

Prosjekt:

# Nytt klinikk- og protonbygg Radiumhospitalet

Tittel:

## Plan for dekommisjonering Protonterapi



05	Utgitt for implementering	17.04.23	KRR	MON	PMH	
04	Utgitt for implementering	11.04.23	KRR	MON	PMH	
03	Utgitt for implementering	05.12.22	KRR	MON	PMH	
02	For gjennomsyn	30.06.22	KRR	MON	PMH	
01	For gjennomsyn	07.01.22	KRR	MON	PMH	
Rev.	Beskrivelse	Rev. Dato	Utarbeidet	Kontroll	Godkjent	
Kontraktor/leverandørs logo:		Bygg nr:	Etasje nr.:	Systemgr.:	Antall sider: <b>Side 1 av 32</b>	
Prosjekt:	Utgivernr:	Fag:	Dok.type:	Løpenr:	Rev.nr.:	Status:
<b>RAD</b>	<b>0000</b>	<b>Z</b>	<b>PL</b>	<b>0037</b>	<b>05</b>	<b>G</b>

# Revisjonsendringer

Rev.:	Beskrivelse av endring
01	Første utgivelse
02	For gjennomsyn
03	Utgitt for implementering
04	Utgitt for implementering etter tilbakemelding fra DSA jf offentlighetslova
05	Utgitt for implementering etter tilbakemelding fra DSA jf offentlighetslova

## Innholdsfortegnelse

1	Innledning.....	4
1.1	Overordnet nasjonal strategi for dekommisjonering i Norge.....	4
1.2	Omfang.....	5
1.3	Bakgrunn.....	7
1.4	Avgrensning.....	7
1.5	Beskrivelse av anlegg og omgivelser .....	7
1.6	Informasjon om søker og eksisterende godkjenninger .....	9
2	Lokal strategi for dekommisjonering .....	9
2.1	Strategi forsinket dekommisjonering.....	9
2.2	Tiltak forsinket dekommisjonering i innledende plan.....	10
2.3	Miljøkonsekvensanalyse i innledende dekommisjoneringsfase.....	11
2.4	Oppdatering dekommisjoneringsplan.....	11
3	Beskrivelse av anlegg og utstyr .....	12
3.1	Klassifisering av radioaktivt avfall og bygningsmaterialer .....	12
3.2	Beskrivelse av aktivering av bygg og omgivelser .....	13
3.3	Valg av bygningsmateriale.....	14
3.4	Aktivering av bygningsmaterialer.....	15
3.5	Aktivering av syklotron.....	22
4	Samlet oversikt ulikt materiell.....	24
4.1	Mengde bygningsmateriale .....	24
4.2	Mengde dekommisjonering i henhold til utstyrsleverandøren.....	25
4.3	Mengde innstøpt gods.....	27

---

4.4	Mengde protonutstyr .....	28
4.5	Metode for å kartlegge radioaktivt bygningsmateriale.....	29
4.6	Metoder for rivning og demontering .....	30
5	Finansiering.....	30
5.1	Kostnader for dekommisjonering pr 2022.....	31
6	Referanser og vedlegg.....	32
6.1	Lover og forskrifter - referanser .....	32
6.2	Anbefalinger og veiledere - referanser.....	32
6.3	Vedlegg.....	32

# 1 Innledning

Som en del av utviklingen av Oslo Universitetssykehus HF (OUS HF) og det nye Radiumhospitalet, er det under bygging et nytt klinikk- og protonbygg ved Radiumhospitalet. Protonbygget inneholder tre identiske strålebehandlingsrom, hvorav to skal brukes til pasientbehandling og ett til forskning. Design av bygget, prosjektering og løsninger samt barrierer og tiltak for strålevern og stråleskjerming for protonbygget ble godkjent av Direktoratet for strålevern og atomsikkerhet (DSA) høsten 2020. Grunnarbeidet startet i februar 2020 og prosjektet planlegges ferdig i 2024.

Kontrakt på protonterapiutstyr, ProBeam 360, ble inngått med Varian Medical systems AS i mai 2019, og leveranse vil skje i 2023. Installasjon, testing og kommisjonering vil ta ca 1,5 år og utstyret vil være klart til pasientbehandling i slutten av 2024.

Ved anleggets «end-of-life» vil deler av konstruksjoner og utstyr i bygget være klassifisert som radioaktivt avfall. Dette avfallet må dekommisjoneres<sup>1</sup> i tråd med norsk strålevernlovgivning, og en initial plan for dette arbeidet beskrives i dette dokumentet.

Plan for dekommisjonering skal bidra til å beskytte mennesker og miljø mot utilsiktet/ uønsket radioaktiv stråling og bygger på sikkerhetsstandarder fra Det Internasjonale Energibyrået, International Atomic Energy Agency, IAEA:

1. Standard for beskyttelse av mennesker og miljø av mai 2019: «Decommissioning of Medical, Industrial and Research Facilities, *Specific Safety Guide No. SSG-49*» (SSG 49) [6]. Standarden beskriver dekommisjonering for medisinske, industrielle og forskningsanlegg, hvor det produseres, lagres eller brukes radioaktive materialer eller kilder.
2. Standard for beskyttelse av mennesker og miljø av 2014: «Decommissioning of Facilities, *General Safety Requirements No. GSR Part 6*» (GSR 6) [7]. Standarden beskriver hvordan plan for dekommisjonering bør planlegges og gjennomføres.

Plan for dekommisjonering er utarbeidet i et samarbeid mellom Helse Sør-Øst sin prosjektorganisasjon (PRAD) og OUS HF. Det er OUS HF som i det videre er ansvarlig for en fremtidig dekommisjonering og en løpende oppdatering og detaljering av dekommisjoneringsplanen med nødvendige aktiviteter.

## 1.1 Overordnet nasjonal strategi for dekommisjonering i Norge

I arbeidet med å planlegge og rydde opp etter norsk nukleær virksomhet ved anlegget til Institutt for Energiteknikk (IFE) på Kjeller, Halden og i Himdalen, ble det 13. November 2020 godkjent en Stortingsmelding i statsråd, Meld. St 8 «Trygg nedbygging av norske atomanlegg og håndtering av atomavfall». Stortingsmeldingen beskriver nasjonal strategi for nedbygging av de norske atomanleggene og håndtering av nasjonalt, radioaktivt avfall. I meldingens del 4, kapittel 14, beskrives håndtering av radioaktivt avfall som ikke stammer fra IFE, men fra helsevesen, forskningssektoren, forsvar og sivil sektor. Ved planlegging av behandlingsanlegg og lagre for avfall fra IFEs virksomhet skal også disse avfallsstrømmene inkorporeres.

---

<sup>1</sup> **Dekommisjonering** av anleggene omfatter å fjerne radioaktive kilder, demontere utstyr og systemer, rive strukturer og bygninger, og overføre radioaktivt materiale til et anlegg som er godkjent for mottak og lager. Ref.: Norsk nukleær dekommisjonering

I november 2020 ble det opprettet en ny statlig etat, Norsk nukleær dekommisjonering (NND). NND skal planlegge og gjennomføre oppbygging av strategi og lokaliteter for fremtidig håndtering av radioaktivt avfall i Norge. Prosjekt Nytt klinikk- og protonbygg har hatt løpende dialog med NND i prosessen med planlegging og bygging av protonanlegget.

I GSR 6 [7], beskrives to hovedstrategier for dekommisjonering. Den ene strategien er å dekommisjonere anlegget umiddelbart etter at produksjonen i anlegget er stoppet. Den andre er å gjennomføre en forsinket dekommisjonering etter et visst antall år, hvor anlegget har stått til nedkjøling. Internasjonal erfaring viser at de fleste medisinske anlegg kan bli dekommisjonert ved en umiddelbar rivningsstrategi, mens de øvrige bør stå til avkjøling noen år. Dette vil også være en kost-nytte-vurdering for den organisasjonen som er ansvarlig for dekommisjoneringen. Viktigste er det at søker skal velge en strategi for dekommisjonering som all videre planlegging av arbeidet skal bygge på. Strategien skal være i samsvar med nasjonale lover og forskrifter samt nasjonens strategi for håndtering av radioaktivt avfall.

I planen for dekommisjonering av protonanlegg ved Radiumhospitalet er målet å bidra til en trygg og kostnadseffektiv håndtering av norsk radioaktivt avfall, i tråd med stortingsmeldingen, nasjonale lover samt internasjonale konvensjoner og retningslinjer. Gjennom planlegging av prosjektet er det gjort tiltak for å begrense generering av radioaktivt avfall så langt det er mulig.

## 1.2 Omfang

Ifølge SSG 49, annex 1 [6], defineres et sykehus med syklotron og kreftbehandling som komplekst høyrisikoanlegg med tanke på dekommisjonering. I dette ligger at det finnes en radioaktive komponenter med høy aktivering. Det kreves da spesielle metoder, teknikker og utstyr for å fjerne komponentene og dekommisjonere anlegget. Et høyrisikoanlegg skal også vurderes med tanke på grad av påvirkning av omgivelsene rundt bygget, som kan kreve spesielle tiltak ved håndtering av bygningsmateriell, utstyr og avfall.

En dekommisjoneringsplan skal beskrive alle tiltak som iverksettes for å kunne unnta området fra strålevernmyndighetenes kontroll. En slik plan omfatter rivning av bygninger, sortering, fjerning og lagring av alt radioaktivt materiale samt rydding og rensing av området.

Planen omhandler ikke andre risikoer ved rivning og avhending av bygg og utstyr utover de som er forbundet med radioaktiv stråling.

I tråd med IAEA sine standarder er det tre nivåer på en dekommisjoneringsplan. Dette følger naturlig av at dekommisjonering av slike anlegg innebærer planlegging av aktiviteter langt frem i tid (40 - 60 år), og inneholder mange usikkerhetsmomenter.

1. En innledende plan utarbeides i forbindelse med planlegging av bygget, og skal sikre at dekommisjonering er hensyntatt i designet. En innledende plan vil være begrenset i omfang og detaljer, da den er utarbeidet på et svært tidlig tidspunkt og er bygd på erfaringer fra andre, tilsvarende anlegg. En slik plan skal godkjennes av myndighetene før det blir gitt samtykke til å starte bestråling i anlegget.
2. Oppdatering skal skje periodisk i bruksperioden, typisk hvert femte år. En oppdatert dekommisjoneringsplan med detaljerte beskrivelser av selve rive- og avhendingsprosessen skal være klar i god tid før stenging av anlegget. Før avslutning av bruksperioden skal en endelig dekommisjoneringsplan foreligge, inkludert

budsjett og organisering av arbeidet. Denne skal følges opp med en sluttrapport når dekommisjoneringen er gjennomført, se Figur 1.

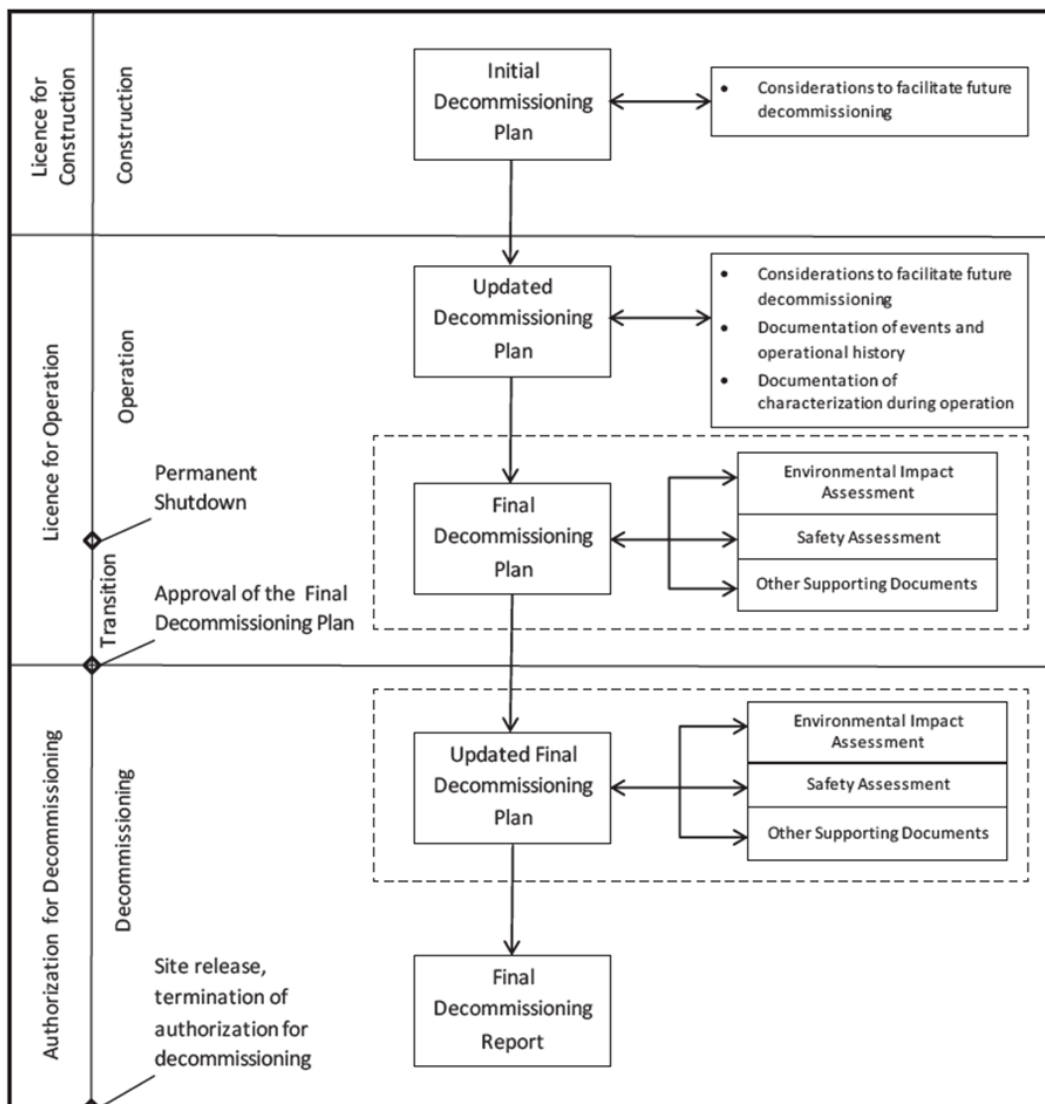


FIG. 1. An example of the evolution of the decommissioning plan during the lifetime of a complex facility.

Figur 1: Illustrasjon av prosess i en dekommisjoneringsplan, hentet fra side 38 i [6].

Dekommisjoneringsplanen for protonanlegg ved Radiumhospitalet er en innledende plan. Målsettingen er å vise at dekommisjonering er hensyntatt i prosjektering og bygging av anlegget. Planen er begrenset i detaljer og omfang.

Planen inneholder en overordnet beskrivelse av valgte løsninger, klassifisering og håndtering av radioaktivt bygningsavfall. Estimater av volum og kostnader er usikre. Planen beskriver de tiltak som prosjektet har iverksatt for å redusere fremtidig omfang av radioaktivt avfall, det vil si bygningsmateriell og utstyr.

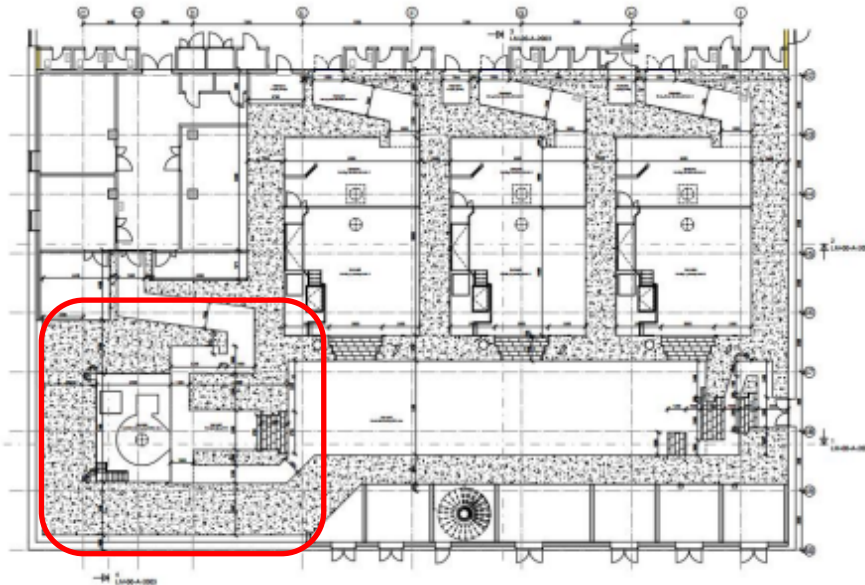
### 1.3 Bakgrunn

Dekommisjonering av protonterapianlegget har vært en del av den totale planleggingen av bygget siden våren 2019 og har også vært tema for samhandlingsmøter med DSA tidligere enn dette. Arbeidet har bygd på erfaringer fra Dansk Center for Partikelterapi (DCPT), med fokus på valg av materialer som benyttes i bygningskonstruksjonene i de mest stråleintense områdene. Prosjektorganisasjonen Nytt Radiumhospital har styrt arbeidet, som er gjennomført i tett samarbeid med Varian Medical Systems AS, OUS HF og Helse Bergen HF, samt prosjekteringsgruppene i Oslo og Bergen.

I arbeidet med dekommisjoneringsplanen rådførte vi oss tidlig med eksterne bidragsytere i DSA, Institutt for Energiteknikk (IFE), NND, Dansk Teknisk Universitet (DTU), Norsk Geoteknisk institutt (NGI) og ALS laboratorier.

### 1.4 Avgrensning

Dekommisjonering gjelder kun i de mest stråleutsatte områdene av bygg M1, markert på Figur 2. I de øvrige områdene er det gjort beregninger som viser at bygningsmaterialer ikke vil bli radioaktivt og derfor ikke komme innunder krav til dekommisjonering. Når det gjelder selve protonutstyret må dekommisjonering vurderes for hele utstyret.

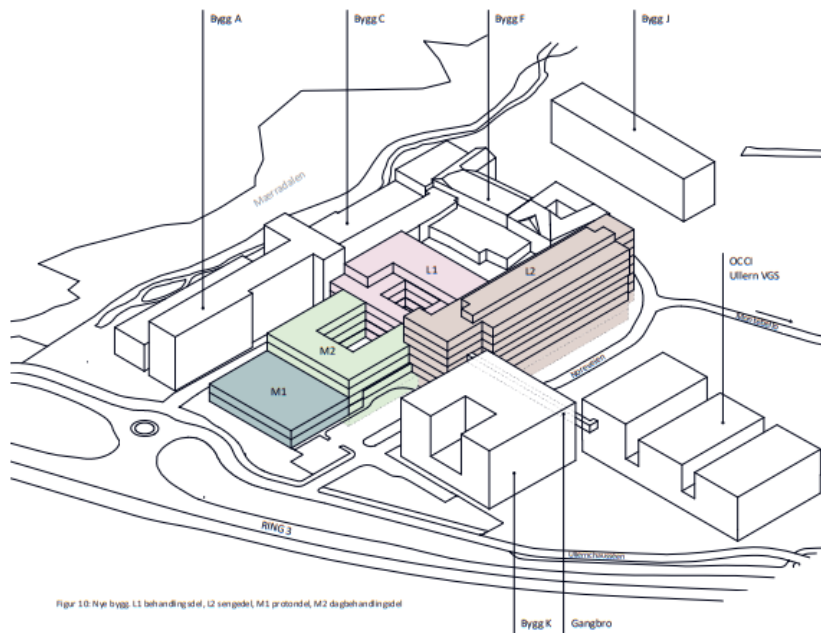


Figur 2: Illustrasjon av område i bygg M1 som er aktuelt for dekommisjonering av bygningsmaterialer.

### 1.5 Beskrivelse av anlegg og omgivelser

Radiumhospitalet ligger på Montebello i Oslo. Området er tett bebygget med sykehus, boliger og skoler. Sykehusstomten grenser mot Mærradalen i vest, et grønt område hvor Mærradalsbekken har sitt løp. I øst ligger Ullern videregående skole og i nord private eiendommer. De nye byggene er innpasset mellom eksisterende Radiumhospital i vest og i nord, mot Noreveien og Forskningsbygget i øst og mot Ring 3 i sør. Nytt klinikk- og protonbygg bygges tett inntil eksisterende bygningsmasse på Radiumhospitalet, og er flere steder direkte koblet til eksisterende sykehus.





Figur 3: Oversiktsskisse over nytt klinikk- og protonbygg ved Radiumhospitalet. De nye byggene markert med farge og de eksisterende bygg med hvitt. Protonanlegget er plassert i bygg M1, og dekommisjoneringsplanen omfatter kun dette bygget.

Bygget som huser protonanlegget, bygg M1, oppføres som en betongbunker med massive, plasstøpte betongkonstruksjoner med tykkelse opptil 3,5 m. Byggets fotavtrykk er i underkant av 1 800 kvadratmeter og dekker to etasjer pluss forsengkinger til det store protonutstyret i bunnplaten. Bygg M1 grenser mot adkomstplass og sykehusets hovedinngang i øst og nedkjøringsrampe til sykehusets varemottak i vest. Sør for M1-bygget, mot Ringveien, er det utearealer med blant annet sykkelparkering.



Figur 4: Illustrasjon over sykehusområdet og omgivelser, hentet fra Forprosjektrapport fra juni 2019. Protonbygg M1 kan sees i forkant av bildet, det laveste bygget med grønt tak.



## 1.6 Informasjon om søker og eksisterende godkjenninger

Prosjekt Nytt klinikk- og protonbygg eies av Helse Sør-Øst RHF (HSØ RHF). Eierskifte av bygg og utstyr til OUS HF er planlagt i 2024. Ansvar for nødvendige myndighetsgodkjenninger i byggeprosessen ligger i HSØ RHF sin prosjektorganisasjon, Prosjekt nytt klinikk- og protonbygg ved Radiumhospitalet (PRAD).

Plan for dekommisjonering av anlegget og søknad om utslipp skal være godkjent før det kan produseres stråling i protonanlegget. På dette tidspunkt er det HSØ RHF som står som eier av utstyr og bygg. Søknadsarbeidet er derfor et samarbeid mellom PRAD og OUS HF.

Følgende godkjenninger foreligger allerede:

- Godkjenning for anskaffelse av protonutstyr, gitt av DSA til HSØ RHF 1. mai 2019.
- Samtykke til bygging av protonbygg ved OUS HF, Radiumhospitalet, gitt av DSA til HSØ RHF 1. September 2020.

OUS som driftsorganisasjon har ansvar for å oppdatere dekommisjoneringsplanen, og underveis i anleggets levetid utarbeide en konkret gjennomføringsplan for arbeidet. Mange organiserer dekommisjonering som et eget prosjekt. OUS har ansvar for sikkerhet og beskyttelse av personer og miljø samt å gjennomføre dekommisjoneringen i tråd med gjeldende lover og regler. Før anlegget stenges, må OUS drøfte med myndighetene hvordan og når dekommisjonering skal gjennomføres. Tidlig dialog mellom myndigheter og eier sikrer god planlegging. OUS er ansvarlig for å estimere kostnader og planlegge finansiering av trygg avhending, riving og deponering.

DSA er utøvende myndighet med ansvar for håndheving av lover og forskrifter for strålesikkerhet samt for håndtering av radioaktivt avfall og utslipp i tråd med forurensningsforskriften [1].

## 2 Lokal strategi for dekommisjonering

I forbindelse med søknad til DSA om samtykke til bygging av protonbygg på Radiumhospitalet, ble det utarbeidet et Designdokument for strålevern protonterapi, vedlagt [10]. Designdokumentet beskriver planlagte og prosjekterte løsninger med fokus på strålevern og minimering av radioaktiv strålebelastning av mennesker og miljø. Designdokumentet beskriver også overordnede vurderinger av fremtidig dekommisjonering. Dokumentet ble utarbeidet i 2019, i en tidlig fase av prosjektet, og strategi for dekommisjonering er siden utviklet ytterligere.

Innledende dekommisjoneringsstrategi i denne tidlige fasen bygger på at bygget og utstyret har 50 års levetid, og at bygget står til nedkjøling ett år etter produksjonen avsluttes. Strategien er med andre ord en forsinket dekommisjonering for anlegget på Radiumhospitalet.

### 2.1 Strategi forsinket dekommisjonering

Rom og teknikk er tilpasset det valgte protonanlegget, og det er ikke veldig hensiktsmessig å benytte protonbygget til andre funksjoner enn protonterapi. Området rundt Radiumhospitalet er tett bebygd, og ved for eksempel en utvidelse av sykehuset kan OUS

derfor i fremtiden ha nytte av å fjerne protonbygget så raskt som mulig etter nedstenging. Umiddelbar rivning vil imidlertid kunne gi utfordringer med radioaktivt byggestøv til omgivelsene og til de som skal utføre rivearbeidene. Det er dermed tryggere å planlegge for en forsinket rivning med mindre aktiverte bygningsmaterialer. Samtidig vil en forsinket rivning gi mindre volum av radioaktivt avfall til lagring i nasjonalt anlegg. Det nasjonale anlegget for slik lagring har per 2022 begrenset kapasitet og har i tillegg svært høy kostnad.

NND gjør nå et arbeid for å etablere et mer utvidet nasjonalt tilbud for denne type avfallshåndtering. Det kan derfor hende at strategien om forsinket rivning ikke er like hensiktsmessig i fremtiden, og bør revurderes.

Ved fremtidige endringer i teknologi og/eller drift som vil påvirke strålenivået vil strategi for dekommisjonering måtte vurderes på nytt, som for eksempel ved innføring av FLASH-teknologi.

## 2.2 Tiltak forsinket dekommisjonering i innledende plan

Tidlig i planleggingsfasen av bygg M1 var det fokus på materialvalg for å kunne produsere så lite radioaktivt avfall som mulig. Det ble derfor besluttet å unngå materialer nærmest protonstrålen med grunnstoff som gir langlevende datternuklider, så langt det lar seg gjøre. Det gjelder særlig europium (Eu) og cobolt (Co).

I de mest stråleutsatte områdene er det benyttet betong med høyt tilslag av marmor, da marmor inneholder svært lite av disse grunnstoffene. Armeringen i de samme områdene er spesialprodusert armering med lavt innhold av Co. Armeringen er også plassert så langt ut fra veggoverflater som mulig med tanke på aktivering av metallet.

Valg om forsinket dekommisjonering og materialvalg er gjort på bakgrunn av samarbeid med DCPT. Beregninger viser at ved å la anlegget stå til nedkjøling i ett år, vil radioaktive stoffer med kort halveringstid i praksis elimineres. Beregningene viser videre at betong, marmorbetong og armering har ulike dekontamineringstider. Det må derfor før dekommisjonering tas en endelig stilling til lengde på nedkjølingstid for de ulike elementene, sett opp mot kostnad for lagring i deponi. Beregningene er utført av fysiker ved Haukeland Universitetssykehus HF på vegne av de norske protonprosjektene og understøttes av Varians beregninger for Radiumhospitalet. Beskrivelse av beregningene er vedlagt [12].

For å kunne kartlegge aktiveringsnivå underveis i byggets levetid, er det i bygg M1 på Radiumhospitalet innstøpt målesylindere i de mest stråleutsatte områdene. På denne måten kan aktiveringsnivået av bygningsmaterialer følges opp og sikre riktig valg av dekontamineringstid i fremtidige oppdateringer av dekommisjoneringsplanen.

Ved fremtidige endringer i teknologi og drift som vil påvirke strålenivået, vil strategien for dekommisjoneringen måtte vurderes på nytt. Ved for eksempel innføring av flash-teknologi vil en umiddelbar dekommisjonering kunne være aktuelt, siden det totale antall fraksjoner og totaldose per pasient vil gå drastisk ned. Dermed vil også det totale antallet produserte nøytroner bli redusert.

Det er etablert et kontrollregime for byggeprosessen, som blant annet har til hensikt å følge opp at det blir brukt de anbefalte bygningsmaterialer. Relevante materialer skal analyseres, slik at det kan lages en oversikt over vekt og grad av aktivering av de ulike elementene benyttet i bygget ved oppstart.

## 2.3 Miljøkonsekvensanalyse i innledende dekommisjoneringsfase

Våren 2019 ble det gjennomført en ROS-analyse av risikoen for uønsket stråling til indre og ytre miljø. Denne ble gjennomført som en del av forprosjekt, for å kartlegge risikoelementer og eventuelle tiltak som burde iverksettes i prosjektet. ROS-analysen var en direkte oppfølging av DSAs krav om å gjennomføre en miljøkonsekvensanalyse ved anskaffelse og installasjon av protonutstyr. Analysen ble gjennomført i tråd med IAEA Safety standard No.GSG-10, og ble utørt i samarbeid med PRAD, OUS, Helse Bergen HF, Varian, og IFE.

Miljøkonsekvensanalysen avdekket ingen nye risikoelementer som det ikke allerede var tatt høyde for i prosjekteringen. Oppfølgende tiltak i prosjekteringen er at prosjekterte løsninger følges opp og kvalitetssikres i gjennomføringsfasen av prosjektet. Etter dette er det, i forbindelse med søknad til DSA om samtykke for oppstart bygging, gjort mer detaljerte analyser av grunnvann, utslipp til luft etc. Dette for å sikre at utslipp av radioaktiv stråling fra anlegget holder seg innenfor norske grenseverdier. Dette beskrives nærmere i kapittel 3 i dette dokumentet.

En mer utfyllende miljøkonsekvensanalyse bør gjennomføres når det nærmer seg tid for dekommisjonering av anlegget. Når det gjelder analyser av grunnforhold og grunnvann, må det tas nye analyser ved dekommisjoneringen, og sammenligne disse med funn fra 2019.

## 2.4 Oppdatering dekommisjoneringsplan

Strålevernskoordinator og strålevernkontakt for protonterapi ved OUS HF har ansvar for gjennomgang av dekommisjoneringsplanen minimum hvert femte år. Gjennomgangen skal sikre at dekommisjoneringsplanen er oppdatert og at innholdet stemmer overens med den kunnskapen som foreligger på gjennomgangstidspunktet. Oppdaterte versjoner av dekommisjoneringsplanen vil bli mer og mer konkrete og detaljerte, og vil basere seg på direkte erfaringer fra driften av anlegget.

Oppdaterte versjoner av dekommisjoneringsplanen skal blant annet inneholde:

- Eventuelle endringer i teknologi, utstyr, bygg og prosess
- Eventuelle endringer i lovverk og nasjonale forhold
- Vurdering av om strategi fra initial fase skal beholdes eller endres

Endelig dekommisjoneringsplan må inneholde blant annet

- Sikkerhetsvurdering av dekommisjoneringsfasen
- Plan for gjennomføring av dekommisjoneringen, både på nivå med forprosjekt og senere detaljprosjekt
- Miljøkonsekvensanalyse for dekommisjoneringsfasen
- Plan for nødsituasjoner og ulykker
- Plan for endelig undersøkelse av radioaktiv stråling før oppstart dekommisjonering
- Plan for drift og vedlikehold av bygning
- Oppdatert kost-nytte vurdering
- Plan for finansiering

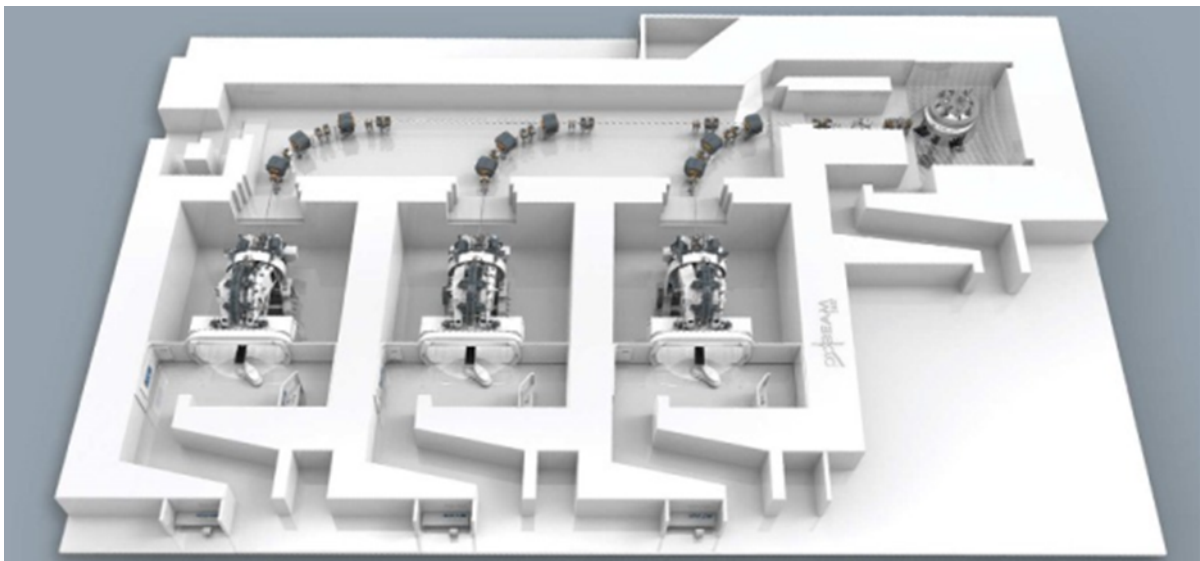
Mer detaljert beskrivelse for endelig i dekommisjoneringsplan er SSG 49 [6].

### 3 Beskrivelse av anlegg og utstyr

Protonanlegget ved Radiumhospitalet består av tre likt utformede strålebehandlingsrom. To rom er dedikert til pasientbehandling og ett til forskning. De tre rommene er identiske, noe som muliggjør at forskningsrommet kan konverteres til pasientbehandling, hvis dette skulle bli aktuelt. Planlagt pasientantall er 580 pasienter per år når anlegget er i full drift med to skift i hvert rom, fra 08.00-21.00.

Protonanlegget består av en syklotron som akselererer protoner opp til 226 MeV, og som kan levere en protonstråleintensitet opp mot 800 nA. På vei fra syklotron til pasient i behandlingsrommet styres protonene gjennom et energiseleksjonssystem (ESS), som modulerer de nødvendige protonenergier for hvert behandlingsfelt avhengig av pasientens doseplan. Dette skjer ved at protonene passerer gjennom kileformede grafittstykker som forskyves raskt inn og ut av protonstrålen. Protoner med riktig energi styres og fokuseres så fra ESS og til det aktuelle behandlingsrommet gjennom et stråletransportsystem (Beam Transporting system, BTS).

Hvert behandlingsrom er utstyrt med et 360 graders roterende gantry som leverer protonstrålen til pasienten som skarpt avgrensede stråleknipper med noen millimeters transversal utstrekning, såkalt Pencil beam scanning. Det er ikke mulig å sende protonstrålen til flere behandlingsrom samtidig.



Figur 5: Illustrasjon med oversikt over protonanlegget ProBeam 360 med syklotron, stråletransportsystem og gantry som tilsvarer løsningen ved Nye Radiumhospitalet. Syklotronen sees øverst til høyre i illustrasjonen.

Protonstrålingen produseres i syklotronen oppe til høyre i Figur 5. Den høyeste stråleintensiteten vil være rundt syklotronen, og det er i dette området man må ta mest hensyn under dekommisjoneringen. Øvrige bygningsdeler kan avhendes som vanlig bygningsavfall.

#### 3.1 Klassifisering av radioaktivt avfall og bygningsmaterialer

Radioaktivt avfall skal håndteres i samsvar med «Forskrift om gjenvinning og behandling av avfall (Avfallsforskriften)» [4], kapittel 16. Unntaksgrenser for klassifisering av radioaktivt avfall finnes i «Forskrift om forurensningslovens anvendelse på radioaktiv forurensning og

radioaktivt avfall» [3]. I forskriftens Vedlegg 1a fastsettes nedre grense for hva som ansees som radioaktivt avfall. I Vedlegg 1b fastsettes hva som er deponeringspliktig avfall.

Praksis i Norge per 2022 er at det ikke er lov å avhende noe avfall som normalt avfall dersom det er over den nedre grense for radioaktivitet i vedlegg 1a [3]. Dette betyr at avfallet, eller bygningsdelene som har aktivitet over de nedre grensene, må sendes til godkjent mottak for radioaktivt avfall eller deponi, eller oppbevares til nivået er under den nedre grensen.

### 3.2 Beskrivelse av aktivering av bygg og omgivelser

Det produseres sekundærstråling alle steder protonstrålen kolliderer med faststoff, det vil si både i stråletransportområdet, i gantry, behandlingsrom og til slutt i pasienten. I disse kollisjonene produseres det nøytroner, og det i hovedsak disse som vekselvirker med omgivelsene og gjør at grunnstoffer i bygningsdelene blir eksiterte og danner radioaktive isotoper. Det er de radioaktive isotopene med lange halveringstider som først og fremst påvirker omfanget av dekommisjoneringsbehovet for bygningsmaterialene.

I arbeidet med Designdokumentet i 2019, ble aktivering av bygg og påvirkning av omgivelser vurdert for å kartlegge omfanget av dekommisjoneringsplan og miljøkonsekvensanalyse. Fokusområder var:

- Aktivering av bygg, bygningsmaterialer og utstyr
- Aktivering av syklotron og protonterapiutstyr
- Aktivering av kjølevann
- Aktivering av luft
- Aktivering av grunnen og grunnvann

De tre siste kulepunktene er ikke aktuelt for dekommisjoneringsplanen, men omtales i utslippssøknad.

#### Aktuelle radioisotoper

Det er tatt utgangspunkt i grunnstoffene Eu, Co, Na, Mn, Fe, Cs og Sc, med tilhørende radioaktive isotoper; Eu-152, Co-60, Na-22, Mn-54, Fe-55, Cs-134 og Sc-46.

#### Aktivering bygg og utstyr

Når det gjelder bygningsmateriale er det i marmorbetong, armeringsjern og innstøpningsgods i områdene nærmest syklotron og energiseleksjonssystemet som blir aktivert. Betong, marmorbetong, armeringsjern og ulike metaller som er støpt inn i konstruksjonen er analysert og vil benyttes som sammenligningsgrunnlag for aktiveringsmåler utover i byggets levetid. Graden av endelig aktivering må fastsettes ved avhending av bygningen.

Alt av utstyr i disse områdene vil bli aktivert og graden av dette må også fastsettes ved avhending.

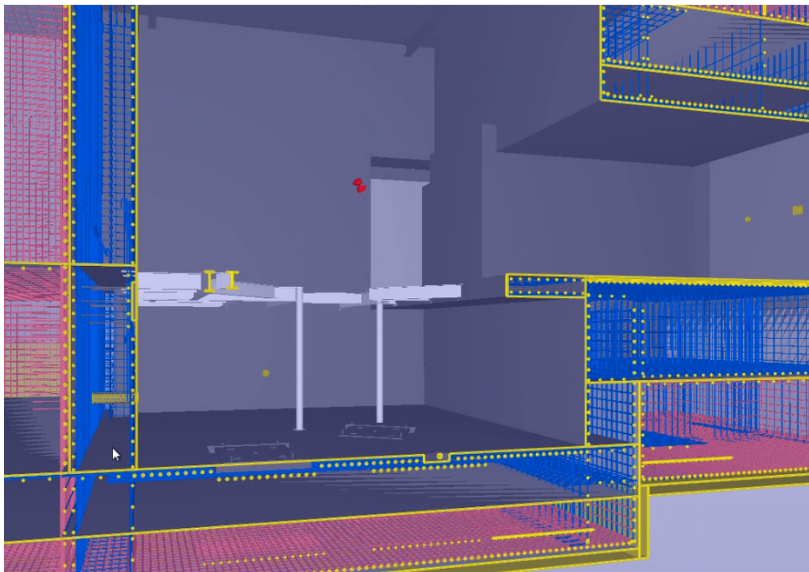
Utstyrsleverandøren har utarbeidet en rapport som beskriver aktivering av bygningsmaterialer og utstyr. Denne rapporten ligger til grunn for planen for dekommisjonering- Rapporten beskrives grundigere i kapittel 4.

### 3.3 Valg av bygningsmateriale

På bakgrunn av erfaringer fra DCPT ble det tidlig i prosjektet besluttet å benytte marmorbetong i de mest stråleintense områdene. Marmor inneholder mindre av grunnstoff som blir aktivert over tid og har lang halveringstid. Før byggestart er det foretatt analyse av ulike typer betong og marmorbetong fra norske produsenter, for å se på isotopsammensetningen. Sammensetningen av aggregatene i vanlig betong og marmorbetong finnes i sin helhet som en elementanalyse og er vedlagt [8]. Analysen er utført av Heidelberg Technology Center (HTC).

Det er gjort tiltak for å redusere bruk av armeringsjern rundt de stråleintense områdene, da armering blir aktivert av strålingen. Reduksjon av mengde armering er utført på en slik måte at det ikke er økt fare for sprekke-dannelser, og kvaliteten på bygget er ikke forringet. Samtidig er det, i de mest stråleintense områdene, benyttet armeringsjern med så lite cobolt som mulig.

Det er benyttet armeringsjern med et innhold på 50 ppm Co i områdene med marmorbetong. Noe av armeringen med lav cobolt er gjennomgående, og delvis også brukes i den normale betongen. Dette illustreres i Figur 6 i blått, sett fra siden av syklotronrommet. Det røde illustrerer vanlig armering, utenfor marmorsjiktet.



Figur 6: Illustrasjon av coboltlav armering i blått, sett fra siden av syklotronrommet. Rødt illustrerer vanlig armering.

Det finnes per 2022 ingen erfaringstall for aktivering av bygningsmaterieell, siden protonterapi er en forholdsvis ny behandlingsform. Derfor utførte utstyrsleverandør i juni 2021 en aktiveringsanalyse av utstyr og bygningsmaterieell, ut fra elementanalysene fra HTC [8]. Aktiveringsanalysen, «Decommissioning plan» [9] er kun ment for intern bruk i prosjektet, og dermed unntatt offentlighet jf offentlighetslova § 13.

Aktiveringsanalysen har tatt utgangspunkt i full drift av tre gantry, predefinert workload på  $3,03 \times 10^{15}$  protoner per år, 50 års driftstid og ett år nedkjølingstid. Det er gjennomført Monte Carlo-simulering av marmorbetong, vanlig betong og coboltlav armeringsjern og verdiene er sammenlignet med unntaksgrenser for klassifisering av radioaktivt avfall, Vedlegg 1a i «Forskrift om forurensningslovens anvendelse på radioaktiv forurensning og radioaktivt



avfall» [3]. Isotoper med halveringstid under 30 dager er ikke tatt med i beregningene. Verdiene vises i Tabell 1.

Tabell 1: Elementsammensetning for normal betong, marmorbetong og coboltlav armering.

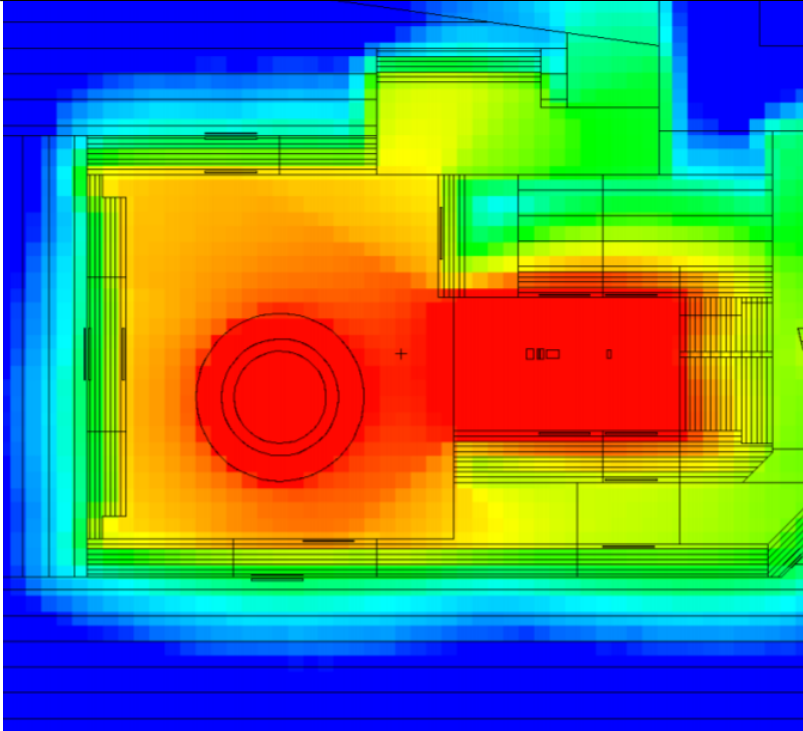
Element	Mengde i standard betong	Mengde i marmorbetong	Mengde i armering
H	0,8 %	0,6 %	
C	0,6 %	9,7 %	
O	50,2 %	49,1 %	
Na	2,3 %	363 ppm	
Mg	0,6 %	0,4 %	
Al	6,6 %	0,8 %	1,0 %
Si	27,1 %	2,8 %	0,8 %
K	2,8 %	0,1 %	
Ca	6,7 %	35,8 %	
Fe	2,1 %	0,5 %	97,1 %
Co	5,6 ppm	2,9 ppm	50 ppm
Eu	1,3 ppm	0,13 ppm	
Cs	1,1 ppm	0,2 ppm	
Mn	1132,0 ppm	682,0 ppm	0,8 %
Cu			0,2 %
Ni			400 ppm

### 3.4 Aktivering av bygningsmaterialer

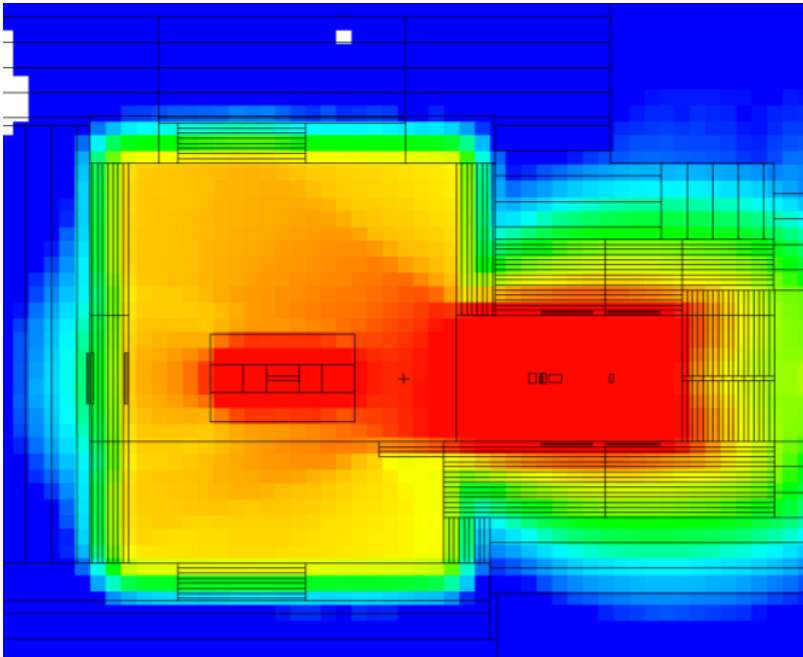
Aktivering av bygningsmateriell varierer fra overflaten og innover vegger, tak og gulv, med høyest aktivering på overflaten. Armeringsjern vil være mer aktivert enn marmorbetong, og trenger derfor lengre tid til å komme under definisjonen som radioaktivt avfall. Ved oppdatering av initial dekommisjoneringsplan i årene framover, må derfor grad av aktivering vurderes og sammenlignes med de initiale analysene fra leverandøren [9], se for øvrig Kapittel 4.5.

Aktiveringskonsentrasjon i de ulike områdene bygges opp til et metningsnivå over tid. Ved lange bestrålingstider, slik som det vil være for deler av protonterapibygget, vil isotopene som dannes i bygningsmaterialene bruke rundt tre halveringstider før man når 95 % metning ( $T_{1/2}=\ln(2)/\lambda$ ). Alle funn og vurderinger i denne rapporten bygger på preliminaire analyser. Det betyr at OUS HF i det videre må kontrollere dette gjennom anleggets levetid.

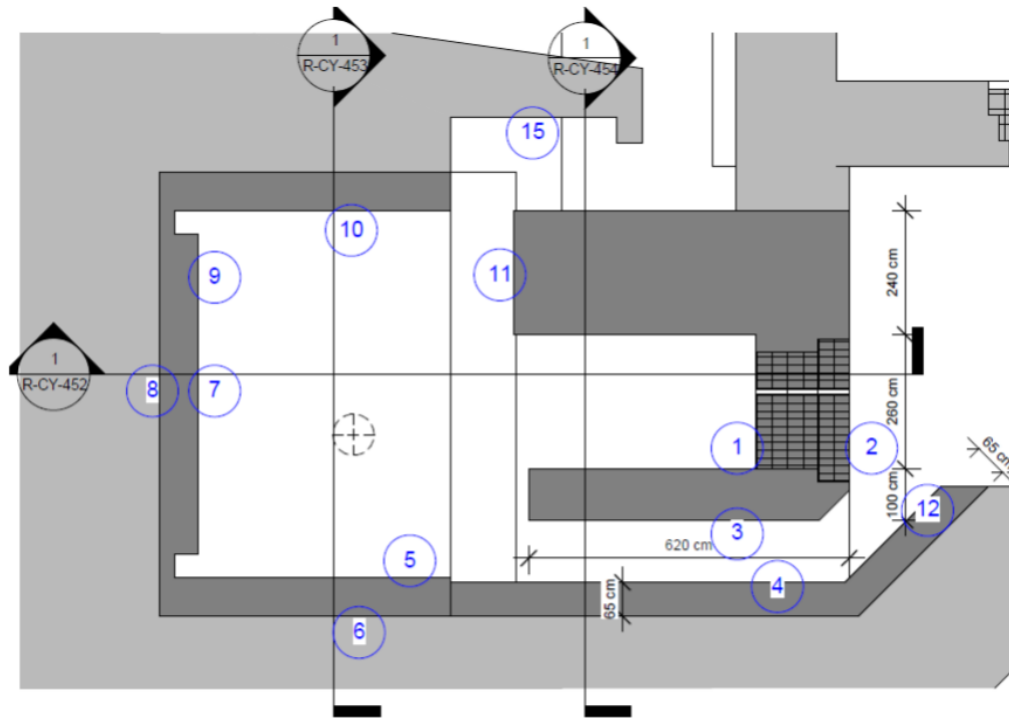
Figur 7 og Figur 8 viser kvalitative dosekart over områdene som er utsatt for mest radioaktiv stråling (syklotron og ESS), der det røde er mest intens. Videre viser Figur 9 og Figur 10 områdene, illustrert med blå sirkel, hvor de spesifikke beregningene er gjort.



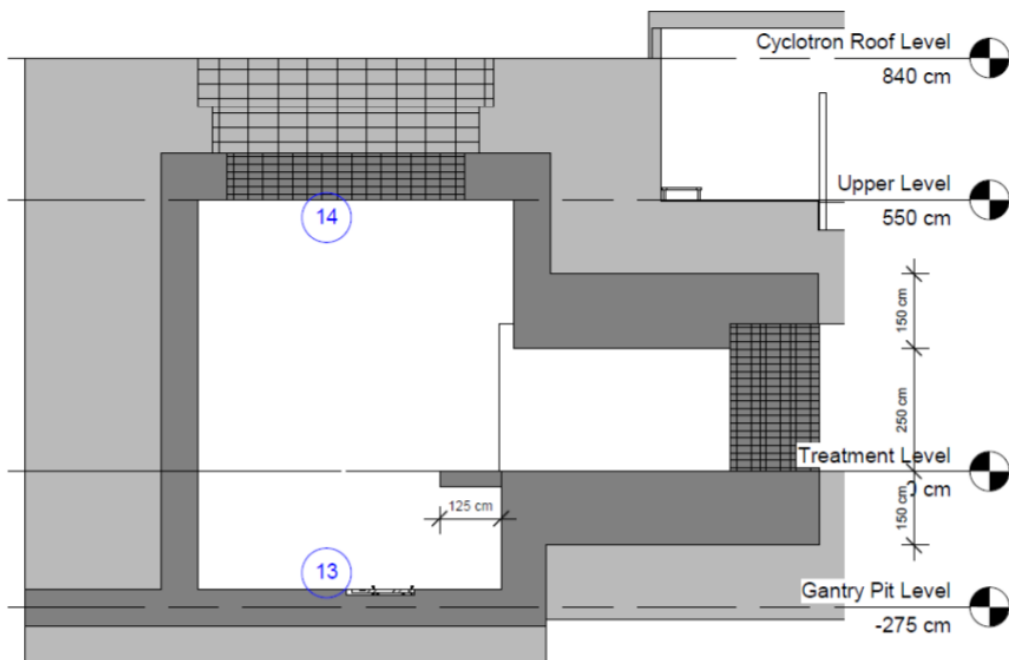
Figur 7: Doseratekart rundt syklotron og energiseleksjonssystemet, sett ovenfra (kvalitativ illustrasjon).



Figur 8: Doseratekart rundt syklotron og energiseleksjonssystemet, sett fra siden (kvalitativ illustrasjon).



Figur 9: Oversikt over områder som er analysert rundt syklotron og energiseleksjonssystemet, sett ovenfra.



Figur 10: Oversikt over områder som er analysert rundt syklotron og energiseleksjonssystemet, sett fra siden.

Ut fra tallanmerkningene i Figur 9 og Figur 10 har utstyrsleverandøren beregnet aktiveringsresultater i forhold til norske utslippsgrenser, Annex 1 a, se Tabell 2.

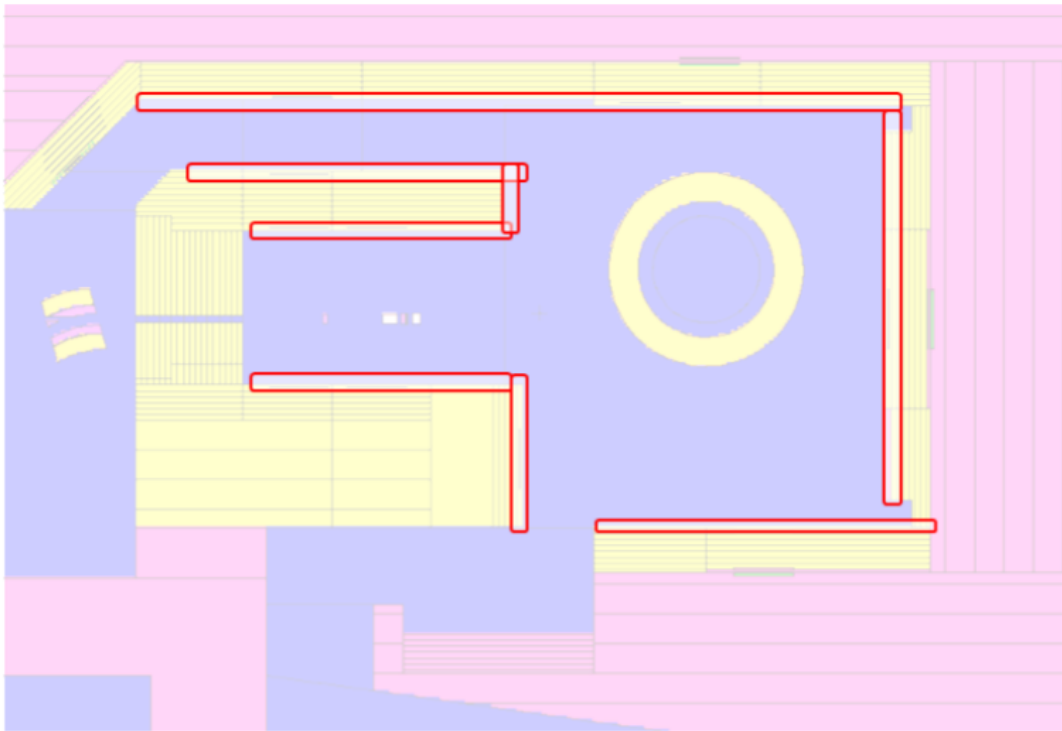
Tabell 2: Aktiveringsresultat for området rundt syklotronen, sammenlignet med unntaksgrensen i vedlegg 1a til Forskrift om radioaktivt avfall [3].

Material & Location		Specific Activity / limit (Annex 1a)						Sum
		Na-22	Mn-54	Fe-55	Co-60	Sc-46	Eu-152	
rebar	1	0.79	178.20	0.10	8.14	0.10	0.00	187
marble BTS plug	1	1.93	0.76	0.00	1.01	0.00	1.87	5.73
marble side wall	1	2.44	1.14	0.00	0.87	0.00	1.57	6.17
marble side wall	3	0.03	0.02	0.00	0.03	0.00	0.06	0.15
rebar	3	0.01	3.08	0.00	0.26	0.00	0.00	3.35
rebar	4	0.01	1.03	0.00	0.20	0.00	0.00	1.24
rebar	5	0.00	2.92	0.01	2.26	0.00	0.00	5.19
rebar	6	0.00	0.08	0.00	0.00	0.00	0.00	0.09
rebar	7, 9, 10	0.00	1.03	0.01	1.43	0.00	0.00	2.47
rebar	8	0.00	0.06	0.00	0.01	0.00	0.00	0.07
rebar	11	0.00	0.43	0.01	1.21	0.00	0.00	1.65
rebar	12	0.00	0.63	0.00	0.06	0.00	0.00	0.69
rebar	13, 14	0.00	0.14	0.01	1.32	0.00	0.00	1.46
concrete	6	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.05	0.08
concrete	8	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.03
marble	4	0.01	0.01	0.00	0.02	0.00	0.04	0.09
marble	5	0.01	0.02	0.00	0.26	0.00	0.46	0.80
marble	7, 9, 10	0.01	0.01	0.00	0.19	0.00	0.35	0.59
marble	11	0.01	0.01	0.00	0.19	0.00	0.36	0.60
marble	12	0.01	0.00	0.00	0.01	0.00	0.02	0.04
marble	13, 14	0.00	0.00	0.00	0.17	0.00	0.30	0.50
rebar	15	0.00	0.05	0.00	0.18	0.00	0.00	0.24
concrete	15	0.00	0.00	0.00	0.04	0.00	0.41	0.46

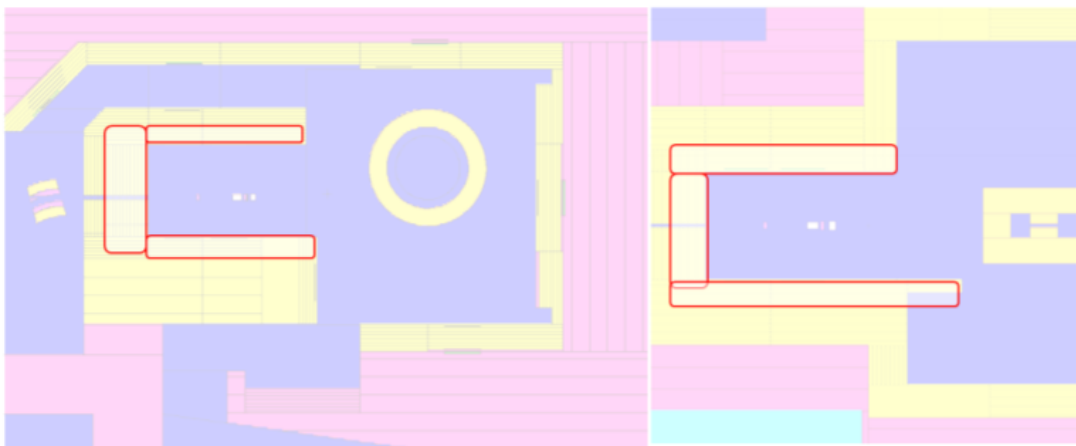
Alle verdier merket rødt indikerer isotopene som overskrider aktiveringsgrensen for radioaktivt bygg-avfall. Spesifikk aktivitet er dividert med hver isotops spesifikke aktivitetsgrense, definert i Vedlegg 1a [3]. Det betyr at verdier over 1,0 per definisjon er radioaktivt avfall.

Resultatene av analysene viser at normal betong er godt skjermet av marmorbetong, vil ikke bli aktivert og derfor ikke omtalt videre.

I Figur 11 og Figur 12 illustreres de områdene av bygget hvor det vil dannes radioaktivt bygningsmaterieell.



Figur 11: Skissen indikerer områdene der armeringsjern er over unntaksgrensen, markert med rødt.



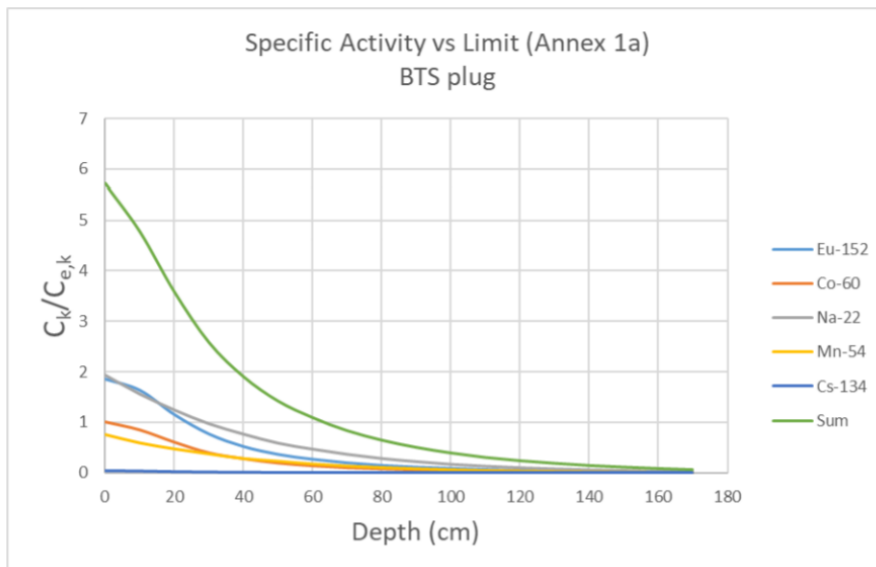
Figur 12: Skissen indikerer områdene der marmorbetongen er over unntaksgrensen, markert med rødt.

Videre beskrives mer detaljert aktivering i de ulike områdene med høy stråleintensitet.

### **Aktivering rundt ESS**

#### Aktivering i elementvegg i fremoverrettet stråleretning – pkt 1 i Figur 9

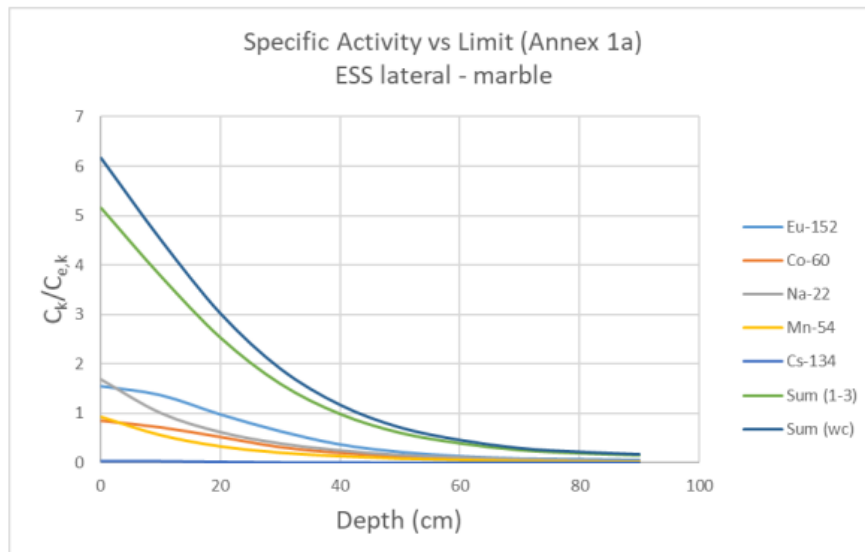
Aktiveringsberegningene i framover-retning for byggesteiner av marmorbetong uten armering viser at den samlede relative grenseverdien er over 1 for isotopene Na-22, Co-60 og Eu-152. Figur 13 viser graden av aktivering innover i marmorelementveggen. Figuren viser at de første 65 cm av veggen, vil bli mer radioaktiv enn den tillatte grenseverdien for vanlig byggeavfall.



Figur 13: Aktivering for isotopfraksjoner som funksjon av dyp i framover retning for marmorbetong uten armering.

### Aktivering i Sidevegg av marmorbetong – pkt 3 i Figur 9

Aktiveringsberegningene i siderveggen av ESS viser at nivået er over 1 for isotopene Na-22, Mn-54 og Eu-152. Figur 14 viser graden av aktivering innover i sideveggen. Figuren viser at de første 50 cm av veggen, som består av plaststøpt marmorbetong og coboltlavt armeringsjern, vil bli mer radioaktiv enn den tillatte grenseverdien for vanlig byggeavfall.



Figur 14: Aktiveringsnivå for marmorbetong med cobolatlav armering som funksjon av dybde i vegg, på høyre side av ESS.

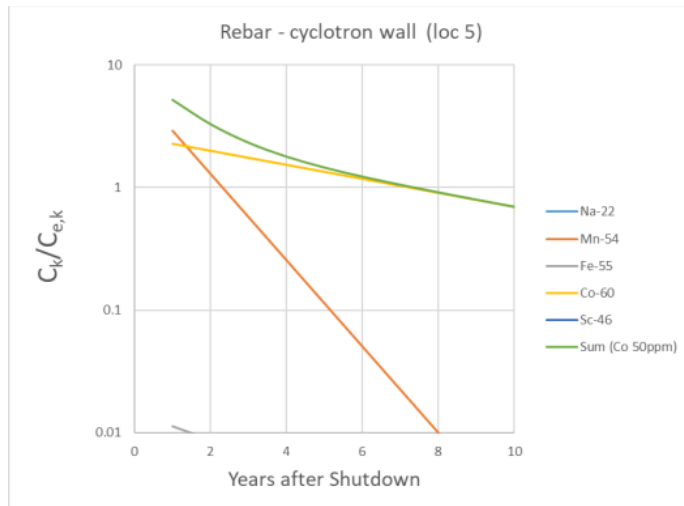
### Aktivering rundt syklotron og BTS

Marmorbetong i syklotronområdet, punkt 7, 9 og 10 marble, i Figur 9 blir ikke aktivert i den grad at materialet må dekommisjoneres. Det samme gjelder standard-betong og normal-armering i BTS-korridoren, punkt 15 concrete, i Figur 9. Det ikke utført detaljerte aktiviseringsberegninger i disse områdene siden stråleintensitet i disse områdene var tidligere skjermingskalkulasjoner leverandøren har utført [10].



### Aktivering av armering i sidevegg syklotron – pkt 5 i Figur 9

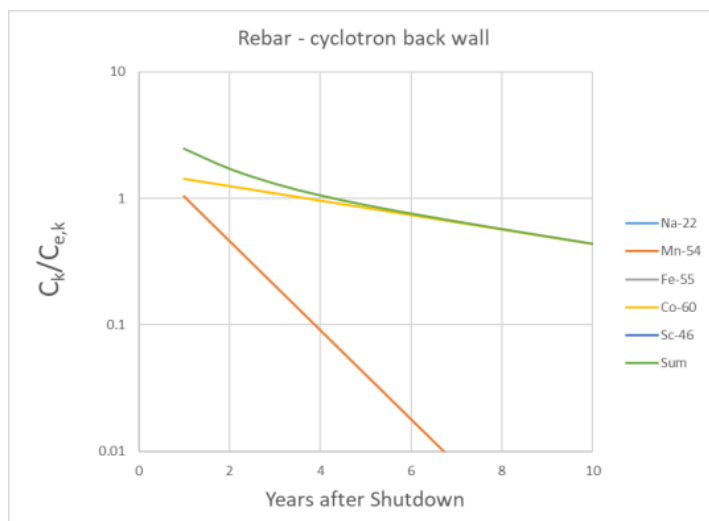
Aktiveringsberegningene i sidevegg syklotron viser at nivået er over 1,0 for isotopene Mn-54 og Co-60 i coboltlavt armeringsjern i marmorbetong, se Figur 15. Det vil derfor bli behov for å skille armering fra marmorbetong i dette området ved rivning av bygget og dekommisjonere armeringsjernet.



Figur 15: Aktivering av coboltlavt armeringsjern i sidevegg syklotron, område 5.

### Aktivering av armering bak- og sidevegg syklotron – pkt 7,9 og 10 i Figur 9

Aktiveringsberegningene i bak- og sidevegg syklotron viser at nivået er over 1,0 for isotopene Mn-54 og Co-60 i coboltlavt armeringsjern i marmorbetong, se Figur 16. Det vil derfor også her bli behov for å skille armering fra marmorbetong i dette området ved rivning av bygget og dekommisjonere armeringsjernet, siden marmorbetongen er under unntaksgrensen.



Figur 16: Aktivering av coboltlavt armeringsjern i område 7, 9 og 10, bak- og sidevegg syklotron.

## Aktivering i gantry-rom

I gantry-rommene viser Monte Carlo-simuleringene at hverken betong eller armering blir aktivert over grenseverdiene. Dette gjelder vegger, gulv og tak. Tabell 3 under viser resultatet av beregningene i overflaten av gulvet, som er området som blir mest aktivert. Aktiveringen ligger på prosent- og promillenivå i forhold til det som er definert som radioaktivt avfall.

Tabell 3: Aktivering i henholdsvis betong (til venstre) og armering (til høyre) for gulv i gantry

Location		Specific activity [Bq/g]	A/limit	
Gantry floor			Rebar	Annex 1a
istope	H-L			
Na-22	2.60 y	9.31E-04	0.009	0.001
Ca-45	162.61 d	4.38E-05	0.000	0.000
Mn-54	312.05 d	1.21E-04	0.001	0.000
Fe-55	2.744 y	6.00E-04	0.000	0.000
Co-60	5.27 y	2.04E-05	0.000	0.000
Eu-152	13.54 y	2.16E-04	0.002	0.000
Eu-154	8.59 y	1.03E-05	0.000	0.000
Sum of Fractions			0.013	0.001

Location		Specific activity [Bq/g]	A/limit	
Gantry floor			Rebar	Annex 1a
istope	H-L			
Na-22	2.60 y	3.72E-05	0.000	0.000
Mn-54	312.05 d	5.07E-03	0.051	0.005
Fe-55	2.744 y	2.15E-02	0.000	0.000
Co-60	5.27 y	2.15E-04	0.002	0.000
Sum of Fractions			0.053	0.005

## 3.5 Aktivering av syklotron

Ved avhending av syklotron er det vanlig å demontere de mest aktiverte delene. Disse delene behandles, sendes og deponeres som høy-reaktivt avfall. Resterende deler av syklotronen må måles og avhendes etter den kategorien av radioaktivt avfall de kommer under (mellom- eller lav-reaktivt).

Simuleringene for aktivering av selve syklotronen er basert på aktiviteten for fire tilfeldig utvalgte syklotroner fra leverandøren. Resultatene fra målingene utført ved mottakskontroll er ekstrapolert for full drift av syklotronen i 50 år fram i tid, med 10 års nedkjølingstid, utfra OUS sine driftsparametere. Verdiene er deretter sammenlignet med DSA sine verdier for radioaktivt avfall [3], se Tabell 4 .

Tabell 4: Ekstrapolert spesifikk aktivitet for syklotron sammenlignet med DSA sitt vedlegg 1A om radioaktivt avfall [3]. C4, C6, C9 og C10 er ulike syklotroner.

50 years of operation, with 10yrs waiting time.										
Isotope	T <sub>1/2</sub> [d]	Activity after cool down				Annex I a) Spesifikk aktivitet (Bq/g)	A/limit			
		C4 Bq/g	C6 Bq/g	C9 Bq/g	C10 Bq/g		C4	C6	C9	C10
57Co	271.7	1.52E-04	2.62E-05	5.59E-04	7.51E-04	1	0.00	0.00	0.00	0.00
51Cr	27.7	5.35E-39	5.90E-39	4.35E-38	7.34E-38	100	0.00	0.00	0.00	0.00
58Co	70.86	9.94E-16	3.42E-16	2.07E-15	7.11E-15	1	0.00	0.00	0.00	0.00
54Mn	312.1	1.40E-02	1.25E-02	9.38E-02	1.36E-01	0.1	0.14	0.13	0.94	1.36
56Co	77.2	2.00E-14	1.87E-14	1.47E-13	3.00E-13	0.1	0.00	0.00	0.00	0.00
48V	16	5.36E-69	1.86E-68	7.76E-68	0.00E+00	1	0.00	0.00	0.00	-
59Fe	44.5	9.69E-26	5.37E-26	1.67E-25	0.00E+00	1	0.00	0.00	0.00	-
65Zn	243.9	1.42E-06	5.89E-07	6.27E-06	1.81E-06	1	0.00	0.00	0.00	0.00
46Sc	83.8	7.80E-14	1.22E-13	1.03E-12	2.09E-12	0.1	0.00	0.00	0.00	0.00
60Co	1925.3	4.75E-01	2.06E-01	6.38E-01	5.64E-02	0.1	4.75	2.06	6.38	0.56
52Mn	5.6	3.47E-197	2.05E-195	9.02E-196	0.00E+00	1	0.00	0.00	0.00	-
55Fe	1002.9	1.10E+02	9.22E+01	7.84E+02	7.82E+02	1000	0.11	0.09	0.78	0.78
Total (MBq/g)		0.00	0.00	0.00	0.00	Sum of Fractions	5.00	2.27	8.10	2.71
						years to reach 1	21.90	15.70	24.30	12.50

Tabellen viser at det er stor variasjon for de fire syklotronene. Syklotronene må stå i alt fra 12 til 25 år før de er under fritaksnivå i vedlegg 1A [3]. Variasjonen mellom syklotronene bidrar til stor usikkerhet i resultatene, og den antatte tiden før syklotronen vil være under fritaksnivået for radioaktivt avfall vil derfor bare være et grovt estimat.

Isotopene som overstiger grenseverdiene er Mn-54, Co-60 og Fe-55, med tilhørende halveringstider på 312 dager, 5,27 år og 2,75 år.

Den laveste aktiviteten finnes i jernkjernen, som også er den tyngste delen av syklotronen og utgjør ca 80 % av den totale massen. Variasjonen mellom syklotronene viser at det må utføres separate gammaspektroskopi på de ulike delene av syklotronen ved endt levetid for å kunne anslå både transport- og deponeringsbehov.

Vekter over de ulike utstyrsdelene er skissert i kapittel 4.3.

## 4 Samlet oversikt ulikt materiell

Mengden av bygningsmateriale av ulik art er hentet ut fra 3D-modellen av prosjektet. Informasjon om innstøpningsgods er levert av entreprenøren, mens utstysleverandøren har fremskaffet informasjon om protonutstyr. De totale mengdene av gods som i framtiden må vurderes for dekommisjonering er skissert i Tabell 5.

Tabell 5: Oversikt over materiale som må vurderes til dekommisjonering.

	Antall kg totalt benyttet	Volum [m <sup>3</sup> ]
<b>Marmorbetongblokker tak</b>	54 750	21,9
<b>Marmorbetongblokker vegg</b>	32 500	13
<b>Marmorbetong støpt, vegger</b>	548 250	219,3
<b>Marmorbetong støpt, dekker</b>	717 750	287,1
<b>Coboltlav armering</b>	62 867	
<b>Mengde innstøpt gods i syklotronbunker og energiseleksjonssystemet (trapper, kran mm kommer i tillegg)</b>	2 688	
<b>Mengde protonutstyr</b>	482 905**	

\* Forutsatt 1 m<sup>3</sup> = 2500 kg

\*\* Hvorav 218 000 kg gjelder syklotron, energiseleksjonssystemet og magneter med mer i stråletransportlinjen

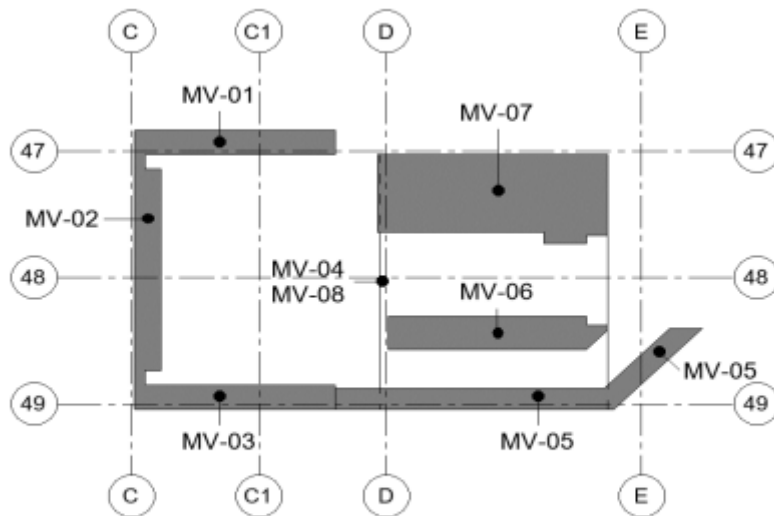
### 4.1 Mengde bygningsmateriale

Tabell 6 viser mengder i de ulike veggene og dekkene rundt det stråleintense området rundt syklotronen og ESS-en.

Tabell 6: Total mengde marmorbetong og coboltlav armering benyttet i bygningsmassen.

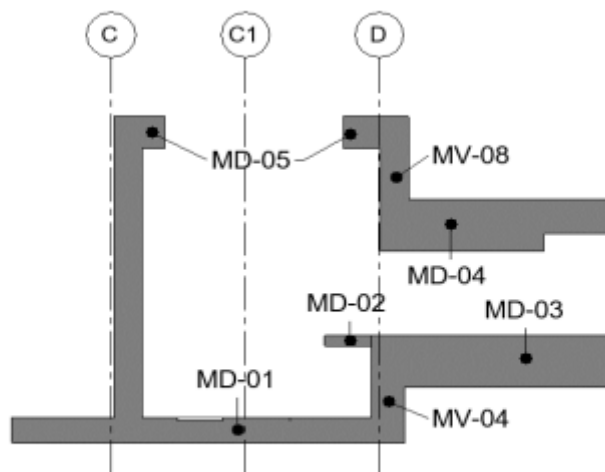
	Tykkelse betong [mm]	Volum betong [m <sup>3</sup> ]	ø16 [m]	x1,58 kg/m [kg]	ø25 [m]	x3,85 kg/m [kg]	ø32 [m]	x6,31 kg/m [kg]	total [kg]	Armeringslag 1 (nærmest syklotron)	Armeringslag 2	
Vegg MV-01	750	38,3	2 180	3 444	91	350	0	0	3 795	1 897	1 897	
Vegg MV-02	750	40,4	2 812	4 443	47	181	0	0	4 624	2 312	2 312	
Vegg MV-03	750	38,8	2 354	3 719	91	350	0	0	4 070	2 035	2 035	
Vegg MV-04	900	7,5	36	57	1 004	3 865		0	3 922	1 961	1 961	
Vegg MV-05	650	21,1	1 270	2 007		0		0	2 007	1 003	1 003	
Vegg MV-06	1000			0	918	3 534	0	0	3 534	3 534		
Vegg MV-07	2400	64,8		223	352	1 528	5 883	0	6 235	3 118	3 118	
Vegg MV-08	750	8,4	447	706	661	2 545	0	0	3 251	1 626	1 626	
		<b>219,3</b>										
Dekke MD-01	750	111,1	280	442	1 748	6 730		0	7 172	7 172		
Dekke MD-02	300	3,0	320	506		0		0	506	506		
Dekke MD-03	1500	76,0	1 750	2 765	1 571	6 048		0	8 813	6 048	2 765	
Dekke MD-04	1500	54,3	870	1 375	1 342	5 167	0	0	6 541	5 167	1 375	
Dekke MD-05	950	42,7	237	374	1 776	6 838	0	0	7 212	6 838	374	
Dekke MD-06												
Dekke MD-07	950	21,9										
		<b>308,9</b>										
			Prefab Marmorbetongblokker i tak over syklotron									
									Total [kg]:	43 216	18 466	

Identifisering av de ulike veggene og dekkene framgår av Figur 17 og Figur 18.



PLAN

Figur 17: Oversikt over plasstøpte marmorvegger rundt syklotronen, jamfør Tabell 6.

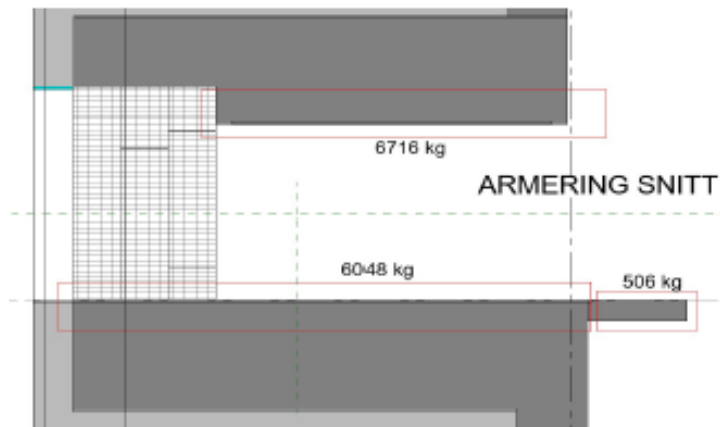


SNITT

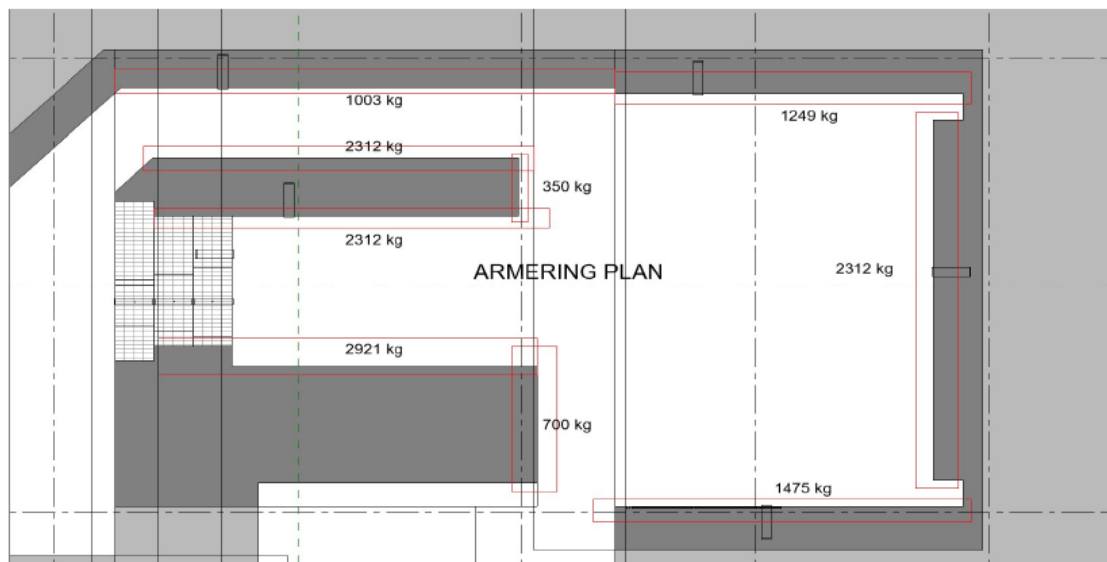
Figur 18: Oversikt over plasstøpte marmordekker rundt syklotronen, jamfør Tabell 6.

## 4.2 Mengde dekommisjonering i henhold til utstysleverandøren

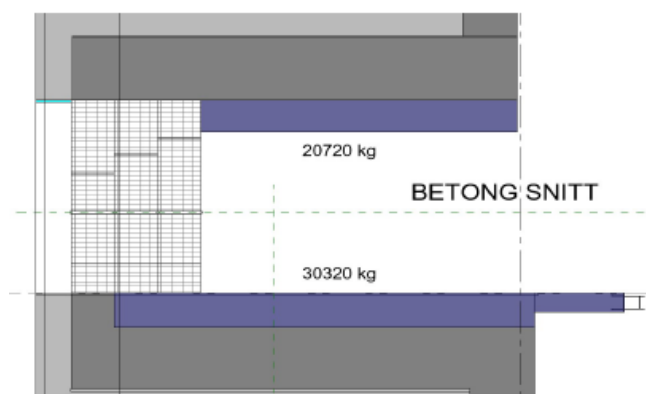
Figur 11 og Figur 12 viser områder som utstysleverandøren har markert rundt ESS og syklotron hvor coboltlav armering og marmorbetong må dekommisjoneres. Prosjekteringsgruppen har tatt ut disse mengdene fra modell, se Figur 19, Figur 20, Figur 21 og Figur 22.



Figur 19: Mengde coboltlav armering som må dekommisjoneres for tak og gulv rundt ESS vist med rød markering.

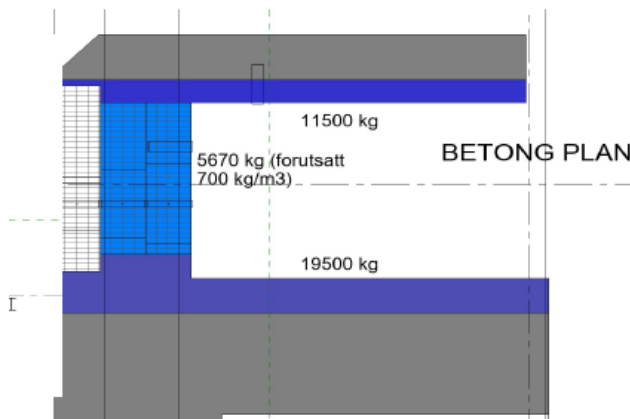


Figur 20: Mengde coboltlav armering som må dekommisjoneres for vegger rundt ESS og syklotron vist med rød markering.



Figur 21: Mengde marmor-betong som må dekommisjoneres for gulv og tak rundt ESS, vist i lilla.





Figur 22: Mengde marmor-betong (mørk blå) og marmorblokker (lys blå) rundt ESS, som må dekommisjoneres.

Total mengde som må dekommisjoneres vises i Tabell 7.

Tabell 7: Mengde marmorbetong, marmorblokker og coboltlav armering som må dekommisjoneres i henhold til utstyrsleverandøren.

	Marmorbetong [kg]	Cobolt lav armering [kg]
<b>Marmorblokker vegg ESS</b>	5670	0
<b>Vegg sør, ESS</b>	11500	4974
<b>Vegg nord, ESS</b>	19500	3621
<b>Tak, ESS</b>	20720	6716
<b>Gulv, ESS</b>	30320	6554
<b>Vegg sør, syklotron</b>	0	2252
<b>Vegg vest, syklotron</b>	0	2312
<b>Vegg nord, syklotron</b>	0	1475
<b>Sum</b>	87710	27904

### 4.3 Mengde innstøpt gods

Det er en god del utstyr og innstøpningsgods som monteres i og rundt syklotronen, BTS og gantryområdet. Det er ikke kjørt analyser av hvilke metaller de ulike godsene inneholder. Dette må gjøres ved endelig dekommisjonering for å avgjøre hvilke deler som skal dekommisjoneres. Innstøpt gods rundt syklotron og ESS er skissert i Tabell 8.

Tabell 8: Oversikt over omfang og vekt av innstøpningsgods i syklotronbunker og rundt energiseleksjonssystemet [Kilde Prosjekteringsgruppen [11]].

Type	Dimensjon	Antall	Kg/ stk.	Tot vekt
IG-M1-04	450x450x50mm	1	88	88
IG-M1-06	500x300x50mm	1	72	72
IG-M1-07	600x600x50mm	1	152	152

IG-M1-13-WELDA	200x200-112	3	5	15
IG-M1-14-WELDA	200x300-165	15	8	120
PL	1000x1000x51	3	408	1224
<b>Totalt</b>				<b>1672</b>

I selve syklotronbunkeren vil det være montert stålbjelker og søyler, vekter for disse er skissert i Tabell 9.

Tabell 9: Oversikt over omfang og vekt for søyler og bjelker montert inne i syklotronbunker og rundt energiseleksjonssystemet [11].

Type	Utstyr	Antall	Kg/ stk.	Tot vekt
IPE 200	Bjelke	11	29	320
IPE 240	Bjelke	7	83	576
CHS 114.3x6	Søyle	3	40	120
<b>Totalt</b>				<b>996</b>

#### 4.4 Mengde protonutstyr

Vektene for selve syklotronen og det tilhørende utstyret er skissert i Tabell 10. Selv om alt utstyr fra leverandør er tatt med i denne totaloversikten, vil bare enkelte deler trenge dekommisjonering, da i hovedsak bestanddeler i selve syklotron og energiseleksjonssystemet. Det vil, som alt annet utstyr ved avhending, være nødvendig å kartlegge graden av radioaktivitet for de ulike komponentene.

Tabell 10: Vekt på utstyr fra utstyrsleverandøren [Kilde: Varian Medical Systems AS]

Component [Name of components weighing more than 100kg]	Weight [kg]	Mounting [Wall/floor]
<b>Gantry pit 1</b>		
Gantry	75 000	Floor
Scissor lift	2 000	Floor
Media Supply Bunker Interface Assembly + Energy chain	1 500	Floor & Wall
Electrical cabinets	3 035	Floor
Moving floor assembly	4 500	Wall
<b>Gantry pit 2</b>		
Gantry	75 000	Floor
Scissor lift	2 000	Floor
Media Supply Bunker Interface Assembly + Energy chain	1 500	Floor & Wall
Electrical cabinets	3 035	Floor
Moving floor assembly	4 500	Wall
<b>Gantry pit 3</b>		
Gantry	75 000	Floor
Scissor lift	2 000	Floor
Media Supply Bunker Interface Assembly + Energy chain	1 500	Floor & Wall
Electrical cabinets	3 035	Floor
Moving floor assembly	4 500	Wall

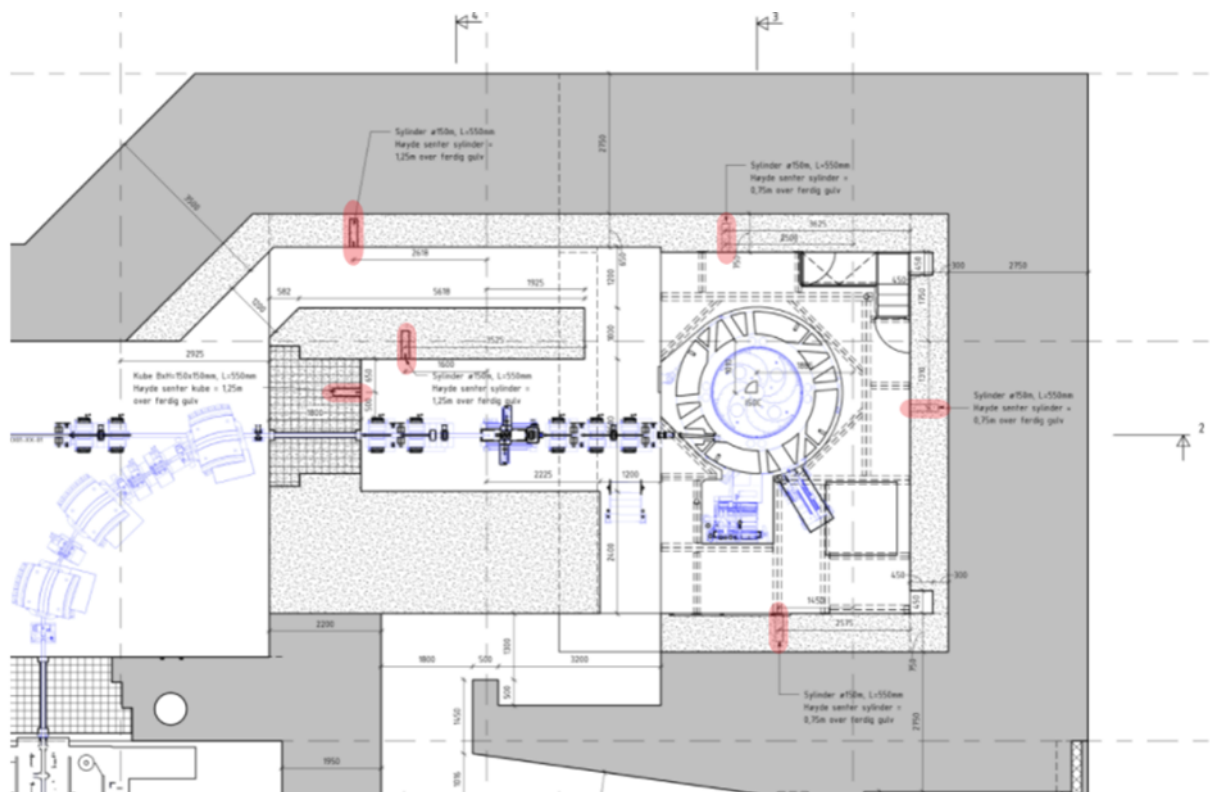
<b>Cyclotron pit</b>		
Cyclotron	120 000	Floor
Supply chain	500	Floor
<b>Beamline Area (korridor for strålelinje)</b>		
9 x 30° Dipole magnets	72 000	Floor
15 x Quadrupole magnets	18 000	Floor
3 x Water manifold	300	Floor
<b>Energy Selection Systems Area</b>		
Beamline components	8 000	Floor
<b>Treatment Area 1</b>		
Patient table robot	2 000	Floor
<b>Treatment Area 2</b>		
Patient table robot	2 000	Floor
<b>Treatment Area 3</b>		
Patient table robot	2 000	Floor

## 4.5 Metode for å kartlegge radioaktivt bygningsmateriale

Det benyttes gammaspektroskopi for å kartlegge aktivering av bygningsmateriale.

For kartlegging av aktivering av marmorbetong over tid er det etablert målesylindre strategiske steder i veggene i og rundt syklotron og energiseleksjonssystemet.

Målesylindrene kan tas ut av veggene og måles med gammaspektroskopi, for over tid å kunne kontrollere aktivering av bygningselementene, se røde markeringer i Figur 23.



Figur 23: Oversikt over målesylindre i bygningsmassen. Målesylindrene er av samme kvalitet som området rundt målesylindren.

Målesylindrene kan kontrollmåles med jevne mellomrom. Sylindrene er utformet med oppdelte diskere på 5,0 og 7,5 cm tykkelse. Det er laget et dobbelt sett med sylindere, slik at man ved måling setter inn ekstrasylindrene. Bygningens skjermingsegenskaper kompromitteres da ikke. Marmorbetongen som er benyttet ble analysert ved oppstart støp, og disse resultatene vil fungere som baseline for fremtidige målinger. På denne måten vil man gjennom hele bygningens levetid kunne måle aktivering av bygningsmaterialene og sammenligne med de teoretiske beregningene som har dannet grunnlaget for denne dekommisjoneringsrapporten. Figur 24 viser bilde av prøveproduksjonen av målesylindre. Mot overflate vegg er målesylindren utstyrt med en disk med større diameter for at nøytroner ikke skal komme innover i vegg og føre til mer nøytronpåvirkning enn det som vil komme inn i en tett vegg.



Figur 24: Prøveproduksjon av målesylindre.

## 4.6 Metoder for rivning og demontering

Rivning og demontering må utføres på en trygg og sikker måte, både med tanke på de utførende og omgivelsene. Metodikk og prosess kan ikke bestemmes i tidlig dekommisjoneringsplan, men må vurderes ved oppdatering av planen med tanke på teknologisk utvikling, organisatoriske forhold, nasjonal strategi for dekommisjonering etc.

## 5 Finansiering

I Stortingsmelding nr 8, se kapittel 1.1, omtales finansiering av dekommisjonering på et overordnet nivå. Produsenter og brukere av lavt- og mellomradioaktivt materiale betaler per 2022 for håndtering og pakking av det radioaktive materialet. Om de samlede kostnader for håndtering og lagring av radioaktivt avfall skal pålegges produsenter eller brukere skal utredes videre.

IAEA legger vekt på at det tidlig i levetiden til slike anlegg skal etableres en plan for finansiering og dermed sikre trygg dekommisjonering. Mangel på finansiering skal ikke

påvirke valget av en trygg dekommisjoneringsstrategi. En plan for finansiering må gjenspeile aktiviteter og tiltak i dekommisjoneringsplanen.

Kostnader skal inkludere følgende:

- Planlegging av dekommisjonering, fra start til utarbeidelse av endelig plan
- Dekommisjoneringsaktiviteter, som beskrevet i planen
- Lagringskostnader
- Aktiviteter etter dekommisjonering, slik som utarbeidelse dokumentasjon og håndtering av avfall

En finansieringsplan skal, som resten av dekommisjoneringsplanen, oppdateres underveis i anleggets levetid. I den initiale planen foreligger kun et første estimat.

Videre plan for finansiering må håndteres av OUS HF som vil være ansvarlig for oppdatering av planverket.

## 5.1 Kostnader for dekommisjonering pr 2022

Siden det ikke finnes nasjonale føringer for hvem eller hvordan radioaktivt avfall skal håndteres i fremtiden, er det eneste konkrete man har å forholde seg til, dagens priser fra IFE. Beregning av kostnader for dekommisjonering pr 2022 er svært tentative og vil endre seg i fremtiden. Dekommisjoneringsplanen og kostnadsbildet må oppdateres i takt med utvikling av NNDs videre arbeid.

Beregningen nedenfor er basert på kostnader for radioaktiv avhending i 2022; 1.029,- pr kg eks mva. I tillegg vil det påløpe et dokument- og klargjøringsgebyr på 4.109,- pr leveranse.

Med utgangspunkt i mengder bygningsmateriale vist i Tabell 7 vil den tentative kostnaden for dekommisjonering bli ca 119 millioner kr eks mva.

*Utrekning:*

$$(87\,710\text{ kg marmorbetong} + 27\,904\text{ kg coboltlav armeringsjern}) * 1\,029\text{ kr pr kg} \\ = \underline{118\,966\,806\text{ eks mva}}$$

Som vist har prosjektet iverksatt tiltak for å redusere dekommisjoneringskostnaden ved å benytte materiale som ikke aktiveres i lik stor grad som vanlig bygningsmateriale. Uten disse tiltakene ville man måtte avhende mengdene bygningsmateriale i henhold til Tabell 5. Da ville kostnaden blitt ca 1,5 milliard kr eks mva.

*Utrekning:*

$$(1\,353\,250\text{ kg betong} + 62\,867\text{ kg armering}) * 1\,029\text{ kr pr kg} \\ = \underline{1\,457\,184\,393\text{ kr eks mva}}$$

Det bemerkes at tiden bygningsmateriale står til nedkjøling vil ha en stor innvirkning for reduksjon av dekommisjoneringskostnaden, og det må vurderes av OUS om man skal la bygget stå mer enn ett år etter endt bruk.

## **6 Referanser og vedlegg**

### **6.1 Lover og forskrifter - referanser**

- [1] Forskrift om begrensning av forurensning (forurensningsforskriften)
- [2] Forskrift om landtransport av farlig gods
- [3] Forskrift om forurensningslovens anvendelse på radioaktiv forurensning og radioaktivt avfall
- [4] Forskrift om gjenvinning og behandling av avfall (avfallsforskriften)
- [5] Forskrift om strålevern og bruk av stråling (strålevernforskriften)

### **6.2 Anbefalinger og veiledere - referanser**

- [6] Standard for beskyttelse av mennesker og miljø av mai 2019: «Decommissioning of Medical, Industrial and Research Facilities, *Specific Safety Guide No. SSG-49*». Standarden beskriver dekommisjonering for medisinske, industrielle og forskningsanlegg, hvor det produseres, lagres eller brukes radioaktive materialer eller kilder.
- [7] Standard for beskyttelse av mennesker og miljø av 2014: «Decommissioning of Facilities, *General Safety Requirements No. GSR Part 6*». Standarden beskriver hvordan plan for dekommisjonering bør planlegges og gjennomføres.

### **6.3 Vedlegg**

- [8] Analyseresultat fra Heidelberg
- [9.1] Decommissioning plan – fra utstyrsleverandør, Unntatt Offentlighetslova (§ 13)
- [9.2] Decommissioning plan – fra utstyrsleverandør, Unntatt Offentlighetslova (§ 13)
- [10] Designdokument strålevern proton (u/vedlegg)
- [11] Innstøpningsgods M1 Syklotron
- [12] Aktiveringsberegninger OUS
- [13] Mengder dekommisjonering – fra prosjekteringsgruppen