

Rapport från ”Meeting on the Security of Supply of Medical Isotopes in EU member states”, 4-5 maj i Luxembourg

Stig A Larsson

professor/senior scientist at Karolinska Hospital/Institute, Huddinge

1. Inledning

EUROPEAN COMMISSION, general Directorate for energi and Directorate D – Nuclear Energy hade arrangerat detta möte som pågick under 2 dagar 4-5 maj 2010. Mötet hade samlat ett 50-tal representanter varav vi var två från Sverige – avdelningschef Torsten Cederlund från Strålskyddsmyndigheten, SSM och jag själv Stig A Larsson som representerade Karolinska Institutet, Karolinska Universitetssjukhuset i Huddinge samt Svensk Förening för Nuklearmedicin. Både Torsten och jag var tämligen förvånade över att vi var de enda Nordiska representanterna vid mötet. Trots allt ligger ju Norden och Skandinavien i EU:s periferi med särskilda problem när det gäller transport av farligt gods – som radioaktivt material - till en befolkning på omkring 25 miljoner människor.

Nödvändiga åtgärder för att säkerställa tillgången till ^{99}Mo för produktion och distribution av $^{99}\text{Mo}/^{99\text{m}}\text{Tc}$ generatorer för molekylär avbildning och diagnostik i sjukvården har varit föremål för långdragna diskussioner under flera år inom såväl EU som inom den amerikanska kongressen. Antalet nuklearmedicinska studier i världen uppgår till omkring 40 miljoner/år (antalet varierar något beroende på varifrån man fått sina uppgifter) varav USA svarar för ca 20 miljoner, Europa för ca 10 miljoner och övriga världen för 10 miljoner. 80 % av dessa studier utförs med $^{99\text{m}}\text{Tc}$ baserade preparat medan ca 10 % genomförs med cyklotronproducerade PET-radionuklider (^{18}F , ^{11}C , ^{13}N samt ^{15}O) och resterande 10 % med andra radionuklider såsom ^{111}In , ^{131}I med flera.

EU hade tidigare arrangerat ett ministermöte 8-9 september 2008 där man diskuterade den osäkra tillgången av $^{99}\text{Mo}/^{99\text{m}}\text{Tc}$ generatorer i Europa (och hela världen). En EMA-workshop med liknande tema hölls under 4-5 feb 2010 i London. Resultaten av detta möte beräknas att redovisas i en rapport på nätet inom snar framtid ([//ec.europa,ec...](http://ec.europa,ec...)).

Ett av resultaten har i vart fall emanerat i att EURATOM har etablerat en fond (600 MEuro – osäker siffra) till stöd för produktion av radioaktiva isotoper för medicinskt bruk. Lån för investeringar kan beviljas upp till 20 % av den totala investeringskostnaden (Article 172 EURATOM). Ansökan skall vara inne senast under juni-juli 2010.

Totalt hölls 18 föredrag (25 min) av inbjudna föreläsare. Båda dagarna avslutades med en timmes diskussion. Tyvärr kunde vi inte delta i hela den andra dagens diskussion på grund av tidigt flyg. Jag hann dock uttrycka vårt missnöje över rådande

brist och osäkra leveranser av Tc-generatorer i rutinsjukvården och de stora problem som följer med dessa osäkra leveranser. Bristen på generatorer är illa nog men leveransosäkerheten är ett ännu större problem eftersom den ofta leder till att man tvingas avboka allvarligt sjuka patienter som redan fått tid för undersökning till någon annan tid som också den kan vara osäker.

Jag påpekade att om man inte kan lösa dessa problem snarast ser vi kanske ingen annan utväg än övergå från SPECT till (den i dag dyrare) PET i en allt snabbare takt.

Man bör ha i minnet att kostnaden för de reaktorer som används för framställning av ^{99}Mo idag har subventionerats av skattebetalarna i bl.a. Frankrike, Tyskland, Holland, Belgien och Canada. Det påpekades ofta att dessa generatorer nu är 40-50 år gamla och därigenom är driftsäkerheten inte längre till fyllest.

Eftersom kostnaden för en ny reaktor kan vara omkring 500 MEuro är det inget trovärdigt alternativ att ansaffa en ny reaktor enbart för att producera radionuklider för medicinskt bruk. Man måste hitta andra tillämpningar som kan bidra till investeringar och drift. Alternativt skulle 500 MEuro kunna räcka till omkring 250 lokalt placerade cyklotroner med automatiserade radiokemisystem (kostnad ca 2 MEuro/styck). Om man på detta sätt skulle subventionera PET på samma sätt som man tidigare subventionerat SPECT kanske kostnaden för PET i klinisk rutin skulle komma ner till samma nivå som nuvarande SPECT (min egen analys).

Förbrukningen av $^{99\text{m}}\text{Tc}$ beräknas i dag öka med ca 3 %/år medan antalet diagnostiska studier med PET och PET/CT beräknas öka med omkring 20 % per år. En stor del av $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -aktiviteten används för skelettscintigrafi där man vill lokalisera skelettförändringar orsakade av prostata- eller bröstcancer eller perfusionsstudier av hjärtmuskeln blodflöde där man försöker kartlägga infarktutbredningen

Huvudsyftet med detta möte i Luxembourg var att få en presentation av nuvarande allvarliga problem som framför allt varit för handen under de senaste två åren och hur man skall försöka finna lösningar för framtiden. Vi som medverkade i mötet blev utlovade reprints av föredragen som skulle levereras via mail efter en vecka men ännu har inget sådant mail anlämt varför läsaren får tolka mina egna sparsamma anteckningar och vissa uppgifter från webben med viss försiktighet.

2. Problemanalys

I de inledande föredragen redovisades de nuvarande problem med ^{99}Mo -försörjning som sammanhänger med

- Reaktorernas höga ålder (43 – 52 år)
- Bristen på lönsamhet för att driva verksamheten
- Dagens brist på ^{99}Mo -kapacitet vid driftsavbrott eller årligen återkommande översyn
- Tillgång till endast fyra ^{99}Mo -processanläggningar i världen (anläggningar i Asien och Ryssland undantagna)

Trots ca 40 miljoner kliniska undersökningar per år är underlaget inte tillräckligt för att kunna bekosta investering och drift av en reaktor enbart för produktion av radionuklider för medicinskt bruk. I stället har all produktion av medicinska radionuklider replierat på de tidigt konstruerade forskningsreaktorerna som utvecklades under 50- och 60-talen för att främja utbildning av kärnkraftpersonal, forskning och materialprovning (kanske i vissa fall även för produktion av vapenuran (^{235}U) och som i stor utsträckning bekostades eller subventionerades av skattemedel i det egna landet. Genom att utnyttja dessa skattesubventionerade reaktorsystem för produktion av radioaktiva isotoper för medicinskt bruk har man kunnat hålla nere kostnaden för molekylär avbildning samtidigt som man åtminstone delvis kunnat bidra till reaktorernas dagliga driftkostnader.

Vi börjar nu se en baksida av denna hantering. De flesta av forskningsreaktorerna konstruerades och byggdes under 50-60 talet och börjar därmed bli ålderdigna med ökande driftsproblem. Under de senaste åren har över 90 % av ^{99}Mo producerats av endast fem reaktorer i världen:

- **NRU** (Canada),
- **HFR** (Petten, Holland)
- **Osiris** (Frankrike)
- **BR2** (Belgian Reactor 2), Mol, Belgien
- **Safari-1** (Sydafrika).

Medelåldern hos dessa fem reaktorer är mellan 43 och 52 år.

Huvuddelen av ^{99}Mo har hittills producerats i **HEU** (Highly Enriched Reactors) med 50-80 % eller högre anrikningsgrad av klyvbart ^{235}U . När kärnorna från denna nuklid sönderfaller genom n-absorption i atomkärnorna klyvs dessa och ger upphov till en rad olika isotoper med atomvikt runt 116 vilket inkluderar såväl ^{99}Mo som ^{131}I . Extraktion av ^{99}Mo från övriga radionuklider sker i separata anläggningar. I dag finns endast fyra sådana processanläggningar i drift vilket innebär att man lätt blir sårbar om någon anläggning fallerar.

Den höga anrikningen av ^{235}U i HEU-bränslet kan vidare utgöra en lockelse för olika terroristgrupper. I den amerikanska kongressen har man framfört tankar om att i första hand utnyttja ^{99}Mo som producerats med LEU-bränsle. LEU-bränslet innehåller endast 3-4 % anrikat ^{235}U . I dessa reaktorer utnyttjar man stabilt ^{98}Mo som target i processen: $^{98}\text{Mo} + n = ^{99}\text{Mo}$. Reaktorägarna ha ri flera fall ansett att en övergång från HEU till LEU kan bli onödigt kostsam men LEU produktion är redan etablerad och ytterligare reaktorer håller på att byggas om för LEU-drift.

3. Kärnreaktorer för ^{99}Mo -produktion

I de följande föredragen redovisades nuvarande reaktortillgångar (i västvärlden), deras produktionskapacitet samt deras planerade shut-down år. Se även **Fig. 1**

1. NRU (National Research Universal Reactor), Chalk-river, Canada. Uppstart 1957. 60 MW HEU-bränsle. Konverterad 1991 till 135 MW med LEU-bränsle. Shut-down i

november 2007 för underhållsarbeten. Uppstart i december 2007 och ny start i februari efter att ytterligare åtgärder vidtagits. Efter ett par större läckage, orsakade av korrosion, har man tvingats till ytterligare stopp men hela reparationsarbetet har nu fortskridit så långt att man räknar (optimistiskt) med återstart under augusti 2010. Huvuddelen av det LEU-producerade ^{99}Mo kommer att levereras till USA efter avtal på hög nivå vilket i och för sig inte leder till större ^{99}Mo -tillgång i Europa men däremot till mindre konkurrens från USA i Europa om och när NCU-reaktorn kan starta. Normalproduktion täcker ca 40% av ^{99}Mo behovet i världen. NRU-reaktorn var ursprungligen avsedd att tas ur drift redan 2005. Kanske kan man få tillstånd att driva den vidare till 2012 eller ännu längre eftersom ingen ny reaktor för produktion av ^{99}Mo ännu är planerad eller under uppbyggnad i vare sig Canada eller USA.

2. HFR (High Flux Reactor) Petten Holland. 45MW. Uppstart 1961. Uptime = 280 dag/år. Produktion: ^{99}Mo -max kapacitet av världskonsumtionen: 30%.

3. OSIRIS, (The one who sits on the throne – ie. the King). Saclay, Frankrike. 70 MW-reaktor. Uppstart 1966. Up-time ca 200 dag/år. HEU bränsle. 10 % av världens ^{99}Mo -produktion. OSIRIS-reaktorn var planlagd för ett längre och avancerat underhållsarbete under 2010 men detta har hittills fått avvakta tills HFR och NRU-reaktorerna kommer i gång. Beräknad shut-down till 2015.

4. BR2 (Belgian Reactor 2), Mol, Belgien. 60 MW. Uppstart 1961. HEU-bränsle. Bestrålningsstid för 1000 Ci ^{99}Mo uppgår till 150 reaktortimmar. Uptime: 140 dag/år. Max kapacitet ^{99}Mo produktion/år: 16% men efter driftsättning av bränslecykel 3 beräknas kapaciteten öka till 25 % under 2010. Beräknar att övergå till LEU-drift i en nära framtid.

5. Safari-1, Pelindaba Sydafrika. Uppstart i Mars 1965. Driftsatt för HEU-bränsle men meddelade år 2005 att reaktorn skulle konverteras till LEU-bränsle. Oklart om detta skett ännu. ^{99}Mo -produktion ca 10% av världsbehovet. Under pågående försörjningskris 2009- 2010, kunde South Africa's reaktor Safari öka sin kapacitet upp till 25 % av världsbehovet av ^{99}Mo .

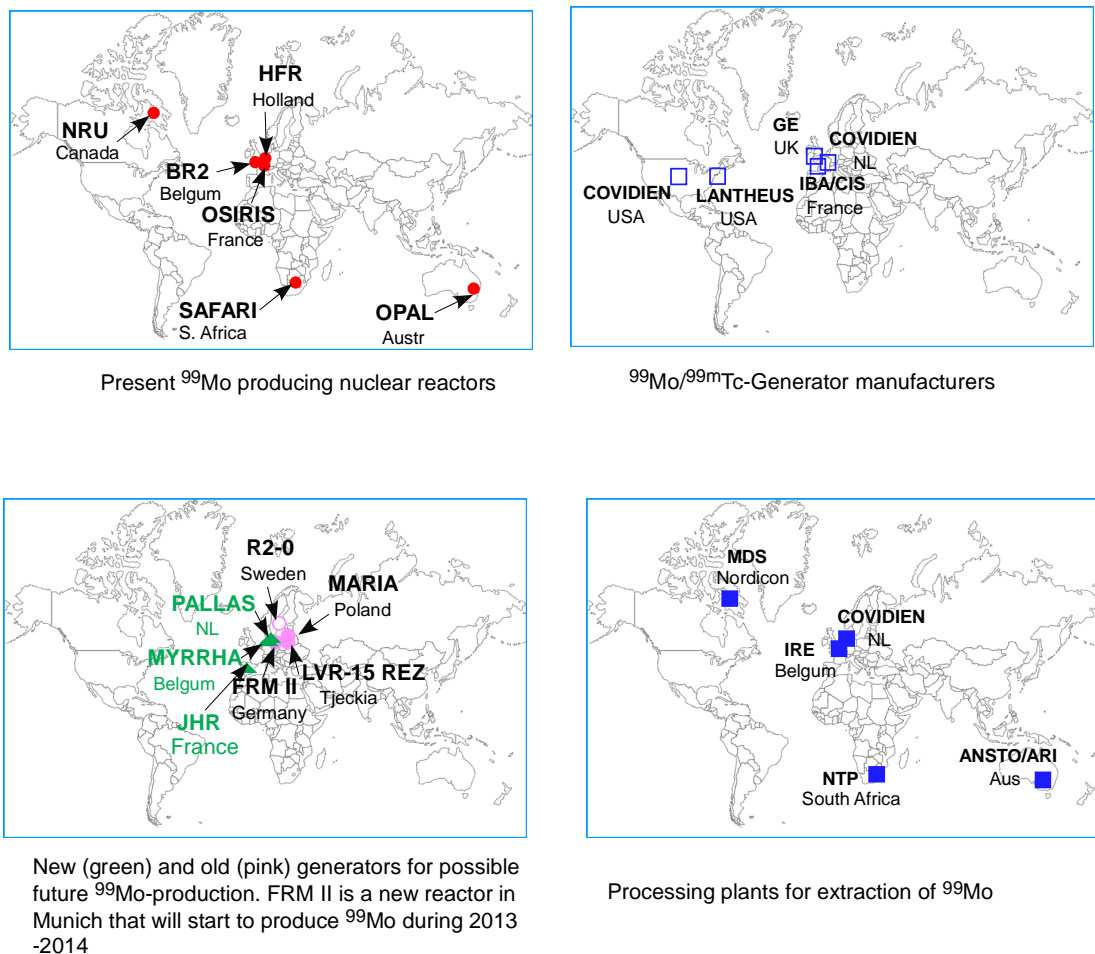


Fig.1. Västvärldens reaktorer, ^{99}Mo processanläggningar samt generatortillverkare

6. Opal, Lucas Heights, south Sydney, Australien. En av de nyaste reaktorerna i världen som startades upp år 2007. Opererar normalt med 28 dagars drift + 2 dagar nedstängning. Producerar ^{99}Mo från LEU-bränsle. Den Australiensiska Opal reaktorn lär ha kapacitet att producera halva världens behov av ^{99}Mo men innan det kan bli verklighet krävs en tidskrävande och omfattande utbyggnad av den befintliga ^{99}Mo -separationsanläggningen. I dag producerar den huvudsakligen ^{99}Mo för inhemskt behov. År 2009 kunde dock Lantheus (tidigare Du Pont) teckna avtal om ^{99}Mo leveranser till USA.

7. MARIA-reaktorn, Swierk-Otwock utanför Warsawa, Poland. 20-30 MW. Start 1974 med HEU-bränsle (först 80% sedan 36%). Med anledning av den akuta bristen på ^{99}Mo annonserade POLATOM i feb 2010 man att man skulle påbörja produktion av ^{99}Mo i samarbete med Covidien. 70 % av reaktortiden är prioriterad för ^{99}Mo -production. Dock endast 5 % beräknad ^{99}Mo -årsbasis.

8. Vidare finns planer på att etablera produktion av ^{99}Mo vid den tjeckiska reaktorn **LWR-15 i Rez**. Den 21 Maj i år tecknade generatorföretaget avtal om ^{99}Mo leveranser från Tjeckien.

Även möjligheter att återstarta en av de avställda reaktorerna **R2 i Studsvik** har diskuterats. Studsvik Medical var ju under lång tid under 1970-1980 talen leverantör av lokalt producerad, så kallad ”instant” ^{99m}Tc till sjukhusen i Mälardalen.

4. ^{99}Mo -separation och generatortillverkare

Separation av ^{99}Mo från övriga aktiviteter sker vid fyra centra i världen: AECL utför separationen i Chalk River medan MDS Nordion renar det separerade ^{99}Mo ytterligare i Kanata, Kanada. Covidien har en motsvarande anläggning i Petten (Holland), IRE i Fleurus Belgien samt NECSA-NTP i Pelindaba, Sydafrika.

När det gäller tillverkning av $^{99}\text{Mo}/^{99m}\text{Tc}$ -generatorer för USA:s behov beräknas 40% av ^{99}Mo komma från **MDS Nordion** i Canada, 25% från **Covidien** (tidigare Mallincrodt/ Tyco healthcare), 20% från **IBA molecular** (tidigare CIS Bio International) samt 10% från **NTP** i Sydafrika. Vidare tillverkas $^{99}\text{Mo}/^{99m}\text{Tc}$ generatorer av **Lantheus Medical Imaging** (tidigare du Pont/Bristol Myers Squibb). I Europa tillkommer dessutom generatortillverkningen vid **GE medical** (tidigare Amersham), UK. Som framgår av denna översikt har många förändringar genomförts under senaste år så att man i dag har ca sex tillverkare kvar om man enbart räknar tillverkningen i västvärlden.

5. Transport av radioaktivt material.

Transport av radioaktivt material mellan olika länder är reglerad av ett otal regler från FN, IAEA, TSR-1, EU class 7, Euratom och kan därigenom bli en ”bottle-neck” i Europas ^{99}Mo försörjning. Denna flora av bestämmelser gör det administrativt krångligt att transportera radioaktiva preparat från ett land till ett annat. EU har därför tagit initiativ till att försöka reducerad dessa administrativa bördor och skapa ett enkelt webb-baserat system så att man endast anmäler transport via webben som sedan transfererar information till respektive länders strålskyddsmyndigheter. Förslaget – TRAM (Transport of Radioactive Material) är ännu så länge endast ett förslag.

På min fråga om vilka transportmedel som skulle täckas in fick jag till svar att man endast avsåg landbaserade transporter. Dessa transporter kan ju fungera bra i mellaneuropa men jag påpekade att länder i EU:s periferi behöver också tillgång till radioaktiva preparat (särskilt reaktorproducerade preparat från mellaneuropa och cyklotronproducerade kortlivade preparat från närliggande länder) som måste transporteras med flyg och båt. För ögonblicket hade man dock bedömt att dessa transportsystem var förenade med så många andra regler att man inte velat inkludera dessa system i nu liggande förslag. Kanske någon gång i framtiden.....

6. Domedagsprofetierna blir sanna - 2010.

I en rapport i januari 2009 från the National Academy of Sciences utmålades en dyster bild upp av leveranssäkerheten av ^{99}Mo från såväl NRU i Canada som från HFR-reaktorn i Petten, Holland.

Mycket tidigare än man kunde ana realiserades dessa farhågor i den faktiska verksamheten. I mitten av maj 2009 fick NRU-reaktorn i Canada stänga ner abrupt efter att en mindre läcka lokaliserats. Man räknade då med att reaktorn skulle kunna återstartas under första kvartalet 2010. Nu, långt senare, räknar man med att kunna starta upp först under juli-augusti 2010. I mars 2010 hade ca 65 % av reparationsarbetet utförts. Detta missöde inträffade under samma tidsperiod som man planerat ett 6 månaders uppehåll i Petten för mer omfattande underhåll och reparation av HFR-reaktorn. Man hade genomfört flera sådana reparationer under 2008 men de behövde kompletteras för att man skulle få tillstånd att fortsätta driften av reaktorn igen. Start-up beräknas nu ske i mitten av augusti 2010 eller senare. Hur reparationsarbetet fortskrider kan man följa på webben AERL (NRU reactor updates) och NRG (HFR updates).

Dessa båda missöden innebar att omkring 70 % av hela världens dåvarande ^{99}Mo -försörjning hade slagits ut för en period av flera månader! Visserligen försökte man utöka produktionen vid övriga reaktor-sites i Sydafrika, Polen och Australien men tillskottet var långt under det faktiska behovet. Man hade ju även planerat underhåll av övriga ^{99}Mo -producerande reaktorer i världen under samma tidsperioder men det fick skjutas på framtiden. Till råga på alla bekymmer stoppades en av processenheterna i Europa medan den andra enheten inte kunde tillverka några generatorer i brist på bestrålade targetts.

Man har uppskattat att aktiviteten i de levererade ^{99}Mo -generatorerna hittills under 2010 har varit reducerad med, i medeltal, ca 25-30 % . Detta kan illustreras med ett konkret exempel från Karolinska Universitetssjukhuset i Huddinge som har en stående leverans om 30.1 GBq/vecka. Från 1 jan 2010 till 1 maj 2010 levererades 18 generatorer. Av dessa hade endast hälften – 50 % - beställd aktivitet. Övriga 9 generatorer hade aktivitet från 8.6 till 25.8 GBq vilket naturligtvis drabbade patienterna – främst hjärtpatienter- som ej kunde få sin undersökning utförd som planerat. Flera patienter har därigenom fått genomgå ultraljudsundersökning i stället för scintigrafi – ett alternativ som man kanske inte hade lika lång erfarenhet av och därigenom inte blivit helt jämförbar med en motsvarande scintigrafisk undersökning (SPECT). I USA har man vidtagit åtgärden att gå tillbaka till att utföra hjärtundersökningar med ^{201}Tl . Denna metod ger emellertid upphov till högre stråldoser och underlägsen bildkvalitet vilket försvårar en säker tolkning av patientresultaten.

7. Framtida åtgärder – som att spå i en dimmig kristallkula - av ^{99}Mo .

Andra dagens presentationer handlade främst om framtida tillgång och leveranssäkerhet av ^{99}Mo men i första hand enbart till Europa. Enligt min uppfattning är det alltför osäkert att göra en framtida bedömning av tillgången enbart i Europa när man ändå måste ta hänsyn till behovet och produktionen av ”moly” i den övriga världen. Särskilt när man vet att 50 % av all ^{99}Mo konsumeras i USA – som inte har någon egen produktion av ^{99}Mo . ^{99}Mo är ju kommersiellt tillgänglig på en öppen världsmarknad och hittills har Europa svarat för huvuddelen av ^{99}Mo - produktionen i västvärlden. Om man analyserar gamla och pågående reaktorverksamheter i ser det ut som att Europa skall fortsätta att vara den ledande producenten av ^{99}Mo i västvärlden

under överskådlig tid framåt. Häri ingår även konstruktion och driftsättning av ett antal nya reaktorer.

FRM II (Forschungsreaktor München II), München, Tyskland. Denna nya kärnreaktor startades upp redan 2005 med en effekt av 20 MW och högt neutronflöde (2×10^{14} n/cm²/s). Reaktorn laddades ursprungligen med 93 % anrikt ²³⁵U men detta medförde stora protester från allmänheten som befarade att sådant höganrikt material kunde falla i terroristhänder varför man nu planerar för att gå över till medellanrikt uran (50 %) efter 2010. Reaktorn beräknas vara i drift 240 dag/år och skall även utnyttjas för tumörterapi. FRM II förefaller ha etablerat ett samarbete med IRE i juni 2009 för produktion av ⁹⁹Mo. Man räknar med att kunna bestråla 15 targets samtidigt vilket skulle ge 17,000 Ci efter 6 dagars bestrålning. Man räknar med att starta produktionen under 2013 och ha full produktionskapacitet under 2014.

JHR (Jules Horowitz Reactor) är en ny typ av reaktor som byggs i samarbete med flera länder (Spanien, Belgien, Finland, Frankrike, Japan, Japan, Tjeckien och Indien) samt ett antal större kraftföretag, bl.a. VATTENFALL i Sverige. Nybyggnaden har även stöd av EU och den franska atomenergi kommissionen (CEA). Avsikten är att den skall användas för materialprovning och forskning med en effekt av 100 MW. Den medicinska industrin har bidragit med ca 25 MEuro vilket skulle ge den ca 5% reaktortid. Övrig industri och forskning har bidragit med ca 250 MEuro vilket innebär 50% ägande. Vattenfalls bidrag lär ha varit ca 100 MSEK. Reaktorstart är beräknad till 2014 då man skall kunna bestråla 500 – 1000 targets/år vilket skulle innebära ett ⁹⁹Mo-tillskott av ca 2000 – 4000 Ci/vecka.

Ytterligare två reaktorer är på planeringsstadiet - PALLAS och MYRRAH – men de är ännu inte helt finansierade.

PALLAS (named after the Greek goddess of wisdom, knowledge and patroness of art and science) Holland, som är avsedd att ersätta nuvarande HFR-reaktorn i Petten. Avsikten är att reaktorn skall börja byggas 2012 och vara färdig år 2016. Man har hittills lyckats få finansiering för ca 2/3 av hela byggkostnaden.

MYRRAH, Belgien är en acceleratordriven forskningsreaktor som kan komma att ersätta nuvarande BR2 när den skall tas ur bruk omkring 2022. Belgiska regeringen har gett sitt ok för att sätta igång arbetet. Planerna för den nya reaktorn är att den skall användas för materialprovning, försök att destruera långlivade restnuklider från använt kärnbränsle, kärnforskning samt produktion av radioaktiva isotoper för medicinskt bruk.

En sammanfattning av reaktorsituationen i västvärlden nu och under kommande år redovisas i nedanstående tabell 1. Det angivna procentuella bidraget av ⁹⁹Mo är en uppskattning av den maximalt möjliga produktionen och utgår från dagens behov (100 %) i världen.

<i>Reaktor</i>	<i>Land</i>	<i>% bidrag av ⁹⁹Mo</i>	<i>Shut-down</i>	<i>Start-up</i>
NRU	Canada	40	2011?	-
HFR	Holland	30	2016-2017	-
JHR	Frankrike	20	-	2014
OSIRIS	Frankrike	10	2016	-
BR2	Belgien	25	2022	-
Maria	Polen	5	?	-
FRM II	Tyskland	20	-	2014
Safari-1	Sydafrika	10-20	?	-
Opal	Australien	10?	?	-
PALLAS	Holland	50	-	2017? (ej beslut)
MYRRHA	Belgien	25	-	2022? (ej beslut)

Tabell 1. Forskningsreaktorer i drift under uppbyggnad och under planering i västvärlden för att kunna bidra till ⁹⁹Mo-försörjningen i världen.

Huvuddelen av de maximala produktionskapaciteterna (%) i ovanstående tabell är hämtade från "Multi-sources Mo-99 production scenario for Europe. Position paper CEA-NRG-TUM-SCK CEN document 13-04-10 (9 sidor) som bifogades introduktionen till Luxembourgmötet. Övriga uppgifter har hämtats från litteraturen eller helt enkelt uppskattats (OPAL) utifrån redovisad verksamhet.

Produktionen av ⁹⁹Mo under en nära framtid i Europa beräknas kunna uppgå till 6,500 Ci/vecka. Detta skulle mer än väl räcka för Europas hela behov som har beräknats till ca 2600 Ci/vecka. Man skulle då kunna förledas att tro att Europa skulle ha ett överskott eller en reservkapacitet om ca 4000 Ci/vecka. Men då glömmar man att USA (utan egen ⁹⁹Mo-produktion) efterfrågar ca 5000 Ci/vecka och övriga världen ca 2,500 Ci/vecka.

Det innebär ett totalt behov av ca 10,000 Ci/vecka och med en processökning av 3% per år skulle behovet i hela världen uppgå till ca 11,600 Ci/vecka år 2015. Om nya reaktorer kommer i drift som planerat beräknar man senare att kunna uppnå en världsproduktion om ca 15,000 Ci/vecka. Ett driftsavbrott i en större reaktor eller i en processanläggning skulle fortfarande kunna leda till knapphet om inte av samma dignitet som den nuvarande under första terminen av 2010.

8. Slutsatser

Jag har varit sysselsatt i den nuklearmedicinska verksamheten vid Karolinska Universitetssjukhuset under 36 år och känner väl till de problem som blir förknippade med försenade eller uteblivna leveranser av radioaktiva läkemedel.

Att ringa till patienter som ofta kan ha en allvarlig sjukdom och förklara att vi tyvärr måste uppskjuta undersökningen till en annan dag kräver både omdöme, tålamod, tid och empati. Det är helt uppenbart att de uteblivna eller oväntat låga aktiviteter som levererats till sjukhusen under det första halvåret 2010 har utgjort en uppenbar stressfaktor för såväl patienter som personal. Eftersom leveranserna varit så osäkra har det även påverkat våra remitterter som i flera fall gått över till annan diagnostik med högre säkerhet att ge svar.

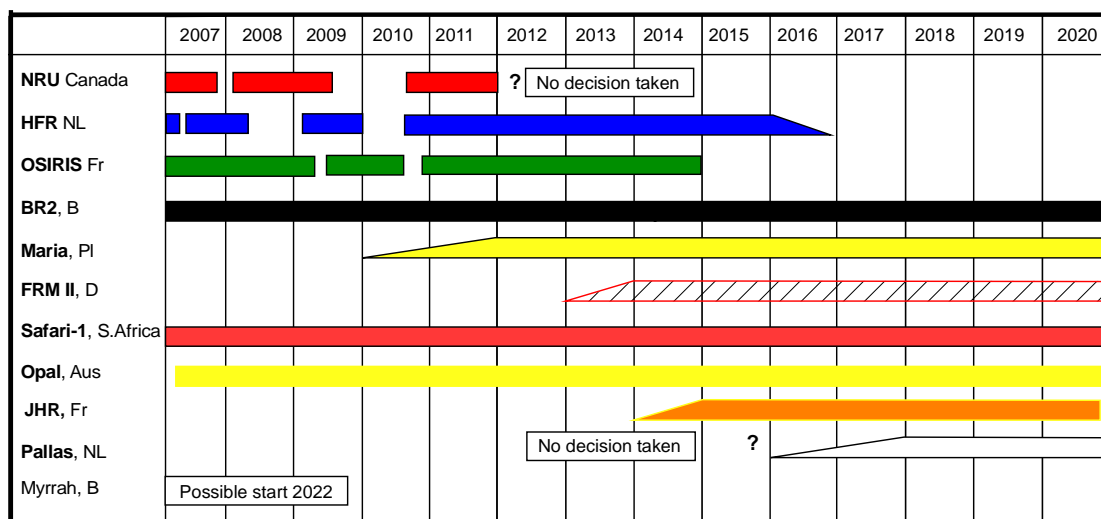


Fig. 2. Estimate of ^{99}Mo -producing nuclear reactors over the time period 2007-2020.
 Only reactors in Europe, Northern America, South-africa and Australia have been considered
 At year 2020 the European ^{99}Mo production/European present need will be around 240 %

De frågor som jag mot den bakgrunden önskade få besvarade var:

1. Var detta en engångsföreteelse eller kan det hända igen?
2. Är det bristen på driftsäkra reaktorer som skapat problemen? Kommer leveranssäkerheten att kunna förbättras på lång eller kort sikt?
3. Är det främst ekonomiska faktorer som ligger bakom eller är det människornas oro för kärnenergi som avgör?

Man kan först konstatera att ^{99}Mo produceras i dag endast av reaktorer som är över 40 år eller äldre. Det är uppenbart att nya driftstörningar kommer att dyka upp ju äldre systemen blir – särskilt mot bakgrund av att de nuvarande producenterna är forskningsreaktorer utan samma stora ekonomiska resurser för löpande underhåll som elkraftproducerande reaktorer har.

8.1. Närtid. Om man först tittar på mycket kort sikt så skulle den värsta pärsen möjligen vara över eftersom de mest kritiska veckorna skulle varit 14,19,20, och 21. Men problem kvarstår även under juli och under julen 2010 – under förutsättning att de båda NRU- och HFR-reaktorerna i Canada och Holland verkligen kan tas i drift under augusti efter de omfattande revisionerna. Förutsättningarna för tillförlitliga leveranser under den kommande två-årsperioden bör då vara tämligen goda om man inte drabbas av ytterligare driftstörningar. ^{99}Mo kommer då att kunna produceras av de tre viktiga reaktorerna NRU, HFR samt BR2 (Belgien) med back-up av OSIRIS (som senare skall genomgå en översyn under 2010), Safari-1 samt OPAL och Marie.

8.2 Medellång tid. År 2012 kan riktigt allvarliga problem börja dyka upp igen om man gör en realitet av att stänga ner NRU-reaktorn i Canada som planerat innan man börjat kunna producera ^{99}Mo i den tyska FRM II-reaktorn och i den nya franska JHR-reaktorn (2013-2014). Ca 40 % av ^{99}Mo -produktionen försvinner då vilket innebär att säkerheten av

leveranser från
övriga reaktorer
blir allt mera
kritisk.

Man har då
ingen egen
produktion av
 ^{99}Mo i vare sig
Nord- eller Syd-
amerika vilket
innebär att USA
kommer att
behöva
konkurrera om
den producerade
aktiviteten i
Europa – utöver
de kontrakterade
leveranser som
man tecknat
med bl.a.

Sydafrik a och Australien

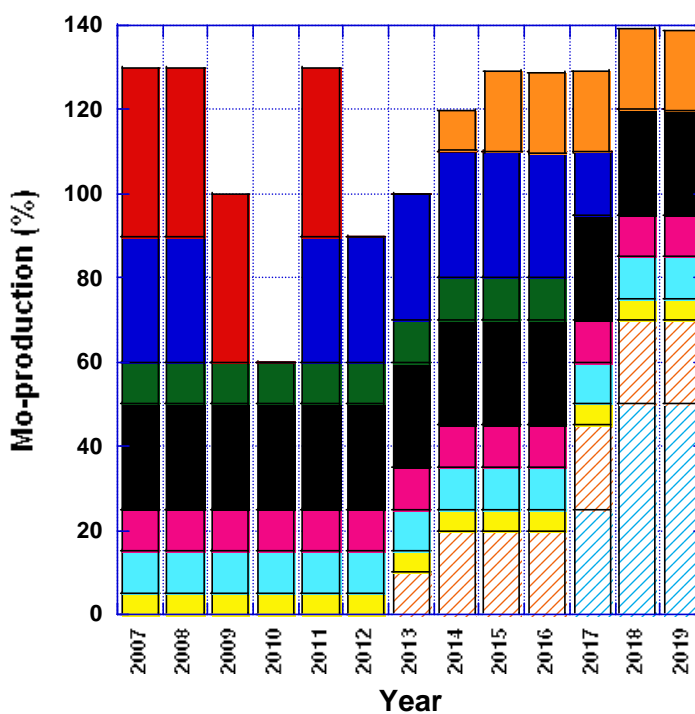


Fig. 3. Tillgång till kärnreaktorer samt ^{99}Mo produktion under tidsperioden 2007-2020

8.3 Framtiden i ett längre perspektiv. Situationen borde dock böja ljusna kring år 2013-2014 då den tyska reaktorn FRM II liksom den franska JHR reaktorn är planerade att kunna producera ^{99}Mo regelbundet (röd streckade samt orangefärgade kolumnerna i Fig.3.) Obs att ett fel insmugit sig i produktionen från OSIRIS (gröna staplar) som beräknas vara avslutad 2015 och inte 2016 som tycks framgå av figuren. Om också PALLAS reaktorn (blå streckade kolumnerna) kommer igång som planerat (först måste dock hela finansieringen lösas) kommer sannolikt ^{99}Mo produktionen att vara säkrad för lång tid framöver.

Man måste ju även ta med utvecklingen av PET-tekniken i sina kalkyler. PET har ju en utomordentlig utvecklingspotential inom den molekylära avbildningen där man kan märka de flesta biologiskt aktiva substanser med någon av bio-isotoperna ^{11}C , ^{13}N , ^{15}O samt ^{18}F och inte behöva störas av främmande atomer. PET-tekniken ökar ju också med omkring 20 %/år

En annan viktig fråga rör ekonomin. Generatorerna har stigit i pris under senaste år. Fortfarande anser man inte att produktionen är tillräckligt lönsam och att det är den enskilda reaktordrivande staterna som subventionerar bestrålningsverksamheten med skattemedel. Man bör nog kalkylera med ytterligare höjningar av generatorkostnaden under kommande år. Vidare kommer vi att få betala för den överproduktion av ^{99}Mo som måste byggas upp för att säkra framtida leveranser.

9. Acknowledgements.

Ett stort tack till Svensk Förening för Nuklearmedicin och till Diagnostisk Radiofysik vid Universitetssjukhuset i Huddinge för ekonomiskt bidrag som gjorde mitt deltagande i Luxembourg möjligt.