

Th Torium

En möjlig råvara för framtida kärnbränsle

I dagens kärnkraftverk används uran som bränsle. Ett alternativ till uran är att istället använda torium. Det har funnits kärnreaktorer som konstruerats särskilt för toriumbränsle. Men i dag används torium endast i mycket begränsad omfattning. Uranbränsle är totalt dominerande.

Toriumbränslen diskuteras dock på en del håll i världen, främst i länder som Norge och Indien där det finns gott om torium. I Norge är debatten livlig då man hoppas på att toriumbaserad kärnkraft skulle kunna ge en rad fördelar i jämförelse med uranbaserad. Samtidigt är Norge beroende av att finna ersättning för oljans roll i samhällsekonomin och många hoppas på att torium skall bli Norges nästa energiråvara.

Torium, uppkallat efter asaguden Tor, upptäcktes av den svenske kemisten Jöns Jacob Berzelius i ett prov från just Norge. Mineralet i vilket torium upptäcktes fick namnet torit. Torium är liksom uran en metall som tillhör aktiniderna. Både atommassan och densiteten är lägre än för uran.

Idag används torium bara i liten utsträckning. Det förekommer bland annat i en del metallegeringar och i speciella svetselektroder. Tidigare var även glödstrumpor till gaslampor ett viktigt användningsområde.

Det finns mer torium än uran, men det är inte så väl undersökt hur mycket av metallen som finns samlat i brytvärdade förekomster. Bedömningen är dock att det finns ungefär lika mycket, eller kanske något mer torium än uran som skulle vara möjligt att bryta. Kända högvärdiga förekomster finns bland annat i Australien, Indien, Norge, USA och Kanada. På en del platser, till exempel i Indien, finns metallen lätt tillgänglig i sanden på stränderna, medan den på andra håll, som i Norge, måste brytas i gruvor.

Torium som kärnbränsle

Naturligt uran består till 0,72 procent av den klyvbara nukliden uran-235 och kan därmed användas direkt som bränsle i en kärnreaktor. Vanligen höjer man halten uran-235 innan man tillverkar bränslet, men uranet går alltså att använda direkt, till exempel i tungvattenreaktorer.

Torium däremot består till 100 procent av torium-232 som inte är klyvbart. Därmed är ämnet i sig självt oanvändbart som bränsle. Det kan dock användas som råvara för att producera klyvbart material.

När torium finns i en reaktor träffas det under drift av en ström av neutroner. Torium som träffas av neutroner omvandlas genom en serie kärnreaktioner till uran-233, vilket inte förekommer i naturen. Uran-233 är klyvbart och börjar bidra till kedjereaktionen så fort det dyker upp i reaktorn.

Det uran-233 som finns kvar i bränslet när det tas ur reaktorn kan användas i

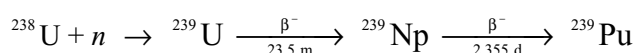
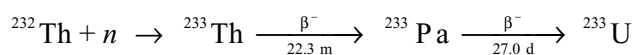
nytt bränsle. På så sätt kan man genom att dryga ut med uran-233 spara uran-235 nästa gång man tillverkar bränsle.

Processen där uran-233 bildas med torium som råvara liknar den process som bildar plutonium-239 från uran.

I uranbränslecykeln klyver man uran-235 för att producera energi, för att generera de neutroner som behövs till att initiera nya kärnklyvningar och för att bygga upp mer klyvbart material.

Förutom uran-235, innehåller uranet även den tyngre isotopen uran-238. Uran-238 fångar in neutroner i reaktorn och omvandlas då till plutonium. Precis som i fallet med torium är inte heller uran-238 klyvbart. Plutonium är däremot klyvbart och ett bra kärnbränsle.

Bildningen av uran-233 från torium är något effektivare än den av plutonium från uran-238, men processerna är snarlika.



Uran-233 byggs från torium-233 genom infångning av en neutron. På motsvarande sätt bildas plutonium från uran-238 genom neutroninfångning. (Under pilarna anges halveringstiderna i minuter, m, respektive dygn, d.)

fortsättning - Torium som kärnbränsle

Om reaktorn och bränslehanteringen utformas omsorgsfullt är det åtminstone i teorin möjligt att åstadkomma så kallad bridning, det vill säga att minst lika mycket nytt klyvbart material bildas som konsumeras.

För toriumbaserat bränsle kan man uppnå bridning, eller åtminstone komma nära, i vanliga reaktorer. Men, för uran-plutoniumcykeln går det bara att nå bridning i speciella, bridreaktorer som är mycket mer komplicerade än dagens reaktorer.

Skälet till att man vill nå bridning är att råvaran används mycket effektivare vare sig det rör sig om uran eller torium.

I teorin skulle det vara möjligt att konstruera en reaktor med toriumbaserat bränsle som bara behöver tillföras uran när den ska startas första gången och som därefter utnyttjar det uran-233 som produceras i reaktorn. Det skulle i så fall räcka att tillföra en liten mängd torium när reaktorn laddas om.

I praktiken är det dock svårt att nå så långt, däremot är det rimligt att tro

att man kan spara uran-235 genom att dryga ut bränslet med det uran-233 som bildas i toriumbränslet.

Bridning

För att förstå hur klyvbart uran-233 bildas från torium kan man tänka sig liknelsen med att försöka hålla en brasa vid liv med sur ved.

Om man bara har tillgång till sur ved (torium) går det inte att tända någon brasa, men om man börjar med några klampar torr ved (uran-235) kan man tända elden och sedan använda lågorna för att torka den sura veden (bilda uran-233).

Under vissa förutsättningar kan man lyckas hålla elden vid liv bara den kommit igång (genom att "elda" med uran-233). En eld som kan förmås att fortsätta brinna enbart med det bränsle man torkar, kan jämföras med en reaktor som uppnått bridning

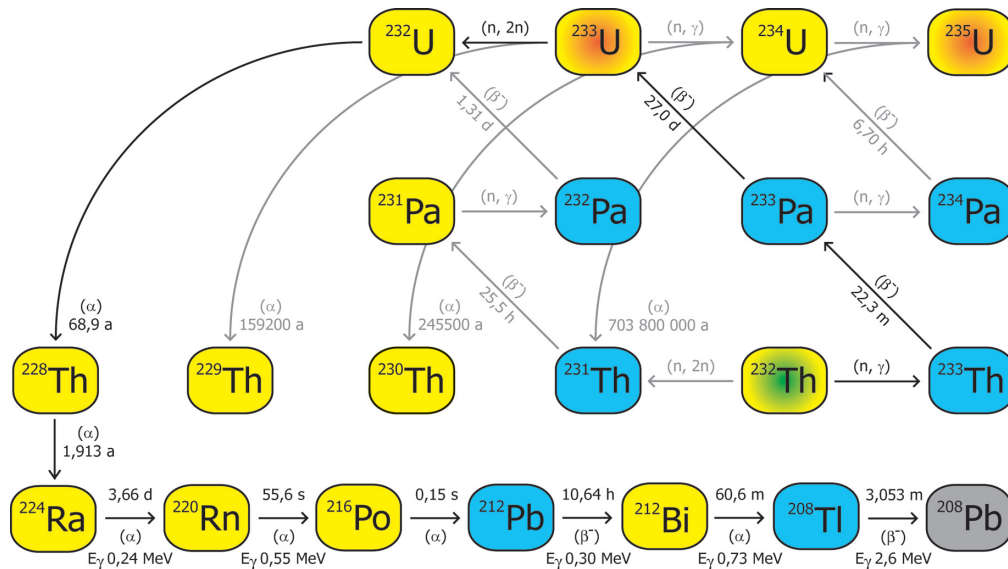
Eventuellt måste man då och då hjälpa till genom att lägga på lite mer "torr ved". I så fall har man inte riktigt nått bridning, men kan fortfarande spara torr ved.

Det är svårt att nå bridning. De reaktorer vi har idag har svårt att ens komma i närheten. Med varianter av dagens reaktorer skulle man kunna nå något längre, men bridning är tyvärr inte praktiskt möjligt. Av de reaktorkoncept som har prövats i större skala har tungvattenmodererade och grafitmodererade reaktorer bäst förutsättningar att komma nära, eller till och med uppnå, bridning.

Man kan tänka sig att bridning skulle kunna uppnås i en så kallad saltsmältereaktor där ett flytande salt utgör bränslet. Kylningen sker genom att saltet pumpas runt mellan reaktorn och en värmeväxlare.

Det här är en intressant idé, men många svårigheter återstår att hantera innan saltsmältereaktorer kan användas för energiproduktion. Av de nya reaktortyper som forskarna arbetar med idag bedöms saltsmältereaktorn som det koncept det kommer att ta längst tid att utveckla. Det är förmodligen optimistiskt att hoppas på saltsmältereaktorer för kommersiell kraftproduktion inom de närmaste 30 åren.

Uppbyggnad av uran-233 från torium



Uran-233 byggs upp från torium-232 genom en neutroninfångning, följd av två successiva betasönderfall. Uran-233 är liksom uran-235 fissilt och kan användas som bränsle i en kärnreaktor. I ett toriumbaserat bränsle bildas alltid uran-232, som är radioaktiv. I dess sönderfallskedja uppstår tallium-208 som utsänder mycket stark gammastrålning. Den starka strålningen från tallium gör att flera processer i toriumbränslecykeln måste fjärrstyras.

De gula fälten i figuren markerar nuklider som sönderfaller genom att utsända alfastrålning, de blå sönderfaller genom att utsända elektroner (β-sönderfall). Sönderfallskedjan som börjar med uran-232 slutar i bly-208, längst ner till höger. Den är stabil.

De respektive halveringstiderna för sönderfallen anges i sekunder (s), minuter (m), timmar (h), dagar (d) och år (a).

Erfarenheter av toriumbaserade bränslen

Torium var intressant som bränsleråvara redan i kärnkraftens barndom. Det stod tidigt klart för forskarna att den riktigt stora potentialen för kärnkraften på lång sikt ligger i att brida mer klyvbart material.

Mot den bakgrunden är både uran och torium intressanta. Inledningsvis hade man ingen bra bild av uranförekomsterna. Det var oklart hur mycket uran som skulle komma att finnas tillgängligt. Man letade därför också efter torium för att vid behov kunna dryga ut resursen.

Det bröts också en hel del torium, till exempel byggde både USA och Frankrike upp stora toriumlager då man tänkte sig att metallen skulle kunna komma att bli en bristvara.

Toriumbränslecykeln

Under sextioalet fanns reaktorer laddade med torium i flera länder. Det tyska programmet var ett av de mest ambitiösa. I Tyskland fanns under 21 år, mellan 1967 och 1988, en reaktor laddad med torium, kallad AVR.

Erfarenheterna från testreaktorn AVR användes när man designade nästa reaktor, fullskaleprototypen Thorium High Temperature Reactor, THTR.

Det tyska toriumprogrammet stoppades efter Tjernobylyckan, trots att det rent vetenskapligt var framgångsrikt.

Under senare år har Indien varit det land som lett utvecklingen av toriumbränslecykeln. Indien har ganska begränsade urantillgångar, men gott om torium.

Dessutom har Indien varit exkluderat från den internationella handeln med uran då man inte undertecknat de avtal som syftar till att begränsa spridningen av kärnvapen, NPT-avtalet.

I dag är Indien framstående på området och man utvecklar för närvarande en reaktor som från början konstruerats för att laddas med torium. Det finns redan idag flera reaktorer i Indien som, åtminstone delvis, använder toriumbaserade bränslen.

Skillnader mellan uran- och toriumbränslen

Varje toriumbränsle måste innehålla eller kompletteras med något klyvbart ämne (jämför den torra veden i liknelsen ovan).

Den klyvbara delen av bränslet har till uppgift att, särskilt när bränslet är färskt, bidra med de neutroner som bygger upp uran-233 från torium.

Sädbränsle

När reaktor är laddad med färskt bränsle sker nästan alla kärnklyvningar i det här "utsädesbränslet" (från engelska seed-fuel). Det innebär att både energin och de neutroner reaktorn producerar kommer från sädbränslet. Allt efter som

torium bestrålas med neutroner bildas uran-233, som börjar bidra till kedjereaktionen (jämför med den sura veden som torkar).

När det strax är dags att byta bränslet står uran-233 för en väsentlig del av kärnklyvningarna. Exakt hur stor den andelen blir beror bland annat på bränslesammansättningen och reaktorns konstruktion.

Det finns tre möjliga val av sädbränsle för ett toriumbaserat bränsle:

- uran-235, vilket används som bränsle i majoriteten av världens kärnreaktorer
- plutonium, som bildas genom neutronbestrålning av uran-238 i vanliga

reaktorer

- uran-233, som kommer från neutroninfångning i torium.

Av dessa tre är det bara uran-235 som finns i naturen. De två andra måste tillverkas i kärnreaktorer.

Om man siktar på att utnyttja plutonium eller uran-233 som klyvbart material, är det nödvändigt att upparbeta det använda bränslet för att ta tillvara de ämnen som byggs upp under bestrålningen i reaktorn. I Sverige har vi valt att inte upparbeta använt kärnbränsle, men i andra länder utnyttjar man upparbetning i stor skala för att ta tillvara och återanvända material i nytt bränsle.

Kärnavfall

När atomkärnan klyvs bildas klyvningsprodukter som är lättare än ursprungskärnan. De flesta av de ämnen som uppstår är radioaktiva och sönderfaller till stabila ämnen genom att skicka ut joniserande strålning.

Nästan alla klyvningsprodukter stabiliseras snabbt genom de radioaktiva sönderfallen. Några få tar lång tid på sig och bidrar till att göra det använda kärnbränslet radioaktivt under lång tid.

Förutom klyvningsprodukterna bildas också en del tunga ämnen då atomer i bränslet fångar in neutroner och därigenom får tyngre kärnor. Även de här uppbyggda ämnena är radioaktiva. Men, de allra flesta av dem tar betydligt längre tid på sig att stabiliseras än vad majoriteten

av klyvningsprodukterna gör.

Använt kärnbränsle innehåller alltså både kortlivade ämnen som snabbt slutar vara radioaktiva, men också en liten del långlivade ämnen som sänder ut joniserande strålning under lång tid.

På grund av den långlivade radioaktiviteten i använt bränsle måste man hålla det instängt under mycket lång tid. Man vill därigenom försäkra sig om att strålningen inte ska komma att skada någon människa eller ge någon miljöpåverkan.

Både bränsle baserat på uran så väl som på torium ger upphov till långlivade radioaktiva ämnen. Samma typ av geologiskt förvar skulle behövas för toriumbaserade bränslen som de

som planeras för uranbaserat bränsle. Däremot kommer det använda bränslet kemiskt att vara lite olika.

Exakt vilken sammansättning använt toriumbränsle skulle få beror till stor del på vilket klyvbart material man tänker sig.

Till exempel bildas långlivat plutonium i alla bränslen som innehåller uran-238. Om man använder uran 233 som sädbränsle undviker man att plutonium uppstår, men man får i gengäld en rad andra långlivade ämnen som byggs upp från torium.

Sammanfattning

För- och nackdelar med toriumbaserade bränslen

Fördelar:

- Det genomsnittliga antalet neutroner som utsänds när uran-233 klyvs är i vanliga reaktorer högre än för både uran-235 och plutonium.

Ju fler neutroner som finns tillgängliga i reaktorn, desto mer klyvbart material kan bildas genom neutroninfångning.

I kombination med att torium har större sannolikhet att fånga neutroner än uran-238 innebär detta att neutronekonomin i en reaktor med toriumbaserat bränsle är bättre än i en med uranbaserat.

Man kan till och med, åtminstone teoretiskt, nå så kallad bridning med toriumbränsle, då lika mycket (eller mer) klyvbart material bildas som konsumeras.

I så fall skulle man inte behöva speciella bridreaktorer för att utnyttja bränslet optimalt.

- Om uran-233 används som sädbränsle undviker man nästan helt att producera tunga långlivade radioaktiva ämnen såsom plutonium och americium. Det är huvudsakligen de här ämnena som gör använt uranbränsle radioaktivt i många tusen år efter att det tagits ur reaktorn.

Dock producerar man istället en del andra långlivade ämnen som gör att även använt toriumbränsle måste förvaras säkert under lång tid.

Om uran-235 eller plutonium används som sädbränsle får man trots allt en viss produktion av samma tunga ämnen som i uranbränslefallen.

- Både torium och dess oxid ThO_2 har höga smältpunkter. ThO_2 smälter vid 3350°C , vilket ska jämföras med urandioxid, UO_2 , som smälter vid 2800°C .

Skillnaden kan tyckas liten, men kan ha betydelse för hur en eventuell olycka skulle komma att utveckla sig då en hög smältpunkt är en fördel.

- Toriumoxid leder värme bättre än uranoxid. Det gör att temperaturfördel-

ningen i bränslet blir jämnare, vilket gör kylningen av reaktorn effektivare.

- Torium bildar bara en typ av oxid, toriumdioxid, ThO_2 . Uran i sin tur bildar både UO_2 och U_3O_8 . Detta gör toriumoxiden mer kemiskt stabil, vilket är av betydelse både i och utanför reaktorn.

- Om man önskar göra sig av med plutonium från kärnvapen genom att använda det som bränsle i reaktorer, så kan man nå goda resultat genom att blanda ut det med torium.

Nackdelar:

- Den viktigaste nackdelen med torium som bas för kärnbränsle är att torium i sig inte är klyvbart. Bara genom att bygga upp uran-233 kan toriet göras användbart som bränsle.

Detta kräver, åtminstone inledningsvis, ett sädbränsle som exempelvis uran-235 eller plutonium.

- Den höga smältpunkten hos framför allt toriumoxid ställer krav på höga temperaturer vid sintringssteget i bränsletillverkningen.

Det går inte att direkt använda anläggningar som är anpassade för uranoxid för att tillverka toriumbaserade bränslen.

- För att helt och fullt utnyttja potentialen hos torium som bränsle krävs upparbetning av det använda bränslet. Om avsikten är att åstadkomma bridning har man inte råd att låta något klyvbart material gå till spillo. Både uran-233 och återstående sädbränsle måste tas om hand så att det kan utnyttjas vid tillverkning av nytt bränsle.

- Det är svårt att uppbeta toriumbaserade bränslen. Den låga lösligheten jämfört med uranoxid gör att man måste ta till starkare syror. Därigenom riskerar man problem med korrosion i uppberedningsutrustningen.

- Bildningen av uran-233 efter infångning av en neutron i torium tar relativt lång tid. Om energiutvecklingen i reaktorn, och därmed flödet av neutroner är för hög, riskerar man att ytterligare en neutron fångas in innan den klyvbara nukliden hunnit bildas. Man bör därför eftersträva en låg effekt per volym i en reaktor med toriumbaserat bränsle.

Det kravet står i direkt konflikt med ekonomiska mål, genom att reaktorn blir större och därmed dyrare.

- När uran-233 har börjat bildas i reaktorn uppstår kärnreaktioner även där. I en sådan reaktion bildas en lättare form av uran, uran-232. När uran-232 sönderfaller bildas ämnen som sänder ut mycket stark strålning. Trots att enbart små mängder uran-232 bildas blir strålningen så intensiv att det inte går att hantera uranet utan att vara skyddad mot strålningen.

Kravet på strålskydd gör det komplicerat att tillverka kärnbränsle av återvunnet uran-233. Den starka strålningen gör även upparbetning av toriumbaserade bränslen svårare.

- **Till sist**, lider toriumbränslecykeln av att den inte är lika väl etablerad som uranbränslecykeln.

Från uran finns lång erfarenhet och mycket kunskap. Det finns också en hel industri tillgänglig som utvecklats för uranbränslecykeln.

Att idag starta en toriumbränslecykel skulle kräva stora investeringar för att bygga upp både kunskap och en parallell infrastruktur.

Daniel Westlén

daniel.westlen@vattenfall.com

Carl-Erik Wikdahl

carl-erik@wikdahl.se

Rekommenderad läsning

IAEA-TECDOC-1450, "Thorium fuel cycle Potential benefits and challenges", IAEA (2005),

www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/TE_1450_web.pdf

www.world-nuclear.org (artikeln om torium återfinns under "Information papers", "Mining and Uranium Market", "Thorium")

Jöns Jacob Berzelius

Jöns Jacob Berzelius, vid sidan om Carl von Linné, Sveriges genom tiderna främste naturvetenskapsman, levde mellan 1779 och 1848.

Han var först läkare men koncentrerade sig snart på kemisk forskning och har kallats "Den svenska kemins fader".

Han utvecklade användningen av John Daltons atomteori inom kemin och lanserade systemet med bokstavsbeteckningarna för de kemiska grundämnena (till exempel H för väte).

1818 publicerade han en atomviktstabell som ytterst litet avviker från dagens kunskap om atomvikter.

Han upptäckte flera grundämnen, bland annat kisel (grunden för datorrevolutionen), selen, cerium (Berzelius, Hisinger och Klaproth) och torium. Torium fann han 1829 i ett material från Brevik i Langesundsfjorden i Norge.

1835 presenterade han begreppet kemisk katalys, som bland annat fått en modern tillämpning i bilarnas katalysatorer för avgasrening.

Jöns Jacob Berzelius hedrades efter sin död med en staty som nu står i Berzelii park i centrala Stockholm.



J.J.Berzelius i sitt laboratorium.
© Posten Frimärken

Kärnkraftsäkerhet och Utbildning AB (KSU)

Kärnkraftsäkerhet och Utbildning AB (KSU) är ett företag inom Vattenfallkoncernen och ansvarar för vissa gemensamma säkerhets- och utbildningsfrågor på uppdrag av Forsmarks Kraftgrupp AB, OKG Aktiebolag och Ringhals AB.

Företaget utbildar kontrollrumsoperatörerna vid kärnkraftverken i Forsmark, Oskarshamn och Ringhals genom bland annat träning i simulatorer och teoretiska kurser i kärnkraftteknik.

KSU utvärderar störningar som inträffat i svenska och utländska kärnkraftverk och är den svenska länken i ett internationellt nätverk för utbyte av drifterfarenheter.

Företaget svarar genom Analysgruppen för vetenskapligt grundad samhällsinformation inom kärnkraftområdet.

Analysgruppen vid KSU

Analysgruppen är en självständigt arbetande expertgrupp som deltar i samhällsdebatten om kärnkraft och strålning. Genom KSU är gruppen knuten till kraftindustrin. Gruppen utser själv sina ledamöter efter vetenskaplig kompetens, branschfarenhet och personligt engagemang.

Huvuduppgiften är att sammanställa och analysera fakta kring frågor som kommer upp i samhällsdebatten med anknytning till reaktorsäkerhet, strålskydd, radiobiologi och riskforskning.

Gruppen redovisar resultaten främst genom publikationerna *Bakgrund* och *Fakta*-serien som också är tillgängliga på Internet: www.analys.se

Hemsidan täcker området kärnkraft i Sverige och utomlands och har även ett omfattande länkbibliotek.

Hans Ehdwall, fil.kand, international scientific analysis, KSU

Yngve Flodin, civilingenjör, reaktorsäkerhetsexpert, Elproduktion Norden, Vattenfall AB

Lasse Kyläkorpi, fil. mag, miljösamordnare, Elproduktion Norden, Vattenfall AB

Martin Luthander, civilingenjör, public affairs Elproduktion Norden, Vattenfall AB

Mats Harms-Ringdahl, professor, strålningsbiolog, Stockholms universitet

Gunnar Hovsenius, tekn lic, energi/miljöfrågor, Hovsenius Konsult AB

Carl-Göran Lindvall, ingenjör, strålskyddsföreståndare, Barsebäck Kraft AB

Anders Pechan, informationskonsult

Edvard Sandberg, civilingenjör, Svensk Energi

Carl-Erik Wikdahl, civilingenjör, konsult, Energikommunikation AB