyp, renar dekontamineringslösningen innan den återförs till dekontamineringstanken.



Figur 7-14. Tvättutrustning för styrstavsdrivdon DDT-2000 (Fagerström 2012b).



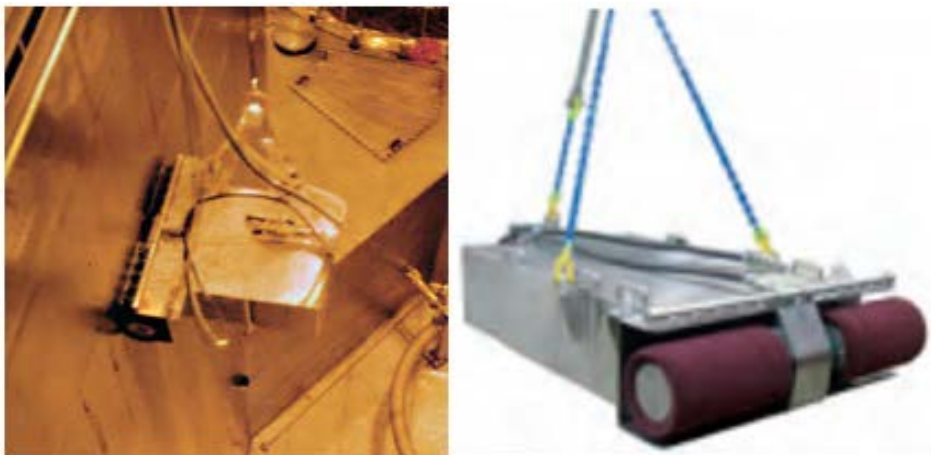
Figur 7-15. Insida DDT-2000 (Fagerström 2012b).



**Figur 7-16.** De olika modulerna i Fagerstöms mobila dekontamineringsutrustning för tankar och rör (Fagerström 2014a).

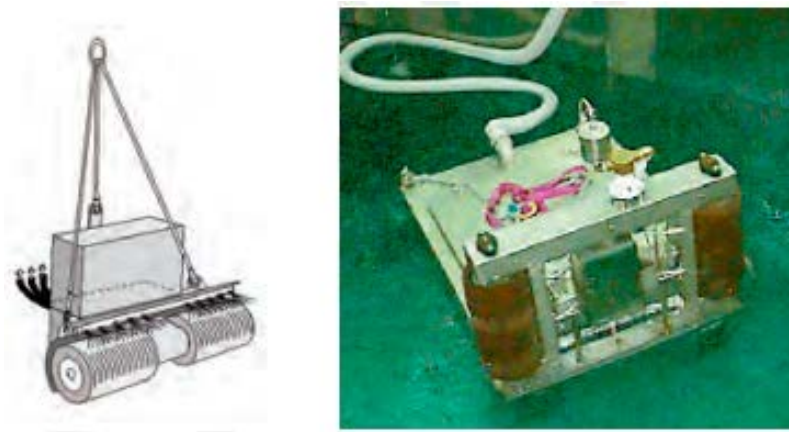
#### 7.4.5 Reaktor- och bränslebassängsrengörare (RCC)

RCC är en liten utrustning som kan användas för att rengöra reaktor- och bränslebassängernas väggar och botten. Den drivs av antingen en elektrisk motor eller luftmotor. Motorn driver två cylindriska borstar som borstar bort kontaminationen från ytorna utan att skada dem. Det finns tre olika modeller RCC-1 (figur 7-17), RCC-5 och RCC-10 (figur 7-18). RCC-1 och RCC-5 är upphängda och styrs via kran som kan köra på en cirkulär bana. RCC-1 flyter och dess operativa höjd styrs av vattennivån i bassängen. RCC-10 kan också användas i bassänger med rundade väggar (Fagerström 2014b).



**Figur 7-17.** RCC-1 (Fagerström 2014b).





*Figur 7-18. RCC-5 och RCC-10 (Fagerström 2012c).*

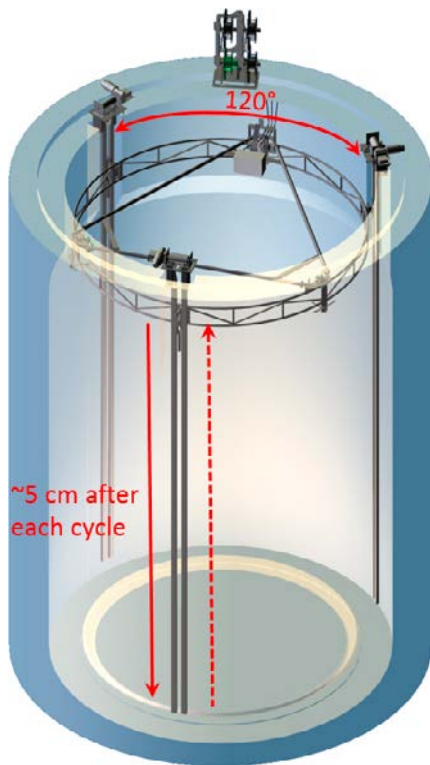
#### **7.4.6 Reaktor- och bränslebassängsrengörare (Platom)**

Platom har utvecklat en utrustning för rengöring av reaktor- och bränslebassänger, se figur 7-19. Utrustningen är en semiautomatisk självgående högtryckstvätt. Kran används endast vid nedsänkning och upplyftning av utrustningen från bassängerna. Kranen kan därför användas till andra aktiviteter medan bassängerna tvättas. Vid tvättningen används borerat vatten, vilket inte påverkar reaktorvattenkemin. Efter tvättning sköljs bassängerna med avjonat vatten.

Utrustningen har tre tvätthuvuden som vardera rör sig 120 grader innan utrustningen rör sig ett steg neråt, se figur 7-20.



*Figur 7-19. Platoms semiautomatiska dekontamineringsutrustning för reaktor- och bränslebassänger.*



**Figur 7-20.** Tvättrörelser för Platoms semiautomatiska dekontamineringsutrustning för reaktor- och bränslebassänger.

#### 7.4.7 Laser

Redan på 1980-talet gjordes studier på att använda lasrar vid dekontamineringsarbeten. Lasrar används ofta inom icke-kärntekniska områden. Det finns huvudsakligen två typer av lasrar:

- Excimer-typ laser (UV-ljus).
- Fastfas laser (YAG eller fiber).

Den lasertyp som används mest i dagsläget vid dekontaminering är fastfaslaser. Detta beroende på dess höga repetitions hastighet och att optiska fibrer renderar i låg effektförlust. Utgående från litteraturen krävs en energi på 2,5–3 J/cm<sup>2</sup> vid dekontaminering (Moggia 2013). Dekontaminering med laser renderar inte något flytande avfall.

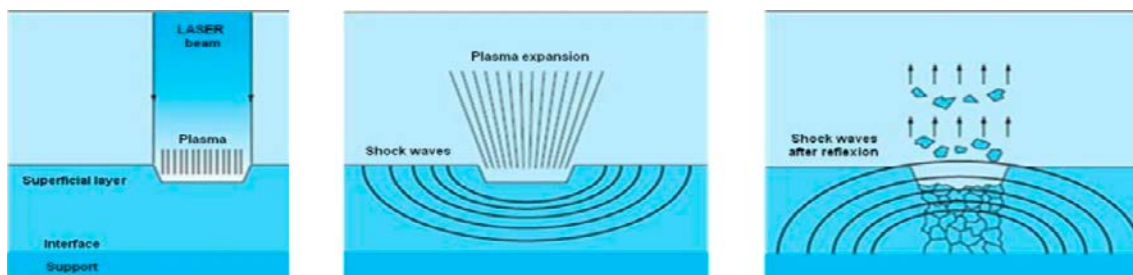
Dekontaminering med laser bygger på en interaktion mellan laserstrålen och det översta lagret på komponenten som ska kontamineras (oxidskikt eller färg). Interaktionen delas in i två olika moment:

- Energin från laserstrålen värmer snabbt upp ytan och partiklarna på ytan bildar plasma.
- Då plasman bildas tar den upp större plats än partiklarna gjorde ursprungligen vilket skapar spänningar och sprickor i den kontaminerade ytan som slutligen krackelerar, se figur 7-21. När ytan är ren reflekteras laserstrålarna och processen stoppas (Moggia 2013).

Lasrarna är konstruerade så att de antingen kan skötas manuellt, handhållen laser visas i figur 7-22, eller automatiskt.

Automatiska lasrar ger lägre dos till personalen och ökad produktivitet men är inte lämpade för komponenter med komplexa geometrier. Vid dekontaminering med laser måste vacuum system användas för att begränsa spridningen av aktivitet (Moggia et al. 2012).





Figur 7-21. Grundläggande process vid dekontaminering med laser (Moggia 2013).



Figur 7-22. Handhållen laser från AREVA (Moggia 2013).

## 7.5 Erfarenhetsåterföring

Forsmark har sedan 1996 registrerat alla dekontuppdrag på F12 och vad som utförts i en access-databas, sedan 2009 även på F3. Totalt har över 6 000 uppdrag registrerats fram till idag. Under hösten 2014 tog Forsmark fram ett nytt system för registrering av dekontamineringsuppdrag och redovisning av utförda metoder, registreringsblankett för registrering av gods visas i figur 7-23. Förbättringarna som gjorts, förutom ett modernt gränssnitt, är att koppla metod med arbetstid och dosbelastning för utföraren. Vidare har koppling mellan anvisningar vad gäller metoder eller system gjorts så att gällande anvisningar gör registrerat uppdrag blir direkt och enkelt tillgängliga för både utförare och inlämnare. I systemet har också funktioner för underhåll på verkstäderna och utrustningen förts in, allt för att öka driftsäkerheten och förenkla ett adekvat och kontinuerligt underhåll. Dynamiska rapporter och statistikfunktioner finns också tillgängliga i systemet så att användaren kan plocka ut de data som önskas från systemet på ett överskådligt sätt. Allt som registreras kan också hämtas ut vid behov.

FORSMARKS KRAFTGRUPP  
**F12**

**Registrera dekontamineringsuppdrag**

---

**Verkstad**

F12

**Meny**

- Registrera dekontaminering
- Att-göra-lista
- Tilldela arbetsuppdrag
- Redovisa strålskydd
- Utlämning
- Dekontamineringsuppdrag
- Underhåll
- Öppna Digilogg
- Statistik
- Administration

---

Nytt fönster

Lägg till i Favoriter

---

Nytt fönster

Lägg till i Favoriter

Inlämningsdatum \*

Önskat datum för utlämning

Benämning \*

Beskrivning av gods

Arbetsordernummer \*

Arbetsordernummer saknas  Måste kryssas i för att acceptera saknat arbetsordernummer

Gods från block \*

Systemnummer

Att tänka på - system

Apparatnummer

Komponentnummer

Antal \*

---

Inlämnare \*

FKA-ansvarig \*

Nästa steg för objektet \*

---

DosNr \*

Behandlingsmetoder \*

Att tänka på - metod

Kommentar - behandling

---

Enhet \*

Inlämning

Dosrat ½ m <input type="text"/>	Ytdosrat <input type="text"/>
mSv/h	mSv/h

Ytkontamination vid inlämning  kBq/m<sup>2</sup>

Önskat vid utlämning

Dosrat ½ m <input type="text"/>	Ytdosrat <input type="text"/>
mSv/h	mSv/h

Max ytkontamination vid utlämning  kBq/m<sup>2</sup>

Skriv ut etikett

Figur 7-23. Registreringsformulär för gods.

## Referenser

Publikationer utgivna av SKB (Svensk Kärnbränslehantering AB) kan hämtas på [www.skb.se/publikationer](http://www.skb.se/publikationer). Referenser till SKB:s opublicerade dokument finns samlade i slutet av referenslistan. Opublishade dokument lämnas ut vid förfrågan till [dokument@skb.se](mailto:dokument@skb.se).

**Fagerström, 2012a.** Decon-Systems: automatic – top loading washing decontamination machine DeconWash. Helsingborg: Fagerström Industrikonsult AB. Tillgänglig: <http://www.fagerstrom.se/wordpress/wp-content/uploads/2012/04/DeconWash-Broschyr-Eng-2012-Webb.pdf>

**Fagerström, 2012b.** Decon-Systems: automatic control rod drive decontamination system DDT-2000. Helsingborg: Fagerström Industrikonsult AB. Tillgänglig: <http://www.fagerstrom.se/wordpress/wp-content/uploads/2012/04/DDT-Broschyr-Eng-2012webb.pdf>

**Fagerström, 2012c.** Deco-Systems. Helsingborg: Fagerström Industrikonsult AB. Tillgänglig: <http://www.fagerstrom.se/wordpress/wp-content/uploads/2012/04/Deco-Booth-Eng-Webb.pdf>

**Fagerström, 2014a.** Deco-Systems: mobile decontamination system, tanks and pipes. Helsingborg: Fagerström Industrikonsult AB. Tillgänglig: <http://www.fagerstrom.se/wordpress/wp-content/uploads/2014/01/Folder-9-Mobile-Deco-System-Webb1.pdf>

**Fagerström, 2014b.** Deco-Systems: contaminated reactor pools? Helsingborg: Fagerström Industrikonsult AB. Tillgänglig: <http://www.fagerstrom.se/wordpress/wp-content/uploads/2014/01/Folder-4-RCC-1-Eng-2013-Webb.pdf>

**Moggia F, 2013.** Metallic surfaces decontamination by using LASER light. Presentation at ASME 2013 International Conference on Environmental Remediation and Radioactive Waste Management (ICEM 2013), Brussels, 8–12 September 2013. Tillgänglig: <http://www.asmeconferences.org/ICEM2013/pdfs/96301.pdf>

**Moggia F, Lecardonnell X, Damerval F, 2012.** Surface decontamination using LASER ablation process – 12032. WM2012 Conference, Phoenix, Arizona, 26 February – 1 March 2012. Tillgänglig: <http://www.wmsym.org/archives/2012/papers/12032.pdf>

**Neeb K-H, 1997.** The radiochemistry of nuclear power plants with light water reactors. Berlin: de Gruyter.

## Litteratur

- ABB Atom, 1988.** Bränsle kemi material: vattenkemi och aktivitetsuppbyggnad i kokarreaktorer. Västerås: ABB Atom.
- Asea-Atom, 1986.** Materialteknik och dekontaminering. Kursmaterial. Asea-Atom.
- Asea-Atom, u å.** Bränsleteknik – Kursutgåva. Asea-Atom RKS.
- Choppin G R, Rydberg J, 1980.** Nuclear chemistry: theory and applications. Oxford: Pergamon.
- Frost B R T, 1982.** Nuclear fuel elements. Oxford: Pergamon.
- Glassalone S, Sesonske A, 1981.** Nuclear reactor engineering. 3rd ed. New York: Van Nostrand Reinhold.
- Landolt D, 2007.** Corrosion and surface chemistry of metals. Lausanne: EPFL Press.
- Lexikon der Korrosion, 1970.** Band 1: Grundlagen der Korrosion unter besonderer Berücksichtigung der nichtrostenden Stähle. Düsseldorf: Mannesmannröhren-Werke.
- Lin C C, 1986.** BWR cobalt deposition studies: interim report (11). NEDO-31332, General Electric Company.
- Marcus P (ed), 2007.** Corrosion mechanisms in theory and practice. 2nd ed., rev. and expanded. New York: Marcel Dekker.
- Mattsson E, 1992.** Elektrokemi och korrosionslära. Stockholm: Korrosionsinstitutet. (Bulletin 100)
- Mattsson E, Kucera V, 2009.** Elektrokemi och korrosionslära. 3. omarb. uppl. Stockholm: Swerea KIMAB.
- Moghissi A A, Godbee H W, Hobart S A (eds), 1986.** Radioactive waste technology. New York: American Society of Mechanical Engineers.
- Shreir L L, Jarman R A, Burstein G T (eds), 1994.** Corrosion. 3rd ed. Oxford: Butterworth-Heinemann.
- Uhlig H H, 1963.** Corrosion and corrosion control: an introduction to corrosion science and engineering. New York: Wiley.
- Wranglén G, 1972.** An introduction to corrosion and protection of metals. Stockholm: Institut för metallskydd.
- Smee J L, 1980.** Dissolution characteristics of metal oxides in water cooled reactors. In Osterhout M M (ed). Decontamination and decommissioning of nuclear facilities. New York: Plenum, 281–292.

### Dekontamineringsverkstäder vid de kärntekniska anläggningarna

#### B1.1 FKA

Under normal drift arbetar tre tekniker i dekontamineringsverkstäderna samt en arbetsledare som växlar mellan arbete inne på dekontverkstäderna och kontoret. En normal arbetsvecka består av 40 timmar. Under revision arbetas i 12-timmarsskift i arbetslag om tre tekniker. I dagsläget (2014) har underhållssektionen det formella ansvaret för dekonten. Den totala dosraten för personalen knuten till dekonten var under 2014 25 mSv.

##### B1.1.1 Dekontamineringsverkstaden nu och i framtiden

De senaste fyra åren har dekontverkstäderna genomgått en omfattande uppfräschning. Lokaler, utrustning och arbetssätt har gått igenom och förfinats, bland annat har årstotaldosen sänkts från 48 mSv 2011 till dagens 25 mSv. Maskinparken har under denna tid också i viss mån förnyats; två blästerskåp, två industritvättmaskiner och två ultraljudstvättar har köpts in. Dock är statusen något osäker vad gäller de ursprungliga blästerboxarna och blästerkabinerna. Detta trots att all utrustning har genomgått omfattande underhåll för att kunna användas fortsättningsvis, åldern kan ta ut sin rätt när som helst.

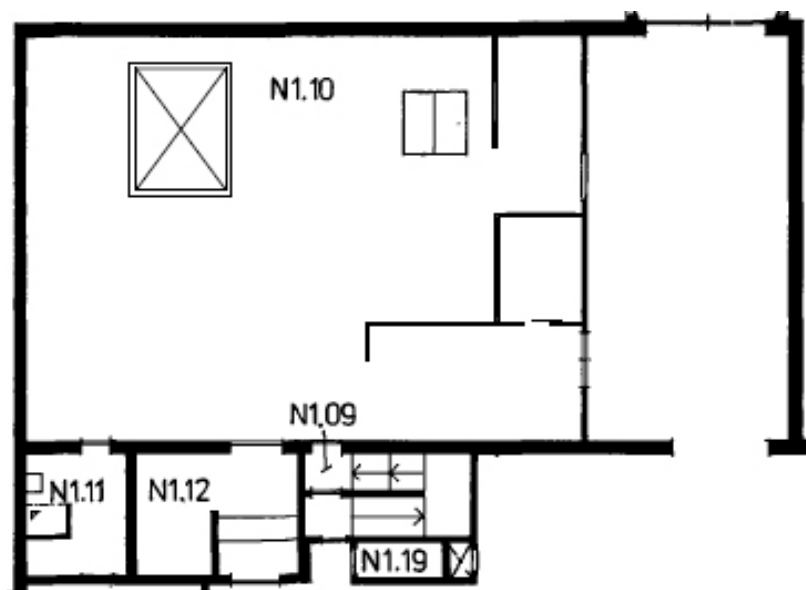
De saker som fungerar bra i dekontverkstäderna:

- Låga dosrater för personalen.
- Det finns utrustning för att nästan alla tänkbara komponenter som kan vara i behov av dekontaminering.
- Väl fungerande traverser.
- Bra ytor på F3:s dekont.
- Bra dokumentation och uppföljning.

De saker man kunde förbättra i framtiden:

- Utrusta blästerkabinen med en fungerande manipulator (robot).
- Större utrymmen för inkommande gods.
- Större utrymmen för utgående gods.
- Avsökningsrum.
- Bättre planering hur utrustning positioneras i lokalen, främst på F12.
- Bättre möjligheter till kemisk dekontaminering.
- Bättre arbetsmiljö i dekontkontor.
- Större ventilationskapacitet för lokalen som helhet och för installerad utrustning, främst vid tvättbänkarna där mycket av den manuella bearbetningen sker.

### B1.1.2 Dekonten F12

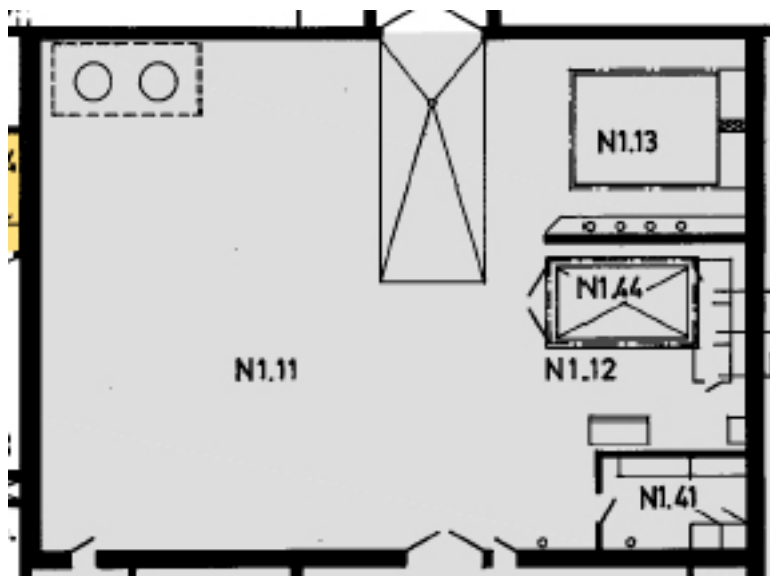


*Figur A-1. Layout dekontamineringsverksatd F12.*



*Figur A-2. Blästerkabin F12.*

### B1.1.3 Dekonten F3



*Figur A-3. Layout dekontverkstad F3.*



*Figur A-4. Lokal och ultraljudsvätt i F3.*





*Figur A-5. Tvättrum F3.*



*Figur A-6. Blästerskåp Vapormatt.*





*Figur A-7. Tvättmaskin George Render.*

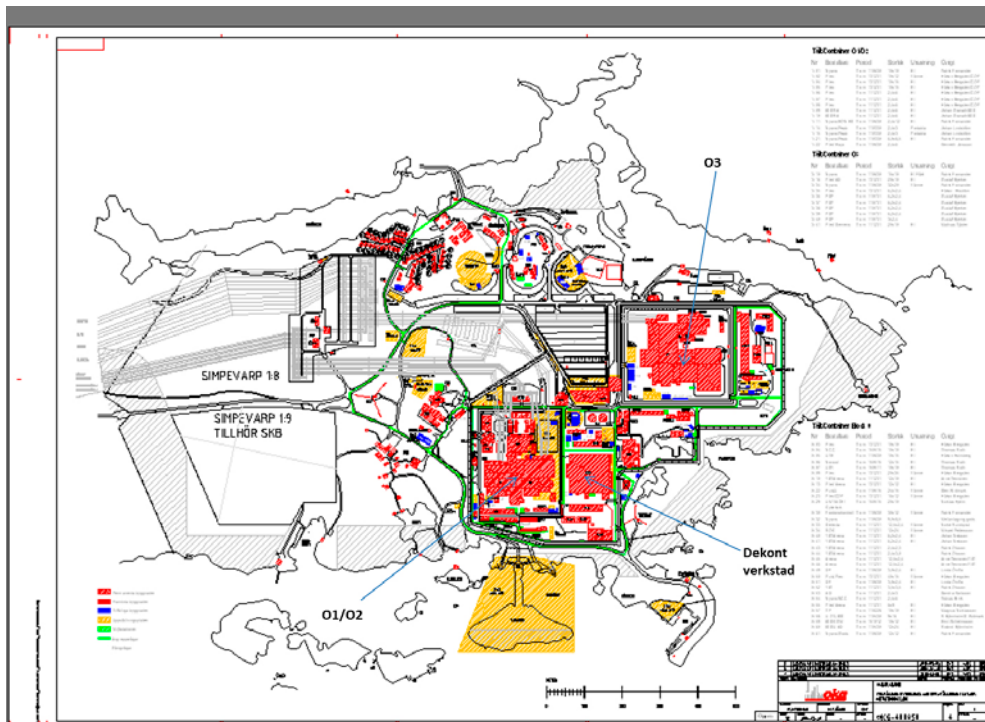


*Figur A-8. Tunneltvätt Everest.*

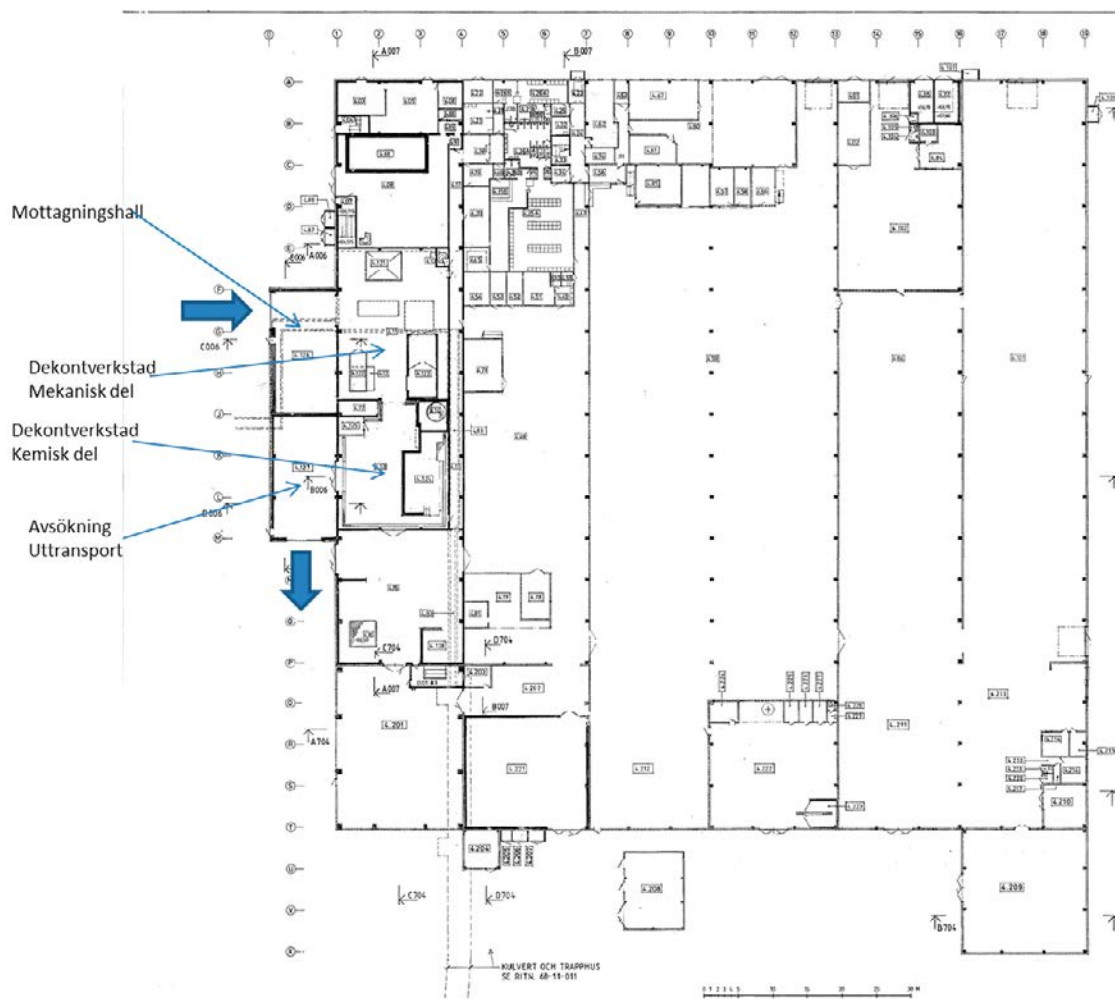
## B1.2 OKG

### B1.2.1 Dekontverkstad OKG, fakta

Byggår	1977
Ombyggnad	1998 (projekt BÄVERN)
Mottagningshall	200 m <sup>2</sup>
Mekanisk dekont	300 m <sup>2</sup>
Kemisk dekont	300 m <sup>2</sup>
Avsökningshall	200 m <sup>2</sup>
Travers 1	6,3 ton
Travers 2	10 + 20 ton
Dosratgräns	Max 500 mSv/h
Komponentmax	Längd 5,5 m (312-axel från O3) Bredd 2,0 m
Kemiska bad	SEDECON (1 % blandning, citron och oxalsyra) 2,4 m <sup>3</sup> 1,2×1,2×1,2) katodisk ström med polvändningsautomatik Bonder (natriumhydroxid 5 %) Varm avfettning Sköljbad (avjonat)
Rening bad	Krets med inbyggd jonbytare 2×10 liter (katjonbytare) Utrustning för utfällning i källare (nödfall)
Spolcell	Högtryck 500 bar 36 liter/min Kempåläggning Roterande platta i golv Blyglasfönster
Bläster 1	Glasbläster för kolstål 1,0×1,3×1,0 m
Bläster 2	Glasbläster för rostfritt 6,0×2,4×2,5 m Strålskärmd arbetsplats för blästring av mindre komponenter från utsida Roterande arbetsbord Blästring inne i kabinen sker med lans. Skyddsutrustningen är heldräkt
Spolplats	Längd 9,0 m, bredd 4,0 m, höjd 3,0 m Öppningsbart tak Två arbetsplatser avskilda med plastvägg Forcerad ventilation Högtryck 350 bar Högtryck 200 bar Kempåläggning Tryckluft Avjonat vatten för avspolning Rostfri beklädnad
Extrautrustning	Mobilt högtryck 2 400 bar, 2,5 liter/minut (används för borttagning av epoxifärg)
Avfall	Blästermedel till 6 m <sup>3</sup> betongtank i källare Jonbytarmassa till ovanstående betongtank. Tanken avvattnas genom filterstavar placerade i botten. Golvdänage till tank i källare. Pumpas efter omrörning vidare till avfallsanläggningen O1/O2 för rening.
Bemanning	2 pers. med eventuell förstärkning under revisionen.
Dosbelastning	Ca 14 mmanSv/år (beroende på revisionsarbeten)
Dosmått	Max differens mellan personal 2 mSv (4 pers. delar dos)



Figur A-9. Lokalisering dekont OKG.



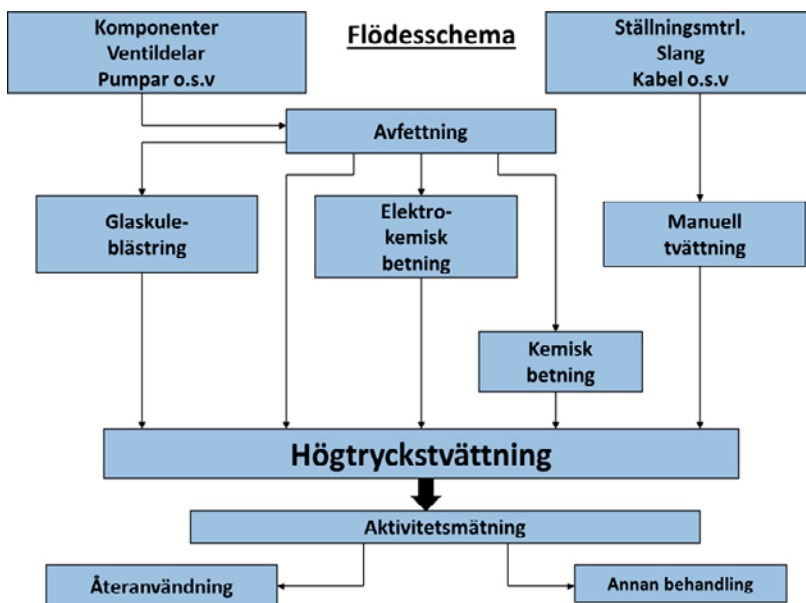
Figur A-10. Layout dekontverkstad OKG.



Figur A-11. Transtportskåp för internt transporter.



Figur A-12. Transtportlåda för pallgods.



Figur A-13. Flödesschema – Val av dekontmetod OKG.



**okg**  
**SKROT OCH DEKONTAMINERING ÅT BLOCK 1**  
 Skrapa  
 Skrapnummer  
 nr 00568

**Fyller av inlämnaren**  
 Material/Komponent System Datum  
 Kontakter/Personer Tybetyg nr  
 OK'd av/avtal Tybetyg nr

Tilläggs dekontaminerings  Nej  Systemdekont.  Komponentdekont.  Mixt ja

Förutskattningar för dekontaminering  
 Känslig elektron.  Pröva med kontakter/personer innan dekontaminering  
 Osärliga ytor  Rika ytkontakter  
 Ej glödsättning  Ej konstiga ljud

Material/Komponenter ska  Reparerat/nytt  Lagras  
 Återmonteras  Skrotas

Dekontaminerings ska vara klar  Ja/nej Datum

Efter dekontaminering skickas komponenten till pers.  
 Anmärkning

**Fyller av strålskydd**  Ja, utfyllnad av:  
 Ska yttre  Inifrån (för komponenter) SRS/PS  
 Vikomponenter  Inifrån (för komponenter) p.408

**Fyller av dekontpersonal**  
 Behandlingsplats: Rad: Vis:  
 Rad: Vis:  
 Förekomst nr: SRS/PS

**Fyller av strålskydd CSV**  
 Efter behandling Yttre SRS/PS Avsked skapas  
 Vikomponenter  Inifrån SRS/PS p.408

Figur A-14. Dekontblankett som följer godset.



Figur A-15. Ankomsthall.



Figur A-16. Dekontverkstad mekanisk del.



*Figur A-17. Glasblästermaskin.*



*Figur A-18. Yttre arbetsplats bläster.*



*Figur A-19. Arbete inne i glasbläster.*



*Figur A-20. Glasblästermaskin ej rostfritt.*



*Figur A-21. Spolbox.*



*Figur A-22. H-tryck/Kemstation.*





*Figur A-23. Dekontverkstad Kemiska bad.*



*Figur A-24. Kontrolltavla kembad.*



*Figur A-25. Jonbytare för rening bad.*





*Figur A-26. Elektrolytbad.*



*Figur A-27. Kontrolltavla polvändningsautomatik elektrolyt.*



*Figur A-28. Spolcell.*



Figur A-29. Avsökning/uttransport.

## B1.3 TVO

### B1.3.1 Dekontamineringsanläggning vid OL1 och OL2.

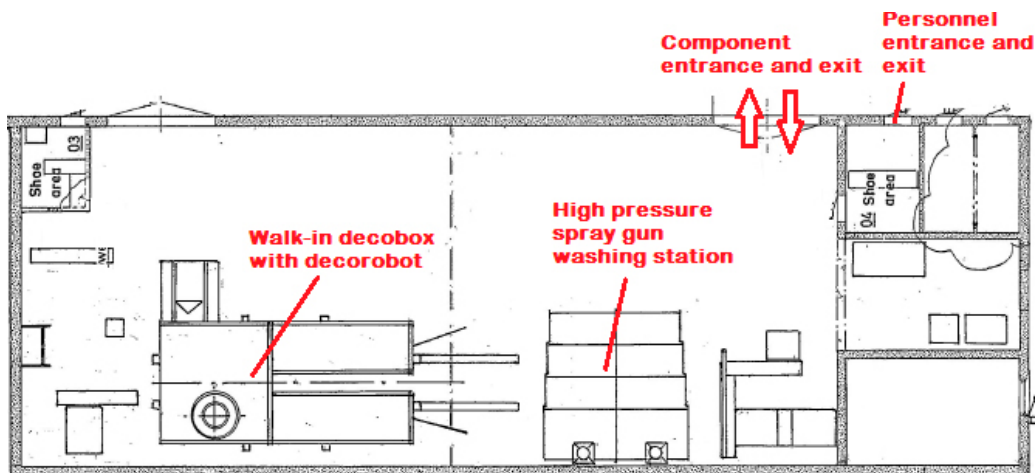
Kraftverken OL1 och OL2 är utrustade med en dekontamineringsanläggning. I anläggningen sker dekontaminering av radioaktiva komponenter som även tillfälligt kan förvaras i anläggningen. I systemet ingår även att ta hand om sekundäravfall som uppkommit vid dekontaminering.

Dekontamineringsanläggningen i TVO har av följande utrustning:

- Ultraljudsbad.
- Dekontamineringspool med två tankar, för förvaring av komponenter före dekontaminering. Polen kan också användas för kemisk dekontaminering med syra bad.
- Walk-in dekontamineringsbox med dekontamineringsrobot och glasblästring.
- Handskbox för glasblästring av små komponenter.
- Transporterbar högtryckstvätt.
- Tankuppsättning för elektrokemisk dekontaminering.

Ventilationssystemet för dekontamineringsanläggningen är utrustad med HEPA-filter för att förhindra utsläpp av aerosoler.

Vid normal drift arbetar en person i dekontamineringsanläggningen. Vid behov kan ytterligare en person tas in. Under revisionen utförs dekontaminering i två skift, ett morgonskift där två personer och ett kvällsskift där en person.



Figur A-30. Generell beskrivning av dekontamineringsanläggningen vid OL1.



*Figur A-31. Walk-in dekontamineringsbox vid OLI.*



*Figur A-32. Dekontamineringsrobot vid OLI.*

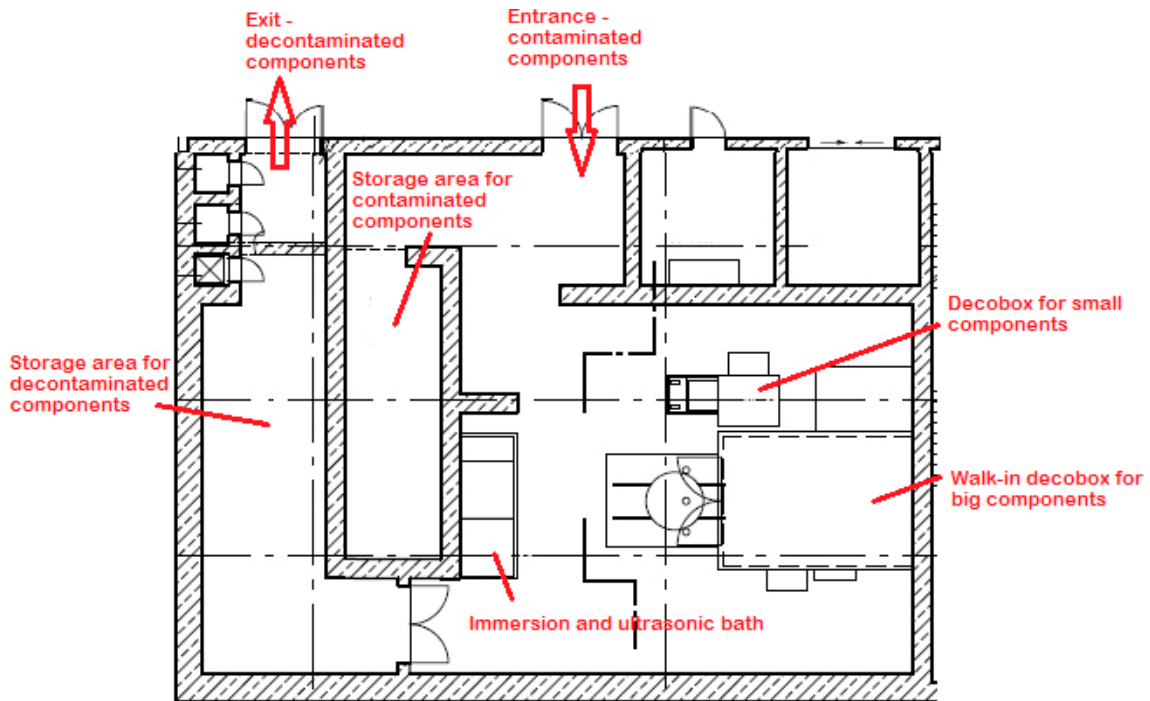
#### **B1.4 Dekontamineringsanläggning vid OL3**

Dekontamineringsverkstaden i OL3 är uppdelad i två delar. En för små maskinkomponenter (FKK) och en för processutrustning och kärl (FKE).

Dekontamineringsanläggningen för små maskinkomponenter (FKK) består av följande utrustningar:

- Två högtryckspumpar med tillhörande munstycken för att behandla radioaktiva komponenter genom högtryckstvätt (160 bar och 400 bar).
- Walk-in dekontamineringsbox.
- Dekontamineringshandskbox.
- Ultraljudsbad.
- Nedsänkingsbad.
- Spolnings- och torkstation för att spola och torka komponenter som behandlats i rengöringsbaden.

Filterdelen i frånluftssystemet består av mekaniska förfilter, HEPA-filter, kolfilter och ett andra HEPA-filter. Filtersystemet har två filteruppsättningar efter varandra för 2×100 % luftflöde. Endast en uppsättning är i drift i taget och den andra är i standby. Före filterdelen är en droppavskiljare följt av elektriska luftvärmare installerad för att minska den relativa luftfuktigheten och på så vis försäkra att kolfiltren fungerar på rätt sätt.



*Figur A-33. Generell beskrivning av dekontamineringsanläggningen vid OL3.*



*Figur A-34. Walk-in dekontamineringsbox vid OL3.*





*Figur A-35. Spolustrustning och extern arbetsstation sedd inifrån dekontamineringsbox vid OL3.*



*Figur A-36. Dekontamineringshandskbox för små komponenter vid OL3.*

Dekontamineringsystemet (FKE) är till för processutrustning samt kärl. Systemet syftar till att uppfylla kraven på minimering av lokal dosrat, speciellt vid inspektioner vid drift, för att underlätta tillgången till de aktuella rummen och områdena.

Huvudsakliga komponenter till systemet är:

- Kemisk blandningstank med omrörare.
- Två dekontamineringstankar.
- Värmare.
- Dekontamineringspump (centrifugalpump).
- Mobil extraktionspump (centrifugalpump).
- Dekontamineringsfilter, ett mekaniskt för att ta upp partiklar ur dekontamineringslösningen innan den återanvänds. Filtret har utbytbara filterpatroner.
- Spolmunstycken.

Dekontamineringen av komponenter sker via ett permanent installerat rörledningsnät. Slangar kommer att användas för att ansluta ledningarna till komponenterna.

## B1.5 SVAFO

Ingen information inkommen från SVAFO.

## B1.6 WSE

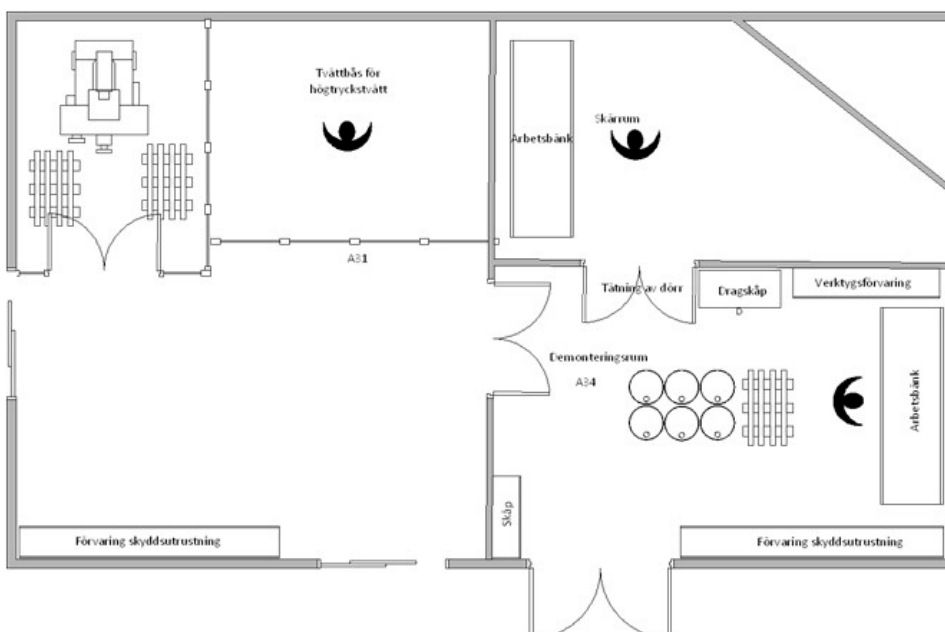
### B1.6.1 Befintlig anläggning

Dekontamineringsystemet vid Westinghouse bränslefabrik i Västerås är avsett för att dekontaminera urankontaminerat icke brännbart process- och verkstadsrestmaterial samt diverse brännbart och icke brännbart byggrestmaterial från ombyggnadsverksamheten inom verkstäderna för öppen uranhantering. Då kontamineringen främst utgörs av ytbundet uran, begränsar sig dekontamineringsmetoderna till högtryckstvätt och blästring. En betydande del av arbete som utförs i dekontamineringsanläggningen omfattar inledande sortering, varefter merparten av materialet kan friklassas. Tillgängliga hanteringsmoment i processflödet efter sorteringen omfattar

- Tvättning
- Demontering
- Kapning
- Blästring
- Avsökning
- Packning på fat
- Vägning
- Fattvätt
- Strykprov
- Friklassning
- Registrering
- Kontroll

Antalet hanteringsmoment som tillämpas för ett givet kontaminerat föremål anpassas efter föremålets dekontamineringsgrad och ytornas beskaffenhet.

Övergripande layout över anläggningen visas nedan.



**Figur A-37.** Övergripande layout för dekontamineringsanläggning vid Westinghouse.

Dekontamineringsanläggningen består av följande utrustning:

- Högtrycksstvätt (spolbox)
- Plasmaskärare
- Slungbläster

Större verktyg och detaljer som ska återanvändas i produktionen eller föras ut för användning tvättas i spolboxen med högtrycksstvätt. Vid behov kan komponenten dammsugas. Gods som ska skrotas och skäras sönder i plasmaskäraren ska tvättas i spolboxen med högtrycksstvätt och eventuellt dammsugas, för att minimera spridning av aktivitet. Småskrot som läggs i nätkorgar sköljs tills vattnet i spolboxen är klart.

Stora godsstycken och stålrör som ska skrotas är ofta för otympliga att hantera i samband med blästring och måste därför sönderdelas med hjälp av plasmaskäraren (se bild på plasmaskärare nedan) till mindre stycken så att bitarna ryms i slungblästern.

Efter att metallmaterialet sönderdelats till lämpliga stycken kan materialet blästras i slungblästern, se bild på blästringsutrustning nedan. Blästerutrymmet mäter 422×520 mm max och har en kapacitet motsvarande 70 kg gods. Avverkat material och förbrukat blästermedel uppsamlas med dammsugar-systemet. Efter analys lagras avfallet vid bränslefabriken i avvaktan på slutgiltigt omhändertagande.



*Figur A-38. Tvättbås för grovrengöring vid Westinghouse*



*Figur A-39. Plasmaskärare.*



*Figur A-40. Blästringsutrustning.*

### **B1.6.2 Potentiella förbättringar**

Den befintliga dekontamineringsanläggningen är inte helt anpassad till de volymer som passerar igenom anläggningen. Blästerutrustningen är delvis föråldrad och kan behöva bytas ut inom de närmaste åren. Generellt efterfrågas större arbetsytor vilket skulle förbättra möjligheten att utföra inledande sortering och optimera flödet genom anläggningen.

Arbetsytor och hanteringsmoment där avfall kan ansamlas och blockera flödet bör minimeras.

En mer välavgränsad kontrollstation och system för mottagande och ansvarsöverlämnande skulle minska risken för att avfall och komponenter utan väldefinierad avsändare och processägare uppstår.

### **B1.7 RAB**

Ringhals fyra block servas av en dekontanläggning som ligger centralt placerad mellan de två blockparen 1–2 och 3–4. Blocken 1 och 2 har fast förbindelse med dekonten via en kulvert så att mindre föremål kan transporteras direkt. Från Blocken 3 och 4 transporteras allt material via lastbil. Även tyngre material från blocken 1 och 2 som inte går att transportera för hand transporteras med lastbil.

Anläggningen består av en större och en mindre spolbox. I den större finns möjlighet att högt tryckstvätta med 200 eller 800 bar och i den mindre 200 och 500 bar.

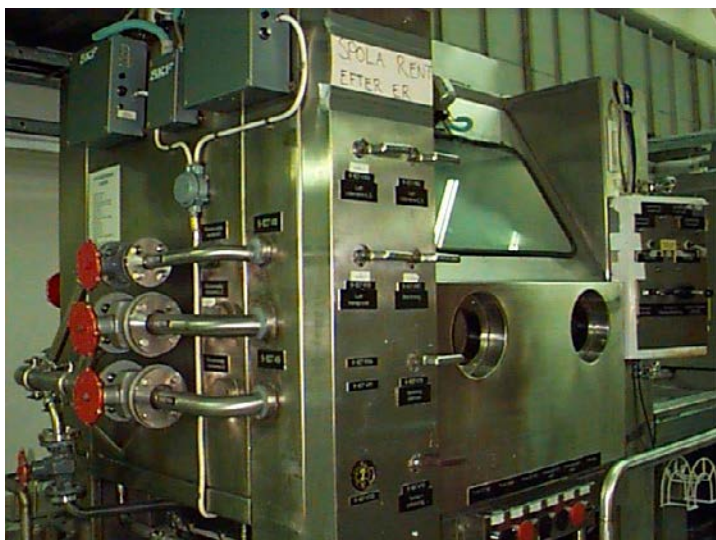
Vidare finns en blästerbox av typ handskbox. Blästermedia är glaskulor. Blästerboxen är en dubbelbox där den ena används för rostfritt och den andra för övriga material.

Det finns en syrabadsanläggning med totalt sju olika tankar/bad varav några har samma funktion, bara olika dimensioner.

De fyra mindre baden rymmer 3,75 m<sup>3</sup>.

Det högra badet på bilden ovan, innehåller oxalsyra, nästa bad är ett sköljbad med vatten och det tredje innehåller kaliumpermanganat surgjort med salpetersyra, pH-värde i badet är mellan 1,8 och 2. Det vänstra badet är ett ultraljudsbad innehållande endast vatten eller vatten med tillsatt oxal- eller citronsyra.





*Figur A-41. Blästerbox.*



*Figur A-42. Syrabad och ultraljudsvätt.*

I vänster framkant på bilden finns motsvarande bad som de tre första dock med andra dimensioner för större komponenter.

Temperatur i syrabaden är ca 80 °C och i ultraljudsbadet upp till 60 °C

Det finns även två små syrabad för små komponenter såsom kopplingar, bultar etc.

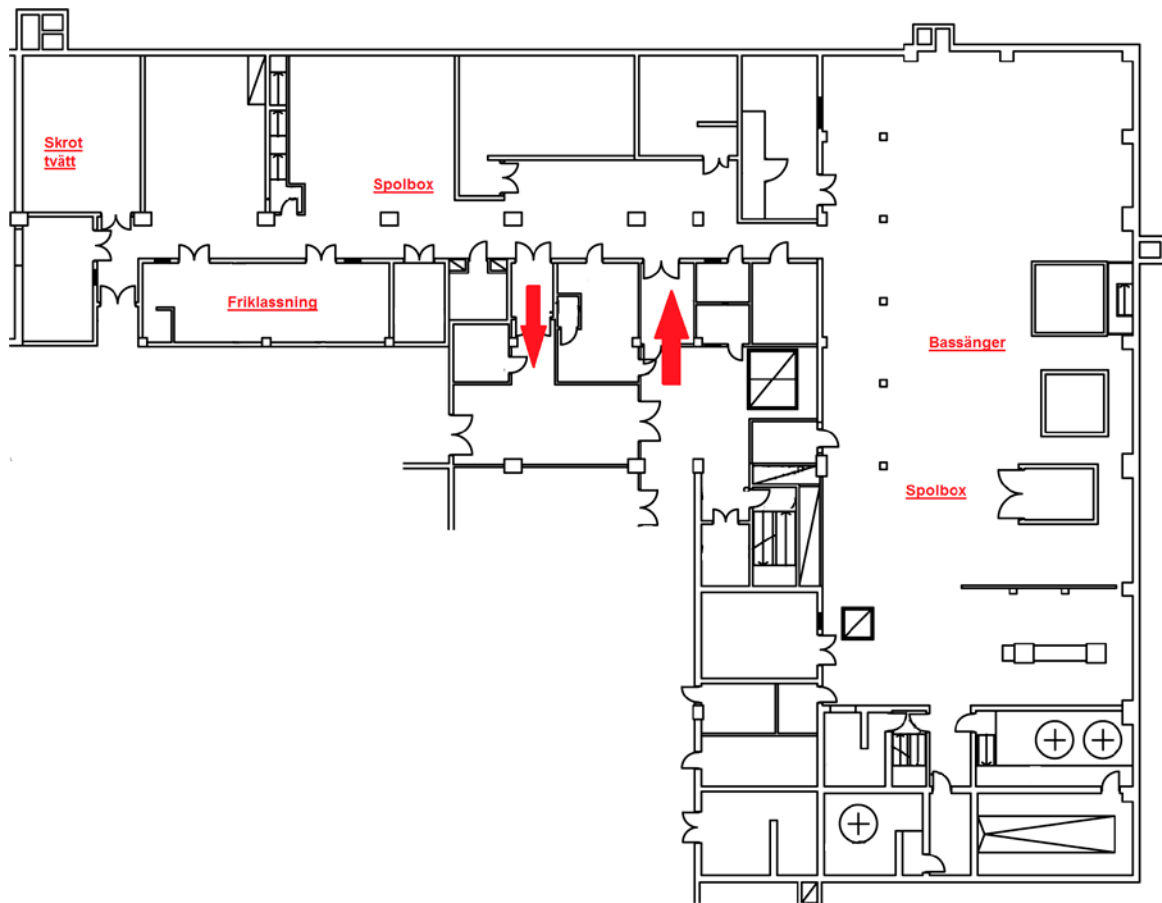
Förutom det ovan nämnda ultraljudsbadet finns två mindre mobila ultraljudsbad för mindre komponenter.

All ventilation från dekontverkstaden går via en scrubber innan luften släpps ut till omgivningen.

Det finns två bassänger om ca 40 m<sup>3</sup> med rening och cirkulation vilka används för förvaring för större pumpar och dylikt.

Material som ska friklassa förvaras separat.

Till sist finns även en nyinköpt skrottvätt som i skrivande stund inte är provad ännu.

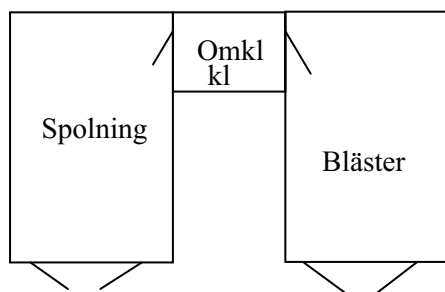


Figur A-43. Dekontens lokaler.

### B1.7.1 Bra och dåligt med dekontanläggningen

Hade dekontanläggningen byggd idag skulle kontinuerlig rening av syrabad installerats tillsammans med en anläggning för omhändertagande av jonbytarmassa. En sådan anläggning hade sparat både dos och tid.

Vad gäller spolboxar hade det optimala varit att ha en dubbel spolbox med omklädning i mitten och bläster på ena sidan samt högtrycksspolning på den andra.



Figur A-44. Kombinerad spol- och blästerbox.

## B1.8 Lovisa

Lovisa 1 och Lovisa 2 har sedan uppstart (1977 respektive 1980) varit utrustade med varsin dekontamineringsverkstad (ca 75 m<sup>2</sup>/verkstad). Dekontutrustningen var tidigare uppdelad mellan dessa utrymmen så att Lovisa 1 hade glasblästring och mekanisk dekontaminering och Lovisa 2 hade kemikaliebad och högtryckstvätt. Detta ledde till logistiska problem när komponenter skickades fram och tillbaka mellan stationerna. Dessutom orsakade de små kemiska utrymmen på Lovisa 2 höga doser till personalen, när man konstant arbetade nära baden.

År 2010 fick man, som följd av utvidgandet av det kontrollerade området på Lovisa 1, tillgång till större utrymmen. Då flyttades all dekontverksamhet till Lovisa 1. Dekontverkstadens utrymmen utvidgades från att tillsammans ha varit 150 m<sup>2</sup> (LO1 + LO2) till 380 m<sup>2</sup> (LO1). Den nuvarande dekontverkstaden består av mekanisk dekontaminering (270 m<sup>2</sup>) och kemisk dekontaminering (110 m<sup>2</sup>).

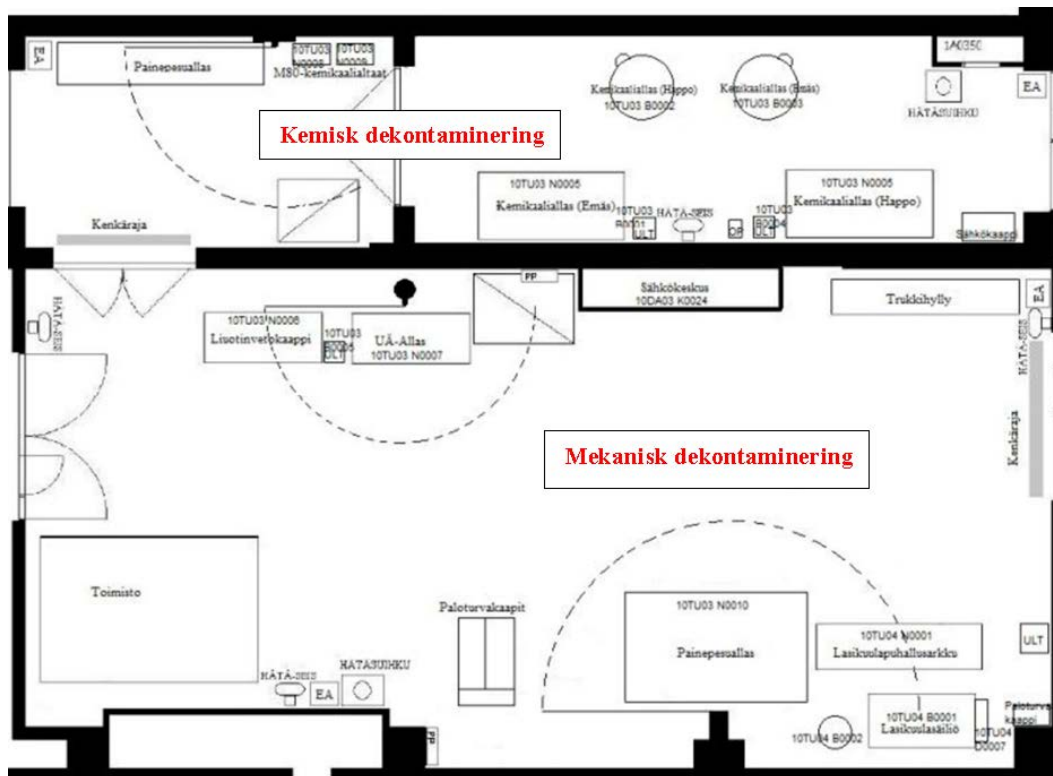
Dekontamineringsverkstaden i Lovisa består av följande utrustning:

### Kemisk dekontaminering

- Kemiska bad (2×4,5 m<sup>3</sup>, 2×1,5 m<sup>3</sup>, 2×80 l).
- Högtryckstvätt (180 bar) + spolcell.
- Luftfilter kopplade till de kemiska baden för hantering av ångor.

### Mekanisk dekontaminering

- Glasblästringsbox (endast för reaktorlockbultar).
- Ultraljudsbad.
- Högtryckstvätt (180 bar) + ”walk in” spolcell.
- Bultborstmaskiner.
- Dragskåp för manuell tvätt och sköljning.
- Luftfilter kopplade till varje maskin och 2 flyttbara.



Figur A-45. Dekontamineringsverkstaden i LO1.

Båda verkstäderna är utrustade med traverser, den mekaniska sidan har tre och den kemiska sidan har två traverser.

Under normal drift arbetar två personer i dekontamineringsverkstaden.

Under årsrevisionen utökas personalstyrkan till åtta personer i treskift. Den totala dosen för arbetarna i dekontamineringsverkstaden är ca 12 mmanSv (2014). Vid korta årsrevisioner är dosen oftast ännu lägre.



*Figur A-46. Mekanisk dekontaminering.*



*Figur A-47. Kemisk dekontaminering.*

### **B1.9 Dekontamineringsverkstaden nu och i framtiden**

År 2010 då dekontamineringsutrymmena utökades, förnyades också en del av utrustningen. De ursprungliga kemiska baden byttes ut mot nya moderna större bad med automatisk hissanordning och tvättprogram. På samma gång inskaffades också en glasblästringsbox som endast används till reaktorlockbultarna. Glasblästringsboxen fungerar helt automatiskt, dvs det finns ingen möjlighet till manuell tvätt. Även en del andra mindre förbättringar gjordes i verkstaden.

Saker som fungerar bra i dekontverkstaden:

- Låg dos till personalen.
- Det finns utrustning för att dekontaminera alla tänkbara komponenter.
- Nya utrymmen med traverser.
- Kemiska bad.

Saker man kan förbättra i framtiden är:

- Manuell glasblästringsbox, eventuellt en walk-in-modell.
- Utrymmen för inkommande gods.
- Utrymmen för utgående gods, där ingen bakgrundsstrålning påverkar mätresultaten.
- Bättre utrustning för rengöring av småbultar.
- Golvränna runt dekonten där vattnet samlas och leds till avloppet, nu finns endast två golvbrunnar.
- Minska det manuella arbetet.
- Högre utnyttjande av den kemiska delen av dekontverkstaden.

### Arbetsgruppen

Arbetsgruppen för framtagning av Dekontamineringshandboken volym 1 har huvudsakligen bestått av:

Emma-Stina Pöyhönen, TVO

Mia Ylä-Mella, Fennovoima Oy

Joni Niiranen, Loviisa

Anders Olsson, OKG

Jimmy Hägg, RAB

Klas-Göran Sandström, RAB

Maria Lindberg, SNAB

William Eek, SNAB

Johan Jensen, FKA

Jonas Högström, FKA

Per Gille, FKA

Thomas Larsson, FKA

Erika Ledung, WSE

Lena Oliver, WSE

Jörgen Gustavsson, WSE

SKB har som uppdrag att ta hand om och slutförvara radioaktivt avfall från de svenska kärnkraftverken på ett säkert sätt.

**skb.se**