

Huidige kerncentrale Borssele (KCB), Samenvattend Overzicht

kerncentrale Borssele (KCB) – gegevens in het kort

type kernreactor: drukwaterreactor (PWR); netto vermogen: 485 MW

fabrikant: Siemens/KWU; in bedrijf sinds: 1973

exploitant: Elektriciteits-Productiemaatschappij Zuid-Nederland (EPZ), in eigendom van Delta (50%) en Essent (50%)

huidige brandstofketens KCB

Borssele gebruikt op dit moment twee verschillende soorten brandstof.

1. De belangrijkste is verrijkt natuurlijk uranium (ENU).
2. De andere brandstof, verrijkt opgewerkt uranium (ERU), maakt sinds 2003 voor één derde deel uit van de totale hoeveelheid brandstof in de reactorkern.

De twee verschillende brandstofketens zien er schematisch als volgt uit

1. verrijkt natuurlijk uranium (NU):

- winning natuurlijk uranium (Kazachstan)
- omzetting naar uraniumhexafluoride
- uraniumverrijking
- omzetting naar uraniumoxide
- verwerking tot kernbrandstof (ENU)
- opwerking gebruikte kernbrandstof tot opgewerkt uranium (RepU) en plutonium.

2. verrijkt opgewerkt uranium (RepU):

- RepU wordt gescheiden van de gebruikte kernbrandstof en verlaat de opwerkingsfabriek in de vloeibare vorm: uranyl nitraat hexahydraat (UNH)
- omzetting naar RepU in de vorm van uraniumhexafluoride
- menging van opgewerkt uranium (RepU) met hoogverrijkt uranium (HEU), beiden in de vorm van uraniumhexafluoride, tot laagverrijkt opgewerkt uranium (ERU)
- omzetting naar de oxidevorm
- verwerking tot kernbrandstof (ERU).

Alle stappen van alleen de eerste keten

A. mijnbouw en raffinage in Kazachstan

EPZ laat haar uranium winnen en verwerken tot natuurlijk uranium door het Kazachse staatsbedrijf Kazatomprom(*1). Het uranium is afkomstig van één van de vele mijnbouwprojecten die eigendom zijn van Kazatomprom. Het gaat hier om oplossingsmijnbouw of *in-situ leaching*.(*2) Het gewonnen uranium wordt verwerkt door Ulba Metallurgical Plant Joint Stock Company, een fabriek van het staatsbedrijf.

“EPZ gebruikt uranium uit Kazakstan dat geraffineerd wordt door Ulba Metallurgical Plant Joint Stock Company. Dit is een installatie van het bedrijf Kazatomprom. Hier wordt uranium verwerkt dat afkomstig is uit vijftien mijnprojecten die ook allen eigendom zijn van Kazatomprom. Wij kunnen u niet zeggen uit welke mijn EPZ's uranium afkomstig is. Ook is ons niet bekend of en in welke mate Ulba uranium verwerkt dat niet uit Kazakstan zelf afkomstig is”. (EPZ, 4 augustus 2010)

B. Omzetting natuurlijk uranium (NU: U_3O_8) in uranium hexafluoride (UF_6), in Frankrijk

Eerst moet het NU – gewonnen in de oxidevorm U_3O_8 – worden omgezet naar het gasvormige uranium hexafluoride (UF_6) dat als grondstof dient voor uraniumverrijking. De omzetting van natuurlijk uraniumoxide (U_3O_8) uit Kazachstan vindt plaats in een fabriek van Areva in Pierrelatte, Frankrijk.

C. Verrijking van NU tot 4,4% ENU, in Nederland

De 0,7% uranium-235, de splijtbare fractie van NU, wordt in een uraniumverrijkingsfabriek verhoogd tot meer dan 4%. EPZ laat het NU verrijken bij Urenco (hoogstwaarschijnlijk nog steeds), vermoedelijk bij de vestiging in Almelo.

D. Omzetting verrijkt uranium hexafluoride naar verrijkt uraniumoxide, in Frankrijk

Het product 4,4% ENU in de vorm van UF_6 gaat naar een fabriek om weer te worden omgezet naar een uraniumoxide. [Pierrelatte].

E. Fabricage van ENU-splijstofelementen, in Duitsland

Het poedervormige *verrijkt natuurlijk uranium (ENU)* wordt in Duitsland tot tabletten verwerkt en vervolgens in splijstofelementen gezet. Om de kosten van de jaarlijkse wisseling van splijstofelementen zo laag mogelijk te houden heeft EPZ gekozen voor een methode om het aantal splijstofelementen bij de wisseling zo klein mogelijk te houden. Dat betekent dat de splijstofelementen langer in de reactor moeten blijven om zo de ‘opbrand’ (burn-up) te verhogen. Dat kan alleen maar door aan de nieuw in te zetten splijstof meer splijtbaar uranium-235 toe te voegen, dat wil zeggen de verrijkingsgraad te verhogen. Daarom werd de oorspronkelijke vergunde verrijking van 3,3% in 1999 verhoogd naar 4,0% en in 2005 naar 4,4 % uranium-235 (percentages in gewichtsprocenten). Splijstofelementen verblijven nu vier tot vijf jaar in de reactor in plaats van de oorspronkelijke drie jaar. EPZ beschouwt de verrijkingsgraad van 4,4% voor ENU als de optimale keus, omdat een hogere verrijkingsgraad ongunstig uitpakt op de kwaliteit het gerecyclede plutonium en uranium, en een lagere verrijkingsgraad economisch ongunstig is door de hogere kosten. De ENU-elementen worden gefabriceerd in de brandstoffabriek van Areva NP (voorheen: Framatome ANP, Advanced Nuclear Fuels GmbH, en Siemens AG) in Lingen, Duitsland.

F. Productie stroom in Borssele, Nederland

(*1)

Kazachstan is een dictatuur. Vakbonden, milieuorganisaties, milieuwetgeving, toezicht en inspraak, het bestaat allemaal of nauwelijks. Er zijn zo'n 15 mijnen, het is onduidelijk uit welke precies EPZ haar uranium haalt (zie citaat van EPZ). In al die mijnen hebben ongelukken en incidenten plaatsgevonden, zie <http://www.wise-uranium.org/uoasi.html#KZ>, met per mijn de rubriek 'issues'.

(*2) Uraniumwinning, waaronder ISL

Voor 500 gram bruikbaar uranium moet je 1000 kilo erts uit de grond halen. Het radioactieve maar niet commercieel bruikbare deel wordt op enorme bergen naast de mijn gekieperd. Uraniummijnbouw vindt in Europa vrijwel niet meer plaats en wordt in Australië en Canada steeds moeilijker.

Een 1300 MWe kernreactor consumeert ongeveer 33 ton uranium per jaar. Daarvoor is 440.000 ton uraanerts nodig. Deze erts bevat ook radioactieve stoffen zoals thorium, radium en radongas, maar ook giftige stoffen, waaronder nikkel, cadmium, arseen en kwik kunnen aanwezig zijn. Vooral radon vormt een gevaar.

Uranium wordt gewonnen door extractie in fabrieken of ter plekke ('in situ leach' - ISL), waarbij het gesteente met chemische oplosmiddelen wordt geëxtraheerd. Het delven en verwerken van de ertsen leveren afvalgesteente, bezinksel (slijk), ertsrestanten of gedroogd bezinksel ('tailings'), afvalwater en uitgeloopte gebieden op dat allemaal radioactief en chemisch is verontreinigd. Tegenwoordig komt meer dan de helft van het uranium uit ondergrondse mijnen, ongeveer 27% uit bovengrondse mijnbouw ('open pits') en 19% uit ISL-mijnbouw. De KCB maakt dus gebruik van uranium uit ISL mijnen.

In een fabriek wordt erts vermalen tot korrels. Die worden gesuspenderd in enorme hoeveelheden water. De extractievloeistof is meestal zwavelzuur, waaraan een verdikkingsmiddel wordt toegevoegd. Tijdens het extraheren worden de onoplosbare uraniumoxides opgelost, omgezet in oplosbare uraniumsulfaten. Vervolgens wordt het uranium via een chemisch procedé uit dit slijk gehaald. Een laatste fase, waaronder drogen, produceert een poeder dat bekend staat als 'yellowcake'. Het wordt verpakt in vaten en getransporteerd.

Vergeleken met uranium in erts is yellowcake duizenden keren meer geconcentreerd. Yellowcake bestaat voor 90-95% uit uranium oxide (U₃O₈). Het vrijkomen van radongas tijdens het verwerkingsproces tot yellowcake vormt een groot risico voor de werknemers.

Het overgrote deel van het gedolven erts wordt afval, nadat de uraniumrijke oplossing is afgescheiden. Het afval wordt slijk genoemd als het nog nat is en ertsrestanten ('tailings') als het gedroogd is. Het risico per gram ertsrestant is weliswaar laag in vergelijking met ander radioactief afval, maar het grote volume en gebrek aan regelgeving voor hun afscheiding van het milieu heeft geresulteerd in wijdverspreide besmetting. Het slijk wordt gedumpt in ingedamde reservoirs. Vaak worden deze reservoirs aan hun lot overgelaten. Het giftige materiaal kan zich verspreiden via de lucht of door lekkages. Dambreuken waarbij slijk of afvalwater vrijkomen gebeuren keer op keer.

Ersrestanten zijn gevaarlijker dan afvalgesteente. Uranium en andere substanties, die voorheen in het gesteente zaten, bevinden zich in oplosbare vorm. Als gevolg hiervan zijn deze chemicaliën meer mobiel en chemisch reactiever dan in het oorspronkelijke erts. Ze komen in het milieu via doorsijpelen of door weggewaaid stof. Ersrestanten bevatten 85% van de radioactiviteit van het oorspronkelijke erts. De radioactieve stoffen hebben lange halfwaardetijden, zodat de plekken radioactief blijven voor miljoenen jaren.

Bij de ISL-methode worden ter plekke talrijke gaten geboord, waarbij miljoenen liters sterk zuur of loog wordt geïnjecteerd in de ertslagen. Het uranium wordt opgelost, naar boven gepompt en getransporteerd naar een fabriek waar het uranium wordt gewonnen. Hoewel ISL geen afvalgesteente en ertsrestanten produceert, wordt het ondergrondse gebied en nabijgelegen milieu onomkeerbaar vervuild. De vloeistof die achterblijft in de grond veroorzaakt besmetting van het grondwater dat zich stroomafwaarts van de mijnbouwgebieden verder kan verspreiden. ISL produceert extreme hoeveelheden afvalwater en slijk met hoge radioactiviteit en hoge concentraties van zware metalen. Meestal worden deze vloeistoffen gemixt en opnieuw geïnjecteerd op de plek waar gedolven is.

Bijlage; nog veel meer over ISL

The leaching liquid used for in-situ leaching contains the leaching agent ammonium carbonate for example, or sulfuric acid..

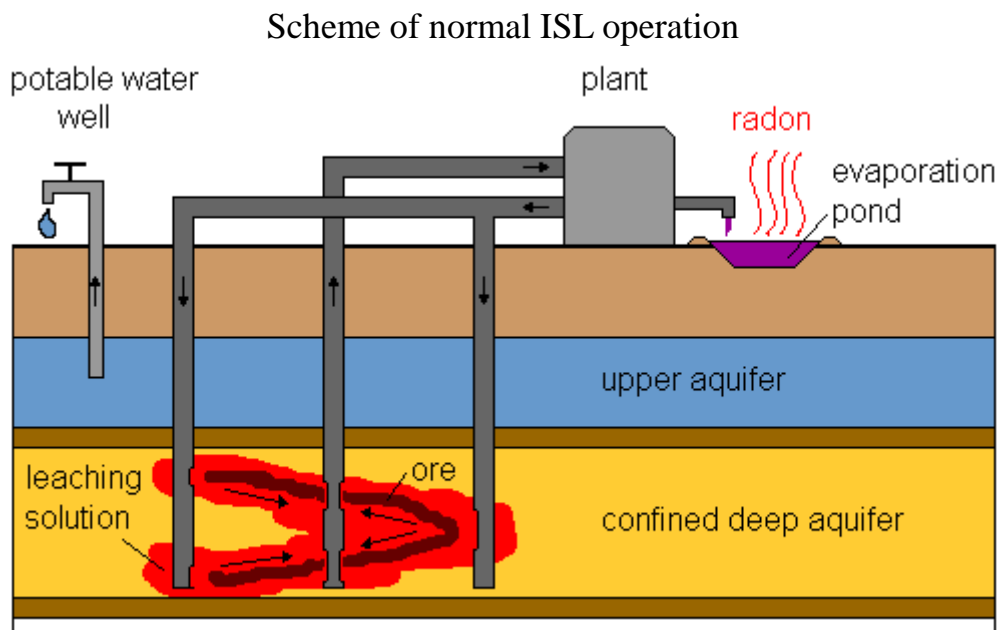
The advantages of this technology are:

- the reduced hazards for the employees from accidents, dust, and radiation,
- the low cost;
- no need for large uranium mill tailings deposits.

The disadvantages of the in-situ leaching technology are:

- the risk of spreading of leaching liquid outside of the uranium deposit, involving subsequent groundwater contamination,
- the unpredictable impact of the leaching liquid on the rock of the deposit,
- the impossibility of restoring natural groundwater conditions after completion of the leaching operations.

Moreover, in-situ leaching releases considerable amounts of radon, and produces certain amounts of waste slurries and waste water during recovery of the uranium from the liquid.



In the case of **Königstein (Germany)**, a total of 100,000 tonnes of sulfuric acid was injected with the leaching liquid into the ore deposit. At present, 1.9 million m³ of leaching liquid are still locked in the pores of the rock leached so far; a further 0.85 million m³ are circulating between the leaching zone and the recovery plant. The liquid contains high contaminant concentrations, for example, expressed as multiples of the drinking water standards: cadmium 400x, arsenic 280x, nickel 130x, uranium 83x, etc. This liquid presents a hazard to an aquifer that is of importance for the drinking water supply of the region.

Groundwater impact is much larger at the Czech in-situ leaching site of Stráž pod Ralskem: 28.7 million m³ of contaminated liquid is contained in the leaching zone, covering an area of 5.74 km². This zone contains a total of 1.5 million tonnes of sulphate, 37,500 tonnes of ammonium, and others. In addition to the chemicals needed for the leaching operation (including 3.7 million tonnes of sulfuric acid, among others), 100,000 tonnes of ammonium were injected; they were a waste product resulting from the

recovery of uranium from the leaching liquid.

Moreover, the contaminated liquid has spread out beyond the leaching zone horizontally and vertically, thus contaminating another area of 28 km² and a further 235 million m³ of groundwater. To the southwest, the groundwater contamination has already reached the second zone of groundwater protection of the potable water supply of the town of Mimon. In southeastern direction, the contaminated groundwater is still at a distance of 1.2 - 1.5 km from the second zone of groundwater protection of the Dolánky potable water wells, which supply 200 l/s for the city of Liberec [Andel1996]. The migration of the contaminated liquids in an easterly direction towards the Hamr I underground mine is at present intercepted by a hydraulic barrier: decontaminated water is injected into a chain of wells to prevent further migration of the contaminated groundwater.

In **Bulgaria**, a total of 2.5 million tonnes of sulfuric acid was injected into the ore deposits exploited by in-situ leaching. It is estimated that about 10% of the surface area used for ISL could be contaminated from solution spills. This is of concern, since the area is to be returned to its previous owners for agricultural use.

After termination of the ISL operations, the contaminated groundwater spreads offsite.

The impacts of ISL on surface and groundwater are catastrophic:

"Very high concentrations of sulfate ions are measured in surface water and even in wells of private owners as a result of accidental spilling of solutions in sites of in-situ leaching. At the site "Cheshmata" (Haskovo), in the valley downstream from the sorption station, the measured content of sulfates is 1400 mg/l, free H₂SO₄ is 392 mg/l and pH is 2.2 (5.5 - 8.5 for 3-rd category water). A similar case has been recorded in Navusen where in a valley the sulfate concentration is 13362 mg/l and almost 5 g/l H₂SO₄, which means that actually the water is leaching solution.

In the underground water of such sites the salt content is >20 g/l, from which the sulfates are 12-15 g/l." [Dimitrov1996]

The Devladovo site in **Ukraine** was leached with sulfuric and nitric acid. The surface of the site was heavily contaminated from spills of leaching solutions. Groundwater contamination is spreading downstream from the site at a speed of 53 m/year. It has traveled a distance of 1.7 km already and will reach the village of Devladovo after 24.5 years. [Molchanov1995]

Reclamation Concepts After In-Situ Leaching

After termination of an in-situ leaching operation, the waste slurries produced must be safely disposed, and the aquifer, contaminated from the leaching activities, must be restored. Groundwater restoration is a very tedious process that is not yet fully understood. So far, it is not possible to restore groundwater quality to previous conditions.

The best results have been obtained with the following treatment scheme, consisting of a series of different steps [Schmidt1989], [Catchpole1995]:

- Phase 1: Pumping of contaminated water: the injection of the leaching solution is stopped and the contaminated liquid is pumped from the leaching zone. Subsequently, clean groundwater flows in from outside of the leaching zone.
- Phase 2: as 1, but with treatment of the pumped liquid (by reverse osmosis) and re-injection into the former leaching zone. This scheme results in circulation of the liquid.
- Phase 3: as 2, with the addition of a reducing chemical (for example hydrogen sulfide H₂S or sodium sulfide Na₂S). This causes the chemical precipitation and thus immobilization of major contaminants.
- Phase 4: Circulation of the liquid by pumping and re- injection, to obtain uniform conditions in the whole former leaching zone.

But, even with this treatment scheme, various problems remain unresolved:

- Contaminants, that are mobile under chemically reducing conditions, such as radium, cannot be controlled,

- if the chemically reducing conditions are later disturbed for any reasons, the precipitated contaminants are re-mobilized,
- the restoration process takes very long periods of time,
- not all parameters can be lowered appropriately.

Most restoration experiments reported refer to the alkaline leaching scheme, since this scheme is the only one used in Western world commercial in-situ operations. Therefore, nearly no experience exists with groundwater restoration after acid in-situ leaching, the scheme that was applied in most instances in Eastern Europe. The only Western in-situ leaching site restored after sulfuric acid leaching so far, is the small pilot scale facility Nine Mile Lake near Casper, Wyoming (USA). The results can therefore not simply be transferred to production scale facilities. The restoration scheme applied included the first two steps mentioned above. It turned out that a water volume of more than 20 times the porevolume of the leaching zone had to be pumped, and still several parameters did not reach background levels. Moreover, the restoration required about the same time as used for the leaching period [Nigbor1982] [Engelmann1982].