

Uran

Uran är ett grundämne vars viktigaste användning är som bränsle i kärnreaktorer. Uranet är vanligt förekommande och finns nästan överallt i jordskorpan, i jordens inre och i världshaven. De flesta berg- och jordlager innehåller uran dock oftast i låga koncentrationer. De största uranfyndigheterna i världen finns i Australien, Kazakstan, USA, Kanada och Sydafrika.

I den här bakgrundsrapporten beskrivs uranets egenskaper, uranbrytning, urananrikning och kärnbränsletillverkning. Miljökonsekvenserna i de olika industriprocesserna diskuteras liksom de svenska kraftföretagens miljökrav vid upphandling av uran.



Uran upptäcktes 1789 av den tyske kemisten M.H. Klaproth. Han visade att mineralet pechblände innehöll ett nytt grundämne som han kallade uran efter planeten Uranus som upptäckts några år tidigare

Vad är Uran?

Uran är ett av de vanligaste mineralerna och är svagt radioaktivt – ungefär på samma nivå som för en av våra vanligaste bergarter, granit. Uranet är det tyngsta – i fråga om atomvikten – av de naturligt förekommande grundämnena och har atomnummer 92 i det periodiska systemet. Uranmetallen har en högre densitet – 19,1 g/cm³ – än bly men något lägre än guld.

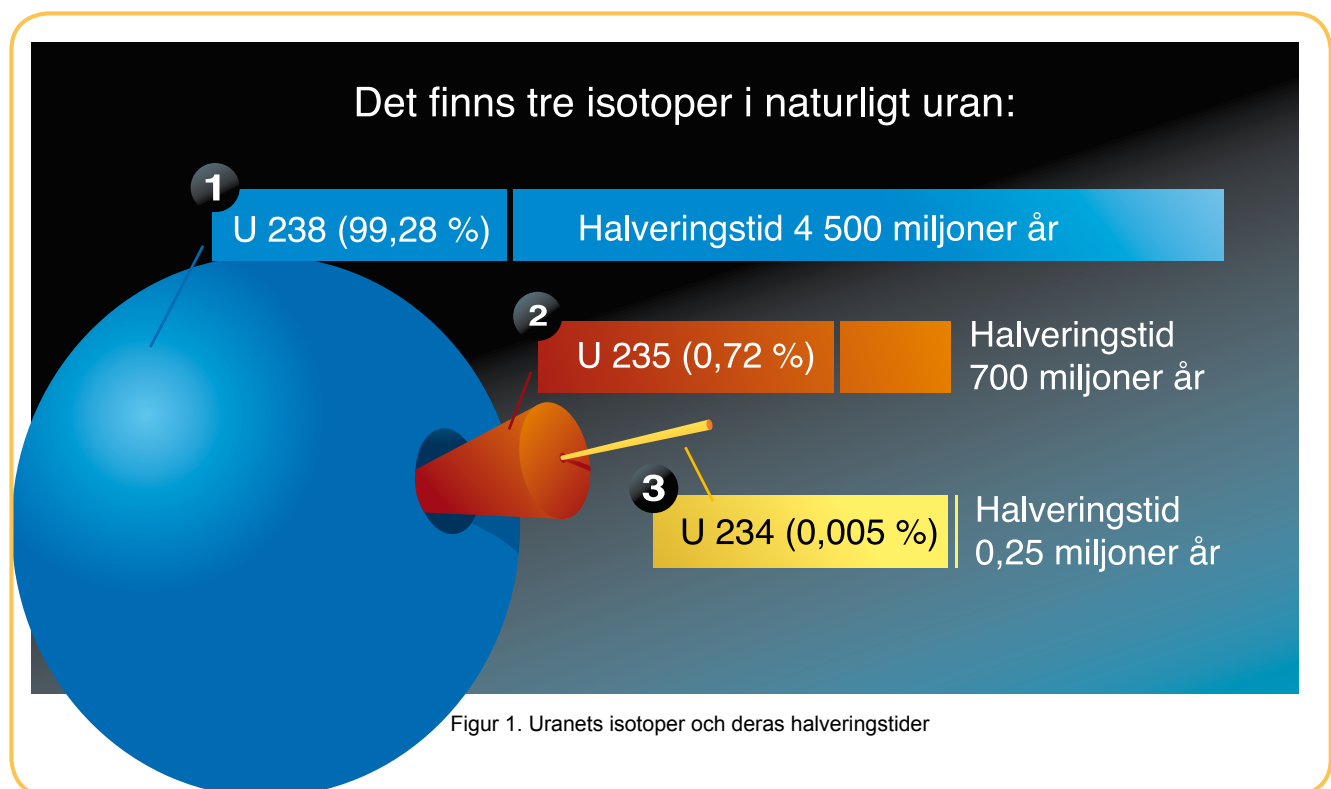
Det finns tre isotoper av naturligt

uran och alla är svagt radioaktiva med halveringstider på miljontals år. Sammansättningen och halveringstiderna visas i Figur 1.

Av de tre isotoperna har U 235 den speciella egenskapen att den kan klyvas av fria neutroner, varvid stora mängder energi frigörs. Det är den processen som används för att producera energi i kärnkraftverk.

Naturligt uran kan inte användas

direkt som bränsle i en kärnkraftsreaktor eftersom halten av den klyvbara isotopen U 235 är för låg för att hålla klyvningsprocessen igång. Därför anrikas naturligt uran så att halten av U 235 ökar till cirka 3 % i det kärnbränsle som används i de flesta reaktorer.



Uranmarknaden

Uranbehov

FNs atomenergiorgan IAEA har på sin hemsida en löpande uppföljning av världens kärnkraftverk. I oktober 2009 fanns 436 kärnkraftsaggregat i drift i världen i 31 länder. USA har flest reaktorer i drift, 104 st.

Den totalt installerade effekten i världens kärnkraftverk var 370 200 MW (9 000 MW i Sverige). 14 % av all världens elproduktion sker i kärnkraftverk.

Enligt IAEA är 53 aggregat under byggnad med en total effekt av 40 000 MW.

Den totala elproduktionen i världens kärnkraftverk var 2 900 TWh (i

Sverige 65 TWh) år 2007. Störst andel kärnkraftsproduktion har Frankrike (78 %). I Sveriges är den 42 %. 1 TWh (terawattimme) motsvarar 1 000 MWh (megawattimmar).

Intresset för nya kärnkraftsanläggningar ökar nu efter en lång period av stiltje, nya kärnkraftverk planeras och beställs nu också i västvärlden. Allt tyder på att världens kärnkraftsproduktion återigen kommer att öka, men med tanke på de långa byggtiderna kommer vändningen att ske långsamt. Men redan nu syns en viss uppgång i uranefterfrågan på grund av ökad kraftproduktion vid redan byggda kärnkraftverk. Orsaken

är ökad tillgänglighet och höjning av reaktoreffekten.

Det årliga behovet av natururan för att driva världens alla kärnkraftverk är ungefär 65 000 ton. I Sverige behövs 1 600 ton uran per år.

Urantillgångar

Uranet är vanligt förekommande och finns nästan överallt i jordskorpan, i jordens inre och i världshaven.

Ämnet är ungefär lika vanligt som tenn och cirka 500 gånger vanligare än guld.

De flesta berg- och jordlager innehåller uran, men oftast i låga koncentrationer.

I Sverige finns de största sammanhängande uranfyndigheterna i Billingen i Västergötland med en genomsnittlig utanhalt på 300 gram uran per ton malm, dvs 0,03 %. I urbergsmalm i Norrland kan det finnas begränsade områden med upp till 1 000 gram uran per ton malm (0,1 %).

Under tiden 1965 till 1969 drevs en urangruva i Ranstad, Västergötland, med en maximal kapacitet på 200 ton uran per år. Totalt utvanns 215 ton uran.

De största uranfyndigheterna i världen finns i Australien, Kazakstan, USA, Kanada och Sydafrika.

Enligt OECD Nuclear Energy Agency (se text till Figur 2) finns i Sverige 10 000 ton (4 000 ton är kända tillgångar och ytterligare 6 000 ton utgör en uppskattning) uran som är möjlig att bryta till en kostnad lägre än 130 US dollar/kilogram U.

Vattenfall köper för närvarande sitt uran från Australien (32 %), Namibia (32 %) och Ryssland (36 %).

Nya uranfyndigheter

Prospektering efter nya uranfyndigheter pågår ständigt. Från början av 1990-talet har denna verksamhet dock hållits tillbaka på grund av osäkerhet om kärnkraftens framtid och låga världsmarknadspriser på uran. Omkring 2005 började uranpriserna stiga och som direkt följd har uranprospekteringen världen över ökat markant.

År 2002 bröts uran i ett 20-tal länder och den totala världsproduktionen var 36 000 ton, vilket var hälften av den årliga förbrukningen.

Handeln med uran påverkades också av lagerhållning av tidigare brutet och bearbetat uran.

Att smida svärd till plogbillar

År 1993 tecknade USA och Sovjetunionen ett avtal om att omvandla 500 ton höganrikat uran (innehållande mer än 90 % uran-235) från 7 000 kärnstrids-spetsar till låganrikat uran (cirka 4 %) för användning som bränsle i kommersiella kärnkraftverk.

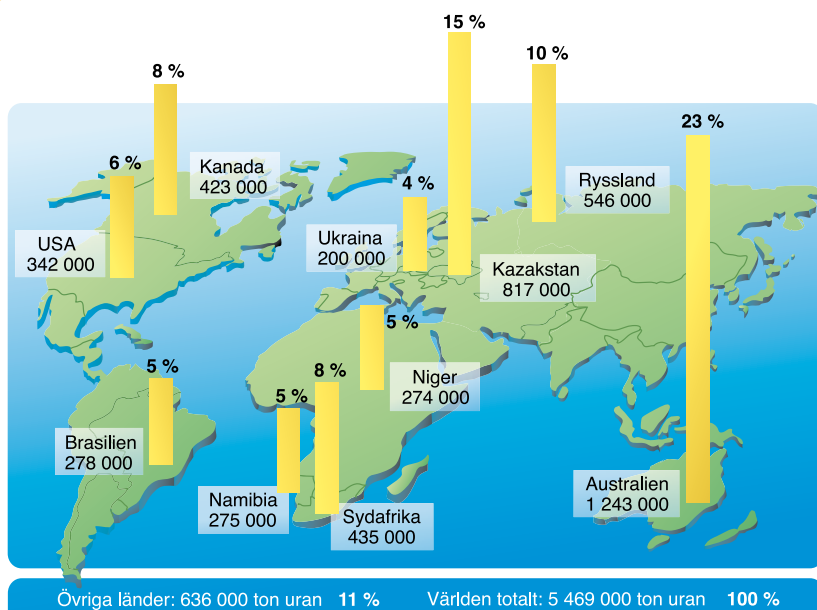
Höganrikat uran blandas med naturligt eller utarmat uran för att få ner halten uran-235 till cirka 4 %.

Detta motsvarar drygt 150 000 ton naturligt uran eller två årsförbrukningar i världens kärnkraftverk.

Överenskommelsen innebär att fram

Tabell 1. Typiska halter av uran (ppm = parts per million = miljondel)

Malm med mycket höga halter (Kanada)	20 %	200 000 ppm uran
Malm med höga halter	2 %	20 000 ppm uran
Malm med låga halter	0,1 %	
Malm med mycket låga halter (Namibia)	0,01 %	100 ppm uran
Granit		4–5 ppm uran
Genomsnittligt på jordytan		3 ppm uran
Havsvatten		0,003 ppm uran



Figur 2 Kända reserver i världen av uran enligt en sammanställning av OECD Nuclear Energy Agency (NEA): Uranium 2007, Resources, Production and Demand

till 2013 ska höganrikat uran överföras till kärnbränsle motsvarande 9 000 ton natururan per år.

Ökat uranbehov

Intresset för expansion av urangruvindustrin har således av olika anledningar varit låg. En fortsatt utbyggnad av kärnkraften anses nu som mycket sannolik och därför har den internationella gruvindustrin startat en omfattande prospektering efter nya uranfyndigheter världen över.

Uranbehovet i världen kommer dock inte att öka i någon större skala under de närmaste 10–15 åren dels för att det tar lång tid innan nya reaktorer sätts i drift, dels för att det finns en utveckling att utnyttja uranbränslet mer effektivt även i existerande reaktorer.

Enligt nuvarande planer kommer ett antal nya urangruvor att öppnas under de närmaste åren i områden som redan är välkända för sin uranförekomst.

Det torde dröja minst tio år innan nya urangruvor öppnas i områden där man nyligen startat prospektering efter uran.

Från brytning av uranmalm till färdigt kärnbränsle

Uranet bryts antingen i dagbrott (28 % av världproduktionen 2003), i underjordsgruvor (41 %) eller genom urlakning under jord in situ (20 %). 11 % av uranet framställs som en biprodukt vid framtagning av andra mineral, framför allt fosfat.

Efter brytningen krossas malmen och behandlas med utspädd svavelsyra, som löser ut uranet från malmen. Därefter fälls uranet ut från syrelösningen i form av uranoxid med den kemiska beteckningen U_3O_8 . I denna form säljs uranet från gruvan.

I en del gruvor är det möjligt att lösa upp uranet genom att pumpa utspädd svavelsyra eller karbonatlösning genom malmen där den ligger i berget. Metoden som också används vid annan metallutvinning kallas in situ. Syran med det lösta uranet pumpas tillbaka upp till ytan och behandlas där på samma sätt som vid en konventionell gruva.

I nästa steg konverteras uranoxiden till uranhexafluorid, UF_6 . Detta är en kristallin förening med en konsistens som liknar paraffin vid rumstemperatur. Vid temperaturer över $60^\circ C$ är UF_6 gasformigt. I denna form anrikas (se faktaruta om urananrikning) det naturliga uranet så att halten av uran-235 ökas från 0,71 % till mellan tre och fem procent.

Efter anrikningen konverteras gasen till urandioxid, UO_2 , som kan pressas och sintras till ett keramiskt material. I en bränslefabrik pressas urandioxiden till fingertjocka kutsar med en täthet på ca 10 g/cm^3 . Kutsarna förs in i kapslingsrör oftast bestående av en legering (det engelska och svensk-engelska fackuttrycket är "zircaloy") och som till 90 % består av metallen zirkonium.

En av världens största tillverkare av kapslingsrör i zircaloy för kärnbränsle är det svenska företaget Sandvik, som redan på 1960-talet började tillverkning av sådana rör.

I Västerås finns en bränslefabrik som tillverkar färdiga kärnbränsleelement för svenska och utländska reaktorer. Den ägs av Westinghouse Electric Sweden, tidigare med namnen Asea Atom respektive ABB Atom.

De svenska kärnkraftsföretagen gör



Figur 3. Dagbrott av uranmalm vid Rössinggruvan i Namibia. Foto Jenny Zettersten.



Figur 4 - 6. Fotografierna visar en enskilda uranbränslekuts med 8 mm diameter, ett kapslingsrör av zircaloy med urankutsar och del av ett fyra meter långt bränslelement. Röret och bränslelementet har skurits upp av pedagogiska skäl. Foto Fredrik Ekenborg.

fyra separata upphandlingar för att få färdigt kärnreaktorbränsle:

- Natururan från gruvföretag
- Konvertering av uranoxid till uranhexafluorid
- Anrikningstjänster
- Tillverkning av reaktorbränsle.

Miljöeffekter

Utsläppen av koldioxid vid kärnkraftsproduktion är mycket låga, även om man räknar in utsläppen i hela bränslecykeln. Utslaget per producerad kilowattimme ger kärnkraften ifrån sig några gram CO_2 , vilket kan jämföras med runt $700 \text{ g CO}_2/\text{kWh}$ som ett kolkraftverk släpper ut. Kärnkraften är således minst lika klimat-effektiv som förnybara produktionslag som vind – och vattenkraft.

Miljön vid urangrutor har diskuterats i Sverige under lång tid. Intresset har ökat under den senaste tiden i samband med att utländska gruvföretag har prospekterat efter uran i Sverige. I det följande lämnas därför en mer detaljerad beskrivning av miljön vid urangrutorna .

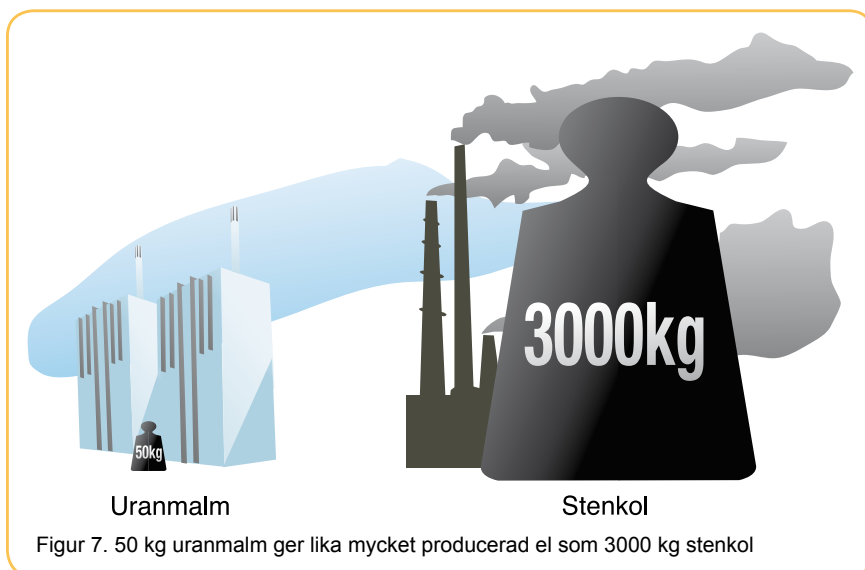
Uranbrytning är den del av kärnkraftens bränslecykel som påverkar miljön mest. Som vid all gruvbrytning får man lokala miljöeffekter, en urangruva skiljer sig i det avseendet inte nämnvärt från andra typer av gruvor, t ex svenska järnmalmsgruvor. Tack vare det höga energivärdet i uran krävs väsentligt mindre ingrepp per utvunnen energienhet vid en urangruva än vid en kolgruva.

Då uranmalm har högre strålningsnivåer än andra malmer, krävs särskilda åtgärder i gruvan för hantering av radon i luften, radium i vattnet och i vissa fall mot direktstrålningen. Planeringen och uppföljningen av strålskyddsåtgärderna underlättas av att radioaktivitet kan mätas även vid låga harmlösa nivåer med enkel mätutrustning.

Det uran som bröts på 1940-talet var avsett för det högprioriterade kärnvapenprogrammet. Ventilationen och övriga miljöfrågor kom då i sista hand i de gruvor som sattes igång under stor tidspress, varför radonhalterna blev höga. Flera gruvarbetare drabbades därför av lungcancer.

Numera är ventilationen i alla kommersiella urangrutor sådan att högsta tillåtna intag av radon för gruvarbetarna ligger på samma nivå som nu gäller för svenska bostäder. Någon förhöjd lungcancerfrekvens som kan relateras till radoninandning bland gruvarbetare kan inte längre spåras.

Den direkta strålningen – gammastrålningen – avläses på en liten personlig dosimeter som alla anställda bär. Strikta värden på maximalt tillåten dos finns



vid alla kommersiella gruvor precis som vid alla svenska kärnkraftverk. Om uranhalten i malmen är hög – som i en del gruvor i Kanada – kan den direkta strålningen från uranets radioaktiva sönderfallsprodukter ge så höga stråldoser att speciella strålskärmar måste installeras för att skydda gruvarbetarna. En del av brytningen sker dessutom med robotutrustning. Med lägre uranhalter kan brytningen ske på samma sätt som i alla andra typer av gruvor.

Gruvpersonalens stråldoser är regelmässigt långt under de av myndigheterna angivna högsta tillåtna värden – en situation som är lik den som finns hos personalen vid de svenska kärnkraftverken.

Vid lagningsprocessen förbrukas nästan allt av den tillförda utspädda svavelsyran. Rester av svavelsyran finns dock kvar i avloppsvattnet, som måste neutraliseras och även renas från radium som bildas vid uranets sönderfall. Vattnet neutraliseras först med kalk, därefter tillförs bariumklorid så att radium faller ut och sedimenteras.

Det som blir kvar av malmen efter utlösning av uranet samt utfällningen från reningen av avloppsvattnet utgör avfall. Detta kan i vissa gruvor läggas tillbaka där brytningen skett, men oftast läggs det i stora täta dammar. När avfallet torkat täcks det med ett tätande material, t ex morän.

Miljön vid utländska urangrutor har diskuterats livligt i Sverige. Första

gången var 1984 då kanadensiska miljöaktivister i svenska massmedier lämnade skrämmande uppgifter om miljön i de kanadensiska urangrutorna. Industridepartementet beordrade en granskning av uppgifterna. Svenska myndigheters kontakter med motsvarande i Kanada visade emellertid att anklagelserna var helt ogrundade. Det fanns inga tecken på ökad cancerfrekvens och heller ingen skogsdöd. Enligt de kanadensiska myndigheterna skedde gruvbrytningen på ett ur miljö- och hälsosynpunkt acceptabelt sätt.

En liknande aktion gjordes av svenska Greenpeace 1994 beträffande förhållandena vid den ryska urangruvan Krasnokamensk i östra Sibirien. Greenpeace påstod att cancerfrekvensen i Krasnokamensk var två till tre gånger högre än i övriga Ryssland. Denna gång anordnade dåvarande Statens Strålskyddsinstitut en resa till Ryssland och besökte såväl de ryska myndigheterna i Moskva som gruvan och de lokala miljömyndigheterna i Sibirien. Det man fann var att cancerfrekvensen i Krasnokamensk var lägre än i Ryssland och faktiskt lägre än i Sverige. Det enkla skälet till denna anmärkningsvärda uppgift var att cancer normalt är en åldersrelaterad sjukdom och att medelåldern i Krasnokamensk var lägre än i Ryssland (och i Sverige). Däremot fann man uppgifter om att ökningen av cancerfrekvensen var högre i Krasnokamensk än i Ryssland. Även detta kan förklaras med olika

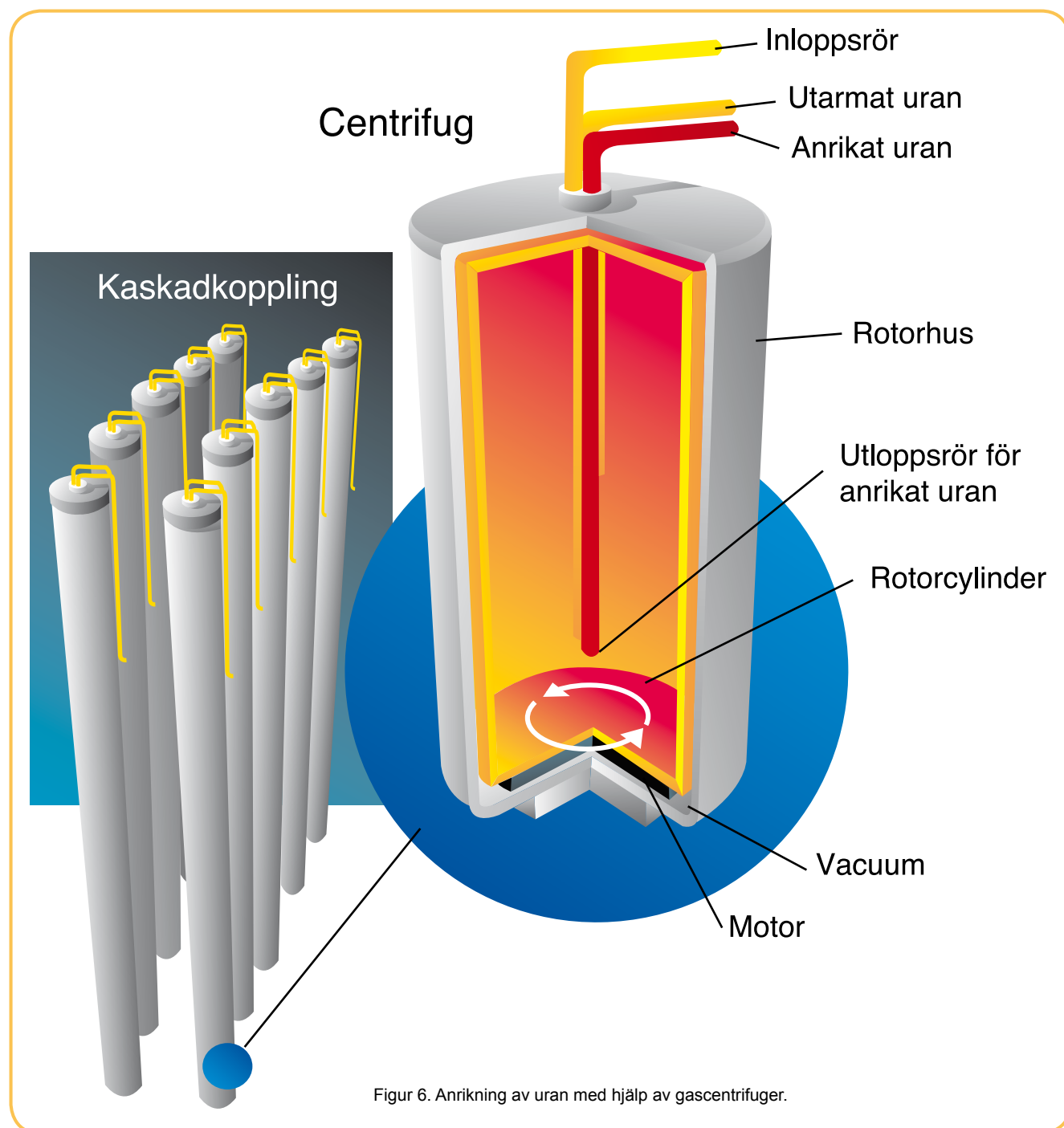
ålderssammansättningar. En stor del av befolkningen i Krasnokamensk hade en ålder på 50 till 60 år eftersom en stor inflyttning skedde på 1960-talet. Det är i den åldern cancerfrekvensen börjar öka i alla befolkningar.

Ovanstående kan förefalla innehålla en motsättning. Där påstås dels att medelåldern var låg och dels att en stor del av befolkningen hade en ålder på 50 till 60 år. Den enkla förklaringen är att befolkningen i Krasnokamensk består av de som flyttade dit under 1960-talet

och av deras barn. Båda påståendena om orsakerna till den låga cancerfrekvensen och den ovanligt stora ökningen cancerfall är således korrekt. Statens Strålskyddsinstitut kunde således visa att angreppen på arbets- och boendemiljön vid en urangruva var grundade på felaktiga tolkningar av tillgänglig sjukdomsstatistik.

Svensk kraftindustri köper uran på världsmarknaden direkt från ett antal gruvföretag. Förutom nationella och internationella krav och riktlinjer för

uranutvinning och övriga förädlingsprocesser har de svenska kärnbränsleinköparna utarbetat långtgående krav som styr leverantörerna i fråga om miljö och socialt ansvarstagande. Dessutom krävs att leverantörerna regelbundet ska rapportera hur de uppfyller internationella bestämmelser om miljö och strålskydd. Vattenfall gör regelbundna revisioner av urangruvföretagens verksamhet, bl a genom besök på plats. Vattenfall kräver i alla sina urankontrakt att gruvföretagen har tagit fram rehabiliteringsplaner för



Figur 6. Anrikning av uran med hjälp av gascentrifuger.

gruvområdena och har fonderat medel för genomförandet av planerna efter gruvdriftens slut. Liknande regler gäller för övriga kärnkraftsföretag i Sverige.

I centrifugprocessen leds gasen in i en serie av centrifuger. En sådan består av en ca 5 meter hög cylinder med en diameter på 15–20 cm. Varje cylinder arbetar i vakuum och innehåller en rotor som snurrar med ett varvtal på över 50 000 varv per minut. När rotorn snurrar ökar koncentrationen av den tyngre U-238-molekylen utefter cylinderns vägg på grund av centrifugalkraften. I centrum av cylindern är koncentrationen högre av U-235.

Varje steg består av flera centrifuger placerade parallellt med varandra och stegen förenas sedan i en kaskadkoppling. Anrikningen per steg är mycket högre i centrifugerna än i diffusionsmembranen. Därför behövs här bara ca 20 steg för att anrika till 3 à 5 % U-235.

Diffusionsmetoden är tekniskt sett enklare än centrifugerna, men betydligt mera energikrävande. I den behövs storleksordningen 50 gånger mer elenergi

än för motsvarande anrikningsarbete i en gascentrifug. På sikt kommer centrifugtekniken att dominera helt.

Stora kommersiella anrikningsanläggningar är i drift i Frankrike, Tyskland, Nederländerna, Storbritannien, USA och Ryssland.

Den elenergi som behövs för anrikning i en centrifuganläggning av den mängd uran som används under ett års drift av en 1 000 MW reaktor är ungefär 5 miljoner kWh eller 0,005 TWh. En sådan reaktor producerar närmare 8 TWh el per år, dvs mer än tusen gånger mer än vad som behövs för anrikningen.

Anrikningen svarar för ungefär en tredjedel av kostnaden för det färdiga reaktorbränslet, dvs närmare 1 öre/kWh.

Urananrikning

Att skilja olika kemiska ämnen åt har man kunnat göra sedan långt tillbaka i tiden. Det är betydligt svårare att separera olika typer av atomer från samma kemiska ämnen. Olika isotoper av samma kemiska grundämne har samma kemiska egenskaper och kan därför inte separeras i en kemisk process. I stället använder man sig av skillnader i fysiskt avseende mellan isotoperna.

Naturligt uran består av 99,3 % uran-238 och 0,7 % uran-235. Det finns flera olika metoder att öka, anrika, halten uran-235, men bara två huvudtyper, gasdiffusion och centrifuger, används i kommersiell skala.

I båda dessa processer tillförs uranet i form av gasen uranhexafluorid, UF₆. Molekyler av UF₆ som innehåller uran-235 är cirka en procent lättare än motsvarande med uran-238. Det är denna lilla skillnad i massa som utnyttjas i båda processerna.

I diffusionsprocessen tvingas gasen under högt tryck genom en serie av porösa membran. Eftersom U-235-molekylerna är lättare än U-238-molekylerna rör de sig en aning snabbare och har därmed något större chans att passera genom membranets små porer. Den gas som passerat genom membranet har därför anrikats på uran-235, medan gasen som inte passerat genom membranet har utarmats på uran-235.

Processen upprepas många gånger i en lång serie av diffusionssteg kopplade i en kaskadkoppling. Totalt används ungefär 1400 steg för att andelen uran-235 ska anrikas från 0,7 % till 3 à 5 %. Detta s k låganrikade uran kan sedan användas som bränsle i kärnkraftverk. Restprodukten som består av s k utarmat uran innehållande U-238 och ca 0,2 % U-235.

Referenser med kommentarer

OECDs kärnkraftsorgan Nuclear Energy Agency (NEA) publicerar en rad dokument om kärnkraft och urantillgångar. Sammanfattningar finns på hemsidan www.nea.fr. Regelbundet publicerar OECD/NEA standardverket om uranmarknaden, i fackkretsar kallad ”The red book”. Den senaste är ”Uranium 2007: Resources, Production and Demand”. Flertalet uppgifter om uranmarknaden i denna utgåva av Bakgrund är hämtade därifrån.

IAEA publicerar på sin hemsida www.iaea.org en rad faktamaterial om kärnkraften i världen och kärnbränslecykeln. Se särskilt Power Reactor Information System (PRIS) database

Uran – en uthållig energikälla. Bakgrund utgiven av Analysgruppen vid KSU, maj 2005. Författare: Carl-Erik Wikdahl.

Kärnkraften i vår omvärld. Bakgrund utgiven av Analysgruppen vid KSU, april 2008. Författare: Carl-Erik Wikdahl.

Kärnkraftens bränslecykler – från urangruvan till slutförvaret. Bakgrund utgiven av Analysgruppen vid KSU, november 2009. Författare: Fredrik Ekenborg.

Författare Carl-Erik Wikdahl

Illustrationer Lasse Widlund

Kärnkraftsäkerhet och Utbildning AB (KSU)

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

KSU utbildar driftpersonal vid egna lokalkontor i Forsmark, Oskarshamn och Ringhals. Personalen tränas i reaktorsimulatorer och får teoretisk utbildning i kärnteknik. Underhållspersonal utbildas vid KSUs lokalkontor i Barsebäck

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 följer 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-serierna 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

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, strålskyddsövervakare, Barsebäck Kraft AB

Carl-Erik Wikdahl, civilingenjör, konsult, Energikommunikation AB

Tim Lundström, fil.dok, ansvarig erfarenhetsåterföring, KSU AB

Håkan Wingren, civilingenjör, vice President på E.ON Kärnkraft Sverige