

A plan for decommissioning of a medical cyclotron vault

Ingunn Løvik, Vera Gjervan

Department of Radiology and Nuclear Medicine, St. Olavs hospital, Trondheim University Hospital, Norway

Pre-decommissioning plan

Tillatelse TU13-32-4 etter forurensningsloven til utslipp av radioaktive stoffer og håndtering av radioaktivt avfall fra St. Olavs hospital HF

Tillatelsen er gitt med hjemmel i forurensningsloven § 11, jf. § 16, jf. forskrift om forurensningslovens anvendelse på radioaktiv forurensning og radioaktivt avfall § 4.

Tillatelsen er gitt på grunnlag av søknad datert 28.11.2011, og søknader om endring i tillatelsen datert 06.06.2016, 04.07.2017, 26.05.2020 og 21.11.2022 samt opplysninger fremkommet under behandling av søknadene. Direktoratet for strålevern og atomikkerhet (DSA) understreker at både menneskers helse og vern av miljøet skal ivaretas ved bruk og utslipp av radioaktive stoffer.

Tillatelsen gjelder fra dagens dato.

Annem aktuell lovgivning gjelder uavhengig av denne tillatelsen, og tillatelsen er (heretter kalt virksomheten) fra oppfyllelse av krav i annet regelverk.

Virksomheten må på forhånd avklare skriftlig med DSA endringer den ønsker å for opplysninger gitt i søknaden eller under saksbehandlingen som kan ha miljømessig eller vesentlige deler av tillatelsen er tatt i bruk innen 1 år etter at tillatelsen i virksomheten sende en redegjørelse for virksomhetens omfang slik at DSA kan vurdere tillatelsen.

Informasjon om virksomheten	
Virksomhet	St. Olavs hospital HF
Gateadresse	Olav Kyrres gate 17, 7006 Trondheim
Postadresse	Postboks 3250 Torgarden, 7006 Trondheim
Kommune og fylke	Trondheim, Trøndelag
Bransje	Helseforetak
Organisasjonsnummer	883 974 832

Tillatelse gitt: 18.06.2013	Endringsnummer: 4	Sist end
-----------------------------	-------------------	----------

Ingeborg Mork-Knutsen seksjonssjef	Shawn C r
Dokumentet er elektronisk godkjent.	

Tillatelsesnummer: TU13-32-4	Saknummer: 23/03079
------------------------------	---------------------

3.2. Spesifikke krav til dekommisjoneringsplan

Virksomheten skal inneha en dekommisjoneringsplan som skal oppdateres jevnlig gjennom driftstiden til PET-anlegget for å sikre at dekommisjeringen kan utføres på en sikker måte. Dette innebærer blant annet at:

- Virksomheten skal ta høyde for dekommisjonering av anlegget så tidlig som mulig i planleggingsfasen. Dekkommisjoneringsplanen skal oppdateres gjennom hele driftstiden inntil anlegget dekommisjoneres.
- Den første versjonen av dekommisjoneringsplanen er påkrav for å demonstrere at den planlagte dekommisjeringen kan gjennomføres på en sikker måte ved bruk av tilgjengelig teknologi, at det er tilstrekkelig finansiell sikkerhet og for å identifisere avfallsfraksjoner og mengder avfall som vil genereres.
- Dekommisjoneringsplanen skal oppdateres minimum hvert femte år, eller oftere dersom endring i drift medfører behov for endring i planen. Oppdateringer skal som et minimum inkludere erfaringer virksomheten opparbeider seg fra egen drift, erfaringer fra dekommisjonering av andre anlegg og tilpasning til eventuelle nye sikkerhetskrav eller teknologisk utvikling relevant for den valgte dekommisjoneringsplanen. Oppdatert dekommisjoneringsplan skal sendes til DSA for gjennomgang som vedlegg til årsrapporten for årene det er relevant.
- Ved uhell eller uheldige hendelser relevant for dekommisjeringen, skal planen oppdateres så raskt som mulig.
- Journaler og rapporter som er relevante for dekommisjeringen skal oppbevares av virksomheten gjennom livstiden til anlegget. Anleggets design, eventuelle endringer i design og anleggets driftshistorikk skal kunne dokumenteres, og skal vurderes ved utarbeidelse og oppdatering av dekommisjoneringsplanen. Dersom en permanent driftstans skjer før en endelig dekommisjoneringsplan er utarbeidet, skal en slik plan utarbeides så raskt som mulig.

DSA viser til IAEA Safety Standards Decommissioning of Facilities No. GSR Part 6 og No. SSG-49 Decommissioning of medical, industrial and research facilities for utfyllende informasjon og veiledning på dekommisjoneringsplaner, og forventer at dekommisjoneringsplanen oppdateres i henhold til disse.

3.3. Spesifikke krav til luftrensefilter

Luftrensefilterne vil oppkonsentrere radioaktive stoffer, og kan derfor være definert som radioaktivt avfall når de skal byttes ut. Dersom den spesifikke aktiviteten for radioaktive stoffer overskrider grenseverdier i forskrift om radioaktiv forurensning og avfall vedlegg I a), skal luftrensefiltere håndteres som radioaktivt avfall og leveres til godkjent avfallsmottak.

3.4. Spesifikke krav til folier og «targets»

Folier og «targets» som benyttes for å produsere radionuklidene til radioaktive legemidler kan bli aktivert og dermed være definert som radioaktivt avfall når de byttes ut. Virksomheten må vurdere om nivåer av radioaktive stoffer i folier og «targets» som må byttes ut i driftsperioden kan overskride grenseverdier i forskrift om radioaktiv forurensning og avfall vedlegg I a), og håndtere det eventuelle radioaktive avfallet i tråd med gjeldende regelverk.

Specific requirement in the radioactive waste permission:

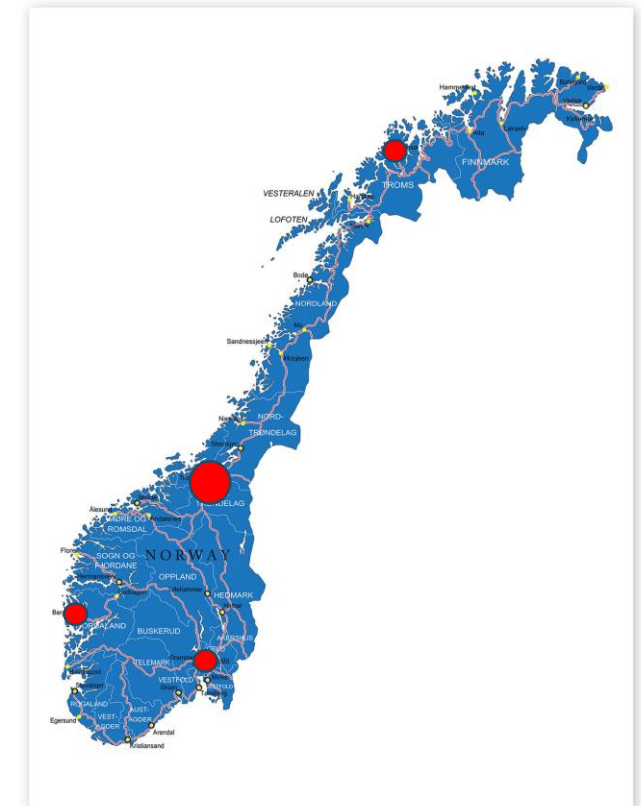
Decommissioning should be included as early as possible in the project of the cyclotron and the cyclotron vault

The decommissioning plan

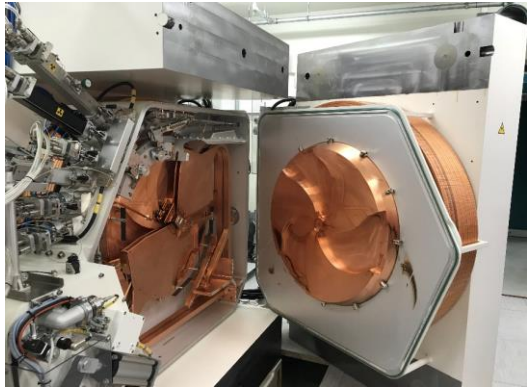
- must demonstrate that decommissioning can be performed in a safe manner
- Include a prediction of amount of radioactive waste
- Include financial security
- Updated at least every 5 years

Medical PET cyclotrons in Norway

Hospital	Cyclotron	Year of installation	Licence for use	Decommissioning plan as licence requirement
Norwegian Medical Cyclotron Center AS, Oslo	GE PETtrace 800	2005/2006	2006	No
Helse Bergen	GE PETtrace 840	2008	2010	No
St. Olavs hospital	GE PETtrace 860	2018	2018	Yes
Universitetssykehuset i Nord-Norge	GE PETtrace 880	2019	2019	Yes



Cyclotron

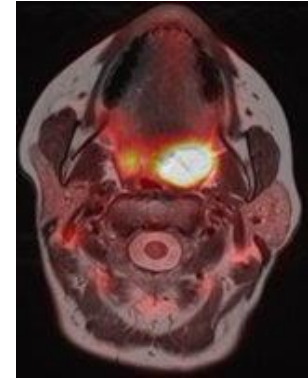
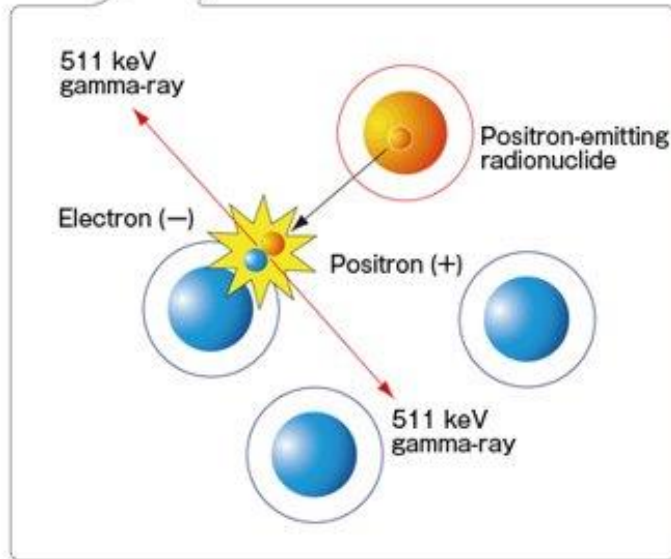
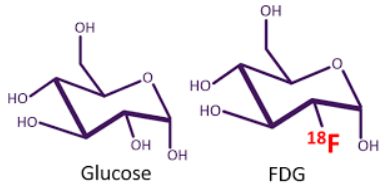


Radioisotope



Radiochemistry

Tracer + radioisotope => radiotracer



Cyclotron

Accelerates protons up til 16,5MeV

There are six targets

$^{11}\text{C-CH}_4$ (not in use)

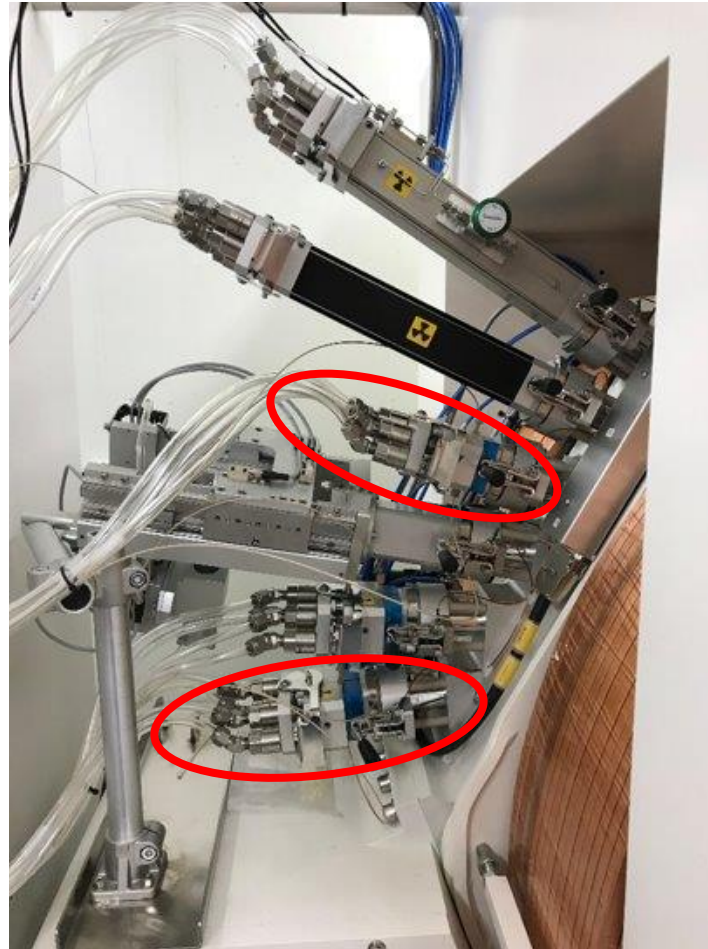
$^{11}\text{C-CO}_2$

$^{18}\text{F-}$

^{64}Cu

$^{13}\text{N-NH}_3$ (not in use)

$^{18}\text{F-}$



Activation of the cyclotron components are mainly due to high-energy protons and the activation of the cyclotron vault is mainly due to the high-energy neutron flux.

The major components of the high energy neutron flux comes from reactions in the target and from the Havar-foils.

18F target 2,5 ml ^{18}O enriched water

Weekly productions 4 night + 1-3 day

Typical irradiation conditions 18F – 65mA for 35-50 min

Activity typically produced at end of bombardment 110 GBq of 18F (night)
30 – 90 GBq of 18F (day)

Reactions	Half-life
$^{18}\text{O(p,n)}^{18}\text{F}$	^{18}F – 110min
$^{14}\text{N(p,}\alpha)^{11}\text{C}$	^{11}C – 20min
$^{64}\text{N(p,n)}^{64}\text{Cu}$	^{64}Cu – 12,7h

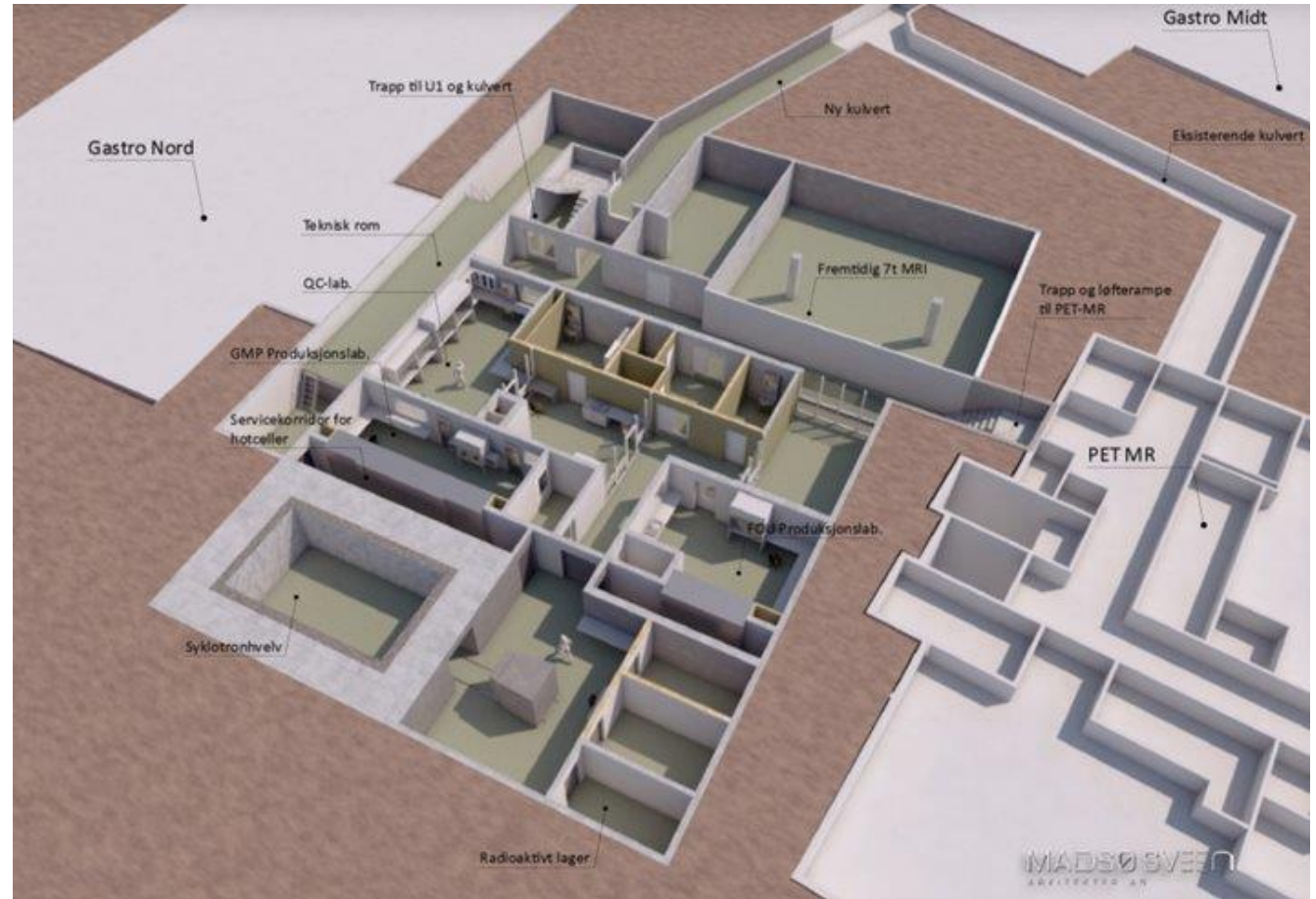
Cyclotron vault



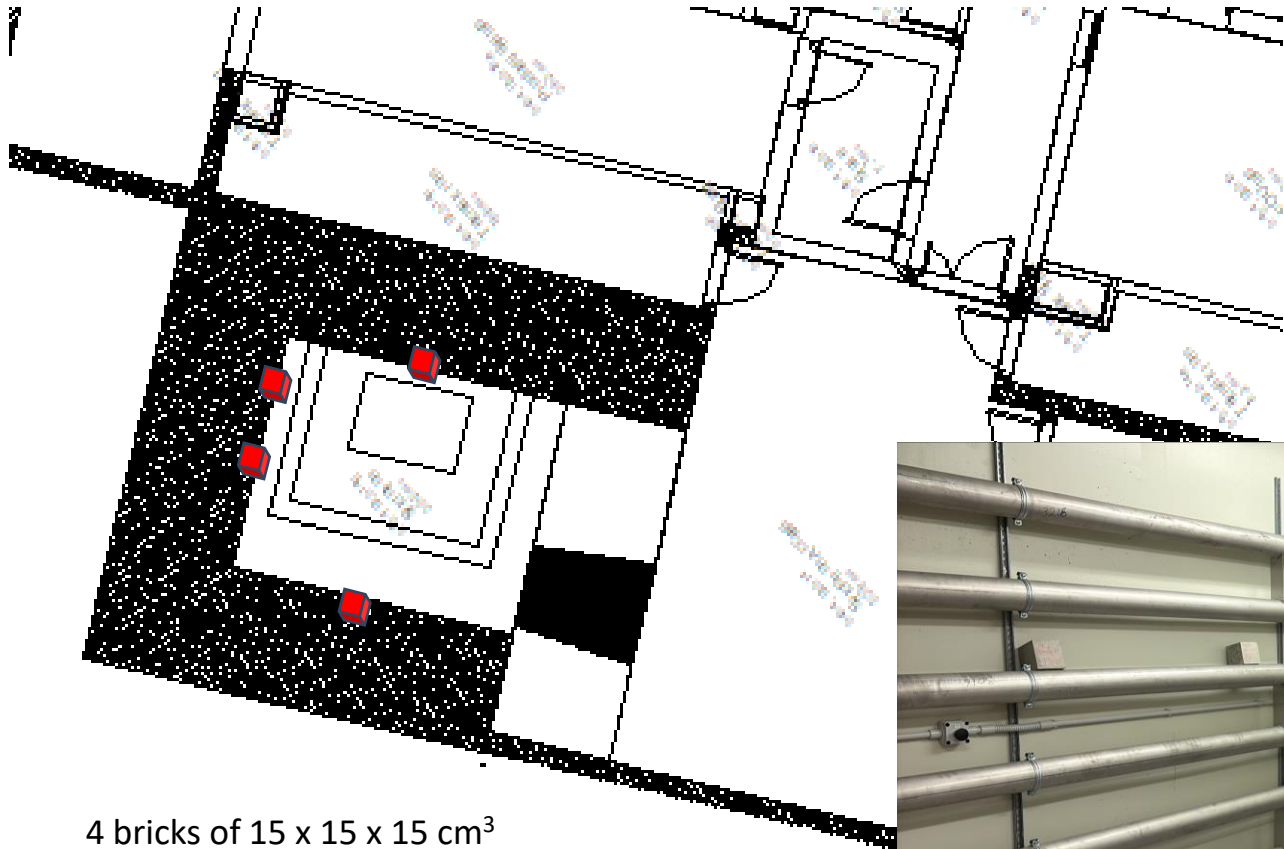
Cyclotron vault

- Below ground level
- Two of its outer walls and floor confines with earth
- Inner dimensions: 5m x 4,1m x3m

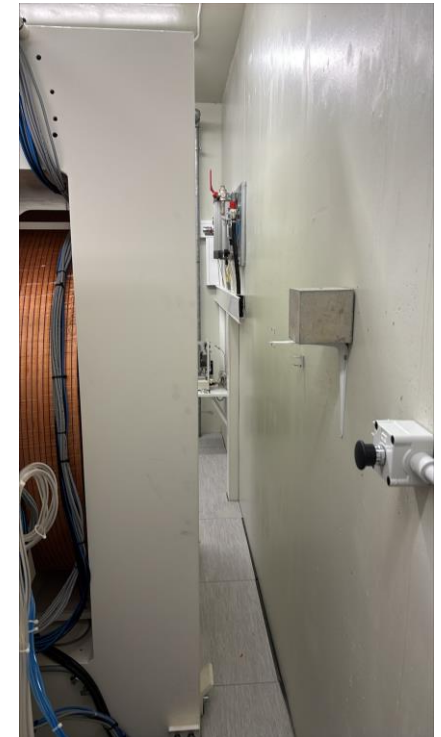
	Thickness (m)	Concrete	Density (g/cm ³)
Walls	2,1	B20M90/B35M45/B20M90	2,380/ 2,446/ 2,380
Roof	2,1	B35M45	2,446
Floor	1-1,3	B35M45	2,446
Bricks		B20M90	2,380



Test bricks



4 bricks of 15 x 15 x 15 cm³
Test for activation of the concrete, amount
and isotopes,

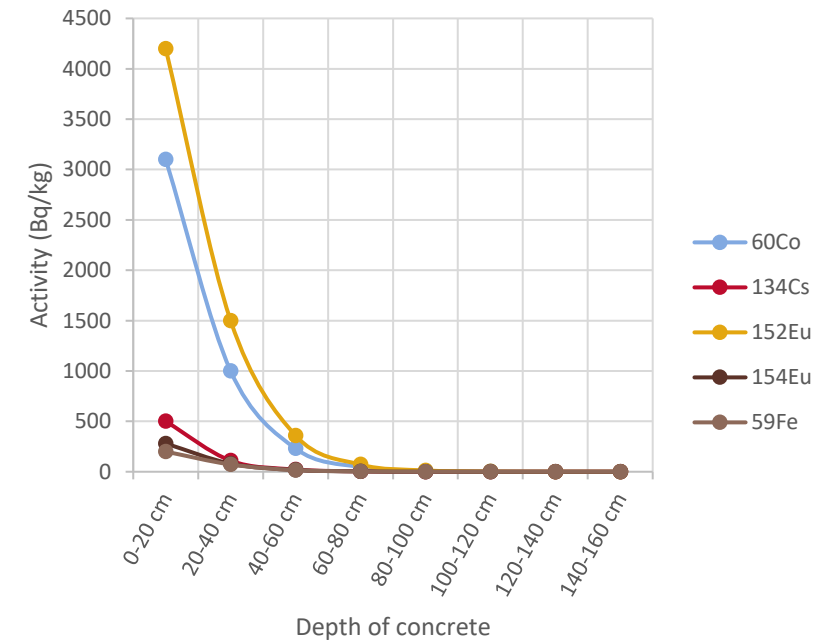


Activation of concrete

The table shows the activity level of concrete after a decay period of 30 days from Monte Carlo simulations of a GE Healthcare vault (4,0m x 4,5m x 2,5m) after 20 years of PET isotope production (only ^{18}F).

Nuclide	0-20 cm	20-40 cm	40-60 cm	60-80 cm	80-100 cm	100-120 cm	120-140 cm	140-160 cm	Limit (Bq/kg)
^{60}Co	3100,00	1000,00	230,00	46,00	8,20	1,40	0,23	0,03	100,00
^{134}Cs	500,00	110,00	22,00	4,10	0,70	0,12	0,02	0,00	100,00
^{152}Eu	4200,00	1500,00	360,00	71,00	13,00	2,20	0,36	0,05	100,00
^{154}Eu	280,00	80,00	17,00	3,40	0,61	0,10	0,02	0,00	100,00
^{55}Fe	12000,00	4400,00	1000,00	200,00	36,00	6,20	1,00	0,14	1000000,00
^{59}Fe	200,00	72,00	16,00	$\frac{3,30}{\sum_k c_k}$	0,58	0,10	0,02	0,00	1000,00
^3H	63000,00	23000,00	5200,00	$110 \frac{\sum_k c_k}{c_{s,k}}$	190,00	32,00	5,20	0,75	100000,00
	81,6	27,2	6,4	1,3	0,2	0	0	0	

GE Healthcare, 2017. DOC2036109: PT800 Decommissioning Guidelines, Uppsala: s.n.



The results from MC simulations shows that

- The activity will be highest within the first 20 cm of concrete
- The first 60-80 cm will be above limit and classified as radioactivity waste
- The activation is non homogeneous within the vault hence the analysis of the test bricks can only be used as an aid in identification of areas of highest activity
- Before decommissioning samples from the walls should be analysed
- The specific activity of the concrete may be low but the amount of activated material may be high

Decommissioning plan

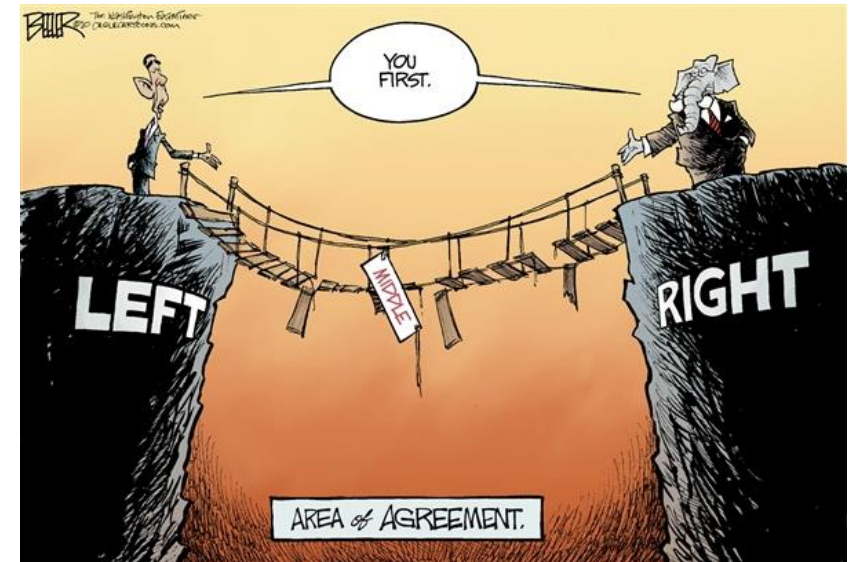
The decommissioning plan takes into account three possible scenarios

1. Planned replacement of the cyclotron due to end of life
2. Unplanned shutdown of cyclotron and consequent replacement of cyclotron
3. Planned shutdown of cyclotron and decommissioning of cyclotron and cyclotron vault

For the first two scenarios

- The decommissioning method must be seen in light of the requirement for **continuous specialist health services** and that a shutdown of own radiopharmaceutical production will in itself entail an additional cost for St. Olavs Hospital.

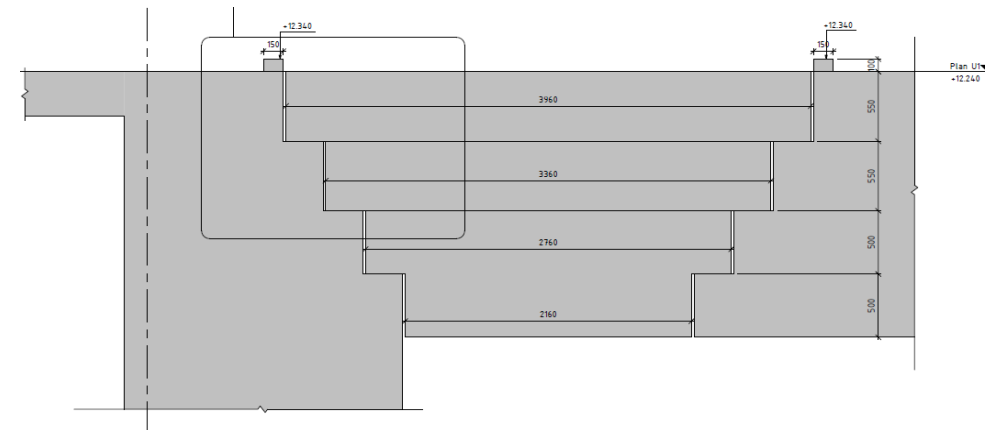
-The decay period will hence be a compromise between the cost of radiopharmaceutical and the cost of radioactive waste disposal.



Replacement of cyclotron

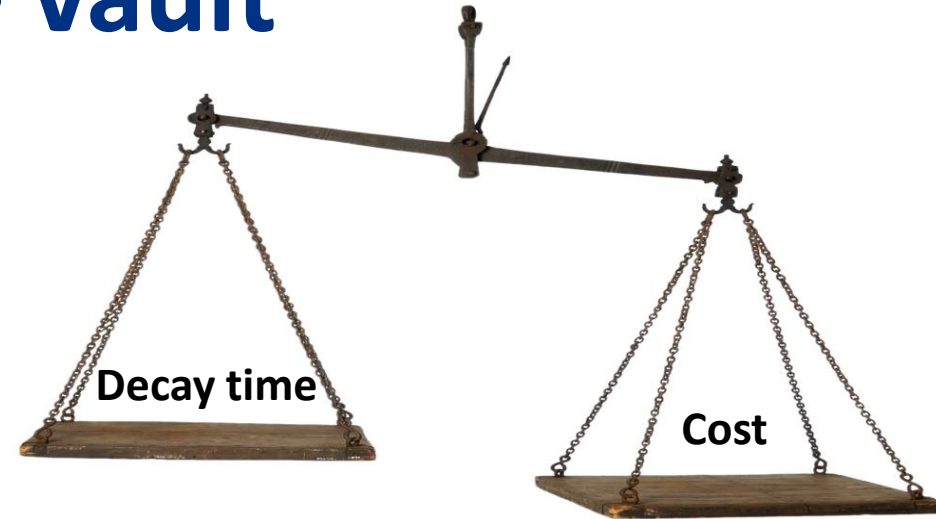
A planned replacement of the cyclotron will follow these points:

1. Ensure that funds are set aside for decommissioning the old cyclotron and purchasing a new cyclotron in the hospital's budget for the relevant year (minimum 2 years before the planned outage).
2. Notify DSA, Trondheim Municipality and other relevant stakeholders of the planned outage
3. Detailed planning of decommissioning based on risk assessments, also taking into account any continuous specialist health services
4. Clarify reuse/return of cyclotron components with supplier
5. Obtain offers and enter into agreements for dismantling, collection of waste, etc.
6. Submit final decommissioning plan to DSA at least 1 year before planned outage
7. Stop using the cyclotron (shutdown) according to the approved decommissioning plan
8. Decay period: a decay period of e.g. 30 days will be a compromise between the costs of a shutdown (continuous specialist health service, i.e. radiopharmaceutical supply, must be ensured) and the costs of disposal of radioactive waste.
9. Gamma spectrometry and other analysis of samples from concrete walls/ceilings/floors, estimation of radioactive concrete dust from lifting of concrete ceilings, determining measures for the protection of the environment and people
10. Dismantling of cyclotron with the aim of the greatest possible degree of reuse at another location or return to dealer
11. Dose rate measurements of cyclotron components to be sent to another location or returned to dealer, classification according to the Regulations on Land Transport of Dangerous Goods and arrangement of transport to another location/dealer
12. Dose rate measurements, identification of isotopes and calculation of activity concentration in cyclotron components to be deposited
13. Classification of radioactive waste from cyclotron and bunkers according to the Regulations on Land Transport of Dangerous Goods
14. Transport of radioactive waste to an operator with a permit for the treatment and storage of radioactive waste



Cross section of the roof of the cyclotron vault

Decommissioning of the vault



Decay time	Depth	Cost
30 days	60cm*	110 MNOK
30 years	40cm*	
60 years	20 cm*	

*Based on 20 years of production

Conclusion

- The MC simulations only considers a 20 years production time (one life-time of one cyclotron), the vault will most probably be used for a minimum of two cyclotrons and the MC simulations must be repeated
- The bricks can be useful in establishing the activation of the concrete but are most likely not sufficient
- A decay period of 30 years for the vault and 1 year for the cyclotron before decommissioning seems plausible
- Experience from similar sites in Norway will most probably be available for the elaboration of the final decommissioning plan

