

RAPPORT

HÅNDTERING AV RADIOAKTIVT AVFALL

Utredning av kapasitet frem til år 2100



MENON-PUBLIKASJON NR. 69/2024

Av Kristoffer Midttømme, Stine Victoria Stakkestad, Linn Skyum, Sophie Emilie Sundt og Kaja Høiseth-Gilje

Forord



På oppdrag for Direktoratet for strålevern og atomsikkerhet (DSA) har Menon Economics gjennomført en utredning av behov for kapasitet til håndtering av radioaktivt avfall frem mot år 2100. Formålet med utredningen er å ha et oppdatert og utvidet kunnskapsgrunnlag for å sikre en god håndtering av radioaktivt avfall fremover. Arbeidet består av en grundig vurdering av nåværende og fremtidige avfallsstrømmer, typer avfall, og nødvendig kapasitet i avfallshåndteringen for radioaktivt avfall.

Prosjektansvarlig har vært Kristoffer Midttømme, med Stine Victoria Stakkestad som prosjektleder og Linn Skyum og Sophie Emilie Sundt som prosjektmedarbeidere. Kaja Høiseth-Gilje har vært kvalitetssikrer. I tillegg har Asbjørn Hansen, Steven Majhu, Piotr Spiewanowski og Erland Skogli bidratt som ekspertressurser.

Menon Economics er et forskningsbasert analyse- og rådgivningsselskap i skjæringspunktet mellom foretaksøkonomi, samfunnsøkonomi og næringspolitikk. Vi tilbyr analyse- og rådgivningstjenester til bedrifter, organisasjoner, kommuner, fylker og departementer. Vårt hovedfokus ligger på empiriske analyser av økonomisk politikk, og våre medarbeidere har økonomisk kompetanse på et høyt vitenskapelig nivå.

Vi takker DSA for et spennende oppdrag.

Mai 2024

Kristoffer Midttømme
Prosjektansvarlig
Menon Economics

Innhold

SAMMENDRAG	3
Konklusjon	8
ORDLISTE	9
1 INTRODUKSJON OG BAKGRUNN	12
1.1 Oppdragsbeskrivelse	12
1.2 Radioaktivt avfall og håndtering av radioaktivt avfall	12
1.3 Metode og avgrensninger	14
1.4 Rapportens oppbygning	15
2 UTVIKLING I RADIOAKTIVT AVFALL FREM TIL 2100	16
2.1 Utviklingstrekk og trender frem mot 2100	16
2.2 Nukleær virksomhet	21
2.3 Bruk av medisinske produkter	24
2.4 Utvikling og produksjon av medisinske produkter	26
2.5 Øvrig forskning og utdanning	29
2.6 Olje- og gassvirksomhet	31
2.7 Bygg- og anleggsvirksomhet	35
2.8 Mineral- og prosessindustrien	37
2.9 Andre avfallskilder	40
2.10 Kapasitetsbehov frem mot år 2100	42
3 KONKLUSJON	51
4 REFERANSER	53

Sammendrag

Denne utredningen tar for seg prognoser for radioaktivt avfall frem til år 2100, samt medfølgende behov for kapasitet i avfallshåndteringen. Formålet med utredningen er å sikre en trygg, sikker og forsvarlig håndtering av radioaktivt avfall i fremtiden, basert på en grundig vurdering av nåværende og fremtidige avfallsstrømmer, typer avfall, og nødvendig kapasitet i avfallshåndteringen.

Utvikling i radioaktivt avfall frem mot år 2100

Dagens samfunn står overfor betydelige endringer som kan påvirke hvor mye radioaktivt avfall som genereres og som må håndteres i fremtiden. Viktige globale og nasjonale trender inkluderer en økt og aldrende befolkning, økt miljøfokus fra både forbrukere og regulatoriske myndigheter, teknologisk utvikling, og geopolitiske forskyvninger. Disse trendene vil forme samfunnets økonomiske og sosiale strukturer og ha implikasjoner for hvordan vi produserer og håndterer radioaktivt avfall.

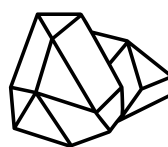
Utredningen dekker alle sektorene som genererer kjent radioaktivt avfall i dag. Dette inkluderer både sektorer som genererer avfall som inneholder menneskeskapt radioaktive stoffer, som nukleær virksomhet, bruk av medisinske produkter, utvikling og produksjon av medisinske produkter, øvrig forskning og utdanning og noen andre kilder. Utredningen dekker også sektorer som genererer avfall med naturlig forekommende radioaktive stoffer, som olje- og gassvirksomhet, bygg- og anleggsvirksomhet, mineral- og prosessindustrien og noen andre kilder. For hver sektor har vi gjort en vurdering av historisk avfallsproduksjon og satt opp prognoser for fremtidig avfallsproduksjon frem til år 2100. Bakgrunnen for valgt tidsperiode er at det allerede i dag haster å få på plass nye lager- og deponiløsninger for radioaktivt avfall, og det må planlegges for at nye anlegg må ha en levetid på mellom 50 og 100 år. Rapporten vil bidra til kunnskapsgrunnlaget for hvordan nye anlegg bør dimensjoneres og et langt tidsperspektiv er derfor nødvendig.

Til sammen anslår vi at det vil genereres følgende mengder radioaktivt avfall frem til år 2100:



14 300 tonn

Avfall med menneskeskapt
radioaktive stoffer

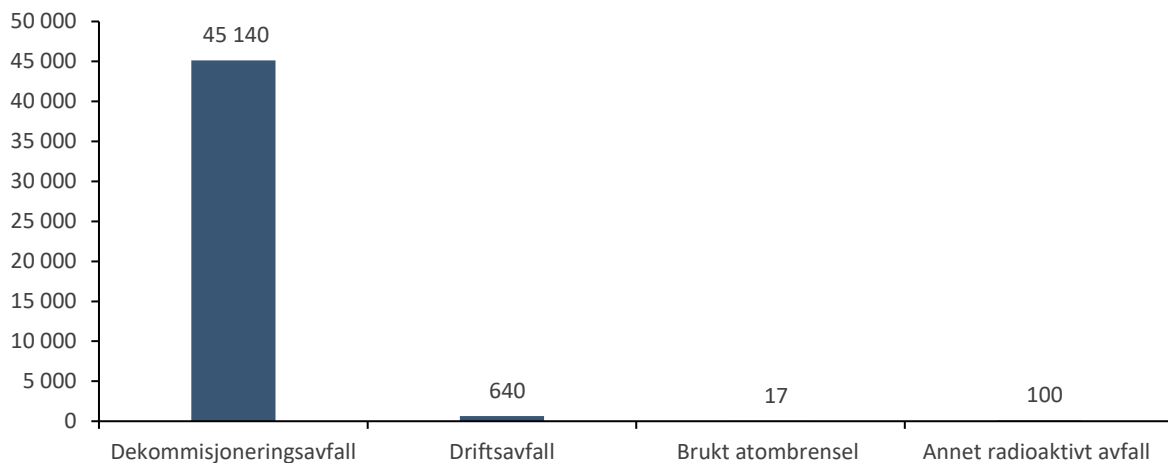


15,7 millioner tonn

Avfall med naturlig forekommende
radioaktive stoffer

Innenfor sektorer som primært genererer avfall med menneskeskapt radioaktive stoffer vil **opprydningen etter atomvirksomhet** i Halden og på Kjeller generere særlig store mengder avfall. Det er stor variasjon i egenskapene til avfallet, noe som vil ha betydning for videre håndtering. Det er både radioaktivt avfall som inneholder stor mengde radioaktive stoffer med lang halveringstid, som brukt atombrensel, og en stor andel, som eksempelvis betongkonstruksjoner, som sannsynligvis har lav eller ingen radioaktivitet. Figuren under viser mengden avfall dekommisjoneringen vil medføre, ifølge Norsk nukleær dekommisjonering (NND). Det er sannsynlig at en stor del av dekommisjoneringsavfallet vil være under grenseverdiene for deponeringspliktig radioaktivt avfall eller er ordinært avfall.

Figur 0-1. Avfall (i tonn) fra opprydning etter atomvirksomhet. Kilde: NNDs waste management program, 2024

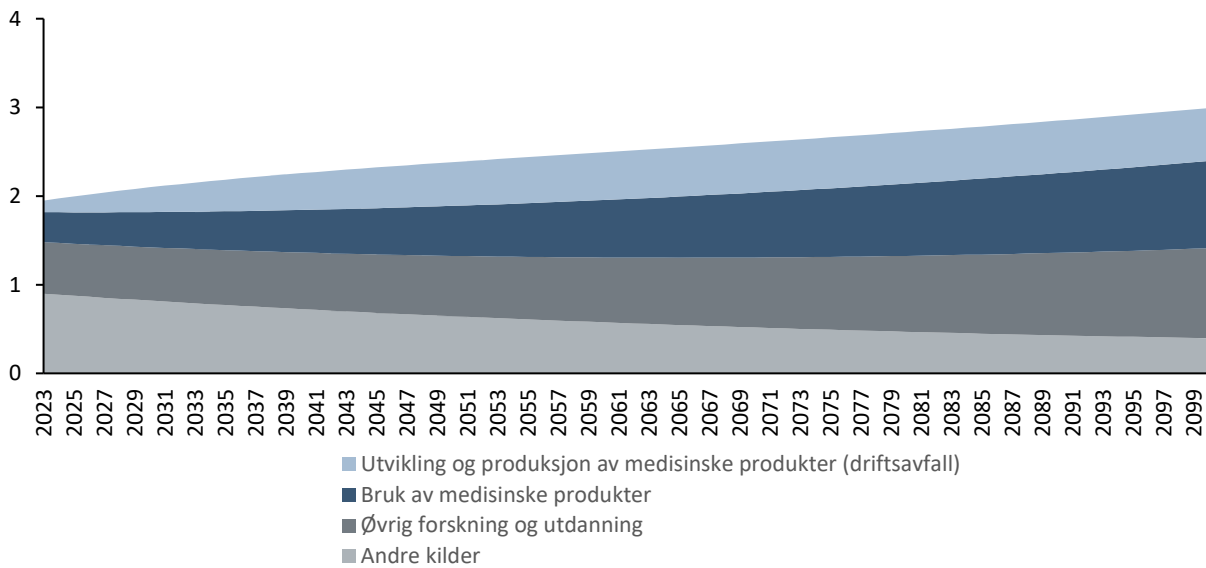


Videre tilsier prognosene at både **utvikling, produksjon og bruk av medisinske produkter** vil generere økende mengder radioaktivt avfall fremover. Mengden avfall er avhengig av hvordan bruken av radiofarmaka som diagnose- og behandlingsmetode utvikler seg fremover. Økningen i bruk av radiofarmaka som diagnose- og behandlingsmetode er drevet av en økende, aldrende befolkning i Norge hvor tilfeller av eksempelvis kreft vil øke. En annen faktor som vil drive utviklingen er hvorvidt Norge vil fortsette å forske på og produsere radiofarmaka i fremtiden. Dersom Norge satser stort på, og lykkes med, produksjon av radiofarmaka, vil det kunne medføre en femdobling av avfallsmengden i sektoren de neste 15 årene.

Øvrig forskning og utdanning vil fortsette å generere noe radioaktivt avfall, men årlig avfallsproduksjon forventes å holde seg på omtrent samme nivå som i dag. **Andre kilder til avfall med menneskeskapt radioaktivt stoff (primært røykvarslere)** antas å avta over tid, etter hvert som ioniske røykvarslere med radioaktive stoffer fases ut av markedet.

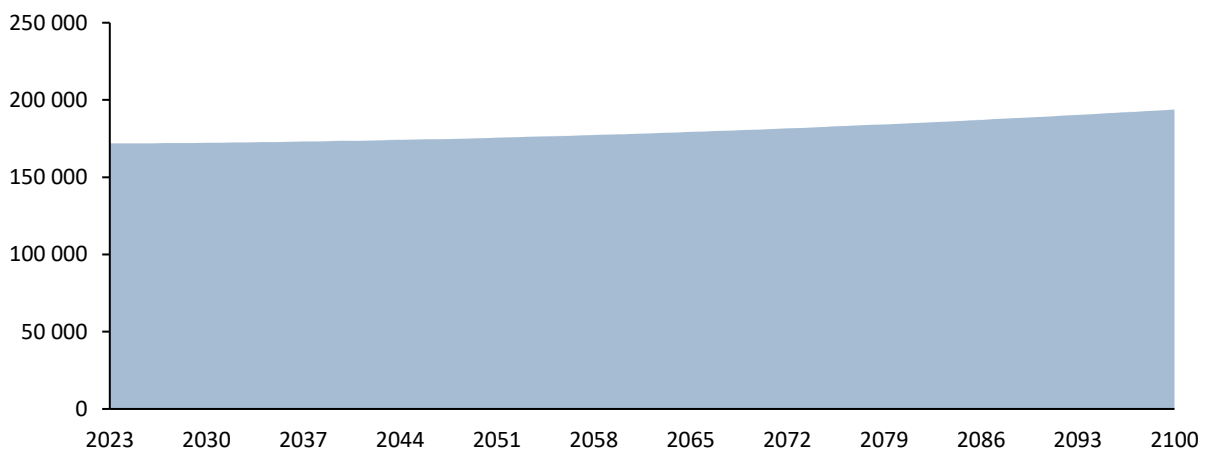
Figuren under oppsummerer våre prognoser for utviklingen av radioaktivt avfall innenfor disse sektorene frem mot 2100. Figuren inneholder *ikke* avfall fra atomanleggene eller dekommisjonering av større utstyr innen produksjon av radiofarmaka eller protonbehandlingsanlegg. Det er stor usikkerhet rundt dekommisjonering av større utstyr innen produksjon av radiofarmaka og protonbehandlingsanlegg, men det er anslått at dette vil generere omtrent 400 tonn avfall frem mot 2100.

Figur 0-2. Forventet utvikling i løpende avfall som inneholder menneskeskapte radioaktive stoffer (tonn)¹, 2023-2100.



For avfall med **naturlig forekommende radioaktive stoffer** er det **bygg- og anleggsvirksomhet** som genererer klart mest avfall. Avfallet genereres ved graving i Oslofeltet og omkringliggende områder på Østlandet. Befolkningsveksten fremover taler for at man fortsatt vil bygge infrastruktur og bygg. I tillegg ser man et stort vedlikeholdsetterslep på vann og avløp som vil kreve graving i utsatte områder. På den andre siden er det økende etterspørsel etter mer bærekraftige utbyggings- og vedlikeholdsmetoder, noe som taler for en reduksjon i mengden avfall. Figuren under viser forventet utvikling for bygg- og anleggsvirksomhet, som er stabil over tid.

Figur 0-3. Forventet utvikling i radioaktivt avfall fra bygg- og anleggsvirksomhet (tonn), 2023-2100.

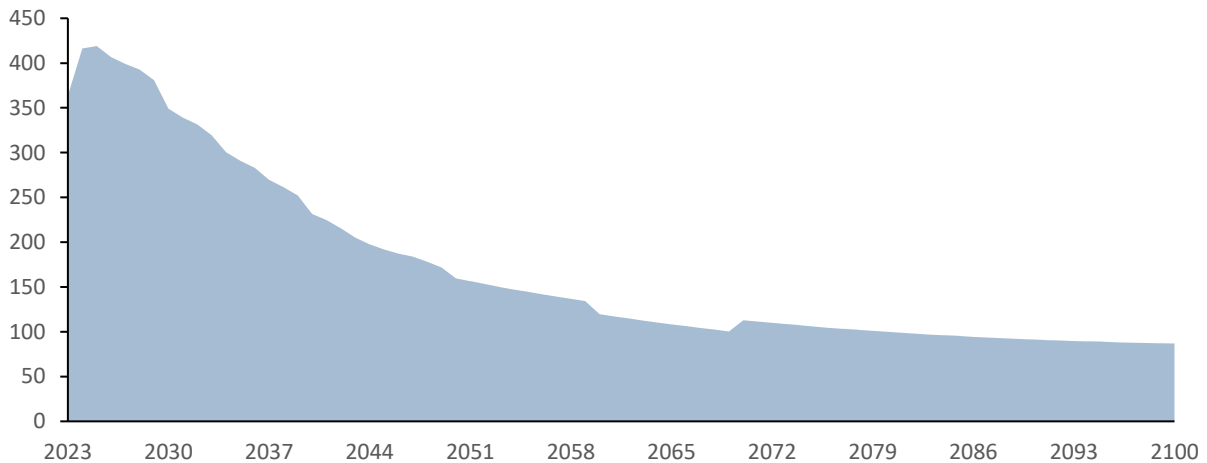


Sokkeldirektoratets forventninger indikerer at **olje- og gassproduksjonen** på norsk sokkel vil mer enn halveres fra 2025 til 2050, avhengig av fremtidig teknologiutvikling og nye funn. Dette vil også føre til en tilsvarende

¹ Ikke inkludert dekommisjoneringsavfall fra utstyr innen medisinsk produksjon og behandling eller dekommisjoneringsavfall fra atomanleggene.

reduksjon i produksjonen av radioaktivt avfall. Feltene vil måtte dekommisjoneres etter hvert som de tas ut av produksjon, men observasjoner gjort hittil (Miljødirektoratet, 2011) viser at mengdene radioaktivt avfall som følger av dekommisjonering vil være begrenset sammenliknet med avfallet som kommer av dagens produksjon. Figuren under viser forventet utvikling over tid for olje- og gassvirksomhet.

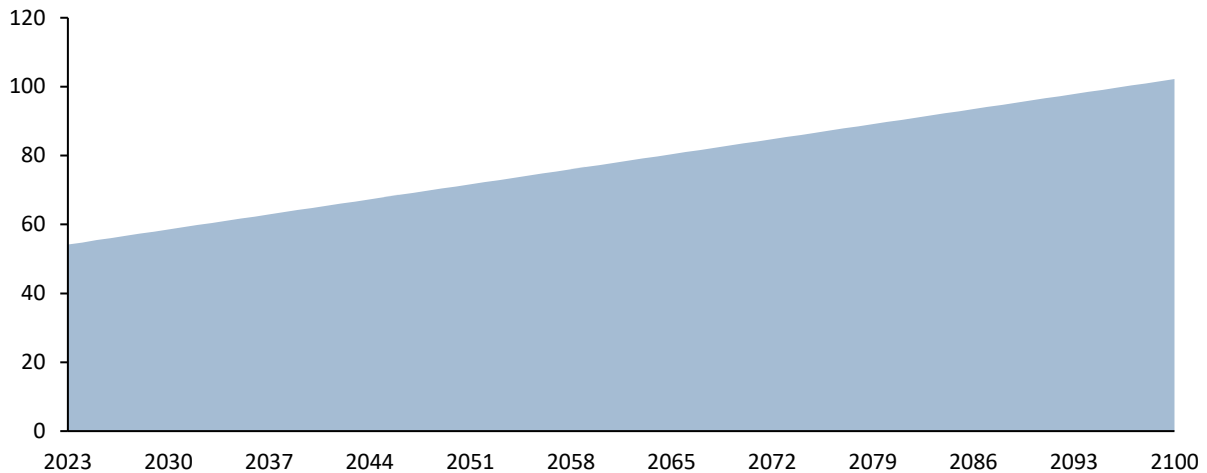
Figur 0-4. Forventet utvikling i radioaktivt avfall fra olje- og gassvirksomhet (tonn), 2023-2100.



99,5 prosent av alt radioaktivt avfall i **mineral- og prosessindustrien** per i dag (målt i vekt) kommer fra én produsent, Yara Norge AS. Dette innebærer at fremtidige avfallsmengder er svært usikre da en endring i Yaras produksjon alene vil kunne gi direkte utslag på avfallsmengdene. Mengden radioaktivt avfall fra Yara avhenger både av deres produksjonsnivå og sammensetningen av innsatsfaktorer i produksjonen, og kan både økes og reduseres over tid. For næringen som helhet forventes det en total avfallsmengde på 1,65 millioner tonn fram til år 2100, som tilsvarer et gjennomsnitt på omtrent 21 000 tonn årlig.

Fra næringen utenom Yara forventes det en jevn økning i radioaktivt avfall fremover, men det er flere faktorer som kan dra mengden både opp og ned. Store deler av næringen opererer i sterk konkurranse med internasjonale aktører, og det er dermed en risiko for at produksjonen i Norge vil reduseres over tid. Samtidig gir lave energikostnader et konkurransefortrinn for energiintensive industrinæringer, og det finnes flere muligheter for vekst i årene fremover. Det er også mulig at det finnes mørketall innenfor mineral- og prosessindustrien, og at flere selskaper produserer radioaktivt avfall som burde deklarerer. Her er det et pågående arbeid for å kartlegge industrier og virksomheter i Norge som håndterer store mengder naturlige råstoffer og dermed kan komme til å produsere radioaktivt avfall og utslipp. Figuren under viser anslått utvikling i sektoren utenom Yara.

Figur 0-5. Forventet utvikling i radioaktivt avfall fra mineral- og prosessindustri utenom Yara (tonn), 2023-2100.



Fensfeltet utenfor Ulefoss, som potensielt inneholder Europas største forekomster av sjeldne jordarter og store thoriumforekomster, vil kunne representere et interessant område for fremtidig utvinning av mineraler. Dette kan potensielt også generere store mengder radioaktivt avfall fremover. Det finnes også flere tilfeller av **historisk avfall**, eller såkalte «gamle synder», der radioaktivt avfall har blitt produsert eller lagret uten hensyn til hvilke endelige disponeringsløsninger som finnes for avfallet. Dette må ryddes opp i fremtiden og vil innebære avfall som må håndteres.

I tillegg kan en rekke andre scenarier inntreffe og påvirke avfallsutviklingen over tid. Dette kan eksempelvis være utvikling av kjernekraft i Norge eller utvinning av havbunnsmineraler. Dette ligger ikke inne i våre prognoser, men diskuteres kvalitativt i rapporten.

Kapasitetsbehov frem mot år 2100

Valg av avfallshåndtering bestemmes ut fra avfallsets egenskaper. Vi har illustrert de ulike trinnene for håndtering av radioaktivt avfall i figuren under.

Figur 0-6. Illustrasjon av de ulike trinnene for håndtering av radioaktivt avfall. ²



² Trinnene kan komme i ulik rekkefølge og hvilke trinn som er nødvendig før deponering vil variere mellom forskjellige avfallstyper.

For å håndtere avfallet som forventes å oppstå fram til år 2100, er det behov for tilstrekkelig kapasitet for behandling, lagring og deponering av radioaktivt avfall. Utredningen peker på flere utfordringer knyttet til håndtering av avfallet, inkludert behov for nye deponiløsninger og behandlingsanlegg, samt utfordringer knyttet til spesifikke typer avfall som krever særlige håndteringsmetoder. For enkelte avfallstyper er situasjonen kritisk allerede i dag.

Konklusjon

Punktene nedenfor oppsummerer de viktigste funnene i denne rapporten, og de områdene det vil være essensielt å etablere gode løsninger for i nær framtid.

Det er sårbarheter og kapasitetsutfordringer i de fleste leddene i avfallshåndteringen. Det er få aktører og liten geografisk spredning, og dagens kapasitet er ikke dimensjonert for framtidens lagrings- og deponibehov.

Nye lagringsløsninger for avfall med menneskeskapt radioaktive stoffer må komme på plass umiddelbart.

Som en følge av stans i deponering av radioaktivt avfall i KLDRA-Himdalen står flere virksomheter allerede uten muligheter til å avhende sitt radioaktive avfall. Det er stor fare for at disse utfordringene vil spre seg til stadig flere virksomheter og næringer fram til en lagrings- eller deponiløsning er på plass.

Utvidede tillatelser til lagring av kortlivet avfall til henfall kan redusere lager- og deponibehovet. Aktører i helsesektoren anslår at de kunne redusert mengden avfall som sendes til deponi med om lag 20 prosent dersom de hadde hatt tillatelse til å la avfallet stå til henfall i ytterligere ett år.

Sortering av avfallet og nye behandlingsmetoder kan lette på trykket på lager- og deponikapasitet. Sortering av avfall før deponering er viktig for å minimere mengden radioaktivt avfall. Dette er særlig viktig ved deponering av NORM-avfall, og ved dekommisjonering³ der det er sannsynlig at deler av avfallet vil kunne avhendes som ordinært avfall. Dersom en større del av avfallet forbrennes, vil også dette kunne redusere behovet for deponikapasitet.

Det må eksistere realistiske planer for håndtering av radioaktivt avfall ved oppstart av ny produksjon. Det finnes flere næringer som per i dag ikke genererer radioaktivt avfall, men hvor det kan oppstå i fremtiden. I disse næringene er det essensielt at håndtering av eventuelt radioaktivt avfall er planlagt før oppstart av produksjonen.

Kommunikasjon mellom myndighetene, avfallsprodusentene og avfallshåndteringsaktørene bør forbedres.

For å sikre gode løsninger for framtidens avfallshåndtering må det være god dialog mellom myndighetene, avfallsprodusentene og avfallshåndteringsaktørene. Blant annet bør det sikres at egnede avfalls løsninger eksisterer før tillatelser til virksomhet etter forurensningsloven gis, for å unngå ulovlig lagring av avfall.

Kunnskapen om radioaktive stoffer og radioaktivt avfall i samfunnet er økende, men fremdeles begrenset.

Dette gjelder særlig i sektorer der det genereres store avfallsmengder som kun i enkelte tilfeller overstiger grensene for radioaktivt avfall, og spesielt blant mindre aktører.

³ Eksempelvis ved dekommisjonering av forskningsreaktorer, produksjonsanlegg av radiofarmaka og protonbehandlingsanlegg

Ordliste

Definisjoner av begrep og forkortelser som vi bruker i rapporten er listet opp i tabellen under.

Tabell 0-1. Alfabetisk liste over begreper og forkortelse

Begrep	Definisjon
Aktivitet	Styrken til en radioaktiv kilde angitt i antall kjerneomdanninger (desintegrasjoner) per tidsenhet. Angis i enheten becquerel (Bq) (Strålevernforskriften, 2016, § 4). Se også spesifikk aktivitet.
Behandling	Fysiske, kjemiske eller biologiske prosesser som er nødvendige eller hensiktsmessige for disponering av avfallet (Avfallsforskriften, 2004, § 16-3)
Brukt atombrensel	Atombrensel som er blitt bestrålt i en atomreaktor og som ikke lenger er egnet til bruk i en ordinær atomreaktor. I denne rapporten regnes også bestrålt atombrensel som fortsatt står igjen i Halden-reaktoren som brukt atombrensel. Det norske brukte atombrenselet anses å være avfall fordi det ikke forutsees ytterligere bruk for det og det er derfor i denne sammenheng å anse som radioaktivt avfall.
Dekommisjonering	En fase under et anleggs levetid hvor planlagt demontering, rivning og andre tiltak gjennomføre ved anlegget og forurenset grunn fjernes fra området, slik at en sikker tilstand oppnås og hele eller deler av området kan tas ut av regulatorisk kontroll og brukes til andre formål.
Dekommisjoneringsavfall	Radioaktivt avfall som vil produseres i forbindelse med rivning og demontering av (i) atomanlegg, (ii) anlegg for protonbehandling og produksjon av radiofarmaka og (iii) offshoreinstallasjoner.
Deponeringspliktig radioaktivt avfall	Radioaktivt avfall med total eller spesifikk aktivitet større enn eller lik grenseverdiene i forskrift om radioaktiv forurensning og radioaktivt avfall (2010), vedlegg I b.
Deponering	Endelig anbringelse av radioaktivt avfall til deponi.
Deponi	Anlegg for sluttbehandling av avfall ved permanent deponering på eller under bakken (Avfallsforskriften, 2004, § 9-3)
Disponering	Endelig anbringelse av radioaktivt avfall f.eks. i form av forbrenning, gjenvinning eller kontrollert deponering (Avfallsforskriften, 2004, § 16-3).
Driftsavfall	Radioaktivt avfall som produseres under drift. Omfatter blant annet laboratorieavfall, metallavfall, filtermasser og konsentrat etter inndamping av flytende avfall. Driftsavfall omfatter ikke brukt atombrensel.
Dypdeponi	Deponi som ligger dypt i en geologisk formasjon, ofte med flere hundre meters overdekning av stein. Dypdeponi benyttes til høyradioaktivt avfall og mellomradioaktivt avfall med lang halveringstid. Det finnes ingen dypdeponi for radioaktivt avfall i Norge i dag.
Halveringstid	Tiden det tar før halve mengden radioaktive isotoper henfaller til nye stoffer.
Henfall	Den fysiske prosessen hvor radioaktivitet skilles ut fra en atomkjerne og hvor en radioaktiv isotop omdannes til en ny isotop, enten radioaktiv eller ikke-radioaktiv. Avfall som inneholder kortlivede nuklider kan settes til henfall, før det kan avhendes som ikke-radioaktivt avfall.

Håndtering	En fellesbetegnelse for mottak, mellomlagring, behandling og annen disponering av radioaktivt avfall (Avfallsforskriften, 2004, § 16-3)
IAEA	The International Atomic Energy Agency. Samarbeidsorgan for å fremme fredelig og trygg utnyttelse av atomenergi.
IFE	Institutt for Energiteknikk. Norsk privat stiftelse som driver med internasjonalt anerkjent forskning. Har stått for driften av Norges fire forskningsreaktorer, samt tilhørende støtteanlegg til reaktorene.
Ionebyttere / Ionerbytttermasse	Fast eller flytende stoff som kan absorbere visse ioner og samtidig avgir noen av sine egne ioner. Brukes blant annet i analytisk kjemi og til dekontaminering av radioaktivt forurensede materialer.
Isotop	Variant av et grunnstoff. Forskjellige isotoper av samme grunnstoff har likt antall protoner, men ulikt antall nøytroner i kjernen. Ustabile (radioaktive) isotoper av samme grunnstoff har forskjellige radioaktive egenskaper.
Kapslet radioaktiv strålekilde	Radioaktivt stoff som er innkapslet for å forhindre spredning av det radioaktive stoffet til omgivelsene (Strålevernforskriften, 2016, § 4)
KLDRA-Himdalen	<i>Kombinert Lager og Deponi for lav- og mellomaktivt Radioaktivt Avfall.</i> KLDRA er et overflatenært deponi lokalisert i Himdalen i Akershus, og er det eneste deponiet i Norge som har tillatelse etter forurensningsloven til å ta imot og deponere radioaktivt avfall med menneskeskapte radioaktive stoffer. KLDRA har også tillatelse til å lagre 166 tønner med radioaktivt avfall som allerede står i anlegget.
Menneskeskapte radioaktive stoffer	Radioaktive stoffer som er kunstig fremstilt. Omtales også som kunstig fremstilte radioaktive stoffer.
NND	Norsk nukleær dekommisjonering. Statlig etat underlagt Nærings- og fiskeridepartementet, opprettet i 2018. Ansvarlige for dekommisjoneringen av de norske atomanleggene i Halden og på Kjeller, og KLDRA Himdalen og annet avfall med menneskeskapte radioaktive stoffer, samt oppryddingen av avfallet etter Sjøve gruver.
NORM	Forkortelse for <i>Naturally Occurring Radioactive Materials</i> . NORM benyttes som en samlebetegnelse for naturlig forekommende radioaktive stoffer. Ved inngrep i bergarter som inneholder forhøyede nivåer av NORM eller ved bruk av naturlige materialer med forhøyede nivåer av NORM i industri vil det kunne oppstå avfall som overskrider grenseverdiene for radioaktivt avfall og/eller økt tilførsel av radioaktive stoffer som vil kreve en tillatelse etter forurensningsloven.
Nuklide	En nuklide er et atom med et bestemt antall protoner og nøytroner i atomkjernen.
Overflatedeponi	Overflatedeponi er deponi som enten er plassert på bakken eller delvis nedsenket i terrenget. Slike deponier må ha flere barrierer mellom avfallet og ytre miljø samt et tett toppdekk når deponiet avsluttes. I Norge benyttes overflatedeponi til svært lavradioaktivt avfall. Internasjonalt benyttes ofte overflatedeponier også for enkelte avfallstyper som det i Norge er etablert overflatenære deponier for.
Overflatenært deponi	Deponi som er konstruert med overdekking med opp flere titalls meter med konstruerte barrierer mellom avfallet og det ytre miljø, for eksempel i fjelltunneler. Overflatenært deponi benyttes til lavradioaktivt og mellomradioaktivt avfall med relativt kort halveringstid. KLDRA Himdalen og deponiet Wergeland-Halsvik i Gulen kommune er overflatenære deponier.

Partikkelgenerator/partikkelakselerator	Maskin som benytter elektromagnetiske felt til å drive frem elektrisk ladde partikler til høye hastigheter, samt holde partiklene i veldefinerte stråler. Mindre kraftige partikkelakseleratorer brukes blant annet til partikkelterapi og produksjon av radioaktive isotoper som anvendes innen medisin og forskning.
PET	Positronemisjonstomografi. Diagnostisk undersøkelse som gjør det mulig å avbilde fysiologisk aktivitet i celler og vev. Teknikken innebærer at radioaktive stoffer tilføres pasienten, og er dermed en nukleærmedisinsk undersøkelsesmetode. Bildene fra PET-undersøkelse brukes til å studere en rekke sykdommer.
Radioaktivt avfall	Løseobjekter eller stoffer som regnes som avfall etter forurensningsloven § 27 første ledd, og inneholder eller er forurenset med radioaktive stoffer med spesifikk aktivitet som er større enn eller lik verdiene angitt i forskrift om radioaktiv forurensning og radioaktivt avfall (2010), vedlegg I, bokstav a.
Radiofarmaka	Radiofarmasøytiske preparater er en gruppe farmasøytiske legemidler som inneholder radioaktive isotoper. Radiofarmasøytiske midler kan brukes som diagnostiske og terapeutiske midler.
Spesifikk aktivitet (Bq/g)	Hvor mye radioaktivitet som finnes per gram i radioaktive stoffer.
Stråledoser	Mål på energimengden stråling avsetter i vev. Den biologiske effekten vil variere med typen stråling og hva slags vev/organ som bestråles. Oppgis normalt i enheten millisievert, mSv.
Åpen radioaktiv strålekilde	Radioaktivt stoff som ikke er innkapslet (Strålevernforskriften, 2016, § 4).

1 Introduksjon og bakgrunn

På oppdrag for Direktoratet for strålevern og atomsikkerhet (DSA) har Menon Economics gjennomført en utredning av behov for kapasitet til håndtering av radioaktivt avfall frem mot år 2100. Formålet med utredningen er å ha et oppdatert og utvidet kunnskapsgrunnlag for å sikre en trygg, sikker og forsvarlig håndtering av radioaktivt avfall fremover. Arbeidet består av en grundig vurdering av nåværende og fremtidige avfallsstrømmer, typer avfall, og nødvendig kapasitet i avfallshåndteringen for radioaktivt avfall.

1.1 Oppdragsbeskrivelse

DSA er forvaltnings- og tilsynsmyndighet på områdene strålevern og atomsikkerhet, radioaktiv forurensning og radioaktivt avfall, herunder beredskap mot akutt radioaktiv forurensning. DSA ønsker å sikre en trygg, sikker og forsvarlig håndtering av radioaktivt avfall, og ser behovet for nye forbrennings-, lager- og deponiløsninger. Hovedformålet med utredningen er å ha et oppdatert og utvidet kunnskapsgrunnlag for å sikre trygg, sikker og forsvarlig håndtering av radioaktivt avfall i årene fremover. Det oppdaterte kunnskapsgrunnlaget vil kunne brukes til å gi konkrete og faglig begrunnede råd for fremtidig tilrettelegging. Arbeidet består av en grundig vurdering av nåværende og fremtidige avfallsstrømmer, typer avfall, og nødvendig kapasitet i avfallshåndteringen for radioaktivt avfall.

Utredningen bygger på tidligere arbeid fra 2016 (DSA, 2016) og tar hensyn til ny utvikling, som nedstengning av forskningsreaktorer og økning i medisinsk bruk av radioaktive stoffer, som påvirker mengden og typene av radioaktivt avfall. Det er også en økende interesse for utvinning av mineraler som også inneholder radioaktive stoffer, noe som kan føre til nye typer avfall, som eksempelvis utvinning av havbunnsmineraler og utvinning av sjeldne jordsartsmetaller. Økende produksjon av radioaktivt avfall fordrer at det finnes lagrings-, behandlings- og deponikapasitet for dette avfallet. I dag er det flere utfordringer på dette området. Blant annet er det stans i deponeringen i KLDRA-Himdalen, som påvirker hele avfallsstrømmen og verdikjeden for radioaktivt avfall med menneskeskapt radioaktive stoffer. I tillegg er det begrenset mottaks- og deponi kapasitet for avfall med naturlig forekommende radioaktive stoffene (NORM).

1.2 Radioaktivt avfall og håndtering av radioaktivt avfall

Radioaktivt avfall er avfall som inneholder radioaktive stoffer i høye nok konsentrasjoner til å bli klassifisert som radioaktivt avfall i henhold til grenseverdier gitt i forskrift om radioaktiv forurensning og avfall (2010). Dette kan omfatte både naturlig forekommende og menneskeskapt radioaktive stoffer. Mens menneskeskapt radioaktive stoffer ofte brukes i sammenhenger som nukleær industri, medisinsk forskning og behandling, finnes naturlige radioaktive stoffer i mindre mengder i naturen rundt oss. Naturlig forekommende stoffer kan i noen tilfeller forekomme i høyere konsentrasjoner fra naturens side, slik at masser som graves ut må behandles som radioaktivt avfall. I andre tilfeller kan naturlig forekommende stoffer bli konsentrert gjennom menneskelige aktiviteter som industri og gruvedrift.

Radioaktivt avfall skal håndteres i tråd med nasjonalt lovverk og Norges internasjonale forpliktelser, og på en **sikker, trygg og forsvarlig** måte. Det betyr at avfallet skal håndteres slik at det ikke skader mennesker og miljø, verken innenfor eller utenfor nasjonale grenser. Det er den som produserer avfallet som har ansvaret for håndteringen av eget avfall.

Sikker håndtering innebærer at det skal finnes effektive beskyttelsestiltak mot mulige farer, slik at yrkeseksponerte, enkeltindivider, befolkning og miljø er beskyttet mot skadelige radioaktive, kjemiske og andre

negative konsekvenser av avfallet. Avfallet skal håndteres slik at det sikrer eller opprettholder en sikker tilstand som forhindrer at ulykker skjer og begrenser eventuelle konsekvenser dersom en ulykke skulle skje.

Trygg håndtering av avfallet innebærer at avfallet også skal være fysisk beskyttet mot uønskede tilsiktede handlinger med formål om å skape en trussel eller skade mennesker og miljø. Kravet gjelder ikke bare fysisk sikring, men også informasjonssikkerhet. Kravet til trygg håndtering er strengere jo høyere radioaktivitet det er i avfallet. Det er for eksempel ingen spesielle krav til sikring av NORM-avfall, men det er strenge krav når det gjelder sikring av brukt atombrensel og radioaktive kilder.

Forsvarlig håndtering innebærer at sikkerheten for miljø og mennesker skal være ivaretatt til et akseptabelt nivå, og at all eksponering skal holdes så lav som med rimelighet kan oppnås. I vurderingen av om håndteringen er forsvarlig må sannsynligheten for at skade kan oppstå og omfanget på eventuell skade inngå. For å kunne vurdere dette er det viktig at man vet hva avfallet inneholder. Hva som anses som forsvarlig må vurderes utfra den konkrete situasjonen, og vil kunne endres over tid i takt med økende kunnskap og teknologisk utvikling. Forsvarlighetskravet gjelder for all trinn i håndteringen av radioaktivt avfall.

1.2.1 Kort om regelverk

Radioaktivt avfall er regulert i lov av 13. mars 1981 nr 6 om vern mot forurensninger og om avfall (forurensningsloven) og i forskrift av 1. juni 2004 nr. 930 om gjenvinning og behandling av avfall (avfallsforskriften) kapittel 16. Lov av 12. mai 2000 nr. 36 om strålevern og bruk av stråling (strålevernloven) og lov av 12. mai 1972 nr. 28 om atomenergivirksomhet (atomenergiloven) med forskrifter har også bestemmelser som gjelder for radioaktivt avfall.

Forurensningsloven med forskrifter er det mest sentrale og spesialiserte regelverket når det gjelder håndtering av radioaktivt avfall. Når det gjelder håndtering av radioaktivt avfall som inneholder atoms substans kreves det konsesjon etter atomenergiloven i tillegg til tillatelse etter forurensningsloven. I konsesjonen kan det stilles vilkår som får betydning for håndteringen av den type avfall. Strålevernloven med forskrifter har bestemmelser for yrkeseksponerte og grenser for eksponering til allmennheten, og som også vil gjelde ved håndtering av radioaktivt avfall.

Norge er forpliktet til å ivareta helse, sikkerhet og miljø ved håndtering av radioaktivt avfall gjennom flere internasjonale avtaler og konsekvensjoner. Mest sentral for håndtering av radioaktivt avfall er Felleskonvensjonen om sikkerhet ved håndtering av brukt kjernebrensel og sikkerhet ved håndtering av radioaktivt avfall (1997). IAEAs Konvensjon vedrørende kjernefysisk sikkerhet (1994) har også bestemmelser som gjelder for radioaktivt avfall. Også Internasjonale havmiljøavtaler har betydning for håndtering av radioaktivt avfall. OSPAR-konvensjonen (1992) og Londonkonvensjonen (1972) forbyr dumping av alt radioaktivt avfall til havs.

Nærmere om forurensnings- og avfallsregelverket

Forurensningsloven ble gjort gjeldende for stråling av radioaktive stoffer som er eller kan være til skade eller ulempe for miljøet gjennom forskrift av 1. november 2010 nr. 1394 om forurensningslovens anvendelse på radioaktiv forurensing og radioaktivt avfall (forskrift om radioaktiv forurensing og avfall). Forskriften definerer radioaktiv forurensing og fastsetter nedre grenser for hva som er radioaktivt avfall og hva som er deponeringspliktig radioaktivt avfall.

Det er den som besitter og håndterer det radioaktive avfallet som har ansvaret for å undersøke om avfallet er over eller under grenseverdiene. I tvilstilfeller bestemmer DSA hva som anses som radioaktivt avfall, herunder deponeringspliktig radioaktivt avfall (jf. Forskrift om radioaktiv forurensning og radioaktivt avfall § 2 siste ledd).

Forurensningsloven fastsetter et generelt forurensningsforbud, og hovedregelen er at all virksomhet som medfører eller kan medføre radioaktiv forurensning, skal ha tillatelse etter forurensningsloven § 11. Tillatelse må innhentes før ny forurensende virksomhet skal igangsettes. Forurensningsmyndigheten har et forholdsvis vidt skjønntil å vurdere om tillatelse skal gis, og kan fastsette vilkår i tillatelsen for blant annet å motvirke at radioaktiv forurensning og håndtering av radioaktivt avfall fører til skader eller ulemper.

Avfallsforskriftens kapittel 16 regulerer håndtering av radioaktivt avfall, og ble fastsatt samtidig med at forurensningsloven ble gjort gjeldende for radioaktiv forurensning og radioaktivt avfall. Kapittel 16 i avfallsforskriften inneholder bestemmelser som skal sikre forsvarlig håndtering av radioaktivt avfall. Det stilles blant annet krav om at alle som håndterer radioaktivt avfall skal ha tillatelse fra DSA, og at all virksomhet hvor det produseres radioaktivt avfall skal levere avfallet til godkjent mottak minst en gang per år.⁴ Videre er det krav om at virksomhet som leverer radioaktivt avfall skal gi tilstrekkelige opplysninger om avfallsets opprinnelse, innhold og egenskaper, slik at den videre håndteringen av avfallet kan skje på en forsvarlig måte. Avfallsforskriften inneholder også nærmere krav for eksport, import og transport av radioaktivt avfall.

1.3 Metode og avgrensninger

Denne utredningen tar for seg utvikling i radioaktivt avfall fra 2011 til 2022, og vurderer prognoser for utviklingen i mengden avfall frem til 2100. Vurderingene våre baserer seg på informasjon og tall fra utredningen som DSA gjennomførte i 2016, avfallsdeklarasjoner i avfallsdeklarering.no siden 2016, utvalgte årsrapporter fra avfallsprodusenter og avfallsmottak, intervjuer med bransjeorganisasjoner og avfallsprodusenter og aktører som håndterer radioaktivt avfall innenfor ulike sektorer.⁵

Bakgrunnen for valgt tidsperspektiv er at det finnes omtrent 70 til 80 år med historikk på generering av radioaktivt avfall. Noe av dette avfallet er det ikke en løsning for å håndtere i dag. Ved å vurdere tilsvarende tidsperspektiv fremover når vi år 2100. Det haster å få på plass nye lager- og deponiløsninger for radioaktivt avfall, og det må planlegges for at nye anlegg må ha en levetid på mellom 50 og 100 år. Rapporten vil bidra til kunnskapsgrunnlaget for hvordan nye anlegg bør dimensjoneres og det er derfor vurdert et såpass langt tidsperspektiv.

Alle avfallsprodusenter og -mottakere er pliktig å deklare radioaktivt avfall i avfallsdeklarering.no før det avhendes. Vi har benyttet data fra denne løsningen som utgangspunkt, og kvalitetssikret dataene gjennom intervjuer og årsrapporter. Vi har avdekket flere feildeklarasjoner i løsningen, der eksempelvis mengde avfall er feil, og justert disse. Etter vår vurdering er det nå relativt liten usikkerhet rundt tallene og vi benytter disse dataene som utgangspunkt for å vurdere fremtidig utvikling av radioaktivt avfall frem mot år 2100.

Avfall fra virksomhetene identifiseres ved hjelp av den Europeiske avfallslisten (EAL), som er EU sin standard for å klassifisere avfall. Denne er nærmere omtalt i avfallsforskriften kapittel 11. Vi har benyttet EAL til klassifisering

⁴ Leveringsplikten gjelder imidlertid ikke for virksomhet som har tillatelse til å behandle eller disponere eget radioaktivt avfall etter forurensningsloven § 11.

⁵ Vi har intervjuet omtrent 20 aktører innenfor ulike sektorer, både produsenter innen radiofarmaka, mineralutvinning, offshore, m.m., samt flere aktører innen avfallshåndtering og NND.

av avfall gjennomgående i rapporten. I tillegg har vi benyttet virksomhetenes egne kommentarer i fritekstfelt i avfallsdeklarerer.no og intervjuer til å vurdere mer detaljerte beskrivelser av avfallet.

Det er utfordrende å vurdere utviklingen i mengder radioaktivt avfall over en så lang tidsperiode og vi er nødt til å basere oss på en rekke antakelser og forutsetninger. Det er flere faktorer som skal tas i betraktning som det er stor usikkerhet rundt. For eksempel er det vanskelig å forutsi utviklingen i bruk av radioaktive stoffer innen medisin, utviklingen i utvinning av olje og gass i Norge eller bruk av kjernekraft. I tillegg kan det geopolitiske landskapet endre seg de neste 75 årene og påvirke utviklingen. Eksempelvis har vi sett en økning i radioaktivt avfall fra produksjon av kunstgjødsel i Norge som følge av krigen i Ukraina. Slike forhold kan ha stor påvirkning på avfallsutviklingen. De estimerte mengdene som er skissert opp i denne rapporten er dermed usikre.

1.4 Rapportens oppbygning

Kapittel 2 gir en oversikt over utviklingen i radioaktivt avfall frem mot 2100. Først går vi gjennom overordnede trender og utviklingstrekk som kan påvirke radioaktivt avfall frem mot 2100. Deretter går vi inn på ulike sektorer som genererer radioaktivt avfall og vurderer hvor mye avfall det er sannsynlig at kommer til å genereres fremover. Til slutt vurderer vi hva dette vil bety i form av behov for kapasitet i alle ledd av avfallshåndteringen. Kapittel 3 diskuterer hva som er de største utfordringene i dag og i fremtiden.

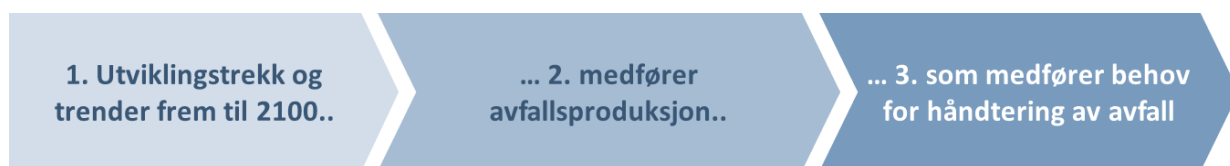
I vedlegg 1 går vi gjennom utviklingen i radioaktivt avfall fra 2011 og frem til i dag for ulike sektorer som genererer radioaktivt avfall. I vedlegg 2 lister vi opp hvilke behandlingsanlegg, lager og deponi som eksisterer i dag. I vedlegg 3 vurderer vi hvordan våre prognoser er sammenliknet med prognosene som ble laget i forbindelse med DSAs utredning i 2016, «Utredning av behov for kapasitet til behandling og håndtering av radioaktivt avfall frem mot 2035». Vedlegg 4 beskriver modellen vår for prognosene av avfallsutvikling frem mot 2100.

2 Utvikling i radioaktivt avfall frem til 2100

I Norge utgjør avfall fra naturlig forekommende radioaktive stoffer (NORM) en betydelig andel av det totale avfallet. I 2023 utgjorde NORM over 99 prosent av alt radioaktivt avfall målt i vekt. Det finnes også radioaktivt avfall som inneholder menneskeskapte radioaktive stoffer, selv om dette utgjør betydelig mindre mengder (i vekt). Dette genereres blant annet innen forskning, medisin og industri. Både produksjon og bruk av disse radionuklidene genererer radioaktivt avfall. Selv om avfall som inneholder menneskeskapte radioaktive stoffer utgjør en mindre andel av det totale radioaktive avfallet vil det ofte være betydelig høyere aktivitet i avfallet enn det som forekommer naturlig. Dette stiller ekstra krav til kunnskap for dem som skal håndtere avfallet, i tillegg til krav om skjerming av omgivelsene og barrierer i alle trinnene for håndtering av radioaktivt avfall.

I dette kapitlet beskriver vi utviklingen i avfall frem mot 2100. I første delkapittel tar vi for oss utviklingstrekk og trender som kan påvirke avfallsproduksjonen. Deretter går vi inn på prognoser for avfallsproduksjonen frem mot 2100. For å forstå avfallsproduksjonen bedre, er avfallet kategorisert i hovedstrømmene nukleær virksomhet, bruk av medisinske produkter, utvikling og produksjon av medisinske produkter, øvrig forskning og utdanning, olje- og gassvirksomhet, bygg- og anleggsvirksomhet, mineral- og prosessindustri og diverse annet avfall. Til slutt tar vi for oss hva dette avfallet vil medføre av kapasitetsbehov frem mot 2100. Dette er illustrert i figuren under.

Figur 2-1. Vurderinger av utvikling i avfall frem til 2100.



Vurderingene av utviklingen i radioaktivt avfall frem mot 2100 og kapasitetsbehov tar blant annet hensyn til historisk utvikling i radioaktivt avfall beskrevet i **Vedlegg 1: Radioaktivt avfall frem til i dag** og håndtering av avfall beskrevet i **Vedlegg 2: Behandling av avfall i dag**. Detaljerte forutsetninger og beskrivelse av prognosemodellen ligger i **Vedlegg 4: Beskrivelse av modellen**. Oppsummert tar hver prognose for seg et **basisestimat/mest sannsynlige verdi**, som er det som forventes å være den mest sannsynlige utviklingen i avfallsmengder for hver sektor. Deretter har vi utformet et **nedre og øvre usikkerhetsspenn**. Til slutt har vi gjennomført simuleringer basert på disse tre anslagene, som gir en **forventningsverdi**. Avhengig av usikkerhetsspennene, vil forventningsverdien kunne avvike fra basisestimatet. Til slutt tar vi for oss hva dette avfallet vil medføre av kapasitetsbehov frem mot 2100.

2.1 Utviklingstrekk og trender frem mot 2100

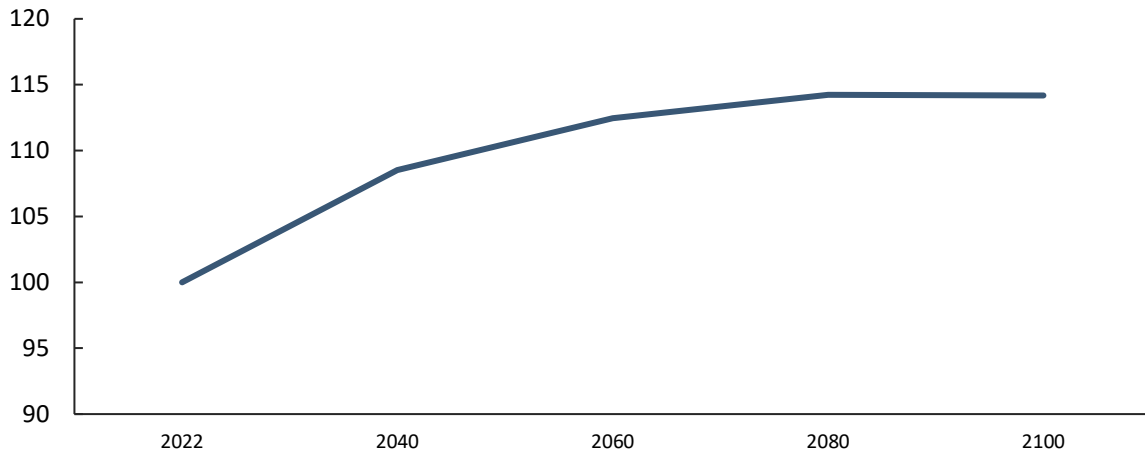
Dagens samfunn står overfor betydelige endringer som kan påvirke fremtidig produksjon og håndtering av avfall. Viktige globale og nasjonale trender inkluderer endringer i befolkningssammensetning, økt miljøfokus fra både forbrukere og regulatoriske myndigheter, teknologisk utvikling, og geopolitiske forskyvninger. Disse trendene vil forme samfunnets økonomiske og sosiale strukturer og ha implikasjoner for hvordan vi produserer og håndterer radioaktivt avfall.

2.1.1 Demografisk utvikling

De siste prognosene fra FN (2022) antyder at den globale befolkningen kan vokse til rundt 8,5 milliarder innen 2030, 9,7 milliarder innen 2050, og 10,4 milliarder innen 2100. SSBs nasjonale befolkningsframskrivninger viser at

befolkningen i Norge alene vil vokse fra omtrent 5,4 millioner i 2022 til 6,1 millioner i 2060 og 6,2 millioner i 2100 (SSB, 2022). Dette tilsvarer en vekst på omtrent 14 prosent mellom 2022 og 2100. Figuren under viser den indekserte befolkningsutviklingen i Norge frem mot 2100.

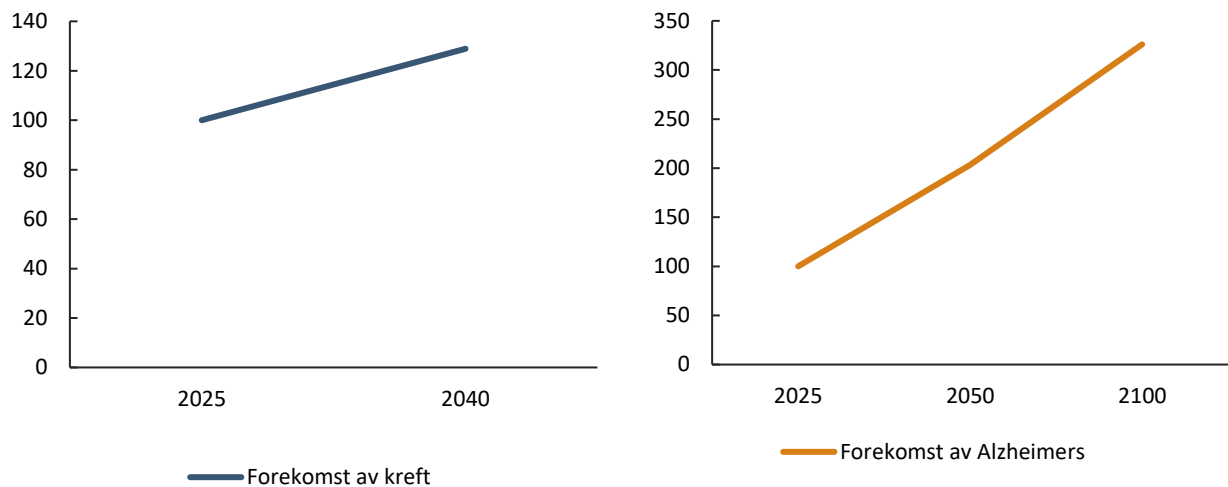
Figur 2-2. Indeksert befolkningsutvikling frem til 2100. 100 = 2022. Kilde: SSB (2022) (hovedalternativ)



I takt med befolkningsveksten øker også forventet levealder, noe som fører til en større andel eldre i befolkningen. Ifølge SSBs hovedscenario forventes det at om lag 25 prosent av Norges befolkning vil være 70 år eller eldre innen 2060, en betydelig økning fra dagens andel på 13 prosent (Tømmerås & Thomas, 2022). En aldrende befolkning vil medføre flere tilfeller av aldersrelaterte sykdommer som kreft og Alzheimer.

Risikoen for å utvikle kreft øker med alderen, hvor mer enn 86 prosent av krefttilfellene hos kvinner og 90 prosent hos menn oppstår etter fylte 50 år. FHI (2023) rapporterer at nesten halvparten av alle norske menn og 38 prosent av norske kvinner vil få en kreftdiagnose før de når 80 år. Videre anslår FHI at det årlige antallet nye krefttilfeller vil overstige 50 000 innen 2039. Lignende tendenser observeres for demens, der Alzheimers sykdom representerer en betydelig andel av tilfellene. Ifølge data fra FHI, er 60-70 prosent av demensdiagnosene tilskrevet denne spesifikke sykdommen. Videre påpeker FHI (2021) at forekomsten av demens i Norge øker markant med alderen. En slik økning illustreres ved at kun 0,7 prosent av personer i aldersgruppen 65-69 år er diagnostisert med demens, mens prosentandelen øker betraktelig til 48 prosent blant dem som er 90 år og eldre. Figuren nedenfor viser den indekserte utviklingen i antall tilfeller med kreft og Alzheimer frem til henholdsvis 2040 og 2100, slik vurdert av FHI.

Figur 2-3. Venstre: Indeksert utvikling i tilfeller med kreft frem til 2040. Høyre: Indeksert utvikling i tilfeller med Alzheimer frem til 2100. 100 = 2025. Kilde: FHI



Med utgangspunkt i de demografiske endringene og en økning i aldersrelaterte sykdommer, forutser man en økt etterspørsel etter radiofarmasøytiske preparater.⁶ Dette antas å lede til et større volum av medisinsk radioaktivt avfall. I tillegg vil sykdomstrendene akselerere behovet for forskning og utvikling i helsevesenet. Dette kan føre til en økning i produksjon av avfall som kjemikalier, reagenser og biologisk materiale fra forskningsaktiviteter.

2.1.2 Geopolitisk utvikling

Det geopolitiske landskapet har blitt betydelig endret de siste årene, preget av økende internasjonale spenninger. Disse forandringene har hatt konsekvenser for internasjonalt samarbeid og handel, og har spesielt påvirket forsynings sikkerheten og produksjonsmønstre. En respons i Europa og Norge har vært en strategisk retningsendring mot å sikre lokal tilgang på kritiske råvarer og redusere avhengigheten av import fra geopolitisk ustabile eller strategisk utfordrende nasjoner som Kina og Russland.

Gjennom perioden fra 1980-tallet og frem til finanskrisen, var verdensøkonomien preget av globalisering, kjennetegnet av økt handel og samarbeid. Dette bidro til en forbedring i den internasjonale levestandarden og mindre spenning mellom land (Finansdepartementet, 2023). Kinas fremmarsj endret dynamikken ved å tilby kostnadseffektiv produksjon av industrivarer, noe som utfordret etablerte produsenter i utviklede økonomier. Mange vestlige produsenter flyttet produksjon til Asia, noe som skapte lengre og mer komplekse verdikjeder som ble avgjørende for mange europeiske land.

I de senere årene har imidlertid globaliseringen endret karakter. Hendelser som handelskonflikten mellom USA og Kina, koronapandemien, og konflikten i Ukraina har fundamentalt endret det internasjonale landskapet. Pandemien har belyst risikoen ved overavhengighet av et fåtall land for essensielle råvarer. Russlands kutt i gasstilførselen tvang Europa til å søke alternative energikilder og satse på fornybar energi. I etterkant har myndigheter og bedrifter fokusert på å flytte produksjon tilbake eller kun handle med allierte land. Global spenning og nye handelsbarrierer har startet en trend mot restrukturering av verdikjeder for å styrke forsynings sikkerhet og nasjonal sikkerhet.

⁶ Radiofarmaka kan brukes både til behandling og diagnostikk av sykdommer. Eksempelvis til utredning av demenssykdommer som Alzheimers og behandling av ulike typer kreft.

Disse endringene har særlig implikasjoner for mineral- og prosessindustrien i Norge. En overgang til grønnere løsninger kan endre typer og volumer av avfall som genereres, ettersom nye produksjonsmetoder og materialer blir tatt i bruk. Økt lokal produksjon av tidligere importerte materialer kan for eksempel føre til en endret avfallssammensetning, med en økning i produksjonsavfall. Usikkerheten rundt landegrensene og geopolitisk stabilitet kan også påvirke langsiktige investeringer i avfallshåndtering og resirkulering. En ustabil geopolitisk situasjon kan tvinge Norge til å raskt tilpasse seg endrede handelsruter og forsyningskjeder, noe som potensielt kan ha både kortsiktige og langsiktige effekter på avfallsmengder og håndteringsbehov.

2.1.3 Fokus på miljø og ressursbruk

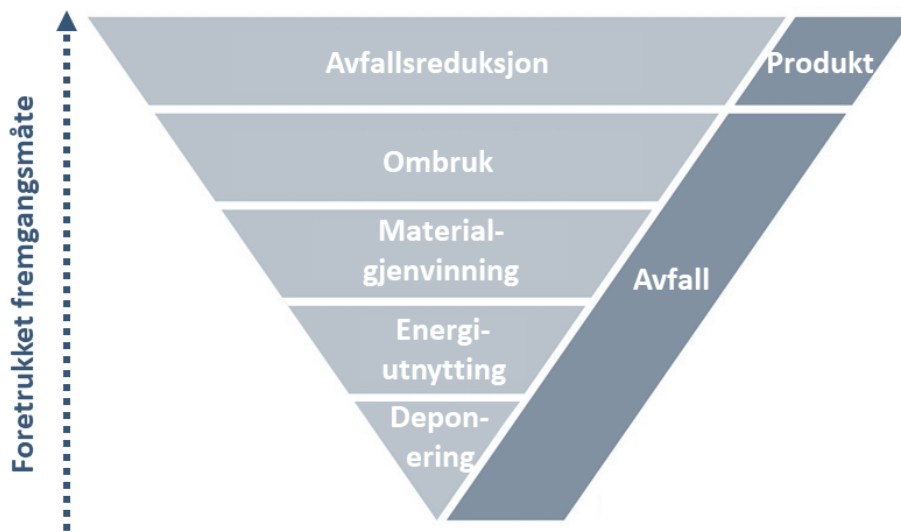
Verden står overfor en betydelig felles utfordring i form av global oppvarming og klimaendringer. Gjennom Parisavtalen er verdens nasjoner juridisk forpliktet til å intensivere innsatsen mot klimaendringer ved å redusere klimagassutslipp og styrke tiltak for klimatilpasning. For å nå målsetningene i avtalen er vi avhengige av en omfattende omstilling av økonomien, samt endringer i måten vi bruker og produserer energi på. Tilsvarende prinsipper er også nedfelt i FNs bærekraftsmål samt EUs Green Deal for å gjøre EU klimanøytralt innen 2050.

Sirkulærøkonomi representerer en produksjons- og forbruksmodell som legger vekt på deling, leasing, ombruk, reparasjon, oppussing, og resirkulering av eksisterende materialer og produkter så langt det er mulig (Europaparlamentet, 2023). Det europeiske miljøbyrået⁷ (EEA) (2024) påpeker at mange av dagens produksjons- og forbrukssystemer ikke legger til rette for ombruk eller resirkulering av råmaterialer. Overgang til en sirkulærøkonomi tilbyr en løsning ved at den forlenger levetiden til produkter og materialer, enten ved at de brukes lengre eller transformeres til nye produkter etter endt bruk, noe som er avgjørende for å nå målene satt i Parisavtalen og i FNs bærekraftsmål.

Avfallshierarkiet, vist i figuren under, står sterkt i avfallshåndtering og er et veiledende prinsipp for norsk avfallspolitikk (Klima- og miljødepartementet, 2017). Hierarkiet tar for seg en prioritert vurdering som begynner med avfallsforebygging og slutter med deponering som den minst ønskelige løsningen. Når det gjelder radioaktivt avfall, er en nøye vurdering av alternativer sentralt for å møte økonomiske og tekniske betingelser samtidig som man overholder strenge krav til helse og miljø sikkerhet som er beskrevet i regelverket. Ombruk av avfall skal prioriteres høyest, etterfulgt av materialgjenvinning og energiutnyttende forbrenning, mens forbrenning uten energiutnyttelse og deponering bør unngås med mindre det er helt nødvendig. Valget av avfallshåndteringsmetode må vurderes nøye i forhold til avfallstypens egenskaper, spesielt for avfall som kan være skadelig for helse eller miljø. Grunnet det radioaktive avfallens egenskaper og risikopotensiale, er det som regel deponi som er den foretrukne disponeringsløsningen i dag, heller enn ombruk og materialgjenvinning. Mange av produktene som blir til radioaktivt avfall i dag er designet for flere tiår, noe som gjør det lite egnet for håndtering i tråd med sirkulærøkonomiske prinsipper. Når sirkulære løsninger er vanskelige å få til, blir det enda viktigere å redusere avfallsmengdene som produseres i utgangspunktet.

⁷ *European Environment Agency*

Figur 2-4. Avfallshierarkiet. Kilde: Klima- og miljødepartementet (2017)



Kjernekraft representerer en potensiell løsning på klimautfordringer, med kapasitet til å produsere store mengder elektrisitet uten klimagassutslipp, og kan derfor være én av flere mulige kilder til fossilfri energi og et ledd i å oppnå klimanøytralitet innen 2050. Bruken er imidlertid ikke uten sikkerhets- og miljørisikoer, særlig når det gjelder det radioaktive avfallet som produseres. Blant annet har vurderingene som gjøres av nye reaktorløsninger i dag høy usikkerhet knyttet til avfallsproduksjon per enhet energi som produseres, og for enkelte løsninger kan det bety at det vil bli mer radioaktivt avfall. Interessen for kjernekraft i vestlige land har vært varierende de siste tiårene – Tyskland faset ut alle sine reaktorer mellom 2011 og 2023 grunnet økende motstand mot kjernekraft i befolkningen, mens nye kjernekraftplaner nylig har blitt annonsert i både Sverige og Polen (Hofstad, 2023; Hovland, 2023). Et ønske om mer klimavennlige energikilder, kombinert med behovet for forsyningssikkerhet som har blitt ytterligere aktualisert av konflikten i Ukraina, har gjort at kjernekraft igjen har blitt satt på dagsorden.

2.1.4 Økt kunnskap og utvikling i regelverk

Avfallshåndteringen i Norge og Europa har gjennomgått betydelige forandringer gjennom teknologisk utvikling og strammere regelverk. I løpet av de siste tiårene har EU implementert en rekke strenge reguleringer. Endringene har i stor grad blitt drevet av et økt kunnskapsgrunnlag og et behov for å adressere miljøutfordringer og samfunnets krav om bærekraft.

Gjennom EØS-samarbeidet er Norge med på å utvikle et felleseuropeisk og forsterket regelverk for bærekraftige produkter i hele livsløpet, fra og med uttak og prosessering av råvarer, produksjon, økodesign, samt bruks- og avfallsfasen (Klima- og miljødepartementet & Nærings- og fiskeridepartementet, 2024). I 2024 er det også varslet en større revisjon av EUs rammedirektiv for avfall, noe som signaliserer en kontinuerlig forpliktelse til å styrke avfallshåndteringen og resirkuleringen i medlemslandene.

Utviklingen frem til i dag indikerer at regelverket for avfallshåndtering og bærekraftig produksjon og forbruk vil fortsette å bli strengere frem mot 2100. Et tydeligere regelverk bidrar også til økt forståelse og økt kunnskap om håndteringen av avfallet blant aktørene i markedet. Økt kunnskap kan i tillegg bidra til at mørketallene med radioaktivt avfall reduseres.

I dag brukes avfalldeklarerer.no for å deklare alt radioaktivt avfall som leveres til ulike avfallsanlegg. Systemet er utviklet som et felles system for deklarerer av farlig avfall og radioaktivt avfall, og driftes av Miljødirektoratet. Dagens system er ikke tilpasset de reelle behovene til hverken avfallsprodusenter, avfallsanleggene eller myndighetene, og det er nå derfor satt i gang en oppgradering av systemet. Målet er at det skal bli enklere å deklare avfall, og at DSA skal kunne hente ut for eksempel oversikter som inkluderer total aktivitet, spesifikk aktivitet og vekt over deklarte nuklider. Dette er tall som er sentrale for å fortsatt sikre en trygg, sikker og forsvarlig håndtering av radioaktivt avfall i Norge i årene fremover.

2.2 Nukleær virksomhet

I denne rapporten begrenses «nukleær virksomhet» til Institutt for energiteknikk (IFEs) virksomhet, samt opprydning av deres forskningsreaktorer som NND vil overta ansvaret for (NND, u.d.). Historisk har IFEs virksomhet dekket både forskning, produksjon av radioaktive stoffer, sporstoffteknologi og radiofarmasi. I 2023 ble Agilera, som produserer radiofarmaka, skilt ut av IFE. Dette er dermed ikke lengre del av nukleær virksomhet, men en del av utvikling og produksjon av medisinske produkter. Ettersom det ikke er mulig å skille IFEs historiske avfall på ulike aktiviteter, vil de historiske dataene innenfor «nukleær virksomhet» i vedlegg 1 også omfatte avfallet fra dagens Agilera. Videre vil potensiell utvikling av kjernekraftverk eller annen bruk av kjernekraft til energiformål, som eksempelvis reaktordrevne fartøy, bli en del av nukleær virksomhet og er dermed omtalt under prognoser fremover.

IFE har vært sentralt i Norges forskning på nukleær teknologi og har operert fire forskningsreaktorer siden 1951 (IFE, a). Alle reaktorene er nå stengt ned, og de siste reaktorene som var drift i Norge var JEEP II (Joint Establishment Experimental Pile) på Kjeller og Haldenreaktoren i Halden. Nedstengningen av Haldenreaktoren ble annonsert i 2018, mens JEEP II-reaktoren ble stengt ned i 2019. Det er NND som har ansvar for bygge ned Norges historiske atomanlegg på en trygg og sikker måte.

Nedstengningen av atomvirksomheten i Norge har direkte implikasjoner for produksjonen av radioaktivt avfall. Da reaktorene var i drift, ble det produsert forskjellige fraksjoner med radioaktivt avfall, med ulike aktivitetskonsentrasjoner. Selv om reaktorene er stengt ned vil det produseres radioaktivt avfall frem til opprydningen starter. Dette avfallet inngår i kategorien driftsavfall. Det vil ikke bli produsert mer brukt atombrensel. Videre vil det produseres dekommisjoneringsavfall som også må håndteres som radioaktivt avfall.

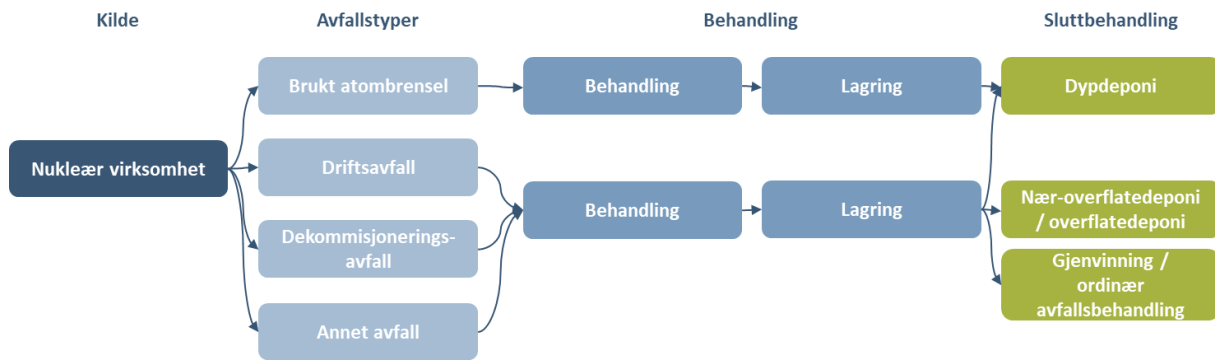
Totalt er det dermed fire former for radioaktivt avfall fra den nukleære virksomheten (NND, 2023):

1. **Brukt atombrensel.** Avfall i form av atombrensel som er blitt bestrålt i en reaktor og som er permanent tatt ut av reaktoren.
2. **Driftsavfall.** Avfall som produseres under driften av atomanleggene. Vil produseres frem til dekommisjonering starter.
3. **Dekommisjoneringsavfall.** Avfall som produseres i forbindelse med rivning og demontering av atomanleggene.
4. **Annet radioaktivt avfall.** Diverse annet avfall, i hovedsak avfall med lang halveringstid.

2.2.1 Kort om egenskaper

De ulike formene for radioaktivt avfall fra nukleær virksomhet må håndteres på ulike måter. Dette er illustrert på et overordnet nivå i figuren under, og nærmere forklart i avsnittene som følger.

Figur 2-5. Verdikjede for avfall fra nukleær virksomhet⁸



2.2.1.1 Brukt atombrensel

Opprydningen etter den nukleære virksomheten til IFE inkluderer behandling, lagring og deponering av omtrent 17 tonn med brukt atombrensel (NND, 2020). Det norske atombrenselet er lite i volum, men stort i kompleksitet, da det består av forskjellige typer atombrensel benyttet i løpet av IFEs forskningsvirksomhet. Dette brenselet inneholder høye konsentrasjoner av radioaktivitet med lang halveringstid, som kan genere både stråling og varme. Av dette atombrenselavfallet er 11,5 tonn ustabil i form av at enten atombrenselet eller kapslingen kan reagere med vann. Disse reaksjonene kan potensielt forårsake brann eller kjemiske eksplosjoner. Det stilles derfor høye krav til sikkerheten ved håndtering av slikt atombrensel.

Norge står i dag uten en permanent løsning for håndtering av brukt atombrensel og langlivet radioaktivt avfall. Avfallet lagres for tiden ved IFEs anlegg på Kjeller og i Halden. Det er gjennomført flere utredninger om håndtering av det brukte brenselet på oppdrag for Nærings- og fiskeridepartementet (NFD). Det er fortsatt stor usikkerhet knyttet til hva som skal gjøres og NND jobber for tiden med en ny utredning for å håndtere det norske atombrenselet. Denne utredningen er planlagt ferdigstilt i 2025. Det brukte atombrenselet, inkludert eventuelle produkter fra behandlingsmetodene (oksidasjon, repressering eller smeltebehandling), må lagres til det kan overføres til et deponi. Den internasjonalt foretrukne løsningen i dag er dypdeponi. Det finnes i dag ingen deponier i drift som kan benyttes i Norge og det er heller ikke bestemt en konkret løsning for dette.

2.2.1.2 Driftsavfall

Driftsavfall er avfall som produseres under driften av anleggene og inkluderer avfall fra forskningsreaktorene, isotopproduksjon og forskningsvirksomhet (NND, 2023). Det omfatter blant annet beskyttelsesutstyr, skotrek, hansker, kluter, filtre, verktøy, vann, væsker og brukt ionebyttermasse. Dette avfallet produseres fortsatt i dag, selv om forskningsreaktorene er stengt ned. Avhengig av egenskapene til avfallet må dette behandles på ulike måter, deretter lagres og til slutt deponeres. Det er ifølge NND antatt at driftsavfallet vil utgjøre i underkant av 700 tonn.

2.2.1.3 Dekommisjoneringsavfall

Dekommisjoneringsavfallet vil genere betydelige mengder avfall. I NNDs Waste Management Program fra 2024 anslås det at dette avfallet vil utgjøre omtrent 45 000 tonn. Hoveddelen av dette avfallet er betong og utgjør mellom 80 og 90 prosent av alt avfallet. I tillegg er det rør, jord, væsker, ventilasjon, konstruksjonsstål mm. Håndteringen av avfallet er avhengig av egenskapene til avfallet, men det er anslått at en

⁸ Leddene i verdikjeden under behandling og sluttbehandling er nærmere forklart i kapittel 2.10.

stor andel av avfallet vil være under grenseverdiene for deponeringspliktig radioaktivt avfall eller er ordinært avfall. Dette gjelder særlig betong. Andre deler av avfallet vil måtte behandles, lagres og deretter deponeres i henhold til regelverket for deponeringspliktig radioaktivt avfall. For å redusere avfallsmengden så mye som mulig, er det viktig at det etableres gode måleprosedyrer for klassifisering av avfallet.

2.2.1.1 Annet radioaktivt avfall

I tillegg finnes det noe annet radioaktivt avfall fra IFEs virksomhet med lang halveringstid (NND Future Waste Management Program, 2023, s. 32). Dette avfallet må videre karakteriseres og klassifiseres. Avhengig av egenskapene til avfallet må dette avfallet håndteres i tråd med regelverket. Avfallet består i hovedsak av jord, væsker og ubrukte deler fra anleggene og er på omtrent 100 tonn. Noe av avfallet er i flytende form og noe er i fast form. Det er forbud mot å deponere flytende avfall, noe som vil innebære at det flytende avfallet må behandles og solidifiseres dersom det skal deponeres. Anslagene i rapporten til NND baserer seg på tall om avfallsmengder fra IFE, som er ansvarlig for dette avfallet i dag.

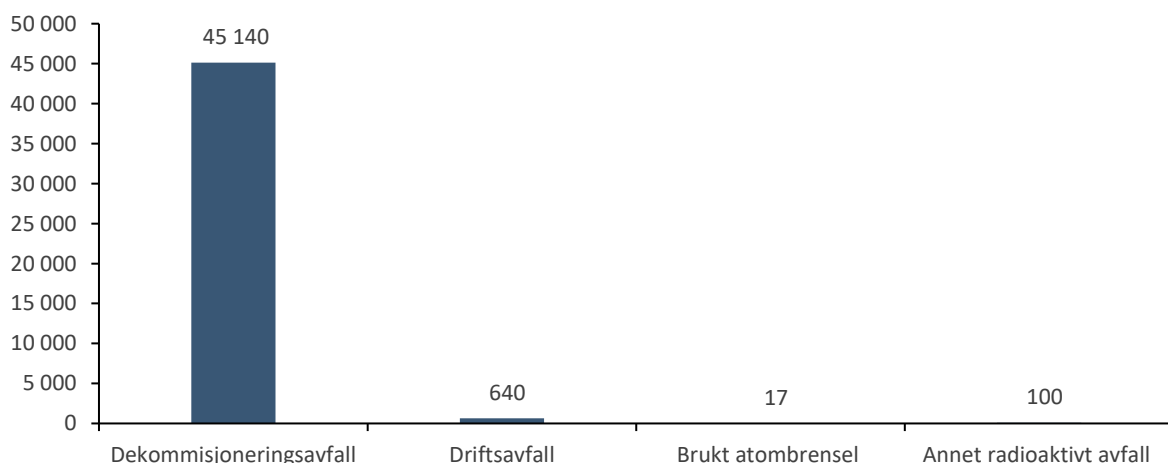
2.2.2 Prognoser fremover

I prognosene fremover har vi tatt utgangspunkt i NNDs estimer (NND, 2023) og kun gjennomført egne usikkerhetsvurderinger på dekommisjoneringsavfall da det er særlig stor usikkerhet knyttet til dette avfallet. Det er mindre usikkerhet rundt mengden driftsavfall, brukt atombrensel og annet radioaktivt avfall.

2.2.2.1 Opprydning etter atomvirksomhet

NND er nå i planleggingsfasen før opprydningen settes i gang. Det er viktig i denne fasen å planlegge for håndtering av det radioaktive avfallet. Det er usikkert når opprydningen skal starte, men det er sannsynlig at det vil gjennomføres i løpet av de neste tiårene. Prognosene under baserer seg på NNDs beregninger av avfallsmengder innenfor de fire kategoriene dekommisjoneringsavfall, driftsavfall, brukt atombrensel og annet radioaktivt avfall. Det understrekes at det er stor usikkerhet knyttet til disse tallene.

Figur 2-6. Avfall (i tonn) fra opprydning etter atomvirksomhet. Kilde: NND (2023)



For dekommisjoneringsavfall er det vurdert at over 45 000 tonn avfall vil produseres, men det er også antatt at en stor andel av dette vil være under grenseverdiene for deponeringspliktig radioaktivt avfall. Anslagene til NND tilsier at det er stor sannsynlighet for at 80 prosent av avfallet vil være under grenseverdiene for deponeringspliktig radioaktivt avfall, og at gjenstående dekommisjoneringsavfall vil være omtrent 7 600 tonn.

Ytterligere 2 000 tonn vurderes også som noe sannsynlig at er under grenseverdiene for deponeringspliktig radioaktivt avfall. Dette betyr at det er sannsynlig at opp mot 90 prosent av dekommisjoneringsavfallet er under grenseverdiene for deponeringspliktig radioaktivt avfall eller er ordinært avfall. I tillegg kommer driftsavfall, brukt atombrensel og annet radioaktivt avfall som består av mindre mengder. I våre vurderinger har vi i øvre anslag antatt at 50 prosent av dekommisjoneringsavfall må deponeres som radioaktivt avfall, mens i nedre anslag har vi antatt at 90 prosent ikke er deponeringspliktig radioaktivt avfall. I basisestimatet har vi antatt at 80 prosent av avfallet ikke er deponeringspliktig radioaktivt avfall. Dette gir en forventningsverdi på 13 700 tonn avfall totalt frem til 2100 for dekommisjering. Selv om deler av avfallet ikke er deponeringspliktig radioaktivt avfall, kan det ikke utelukkes at det må til deponi.

2.2.2.2 Annen utvikling

Frem mot 2100 kan det skje en betydelig utvikling innenfor nukleær virksomhet i Norge, med potensial for både utvikling av kjernekraftverk og i bruk av reaktordrevne fartøy (Sæle & Kristiansen, 2023; DNV, 2023). Dette reflekterer en global interesse for fossilfrie og effektive energiløsninger, samt innovasjon innen transportsektoren, særlig innenfor maritim sektor. Flere land satser på kjernekraft som fremtidig energikilde, men fremtiden for nukleær virksomhet i Norge er preget av stor usikkerhet. Teknologiske gjennombrudd, politiske beslutninger, økonomiske vurderinger og aksept i samfunnet vil spille en avgjørende rolle for om man satser på dette fremover. Det er en stor debatt omkring kjernekraft i dag. Flertallet i Energikommisjonen, som er nedsatt for å kartlegge energibehovene og foreslå økt energiproduksjon, mener at «kjernekraft er ikke en løsning for Norge nå, men Norge bør løpende følge den internasjonale utvikling innen kjernekraftteknologi og - sikkerhet.» (Energikommisjonen, 2023, s. 18) Som tidligere beskrevet er det også svært høy usikkerhet knyttet til avfallsproduksjon per enhet energi som produseres, og for enkelte teknologier kan det bety at det vil bli mer radioaktivt avfall enn fra konvensjonelle reaktormodeller som er i bruk i dag.

2.3 Bruk av medisinske produkter

Innen medisin har vi delt inn avfallsstrømmene i to hovedkategorier:

1. Bruk av medisinske produkter (avfall fra sykehus)
2. Utvikling og produksjon av medisinske produkter

Dette delkapitlet omfatter avfall fra bruk og behandling, og neste delkapittel tar for seg avfall fra utvikling og produksjon. Vedlikehold og dekommisjering av produksjonsanlegg for radiofarmaka og protonbehandlingsanlegg inngår i neste delkapittel.

Bruk av radioaktive stoffer innen medisin er utbredt og inkluderer både **nukleærmedisin** og **strålebehandling** (DSA, 2016). Dette er i hovedsak menneskeskapte radionuklider. Radiofarmasøytiske preparater (radiofarmaka) har vist seg å være svært effektive når de brukes i en rekke medisinske felt innenfor diagnostisering, behandlings- og forskningsformål. Som en konsekvens av dette, genereres et bredt spekter av radioaktivt avfall.

Nukleærmedisin kan brukes til både undersøkelser og behandling. Ved hjelp av nukleærmedisin får pasienten medikamenter med radioaktive stoffer (radiofarmaka) tilført kroppen. Radiofarmaka benyttes til diagnostikk og behandling av flere ulike sykdommer som blant annet kreft, Alzheimers sykdom og hjertesykdommer. Eksempelvis faller PET-undersøkelser, som er en avbildningsteknikk, innenfor nukleærmedisin.

I visse typer **strålebehandling** benyttes også radioaktive stoffer. Det brukes blant annet radionuklider i innvendig strålebehandling der radioaktive stoffer plasseres i eller like ved behandlingsområdet. En form for utvendig

strålebehandling er protonterapi der høyenergetiske protoner siktes inn mot kreftsvulsten til pasienten. Det åpnes to protonsentere de neste årene ved Oslo Universitetssykehus og Haukeland universitetssykehus.

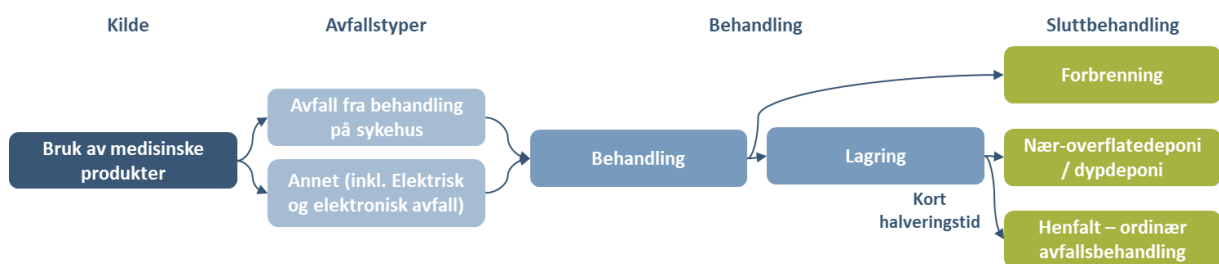
Avfall fra behandling med og bruk av medisinske produkter stammer i hovedsak fra sykehussektoren. Dette inkluderer rester og medisinsk materiell etter injeksjon av pasienter med radioaktive isotoper, som brukes under medisinske undersøkelser eller behandlinger. Det kan også forekomme radioaktive stoffer i avløpsvannet fra sykehus, men dette er ikke tatt med i de videre beregningene.

2.3.1 Kort om egenskaper

En stor andel av avfallet fra sykehussektoren er enkelt å håndtere, da det brukes mange stoffer med svært kort halveringstid. Dette avfallet kan dermed lagres hos sykehuset selv til det ikke lenger er klassifisert som radioaktivt avfall. Deretter kan avfallet håndteres som ordinært avfall og sendes til forbrenning. Bruken av radioaktive isotoper med lengre halveringstid kan øke innen medisinsk bruk, noe som kan føre til at mer avfall fra sykehussektoren må deponeres fordi det ikke er egnet til å forbrennes. Dette skyldes at avfallet vil være radioaktivt i en lengre periode.

Sykehuset har anledning til å lagre det radioaktive avfallet i opptil ett år før det må leveres til godkjent mottak som følge av den årlige leveringsplikten. Det er også mulig å søke om fritak fra den årlige leveringsplikten dersom avfallet henfaller til under grenseverdier for radioaktivt avfall i løpet av rundt 3 år (DSA, 2020, s. 56). I de fleste tilfeller er ett år med lagring nok tid for å kunne avhende avfallet som ikke-radioaktivt avfall. Det resterende radioaktive avfallet sendes til behandlingsanlegg, forbrenningsanlegg og deponi. Dette inkluderer driftsavfall som glass, hansker, filter, væske og annet, samt kasserte strålekilder som flatfelt, markørpenner og annet. Kildene som sendes videre er varierte, men den vanligste er kobolt-57-flatfelt. Kobolt-57 har en halveringstid på omtrent 270 dager, og kan ved lagring dermed i teorien håndteres som ikke-radioaktivt avfall etter 8-10 år.

Figur 2-7. Verdikjede for avfall fra bruk av medisinske produkter



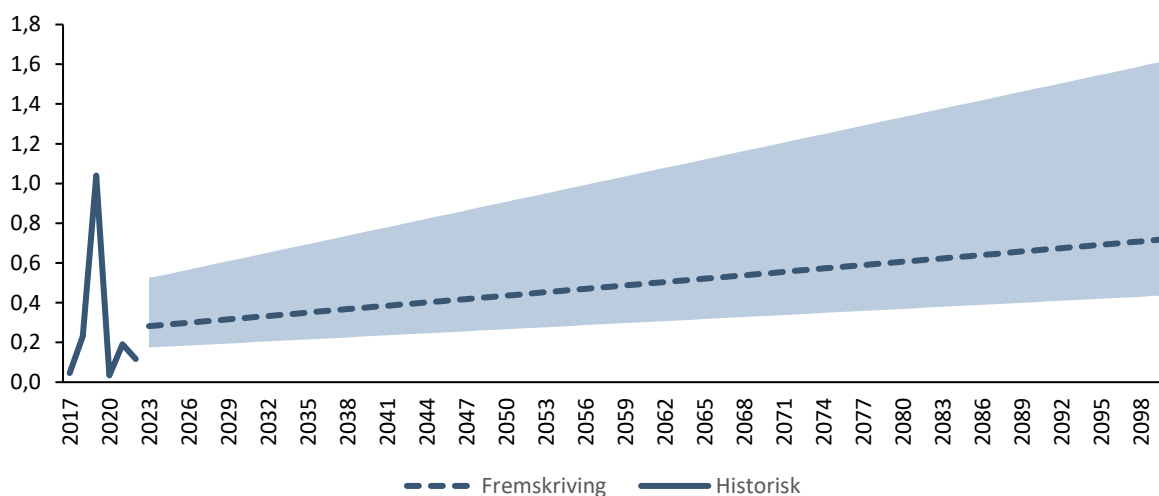
2.3.2 Prognoser fremover

Som beskrevet innledningsvis i dette kapitlet vil befolkningen øke frem mot 2100, i tillegg til at Norge har en aldrende befolkning. Dette medfører en økning i antallet sykdomstilfeller som kreft, Alzheimers m.m. Videre er det økende fokus på mer målrettede behandlingsmetoder. Dette kan medføre at bruken av radiofarmaka øker for å diagnostisere og behandle disse sykdommene. I fremtiden kan det også være muligheter for å bruke radiofarmaka på flere sykdomsområder.

Det er usikkert hvorvidt man vil benytte flere langlivede eller kortlivede nuklider fremover. Dette kan dra avfallsproduksjonen opp eller ned. Videre kan noe av avfallet reduseres og avhendes som ikke-radioaktivt avfall dersom sykehusene kan lagre noe av avfallet til henfall i mer enn ett år.

Som basisestimat antar vi at utviklingen fortsetter i takt med historisk utvikling i sykehussektoren og at utviklingen i bruk av radioaktive stoffer vil fortsette å øke fremover. Det øvre anslaget hensyntar at man øker bruken av radiofarmaka og at det kommer til å bli generert avfall som inneholder flere langlivede nuklider som og må til videre håndtering. Det nedre anslaget hensyntar at man kan utvikler andre mer effektive behandlings- og diagnosemetoder enn radiofarmaka som delvis erstatter bruken av radiofarmaka eller går for mer kortlivede nuklider som kan settes til henfall og avhendes som ikke-radioaktivt avfall. Figuren under illustrer basisestimat og usikkerhetsspenn for produksjon av avfall innen behandling og bruk av radiofarmaka. Til sammen forventer vi at det vil komme litt over 50 tonn med avfall frem til 2100. Dette tilsvarer et årlig gjennomsnitt på 0,7 tonn per år.

Figur 2-8. Historisk⁹ og forventet utvikling i radioaktivt avfall fra sykehus (tonn), 2017-2100.



2.4 Utvikling og produksjon av medisinske produkter

Det er en økt satsing på forskning og produksjon av radiofarmaka. Bare de siste årene har man sett en sterk vekst i utvikling og produksjon av radiofarmaka innen diagnostikk og behandling av en rekke sykdommer (DSA, 2022). Aktører som driver med forskning og produksjon av radiofarmaka i Norge i dag er blant annet Agilera (tidligere del av IFE), Bayer, Oncoinvent og Norsk Medisinsk syklotronsenter, i tillegg til Haukeland universitetssykehus og St. Olavs hospital. Det årlige avfallet fra sykehusene er inkludert i forrige delkapittel.

2.4.1 Kort om egenskaper

2.4.1.1 Driftsavfall

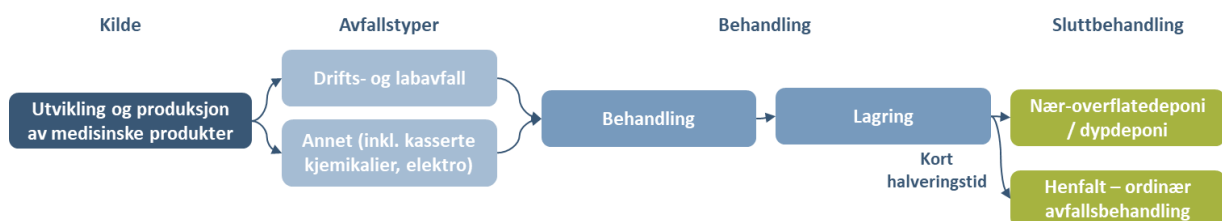
Utvikling og produksjon av medisinske produkter kan medføre radioaktivt avfall. Store deler av avfallet kan stå til henfall og deretter håndteres som ikke-radioaktivt avfall. Noen rester fra produksjonen vil likevel måtte håndteres som radioaktivt avfall. Avfallet kan komme i form av laboratorieavfall, pipettespisser, rester og løsninger. Et eksempel er legemiddelet Xofigo som Agilera produserer på vegne av Bayer. I denne prosessen

⁹ Den store økningen i 2019 skyldes at en stor forsendelse fra Helse Bergen HF fra 2018 ble ferdigbehandlet i 2019, og er dermed registrert her i stedet for i produksjonsårene. Historisk utvikling er beskrevet i Vedlegg 1: Radioaktivt avfall frem til i dag.

benyttes actinium-227 som råvare i fremstillingen av radium-223 som er den aktive substansen i Xofigo (DSA, 2016). Radium-223 separeres ut og det produseres sure avfallsløsninger med spormengder av actinium-227 fra isotoplaboratoriene hos Agilera. Dette stoffet er svært radiotoksisk og har lang halveringstid. Det må derfor lagres og deponeres. Håndteringen av dette stoffet er særlig krevende da innholdet av syre kan påvirke holdbarheten til avfallsbeholderne, og dermed øke faren for forurensning når man deponerer.

Andre nuklider som må håndteres som avfall i denne sektoren er blant annet thorium-228 som har en halveringstid på 1,91 år. Eksempler på andre radionuklider det forskes på er thorium-232, som har en halveringstid på 14 milliarder år, men også andre nuklider kan bli aktuelle i framtiden. Ny forskning på radiofarmaka kan innebære økt bruk av nuklider som ikke er gunstige å sette til henfall på grunn av eksempelvis lange halveringstider.

Figur 2-9. Verdikjede for avfall fra utvikling og produksjon av medisinske produkter



En særlig utfordring i denne sektoren er at det per i dag ikke er tilfredsstillende avfallshåndtering. For flere av nuklidene finnes det ikke eksisterende løsninger for behandling, lagring eller deponi. Eksempelvis har ikke Radavfallsanlegget verken de nødvendige tillatelsene eller kapasitet som kreves for å håndtere deler av det radioaktive avfallet som genereres i dagens radiofarmakaproduksjon. Dette er utfordrende da avfallsprodusent blir sittende med avfallet selv, og håndteringen er ikke i tråd med regelverket. I tillegg begynner anlegget å fylle seg opp, noe som medfører at flere aktører må lagre avfallet sitt i en lengre periode og det skaper en usikker fremtid for flere produsenter.

2.4.1.2 Vedlikeholds- og dekommisjoneringsavfall

Partikkelakseleratorer benyttes både til produksjon av radiofarmaka og ved protonbehandlingsanlegg. Levetiden til en partikkelakselerator er forventet å være minst 25 år, men kan ofte bli dobbelt så lang (Helse Bergen, 2020). Maskineriet gjennomgår som regel løpende vedlikehold, og det er dermed usannsynlig at en hel maskin må dekommisjoneres på én gang. Instrumenter og rensfiltre som blir aktivert, og som skal byttes ut, vil bli håndtert som radioaktivt avfall. I dag returneres mange av delene som skal byttes ut til produsent, og det er dermed lite løpende vedlikeholdsavfall som må håndteres i Norge. Gitt at dette fortsetter vil avfall fra vedlikehold forbli lavt over tid.

Omgivelser, som betongvegger, kan også bli aktivert av nøytroner ved bruk av partikkelakseleratorer. Dette kan føre til at det oppstår langlivede radioaktive aktiveringsprodukter som europium-152, europium-154, kobolt-60 og cesium-134. Dersom et anlegg skal rives kan dermed også betongen bli klassifisert som radioaktivt avfall. Likevel tilsier erfaringer fra andre land at den mest hensiktsmessige formen for dekommisjonering for denne typen større utstyr, er å forsegle rommet og la maskineriet og bygningsmassen stå til henfall. Dermed er det usikkert om en eventuell dekommisjonering av bygningsmasse vil medføre avfall som må deponeres eller ikke. Det er også mulig å gjøre tiltak for å redusere hvor aktiverte bygningsmassene blir – eksempelvis blir marmor mindre aktivert ved stråling, og en tilsetning av marmor i betongen vil dermed kunne minske mengden betong som må håndteres som radioaktivt avfall. Innenfor denne sektoren kan det også forekomme

dekommisjoneringsavfall i form av annet større laboratorieutstyr, som eksempelvis hanskebokser. Dette forsterker behovet for deponikapasitet.

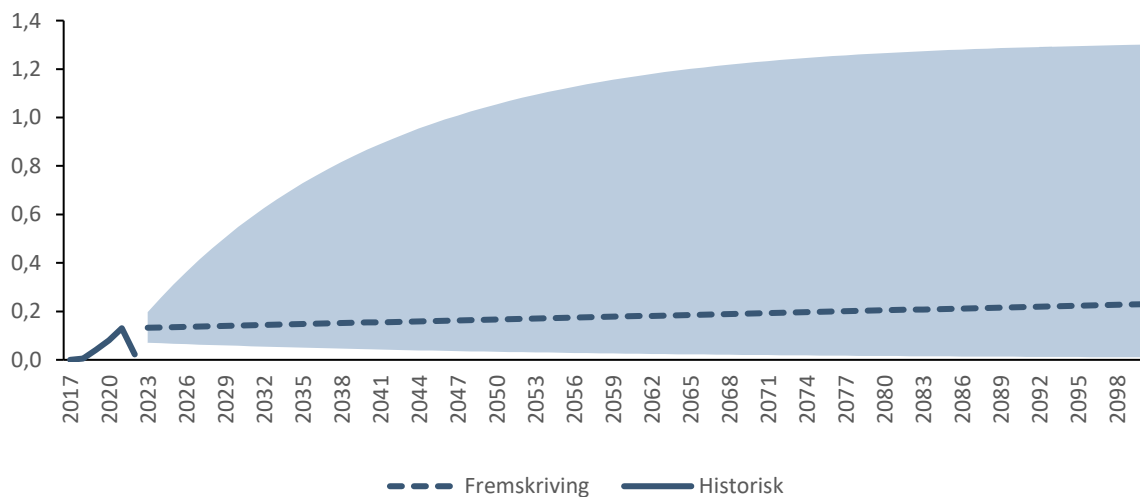
I forbindelse med utbygging hos Norsk Medisinsk Syklotronsenter AS, er det planlagt å bygge plass til en ny syklotron ved siden av den eksisterende, hvor det nå er fjell. Vegg mellom fjellet og den eksisterende syklotronen er ikke tilstrekkelig tykk til å kunne garantere at ikke noe av massene som skal hentes ut i forbindelse med utbygging er radioaktive. Det er stor usikkerhet rundt hvor store mengder med radioaktive masser dette vil kunne generere, og hvor høy aktivitet disse har. Det skal tas boreprøver i løpet av sommeren 2024, som vil gi sikrere tall på hvor mye som må deponeres.

2.4.2 Prognoser fremover

2.4.2.1 Driftsavfall

Ny forskning og utvikling innen radiofarmaka kan føre til både økte mengder avfall og fraksjoner som kan være utfordrende å håndtere. Som beskrevet i delkapitlet om prognoser for bruk av medisinske produkter, vil en økt aldrende befolkning og økt fokus på mer målrettet behandling av sykdommer medføre økt bruk av radiofarmaka. I motsetning til avfall fra bruk og behandling som må skje på sykehusene og i Norge, må ikke all forskning og produksjon av radiofarmaka skje i Norge. Dermed er det større usikkerhet i avfallsutvikling i denne sektoren. Figuren under illustrer basisestimater og usikkerhetsspenn for produksjon av avfall innen utvikling og produksjon av radiofarmaka. Til sammen forventer vi at det vil komme litt under 40 tonn med avfall frem til 2100. Dette tilsvarer et årlig gjennomsnitt på 0,5 tonn per år.

Figur 2-10. Historisk¹⁰ og forventet utvikling i radioaktivt avfall fra produksjon av medisinske produkter (tonn), 2017-2100.



Usikkerhetsspennet er stort grunnet en usikker fremtid for produksjon av radiofarmaka i Norge. I det øvre anslaget tar vi høyde for økt produksjon av radiofarmaka. Det er en satsing på radiofarmaka i Norge og næringen har et stort potensial. Samtidig er det stor usikkerhet rundt framtidige muligheter for avhending av avfall, noe

¹⁰ Det er stor variasjon i historiske tall, noe av variasjonen fra år til år handler i hovedsak om når deklarasjonene har blitt ferdigbehandlet, og kan dermed vise et noe skjevt bilde på produksjonen per år. Historisk utvikling er beskrevet i Vedlegg 1: Radioaktivt avfall frem til i dag.

som gjør det vanskelig å forutsi framtidig produksjon i Norge. Dersom man ikke får på plass løsninger raskt, vil flere aktører kunne bli nødt til å legge produksjonen utenfor Norge. Dette reduserer mengden avfall. Kurven for det øvre anslaget flater ut over tid da mengden avfall i større grad følger antall selskaper enn samlet produksjon i næringen. I det nedre anslaget har vi basert oss på en konservativ vurdering om at det kun produseres en begrenset mengde radiofarmaka i Norge, og at produksjonen er på et noe lavere nivå enn gjennomsnittet de siste fire årene.

2.4.2.2 Vedlikeholds- og dekommisjoneringsavfall

Dekommisjonering av partikkelakseleratorer for radiofarmaka og protonbehandlingsanlegg har potensiale til å medføre en betydelig mengde med radioaktivt avfall fremover, men det er stor usikkerhet knyttet til hvor mye avfall som faktisk kommer til å genereres. I basisestimater har vi hensyntatt at det i dag er seks produksjonsanlegg for radiofarmaka og to protonbehandlingsanlegg, og at noe av dette må dekommisjoneres før 2100. Dersom det kommer flere anlegg, kan det bidra til å øke mengden forventet framtidig avfall. I tillegg kan det være en god del instrumenter som må byttes underveis. Det kan også være at man må dekommisjonere større deler av de umiddelbare omgivelsene rundt utstyret. Dette bidrar til å dra anslaget betydelig opp. I tillegg kan andre typer dekommisjoneringsavfall i form av annet større laboratorieutstyr, som eksempelvis hanskebokser, dra anslaget opp.

På den andre siden kan økt levetid redusere mengden avfall som genereres. Dersom mye av det løpende vedlikeholdsavfallet fremdeles kan returneres til anleggsprodusentene utenfor Norge, kan det være det ikke genereres vedlikeholdsavfall som må håndteres i Norge i det hele tatt. I tillegg har sykehusene som har bygd protonbehandlingsanlegg benyttet materialer som ikke tar opp like mye stråling som andre materialer. I dekommisjoneringsplanene for begge protonbehandlingsanleggene tas det sikte på å produsere så lite aktivert byggemateriale som mulig og å kunne avhende materialet som vanlig avfall. (Helse Bergen, 2020)

Det er likevel viktig å dimensjonere lager og deponi for å kunne ta imot avfall fra denne typen virksomhet. Basert på faktorene beskrevet over som kan trekke mengden avfall opp og ned, er det forventet at vedlikehold og dekommisjonering vil generere rundt 400 tonn med radioaktivt avfall frem mot 2100. Øvre anslag ligger på 730 tonn og nedre anslag på 50 tonn.

Som tidligere beskrevet er det også potensiale for at det i nær framtid produseres store mengder radioaktivt avfall i forbindelse med utbyggingen hos Norsk Medisinsk Syklotronsenter AS. Vi vet foreløpig lite om de konkrete mengdene, men det vil kunne være behov for lagerløsninger fram til en egnet disponeringsløsning for dette avfallet er klar.

2.5 Øvrig forskning og utdanning

Denne gruppen omfatter radioaktivt avfall fra universiteter, høyskoler, forskningsinstitutter og andre aktører innen forskning og utdanning som *ikke* er legemiddelprodusenter. Delen av IFEs virksomhet som driver med forskning utover det som faller inn under *nukleær virksomhet*, er inkludert her. Dette er eksempelvis sporstoffteknologi og annen forskning som kan produsere radioaktivt avfall.

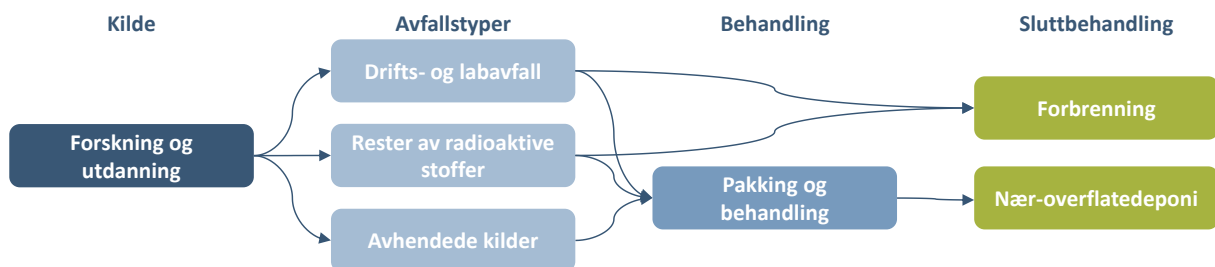
Det radioaktive avfallet fra forsknings- og undervisningsaktiviteter er svært variert, og inkluderer blant annet rester av radioaktive løsninger, kontaminert laboratorieutstyr, biologisk avfall og avhendede kilder.

2.5.1 Kort om egenskaper

Mesteparten av avfallet som deklarerer i denne sektoren inneholder menneskeskapt radioaktive stoffer, og isotopene som oftest avhendes er karbon-14 og tritium. Disse isotopene brukes særlig i tracerteknikk, hvor radioaktive forbindelser brukes til å studere fysiske, kjemiske og biologiske prosesser. I tillegg avhendes det en del uranylforbindelser som primært inneholder uran-238. Det uranholdige avfallet er tilnærmet alltid deponeringspliktig, mens det øvrige radioaktive avfallet hovedsakelig ikke er det.

Avfallet sendes per i dag enten til Senja Avfall Miljø AS for forbrenning, eller til Radavfallsanlegget for behandling og deponering. Avfallet som sendes til Senja består primært av kontaminert driftsavfall og organisk materiale, blant annet etter forskning på dyr. Rester av radioaktive stoffer sendes primært til Radavfallsanlegget, hvor også kapslede kilder sendes. Figuren under viser hvilke trinn avfall fra forskningssektoren i hovedsak går gjennom.

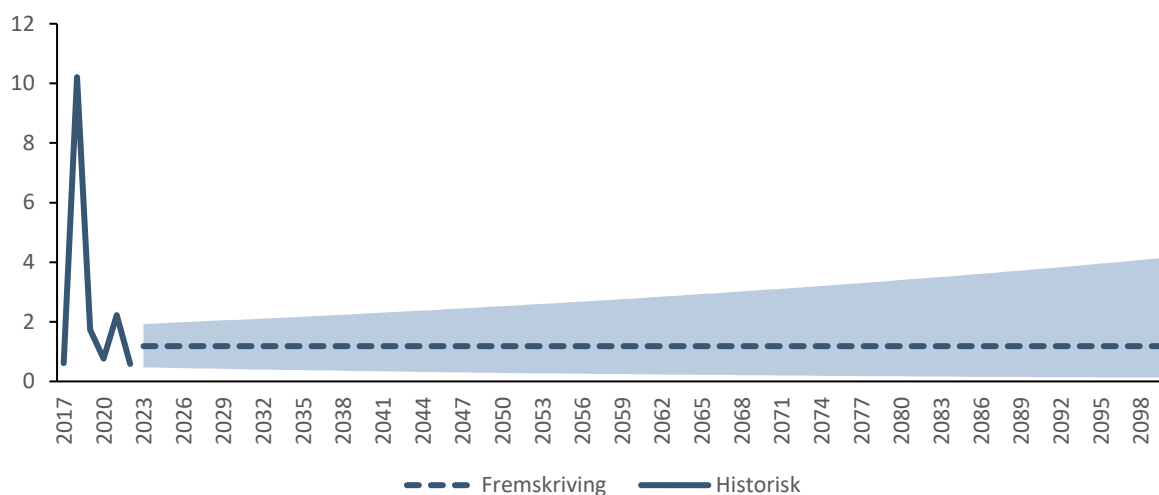
Figur 2-11. Verdikjede for avfall fra øvrig forskning og utdanning



2.5.2 Prognoser fremover

Historisk har det vært en jevn økning i investeringer i forskning og utvikling, både i offentlig og privat sektor. Dette, kombinert med stadig økende studenttall, gir indikasjoner på at sektoren vil vokse også i årene fremover. Samtidig har man på flere områder gått over til mer kortlivede nuklider, eller gått bort fra å bruke radioaktive stoffer i analyser der det har blitt oppdaget nye metoder. Dermed er en eventuell vekst i forskningssektoren ikke nødvendigvis ensbetydende med vekst i radioaktivt avfall. Figuren under illustrerer basisestimat og usikkerhetsspenn for produksjon av radioaktivt avfall innen forskning og utdanning frem til år 2100. Til sammen forventer vi at det vil komme 60 tonn avfall i perioden, som tilsvarer 0,8 tonn per år.

Figur 2-12: Historisk og forventet utvikling i radioaktivt avfall fra forskning og utdanning (tonn), 2017-2100. Merk at avviket i 2018 stammer fra prøveboring på Fensfeltet.



Det finnes enkelte «unntak» i avfallsproduksjonen i sektoren, eksempelvis i 2018, hvor det ble gjennomført en prøveboring på Fensfeltet som resulterte i ni tonn NORM-avfall. Slike hendelser er *ikke* inkludert i prognosene, da dette ville gitt et misvisende bilde på hvilket avfall som normalt produseres. Det bør også merkes at disse NORM-mengdene er minimale sammenliknet med øvrig produksjon av NORM-avfall, og vil dermed ikke gi noen utslag på deponikapasitet alene.

Dersom myndighetenes holdninger til etablering av kjernekraft i Norge endres i fremtiden, vil dette sannsynligvis også medføre en betydelig økt forskningsaktivitet innenfor kjernekraft. Dette vil igjen vil kunne gi vesentlig større mengder, og andre typer, avfall enn det vi ser i dag. Dette er *ikke* inkludert i prognosene, men vil kunne gjøre store utslag.

2.6 Olje- og gassvirksomhet

Dette avfallet stammer primært fra utvinning av råolje, hvor naturlige radioaktive stoffer samles i oljeforurensede masser i separatortanker, og avleires på innsiden av rør og annet utstyr som er i direkte kontakt med produksjonsvann. Utstyret må derfor rengjøres jevnlig hos renseanlegg, og de radioaktive avleiringene og sedimentene deponeres. Oljeutvinning gir vesentlig større mengder radioaktivt avfall enn gassutvinning. Avfall fra oljeutvinning utgjør om lag 90 prosent av det radioaktive avfallet fra næringen, målt i vekt. Utover dette benytter sokkelindustrien også radioaktive kontrollkilder, blant annet for å måle væsknivå i ståltanker, tetthet, væskestrøm gjennom rør og å bestemme grensesjikt mellom gass, olje og vann (Offshore Norge, 2015). Det har også forekommet noe dekommisjoneringsavfall fra olje- og gassvirksomhet de seneste årene.

2.6.1 Kort om egenskaper

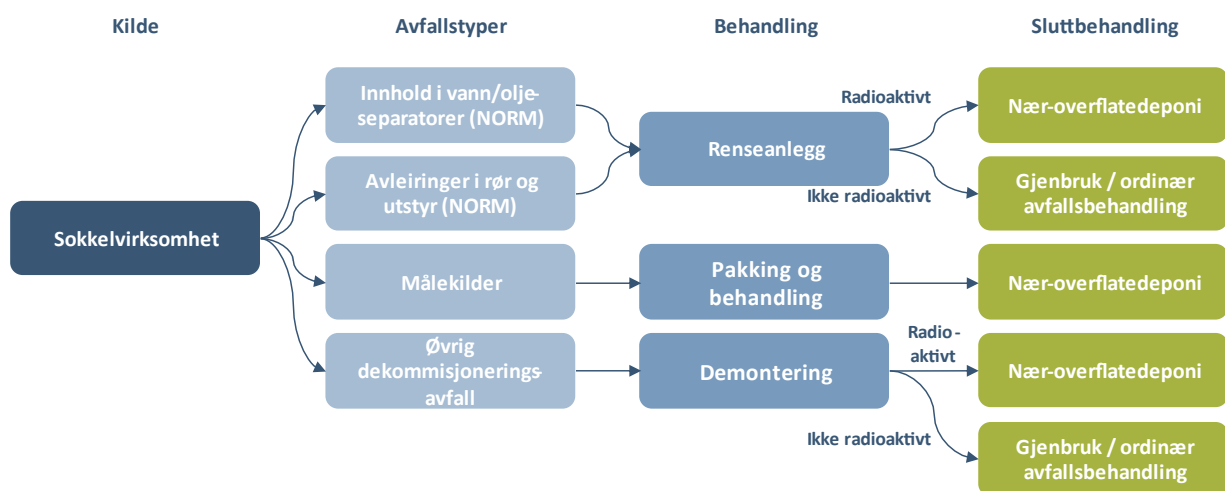
Majoriteten av avfallet som deklarerer fra sokkelindustrien er NORM-avfall. Avfallet har som regel lav spesifikk aktivitet, og kun 27 prosent av NORM-avfallet som sendes til deponi klassifiseres som deponeringspliktig. Avfallet inneholder primært nuklidene radium-226 og radium-228, samt noe bly-210. Radium-228 og bly-210 har en halveringstid på henholdsvis omtrent seks og 22 år, mens radium-226 har en halveringstid på om lag 1 600 år. Alt av deklart NORM-avfall sendes per i dag til Wergeland-Halsviks NORM-deponi i Gulen.

Kontrollkildene som benyttes er ofte av isotopene cesium-137 (Cs-137), kobolt-60 (Co-60), tantal-182 (Ta-182) og barium-133 (Ba-133). Disse har en halveringstid som varierer mellom 115 dager (Ta-182) og 30 år (Cs-137). Tidligere har kildene blitt sendt til Radavfallsanlegget for pakking og deponering i KLDRA, men Radavfallsanlegget har nylig sluttet å ta imot kilder fra petroleumsnæringen av kapasitetsårsaker. Dette har medført at næringen nå i større grad returnerer kildene til forhandler. Dette er i tråd med strålevernsforskriftens § 14, som sier at «Virksomheter som anskaffer kapslede radioaktive strålekilder skal påse at det eksisterer returordninger i opprinnelseslandet og bruke disse så langt det er mulig». Samtidig oppgir aktører i næringen at disse returordningene er betydelig mer kostbare enn det deponering i KLDRA har vært.

I forbindelse med dekommisjonering av plattformer og offshoreinstallasjoner genereres det store mengder avfall, der kun en begrenset mengde er radioaktivt avfall. Det radioaktive avfallet består primært av det samme avfallet som det ordinære driftsavfallet, men inkluderer også annet avfall som i mindre grad produseres under normal drift, som radioaktive kilder i røykvarslere og rømningskilt. Det finnes lite data på hvor mye radioaktivt avfall som kommer av dekommisjonering av plattformer og offshoreinstallasjoner, men Miljødirektoratet fant i 2011 at det så langt hadde kommet om lag fire tonn *deponeringspliktig* NORM-avfall på hver dekommisjonerte installasjon. I den samme rapporten anslås det at det samlede NORM-avfallet fra dekommisjonering (både deponeringspliktig og ikke-deponeringspliktig) ville ligge på rundt 19 tonn årlig mellom 2010 og 2020, men det understrekes at det er stor usikkerhet knyttet til disse tallene (Miljødirektoratet, 2011).

Figuren under illustrerer de viktigste linjene i dagens strømmer for radioaktivt avfall i sokkelindustrien.

Figur 2-13. Verdikjede for avfall fra sokkelvirksomhet

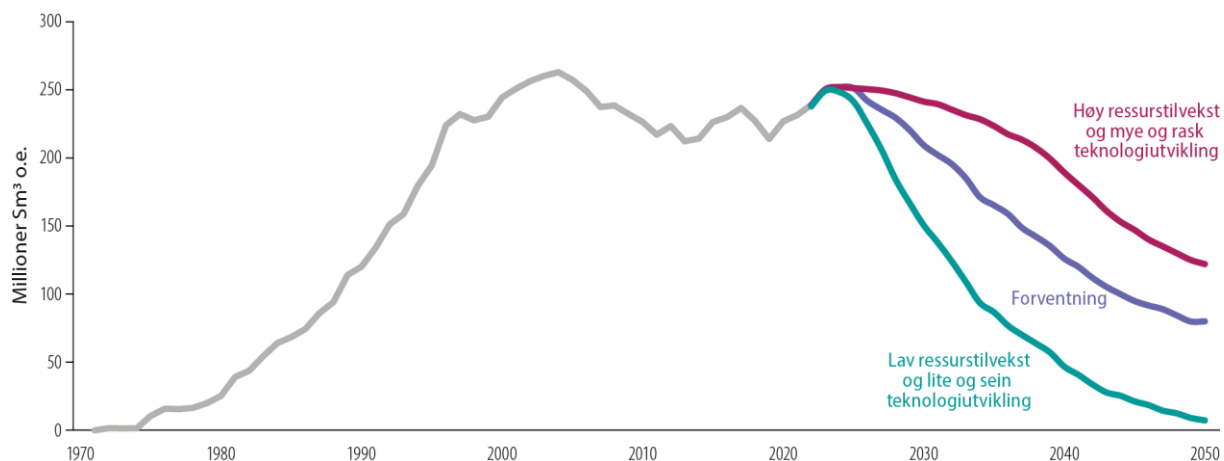


2.6.2 Prognoser fremover

Olje- og gassproduksjon

Sokkeldirektoratets egne forventninger til fremtidig olje- og gassproduksjon på sokkelen tilsier at produksjonen vil mer enn halveres fra 2025 til 2050, men dette avhenger av fremtidig teknologiutvikling og hvilke funn som blir gjort. Dette er illustrert i figuren under.

Figur 2-14: Prognoser for olje- og gassproduksjon på norsk sokkel (i standard kubikkmeter oljeekvivalenter). Kilde: Søkeldirektoratet (2022)



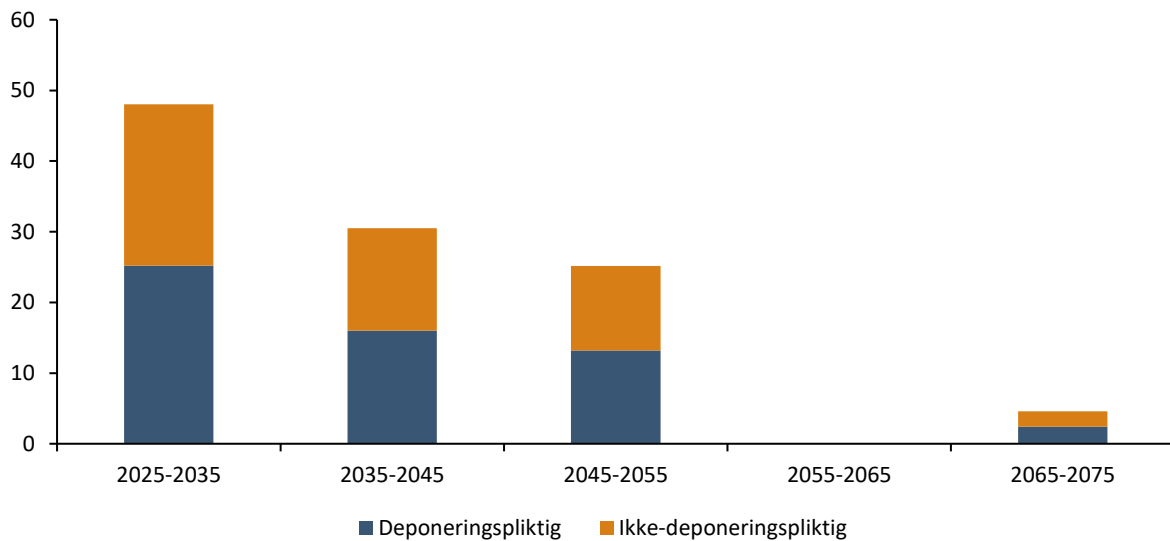
Vi legger til grunn at det radioaktive avfallet fra produksjonen i stor grad vil følge produksjonsmengdene, og dermed reduseres tilsvarende som forventningsbanen frem mot år 2050. Etter 2050 legger vi til grunn en konservativ nedgang i produksjon på omtrent ett prosent årlig frem til år 2100.

Dekommisjonering

På norsk sokkel er det i dag 12 betonginnretninger, 21 flytende og 70 bunnfaste stålinnretninger. I løpet av de nærmeste ti årene er det ventet at mellom 20 og 30 av feltene som i dag er i drift skal få innretningene dekommisjonert (Søkeldirektoratet, 2023). OSPAR-konvensjonen forbyr å etterlate innretninger i havområdene, med mulige unntak for flere typer understell og fundament. I tillegg kan rørledninger og kabler som regel etterlates.

Basisestimatet vårt for dekommisjonering tar utgangspunkt i den forventede levetiden til eksisterende innretninger på sokkelen, og deres forventede levetid (basert på siste godkjente utvinningstillatelse). Dersom vi kombinerer dette med Miljødirektoratets (2011) funn, finner vi at dekommisjoneringsavfall på det meste vil utgjøre om lag 50 tonn avfall årlig. Dette er illustrert i figuren under.

Figur 2-15: Forventede årlige mengder radioaktivt avfall fra dekommisjonering (tonn), 2025-2075. Kilder: Sokkeldirektoratets faktasider og Miljødirektoratet (2011).



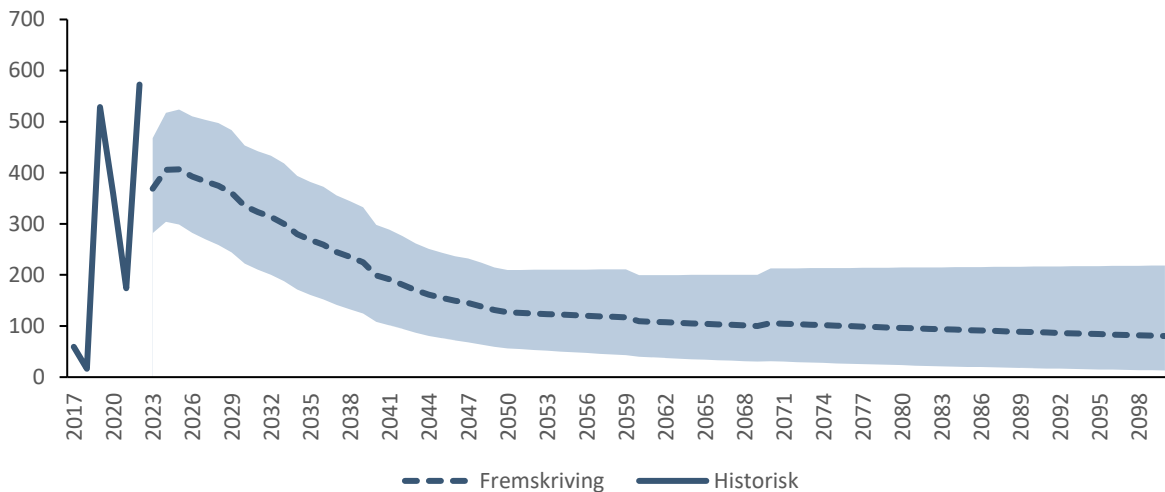
Med denne metoden vil det per i dag forekomme svært lite dekommisjonering etter år 2055, og ingenting etter 2075 – men for å hensynta eventuelle nye installasjoner og utvidet dekommisjonering av fundamenter, rørledninger og kabler, har vi i tiårene uten dekommisjonering lagt til grunn en avfallsmengde som tilsvarer gjennomsnittsavfallet for hele perioden.

Basert på disse estimatene vil dekommisjonering utgjøre en stadig større andel av det radioaktive avfallet fra olje- og gassnæringen, men fremdeles ikke mer enn i underkant av 20 prosent i år 2100. Igjen er det viktig å understreke at disse dekommisjoneringsestimaterne er bygget på begrensede datagrunnlag, og det kan være behov for å oppdatere prognosene etter hvert som erfaringen med dekommisjonering av offshoreinstallasjoner vokser.

Samlet prognose

Vår prognose for olje- og gassnæringen gir en samlet avfallsmengde på rett i underkant av 13 500 tonn med avfall frem til år 2100, som tilsvarer et årlig gjennomsnitt på omtrent 170 tonn. Avfallet vil bestå av tilnærmet utelukkende NORM, hvorav majoriteten (60-75 prosent) ikke er deponeringspliktig. I tillegg vil det fortsatt genereres noe øvrig, deponeringspliktig avfall i form av kontrollkilder, og med dekommisjonering vil det kunne oppstå behov for avhending av større mengder røykvarslere.

Figur 2-16: Historisk og forventet utvikling i radioaktivt avfall fra olje- og gassnæringen (tonn), 2017-2100.



Usikkerhetsspennene skyldes først og fremst usikkerhet i næringens framtid, og at variasjonen i årlige avfallsmengder gjør det utfordrende å fastslå en gjennomsnittlig avfallsmengde over tid.

Havbunnsmineraler

I 2024 vedtok Stortinget å åpne deler av norsk kontinentalsokkel for mineralvirksomhet. Dette innebærer at det over tid vil kunne tildeles tillatelser for leting, og etter hvert utvinning, på havbunnen i norske farvann. Aktiviteten vil kunne generere store mengder avfall, på lik linje med mineralutvinning på land. Dersom områdene som er aktuelle for leting og utvinning inneholder radioaktive stoffer på et slikt nivå at avfallet må håndteres som radioaktivt, vil dette kunne kreve særskilt deponikapasitet som ikke finnes i dag. Ettersom fremtiden for mineralutvinning på havbunnen er usikker, og forekomsten av radioaktive stoffer ikke er kjent, er *ikke* dette scenariet inkludert i prognosene.

2.7 Bygg- og anleggsvirksomhet

Bygg- og anleggsvirksomhet genererer radioaktivt avfall gjennom forstyrrelser og bearbeiding av jord og bergarter som inneholder naturlig forekommende radioaktive stoffer (NORM). Det er særlig utbygging i områder med syredannende bergarter som øker risikoen for miljøforurensing, da disse bergartene kan danne syrer ved eksponering til luft og vann. Syredannende bergarter er en samlebetegnelse på bergarter med slike egenskaper og inkluderer blant annet alunskifer, galgebergskifer og flere typer leirskifer. Blant disse er alunskifer spesielt problematisk og denne bergarten er påvist i betydelige mengder i Oslofeltet og omkringliggende områder på Østlandet.

2.7.1 Kort om egenskaper

Potensielt syredannende bergarter er rike på tungmetaller. Sammenlignet med andre bergarter har alunskifer et særlig høyt uraninnhold hvor uran-238 brytes ned til andre radioaktive stoffer, blant annet radium-226, som igjen kan gi opphav til kreftfremkallende radongass (Miljødirektoratet, 2023).

Utgravde masser med alunskifer vil i mange tilfeller inneholde så mye radioaktive stoffer at de klassifiseres som radioaktivt avfall. Likevel må det understrekes at risikoen for radioaktiv forurensing fra potensielt syredannende bergarter ikke enkelt kan vurderes basert på aktivitetskonsentrasjonen alene. Dette betyr at selv bergarter med

aktivitetskonsentrasjoner under de fastsatte grenseverdiene for klassifisering som radioaktivt avfall og deponeringspliktig, kan utgjøre en forurensningsrisiko under visse forhold (DSA, 2016). Det stilles derfor strenge krav til deponering av denne typen bergart, selv om grenseverdien for radioaktivt avfall ikke er overskredet.

Figur 2-17. Verdikjede for bygg- og anleggsavfall



2.7.2 Prognoser fremover

Befolkningsvekst setter krav til videre utbygging og rehabilitering av boliger og infrastruktur. I SSBs hovedalternativ vil den nasjonale befolkningen øke med 14 prosent mellom 2022 og 2100, og regionalt er veksten størst i tidligere Viken fylkeskommune (Akershus, Buskerud og Østfold) (18,5 prosent), etterfulgt av Oslo (15,6 prosent) – som begge er områder med store alunskiferforekomster.

Det er i tillegg et stort vedlikeholdsetterslep på vann og avløp – i 2019 estimerte Rådgivende Ingeniørers Forening at dette etterslepet hadde en samlet verdi på 380 milliarder kroner (Rådgivende Ingeniørers Forening, 2019). Det er med andre ord sannsynlig at det vil være nødvendig med større utbedringer av vann- og avløpssystemet innen år 2100, som blant annet vil medføre graving i områder med syredannende bergarter.

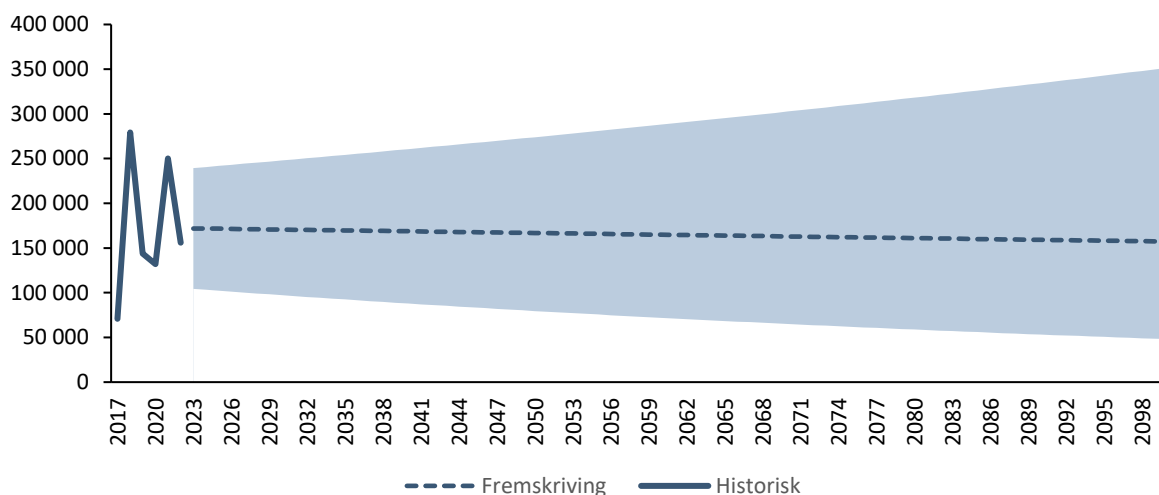
Videre er det i henhold til nasjonal transportplan flere forventede infrastrukturprosjekter i Oslo-området, Hamarregionen og Oppland som vil kunne generere betydelige mengder avfall med alunskifer frem til år 2035. I Oslo-området gjelder det blant annet Fornebubanen, E18 Lysaker – Ramstadsletta, Østfoldbanen, ny T-banetunnel gjennom Oslo sentrum, ny Majorstuen stasjon, samt en rekke gang- og sykkelveiprosjekter. I andre områder gjelder det særlig utbygging og utbedring av spor knyttet til Dovrebanen, E6 Moelv-Øyer og tiltak knyttet til Gjøvikbanen (Samferdselsdepartementet, 2021).

På den andre siden er det større etterspørsel etter mer bærekraftige utbyggings- og vedlikeholdsmetoder. Blant annet blir det stadig mer utbredt med gravefrie metoder ved fornying av vann- og avløpsledninger (Oslo kommune, u.d.). I tillegg forventes det at graden av utbedringer og vedlikehold av bygg og infrastruktur vil øke sammenliknet med nybygging etter hvert som de store prosjektene på Østlandet ferdigstilles.

Avfall fra bygg- og anleggsvirksomhet har hittil variert betydelig fra år til år. Historisk avfallsstrøm viser ingen jevn trend, men varierer i stedet med aktivitetsnivået i bransjen og omfanget av større utbyggingsprosjekter i områder med syredannende bergarter. Det har vært mange store utbygginger i områder med syredannende bergarter de siste tiårene, og i dataene tilbake til 2017 er det særlig arbeidet med Regjeringskvartalet og Follobanen som driver toppene i avfallsproduksjonen. Basisestimatet for avfall frem mot 2100 er dermed basert på en antakelse om videreføring av utviklingen bransjen har hatt de siste ti årene, som i gjennomsnitt har vært svakt nedadgående.

Det er stor usikkerhet i antall og omfang større prosjekter langt fram i tid i områder med alunskifer. Som forventningsverdi antar vi at det frem mot 2100 vil generes omtrent 14 mill. tonn. Det er et stort intervall fra 6 mill. til 23 mill. tonn grunnet høy usikkerhet. I gjennomsnitt antar vi at det vil komme omtrent 180 000 tonn med avfall per år. Figuren under illustrer dette.

Figur 2-18. Historisk og forventet utvikling i radioaktivt avfall fra bygg og anlegg (tonn), 2017-2100.



Det er også en mulighet for at det produseres avfall innenfor bygg- og anleggsnæringen som skulle vært deklartert som radioaktivt avfall, men som per i dag ikke blir det. Dette kan eksempelvis gjelde vann som samler seg i byggegrøper, som det per i dag ikke finnes gode avfallshåndteringsløsninger for. I større prosjekter løses dette problemet gjerne gjennom rensing av vannet, men det er usikkert hvor utbredt dette er ved mindre utbygginger. I tillegg forteller bransjeaktører at det fremdeles er mye manglende kunnskap om syredannende bergarter i bransjen, men at det har blitt betydelig bedre i løpet av de siste 20-30 årene.

Et scenario som ikke er inkludert i prognosene, er avfallet fra denne bransjen som kan genereres ved en eventuell mineralutvinning på Fensfeltet ved Ulefoss (selve utvinningsscenariet er nærmere beskrevet i Kapittel 2.8 Mineral- og prosessindustrien). Dersom det besluttes å drive utvinning, kan dette gi behov for infrastruktur og bygninger som ikke finnes i området i dag. Bergartene i området har spesielt høye nivåer av naturlig forekommende radioaktive stoffer, og eventuelle utbygginger i dette området vil dermed kunne gi avfall med uvanlig høye nivåer av naturlig forekommende radioaktive stoffer.

2.8 Mineral- og prosessindustrien

Mineral- og prosessindustrien genererer radioaktivt avfall både gjennom behandling av naturlige råstoffer og ved bruk av radioaktive målekilder. Denne sektoren omfatter virksomheter som driver med utvinning, prosessering, og fremstilling av både mineralressurser og kjemiske produkter. Virksomhetenes arbeid spenner over områder som metallraffinering, produksjon av byggematerialer og utvikling av spesialiserte kjemikalier, hver med sin unike prosess for å omdanne råstoffene. Gjennom foredlingsprosessene kan naturlig forekommende radioaktive stoffer i råmaterialene bli konsentrert, som igjen kan medføre radioaktivt avfall.

Grunnet de store volumene med NORM-avfall fra kunstgjødselproduksjon, står Yara Norge AS for tilnærmet 100 prosent av avfallsproduksjonen i mineral- og prosessindustrien målt i vekt i dag. Det deklarte radioaktive avfallet fra næringen for øvrig er svært forskjellig fra Yaras avfall, og vi vil derfor både se på hele næringen under ett og hele næringen *uten Yara* videre i dette kapitlet.

2.8.1 Kort om egenskaper

Kunstgjødselproduksjon gir avfall i form av fosfatsand, som kan inneholde naturlig forekommende radionuklider, inkludert uran-, thorium- og radiumisotoper, kalium-40 og bly-210. Avfallet er ikke deponeringspliktig.

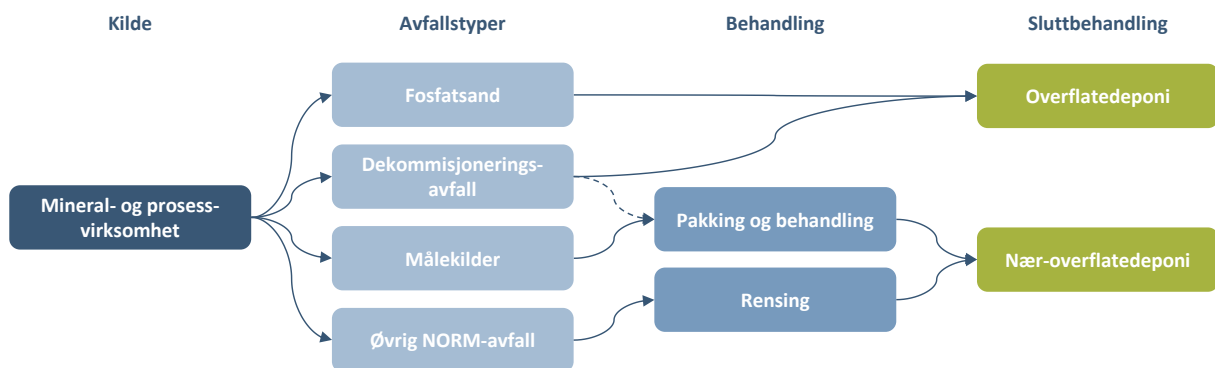
Sammensetningen av radioaktive stoffer i avfallet avhenger av råstoffet som brukes i produksjonen – eksempelvis har krigen i Ukraina gjort at Yara må erstatte fosfatråstoff fra Russland med andre fosfattyper som inneholder mindre av de nødvendige råstoffene til gjødselproduksjon. Dette igjen har medført at avfallsproduksjonen i seg selv har økt, og at særlig mengdene med kalium-40 og uran har økt (DSA, 2023a).

Det radioaktive avfallet fra mineral- og prosessindustri for øvrig består primært av radioaktive målekilder som brukes i den industrielle produksjonen. De vanligste kildene består av cesium-137, kobolt-60 og barium-133, som har en halveringstid på mellom 5 og 30 år. Utover dette avhendes det også noe driftsavfall. Det produseres også noe NORM-avfall, men dette utgjør foreløpig minimale mengder sammenliknet med de øvrige NORM-produserende næringene.

De fleste mineraler som utvinnes i Norge har et relativt lavt innhold av radioaktive stoffer, men utvinningsprosessen kan resultere i en oppkonsentrering av de radioaktive stoffene i avfallet. Disse stoffene, med sine lange halveringstider, kan vedvare i miljøet over lang tid og har potensial til å akkumuleres i næringskjeden, noe som igjen kan resultere i betydelige mengder radioaktivt avfall. Det er ikke registrert noen nåværende gruvedrift som produserer radioaktivt avfall, men det er en mulighet for at dette vil oppstå i fremtiden.

Figuren under oppsummerer de viktigste avfallsstrømmene innenfor mineral- og prosessindustrien.

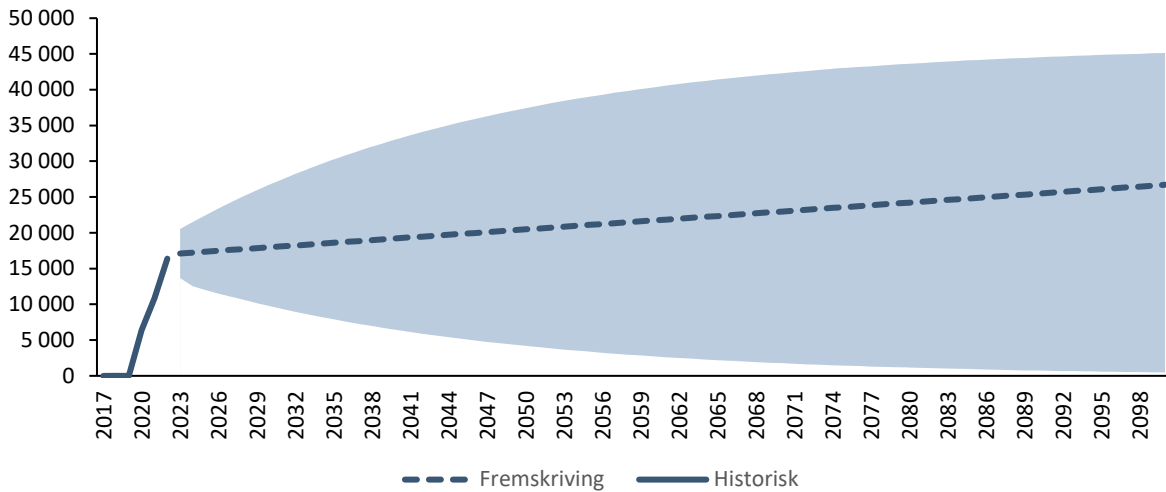
Figur 2-19. Verdikjede for mineral- og prosessindustrien



2.8.2 Prognoser fremover

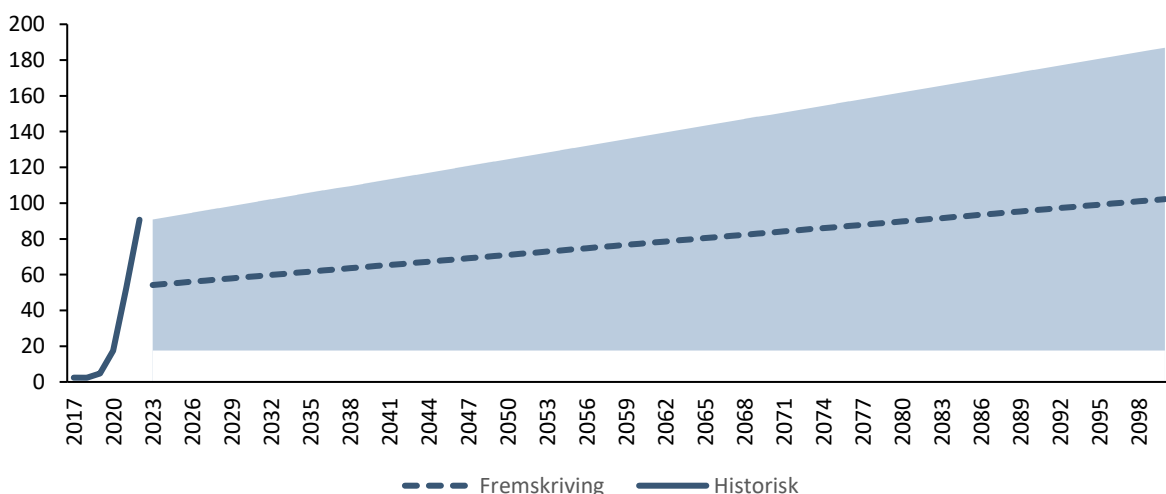
Ettersom tilnærmet alt det radioaktive avfallet fra næringen i dag stammer fra én enkelt produsent, er også de fremtidige avfallsmengdene svært usikre, da en endring i Yaras produksjon alene vil kunne gi direkte utslag på avfallsmengdene. I basisestimatet, som er vist i figuren under, legger vi til grunn at avfallsutviklingen vil fortsette tilsvarende næringsutviklingen de siste ti årene, men usikkerhetsspennet tar høyde for både langt større avfallsmengder som følge av økt aktivitet i næringen og økt/endret råvareforbruk, og en kraftig redusert avfallsproduksjon dersom Yara skulle velge å redusere eller avslutte sin produksjon i Norge. Til sammen forventes det en avfallsmengde på 1,65 millioner tonn fram til år 2100, som tilsvarer et gjennomsnitt på omtrent 21 000 tonn årlig. Til sammenlikning har Bjorstaddalen Næring, som tar imot den radioaktive fosfatsanden fra Yara, nylig fått innvilget tillatelse fra DSA til å deponere inntil 30 000 tonn fosfatsand årlig (DSA, 2023a). Den årlige forventningsverdien ligger altså noe under dette, men dette skyldes det betydelige negative usikkerhetsspennet.

Figur 2-20: Historisk og forventet utvikling i radioaktivt avfall fra mineral- og prosessindustri (tonn), 2017-2100.



For næringen for øvrig er basisestimatet også basert på den historiske næringsutviklingen, se figuren under. Her er både de samlede avfallsmengdene og usikkerhetsspennet mindre. Det er likevel faktorer som trekker usikkerhetsspennet i begge retninger: Store deler av næringen opererer i sterk konkurranse med internasjonale aktører, og det er dermed en risiko for at produksjonen i Norge vil kunne bli lavere over tid. Samtidig gir lave energikostnader et konkurransefortrinn i kraftintensive industrinæringer, og det finnes flere muligheter for vekst i årene fremover (Menon Economics, 2023; Energikommisjonen, 2023). Til sammen forventes det 6 100 tonn avfall fra mineral- og prosessindustrien utenom Yara fram til år 2100, som tilsvarer 80 tonn årlig. Her er det viktig å merke at den tilsynelatende store veksten i 2021 og 2022 kommer fra dekommisjonering av to smelteovner, og vi forventer derfor ikke at verken veksten eller nivået vil opprettholdes i årene fremover.

Figur 2-21: Historisk og forventet utvikling i radioaktivt avfall fra mineral- og prosessindustri ekskl. Yara (tonn), 2017-2100.



Disse prognosene tar utgangspunkt i kjente avfallsprodusenter i dag. DSA forventet i sin utredning i 2016 at det fantes langt flere virksomheter som produserte radioaktivt avfall enn de som hadde tillatelse etter forurensingsloven på det tidspunktet. Det er fremdeles et pågående arbeid for å kartlegge industrier og

virksomheter i Norge som håndterer store mengder naturlige råstoffer og dermed kan danne radioaktivt avfall og utslipp. Til tross for at antallet registrerte avfallsprodusenter har vært økende siden forrige utredning, vil det fremdeles kunne oppdages nye avfallskilder i framtiden. Eksempler på virksomheter som kan ha urapportert radioaktivt avfall i dag er aluminiums- og stålprodusenter, sementprodusenter og anlegg for filtrering av grunnvann. Mye av det relevante avfallet fra disse næringene klassifiseres allerede som farlig avfall, og såfremt avfallet er under grensene for deponeringspliktig avfall vil mottakene fremdeles kunne ta imot avfallet. Så en eventuell økning i mengden deklart radioaktivt avfall trenger ikke nødvendigvis gi større belastning på den samlede deponikapasiteten.

Prøver fra Fensfeltet utenfor Ulefoss indikerer at området potensielt rommer Europas største forekomster av sjeldne jordarter – og er dermed et område som er særlig interessant for fremtidig utvinning. Samtidig ser det også ut til at området kan være en av verdens største thoriumforekomster, og mengden radioaktive stoffer i bergartene vil gi konsekvenser for hvordan avfallet fra en eventuell utvinning skal håndteres. En mulig løsning for avfallshåndtering er å fylle hoveddelen av gruveavfall tilbake i gruen. Dersom dette viser seg å være en egnet løsning for avfallet, vil en eventuell utvinning ikke ha store konsekvenser for deponikapasiteten. På bakgrunn av dette, og fordi det per dags dato ikke er tatt en beslutning rundt utvinning på Fensfeltet, er *ikke* disse avfallsmengdene inkludert i våre prognoser.

2.9 Andre avfallskilder

2.9.1 Avfall levert hos andre avfallsmottak

2.9.1.1 Kort om egenskaper

Denne kategorien omfatter avfall som samles inn gjennom innsamlingsordninger (særlig EE-avfall og farlig avfall) og andre «funn» samlet inn hos lokale avfallsmottak. 99 prosent dette avfallet består av røykvarslere, levert inn av både privatpersoner og virksomheter. Ioniske røykvarslere inneholder en liten kilde av Americium-241, som har en halveringstid på 433 år. Til tross for at ioniske røykvarslere ser ut til å gradvis skiftes ut med optiske røykvarslere (som ikke inneholder radioaktive materialer), er det forventet at man fremdeles vil måtte behandle og deponere slike kilder i mange år fremover.

Utover røykvarslere omfatter også denne kategorien avfall som er samlet inn som farlig avfall, som på avfallsmottaket viser seg å være radioaktivt. Dette kan eksempelvis gjelde gamle kompasser, uranglass og andre «tilfeldige» gjenstander. Det årlige volumet av denne typen avfall er ganske begrenset, men krever mye ressurser i behandlingsskjeden fordi avfallet er svært heterogent. Opprinnelse, innhold og aktivitet for avfallet varierer stort. I praksis må tilnærmet hver enkelt gjenstand vurderes særskilt.

2.9.1.2 Prognoser fremover

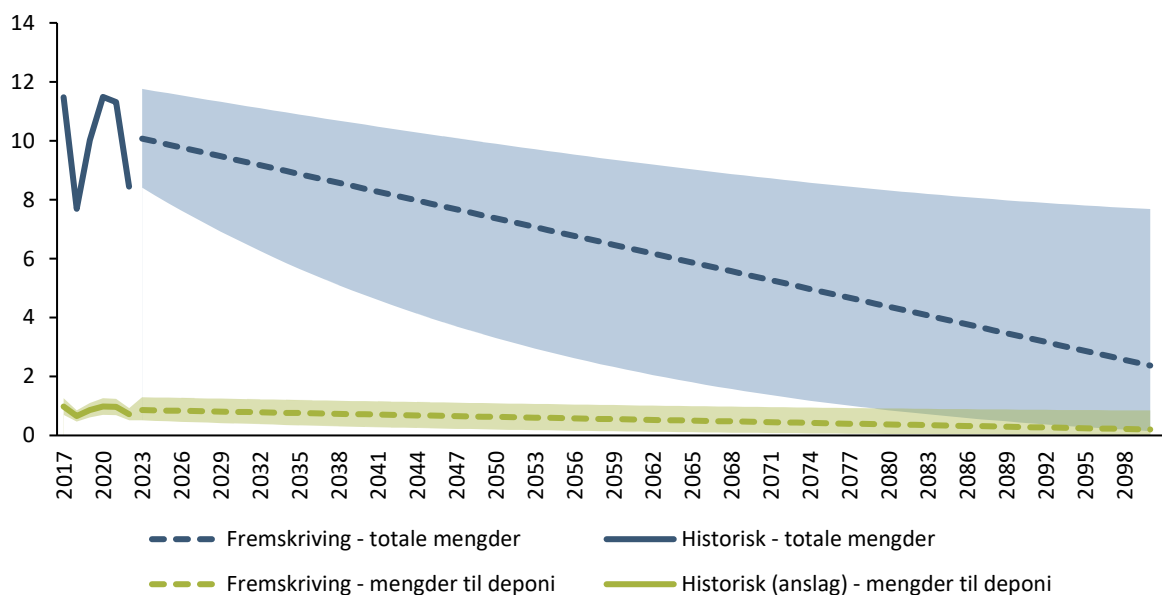
Ettersom ioniske røykvarslere står for det aller meste av avfallet i denne kategorien, og det forventes at disse gradvis vil fases ut, legger vi til grunn en gradvis nedgang i denne typen avfall frem mot år 2100. Basisestimatet tar likevel høyde for at det fremdeles vil finnes noe radioaktivt avfall i denne kategorien, men at de årlige mengdene er betydelig lavere enn i dag.

Usikkerhetsspennet drives av usikkerhet i hvor fort (og hvorvidt) ioniske røykvarslere fases ut. I tillegg reflekterer det øvre spennet også en mulighet for at økt bevissthet rundt avfallshåndteringen kan føre til en økning i innlevering av kilder og annet radioaktivt materiale. Dette vil i så fall være såkalt «hittil uoppdaget avfall» - det

vil si avfall som ikke produseres som følge av noen ny aktivitet, men som nå blir registrert og håndtert på korrekt måte.

Figuren under illustrerer basisestimat og usikkerhetsspenn for denne kategorien. Til sammen forventer vi at det vil komme 480 tonn avfall i denne kategorien frem til år 2100. Det tilsvarer et årlig gjennomsnitt på seks tonn avfall. Det er verdt å merke at disse estimatene baserer seg på den samlede vekten av alt avfallet som må håndteres. Fra røykvarslere er det kun sensoren med americium-kilden som deponeres, mens resten sorteres ut som vanlig avfall. Dermed er den gjenstående mengden avfall som må *deponeres* betydelig lavere enn mengdene som kommer inn til behandlingsanlegget. Våre anslag tar utgangspunkt i at sensoren utgjør mellom fem og ti prosent av røykvarslersens vekt. Dette innebærer i så fall et deponeringsbehov på i overkant av 40 tonn avfall fra røykvarslere frem til år 2100.

Figur 2-22: Historisk og forventet utvikling i radioaktivt avfall samlet inn hos andre mottak m.m., 2017-2100.



2.9.2 Historisk avfall

Det finnes flere tilfeller av historisk avfall, eller såkalte «gamle synder», der radioaktivt avfall har blitt produsert eller lagret uten hensyn til hvilke endelige løsninger som finnes for avfallet. Et eksempel på dette er avfallet fra Sjøve Gruver, der radioaktivt slagg fra utvinning på 50- og 60-tallet ble deponert to steder nær fabrikkområdet. Noe av avfallet overstiger grensen for radioaktivt avfall, og det er anslått at opp til 5 000 tonn avfall må fjernes fra området. Til tross for at staten påtok seg ansvaret for å rydde opp avfallet fra Sjøve Gruver allerede i 2010, har man fremdeles ikke lyktes å finne en permanent løsning for avfallet. Siden 2020 har NND hatt ansvar for oppryddingsarbeidet, som skal finansieres over statsbudsjettet. I tillegg til Sjøve Gruver finnes det flere tilsvarende, men mindre omfattende tilfeller av uegnet lagring av radioaktivt avfall som må håndteres på en trygg, sikker og forsvarlig måte i tråd med dagens krav.

Det som er felles for dette historiske avfallet, er at dette gjelder definerte mengder, og gir ingen løpende avfallshåndteringsproblematikk slik som driftsavfall fra eksisterende industri. Det er likevel viktig at avfallet håndteres, da det kan utgjøre en fare for helse og miljø i området. En særlig utfordring for enkelte av disse «gamle syndene» er når radioaktive stoffer lekker ut i miljøet og skaper en forurensningssituasjon. I noen tilfeller kan

radioaktive stoffer bli bundet til organisk materiale (eksempelvis i myr), noe som kan føre til at man ved opprydning får en avfallsfraksjon (radioaktivt avfall med høyt innhold av total organisk karbon (TOC)) som man ikke har noen avfallshåndteringsløsninger for i dag. Det kan heller ikke utelukkes at det vil gjøres nye, tilsvarende funn i fremtiden, og selv om hvert funn må vurderes individuelt, vil de løsningene man finner for dagens problemområder sannsynligvis gi nyttig lærdom som kan effektivisere håndteringen av slikt avfall i fremtiden. Ettersom disse funnene oppstår som enkelthendelser er det heller ikke mulig å fremskrive forventede avfallsmengder, og historisk avfall («gamle synder») er derfor ikke inkludert i våre prognoser.

2.10 Kapasitetsbehov frem mot år 2100

Valg av metode for håndtering bestemmes ut fra avfallens egenskaper, og ut fra hva som vil sikre en trygg, sikker og forsvarlig håndtering av avfallet. Vi har illustrert de ulike trinnene for håndtering av radioaktivt avfall i figuren under. Med økende produksjon av radioaktivt avfall, som beskrevet i de foregående delkapitlene, fordrer det også at det finnes tilstrekkelig behandlings-, lagrings- og deponikapasitet for dette avfallet. I dag er det flere utfordringer på dette området. I underkapitlene som følger tar vi for oss hvor mye kapasitet det er behov for i hvert trinn, samt hvilke utfordringer man står overfor for å sikre trygg, sikker og forsvarlig håndtering av radioaktivt avfall.

Figur 2-23. Illustrasjon av de ulike trinnene for håndtering av radioaktivt avfall ¹¹.



2.10.1 Behandling inkl. gjenvinning og forbrenning

Behandling av radioaktivt avfall omfatter flere metoder som sikrer at avfallet håndteres på en trygg, sikker og forsvarlig måte. Dette inkluderer metoder som **gjenvinning** av materialer hvor det er mulig, **forbrenning** av avfall for å redusere volum og vekt, **rensing** for å kunne sortere og skille ut avfallet og **pakking** for sikker lagring eller deponering. Egnert behandlingsmetode avhenger av de spesifikke egenskapene til den enkelte avfallstypen. Det meste av det radioaktive avfallet går gjennom en form for behandling.

Forbrenning og deponi er de eneste løsningene for endelig anbringelse av radioaktivt avfall i Norge. Forbrenning er særlig relevant for medisinsk og forskningsrelatert avfall, som kan være både radioaktivt og ha andre utfordrende egenskaper som gjør det lite ønskelig å deponere. Forbrenningsprosessen reduserer avfallsvolumet. Når avfallstypen vurderes for forbrenning, må man være oppmerksom på at prosessen ikke reduserer radioaktiviteten. Nuklidene overføres enten til asken eller fordampet. Det kan medføre utslipp av radioaktive stoffer til luft eller at asken vil bli radioaktivt avfall, og må håndteres iht. kravene for dette.

¹¹ Trinnene kan komme i ulik rekkefølge og hvilke trinn som er nødvendig før deponering vil variere mellom forskjellige avfallstyper.

2.10.1.1 Behandling av NORM-avfall

Innen **olje- og gassvirksomhet** og **mineral- og prosessindustri** foretas det ofte behandling av NORM-avfall i form av rensing av utstyr for å skille ut radioaktive stoffer. Det er i dag flere aktører som vasker og renser utstyr før det utskilte radioaktive avfallet sendes videre. De to største aktørene er Wellconnection og SafeClean. Det er foreløpig ikke kapasitetsutfordringer i dette leddet, og det er heller ikke antatt at det vil være store fremtidige utfordringer.

Resterende NORM-avfall, blant annet avfall fra **bygg- og anleggsvirksomhet**, sendes stort sett rett til deponi. Det foretas noe behandling av dette avfallet, men det gjøres i hovedsak av deponiaktørene og er dermed ikke nærmere omtalt i rapporten.

2.10.1.2 Behandling av avfall med menneskeskapt radioaktive stoffer

Radavfallsanlegget, som drives av IFE, er det eneste behandlingsanlegget som eksisterer i dag for avfall inneholdende menneskeskapt radioaktive stoffer (IFE, b). Anlegget bearbeider og behandler avfallet og skal sørge for trygg, sikker og forsvarlig deponering. Tidligere ble avfallet fraktet videre til KLDRA-Himdalen for deponering, men nå som deponering av avfall er stanset blir ikke avfallet lengre fraktet til anlegget. Avfallet blir i stedet lagret på Radavfallsanlegget eller hos avfallsprodusentene selv i påvente av at situasjonen avklares. Kapasiteten ved dette anlegget nærmer seg maksimum, noe som fremhever behovet for utvidelse eller etablering av nye lagrings- og deponifasiliteter for å sikre langsiktig trygg, sikker og forsvarlig håndtering av radioaktivt avfall.

I tillegg mangler Radavfallsanlegget flere tillatelser for å kunne håndtere deler av det radioaktive materialet som flere av aktørene produserer. Dette gjelder blant annet avfall som kommer fra produksjon av radiofarmaka og betyr at noe av dette avfallet blir værende igjen hos avfallsprodusenten, også utover den tillatte lagringstiden (se Kapittel 2.4 Utvikling og produksjon av medisinske produkter for nærmere beskrivelse).

Totalt tilsier våre prognoser at det vil genereres omtrent 14 300 tonn med radioaktivt avfall som inneholder menneskeskapt radioaktive stoffer fra sektorene vi har undersøkt innen år 2100. Avfallet vil ha forskjellige egenskaper som krever ulik behandling, men det er naturlig å anta at det bør finnes tilgjengelig behandlings-, lager- og deponikapasitet til alt radioaktivt avfall som ikke kan forbrennes eller stå til henfall hos avfallsprodusenten selv.

Enkelte radioaktive stoffer kan **forbrennes**. Hvilke stoffer som bør forbrennes er avhengig av blant annet mengden avfall, fysisk-kjemisk tilstandsform på stoffet, hvilke alternative behandlingsmåter som finnes, transporten til anlegget og hvordan stoffet opererer under forbrenning (DSA, 2016). Kortlivede og lite radiotoksiske nuklider som havner i asken eller blir fanget av filter, er det avfallet som egner seg best til forbrenning. I tillegg er det en god løsning for avfall som det ikke er lov å lagre eller deponere, eksempelvis avfall med høyt organisk innhold som eksempelvis forsøksdyr brukt i forskning.

Alle virksomheter som har tillatelse til å håndtere farlig avfall kan også behandle radioaktivt avfall som ikke er deponeringspliktig, men dette gjøres i svært begrenset grad. Senja Avfall IKS er det eneste anlegget i Norge som har tillatelse til å forbrenne visse typer radioaktivt avfall, men under strenge reguleringer for å forhindre at asken blir klassifisert som radioaktivt avfall. Det er utfordrende at det kun er ett forbrenningsanlegg for denne typen avfall i Norge i dag. I tillegg er anlegget lokalisert langt unna der store deler av avfallet genereres, slik at det er langt og kostbart å sende avfallet dersom man skulle velge forbrenning. Det er foreløpig ikke kapasitetsutfordringer ved Senja Avfall IKS og de ser heller ikke for seg at det vil være utfordrende fremover. Det

har vært en oppfordring fra DSA at flere forbrenningsanlegg bør søke om tillatelse til å ta imot radioaktivt avfall, men det er foreløpig kun én aktør på markedet.

Det er stor variasjon i hvor stor andel av avfallet fra sykehus og forskningsinstitusjoner som sendes til forbrenning – til tross for at det er flere likheter i avfallstypene som produseres. Dette indikerer at noe av avfallet som i dag deponeres heller kan forbrennes, og dermed redusere kapasitetsbehovet på deponi.

2.10.2 Lagring

Lagring av radioaktivt avfall innebærer at avfallet midlertidig plasseres i et tilrettelagt anlegg. Radioaktivt avfall kan stå lagret til henfall til det ikke lengre anses som radioaktivt, eller før det sendes videre til deponi, forbrenning eller annen behandling. Lagring benyttes som håndteringsløsning for radioaktivt avfall som det per i dag ikke finnes noen disponeringsløsning for. Dette kan være flytende avfall, avfall som inneholder syre, eller avfall som ikke kan deponeres i tråd med KLDRA-Himdalen's akseptkriterier. Som en konsekvens av at deponering av radioaktivt avfall i KLDRA-Himdalen er stanset finnes det i dag ingen deponi i Norge hvor avfall med menneskeskapt radioaktive stoffer kan deponeres. I denne delen omtaler vi ikke lagring som avfallsprodusentene gjør selv i henhold til regelverket, men kun den lagringen som foretas av andre enn avfallsprodusentene.

2.10.2.1 Lagring av avfall med menneskeskapt radioaktive stoffer

I dag er det IFE ved Radavfallsanlegget som er det eneste nasjonale mottaket for avfall med menneskeskapt radioaktive stoffer. På sikt skal NND ta over ansvaret for håndteringen av alle typer avfall inneholdende menneskeskapt radioaktive stoffer i Norge (NND, u.d.). Det er forventet at det vil ta lang tid å opprette nye deponier for radioaktivt avfall. NND er derfor i gang med å utrede løsninger for midlertidig lager og avfallsanlegg for avfallet, og estimerer at slike nye anlegg vil være i drift i ca. 100 år.

For øyeblikket håndteres dette avfallet ved lagring på Radavfallsanlegget, som drives av IFE på Kjeller eller lokalt hos virksomhetene som har tillatelse fra DSA til å lagre sitt egenproduserte avfall. Som beskrevet tidligere nærmer Radavfallsanlegget seg maksimal kapasitet og behovet for andre lagringsmuligheter er kritisk. Når opprydningen etter atomvirksomheten settes i gang, vil dette kunne generere store mengder avfall på kort tid. Det må da være etablert lagringsmuligheter for å kunne håndtere dette. Det vil også bli behov for et eller flere deponier for dette avfallet. Avfall som brukt atombrensel og noe annet langlivet avfall vil kreve særskilt egnede lagringsløsninger.

Det vil antakeligvis ta lang tid før et nytt deponi for avfall som inneholder menneskeskapt radioaktive stoffer er på plass, og vi må dermed anta at store deler av dette avfallet vil måtte lagres før det deponeres. Dette betyr at lagringsfasilitetene burde ha plass til 14 300 tonn, med et øvre anslag på i underkant av 25 000 tonn og nedre anslag på rundt 6 000 tonn. Av dette avfallet er 17 tonn brukt atombrensel.

Avfall med nuklider med kort halveringstid bør være lagret på et egnet sted for å kunne stå til henfall og deretter avhendes som ikke-radioaktivt avfall. Samtidig krever lagring andre fasiliteter og mer omfattende oppfølgingsrutiner enn deponert avfall. I tråd med avfallshierarkiet er det ønskelig at minst mulig avfall deponeres, men dette reflekteres ikke i praksis dersom avfall som kunne stått til lagring blir deponert av praktiske hensyn. Det er viktig å understreke at dette ikke er tilfellet for alt avfall, og mye av avfallet går til deponi fordi det skal være i tråd med prinsippene trygg, sikker og forsvarlig håndtering.

2.10.3 Deponi

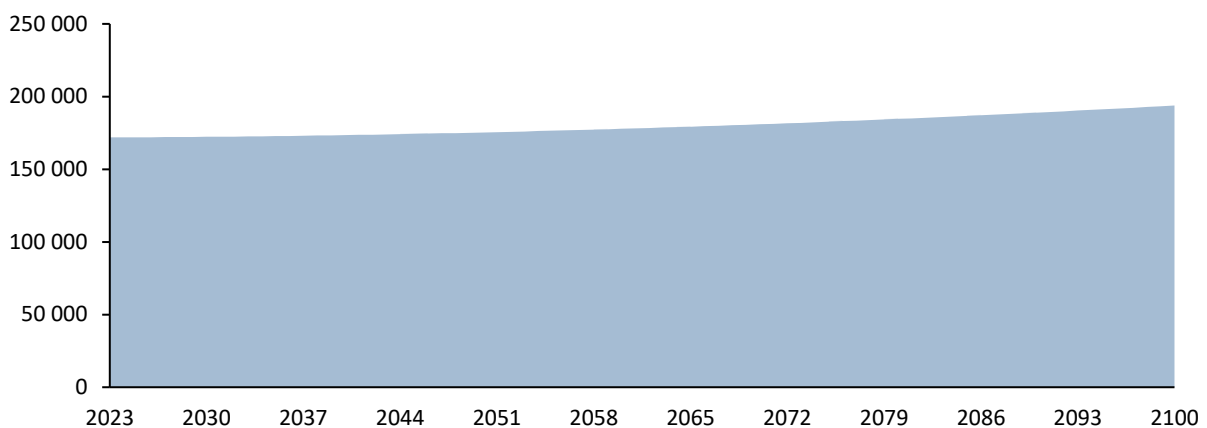
Deponering representerer det siste leddet innen avfallshåndtering og innebærer en endelig anbringelse av avfall i tilrettelagt deponi. Når avfallet ender i deponi, er det uten intensjon om å skulle flytte på avfallet i fremtiden, eller benytte avfallet til andre formål som for eksempel gjenvinning. Det finnes flere typer av deponi som tar imot ulike typer radioaktivt avfall basert på dets egenskaper. Det finnes både overflatedeponi og overflatenært deponi i Norge i dag.

2.10.3.1 Deponering av NORM-avfall

Det eksisterer fire deponier for NORM-avfall i dag. NOAH Langøya og Heggvin Alun er overflatedeponi og tar imot potensielt syredannende bergarter som alunskifer og noe avfall fra mineral- og prosessindustrien. For avfall fra kunstgjødselproduksjonen til Yara eksisterer det i dag ett overflatedeponi, Bjorstaddalen Næring. I tillegg er det Wergeland-Halsvik, som er et overflatenært deponi, som tar imot avfall fra olje- og gassvirksomhet og mineral- og prosessindustri. Videre er det muligheter for at det opprettes et deponi i forbindelse med opprydningen etter Sjøve gruver. Dette har NND ansvar for å planlegge (NND, 2022).

Med kun to deponier som i dag tar imot syredannende bergarter er situasjonen sårbar. NOAH Langøya har begrenset med resterende kapasitet for alunskifer. Heggvin Alun har fortsatt kapasitet på eksisterende deponi som er anslått til å være på 2,4 millioner tonn for deponiets totale levetid og årlig mengde på 500 000 tonn (Statsforvalteren i Innlandet, 2023). Det er også muligheter for utvidelse. Dersom utviklingen frem til 2100 i bygg- og anleggsvirksomhet blir slik vi har antatt, er det behov for å kunne håndtere 14 millioner tonn med avfall. Dette betyr at det vil være behov for ytterligere deponikapasitet utover det som eksisterer i dag. Selv med laveste estimat på 6 millioner tonn, er det sannsynlig at det vil være behov for ytterligere kapasitet. Figuren under viser forventningsverdien av avfall i bygg- og anleggsvirksomhet årlig frem til 2100 som krever deponikapasitet.

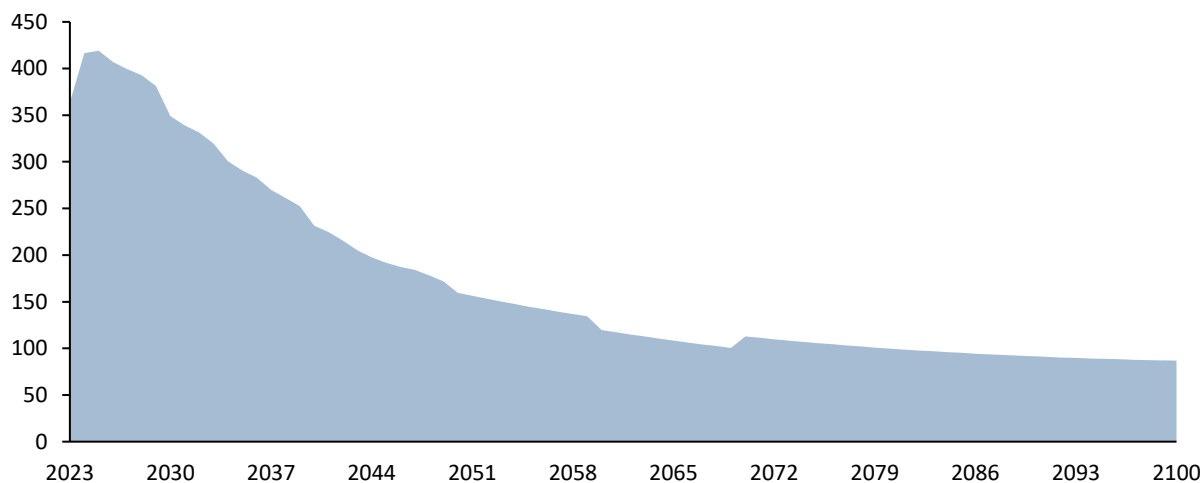
Figur 2-24. Forventet utvikling i radioaktivt avfall fra bygg- og anleggsvirksomhet (tonn), 2023-2100.



Per i dag er det kun Wergeland-Halsvik som tar imot radioaktivt avfall fra olje- og gassvirksomhet. De har tillatelse til å motta inntil 1 500 tonn avfall per år, men har mulighet for utvidelse. I fremtiden er det vurdert at olje- og gassvirksomhet kan generere omtrent 13 500 tonn radioaktivt avfall som forventningsverdi, omtrent 6 000 tonn i laveste anslag og rundt 22 000 tonn i høyeste anslag. Wergeland-Halsvik er presset på kapasitet per i dag, men har nylig søkt om utvidede tillatelser. Dersom denne blir innvilget vil de ikke ha umiddelbare kapasitetsutfordringer, men det er likevel sårbart at det kun er ett deponi som kan ta imot det radioaktive avfallet

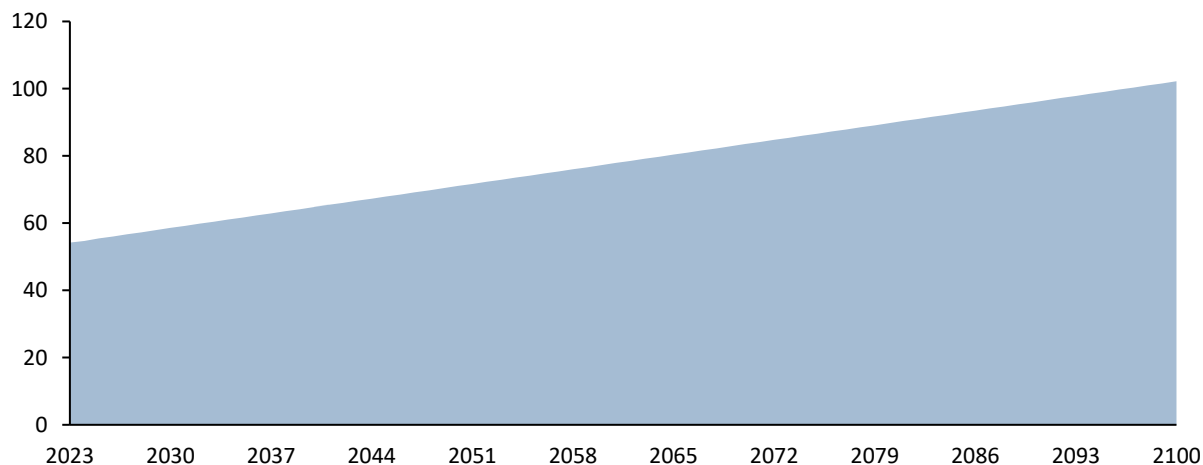
som kommer fremover. Figuren under viser utviklingen i olje- og gassvirksomhet som vil medføre behov for deponikapasitet.

Figur 2-25. Forventet utvikling i radioaktivt avfall fra olje- og gassvirksomhet (tonn), 2023-2100.



Avfall fra mineral- og prosessindustri som *ikke* kommer fra Yara, sendes i hovedsak til NOAH Langøya, og noe til Wergeland-Halsvik. Det er antatt at det vil kunne genereres 6 100 tonn med avfall frem til 2100. Dersom NOAH når full kapasitet vil dette dermed kunne skape utfordringer for bransjen. Figuren under viser det avfallet som vil kreve deponikapasitet i fremover.

Figur 2-26. Forventet utvikling i radioaktivt avfall fra mineral- og prosessindustri utenom Yara (tonn), 2023-2100.

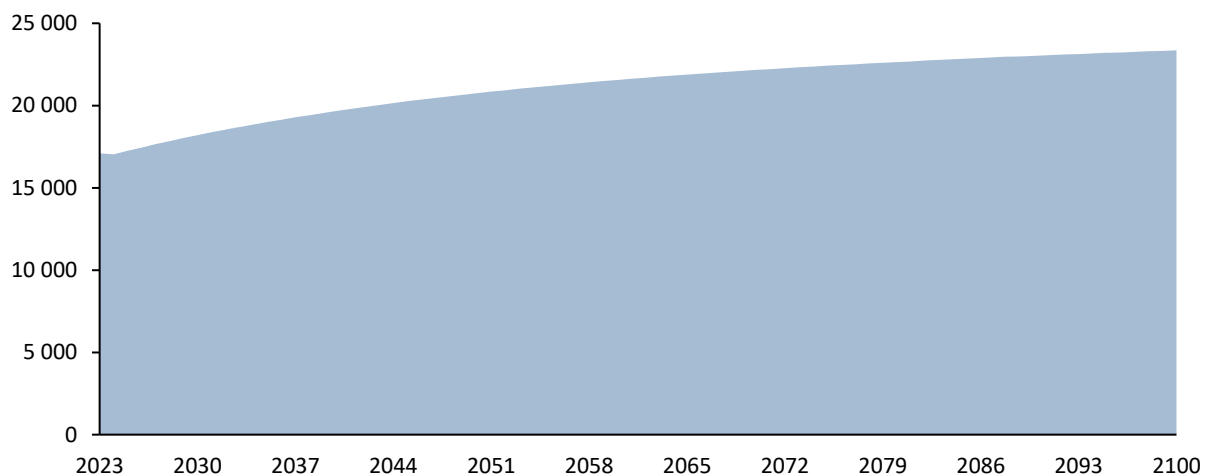


Per i dag er det først og fremst Fensfeltet som er aktuelt for ny mineralutvinning i Norge. Det er likevel foreløpig usikkert om det vil utvinnes noe her, og om det i så fall vil produseres avfall som ikke kan håndteres lokalt på Fensfeltet. Det kan også tenkes at det vil oppstå andre utvinningsprosjekter innen år 2100, og dette kan generere store avfallsmengder som de nåværende deponiene ikke er dimensjonert for.

Dersom man inkluderer Yara, tilsier de samlede prognosene at det vil kunne genereres 1,65 millioner tonn radioaktivt avfall frem til år 2100. Tilnærmet alt av dette er fosfatsand fra Yara, som per i dag deponeres hos

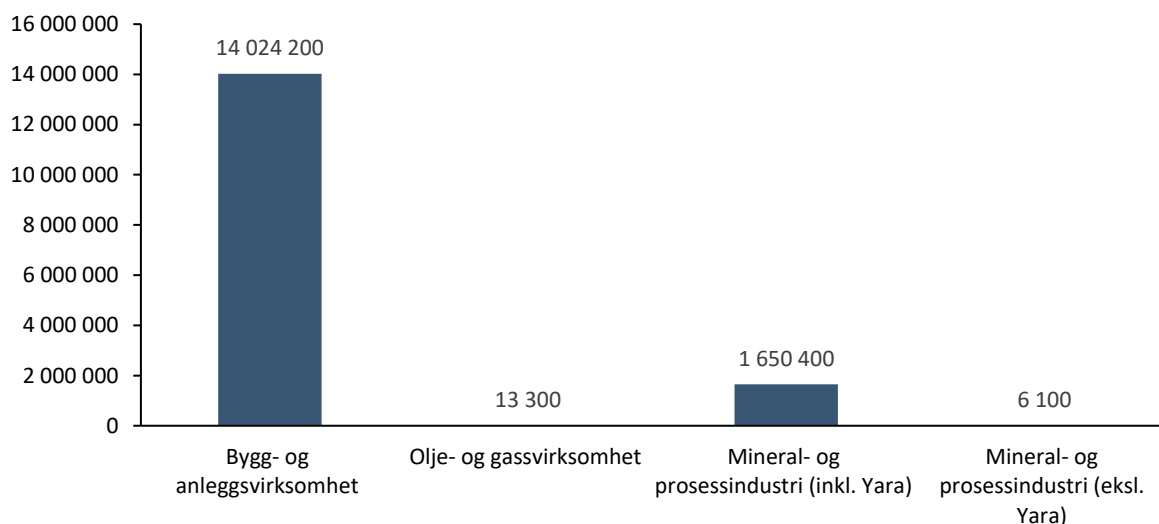
Bjorstaddalen Næring AS. Her er det ingen umiddelbare kapasitetsutfordringer, og Bjorstaddalen har nylig fått utvidet tillatelse til å ta imot inntil 30 000 tonn fosfatsand årlig. Likevel vil mengdene på sikt kunne kreve nye deponier og tillatelser. Figuren under viser utvikling i behov for deponikapasitet mineral- og prosessindustrien totalt frem mot 2100.

Figur 2-27. Forventet utvikling i radioaktivt avfall fra mineral- og prosessindustri inkl. Yara (tonn), 2023-2100.



Figuren under oppsummerer prognoser for radioaktivt avfall innenfor NORM som vil kreve deponikapasitet frem mot 2100.

Figur 2-28. Samlede avfallsmengder (i tonn) for avfall med NORM frem til år 2100.



2.10.3.2 Deponering av avfall som inneholder menneskeskapte radioaktive stoffer

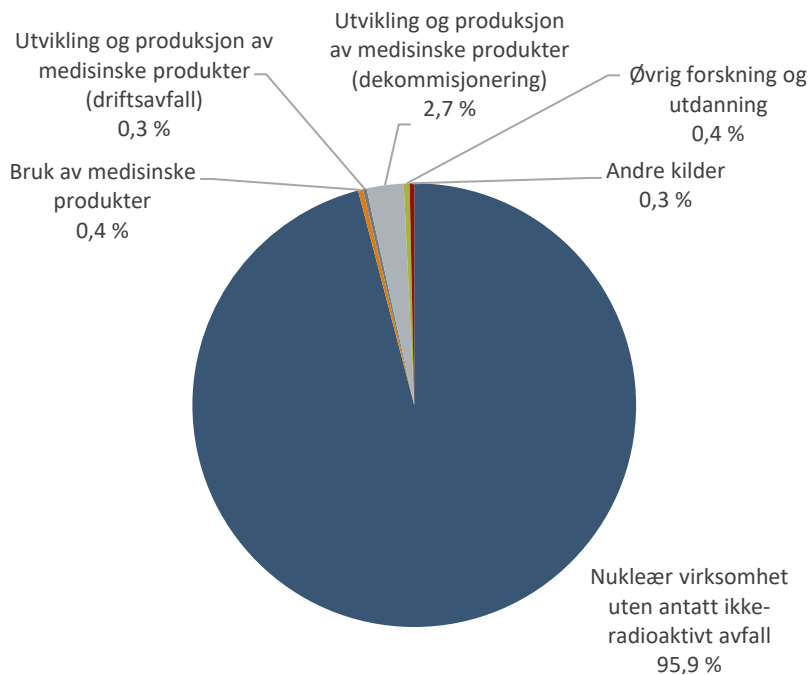
Etter at deponering i KLDRA-Himdalen ble stanset eksisterer det i dag ingen deponeringsalternativer for avfall inneholdende menneskeskapte radioaktive stoffer. Det er dermed stor usikkerhet rundt fremtiden for

virksomheter som produserer denne typen avfall. Det er NND som har ansvaret med å utrede nytt deponi, men det ligger foreløpig langt frem i tid.

Det vil være behov for ulike typer deponi avhengig av hvilke egenskaper det radioaktive avfallet har. Store deler av avfallet kan deponeres i en type overflatenært deponi, som KLDR-Himdalen, mens avfall med særlig høy verdi av radioaktivitet, som brukt atombrensel og noe annet høyaktivt og langlivet avfall, må ha andre deponeringsløsninger. Det er fortsatt usikkert hvordan det brukte brensel skal håndteres.

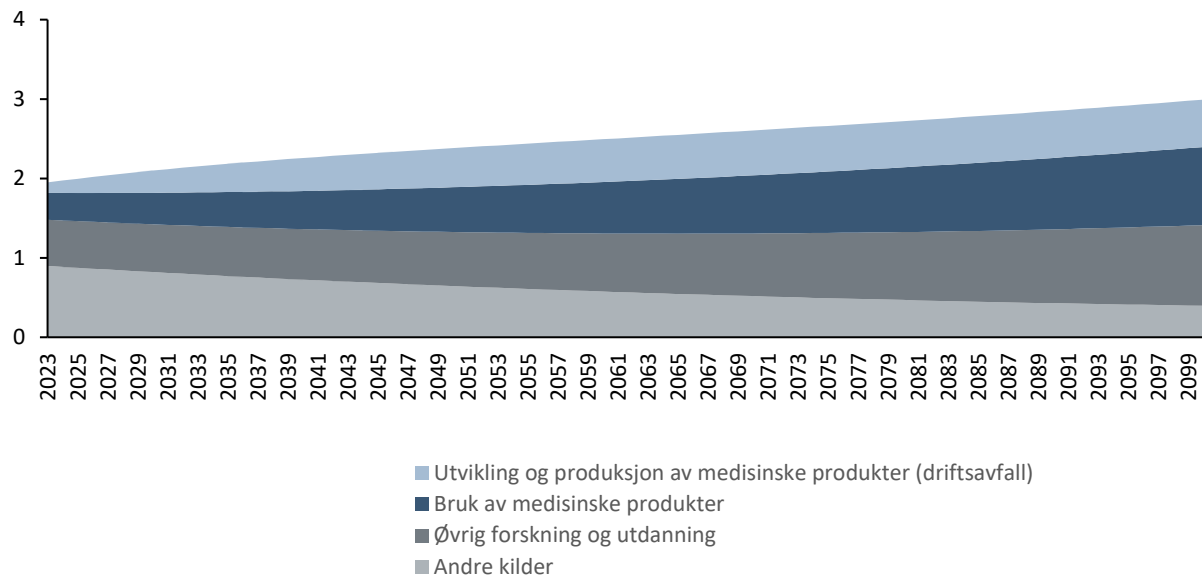
Av det estimerte lagringsbehovet på 14 300 tonn med avfall som inneholder menneskeskapte radioaktive stoffer, vil mye måtte deponeres på lengre sikt. Noe vil sannsynligvis etter hvert kunne avhendes som ikke-radioaktivt avfall grunnet kortere halveringstid. I tillegg er 17 tonn av dette brukt atombrensel som vil måtte håndteres på en særskilt måte. Figuren under viser hvordan det totale avfallet med menneskeskapte radioaktive stoffer fordeler seg på ulike sektorer. I tillegg kan det komme noe mindre mengder med avfall fra mineral- og prosessindustri og olje- og gassvirksomhet i form av radioaktive kilder.

Figur 2-29. Fordeling av avfall med menneskeskapte radioaktive stoffer per næring (i andel av total vekt) frem til år 2100.



Figuren under oppsummerer våre prognoser for utviklingen av løpende radioaktivt avfall innenfor disse sektorene frem mot 2100. Dette utgjør om lag 200 tonn med avfall. Figuren inneholder ikke avfall knyttet til atomanleggene eller dekommisjonering og vedlikehold knyttet til større utstyr innen produksjon av radiofarmaka eller protonbehandlingsanlegg. Det er anslått at opprydningen etter atomvirksomheten vil generere 13 700 tonn med avfall, og at dekommisjonering og vedlikehold knyttet til større utstyr innen produksjon av radiofarmaka eller protonbehandlingsanlegg vil genere rundt 400 tonn med avfall frem mot 2100.

Figur 2-30. Forventet utvikling i løpende radioaktivt avfall med menneskeskapte radioaktive stoffer (tonn)¹², 2023-2100.



Noe av det løpende avfallet med menneskeskapte radioaktive stoffer forbrennes i dag. Dersom vi forutsetter at fordelingen mellom forbrenning og deponi forblir lik som i dag, reduserer dette deponibehovet for løpende avfall fra om lag 200 tonn til 130 tonn totalt frem til 2100. Med andre ord er det først og fremst mengdene og egenskaper for avfallet fra opprydningen etter atomvirksomhet, og deretter dekommisjonering og vedlikehold av større utstyr innen medisinsk produksjon, som er definerende for hvilken deponikapasitet som vil kreves fremover.

2.10.4 Avfall uten tilfredsstillende håndteringsløsninger i dag

I tillegg til avfallet som forventes håndtert gjennom kjente metoder, finnes det radioaktivt avfall man per i dag ikke har mulighet til å håndtere innenfor dagens regelverk. Avfallet fra Sjøve Gruver, som er beskrevet i kapittel 2.9.2 Historisk avfall, er et eksempel på dette. Her er det opp til 5 000 tonn avfall som må håndteres, på grunn av deponering av radioaktivt slagg på 50- og 60-tallet som ikke oppfyller dagens krav.

Disse utfordringene gjelder ikke kun for historisk avfall – men er også en løpende problemstilling i dag. Blant annet finnes det ikke gode håndteringsløsninger for flytende radioaktivt avfall, som det ikke er tillatt å deponere. Det er også tilfeller der virksomheter har fått tillatelser etter forurensingsloven til å *produsere* radioaktivt avfall med visse nuklider som det senere viser seg at det ikke finnes tilstrekkelige tillatelser til å *håndtere* – som resulterer i at virksomhetene sitter på avfall de ikke har lov til å lagre selv, men som de heller ikke har mulighet til å avhende. Dette er særlig en utfordring innen produksjon av radiofarmaka.

For radioaktive kilder har det nylig oppstått utfordringer ved at Radavfallsanlegget har stanset sitt inntak fra enkelte næringer. Lovverket (Strålevernforskriften, 2016, § 14) fastslår at returordninger skal benyttes så langt det er mulig, men mange av disse kildene har likevel blitt avhendet til Radavfallsanlegget. Dette skyldes delvis at noen av returordningene er svært kostbare, men det finnes også eksempler på tilfeller der det ikke er mulig å

¹² Ikke inkludert dekommisjoneringsavfall fra utstyr innen medisinsk produksjon og behandling eller dekommisjoneringsavfall fra atomanleggene.

returnere kildene - blant annet fordi det mangler sertifikater, at virksomhetene kildene ble anskaffet fra ikke lengre eksisterer eller at kilden er kontaminert slik at produsenten ikke ønsker å ta den tilbake.

3 Konklusjon

Det er flere ledd i håndteringen av radioaktivt avfall som vil ha kapasitetsutfordringer i fremtiden, og for enkelte er situasjonen kritisk allerede i dag. Punktene nedenfor oppsummerer de viktigste funnene i denne rapporten, og de områdene det vil være essensielt å etablere gode løsninger for i nær framtid.

Det er sårbarheter og kapasitetsutfordringer i de fleste leddene i avfallshåndteringen

De ulike trinnene i avfallshåndteringen er i stor grad preget av å ha svært få eller bare én aktør, som gjør hele systemet sårbart for uforutsette endringer eller nedstengninger. Fordi det er så få aktører er det også liten geografisk spredning, som ser ut til å føre til lite hensiktsmessig avfallshåndtering i enkelte sektorer. Eksempelvis eksisterer det kun ett forbrenningsanlegg i dag, og dette ligger langt unna de store avfallsprodusentene. Hvis mer radioaktivt avfall kunne gått til forbrenning, ville det frigjort lager- og deponikapasitet.

På sikt vil de fleste sektorene vi har undersøkt ha et lagrings- og/eller deponibehov som langt overgår dagens kapasitet, også med konservative estimater for avfallsmengdene som vil komme. Gitt erfaringene med hvor lang tid det tar å finne gode løsninger for radioaktivt avfall som allerede eksisterer, bør arbeidet med å tilrettelegge for framtidige avfallsmengder starte så tidlig som mulig.

I tillegg er det få aktører som ønsker å ta imot avfall som ligger mellom grenseverdiene for radioaktivt avfall og deponeringspliktig avfall. Dette gjør at presset øker på lager og deponi som tar imot avfall som er over grenseverdiene.

Nye lagringsløsninger for avfall med menneskeskapt radioaktive stoffer må komme på plass umiddelbart

Nå som deponering av radioaktivt avfall i KLDRA-Himdalen er stanset, står flere virksomheter uten mulighet til å avhende sitt avfall. Dette gjelder ikke bare radioaktive kilder som skal kunne avhendes gjennom returordninger, men også driftsavfall som virksomhetene nå sitter på uten mulighet for å avhende det noe sted. Ansvar ligger hos avfallsprodusentene, men det bør være et samarbeid mellom avfallsprodusenter, avfallsmottak og myndighetene for å finne gode løsninger for dette. Dette kan over tid også utvide seg til å gjelde helsesektoren, forskningssektoren og andre som foreløpig ikke er berørt. Det er heller ikke etablert løsninger for det radioaktive avfallet som vil følge av opprydningen etter atomvirksomheten. Videre må man særskilt vurdere håndteringen av brukt atombrensel.

Utvidede tillatelser til lagring av kortlivet avfall til henfall kan redusere lager- og deponibehovet

Aktører i helsesektoren anslår at de kunne redusert mengden avfall som sendes til deponi med om lag 20 prosent dersom de hadde hatt tillatelse til å la avfallet stå til henfall i ytterligere ett år. Disse anslagene er ikke ettergått i detalj, men de gir likevel en indikasjon på at mengdene som ender på lager eller deponi kan reduseres.

Sortering av avfallet og nye behandlingsmetoder kan lette på trykket på lager- og deponikapasitet

Sortering av radioaktivt avfall før deponering er viktig for å minimere mengden radioaktivt avfall. Dette oppnås ved å skille radioaktivt avfall fra ikke-radioaktivt avfall, og sørge for at avfall som ikke må deponeres håndteres på andre måter (eksempelvis forbrenning). Sortering er viktig i flere prosesser, eksempelvis ved dekommisjonering av forskningsreaktorer, produksjonsanlegg av radiofarmaka og protonbehandlingsanlegg. I disse prosessene vil det genereres mye forskjellig avfall hvor det er sannsynlig at deler av avfallet kan avhendes som ordinært avfall.

Videre bør det være mer fokus på å sortere avfall med lavt innhold av radioaktive stoffer og avfall med korte halveringstider, slik at man potensielt kan avhende avfallet som ordinært avfall og unngå at det opptar unødvendig deponikapasitet. Dette er særlig relevant for medisinsk avfall.

Innen NORM er det betydelige mengder med avfall som genereres. Aktører innen avfallshåndtering for NORM ser at det er ønskelig med behandlingsmetoder som kan redusere mengden som krever deponi. Eksempelvis at man kan bedre skille ut radioaktive stoffer og deponere en mindre andel. Komprimeringsmetoder kan også bidra til at avfallet utgjør et mindre volum når det skal deponeres.

Det må eksistere realistiske planer for håndtering av radioaktivt avfall ved oppstart av ny produksjon

Som diskutert tidligere i rapporten, finnes det flere næringer og sektorer som per i dag ikke genererer radioaktivt avfall, men der det er muligheter for at det vil oppstå radioaktivt avfall i fremtiden. I disse næringene er det essensielt at mulighetene for at det kan produseres radioaktivt avfall vurderes tidlig, og at en eventuell håndtering av avfallet er planlagt før oppstart av produksjonen.

Eksempelvis er planer for avfallshåndtering særlig viktig dersom Norge tar skrittet mot å bygge kjernekraftverk eller utvikle reaktordrevne fartøy. Dette innebærer planlegging og utvikling av infrastruktur som kan håndtere det radioaktive avfallet på en måte som er trygg, sikker og forsvarlig.

Kommunikasjon mellom myndighetene, avfallsprodusentene og avfallshånderingsaktørene bør forbedres

For at aktørene som driver med avfallshåndtering skal kunne sikre at de har gode løsninger for fremtidens avfallshåndtering må det være god dialog mellom myndighetene, avfallsprodusentene og avfallshånderingsaktørene. Når det foreligger ny informasjon om fremtidig produksjon som kan generere radioaktivt avfall det per i dag ikke finnes en løsning for, bør denne informasjonen deles med avfallsaktørene slik at de kan begynne å planlegge for håndteringen av dette.

Det finnes blant annet eksempler på virksomheter med tillatelser etter forurensingsloven for stoffer det ikke finnes tillatte avhendingsmuligheter for i Norge per i dag. At det eksisterer en egnet avfallsløsning bør være en forutsetning for at tillatelsene gis i utgangspunktet, for å unngå ulovlig lagring av avfall.

Kunnskapen om radioaktive stoffer og radioaktivt avfall er økende, men fremdeles begrenset

I bransjer som bygg- og anleggsbransjen og prosessindustrien, genereres det store mengder avfall som kun i noen tilfeller er radioaktivt. Hvorvidt avfallet klassifiseres som radioaktivt eller ikke, vil ikke bare variere fra produsent til produsent, men også ofte over tid for den enkelte produsent. Det er tilsynelatende fremdeles begrenset kunnskap om at avfallet som genereres *kan* måtte klassifiseres som radioaktivt i disse bransjene, spesielt blant mindre aktører. Avfallet er som regel svært lavradioaktivt, så den potensielle skaden ved én enkelt feilavhending er begrenset – men dersom dette forekommer i utstrakt grad kan det være betydelige mengder radioaktivt avfall på avveie.

4 Referanser

Atomenergiloven. (1973). *Lov om atomenergivirksomhet*. Lovdata.

Avfallsforskriften. (2004). *Forskrift om gjenvinning og behandling av avfall*. Lovdata.

Bjorstaddalen Avfallsanlegg AS. (2020). *Søknad om tillatelse til deponering av fosfatsand*.

DNV. (2023). *Energy Transition Outlook 2023: Maritime Forecast to 2050*. DNV.

DNV GL. (2015). *Fremtidig dekommisjonering av de nukleære anleggene i Norge*. Nærings- og fiskeridepartementet.

DSA. (2016). *Utredning av behov for kapasitet til behandling og håndtering av radioaktivt avfall frem mot 2035*. Statens strålevern (DSA).

DSA. (2020). *Veileder om nukleærmedisin*. DSA.

DSA. (2022). *Årsrapport 2021*. DSA.

DSA. (2023a). *Tillatelse TU20-17-1 etter forurensningsloven til deponering av fosfatsand og utslipp av radioaktive stoffer fra Bjorstaddalen Næring AS*. DSA.

DSA. (2023b). *Høring av søknad om endring av tillatelse Bjorstaddalen Næring AS*. DSA.

EEA. (2024). *Circular economy*. Hentet fra European Environment Agency: <https://www.eea.europa.eu/en/topics/in-depth/circular-economy?activeAccordion=dd2e16ef-4d34-48ae-bd38-31258544004d&activeTab=07e50b68-8bf2-4641-ba6b-eda1afd544be>

Energikommisjonen. (2023). *NOU 2023: 3: Mer av alt – raskere*. Olje- og energidepartementet.

Europaparlamentet. (2023). *Circular economy: definition, importance and benefits*. Hentet fra European Parliament: <https://www.europarl.europa.eu/topics/en/article/20151201STO05603/circular-economy-definition-importance-and-benefits>

Felleskonvensjon om sikkerhet ved håndtering av brukt kjernebrensel og sikkerhet ved håndtering av radioaktivt avfall. (1997). *Felleskonvensjon om sikkerhet ved håndtering av brukt kjernebrensel og sikkerhet ved håndtering av radioaktivt avfall (29-09-1997 nr 1 Multilateral)*. Lovdata.

Finansdepartementet. (2023). *NOU 2023: 30: Utfordringer for lønnsdannelsen og norsk økonomi*. Finansdepartementet.

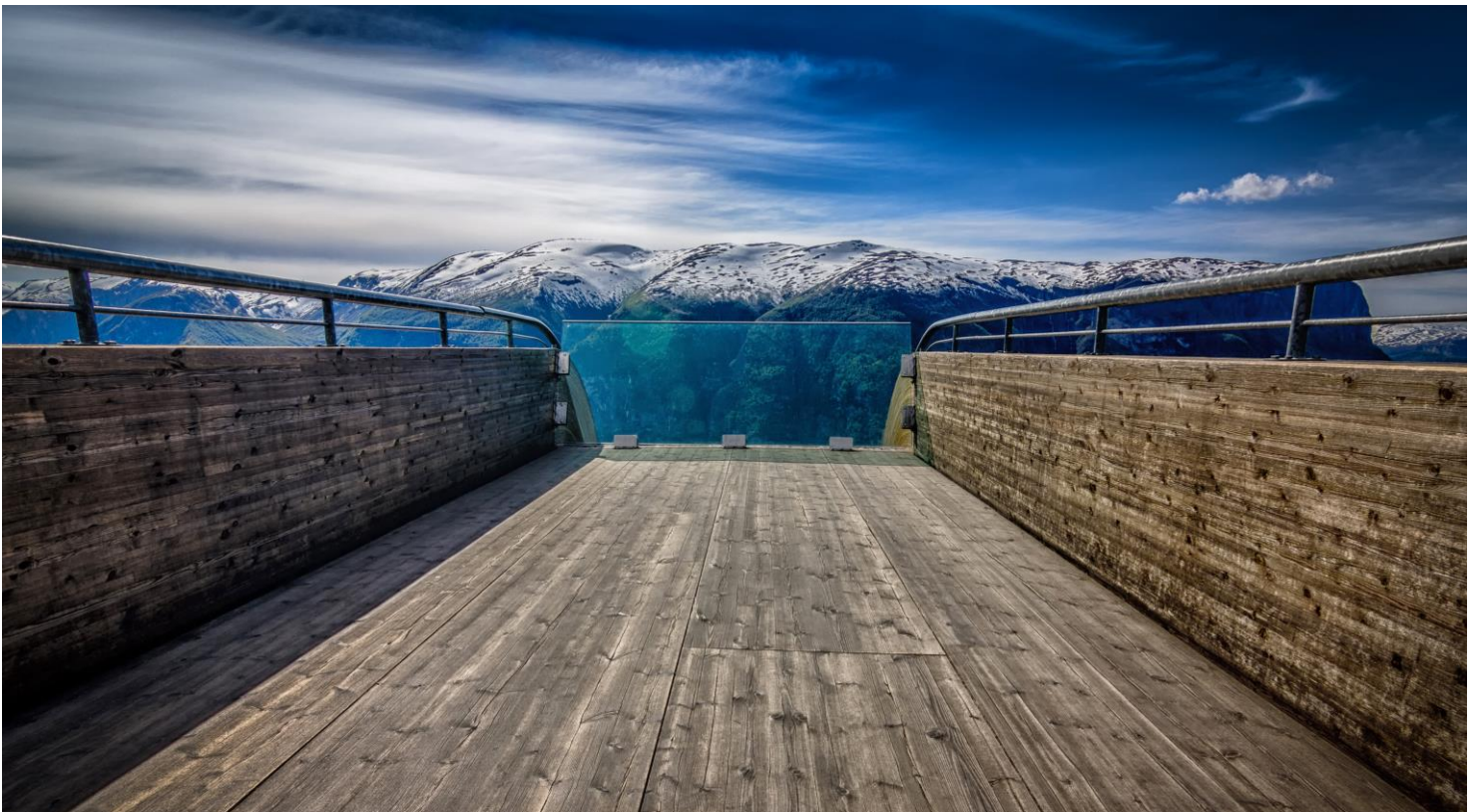
FN. (2022). *World Population Prospects 2022*. New York: FN.

Folkehelseinstituttet. (2021). *Demens*. Hentet fra FHI: <https://www.fhi.no/he/folkehelse rapporten/ikke-smittsomme/demens/?term=>

Folkehelseinstituttet. (2023). *Kreft i Norge*. Hentet fra FHI: <https://www.fhi.no/he/folkehelse rapporten/ikke-smittsomme/kreft/?term=>

- Forskrift om radioaktiv forurensning og avfall. (2010). Forskrift om forurensningslovens anvendelse på radioaktiv forurensning og radioaktivt avfall. *FOR-2010-11-01-1394*. Lovdata. Hentet fra <https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2010-11-01-1394>
- Forurensningsloven. (1983). *Lov om vern mot forurensninger og om avfall*. Lovdata.
- Helse Bergen. (2020). *Protonsenter ved Haukeland Universitetssjukehus*. Helse Bergen.
- Helse Bergen. (2020). *Protonsenter ved Haukeland universitetssykehus*.
- Hofstad, K. (2023). *kjernekraft i Tyskland*. Hentet fra Store norske leksikon: https://snl.no/kjernekraft_i_Tyskland
- Hovland, K. M. (2023). *Nye kjernekraftplaner i Sverige og Polen: – Noe som måtte komme*. Hentet fra E24.
- Huutoniemi, T., & Lidar, P. (2014). *Study on future decommissioning of nuclear facilities in Norway – Task 1 Waste Inventory*. Studsvik.
- IFE. (a). *IFEs atomanlegg*. Hentet fra IFE: <https://ife.no/ifes-atomanlegg/>
- IFE. (b). *Radavfall*. Hentet fra IFE: <https://ife.no/field/radavfall/>
- Klima- og miljødepartementet & Nærings- og fiskeridepartementet. (2024). *Handlingsplan for en sirkulær økonomi*.
- Klima- og miljødepartementet. (2017). *Meld. St. 45: Avfall som ressurs – avfallspolitikk og sirkulær økonomi*. Klima- og miljødepartementet.
- Konvensjon vedrørende kjernefysisk sikkerhet. (1994). *Konvensjon vedrørende kjernefysisk sikkerhet (20-09-1994 nr 2 Multilateral)*. Lovdata.
- London Convention. (1972). *Overenskomst om bekjempelse av havforurensning ved dumping av avfall og annet materiale (29-12-1972 nr 1 Multilateral)*. Lovdata.
- Løkkebø, L. (2020). *Lagrer radioaktivt avfall i Bjorstaddalen*. Hentet fra Telemarksavisa: <https://www.ta.no/lagrer-radioaktivt-avfall-i-bjorstaddalen/s/5-50-969223>
- Menon Economics. (2023). *Næringslivets behov for transportinfrastruktur i Nord-Norge*. Kunnskapsbanken Nord-Norge.
- Miljødirektoratet. (2011). *Decommissioning of offshore installations*. Miljødirektoratet.
- Miljødirektoratet. (2023). *Syredannende bergarter i arealplanlegging*. Hentet fra Miljødirektoratet: <https://www.miljodirektoratet.no/ansvarsomrader/overvaking-arealplanlegging/arealplanlegging/miljohensyn-i-arealplanlegging/forurensning/syredannende-bergarter/>
- NND. (2020). *Begrenset konseptvalgutredning om behandling av norsk brukt reaktorbrensel*. NND.
- NND. (2022). *Pressemelding: NND vil lyse ut anbud for opprydding etter Søve gruver på nytt*. Hentet fra NND: <https://www.norskdekkommisjonering.no/2022/01/25/pressemelding-nnd-vil-lyse-ut-anbud-for-opprydding-etter-sove-gruver-pa-nytt/>

- NND. (2023). *NND Future Waste Management Program*. NND.
- NND. (u.d.). *Om NND*. Hentet fra <https://www.norskdekkommisjonering.no/om-nnd/>
- NND. (u.d.). *Radioaktivt avfall*. Hentet fra NND: <https://www.norskdekkommisjonering.no/radioaktivt-avfall/>
- Norsk Gjenvinning. (2015). *Syredannende bergarter*. Norsk Gjenvinning.
- Offshore Norge. (2015). *Sikkert arbeid med og nær radioaktive kontrollkilder*. Offshore Norge.
- Oslo kommune. (u.d.). *Slik rehabiliteres vann- og avløp i Oslo uten å måtte grave opp hele gaten*. Hentet fra Teknisk Ukeblad: <https://www.tu.no/tumstudio/vann-og-avlop/annonse-slik-rehabiliteres-vann-og-avlop-i-oslo-uten-a-matte-grave-opp-hele-gaten/519590>
- OSPAR. (1992). *onvensjon om bevaring av det marine miljø i Nordøst-Atlanteren (22-09-1992 nr 1 Multilateral)*. Lovdata.
- Ringdal, H., & Vennemo, H. (2022). *Ringvirkninger fra fremtidig dekkommisjonering*. Vista Analyse.
- Rådgivende Ingeniørers Forening. (2019). *Norges tilstand 2019: Vannforsyning- og avløpsanlegg*. Rådgivende Ingeniørers Forening.
- Samferdselsdepartementet. (2021). *Nasjonal transportplan 2022–2033*. Samferdselsdepartementet.
- Sokkeldirektoratet. (2022). *Ressursrapport 2022*. Sokkeldirektoratet.
- Sokkeldirektoratet. (2023). *Forsvarlig fjerning av gamle innretninger*. Hentet fra Sokkeldirektoratet: <https://www.sodir.no/fakta/produksjon/avslutning-og-disponering/forsvarlig-fjerning-av-gamle-innretninger/>
- SSB. (2022). *Nasjonale befolkningsframskrivninger*. Hentet fra Statistisk Sentralbyrå: <https://www.ssb.no/befolkning/befolkningsframskrivninger/statistikk/nasjonale-befolkningsframskrivninger>
- Statsforvalteren i Innlandet. (2023). *Vedtak om tillatelse etter forurensningsloven for Heggvin Alun AS*.
- Strålevernforskriften. (2016). *Forskrift om strålevern og bruk av stråling*. Lovdata.
- Strålevernloven. (2000). *Lov om strålevern og bruk av stråling*. Lovdata.
- Sæle, S. O., & Kristiansen, H. (2023). *Fra ord til handling - en innledende mulighetsstudie om kjernekraft i Norge*. Norsk Kjernekraft.
- Tømmerås, A. M., & Thomas, M. J. (2022). *Nasjonale befolkningsframskrivninger 2022: Sammendrag av forutsetninger og resultater*. Statistisk Sentralbyrå.



Menon Economics analyserer økonomiske problemstillinger og gir råd til bedrifter, organisasjoner og myndigheter.

Vi er et medarbeidereiet konsultentselskap som opererer i grenseflatene mellom økonomi, politikk og marked.

Menon kombinerer samfunns- og bedriftsøkonomisk kompetanse innenfor fagfelt som samfunnsøkonomisk lønnsomhet, verdsetting, nærings- og konkurranseøkonomi, strategi, finans og organisasjonsdesign. Vi benytter forskningsbaserte metoder i våre analyser og jobber tett med ledende akademiske miljøer innenfor de fleste fagfelt. Alle offentlige rapporter fra Menon er tilgjengelige på vår hjemmeside www.menon.no.

+47 909 90 102 | post@menon.no | Sørkedalsveien 10 B, 0369 Oslo | menon.no