

# Reprosessering og lagring av brukt reaktorbrensel i Russland

## Status og alternativer



*Referanse:*

Larsen E, Hornkjøl S, Reistad OC. Reprosessering og lagring av brukt reaktorbrensel i Russland. Status og alternativer. StrålevernRapport 2005:13. Østerås: Statens strålevern, 2005.

*Emneord:*

Reaktorer, kjernebrensel, gjenvinning, reprosessering, brenselssyklus, MOX, Majak, atomubåter, ubåter, Nordvestrusland.

*Resymé:*

Rapporten beskriver hvordan ulike typer kjernebrensel behandles i Russland og bakgrunnen for gjeldende strategi. På bakgrunn av behandling av tilsvarende typer brukt brensel i andre land vurderes praksis i Russland opp mot et alternativ med en åpen brenselssyklus.

*Reference:*

Larsen E, Hornkjøl S, Reistad OC. Reprocessing and storage of spent reactor fuel in Russia. Current status and alternatives. StrålevernRapport 2005:13. Østerås: Norwegian Radiation Protection Authority, 2005. Language: Norwegian.

*Key words:*

Reactors, nuclear fuel, reprocessing, fuel cycle, MOX, Mayak, nuclear submarines, Northwest Russia.

*Abstract:*

The report describes the back end of the Russian nuclear fuel circle and the motivations for the current policy. Taking into account the handling of similar types of spent fuel in other countries, the Russian strategy is compared against an option based on an open fuel circle.

Prosjektleder: Erlend Larsen.

Godkjent:



Gunnar Saxebøl, avdelingsdirektør, Avdeling Strålevern og sikkerhet.

39 sider.

Utgitt 2005-01-11.

Opplag 200 (05-11).

Form, omslag: Lobo Media AS, Oslo.

Trykk: Lobo Media AS, Oslo.

Forsidefoto: Ubåt opphugging - Svjosdochka verftet.

Øvrige foto: Statens strålevern

*Bestilles fra:*

Statens strålevern, Postboks 55, 1332 Østerås.

Telefon 67 16 25 00, telefax 67 14 74 07.

e-post: nrpa@nrpa.no

www.nrpa.no

ISSN 0804-4910

# Reprosessering og lagring av brukt reaktorbrensel i Russland

Status og alternativer

Erlend Larsen

Sverre Hornkjøl

Ole Reistad

**Statens strålevern**

Norwegian Radiation  
Protection Authority  
Østerås, 2005



# Innhold

---

## Forord

<b>1. Sammendrag og konklusjon</b>	<b>5</b>
1.1 Reprosessering	6
1.2 Behovet for spaltbart materiale	7
1.3 Alternativer til reprosessering	8
<b>2 Innledning</b>	<b>10</b>
<b>3 Strategier for behandling av brukt kjernebrensel</b>	<b>11</b>
<b>4 Brenselsyklusen i Russland</b>	<b>13</b>
4.1 Reprosesseringsanlegget i Majak	14
4.2 VVER- 440 brensel	15
4.3 VVER- 1000 brensel	16
4.4 RBMK brensel	16
4.5 BN- 800/BN- 600/BN- 350 brensel	17
4.6 Plutoniumsproduserende reaktorer	17
4.7 Forskningsreaktorer	18
4.8 Marine reaktorer	19
4.8.1 <i>Produksjon av marint brensel i Russland i perioden 1959-2004</i>	19
4.8.2 <i>Lagring av marint brensel i dagens Nordvest-Russland</i>	20
4.8.3 <i>Fremtidig transport- og lagringsbehov av brukt, marint brensel</i>	21
4.8.4 <i>Marint brensel - reprosessering, lagring eller deponering?</i>	21
<b>5 Behandling av brensel fra reaktorer av russisk design i andre land</b>	<b>23</b>
5.1 Litauen	23
5.2 Finland	23
5.3 Tsjekkia	24
5.4 Slovakia	25
5.5 Ungarn	25
5.6 Tyskland	25
5.7 Bulgaria	26
5.8 Armenia	26
5.9 Kasakhstan	27
5.10 Ukraina	27
<b>6 Brenselsyklus i land med tilsvarende sivil/ militær bruk av reaktorteknologi</b>	<b>28</b>
6.1 USA	28

---

6.2	Storbritannia	29
6.3	Frankrike	30
6.4	Kina	30
6.5	India og Pakistan	31
<b>7</b>	<b>Referanseliste</b>	<b>32</b>
<b>8</b>	<b>Oversikt over forkortelser og begreper brukt i rapporten</b>	<b>36</b>

---

# 1. Sammendrag og konklusjon

Dagens brenselssykluspolitikk i Russland representerer på mange måter en fortsettelse av en tidligere etablert praksis, optimalisert i forhold til god og sikker tilgjengelighet av ulike typer spaltbart materiale. For å minke sårbarheten var det viktig å ha alle ledd i brenselssyklusen fra urangruver til brenselshåndtering innen eget territorium. Uran ble betraktet som et knapphetsgode, og repressering var viktig i forvaltningen av dette. Etter oppløsningen av Sovjetunionens brøt de fleste land i Øst-Europa samarbeidet med Russland, og i dag er det bare spaltbart materiale i Ukraina som kan sies å være en del av den russiske brenselssyklusen. Russland er fortsatt tilhenger av en lukket brenselssyklus og har en strategi som innebærer at mest mulig brensel skal represseres.

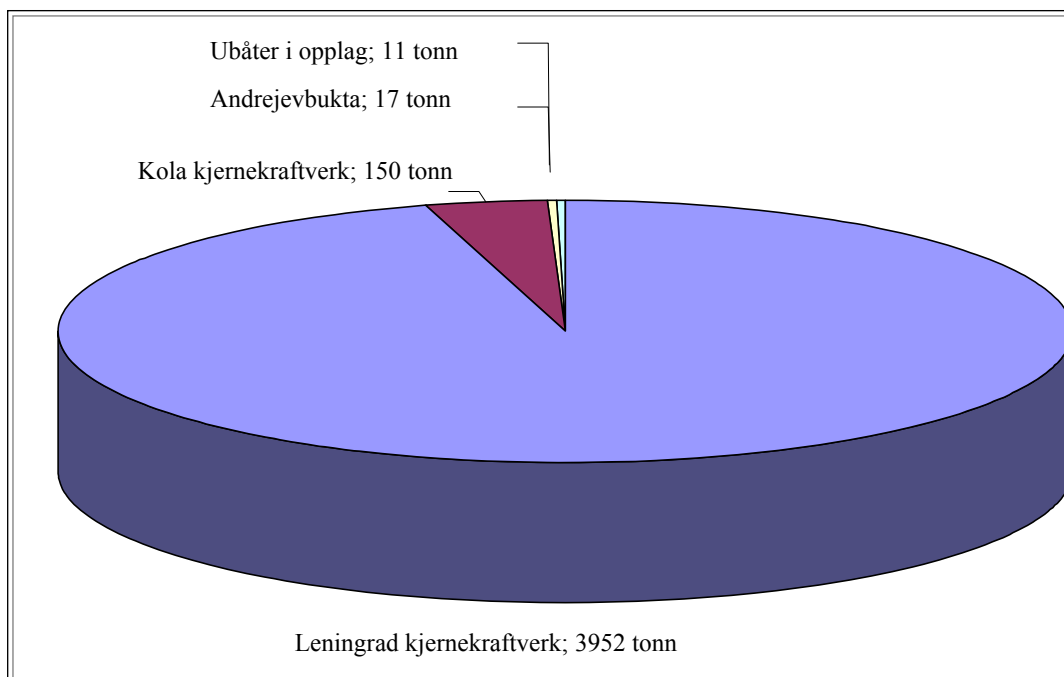


*Leningrad kjernekraftverk (Foto: Statens strålevern).*

overkant av de kortsiktige nasjonale behovene og Russland kan tenke seg å ta imot brukt brensel fra andre land for å fylle ledig kapasitet.

Det meste av brukt brensel i Russland har sin opprinnelse i kjernekraftverk, og det er fortsatt kjernekraftverk som bidrar med hoveddelen av tilveksten i lagrene av brukt brensel. Mengdemessig dominerer brukt brensel fra reaktortypene RBMK og VVER-1000. Disse brenselstypene blir i dagens Russland ikke repressert. Dette skyldes at RBMK brensel har liten verdi som råstoff for nytt brensel og at de eksisterende anlegg ikke kan repressere VVER-1000 brensel. For å avhjelpe problemene med overfylte lagre for brukt brensel ved kjernekraftverk, og da spesielt ved RBMK reaktorene, er et sentralt lager under slutføring i byen Zheleznogorsk. Kapasiteten på rundt 38 000 tonn er i

Også i Nordvest-Russland står kjernekraftverkene for hoveddelen av det brukte brenselet. Figur 1.1 viser et estimat over brukt brensel i Nordvest-Russland, hvor 99% av alt brukt brensel er lagret ved Leningrad og Kola kjernekraftverk.



**Figur 1-1: Estimert av mengde brukt reaktorbrensel i Nordvest-Russland.** For Leningrad kjernekraftverk er tatt utgangspunkt i at det ved eksternt brenselager første halvår 2003 var lagret 26125 brensel-elementer (av 113 kilo) samt at det ved hver av reaktorene var lagret brensel fra de siste tre årene (50 tonn pr. år pr. reaktor) og at hver reaktor ville ha generert 100 tonn brukt brensel siden 2003. For Kola kjernekraftverk er det lagt til grunn av hver reaktor genererer 12.5 tonn brukt brensel pr. år og at dette lagres tre år før det transporteres til Majak. For Andrejevbukta er det antatt lagret 100 ubåtreaktorer, hver inneholdende 170 kilo brukt brensel. Det er antatt 33 ubåter i opplag, hver inneholdende to reaktorer av 170 kilo brukt brensel.

## 1.1 Reprosessering

RT-1 anlegget i Majak reprosesserer brukt brensel fra kjernekraftverk, ubåter og forskningsreaktorer. Hovedmengden av brenselet som i dag reprosesserer ved dette anlegget kommer fra kjernekraftreaktorer av typen VVER-440 i Russland og Ukraina samt fra den ene reaktoren av typen BN-600. Årlig reprosesserer 120 til 150 tonn brensel VVER-440 brensel mens kapasiteten ved anlegget er rundt 400 tonn. Tidligere ble også brukt brensel fra VVER-440 reaktorer i andre europeiske land reprosessert ved dette anlegget, men denne eksporten stoppet opp tidlig på 1990 tallet. Fravær av endelige deponiløsninger åpner imidlertid muligheten for at enkelte Øst Europeiske land vil gjenoppta transporten og reprosessering av brukt brensel i Majak. Finsk VVER-440 brensel fra Loviisa kjernekraftverk vil imidlertid med stor sikkerhet bli lagret i et nasjonalt deponi som nå er under bygging og brensel fra de nedlagte reaktorene i Greifswald vil ikke bli returnert til Russland all den tid Tyskland på prinsipielt grunnlag har valgt å avstå fra reprosessering.

Overkapasiteten ved RT-1 er i framtiden tenkt fylt ved at anlegget bygges om til årlig å kunne reprosessere brensel fra kjerne-kraftreaktorer av typen VVER-1000 med inntil 300 tonn pr. år, eller rundt  $\frac{3}{4}$  av årlig tilvekst av denne brenselstypen i Russland og Ukraina. Russland har dessuten planer om å øke kapasiteten for reprosessering av kjerne-kraftbrensel med ytterligere 1500 tonn pr. år ved å bygge et nytt anlegg RT-2 i byen Zheleznogorsk. Prosjektets kostnader og manglende anvendelse for plutonium gjør at ferdigstilling av dette anlegget skyves ut i tid med minst to tiår.



---

Av totalt nesten 1200 reaktorkjerner med marint brensel produsert i Russland er over  $\frac{3}{4}$  allerede repressert, mens resten i hovedsak er lagret samt at noe befinner seg i operative ubåter. Total mengde brukt brensel av marin opprinnelse i Nordvest-Russland er rundt 25-30 tonn, hvor nesten 60% befinner seg i Andrejev, det resterende i hovedsak i ubåter i opplag og noe på serviceskip. I tillegg til dette kommer brensel i ubåter som fases ut i årene som kommer. Mengden brukt brensel i ubåter i opplag i Stillehavflåten er vesentlig mindre enn i Nordvest-Russland. En årlig opphugging av 10 ubåter vil medføre en repressering av rundt 3 tonn brukt brensel, motsvarende rundt 2 til 3 % av det kjernekraftbrensel som i dag årlig represseres i Majak. Denne andelen vil reduseres til mindre enn en prosent ved full kapasitetsutnyttelse for kjernekraftbrensel. Maksimal kapasitet for repressering av marint brensel antas å være rundt 14 tonn pr år.

Brukt brensel fra forskningsreaktorer har blitt lagret lokalt, men blir nå i større grad enn tidligere repressert. Deler av dette er i likhet med marint brensel i stor grad høyt anriket. Det er en sterk satsning internasjonalt for å bygge om reaktorer fra høyanriket uran til uranbrensel med lavere anrikning. Også i Russland har forskningsreaktorer blitt bygd om til å bruke brensel med lavere anrikning. På sikt tilsier dette at tilveksten i lagrene av denne typen brensel vil reduseres. Det blir samtidig arbeidet internasjonalt for at høyanriket brensel fra forskningsreaktorer returneres til opprinnelseslandet, som i de fleste tilfeller er USA eller Russland. Forskningsreaktorer av russisk opprinnelse, nedstengte og operative, finnes blant annet i Latvia, Tsjekia, Ungarn, Polen, Kasakhstan og Ukraina. Det er blant annet kjent at det arbeides med planer om å returnere høyanriket brensel fra den nedlagte reaktoren i Salaspils i Latvia til Russland.

I tillegg til Majak driver Russland gjenvinning av brukt brensel ved Zheleznogorsk og Seversk. Denne produksjonen skjer med utgangspunkt i tre gjenværende militære reaktorer, hvis formål var produksjon av plutonium for våpenformål. Den sikkerhetsmessige tilstanden rundt disse reaktorene er ikke kjent, men rent konstruksjonsmessig regnes de som en forløper til RBMK reaktoren. Reaktorene rapporteres heller ikke under kernesikkerhetskonsensjonen. Disse reaktorene produserer samlet årlig 1,5 tonn plutonium, eller nok plutonium til ett atomvåpen på 1  $\frac{1}{2}$  dag. Stengning av disse reaktorene inngår som en del av en avtale med USA for stengning av alle reaktorer for produksjon av våpengrad plutonium. Russland argumenterer imidlertid for at reaktorene ikke lar seg stenge før det er bygd opp alternative kilder for elektrisitet og fjernvarme til områdene rundt, og USA arbeider derfor med å få bygget kraftverk for å erstatte disse basert på fossilt brensel. Partene er imidlertid enige om at plutonium som produseres fra disse reaktorene ikke skal brukes til våpenformål, og inntil videre lagres dette. Det har ikke lyktes å finne publikasjoner på mengden brensel som represseres ved disse anleggene, men basert på mengden brukt brensel en RBMK reaktor genererer vil det ikke være usannsynlig om dette ligger i størrelsesordenen rundt 100 tonn pr år.

## 1.2 Behovet for spaltbart materiale

Russland har et stort overskudd av høyanriket uran fra sitt atomvåpenprogram. Deler av dette materialet blir brukt som brensel i forskningsreaktorer og marine reaktorer, men anvendelsen er relativt beskjeden sammenlignet med de rundt 900 tonn høyanriket uran Russland er estimert å inneha. Fordi det ikke finnes noen annen fornuftig bruk, blir høyanriket uran brukt til å øke anrikingsgraden i ferskt brensel for innenlandsk bruk og for eksport. For å redusere trusselen for at materiale av denne typen kommer på avveie kjøper USA store mengder lavanriket kjernekraftbrensel fra Russland produsert med utgangspunkt i høyanriket uran.

---

Russland har også et stort overskudd av plutonium, men i motsetning til for høyanriket uran har Russland en meget marginal sivil anvendelse av plutonium. Dette kan blant annet tilskrives at Russland til tross for omfattende sivil reprosessering ikke bruker MOX som brensel i kjernekraftverk. Russland har ingen fasiliteter for produksjon av MOX og russiske reaktorer er heller ikke bygd for å kunne bruke MOX. Av dagens kjernekraftreaktorer er det bare VVER-1000 som enkelt ville kunne modifiseres til å ha innslag av MOX i reaktorkjernen. Men selv om alle 19 VVER-1000 reaktorer i Russland og Ukraina ble bygget om til hybridkjerner ville disse maksimalt kunne forbruke 5 tonn plutonium i året, noe som er relativt beskjedent sammenlignet med de rundt 170 tonn fraseparert plutonium det er estimert at Russland har. Anvendelsen av MOX vil imidlertid kunne øke kraftig når og hvis Russland har innført sin planlagte nye reaktorgenerasjon, BN-800, om noen tiår. Russland har, i likhet med USA, problemer med å etterleve en avtale om gjensidig eliminasjon av 34 tonn plutonium.

Lavanrikt uran fra reprosessering av brensel fra VVER-440 reaktorer blir brukt som utgangspunkt for nytt brensel. Dette brenselet er, grunnet lav restanriking (<1%), ikke noe vesentlig bedre utgangspunkt for produksjon av nytt brensel enn hva naturlig uran er. Samtidig er mengden lavanrikt uran frigjort gjennom reprosessering bare en brøkdel av hva som trenges for produksjon av ferskt brensel for innenlandsk bruk og for eksport.

### 1.3 Alternativer til reprosessering

Alternativet til reprosessering er lagring, og senere deponering. Dette er den strategi som i Finland er valgt for VVER-440 brensel, og det er ingen forhold som tilsier at langtidslagring eller deponering av denne typen brensel avviker vesentlig fra vanlig PWR brensel. Russland har under ferdigstillelse et sentralt anlegg i Zheleznogorsk for lagring av brensel fra VVER-1000 og RBMK reaktorer med en kapasitet på 38000 tonn. Om Russland mot formodning skulle avstå fra å reprosessere VVER-440 brensel vil framtidig mengde av slikt brensel være relativt beskjeden sammenlignet med akkumulert og framtidig mengde av RBMK og VVER-1000 brensel. Det vil derfor neppe være kapasitetsmessig problemer ved også å lagre VVER-440 brensel i dette anlegget og en slik løsning ville høyst sannsynlig også være mulig rent teknisk. Ved at Russland ikke reprosesserer brensel fra RBMK brensel må landet i framtiden ha en løsning for deponering av slikt brensel, og det vil neppe være tekniske hindringer i veien for en felles deponiløsning for alle typer kjernekraftbrensel.

Gjeldende strategi i Russland er å reprosessere brukt marint brensel. Et kompliserende moment i dette er at det må antas at en stor del av brenselet, spesielt i Andrejevabukta er skadd. Russland planlegger imidlertid oppgraderinger ved RT-1 anlegget slik at også skadd brensel vil kunne reprosesserer. Reprosessering er også en sannsynlig løsning for brensel fra metallkjølte reaktorer, selv om det fortsatt er usikkert hvordan dette brenselet kommer til å bli behandlet. I hvilken grad lagring for senere deponering vil være et egnet alternativ for marint brensel er vanskelig å vurdere fordi detaljer rundt brenselets beskaffenhet, konstruksjon og sammensetning er underlagt hemmelighet. Skadd brensel vil normalt ikke være egnet for direkte deponering eller lagring over lang tid, selv om det ville være mulig å tenke seg ulike former for til dels omfattende bearbeiding av brenselet før slik lagring kan finne sted. At brensel har høy anriking vil også være et kompliserende element ved langtids lagring og deponering. Tilsvarende vil det for metallisk brensel og brensel med ulike alternative kapslingsmaterialer være problemer ved direkte deponering. I slike tilfeller kan det være påkrevd med en omfattende prosessering før en endelig deponering, eksempelvis ved at metallisk brensel løses opp og overføres til oksidisk form. En slik prosess vil naturlig måtte skje ved et reprosesseringsanlegg, hvor viktigste forskjell fra reprosessering er at brenselet ikke skilles ad i sine ulike komponenter. Netto gevinst av en slik prosessering vil være relativt beskjeden sammenlignet med å løpe linja helt ut i form av en fullstendig reprosessering.

---

Dagens praksis rundt opphugging av ubåter tilsier at brenselet fraktes til Majak kort tid etter at brenselet er tatt ut fra ubåtene. Dette skyldes at det er minimal kapasitet for lagring av brensel i kjeden fra uttak til repressering. Opphuggingen av ubåter og oppryddingen i Andrejevbukta forutsetter at det finnes et system for håndtering av det brukte brenselet og i dagens Russland består dette i at brenselet represseres i Majak. Om denne represseringen skulle opphøre vil ikke oppryddingsprosjektene kunne fortsette uten at det finnes lagringskapasitet for det brukte brenselet. Strålevernet kjenner ikke til konkrete vurderinger av i hvilken grad lagringskapasitet innenfor brenselssyklusen for kjernekraftbrensel vil kunne benyttes, men antar dette vil være gjennomførbart gitt tilstrekkelig administrativ kontroll. Slik samlagring vil sannsynligvis være enklere i et tørrlager enn i et våtlager. Det vil også være teknisk mulig å bygge egne lagringsfasiliteter for brukt marint brensel, enten i Nordvest-Russland eller andre steder i Russland. Prosjektering og bygging av et eller flere slike anlegg vil kunne ta flere år og medføre betydelige kostnader noe som vil kunne påvirke tidsskjemaet for oppryddingsarbeidet i Nordvest-Russland. Et eller flere lager representerer heller ikke en endelig løsning for det brukte brenselet, fordi slik lagring bare skjer midlertidig i påvente av endelig deponering.

Repressering av høyt anrikt brukt brensel fra forskningsreaktorer og fartøyer vil på kort sikt bidra til å øke overskuddet av høyt anrikt uran i Russland anvendbart til militære formål. På lengre sikt kan man allikevel tenke seg at dette overskuddet reduseres ved at høyanrikt uran blandes ned til lavanrikt kjernekraftbrensel for salg.

Av samlet mengde brensel som represseres i Russland utgjør brensel fra marine fartøyer en meget beskjeden del. Repressering av marint brensel vil imidlertid bidra til de samlede utslipp og miljøkonsekvenser av represseringsvirksomhet i Russland. Valg av strategi for sluttbehandling av brensel vil, innenfor rammen av hva som teknisk er mulig og gjennomførbart, i stor grad være et politisk spørsmål. Fordi Russlands klare valg om at mest mulig brensel skal represseres synes å være sterkt historisk forankret, er alternativer sannsynligvis lite utredet. Erfaringer fra land som har gjennomført omfattende endringer i brenselssyklus, eksempelvis Tyskland, viser at slike prosesser ofte tar mange år. Det er derfor svært sannsynlig at Russland fortsetter med å repressere brensel innenfor den tidshorisont som gjelder for atomoppdyddingene i det nordvestlige Russland.

Sammenlignet med dagens praksis hvor brukt høyanrikt brensel finnes lagret under svært kritikkverdige forhold på ulike lokaliteter i Nordvest-Russland vil det være rimelig å anta at man har en stor positiv effekt av opphugging av marine fartøyer og de oppryddingsarbeidene som skjer ved de militære basene i Nordvest-Russland uavhengig av om brukt brensel represseres eller ikke. Dette gjelder både med hensyn til miljø og for ikke-spredning.

---

## 2 Innledning

Norge bistår sammen med flere andre vestlige land i opphuggingen av ubåter som er tatt ut av drift ved den russiske nordflåten. Denne innsatsen er motivert i at uforsvarlig lagring og håndtering medfører en risiko for utslipp av radioaktive stoffer, spesielt til det marine miljø. I gjennomføringen av prosjekter som støttes av den norske handlingsplanen for atomsaker er det vektlagt at prosjekter i minst mulig grad skal ha uønskede sideeffekter.

Brukt brensel fra ubåter i Russland blir repressert slik som annet brukt reaktorbrensel. Dette er en prosess hvor de ulike bestanddelene i det brukte brenselet skilles ad før materiale vil kunne inngå i nytt brensel eller til andre formål samles opp og brukes om igjen. Denne prosessen gir opphav til vesentlige utslipp av radionuklider til miljøet, og Norge har tidligere engasjert seg sterkt i å redusere denne typen utslipp fra gjenvinningsanlegget i Sellafield.

Strategier for sluttbehandling av avfall er et område som tradisjonelt er hvert enkelt lands ansvar og hvor andre lands myndigheter i prinsippet ikke har noen direkte innflytelse. Norge dekker ikke kostnader ved repressering av brensel som tas ut ved opphugging av ubåter. Det er sannsynlig at brensel fra ubåter som Norge finansierer opphuggingen av blir repressert. For Norge vil det derfor være naturlig å ta stilling til spørsmål rundt repressering i Russland. Utenriksdepartementet har i den forbindelse blitt bedt Statens strålevern om en utredning av ulike sider ved repressering i Russland. Denne utredningen vil, sammen med utredninger av utslipp og miljøkonsekvenser i Majak, kunne være en del av et grunnlag for norsk holdning på området.

Det er i denne utredningen lagt vekt på å beskrive slutten av brenselssyklusen i Russland med tanke på hvordan ulike typer kjernebrensel behandles og bakgrunnen for gjeldende strategi. Det er også lagt vekt på å beskrive hvordan planer innen sivil atomindustri og for opprydding i Nordvest-Russland vil påvirke materialstrømmer i fremtiden. Dernest skisseres hvilken praksis som finnes i andre land for behandling av brukt brensel fra tilsvarende kjernekraft og hvordan andre land med militær bruk av spaltbart materiale har lagt opp slutten av sin brenselssyklus. På dette grunnlaget blir gjeldende praksis vurdert opp mot alternativet hvor brukt brensel sluttforvares uten repressering.

### 3 Strategier for behandling av brukt kjernebrensel

Det er i dag 30 land med kommersiell kjernekraft. I tillegg finnes det forskningsreaktorer i en rekke land, samt at noen få land også har marine reaktorer. De fleste reaktorer baserer seg på et uranbrensel, laget med utgangspunkt i uranmalm. I enkelte reaktorer benyttes såkalt MOX brensel hvor mye av det spaltbare uranet er erstattet av plutonium.

Etter at et brensel har vært bestrålt i en reaktor vil dette normalt lagres i vannbasseng i tilknytning til reaktoren. Lagringen av brenselet kan enten fortsette, enten i våtlager eller i tørlager, til brenselet etter noen tiår overføres til et deponi, alternativt kan brenselet represseres. Reprosessering er en våtkjemisk prosess hvor brukte brenselet skilles i sine bestanddeler. Uran og plutonium vil kunne benyttes til nytt reaktorbrensel mens fisjons- og aktiveringsprodukter blir betraktet som avfall og støpt inn i glass - kalt vitrifisering. Lagring av det vitrifiserte avfallet er i flere land foretrukket framfor direkte lagre og deponering av brukt brensel. Enkelte fisjons- og aktiveringsprodukter kan dessuten inngå i produksjon av isotoper til medisinske og industrielle formål.

Kjeden fra urangruve via anrikning, fabrikasjon og bruk av kjernebrensel til lagring av brukt brensel kalles brenselssyklus. Hvis brenselet sluttlagres betegnes det som en åpen brenselssyklus. Dersom brenselet represseres og uran og plutonium gjenvinnes betegnes syklusen som lukket. For ytterligere informasjon om brenselssykluser og MOX henvises til Strålevernrapport 2003:3 [1].



*Cogema LaHague represseringsanlegg i Normandie (Frankrike), (Foto: Dean Calma/IAEA).*

I dag er det store anlegg for sivil repressering i Storbritannia, Frankrike India og Russland (tabell 3.1). Japan har et nytt anlegg med årlig kapasitet på 800 tonn brukt brensel under prøvedrift . Flere andre land praktiserer også helt eller delvis en lukket brenselssyklus gjennom å sende brensel til repressering i utlandet. Eksempelvis har brensel fra Japan og Tyskland blitt repressert i Storbritannia og Frankrike, og reaktorbrensel fra en rekke land har blitt repressert i Russland. Italia kunngjorde i januar 2005 at de ønsker å sette ut repressering av deres brukte brensel på anbud. R1 reaktoren ved tekniska högskolan i Stockholm ble stengt i 1970 og det arbeides nå med planer om å sende brukt brensel fra denne reaktoren

til Sellafield for repressesering. Militær repressesering er i utgangspunktet knyttet til atomvåpenprogram og foruten Russland, Storbritannia og Frankrike finnes fasiliteter for denne typen virksomhet i Kina, India og Pakistan. I USA har militær repressesering opphørt på grunn av et stort overskudd av spaltbart materiale globalt som følge av nedrustning.

**Tabell 3.1** Kapasiteten ved verdens represseringsanlegg i 2005 [8]

	Åpnet	Kapasitet (tonn/år)
UP 2, La Hague, Frankrike	1967	800
UP 3, La Hague, Frankrike	1990	800
PP, Trombay, India	1964	60
PREFRE 1, Tarapur, India	1974	100
PREFRE 2, Kalpakkam, India	1998	100
PREFRE 3A, Kalpakkam, India	2005	150
PREFRE 3B, Tarapur, India	2005	150
PNC TRP, Tokai-Mura, Japan	1977	90
RRP, Rokkasho-mura, Japan	2005	800
RT-1, Chelyabinsk, Russland	1971	400
B205, Sellafield, Storbritannia	1967	1500
Thorp, Sellafield, Storbritannia	1994	900

Russland har en uttalt ambisjon om på verdensbasis å bli en viktigere aktør for behandling av brukt brensel og avfall [2]. Dette innebærer også å ta en større andel av verdensmarkedet for repressesering av reaktorbrensel. Det er mange skeptikere til dette, spesielt ettersom Russland mottar bistand til å hånd om eget brensel og annet radioaktivt avfall. De fleste vestlige land har dessuten etablerte systemer rundt sluttbehandling av brukt brensel som enten innebærer nasjonale løsninger eller repressesering ved anlegg i Vesten slik at eksport til Russland er lite sannsynlig i overskuelig framtid. RT-1 represseringsanlegget i Majak er i dag heller ikke i stand til å repressere de brenselstyper som vanligvis brukes i Vesten og Asia.

---

## 4 Brenselssyklusen i Russland

Russland har en omfattende nukleær sektor, og har alle ledd i brenselssyklusen innenfor eget territorium samtidig som landet gjennomgående baserer seg på egenutviklet teknologi. Brenselssyklusen i Russland inkluderer utvinning og anrikning av uran, brenselproduksjon, reaktordrift samt lagring av brukt brensel. Russland praktiserer for flere typer reaktorbrensel en lukket brenselssyklus. Det er i Russland omfattende kontakt mellom militær og sivil brenselssyklus hvor høyanriket uran av militær opprinnelse brukes til å øke anrikningen ved repressering av kjernekraftbrensel [4]. Brukt brensel fra VVER-440, BN-600 reaktorer og marine reaktorer blir repressert ved RT-1 represseringsanlegget i Majak, noe som blant annet gir opphav til RBMK brensel [3,4,6].

Russland har store overskudd både av høyanriket uran og plutonium. Nuclear Threat Initiative (NTI) estimerer at Russland har ca. 170 tonn med fraseparert plutonium anvendbart for våpenformål [5]. Dette anslaget inkluderer både våpenkvalitet og reaktorgrad plutonium. Deler av dette er til enhver tid brukt i atomvåpen, mens en relativt stor del lagres på ulike steder. Markachuk et al.[6] angir at det bare i Majak lagres 80 tonn plutonium, hvorav 30 tonn har sivil opprinnelse og 50 tonn er overskudd fra atomvåpenprogrammet. Offisielle russiske tall oversendt IAEA indikerer at Russland pr. 31. desember 2003 har 38,2 tonn fraseparert plutonium av sivil opprinnelse og at lagret sivilt brensel inneholder 88 tonn plutonium [7]. I rapporter til IAEA økte mengden sivilt plutonium med 3 tonn fra 31. desember 2001 til 31. desember 2003. Dette tilsvarer en økning i mengden sivilt plutonium på 1.5 tonn pr år, hvilket er i samme størrelse som økningen i mengden plutonium av militær opprinnelse.

Det finnes ulike anslag for mengden høyanriket uran i Russland, og NTI estimerer dette til i overkant av 900 tonn. Russland og USA har et aktivt samarbeid om å redusere overskuddet av høyanriket uran fra atomvåpen gjennom å blande det ut med lavanriket materiale for å lage brensel til amerikanske kraftreaktorer. I henhold til avtalen fra 1993, som refereres som "HEU deal" skal Russland i løpe av en periode på 20 år konvertere 500 tonn høyanriket uran til lavanriket uran for salg som brensel i kjernekraftreaktorer [9].

Russland og USA har gjensidig forpliktet seg til å eliminere 34 tonn plutonium. Mens USA tidligere har betraktet immobilisering som en opsjon har dette ikke vært aktuelt for Russland. Immobilisering innebærer å gjøre plutonium vanskelig tilgjengelig for våpenformål ved at det blandes sammen med andre stoffer som gjør kjemisk separasjon vanskelig.

Eneste sivile anvendelse som kan redusere lagrene av plutonium er å bruke dette som reaktorbrensel, enten i form av MOX eller annet plutoniumbasert brensel. Russland er på mange måter i en særstilling ved at de for kjernekraftbrensel praktiserer en lukket brenselssyklus uten å bruke MOX. Russland bruker i dag ikke MOX ut over i veldig begrenset skala til forsøk, og dagens reaktorer er heller ikke konstruert med tanke på denne typen brensel. Russland har liten kapasitet til å produsere MOX. Bygging av MOX fabrikk har vært et tema for diskusjoner mellom Russland og USA, men amerikansk støtte til dette har ikke latt seg realisere blant annet på grunn av problemer i forhold til ansvarsfritak. Russland ser imidlertid for seg at de hurtige reaktorer av typen BN-800, som vil overta for dagens termiske reaktorer, vil være i stand til å bruke MOX. Sammenlignet med USA, som også ønsker å begrense spredningsfare gjennom å redusere overskuddet av plutonium gjennom å innføre MOX som brensel i kommersielle reaktorer, virker ressurstankegangen å være sterkere uttalt i Russland.

Plutonium blir betraktet som en ressurs, samtidig som prognoser indikerer at uran i løpet av noen tiår kan bli en mangelvare.

Om Russland og Ukraina sammen skulle sette i gang et program for bruk av MOX, vil dette kunne skape en anvendelse for overskuddsplutonium. Ombygd til hybridkjerner med oksidiske uranbrensel og MOX vil 19 VVER-1000 reaktorer kunne forbruke rundt 5 tonn plutonium hvert år. Sett opp mot et samlet lager av plutonium på anslagsvis 170 tonn skulle behovet for plutonium være dekket i overskuelig framtid, også uten en årlig tilvekst på minst 3 tonn som kommer fra repressering i sivil og militær regi. Behovet for plutonium ville imidlertid øke betraktelig om Russland satte i gang en storstilt satsning på hurtige reaktorer av typen BN-800 slik de planlegger over en horisont på noen tiår. Økt etterspørsel etter plutonium er igjen tenkt dekket gjennom økt produksjon ved bygging av RT-2 represseringsanlegget.

#### 4.1 Represseringsanlegget i Majak

RT-1 anlegget i Majak ved Ozersk (tidligere Chelyabinsk-65) er for tiden det eneste russiske anlegget involvert i repressering av brukt brensel i sin alminnelighet, også når det gjelder ubåter. Aktuelle brenselstyper er fra reaktortypene VVER-440, BN-600 og fra ulike forskningsreaktorer. RT-1 er også anlegget for å utvikle nye represseringsteknikker. Dagens teknologi er imidlertid basert på PUREX-teknologien og dagens produksjonsvolum ved RT-1 er satt opp i tabell 4.1

**Tabell 4.1:** Produksjonsvolumer ved RT-1 anlegget, historisk og årlig [3].

Brensel fra reaktortype	Repressert så langt (tonn uran/ plutonium)	Årlig kapasitet (tonn uran/ plutonium)
VVER-365, -440	3000	400
BN-350, -600	250	11
Marine reaktorer	120	14
Forskningsreaktorer	30	37 skal represseres
HEU brensel fra reaktorene "Ruslan" og "Lyudmila"	20	Etter behov

RT-1 represseringsanlegget er omfattet av et moderniseringsprogram, hvis mål er å gjøre anlegget i stand til også å repressere VVER-1000 og PWR brensel tilsvarende opp til 300 tonn pr år. Oppgraderingene tar dessuten sikte på å redusere mengden flytende avfall som genereres og oppgradering av avfallshåndteringen. Oppgraderingene regnes å være ferdigstilt i 2008 [4]. Det har dessuten vært et samarbeid mellom Russland og USA for å bedre fysisk beskyttelse og materialkontroll i tilknytning til RT-1[14][15].

I forhold til repressering av brukt brensel fra ubåter er det begrensninger i utlastningsraten, som diskutert senere, som er dimensjonerende for aktiviteten ved Majak i dag. For øyeblikket betaler Rosatom for repressering av marint brensel ved RT-1 av føderale budsjettposter. Dette er imidlertid ikke tilstrekkelig, og Russland ønsker i dag støtte for å betale represseringen i seg selv, ikke oppgradering av eksisterende anlegg. Storbritannia har på sin side besluttet å støtte byggingen av et



bufferlager ved PO Majak for å sikre at dette ikke utgjør en flaskehals den dagen uttransporteringen av brensel fra Andrejevabukta starter.

## 4.2 VVER-440 brensel

Russland har totalt 6 reaktorer av typen VVER-440 (4 ved Kola kjernekraftverk og 2 ved Novovoroneszh) [15]. VVER-440 reaktorer bruker et uranoksidbrensel med anrikning rundt 4%. Reaktorene har en kjerne inneholdende 42 tonn uranoksyd. Hvert år byttes ca 13 tonn brensel med en gjennomsnittlig utbrenning rundt 30 MWd/kg [12].

Siden både opprinnelig anrikning og utbrenning vil kunne variere mellom ulike brenselkjerner i en VVER-440 og mellom posisjoner i kjernen vil anrikningen i det brukte reaktorbrenselet også variere. Lascek et al. [12] har ved hjelp av ORIGIN koden gjort en beregning av radionuklideinnhold for alt VVER-440 kjernebrensel i Slovakia i år 2030. Total mengde  $^{238}\text{U}$  vil da tilsvare 1972 tonn mot en mengde  $^{235}\text{U}$  på 1,84 tonn. Dette motsvarer en restanrikning i det brukte brenselet på 0,94 %, noe som kan regnes å være representativt for brukt VVER-440 brensel. (For brukt PWR brensel i sin alminnelighet er det 0,85%),

Brukt brensel fra VVER-440 reaktor i Russland og Ukraina blir repressert ved RT-1 anlegget i i PO Majak konglomeratet. Tidligere represserte dette anlegget også brukt VVER-440 brensel fra en rekke andre land (tabell 4.2).

**Tabell 4.2:** Mengde brukt VVER-440 brensel transportert til "PO Majak" fra Russland og andre land fra 1979 til 1996 [6].

	Land	Kraftverk	Brukt brensel (tonn)
1	Armenia	Metzamor	200
2	Bulgaria	Kozluduy	295
3	Tsjekkoslovakia	Bohunice og Dukovany	98
4	Finland	Loviisa	282
5	Tyskland	Greifswald	178
6	Ungarn	Paks	168
7	Russland	Kola	565
8	Russland	Novovoronezh	412
9	Ukraina	Rovno	244

Anlegget som ble ferdigstilt i 1976 hadde en kapasitet til å repressere 400 tonn VVER-440 brensel i året. Lokale myndigheter har satt en begrensning på repressering til maksimalt 250 tonn i året, mens faktisk repressering har vært begrenset til 120-150 tonn pr. år [4]. Av dette vil årlig tilførsel av brensel fra Russlands 6 VVER-440 reaktorer samt de to reaktorene ved Rovno kjernekraftverk i Ukraina motsvare 100 tonn mens brenselet fra landets ene BN-600 reaktor vil motsvare 6.5 tonn. I tillegg kommer repressering av brensel fra forskningsreaktorer og marine fartøyer.

---

### 4.3 VVER-1000 brensel

Russland har 8 reaktorer av VVER-1000 designet (Balakovo 1-4, Kalinin 1-2, Novovoronezh 5, Rostov 1) samt 2 reaktorer (Kalinin 3, Rostov 2) under bygging [16]. Denne reaktortypen er en videreutvikling av VVER-440 reaktoren, og regnes å ha et sikkerhetsnivå i henhold til internasjonale standarder. Reaktorene har en reaktorkjerne med 66 tonn oksidisk uranbrensel med en anrikning rundt 4,4 %. Hvert år byttes 21 tonn brensel og gjennomsnittlig utbrenning er 27-40 MWd/kg [12].

VVER-1000 reaktorer er i utgangpunktet ikke laget for å kunne bruke MOX. Eksperimenter indikerer imidlertid at det uten å redusere sikkerheten er mulig og konfigurere reaktorkjerner med opp til 1/3 MOX uten store modifiseringer av reaktorene. En reaktor vil da kunne forbruke 250 til 280 kilo med våpengrad plutonium hvert år. VVER-640 reaktorer er mer lovende i forhold til å kunne kjøres med reaktorkjerner med 100 % MOX, men dette er en reaktortype som ennå ikke finnes i Russland [20].

VVER-1000 brensel lar seg i dag ikke reprocessere ved RT-1 anlegget i Majak fordi dette brensel sammenlignet med VVER-440 brensel har helt annen masse og dimensjoner og har et større innhold av fisjonsprodukter [6]. Pågående oppgraderinger vil imidlertid tillate for reprocessing av inntil 300 tonn VVER-1000 brensel pr. år fra 2008.

I 1976 ble det besluttet å bygge et nytt reprosesseringsanlegg, RT-2 ved Mining and Chemical Complex i Zheleznogorsk (tidligere Krasnoyarsk-26). Dette anlegget skulle ta imot brukt brensel fra VVER-1000 reaktorer. Også dette anlegget skal basere seg på PUREX prosessen og ha en årlig kapasitet på 1500 tonn. Ferdigstillelse av anlegget var planlagt til 2015 [6], men gjeldende strategi er å vente med byggingen av dette anlegget til Russland har et reelt behov for plutonium, dvs. etter at landet har ferdigstilt sitt program for bygging av hurtige reaktorer (BN-serien) [2].

I påvente av at RT-2 reprosesseringsanlegget skulle ferdigstilles, ble det på området bygget et lager for brukt VVER-1000 brensel. Anlegget, som er et våtlager, har en total kapasitet på 6000 tonn og ble tatt i bruk i 1985, Prognoser indikerer at denne kapasiteten vil være fylt i 2005. Det arbeides derfor med å utvide kapasiteten til 8400 tonn.[4][6][10]. Lageret tar i mot brukt brensel fra 22 VVER-1000 reaktorer i Russland og Ukraina, noe som (i henhold til prognoser for 2004) tilsvarer 513 tonn brukt brensel pr. år. Årlig mengde brukt brensel vil øke til 560 tonn pr. år etter hvert som reaktorer under konstruksjon ferdigstilles [6].

### 4.4 RBMK brensel

Russland har i dag 11 reaktorer av RBMK typen (Leningrad 1-4, Smolensk 1-3, Kursk 1-4), samt en under konstruksjon (Kursk-5) [16]. RBMK reaktorer kjennetegnes ved at disse kan nyttiggjøre seg brensel med lav anrikning. Brenselssyklusen i Russland har derfor vært lagt opp til at RBMK brensel produseres ut fra reprocessert VVER-440 brensel. RBMK reaktorene var tidligere også viktig for produksjon av våpengrad plutonium. Dette skyldes at disse reaktorene tillater bytte av brensel under drift og at våpengrad plutonium produseres med utgangspunkt i brensel med lav utbrenning. Denne egenskapen er i dag lite viktig etter som Russland har store overskudd av våpengrads plutonium. Reaktoren har en kjerne av 190 tonn uranoksid med en anrikning rundt 1,8-2,4 %. Av dette byttes ca. 50 tonn brensel hvert år med en gjennomsnittlig utbrenning rundt 20 MWd/kg [12].

---

Brukt RBMK brensel har et lavt innhold av fisjonsprodukter. Innholdet av  $^{235}\text{U}$  er bare 0,4 % og innholdet av  $^{239}\text{Pu}$  og  $^{240}\text{Pu}$  er ca. 0,25% [14]. Til sammenligning har naturlig uran et innhold av  $^{235}\text{U}$  på 0,7 %. RBMK brensel blir derfor ikke i dag repressert, da dette ikke er lønnsomt.

I henhold til Korotkevich & Kudyavstev [4] var Russiske lagre av RBMK-1000 brensel tidlig 2003 rundt 10 000 tonn. De 11 RBMK reaktorer i Russland genererer årlig 450 tonn brukt brensel årlig. Kapasiteten ved lagrene for brukt brensel vil ha blitt nådd i løpet av 3 til 5 år for de ulike reaktorene av RBMK-1000 typen.

Et sentralt lager for å ta imot brukt brensel fra RBMK-1000 og VVER-1000 brensel vil bli bygget ved Mining and Chemical Complex og i Zheleznogorsk er planlagt ferdigstilt 2005-2006. Lageret vil være et tørrlager med en kapasitet på 38 000 tonn. Dette er i overkant av det Russland trenger, hvilket åpner for muligheten for salg av tjenester knyttet til håndtering av brukt brensel [4]. Kostnaden for anlegget er estimert til 12,5 milliarder rubler, tilsvarende ca. 3 mrd. NOK.

#### 4.5 BN-800/BN-600/BN-350 brensel

BN-350 er en russisk konstruert hurtig reaktor med 350 MW elektrisk effekt. Det ble bygget bare en BN-350 reaktor. Dette var i Kasakhstan og denne reaktoren ble stengt i 1999. BN-600 reaktoren var en videreutvikling av BN-350 og hadde en elektrisk effekt på 600 MW. Også av denne reaktortypen finnes det bare en, Beloyarsk-3, og denne reaktoren er fortsatt i drift. BN-600 reaktoren har en brenselkjerne som består av 7,5 tonn brensel med anrikning mellom 17 og 26 %. Utbrenning er 60 MWd/kg og årlig uttak av brensel er rundt 6.2 tonn [12]. BN-600 brensel blir repressert ved RT-1 represseringsanlegget i Majak.

Russland utvikler en hybridkjerne hvor et gitt antall MOX elementer vil inngå sammen med uranbrensel i en modifisert reaktorkjerne for BN-600 reaktoren i Belyarsk. En slik kjerne vil kunne forbruke opptil 400 kg våpengrad plutonium hvert år. De planlagte BN-800 reaktorene er i utgangspunktet laget for å kunne anvende reaktorgrad plutonium, men kan bruke plutonium med tilnærmet alle mulige isotopsammensetninger. En slik reaktorkjerne kan inneholde opp til 2.3 tonn våpengrad plutonium, hvor årlig forbruk vil tilsvare 1.6 tonn våpengrad plutonium motsvarende totalt rundt 50 tonn over en 30 års driftsperiode [20].

BN-600 er planlagt etterfulgt av en videreutviklet versjon BN-800, som vil antas å kunne drives på rene MOX kjerner, enten av sivil eller militær opprinnelse<sup>1</sup> [19][20]. Rosatom vektlegger begrensede mengder av uran i kombinasjon med begrensninger i mengde fossilt brensel som viktige motiver for valg av en lukket brenselssyklus basert på hurtige reaktorer [2].

#### 4.6 Plutoniumsproduserende reaktorer

Sovjetunionen hadde et omfattende atomvåpenprogram og opererte på det meste 13 plutoniumsproduserende reaktorer som produserte våpengrad plutonium for militære formål. Våpengrad

---

<sup>1</sup> For mer informasjon om bruk av MOX se Strålevernhefte 2003:3 [1]

---

plutonium ble samtidig produsert med utgangspunkt i brensel fra elektrisitetsproduserende RBMK reaktorer. Reprosesseringen av brensel for produksjon av våpengrad plutonium foregikk ved Majak (Chelyabinsk-65), Zheleznogorsk (Krasnoyarsk-26) og Seversk (Tomsk-7) [12].

Mens USA stengte sine plutoniumproduserende reaktorer i 1989, har Russland fortsatt tre rene plutoniumproduserende reaktorer i drift. To av disse (ADE-4 og ADE-5) er lokalisert i Seversk og en (ADE-2) er lokalisert i Zeleznogorsk. Samlet årlig produksjon fra disse reaktorene er omtrent 1.5 tonn våpengrad plutonium. Med utgangspunkt i *US Russian Federation Plutonium Reactor Agreement* fra 1997 skal produksjonen av ikke-reaktorgrad-plutonium ved disse reaktorene opphøre pr. 31 desember 2000 ved at reaktorene modifiseres, og driften av reaktorene skal senest opphøre når reaktorene har nådd sin normale levetid. I henhold til avtalen skal USA yte bistand til ombyggingen og begge parter er gjensidig forpliktet til ikke å ta opp driften ved noen av de nedstengte reaktorene.

I praksis viste det seg at det var umulig å bygge om reaktorene. Reaktorene lot seg heller ikke stenge fordi omkringliggende områder er avhengige av den varmen og elektrisiteten som produseres. Det er derfor et pågående arbeid i regi av USA for å erstatte disse med fjernvarme og elektrisitet basert på kull.

#### 4.7 Forskningsreaktorer

Russland har 57 operative forskningsreaktorer og en under bygging. I tillegg til dette er 28 reaktorer dekommisjonert og 11 reaktorer stengt. Til sammenligning er det totalt i verden er det 274 slike reaktorer i drift og 7 reaktorer er under bygging, 214 er stengt og 168 dekommisjonert [23][24].

Russiske forskningsreaktorer varierer i størrelse fra effekter i kilowattområdet opp til 200 MW<sub>t</sub> (MegaWatt, termisk effekt). Blant operative forskningsreaktorer er det 14 operative reaktorer som har effekt over 1 MW<sub>t</sub>. Innholdet av reaktorbrensel varierer mellom noen få kilo til flere titalls kilo. Det er i Russland, som i verden for øvrig, store konstruksjonmessige forskjeller på forskningsreaktorer. Anrikningen varierer også, men majoriteten er bygget for å drives med høyanriket uran. Anrikninger opp til 90% er ikke uvanlig.

Brukt brensel fra forskningsreaktorer blir i Russland gjennomgående lagret hos de forskningsinstitutter som eier reaktorene. Tilsvarende er også praksis i andre land som driver forskningsreaktorer, og USA tok derfor i 1978 et initiativ til å minke spredningsrisikoen gjennom å modifisere forskningsreaktorer som anvender høyanriket uran til å bruke lavanriket uran. Dette programmet, som omtales som RERTR (Reduced Enrichment for Research and Test Reactors)- programmet, innebærer aktiv støtte til ombygging av reaktorer og har fått tilslutning fra en rekke land, blant annet Russland.

Et annet initiativ med innvirkning på lagring av brensel fra forskningsreaktorer i Russland er "take back"-programmet. Dette programmet søker å minske risikoen for spredning av spaltbart materiale gjennom ved at brukt brensel skal returneres til opprinnelseslandet, som i de fleste tilfeller er USA eller Russland. På bakgrunn av en undersøkelse utført av IAEA ble det funnet at 29 673 brenselelementer av russisk opprinnelse var lokalisert ved utenlandske forskningsreaktorer, fortrinnsvis i Øst-Europa. Over halvparten av dette hadde høy anrikning, typisk rundt 36% [22].

## 4.8 Marine reaktorer

Av marine fartøyer er det i første rekke ubåter, som har generert og fortsatt genererer det største bidraget til russiske reprosesseringsanlegg. Dette kapitlet vil gjennomgå brenselssyklusen for å anslå sannsynlige mengder brensel som historisk er produsert. Majoriteten av dette er allerede reprocessert, og framtidig håndtering vil ta sikte på å behandle den restmengden som finnes i fartøy og i lagre.

### 4.8.1 Produksjon av marint brensel i Russland i perioden 1959-2004

Russland satte, slik det går frem av tabell 4.3, i drift 264 reaktordrevne fartøy i perioden 1959-2004, inklusiv militære overflatefartøyer og isbrytere. Av disse hadde de fleste fartøyer 2 reaktorer om bord. Unntaket er 44 fartøyer med én reaktor, verdens første sivile atomdrevne skip, isbryteren Lenin med 3 reaktorer og 1 militært overflatefartøy med 4 reaktorer om bord. Sistnevnte kom for øvrig aldri i drift. Av disse 264 fartøyene er 61 fortsatt drift.

**Tabell 4.3:** Produsert marint brensel 1959-2004 for russiske fartøyer

	Klasse (fartøy)/ reaktorer pr. fartøy	antall	Mengde brensel pr. fartøy (antall kg. total mengde uran)/ antall brenselbytter pr. reaktor	Antall fartøy
Ubåter - første gen.	November, Echo-I og II, Hotel/ 2		250/ 3	55
Ubåter - annen gen.	Yankee, Charlie I og II, Victor I, II og III, Delta I, II, III og IV, Alfa/ 2		350/ 2	149
Ubåter - tredje gen.	Akula, Typhoon, Oscar, Sierra/ 1		400/ 1	41
Isbrytere - første gen.	Lenin/ 3		1600/ 2	1
Isbrytere - annen gen.	Sovetskij Sahus, Yamal, Arktika, Russia/2		400/ 10	5
Isbrytere0 - tredje gen.	Taimyr, Vaigatch, Sevmorput/ 1		165/ 6	3
Militære over- flate-fartøyer	Balcom, Kapusta/ 2		300/ 2	5
Militære forsk- ningsfartøyer	Uniform, Kashalot, X-ray/ 1		~30-100/ 4	5



Isbryteren Vaigatch (Foto: Statens strålevern).

Basert på pågående arbeider i regi av Ole Reistad ved Statens strålevern, kan det anslås en antatt brenselmengde pr. reaktor for hver generasjon av ubåter og isbrytere slik det er gjort i tabell 4,3. En konservativ antakelse er at ubåter av første generasjon skiftet brensel 3 ganger i løpet av sin levetid, og at dette antallet er blitt gradvis redusert i løpet av årene som er gått siden 1959. For militære overflatefartøyene og forskningsfartøyene er det større usikkerheter knyttet til driftstid og antall brenselbytter og gjennomsnittlige driftsperioder er derfor

antatt som gjennomsnittet av andre fartøyene. Klart hyppigst bruk har nok de sivile isbryterne erfart, derfor er satt opp et forholdsvis høyt antall brenselbytter for disse.

Total estimat er således at det er produsert og satt inn ca. 370 tonn marint brensel i form av 1178 reaktorkjerner i russiske atomdrevne fartøyer konstruert og i operasjon i perioden fra 1959 frem til i dag. Dette vil være brensel av varierende anriking og bestående av ulike brenselmaterialer fra vanlig oksidbrensel, som for øvrig også brukes i kraftreaktorer, til metallisk brensel bestående av legeringer av uran - aluminium eller uran - zirkonium. I all hovedsak tilhører disse 1178 reaktorkjernene fartøyer som allerede er dekommisjonert slik at brenset er fjernet og sendt til Majak.

#### 4.8.2 Lagring av marint brensel i dagens Nordvest-Russland

Av 1178 reaktorkjerner produsert i løpet av over 40 års drift av atomdrevne ubåter, er ca. 55 igjen i dagens Nordvest-Russland i bruk eller lagret i orginalkonfigurasjon i reaktorne på fartøyene, det være seg militære eller sivile fartøyer i aktiv tjeneste.

**Tabell 4.4:** Oversikt over brukt brensel fra militær anvendelse lagret i Nordvest-Russland [25].

	<b>Antall reaktorkjerner/ Brenselementer</b>	<b>Opphav</b>
<b>Andrejevabukta</b>	~100 ubåtkjerner (21 377 brenselementer) 2 reaktorkjerner	Ubåter, isbrytere (PWR) Ubåter (LMC)
<b>Gremikha</b>	6 reaktorkjerner ~3 ubåtkjerner (806 brenselementer)	Ubåter (LMC) Ubåter (PWR)
<b>Verft og baser (Zvezdochka, Polyarni, Nerpa etc.)<sup>2</sup></b>	~3 ubåtkjerner (ca. 750 brenselementer) 2 reaktorkjerner	Ubåter (PWR) Ubåter (LMC)
<b>Tekniske skip med lagringskapasitet (PM-12, PM-63, PM-78, PM-124, PM-128, Lepse)</b>	~14 ubåtkjerner (ca. 3 600 brenselementer)	Ubåter, isbrytere (PWR)
<b>Ubåter med brensel om bord</b>	~55 ubåtkjerner (12 188 brenselementer)	Ubåter (PWR)
<b>Annet (Adm. Ushakov, Imandra, Lotta)</b>	~15 reaktorkjerner (4 000 brenselementer)	Ubåter (PWR)
<b>Totalt</b>	~199 reaktorkjerner (~41 500 brenselementer) ~ 10 reaktorkjerner(LMC)	Ubåter (PWR) Ubåter (LMC)

Slik det går frem av tabell 4,4, er majoriteten av brukt marint brensel i Nordvest-Russland lagret på ulike serviceskip og baser. Av totalt rundt 200 reaktorkjerner er omtrent halvparten lagret under lite tilfredsstillende forhold i Andrejevabukta. Opprydding i Andrejevabukta vil derfor være et dimensjonerende element for håndteringen brukt brensel fra marin anvendelse i Nordvest-Russland.

<sup>2</sup> Dette er en antagelse basert på at det til enhver tid ligger lagret brukt brensel tilsvarende en reaktor på de tre største verftene i nordvest-Russland.

### 4.8.3 Fremtidig transport- og lagringsbehov av brukt, marint brensel

Transportveien av brukt brensel fra Nordvest-Russland går fra den enkelte base eller serviceskip til Atomflot i Murmansk eller Severodvinsk ved Archangelsk. Derfra transporteres brenselet med jernbane til Majak for repressering.

Brukt brensel fra 7 atomdrevne isbrytere og et atomdrevet frakteskip som opererer av Murmansk Shipping Company (MSCo) blir mellomlagret på skipene Lotta og Imandra med hjemmebase på Atomflots anlegg utenfor Murmansk. Disse skipene deltar også i transporten av brensel fra ubåter. Det berømte skipet Lepse som ligger ved kai i Murmansk, og har sin berømmelse nettopp i det forhold at det brukte brenselet er lagret i et fartøy i dårlig stand.

Det er uttalt av russiske myndigheter at utlasting og transport av brukt brensel fra dagens dekommissionerte ubåter vil være avsluttet i 2009. Det er ikke urealistisk om man antar en utlastingsraten på 16 reaktorkjerner pr. år tilsvarende den man har hatt de siste 4 årene. Det er liten kapasitet for å lagre marint brensel i kjeden fra det tas ut av reaktorkjernen fram til repressering og brenselet har derfor blitt repressert relativt raskt etter ankomst til Majak.

**Table 4.5.** Antallet brenselkjerner som lastes ut årlig [25]

År	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003
Antall ubåtreaktorer hvor brukt brensel er listet ut.	4	3	5	3	1	8	18	18	14	12

Manglende containere for lagring og transport av brensel samt jernbanevogner for å frakte disse har tidligere være en flaskehals i ubåtopphuggingen, og ekstra kapasitet har blant annet kommet til gjennom norsk bistand. Kapasiteter for transport og repressering vil tilsvarende bli et tema ved utlastningen fra Andrejeva. Man kan imidlertid anta at majoriteten av de utrangerte ubåtene i Nordvest-Russland har blitt hugd opp når uttaket av brensel fra Andrejeva kommer i gang. Sannsynligvis vil ikke opphuggingen av ubåter i Stillehavslåten ha kommet like langt. Siden avstanden til Majak er dobbelt så stor fra Stillehavslåten som fra Murmansk vil hver transport legge beslag på containere og tog i lengre tidsperioder.

### 4.8.4 Marint brensel - repressering, lagring eller deponering?

Det finnes flere ulike typer brensel i bruk i marine reaktorer. At en bestemt type brensel skal kunne represseres forutsetter at brenselet er konstruert for dette samt at prosessen ved det aktuelle represseringsanlegget er tilpasset brenselstypen. Brensel fra metallkjølte reaktorer utgjør rundt 5% av brukt brensel fra marine fartøyer lar seg i dag ikke repressere ved RT-1 anlegget i Majak. Det må derfor finnes en annen løsning for denne typen brensel. En tilfredsstillende lagringsløsning vil i sin tid forutsette at brenselet fjernes fra reaktortanken hvor brenselet sitter fast omsluttet av stivnet kjølemiddel (bly/vismut).

Tilstanden til brenselet vil også ha avgjørende betydning for om det lar seg repressere, og det er kjent at deler av brenselet fra ubåter har en tilstand som gjør repressering vanskelig. Bakgrunnen kan være høyt innhold av fisjonsprodukter eller ødelagt forsegling. Dette er forhold som kan medføre forurensing av materiale og utstyr under repressering. En gruppe fartøyer som har brukt slikt brensel, uvisst av hvilken anriking og sammensetning er forskningsubåter som kan gå spesielt dypt, ned til 1000 meter.

Det er også klart at det finnes ødelagt brensel i Lepse. Andre lagrings- og transportskipene, for eksempel Lotta og Imandra, har også betydelige mengder brukt brensel om bord som i dag antageligvis ikke lar seg repressere. Dette kan ha sammenheng med den høye anrikingen som brukes i isbryterbrensel, opp mot 90 %, eller andre forhold som nevnt ovenfor som gjør at visse typer brukt brensel ikke kan represseres. For Imandra og Lottas del dreier dette seg om 3300 brenselelementer med noe under 3 tonn spaltbart materiale.



*Tanker for oppbevaring av brukt kjernebrensel i Andrejevbukta. Foto: SevRao.*

Dagens tilstand til brenselet i Andrejevbukta er dårlig dokumentert og mesteparten av brenselet er ikke inspisert på tiår. Uforsvarlig håndtering og lagring over årtier tilsier at man kan forvente at en betydelig andel av brenselet kan være ødelagt og tilstanden til brenselet kan også tenkes forverret fram til det tidspunktet hvor det lastes ut av dagens lagertanker og inn godkjente lagringsbeholdere, tidligst i 2009.

Samlet sett kan det være grunn til å tro at 20-40 % av alt brukt brensel fra marin anvendelse i Nordvest-Russland kan være skadd og dermed uegnet for repressering ved RT-1. For dette brenselet vil det også være betydelige problemer knyttet til langtidslagring. Russland ønsker derfor å oppgradere RT-1 anlegget til også å kunne håndtere sterkt skadet brensel, men hittil har vestlige samarbeidspartnere vært mindre positive til å støtte denne typen oppgraderinger.



## 5 Behandling av brensel fra reaktorer av russisk design i andre land

### 5.1 Litauen

Ignalina kjernekraftverk var det eneste kjernekraftverket med RBMK reaktorer utenfor Russland, etter at samtlige fire reaktorer ved Tsjernobyl kraftverket i Ukraina ble lagt ned. Reaktorene ved Ignalina er av typen RBMK-1500 reaktorer, og skiller seg fra de andre RBMK reaktorene ved at disse ble bygget med 50 % økt kapasitet for elektrisitetsproduksjon. Reaktorene er blant de siste RBMK reaktorer som ble bygget. Reaktor 1 ved Ignalina kjernekraftverk ble i henhold til avtale med EU stengt i 2004, mens reaktor 2 vil bli stengt før år 2010 [27].



*Ignalina kjernekraftverk (Foto: Statens strålevern).*

Under Sovjettiden ble brukt brensel fra brensel sendt ut av landet for repressering og sluttlagring av radioaktivt avfall. Nå må Litauen selv ta hånd om brukt brensel og avfall, og et tørrlager for lagring inntil 40-50 år ble i 1999 ferdigstilt inne på kjernekraftverkets område. Tidligere ble brukt brensel lagret i bassenger i tilknytning til reaktorene. Som et ledd i dekommisjoneringsplanene vil et nytt midlertidig lager for brukt brensel kunne tas i bruk i 2005. Dette lagret vil ha kapasitet til å ta hånd om alt brensel som må fjernes fra reaktorkjernen og brenselbassengene ved nedstengning av reaktorene [28].

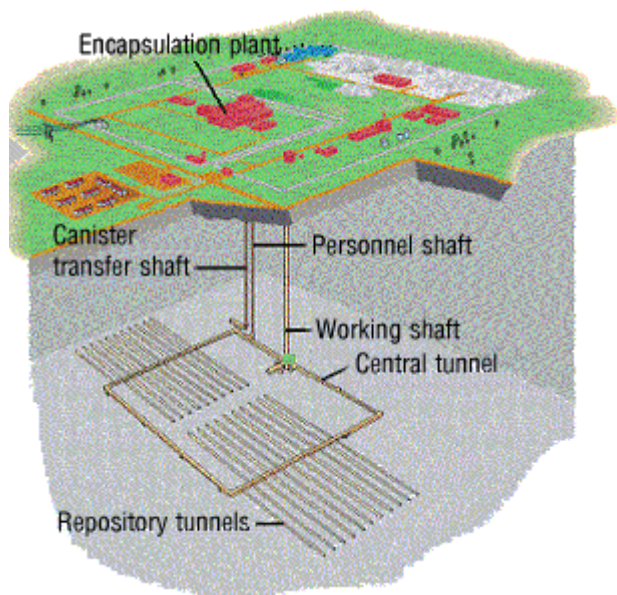
### 5.2 Finland

Finland har to VVER-440 reaktorer ved Loviisa kjernekraftverk og to kokvannsreaktorer (BWR) reaktorer ved Olkiluoto. Reaktorene ved Loviisa kjernekraftverk har et sikkerhetsnivå som tilsvarer det man finner i andre vestlige kjernekraftverk og skiller seg fra andre VVER-440 reaktorer blant annet ved å ha en bedre sikkerhetsinneslutning og bedre instrumentering og kontroll. Totalt genererer disse to kjernekraftverkene årlig ca. 70 tonn med brukt brensel. I tillegg har Finland en femte reaktor under planlegging i Olkiluoto [26].



*Loviisa kjernekraftverk (Foto: Statens strålevern).*

Etter brenselbytte lagres brukt brensel i brenselbassenget inne i reaktorbygningen før brensel etter å ha kjølt seg ned et par år overføres til et midlertidig lager inne på kjernekraftverkets område. Finland vil bygge et deponi for brukt brensel i Eurajoki i nærheten av Olkiluoto. Etter planen vil tiden fram til 2010 brukes til ulike former for undersøkelser hvor selve byggingen tar til. Anlegget regnes da å stå ferdig i 2020. Deponeringen vil foregå i på en dybde av ca. 1 km [29].



**Figur 1:** Prinsippskisse av deponi ved Eurajoki (Figur fra: [www.posive.fi](http://www.posive.fi))

### 5.3 Tsjekkia

Tsjekkia har fire reaktorer av typen VVER-440/213 ved Dukovany kjernekraftverk, den første av disse ble tatt i bruk i 1985. Tsjekkia har i tillegg to reaktorer av typen VVER-1000 ved Temelin kjernekraftverk, tatt i bruk i henholdsvis år 2000 og 2003.



*Dukovany kjernekraftverk, Tsjekkia. (Foto: Dean Calma/IAEA).*

Brukt brensel blir ved begge disse kraftverkene, etter kjøling i brenselsbasseng, overført til tørrlager inne på kjernekraftverkets område. Ved Dukovani ble et tørrlager for brukt brensel ferdigstilt i 1995 og et nytt lager vil bli ferdig i 2006. Om man antar 30 års driftstid vil det ved Dokovany ha blitt generert 1500 tonn brukt brensel, mens tilsvarende tall for Temelin er 1350 tonn. Etter at Tsjekkia og Slovakia skilte lag 1 januar 1993, ble 1176 brukte brensels-elementer som hadde blitt lagret i Slovakia returnert til Tsjekkia [27,30]

En deponiløsning er planlagt på lang sikt, hvor tidsplanen er at lokaliteten godkjennes i 2015, byggingen starter i 2030 og at anlegget står ferdig i 2065. Spørsmålet om repressering er fortsatt åpent, og bakgrunnen for at brensel i dag ikke blir repressert er at operatøren ikke finner dette lønnsomt.

---

## 5.4 Slovakia

Bohunice kjernekraftverk består av fire reaktorer, to VVER-440/230 og to VVER-440/213, hvor de to eldste i i henhold til avtale med EU stenge i løpet av henholdsvis 2006 og 2008. I tillegg til dette finnes det to reaktorer ved Mochovice kjernekraftverk (VVER-440/213).

I perioden fram til 1987 ble 697 brenselementer sendt til repressering i Majak. Dette tilsvarte i 1999 omtrent 10 % av alt brensel fra Bohunice. I perioden 1989 til 1992 ble 1179 brenselementer fraktet fra Dokovany til Bohunice, men dette brensel ble transportert tilbake til Tsjekia i perioden 1995 til 1997 som følge av opplysningen av Tsjekkoslovakia [27,30,31].

Gjennom oppgraderingen av Dokovany i perioden 1997 til 2000 ble lagringskapasiteten for brukt brensel økt fra 5000 til 14000 brenselementer (tilsvarende 1680 tonn uran). Dette regnes å være tilstrekkelig kapasitet for gjenværende levetid for Dokovany samt for Mochovice fram til 2015. Fram til da vil det være nødvendig å ferdigstille et nytt lager ved Mochovice.

## 5.5 Ungarn

Paks kjernekraftverk består av fire VVER-440/213 reaktorer, dvs. en oppgradert versjon av VVER-440 reaktoren. I 1986 ble det besluttet å bygge ytterligere to reaktorer av typen VVER-1000, men disse planene ble skrinlagt i 1989 av økonomiske årsaker og på grunn av lave prognoser for framtidig energiforbruk.

I Sovjettiden mottok Ungarn ferskt brensel fra Sovjetunionen og returnerte brukt brensel. Disse transportene foregikk fram til 1995, selv om Russland av miljøhensyn la ned forbud om import av brukt brensel i 1992. Ordningen var svært gunstig for Ungarn ved at alt avfallet fra represseringen forble i Russland. Da ordningen med retur av brensel ble mer og mer ustabil mot slutten av Sovjettiden ble det besluttet å bygge et tørrlager for lagring inntil 50 år ved Paks kjernekraftverk. Dette lagret ble ferdigstilt i 1996 og har en modulær oppbygging som tillater utvidelse. Ungarn planlegger også et anlegg for sluttdeponering som må være ferdigstilt før år 2040 [27, 32, 32, 34].

## 5.6 Tyskland

Tyskland har totalt 18 kjernekraftreaktorer i drift og tilsvarende antall stengt [17]. Blant de siste inngår de fem VVER-440/230 reaktorene ved kjernekraftverket i Greifswald og en eldre 70 MWt PWR av Sovjetisk design i Rheinsberg. Alle disse ble stengt i 1989/1990 etter gjenforeningen av Tyskland, og dekommisjoneringen nærmer seg ferdigstilling. Samtidig ble arbeidet med ytterligere tre reaktorer (en VVER-440/213 og to VVER-1000) skrinlagt.

Tyske kjernekraftoperatører har kontrakter for repressering av brensel med COGEMA i Frankrike og BNFL i Storbritannia. I tillegg finnes det avtaler mellom landenes myndigheter. Et prosjekt for å bygge et represseringsanlegg i Wackersdorf ble stoppet i 1988 på grunn av motstand i befolkningen og delvis også av økonomiske grunner. Radioaktivt avfall og plutonium returneres til Tyskland etter repressering og plutonium blir brukt til å produsere MOX. Et nytt anlegg for å produsere MOX ble bygget i Hanau, men dette anlegget fikk av politiske årsaker ikke driftlisens og blir derfor demontert.

---

Tyskland hadde i utgangspunktet alle deler i en lukket brenselssyklus tilgjengelig, men er i praksis på vei mot et åpen brenselssyklus. Fra midten av 2005 vil transport av brukt brensel for reprosessering opphøre og brensel vil da bli lagret midlertidig lagret lokalt inntil en endelig deponeringsløsning er ferdig [27, 35].

Etter stegningen av Greifswald kjernekraftverk ble 235 brenselselementer med lav utbrenning eksportert til Ungarn for bruk som brensel ved Paks kjernekraftverk. Brukt VVER-440 brensel lagres i et tørrlager ved Greifswald.

## 5.7 Bulgaria

Kozloduy kjernekraftverk består av to reaktorer av typen VVER-1000 og fire reaktorer av typen VVER-440/230, hvorav de to nyeste ble bygget med flere av de sikkerhetsmessige oppgraderingen som senere ble å finne på VVER-440/213. I tillegg til dette var det planlagt 6 reaktorer av typen VVER-1000 i nærheten av byen Belene. I 1990 ble dette prosjektet lagt på is på grunn av dårlig økonomi og protester fra lokalbefolkningen. Den første av disse reaktorene hadde nådd 40 % ferdigstilling for byggearbeider og 80% i forhold til leveranse av utstyr. Bulgaria har som kandidatland til EU gjort en avtale om stenging av samtlige VVER-440 reaktorer. Dette førte til at Kozloduy 1 og Kozloduy 2 ble stengt 31.12.2002, mens Kozloduy 3 og Kozloduy 4 vil stenge i løpet av 2006.

Brukt brensel blir lagret i brenselbassenger for en periode på 3 til 5 år. Deretter overføres alt brensel til et felles våtlager for lagring inntil 30 år. I 1999 ble det vedtatt en ny nasjonal strategi for håndtering av brukt brensel og radioaktivt avfall. Denne inkluderer byggingen av et tørrlager for lagring av VVER-440 og VVER-1000 brensel, samt undersøke muligheten for å øke kapasiteten i det eksisterende våtlagret. Videre inngår å vurdere eksport av deler av det brukte brensetil Russland samt å undersøke muligheten for langtidslagring av brukt brensel i regionale lageranlegg [25].

## 5.8 Armenia

Metzamor 1 og Metzamor 2 er av typen VVER-440/230 og ble tatt i drift i henholdsvis 1977 og 1980. Begge disse reaktorene ble tatt ut av drift etter en regjeringsbeslutning 1988. Bakgrunnen for denne beslutningen var et jordskjelv, men det var ingen skader på reaktorene. Arbeidet med å bygge ytterligere to reaktorer hadde blitt skrinlagt som følge av Tsjernobylulykken to år tidligere. På grunn av mangler på nasjonale energiressurser og økonomisk krise vedtok regjeringen i Armenia i 1993 å gjenstarte reaktor 2. Med økonomisk og teknisk bistand fra Russland ble reaktor 2 gjenstartet i 1995, mens reaktor 1 forstst står.

Armenia tilhørte opprinnelig brenselssyklusen i Sovjetunionen og kjøper fortsatt brensel fra Russland. Tidligere ble brensel sendt til reprosessering i Majak, men dagens praksis er at brensetil blir satt i våtlager ved kjernekraftverket. Et tørrlager ble ferdigstilt i 2000, men kapasiteten på dette er begrenset og det blir derfor vurdert å øke kapasiteten. Planer for behandling og deponering av brukt brensel og annet radioaktivt avfall vil inngå i et dekommisjoneringsprogram for reaktorene [27].

## 5.9 Kasakhstan

Kasakhstan inngikk som en del av en felles atomindustri i Sovjetunionen. Landet er med sine over 50 forekomster av uran en av verdens største uraneksportører og lager brensel for RBMK og VVER reaktorer. Landet har en hurtig reaktor av typen BN-350, igangsatt i 1967 og ble stengt i 1999. I tillegg har landet tre forskningsreaktorer og det har vært drevet prøvesprengninger i Semipalatinsk. BN-350 reaktoren er under begynnende dekommisjonering og brensel har blitt pakket og stabilisert under en avtale med USA [27].

## 5.10 Ukraina

Kjernekraft i Ukraina startet med byggingen av fire RBMK 1000 reaktorer ved Tsjernobyl tidlig på 1970 tallet. Reaktor 1, 2 og 3 ble stengt i henholdsvis 1997, 1991 og 2000. Reaktor 4 ble fullstendig ødelagt i 1986. I dag har Ukraina en relativt stor nukleær sektor. Dette inkluderer to VVER-440 reaktorer ved Rivne kjernekraftverk og 11 VVER-1000 reaktorer (6 ved Zaporizhya kjernekraftverk, 3 ved South Ukraine kjernekraftverk, 2 ved Khmel'nitski kjernekraftverk og 2 ved Rovno kjernekraftverk), samt to VVER-1000 reaktorer under konstruksjon. Landet har dessuten to forskningsreaktorer.



*Tsjernobyl kjernekraftverk (Foto: Statens strålevern).*

Brukt brensel fra VVER-440 reaktorer blir etter tre år eller lengre lagring i brenselbassenget eksportert til Russland for reprosessering ved RT-1 anlegget. Brukt brensel fra VVER-1000 fraktes til Zeleznogorsk for langtids lagring i påvente av ferdigstilling av RT-2 reprosesseringsanlegget. Et nytt tørlager for lagring av brensel fra det nedlagte Tsjernobyl kjernekraftverk er under bygging til erstatning for et eksisterende våtlager med støtte fra Nuclear safety fund under EBRD. Et nytt lager for midlertidig lagring av VVER-1000 brensel ble tatt i bruk i 2001 ved Zaporizhya kjernekraftverk [27,36,37].

---

## 6 Brenselssyklus i land med tilsvarende sivil/ militær bruk av reaktorteknologi

### 6.1 USA

På 1960- og 70-tallet ble plutonium inkorporert i det brukte brenselet fra USAs sivile kjernekraftverk vurdert som en ressurs og bokført som aktiva i kraftselskapenes regnskaper. Kjernekraftanlegg ble designet og etablert med utgangspunkt i at brukt brensel skulle reprocesseres for videre utnyttelse av det spaltbare materiale i kraftproduksjon. Dette varte ved til 1977 da President Carter innførte en lov som forbød reprocessing av kommersielt kraftreaktorbrensel på grunn av faren for spredning av materiale til bruk i kjernevåpen. Intakt brukt kraftreaktor-brensel regnes i dag ikke som noen særskilt fare i ikke-spredningssammenheng. President Reagan omgjorde Carters beslutning i 1981, men siden det ble vurdert av industrien at det ikke var kommersielt fordelaktig ble det ikke igangsatt reprocessing av brensel i Reagens presidentperiode. Dette til tross for at det i 1977 akkurat var igangsatt kommersiell reprocessing som på det tidspunktet måtte avsluttes. President Clinton gjeninnførte for øvrig Carters policy i 1993, og dette er i dag fremdeles gjeldende amerikansk policy på området.

USA arbeider kontinuerlig med å utvikle sin forsyningsstrategi for elektrisk energi, og reprocessing er et tema som diskuteres i denne sammenheng. Argumentene for reprocessing går på bedret utnyttelse av energiinnholdet i brensel i tillegg til at reprocessing vil redusere aktiviteten og mengden av avfall som må deponeres. Av argumentene mot reprocessing vektlegges ikke-spredning tyngst samtidig som det er et økende fokus på sikkerhet og miljø.

Det planlagte nasjonale deponiet i Yucca Mountain i Nevada har kapasitet til å ta imot 63 000 tonn brukt brensel og det finnes allerede i dag 47 000 tonn brukt brensel lagret ved ulike kommersielle kjernekraftanlegg. Prognoser tilsier derfor at anlegget i Yucca Mountain vil være fullt i 2015 og alle faktorer som kan redusere mengden brukt brensel vurderes derfor nøye. Det eksisterer også føderale legale føringer for driftslengden ved anlegget i Yucca Mountain, anslagsvis 10 000 år, og det er derfor stort fokus på å begrense mengden langlivete nuklider. Kapasitetsvurderingene i forhold til Yucca Mountain influerer også på de økonomiske vurderingene siden dette kan medføre at det må etableres flere amerikanske deponier, og det vil bli svært kostbart og tidkrevende. Eksempelvis har US Department of Energy på grunn av sine planer for anlegget i Yucca Mountain blitt saksøkt av over 60 forskjellige grupper og enkeltpersoner.

Dagens amerikanske policy på kjernekraftfeltet er å utvikle reprocessingsteknologi slik at større del av den langlivete aktiviteten kan fjernes før deponering, samt å utvikle såkalte Generation IV reaktorer som er sikrere og genererer mindre langlivet avfall enn dagens reaktortyper. Dette gjelder særlig plutonium som det er lagt vekt på at ikke skal akkumuleres i forhold til spredningsfaren.

Reprocessingen for produksjon av fissilt materiale til kjernevåpen startet opp som en del av Manhattanprosjektet under 2. verdenskrig og foregikk ved totalt 13 reaktorer ved Hanford og Savanna River så lenge det har vært etterspørsel etter plutonium til våpenformål. I 1997 kom USA og Russland til enighet om å stenge ned alle gjenværende reaktorer som produserte plutonium til våpenformål. Behovet for plutonium til våpenformål var da tilfredsstillt for mange år siden.



---

USA rapporterte pr. 31. desember 2002 å inneha 45 tonn separert sivilt plutonium samt 395 tonn plutonium inkorporert i brukt reaktorbrensel. Alt det sivile plutoniumet samt 7,5 tonn innkorporert i brukt reaktorbrensel er oppgitt å være overskuddsmateriale fra militær anvendelse. Department of Energy mener i dag at dette plutoniumet best kan destrueres ved brenning som mixed oxide fuel i de sivile kjernekraftreaktorene i USA. Et anlegg for produksjon av MOX fra overskuddsmateriale er under prosjektering ved Savanna River basert på fransk teknologi.

## 6.2 Storbritannia

Storbritannia har satsset på den lukkede brenselssyklusen der reprosesseringsanleggene i Sellafield står sentralt. I tillegg har anleggene i Sellafield solgt tjenester til andre land som har valgt en lukket brenselssyklus som Tyskland, Belgia, Japan, Sveits m.fl. 20,9 tonn av det separerte plutoniumet fra disse kontraktene er fortsatt på britisk jord i påvente av bruk som mixed oxide fuel. Virksomheten ved reprosesseringsanleggene i Sellafield er under nedbygging, det eldste anlegget planlegges stanset i 2012 og det nyeste anlegget går med lav kapasitet.

Militær og sivil brenselssyklus var i Storbritannia tett knyttet sammen og militær anvendelse var tidligere en viktig motivasjon for en lukket brenselssyklus. Storbritannia har valgt å holde fast på denne opsjonen selv etter at reprosessering ikke lenger er en nødvendig del av kjernevåpenprogrammet. Etter at produksjonen av plutonium for militært formål er stanset for flere tiår siden, ble reaktorer i Calder Hall og Chapelcross drevet utelukkende for ren elektrisitetsproduksjon og Calder Hall ble formelt stengt i 2004. Separasjonen av plutonium for våpenformål foregikk i de samme anleggene som separasjon for sivile formål på 1950- og 60-tallet.



*Fra Sellafieldanlegget (Foto: Statens strålevern).*

Storbritannia hadde pr. 31. desember 2002 totalt 86,5 tonn separert plutonium av sivil opprinnelse, hvorav 20,9 tonn er plutonium som tilhører utenlandske eiere. I tillegg kom brukt brensel inneholdende 38 tonn plutonium. Mesteparten av dette lagres ved reprosesseringsanlegget i Sellafield i påvente av reprosessering. Storbritannia hadde også 1,5 tonn høyanriket uran av sivil opprinnelse.

Brukt brensel fra britiske reaktordrevne ubåter blir sendt til Sellafield for lagring i Sellafield, hvor et nytt lagringsanlegg spesielt for slike typer brensel ble åpnet i 2002. Det britiske Forsvardepartementet har ennå ikke bestemt om brukt ubåtbrensel skal reprosesserer eller lagres i anlegget i overskuelig fremtid. Selve uttaket av brensel skjer ved et skipsverft i Davenport, hvor et nytt anlegg ble etablert i 2002. Tidligere ble dette gjort i Rosyth. Rosyth har for øvrig 7 ubåter der brensel er fjernet og skal hugges opp, mens det i Davenport ligger 4 tilsvarende fartøyer.

### 6.3 Frankrike

Frankrike har satset på den lukkede brenselssyklusen. Frankrike har to sentra for reprosessering av brukt kjernebrensel, i Marcoule og i Cap la Hague. Stort sett foregår den militære virksomheten i Marcoule, men også sivil virksomhet foregår der. Cap la Hague er et sivilt anlegg for reprosessering av brensel fra kommersielle kjernekraftverk, franske eller utenlandske. Både Tyskland, Sveits, Belgia og Japan har eller har hatt kontrakter med COGEMA for reprosessering i Cap la Hague [1].

Frankrike har en nukleær flåte bestående av rundt ti ubåter og ett hangarskip. Denne flåten utvikles stadig, og nye ubåtklasser (*Triphant* og *Barracuda*) planlegges. Ved dekommisjonering av tidlige ubåter med høyanriket metallisk brensel blir dette brensel lagret, fordi mengdene er for små til at det gir mening å reprosessere det. Tilsvarende blir også lavt anriket urandioksid fra dagens ubåtklasser midlertidig lagret i påvente av en parlamentarisk vurdering som kommer i 2006.

### 6.4 Kina

Kina oppgir å ikke ha noe plutonium med sivil opprinnelse, hvilket vil si at det de måtte ha av lukket kjernebrenselssyklus som er militært innrettet. Kina har 9 operative kjernekraftreaktorer samt to under bygging. Kina har også et mindre anlegg for reprosessering av reaktorbrensel, RPP i Jiuquan, med kapasitet på 25 tonn pr. år og har planer om ytterligere ett anlegg i Lanzhou med kapasitet på 800 tonn pr. år fra år 2020. Det er imidlertid et faktum at kineserne satser sterkt på en ekspansjon av sin kjernekraftindustri for å dekke den stadig stigende etterspørsel etter elektrisk energi slik at ytterligere økning er ventet.



Fra byggingen av Kinas første breeder-reaktor. (Foto: Petr Pavlicek/IAEA).



---

## 6.5 India og Pakistan

India og Pakistan er begge i den situasjon at de har en sivil og en militær sektor. India satser stort på kjernekraftverk og har 15 operative kjernekraftreaktorer, og 8 under bygging mens Pakistan har to mindre kjernekraftreaktorer. India har fire anlegg for repressering av kjernekraftbrensel og ett anlegg for repressering av brensel fra forskningsreaktorer [8]. Begge statene har atomvåpen, men verken India eller Pakistan har undertegnet Ikke-spredningsavtalen.

---

## 7 Referanseliste

- [1] Hornkjøl S, Larsen E, Sørli A, Reistad O. MOX, en del av kjernebrenselsyklusen. Strålevernrapport 2003:3. Østerås: Statens strålevern, 2003.
- [2] Ministry of the Russian Federation for Atomic Energy. Strategy of nuclear power development in Russia in the first half of the 21<sup>st</sup> century: summary. Moskva 2000.  
<http://eng.rosatom.ru/?razdel=229> (06.10.05)
- [3] Reprocessing of spent nuclear fuel in Russia today relevant for the implementation of the G-8 partnership program: Status, driving forces, central and local opposition. 2. draft. Moskva: PIR Center for policy studies in Russia, 2005. Rapport laget av PIR Center for policy studies in Russia for Statens strålevern. Kan fås ved henvendelse til Statens strålevern.
- [4] Korotkevich VM, Kudrayavtev EG. Some aspects of the Russian nuclear cycle development. I: International conference on storage of spent fuel from power reactors, Vienna 2003. Proceedings. IAEA C and S papers series no. 20/P, IAEA-CN-102/80. Wien: International Atomic Energy Agency, 2003: 99-103.  
[www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PubDetails.asp?pubId=6902](http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PubDetails.asp?pubId=6902) (06.10.05)
- [5] Nuclear Treath Initiative. [www.nti.org/](http://www.nti.org/) (06.10.05)
- [6] Makarchuk TF, Kurhosov VM, Dubrovsky VM. WWER reactor spent fuel treatment at the final stage of the fuel cycle. I: Status and trends in spent fuel reprocessing. Proceedings of an advisory group meeting Vienna 1999. IAEA TECDOC 1103. Wien: International Atomic Energy Agency, 2002: 53-60.  
[www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PubDetails.asp?pubId=5789](http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PubDetails.asp?pubId=5789) (06.10.05)
- [7] IAEA Information Circular: Communication received from the Russian Federation concerning Its policies regarding the management of plutonium. INFCIRC/549/Add.9/6. Wien: International Atomic Energy Agency, 2004.  
[www.iaea.org/Publications/Documents/Infcircs/2004/infcirc549a9-6.pdf](http://www.iaea.org/Publications/Documents/Infcircs/2004/infcirc549a9-6.pdf) (06.10.05)
- [8] Status and trends in spent fuel reprocessing. IAEA TECDOC 1467. Wien: International Atomic Energy Agency, 2005.  
[www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/te\\_1467\\_web.pdf](http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/te_1467_web.pdf) (06.10.05)
- [9] USEC Fact sheet; US-Russian megatons to megawatts program: Recycling nuclear warheads into electricity (as of September 2005). [www.usec.com/](http://www.usec.com/) (06.10.05)
- [10] Shidlovskii VV, Kudryavtsev EG. Spent fuel management perspectives in the Russian Federation. I: Factors determining the long term back end nuclear fuel cycle strategy and future nuclear

---

systems. Proceedings of a technical committee meeting, Vienna 1999. IAEA TECDOC 1286. Wien: International Atomic Energy Agency, 2002: 57-60.  
[www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PubDetails.asp?pubId=6336](http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PubDetails.asp?pubId=6336) (06.10.05)

[11] Extended Advisory Board Meeting. *Atompressa* 2004, July 8, no. 27 (in Russian).

[12] Bradley DJ. *Behind the nuclear curtain: Radioactive waste management in the former Soviet Union*. Columbus, Richland: Battelle Press, 1997.

[13] Lascek M, Necas V, Darilek P. Risk assessments basis for WWER-440 spent nuclear fuel. I: 10. Symposium of Atomic Energy Research on WWER Physics and Reactor Safety, Moscow, 18-22 September 2000. INIS-SK-01-010. Tilgjengelig elektronisk fra International Nuclear Information System, INIS.

[14] Zatorskij YM. Reactor-grade plutonium inventory taking in the RT-1 storage production association Majak site. I: Nuclear material accounting and control at radiochemical plants Obninsk (Russian Federation), 1998. Proceedings of the tripartite seminar. INIS-RU—455. 1999: 43-46. Tilgjengelig elektronisk fra International Nuclear Information System, INIS.

[15] Prishchepov AI et al. Cooperation between the Russian Federation and the United States to enhance the existing nuclear material protection, control and accounting systems at Majak Production Association. SAND-98-1851C, CONF-980733. I: 39. Institute of Nuclear Materials Management (INMM) annual meeting, Naples, FL 1998.  
[www.osti.gov/etde/servlets/purl/656767-VnkPd2/webviewable/](http://www.osti.gov/etde/servlets/purl/656767-VnkPd2/webviewable/) (06.10.05)

[16] PRIS. Power Reactor Information System. International Atomic Energy Agency, IAEA.  
[www.iaea.org/programmes/a2/index.html](http://www.iaea.org/programmes/a2/index.html) (06.10.05)

[17] Krakhmalnik VI, Menshchikov YL, Mozhaev DA. Computerization of nuclear material accounting and control at storage facilities of RT-1 plant, PA Mayak. I: Nuclear material accounting and control at radiochemical plants Obninsk (Russian Federation), 1998. Proceedings of the tripartite seminar. INIS-RU—455. 1999: 99-103. Tilgjengelig elektronisk fra International Nuclear Information System, INIS.

[18] Savin AA. Ensuring preservation of nuclear materials at RT plant storage facilities by upgrading physical protection, containment (TID) and TV surveillance measures. I: Nuclear material accounting and control at radiochemical plants Obninsk (Russian Federation), 1998. Proceedings of the tripartite seminar. INIS-RU—455. 1999: 80-83. Tilgjengelig elektronisk fra International Nuclear Information System, INIS.

[19] Zrodnikov AV, Mittenkov VM, Poplavsky VM, Kiryushin AI. State of the art and prospects of fast neutron reactors. *Nuclear Engineering and Design* 1997; 173(1-3): 81-85.

- 
- [20] Zrodnikov AV, Poplavski VM, Troianov MF, Chebeskov AN, Kalashnikov AG. Reactor-related utilization options for weapons plutonium being released from the defence program. *Nuclear Engineering and Design* 1997; 173(1-3): 301-309.
- [21] Agreement between the government of the United States of American and the government of the Russian Federation concerning cooperation regarding plutonium production reactors. Moskva 1977. (Plutonium Production Reactor Agreement (PPRA))  
[www.nnsa.doe.gov/na-20/docs/PPRA\\_new.pdf](http://www.nnsa.doe.gov/na-20/docs/PPRA_new.pdf) (06.10.05)
- [22] Ritchie IG. Growing dimensions: Spent fuel management at research reactors. *IAEA Bulletin* 1998; 40(1): 28-31.
- [23] Nuclear research reactors in the world. International Atomic Energy Agency, IAEA.  
[www.iaea.org/worldatom/rrdb/](http://www.iaea.org/worldatom/rrdb/) (06.10.05)
- [24] Directory of nuclear research reactors. Wien: International Atomic Energy Agency, 1998.
- [25] Development of strategic master plan for decommissioning of the navy and civil nuclear fleet objects taken out of operation and environmental rehabilitation of radiation-dangerous facilities of supporting infrastructure in the North-West Russia (Initial phase): Final report. Northern Dimension Environmental Partnership, NDEP. Moskva: The European Bank for Reconstruction and Development Project, EBRD, 2004.
- [26] Reistad O, Maerli MB, Skorve J. Russia: Kola cleanup coming? *Bulletin of the Atomic Scientists* 2003; 59, no.2: 12-16.
- [27] Country nuclear power profiles. Wien: International Atomic Energy Agency, IAEA, 2004.  
[www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/cnpp2003/CNPP\\_Webpage/pages/index.htm](http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/cnpp2003/CNPP_Webpage/pages/index.htm)  
(05.10.05)
- [28] Kirvov I. New interim spent fuel storage facility at INPP. I: International conference on storage of spent fuel from power reactors, Vienna 2003. Proceedings. IAEA C and S papers series no. 20/P, IAEA-CN-102/80. Wien: International Atomic Energy Agency, 2003: 37-48.  
[www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PubDetails.asp?pubId=6902](http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PubDetails.asp?pubId=6902) (06.10.05)
- [29] Posiva home page: [www.posiva.fi/](http://www.posiva.fi/) (06.10.05)
- [30] Coufal J, Brzobohaty K. Spent fuel storage facilities in the Czech Republic. I: International conference on storage of spent fuel from power reactors, Vienna 2003. Proceedings. IAEA C and S papers series no. 20/P, IAEA-CN-102/80. Wien: International Atomic Energy Agency, 2003: 22-24.  
[www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PubDetails.asp?pubId=6902](http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PubDetails.asp?pubId=6902) (06.10.05)

- 
- [31] Vaclav J. Power reactor spent fuel storage in Slovakia. I: International conference on storage of spent fuel from power reactors, Vienna 2003. Proceedings. IAEA C and S papers series no. 20/P, IAEA-CN-102/80. Wien: International Atomic Energy Agency, 2003: 61-63.  
[www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PubDetails.asp?pubId=6902](http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PubDetails.asp?pubId=6902) (06.10.05)
- [32] Buday G, Szabo.B, Ördöfh M, Kakàts F. Spent fuel storage in Hungary. I: Storage of spent fuel from power reactors: Proceedings of a symposium, Vienna 1998. IAEA. TECDOC 1089. Wien: International Atomic Energy Agency, 1999: 57-64.  
[www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PubDetails.asp?pubId=5378](http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PubDetails.asp?pubId=5378) (06.10.05)
- [33] Takàts F, Buday G. Spent fuel dry storage in Hungary. I: International conference on storage of spent fuel from power reactors, Vienna 2003. Proceedings. IAEA C and S papers series no. 20/P, IAEA-CN-102/80. Wien: International Atomic Energy Agency, 2003: 25-29.  
[www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PubDetails.asp?pubId=6902](http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PubDetails.asp?pubId=6902) (06.10.05)
- [34] Paks nuclear power plant. [www.npp.hu/index-e.htm](http://www.npp.hu/index-e.htm) (06.10.05)
- [35] Dobschutz PC von, Fischer B. The German policy and strategy on the storage of spent fuel. I: International conference on storage of spent fuel from power reactors, Vienna 2003. Proceedings. IAEA C and S papers series no. 20/P, IAEA-CN-102/80. Wien: International Atomic Energy Agency, 2003: 78-86.  
[www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PubDetails.asp?pubId=6902](http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PubDetails.asp?pubId=6902) (06.10.05)
- [36] Galasun O. IAEA safeguard implementation in Ukraine: Current state, problems, prospects. I: Symposium on international safeguards: Verification and nuclear material security, Vienna 2001. Proceedings. IAEA-SM-367/CD. Wien: International Atomic Energy Agency, 2001.  
[www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PubDetails.asp?pubId=6464](http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PubDetails.asp?pubId=6464) (06.10.05)
- [37] Steinberg N. Afanasyev AA. National policy in the spent fuel management in Ukraine: Current status and trends (prospective). I: International conference on storage of spent fuel from power reactors, Vienna 2003. Proceedings. IAEA C and S papers series no. 20/P, IAEA-CN-102/80. Wien: International Atomic Energy Agency, 2003: 70-77.  
[www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PubDetails.asp?pubId=6902](http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PubDetails.asp?pubId=6902) (06.10.05)

---

## 8 Oversikt over forkortelser og begreper brukt i rapporten

**Ankring:** Naturlig uran inneholder består av 0,72% uran-235 og 99,27% uran-238. Ved anriking øker man den relative andelen av uran-235 til fordel for andelen uran-238. Anriking angis oftest i prosent, hvor eksempelvis 20% anriking betyr at 20% av uranet er isotopen uran-235 mens 80% er uran-238. De fleste reaktorer forutsetter uran med anriking høyere enn hva som finnes i naturlig uran.

**BN-600:** Russisk reaktortype som baserer seg på hurtige (høyenergetiske) nøytroner. Reaktortypen er i stand til å nyttegjøre seg uran-238 ved at det omdannes til plutonium-239, som igjen kan spaltes slik at energi frigjøres. Reactorer med denne egenskapen blir av enkelte betraktet som en løsning av verdens energiproblem fordi den gir en langt bedre utnyttelse av verdens uranressurser enn konvensjonelle (termiske) reaktorer, og man tenker seg også at denne typen reaktorer skal kunne anvende thorium som brensel.

**Brenselssyklus:** Syklus fra urangruve via anriking, brenselproduksjon, bruk av brensel til lagring og endelig deponering. I tilfeller hvor brukt brensel reprocesseres og brukes på nytt betegnes dette som en lukket brenselssyklus, mens brenselssyklusen betegnes som åpen om brenselet deponeres etter bruk.

**BWR:** Forkortelse for "Boiling Water Reactor", eller kokvannreaktor. Dette er en kommersiell reaktortype.

**Deponi:** Anlegg for sluttforvaring av reaktorbrensel, dvs. i perspektiv på tusener eller titusener år. Største delen av radioaktiviteten vil da ha dødd hen.

**Elektrisk effekt:** Mål for mengde elektrisk energi en kjernekraftreaktor produserer. Enheten er MW<sub>e</sub>, eller megawatt<sup>3</sup> elektrisk effekt. Elektrisk effekt for en kjernekraftreaktor motsvarer den termiske effekten multiplisert med virkningsgrad.

**Kapsling:** Metall (ofte rørformig) som omslutter pinner med reaktorbrensel og som hindrer lekkasje av radioaktive stoffer til kjølemediet.

**Metallkjølte reaktorer:** Reactorer som kjøles ved hjelp av flytende metaller. Spesielt brukt i russiske marine reaktorer er en legering mellom bly og vismut, med smeltepunkt ned til 125°C. Natrium, med smeltepunkt på 98°C, har også vært brukt som kjølemiddel i enkelte reaktorer.

**MOX:** Forkortelse for "Mixed Oxide Fuel". Dette er et keramisk reaktorbrensel bestående av oksider av uran og plutonium.

---

<sup>3</sup> Mega=1 million

---

**PWR:** Forkortelse for ”Pressurized Water Reactor”, eller trykkvannsreaktor. Dette er den mest brukte reaktortypen på verdensbasis.

**RBMK:** Russisk akronym som omskrevet til norsk motsvarer ”kanalisert stor kraftreaktor.” RBMK er en grafittmoderert, vannkjølt reaktortype. Disse skiller seg fra vanlige vestlige reaktortyper som PWR (trykkvannsreaktor) og BWR (kokvannsreaktor) ved at reaktorbrenselet er fordelt på ca 1600 kanaler.

**RT-1:** Russisk reprosesseringsanlegg i Majak

**RT-2:** Planlagt russisk reprosesseringsanlegg i byen Zheleznogorsk

**Termisk effekt:** Mål for mengde varmeenergi en reaktor produserer. Enheten er MW<sub>t</sub>, eller megawatt termisk effekt

**Tørrlager:** Lagringsmetode hvor brensel lagres tørt, dvs. uten vann. Se også våtlager.

**Utarmet uran:** Uran med innhold av uran-235 lavere enn i naturlig uran. Se anrikning.

**VVER:** Russisk/sovjetisk vannkjølt og vannmoderert reaktortype, som motsvarer vestlige trykkvannsreaktor (PWR). Tallbenevnelsen indikerer elektrisk effekt, ved at VVER-440 og VVER-1000 produserer henholdsvis 440 og 1000 MW elektrisitet .

**Vitrifisering:** Prosess hvor radioaktive stoffer støpes inn i glass for å hindre lekkasje til omgivelsene.

**Våtlager:** Lagermetode hvor brukt reaktorbrensel lagres i vann, og hvor vannet brukes til å lede vekk varme til et kjølesystem. Metoden bruktes for brukt brensel som avgir mye varme, i praksis vil dette si den første tiden ( gjerne et par år ) etter at brenselet er tatt ut av reaktoren.

**StrålevernRapport 2005:1**  
Virksomhetsplan 2005

**StrålevernRapport 2005:2**  
Natural Radioactivity in Produced Water from the  
Norwegian Oil and Gas Industry in 2003

**StrålevernRapport 2005:3**  
Kartlegging av historiske utslipp til Kjeller-området  
og vurdering av mulige helsekonsekvenser

**StrålevernRapport 2005:4**  
Assessment of environmental, health and safety consequences of  
decommissioning radioisotope thermal generators in NW Russia

**StrålevernRapport 2005:5**  
Environmental Impact Assessments in Arctic Environments  
Protection of plants and animals

**StrålevernRapport 2005:6**  
Anbefaling for opplæring av medisinske fysikere i stråleterapi i Norge

**StrålevernRapport 2005:6b**  
Øvingsoppgaver til Anbefaling for opplæring av medisinske fysikere i  
stråleterapi i Norge

**StrålevernRapport 2005:7**  
Radionuclides in Marine and Terrestrial Mammals of Svalbard

**StrålevernRapport 2005:8**  
Forvaltningsstrategi om magnetfelt og helse ved høyspentanlegg

**StrålevernRapport 2005:9**  
Statens strålevern i Mammografiprogrammet  
Databaseprogram for kvalitetskontrollresultater

**StrålevernRapport 2005:10**  
Radioaktiv forurensing i sauekjøtt, ku- og geitemelk, 1988-2004

**StrålevernRapport 2005:11**  
Tilsyn med medisinsk strålebruk ved fem Helseforetak i 2004  
- etter ny forskrift om strålevern og bruk av stråling

**StrålevernRapport 2005:12**  
Stråledose til screena kvinner i Mammografiprogrammet