nilu

NILU rapport 25/2025

ArtBio AS i Forskningsparken, Oslo

Spredningsberegninger Rn-220

nilu

NILU rapport 25/2025

ArtBio AS i Forskningsparken, Oslo

Spredningsberegninger Rn-220

Tore Flatlandsmo Berglen, Torleif Weydahl, Henrik Grythe

NILU rapport 25/2025

Tilgjengelighet B-Begrenset distribusjon

Hovedkontor
NILU
Postboks 100
2027 Kjeller

Tromsø
NILU
Framsenteret
Postboks 6606
Stakkevollan
9296 Tromsø

Trondheim
NILU
Kjøpmannsgata 8
7013 Trondheim

Telefon 63 89 80 00
nilu@nilu.no
www.nilu.no

Stiftelsen NILU
Org.nr. 941 705 561

Sertifisering
NS-EN ISO 9001
NS-EN ISO 14001

Akkreditering
NS-EN ISO/IEC 17025

Göteborg
NILU Klimat- och miljöinstitutet AB
Sven Hultins plats 5
412 58 Göteborg
Sverige

Org.nr. 559442-9580
www.nilu-research.se

ISBN 978-82-425-3220-6
ISSN 2464-3327

© Stiftelsen NILU

Tittel
ArtBio AS i Forskningsparken, Oslo
Spredningsberegninger Rn-220

Engelsk tittel
ArtBio AS in Oslo Science Park
Dispersion calculations Rn-220

Forfatter(e)
Tore Flatlandsmo Berglen, Torleif Weydahl, Henrik Grythe

Kort sammendrag (norsk)
NILU har gjort spredningsberegninger for utslipp av Rn-220 (thoron) fra ArtBio sitt laboratorium i Forskningsparken i Oslo. Takterrassen like sør for utslippspunktet er det mest kritiske punktet. Beregningene viser at en person som oppholder seg på takterrassen i til sammen 260 timer i sommersesongen vil motta en vektet dose på totalt 4,8 µSv som følge av utslipp fra ArtBio. Dette er kun 1/50-del av grenseverdi for effektiv dose 0,25 mSv/år. Det er også gjort en beregning for et tilfelle der kullfiltrene ikke fungerer, og det er utslipp av alle radionuklider (Worst Case). Beregnet effektiv dose ved Worst Case er 2,1 µSv pr. time. Bedriften har systemer for å fange opp slike tilfeller og mottiltak vil iverksettes.

Kort sammendrag (engelsk)
NILU has made dispersion calculations for emissions of Rn-220 (thoron) from ArtBio's laboratory in the Oslo Science Park. The roof terrace just south of the emission point is the most critical aspect. The calculations show that a person who stays on the roof terrace for a total period of 260 hours during the summer season will receive a weighted dose of a total of 4.8 µSv as a result of emissions from ArtBio. This is only 1/50th of the limit value for effective dose (0.25 mSv/year). A calculation has also been made for a case where the filters are not working and there are emissions of all radionuclides (Worst Case). The calculated effective dose for Worst Case is 2.1 µSv per hour. ArtBio has implemented surveillance systems to detect such failures so that countermeasures can be implemented.

Nøkkelord
Rn-220, radionuklider, spredningsberegninger, eksponering / dose

Antall sider
21

NILU prosjektnummer
o125071 ArtBio

Prosjektleder
Tore Flatlandsmo Berglen

Kvalitetssikrer
Tove Marit Svendby

Oppdragsgiver
ArtBio AS

Oppdragsgivers referanse
Olga Salina

Ansvarlig signatur
Aasmund Fahre Vik, viseadm. dir. og CTO

Dato
19.12.2025

Sitering
Berglen, T.F., Weydahl, T., Grythe, H. (2025). *ArtBio AS i Forskningsparken, Oslo. Spredningsberegninger Rn-220* (NILU rapport 25/2025). Kjeller: NILU.

Forord

Dette er et prosjekt utført av klima- og miljøinstituttet NILU på oppdrag for ArtBio AS i Oslo. Bakgrunnen for prosjektet er søknad om utslippstillatelse for utslipp av radon-220 fra bedriftens laboratorier i Forskningsparken.

Arbeidet er utført av Torleif Weydahl som gjorde lokale spredningsberegninger, Tore Flatlandsmo Berglen var prosjektleder og ansvarlig for rapport, Henrik Grythe bidro med faglig kunnskap i diskusjonene og Tove Marit Svendby var intern kvalitetskontrollør.

Olga Salina og Gjermund Fjeld Olsen ved ArtBio takkes for imøtekommenhet og konstruktivt samarbeid.

Innhold

Forord ____ **4**
Sammendrag ____ **6**

1 Bakgrunn for prosjektet ____ **7**
1.1 Tidligere studier 7
1.2 Plan for studien 8
1.3 Desintegrasjonskjeden thorium-228 til bly-208. 8
1.4 Utslipp fra ArtBio i Forskningsparken i Oslo 9
1.5 Meteorologiske forhold ved Forskningsparken 11
1.6 Bakgrunnsnivåer av radon 14
1.7 Grenseverdi eksponering 14

2 Spredningsberegninger og beregning av eksponering og dose ____ **15**
2.1 CONCX modellbeskrivelse 15
2.2 Fortynning - takterrasse 16
2.3 Desintegrasjon Rn-220 og eksponering / dose - metode 17
2.4 CONCX spredningsberegninger og eksponering / dose - resultater 18
2.5 Worst Case – utslipp uten kullfilter 19

3 Oppsummering og konklusjon ____ **20**

4 Referanser og litteratur ____ **21**

Sammendrag

Klima- og miljøinstituttet NILU har gjort spredningsberegninger av utslipp fra ArtBio AS sin lab ved Forskningsparken i Oslo. Studien er en del av underlagsdokumentasjonen i forbindelse med søknad om utslippstillatelse. Utslippet vil bli renset ved hjelp av effektive kullfiltre som fanger opp partikler, men det vil like fullt være utslipp av Rn-220 (thoron) som er en edelgass. ArtBio søker om tillatelse til å slippe ut 70 GBq/år. Rn-220 har kort halveringstid, 55,6 sekunder og desintegrerer via blant annet Pb-212 og Bi-212 til Pb-208.

I Forskningsparken er det en takterrasse om lag 10-15 m unna utkastet til ArtBio. Takterrassen er fritt tilgjengelig og brukes av arbeidstakere og besøkende i Forskningsparken, i særdeleshet i sommer-halvåret. Eksponering / dose for personer som oppholder seg på takterrassen vil være det mest kritiske punktet med tanke på overholdelse av grenseverdi gitt for ikke-yrkeseksponerte arbeidstakere og allmennhet (effektiv dose 0,25 mSv/år).

NILUs metode er en to-stegsprosess. Først beregnes utslipp av aktivitetskonsentrasjon (enhet Bq/s) og spredning / fortynning ved bruk av modellen CONCX. Deretter brukes disse resultatene til å beregne eksponering/dose basert på formler og rater fra den vitenskapelige litteraturen.

Meteorologiske målinger fra Blindern 100 m unna Forskningsparken viser at vinden står fra nordlig kant i om lag 37 % av tiden. Vind fra nord/nordøst gjør at utslipp fra ArtBio vil treffe takterrassen. NILUs beregninger med en konservativ tilnærming viser at en person som oppholder seg på takterrassen i 2 timer hver ukedag, 5 dager i uka, 26 uker i året (april – september), det vil si totalt 260 timer i sommerhalvåret, vil motta en vektet dose på totalt **4,8 µSv** som følge av utslipp fra ArtBio. Dette er kun 1/50-del av grenseverdi for effektiv dose 0,25 mSv/år.

Det er også gjort en beregning for Worst Case, det vil si et tilfelle der kullfiltrene ikke fungerer og det er utslipp av alle radionuklider (antatt en likevektsfordeling). Beregnet effektiv dose ved Worst Case er **2,1 µSv** pr. time. Det skal også bemerkes at en situasjon der strømbrudd eller lignende setter kullfiltrene ut av drift vil oppdages raskt slik at mottiltak kan iverksettes[1].

Naturlig bakgrunn i området er klassifisert som Aktsomhetsgrad Moderat til lav og utgjør ingen bekymring mtp. radon.

[1] Driftsavdelingen i Forskningsparken opplyser at tilluft- og avtrekksviftene i B-lab er koblet til UPS, som gir umiddelbar backup ved strømbrudd. Systemet slår automatisk over til nødstrømsaggregat etter et par sekunder. Kapasitet er ikke en begrensning og aggregatet har drivstoff for opptil 48 timer kontinuerlig drift.
Videre kan det fremheves at strømforsyningen i Oslo er svært stabil. Nasjonalt gjennomsnitt for å gjenopprette strøm ved langvarige strømbrudd er 1 time og 8 minutter, men Oslo ligger ofte under dette snittet grunnet god infrastruktur og rask respons. De senere årene har man kun hatt små glimt – heldigvis ingen større hendelser. Med UPS og aggregat er Forskningsparken derfor godt dekket. Ved bortfall av strøm eller stans i ventilasjon vil BMS-systemet sende ut varsel umiddelbart. Det er også mulig å sette opp spesifikke alarmnivåer etter behov.

ArtBio AS i Forskningsparken, Oslo

Spredningsberegninger Rn-220

1 Bakgrunn for prosjektet

ArtBio AS[2] utvikler alfa radioligander som brukes i kreftbehandling. De har nylig flyttet til nye lokaler i Forskningsparken i Oslo, hvor de har etablert et forsknings- og utviklings-laboratorium. Aktivitetene ved ArtBio vil medføre utslipp av radionuklider. I den forbindelse skal bedriften søke om utslippstillatelse for Rn-220.

Som et ledd i sitt HMS-arbeid ønsker ArtBio å utføre en konsekvensvurdering av mulige påvirkninger på naboer og ytre miljø i området rundt Forskningsparken. Herværende rapport vil inngå i underlags-dokumentasjonen som skal sendes Direktoratet for strålevern og atomsikkerhet (DSA)

NILU har tidligere gjort en studie for Oncoinvent i Nydalen som er relevant for ArtBio sin situasjon (Grythe mfl., 2022). Denne rapporten følger i store trekk samme metodikk.

ArtBio benytter thorium-228 i sin utvikling. Thorium-228 (halveringstid 1,9 år) desintegrerer til radium-224 (halveringstid 3,6 dager, se Figur 1) og videre til radon-220 (halveringstid 56 sekunder). Radon er en edelgass og vil ikke fanges opp av kullfiltre. Det vil derfor forekomme utslipp av radon under regulær produksjon ved ArtBio sin lab. Til dette skal det også nevnes at i tillegg til å rense utslippet vil kullfiltrene også forsinke luftstrømmen. ArtBio benytter syv kullfiltre fra Camfil og disse vil også bremse opp luftstrømmen og derved forsinke utslippet slik at en andel Rn-220 vil desintegrere på sin vei fra laboratoriet til det slippes ut i friluft.

Målsetting

Prosjektets fremste målsetting er å gjøre spredningsberegninger av utslipp fra ArtBio sitt anlegg i Forskningsparken og beregne eksponering / dose på folk som oppholder seg i nærheten av utslippspunktet.

1.1 Tidligere studier

I 2022 gjorde NILU en studie for Oncoinvent i Nydalen (Grythe mfl., 2022). Der ble det gjort spredningsberegninger på lokal skala med CONCX-modellen (noen titalls meters oppløsning, tidsskala time) til regional skala med FLEXPART-wrf (noen titalls km oppløsning, tidsskala time og år). Beregningene den gang viste at de høyeste aktivitetskonsentrasjonene av radon-220 forekom i modellaget 20-30 meter over bakken. De høyeste dosene ble funnet 10-60 meter nedstrøms fra og i høyde med utslippspunktet. Doseberegninger viste også at det var døtrene av Rn-220 som ga det største bidraget. Dette var relatert til at døtrene oppstår etter en viss tid og har høyere dosekoeffisient. De ble dermed vektet tyngre i doseberegningene.

Det er ca. 3 km i luftlinje mellom Nydalen og Forskningsparken. Storskala meteorologiske forhold (vindretning og -styrke, temperatur, nedbør etc.) er de samme. Utslippsmengde (Bq) og de fysiske utlippsbetingelsene er også sammenlignbare. Basert på tidligere kunnskap og erfaring er det godtgjort at

[2] Bedriftens hjemmeside: https://artbio.com/

det er eksponering og dose ved terrassen på taket av Forskningsparken som er mest kritisk. Vurderingen er derfor at det ikke var påkrevet å gjøre nye beregninger med FLEXPART-wrf.

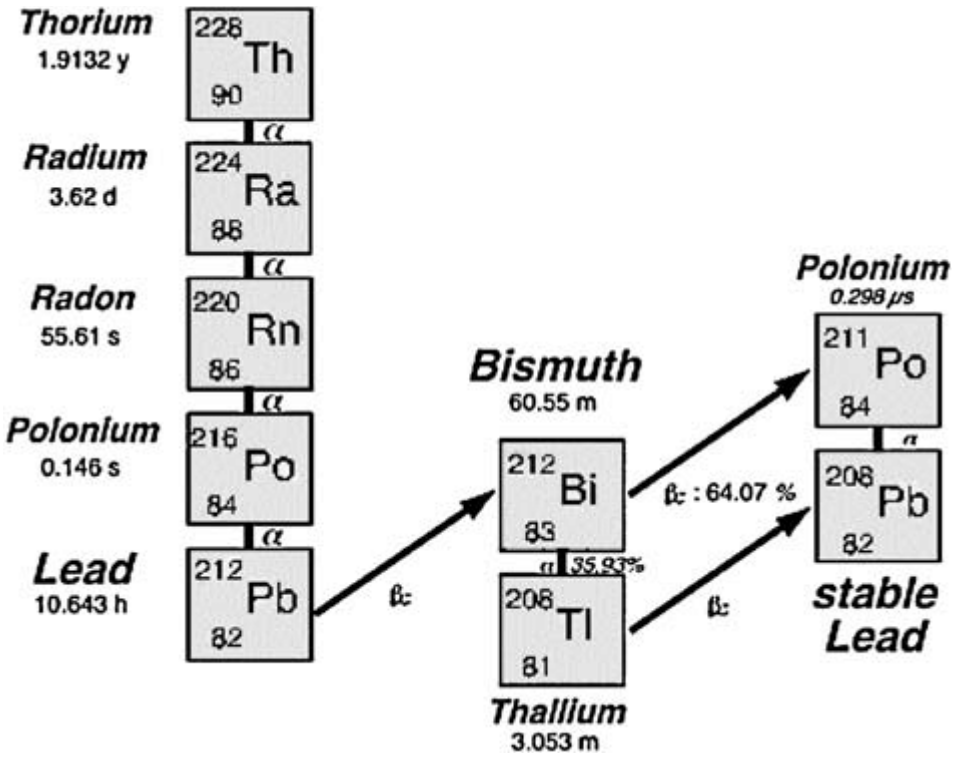
1.2 Plan for studien

Omsøkt utslipp fra ArtBio er 70 GBq / år. Som nevnt er det eksponering for personer på takterrassen som er det mest kritiske punktet. Sagt med andre ord, hvis beregninger for takterrassen viser at eksponering / dose er lavere enn fastsatt grenseverdi så vil også eksponering overfor naboer og folk i området være innenfor akseptable nivåer.

Først gis en kort bakgrunn for prosjektet med beskrivelse av utslippet og desintegrasjon fra thorium-228 til bly-208, videre oppsummering av forholdene ved Forskningsparken, meteorologiske mønstre, og bakgrunnsnivåer av radon (kap. 1). Deretter gjøres det spredningsberegninger på lokal skala, metoden forklares og eksponering / dose beregnes (kap. 2 og kap. 2.5) og til slutt en oppsummering og konklusjon.

1.3 Desintegrasjonskjeden thorium-228 til bly-208.

Utgangspunktet er at ArtBio ønsker å jobbe med opptil 1 GBq thorium-228 per generatoropparbeidelse, hvilket er en oppskalering fra dagens nivå (100 MBq). Thorium-228 desintegrerer til radium-224, så til radon-220 og videre gjennom flere ledd til bly-208 som er stabilt. Desintegrasjonskjeden og tilhørende halveringstider er vist i Figur 1.



Figur 1: Desintegrasjon av thorium-228 til bly-208 (stabilt). Rn-220 (halveringstid 55,6 sekunder), bly-212 (halveringstid 10,6 timer) og bismuth-212 er mest relevant for beregningene i denne studien. Kilde: Couturier et al. (2005).

1.4 Utslipp fra ArtBio i Forskningsparken i Oslo

ArtBio søker om til sammen 70 GBq/år utslipp. Plassering av utslippspunktet er vist i Figur 2 og utkastet på taket i Forskningsparken er vist Figur 3. Utslippsparametre som er brukt i beregningene er vist i Tabell 1.

Selve utkastet er plassert horisontalt på taket med åpningen vendt mot nord.



Figur 2: ArtBio og plassering i Forskningsparken i Oslo. ArtBio sin lab er plassert kjelleretasjen i den nordøstre delen av Forskningsparken med utslipp over tak. Takterrassen er plassert i samme nivå mot sør og sørvest. Meteorologisk institutt sin målestasjon ligger i underkant av 100 m mot nordøst. Ellers sees friområder og Blindern studenthjem mot øst. Kilde kartunderlag: Google Maps.



Figur 3: *Utslippspunktet på taket av ArtBio AS sin lab i Forskningsparken. Bildet er tatt fra takterrassen og nordøstover. Selve utkastet er vendt bort fra fotografen på baksiden av den grå boksen. Merk også oppholdsrom i etasjen under.*

Tabell 1: *Utslippsparametre som inngår i spredningsberegningene (kap. 2.1 og kap. 2.2) og beregning av eksponering / dose (kap. 2.3).*

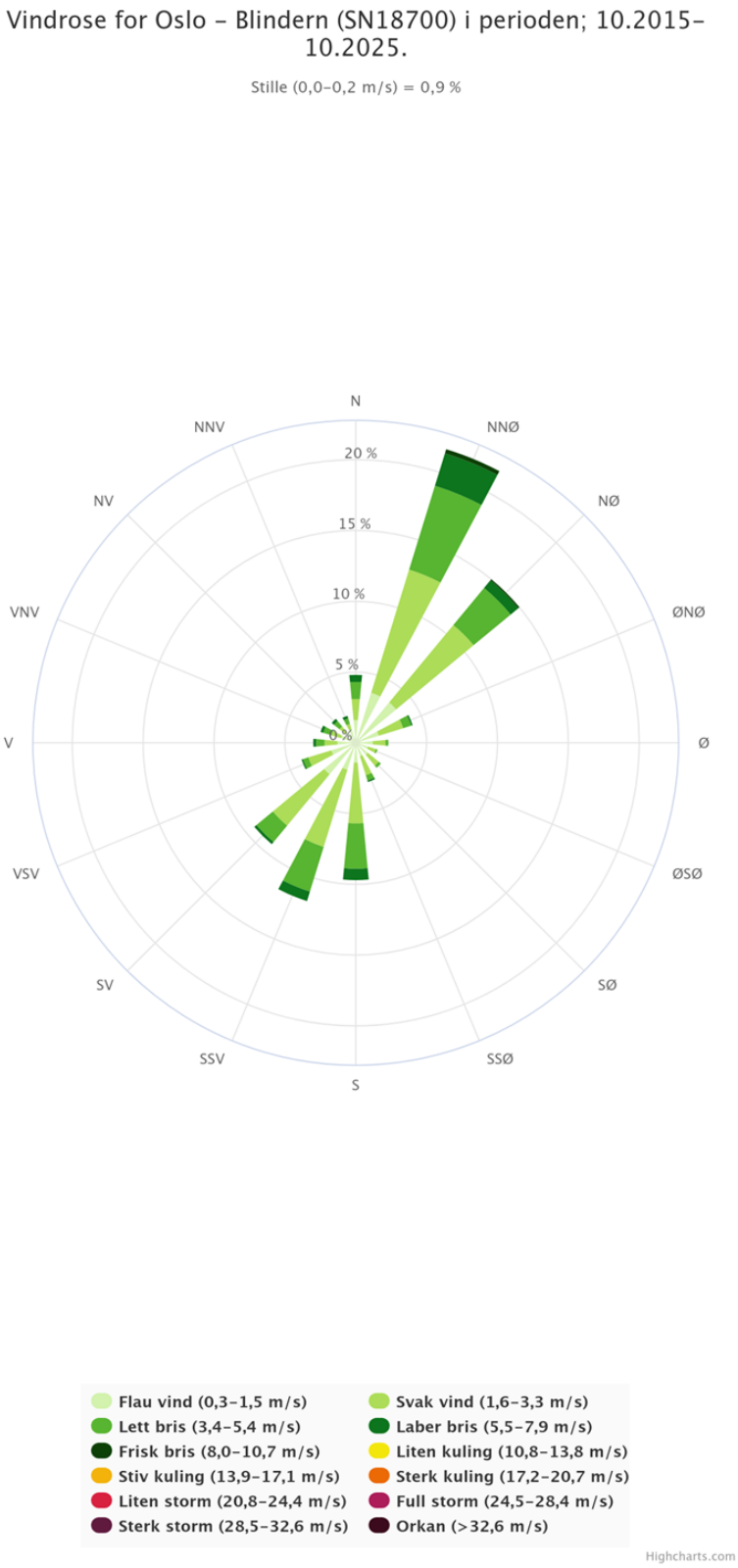
Parameter	Verdi	Enhet
Omsøkt utslipp	70	GBq/år
Driftstimer per år, antatt 8 timer pr. dag × 5 dager × 45 uker[2)]	1 800	timer/år
Utregnet volumstrøm over et år:	3 600 000	m^3/år
Utregnet midlere aktivitetskonsentrasjon:	19 400	Bq/m^3
Utregnet utslippsintensitet	10 800	Bq/s
Spesifikk aktivitet Rn-220 (gitt egenskaper til Rn-220)	$3{,}38809 \times 10^{19}$	Bq/g
Masseutslippsrate Rn-220[3)]	0,319	fg/s
Midlere massekonsentrasjon	0,57	fg/m^3
1) Utkastet er rettet nordover og er utformet slik at volumstrømmen går horisontalt. Det er derfor antatt at det ikke er løft (termisk, dynamisk, se tekst for forklaring) i beregningene. 2) ArtBio har produksjon fra tidligst 7 om morgenen og utslipp kan forekomme til senest 18 om ettermiddagen. 1800 driftstimer pr. år er anslått som et realistisk middel. Å regne færre arbeidstimer gir høyere timeskonsentrasjon, igjen et konservativt element i beregningene. 3) fg: f = femto er 10^{-15}. fg (femtogram) er 0,000 000 000 000 001 gram		

1.5 Meteorologiske forhold ved Forskningsparken

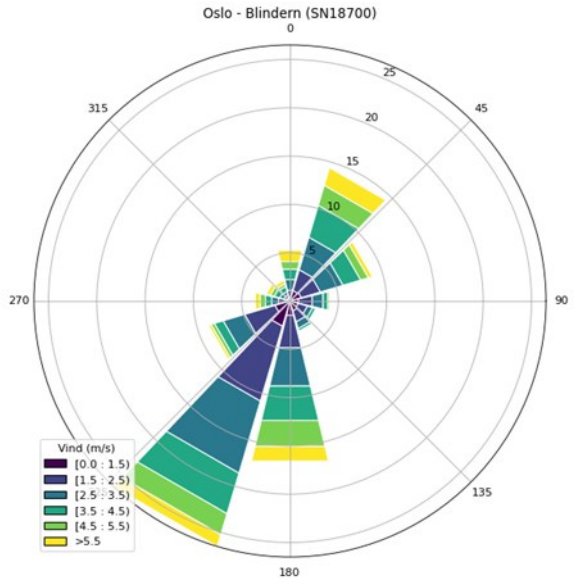
Utslippene fra ArtBio vil spres med vinden og fortynnes. Meteorologisk Institutt sitt hovedkontor og målestasjon på Blindern ligger om lag 100 m fra ArtBio i Forskningsparken (Figur 2). Målingene ved Meteorologisk institutt er representative for vindforholdene i området og vindrose for de siste 10 år er vist i Figur 4. Vindrosen viser at fremherskende vindretning er fra sør og sør-sørvest og sørvest (til sammen om lag 30 % av tiden) og fra nord-nordøst og nordøst (til sammen om lag 37 % av tiden). Dette er typisk vindretning i Oslofjordområdet der vinden kanaliseres inn/ut fjorden.

Vindrosen i Figur 4 viser resultater for kontinuerlige målinger siste 10 år. Vindmønsteret i området er rimelig stabilt. I beregningene er det brukt vinddata for sommersesongen april til september mellom kl. 8 og 16. Disse er vist i Figur 5.

Takterrassen i Forskningsparken ligger sør-sørvest for utkastet fra ArtBio (Figur 2) og slik sett nedstrøms i en av hovedvindretningene.



Figur 4: *Vindrose for Oslo – Blindern, stasjonskode SN18700. Vindrose viser frekvensen (i prosent) av vind i 16 22,5-graders sektorer, det vil si hvor ofte det blåser **fra** disse retningene. Inndelingen i vindhastighetsintervaller følger Beauforts skala. Andel vindstille: 0,9 %. Kilde: seKlima-databasen, https://seklima.met.no/windrose/?timeresolution=last_10_years&locationid=SN18700 [besøkt 17. oktober 2025], driftet av Norsk Klimaservicesenter.*



Figur 5: Vindrose for Oslo – Blindern 2015 – 2025 der kun vinddata for april – september mellom kl. 8 og 16 er vist. Det er disse tidspunktene som er brukt i beregningene i kap. 2.

Når det gjelder spredning i atmosfæren er det viktig å ta hensyn til vindretning, vindstyrke og atmosfærens stabilitet. Atmosfærens stabilitet er et mål for termisk turbulens[3] og er avgjørende for den vertikale spredningen og fortynningen av luftforurensninger. Det er den vertikale temperaturprofilen i atmosfæren som avgjør hvor stabil eller ustabil atmosfæren er. Fire stabilitetsklasser defineres på følgende måte:

Ustabil sjiktning; temperaturen avtar raskt med høyden, forekommer ved sterk solinnstråling som gir oppvarming av bakken. Ustabil sjiktning gir god spredning av luftforurensende utslipp, men er ugunstig ved utslipp fra høye skorsteiner fordi utslippene vil nå bakken nær kilden før de er særlig fortynnet, noe som kan gi høye bakkekonsentrasjoner.

Nøytral sjiktning; temperaturen avtar litt med høyden, forekommer oftest ved overskyet vær med eller uten nedbør og i perioder med sterk vind. Nøytral temperatursjiktning gir vanligvis gode spredningsforhold.

Lett stabil og stabil sjiktning; det vil si at temperaturen øker med høyden (inversjon), forekommer oftest om natta og om vinteren når det er sterk utstråling og avkjøling ved bakken og lite vind. Ved slike forhold undertrykkes spredningen av luftforurensninger. Dette er mest ugunstig for utslipp fra kilder nær bakken, som diffuse utslipp, som vil tynnes og transporteres langsomt og kan i noen situasjoner akkumuleres. Ved stabil sjiktning vil ikke utslipp fra høye skorsteiner nå bakken før det har god avstand fra selve utslippsstedet.

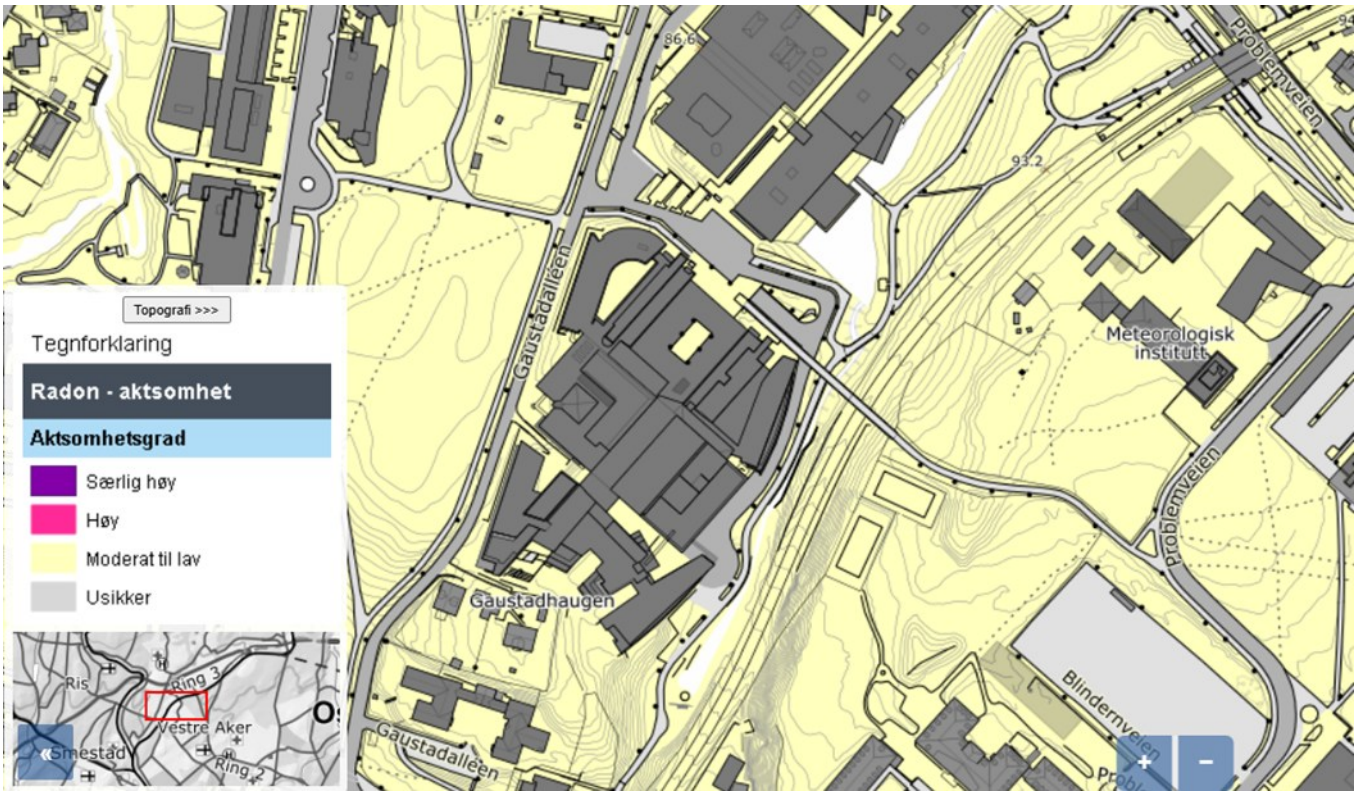
Alle fire stabilitetsklassene kan opptre ved svak vind. Når vinden øker vil temperaturprofilen typisk bli nøytral, det vil si at temperaturen avtar litt med høyden. Oslo ligger ved sjøen og alle de fire

[3] Turbulens: er uregelmessige og tilsynelatende tilfeldige variasjoner i væskers og gassers bevegelse. Turbulens blir ledsaget av små, lokale variasjoner i trykk, temperatur og massetetthet, se eks. https://snl.no/turbulens [besøkt 15. oktober 2025].

stabilitetsklassene vil opptre i Oslo. Om vinteren vil det ofte være stabil atmosfære med lite vind, mens ustabil og nøytral atmosfære forekommer oftere om sommeren.

1.6 Bakgrunnsnivåer av radon

Norges Geologiske Undersøkelser (NGU) har utarbeidet ulike bergrunnskart og aktsomhetskart for radon[4] Grunnen rundt Forskningsparken er Leirskifer (401, ikke vist). Dette gjør også at utslipp av radon fra grunnen er lite. Kartene viser at nivåene i området rundt ArtBio / Forskningsparken er klassifisert med Aktsomhetsgrad Moderat til lav (gul farge, se Figur 6). Så naturlig bakgrunn utgjør ingen bekymring mtp. radon.



Figur 6: Utdrag av NGU sitt Aktsomhetskart for radon gjengitt for området rundt Forskningsparken. Se tekst og fotnote for nettadresse.

1.7 Grenseverdi eksponering

Forskrift om strålevern og bruk av stråling (strålevernforskriften)[5] fastsetter grenser for årlig eksponering, se § 6.Eksponering av mennesker: Dosegrenser, grenseverdier og tiltaksgrenser.

«Virksomheten skal planlegge strålingen og skjermingstiltakene slik at ikke-yrkeseksponerte arbeidstakere og allmennhet ikke eksponeres for en effektiv dose som overstiger 0,25 mSv/år.»

De beregnede doser som følge av utslipp fra ArtBio i kap. 2.3 vil sammenlignes med denne grenseverdien.

[4] https://geo.ngu.no/kart/berggrunn_mobil/ og https://geo.ngu.no/kart/radon_mobil/
[5] https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2016-12-16-1659 [begge besøkt 15. oktober 2025].

2 Spredningsberegninger og beregning av eksponering og dose

For å beregne doserate og eksponering av folk som oppholder seg på takterrassen ble beregningene gjort i to steg:

1. Utslipp av aktivitetskonsentrasjon (enhet Bq/s) og spredning / fortynning ble beregnet ved bruk av CONCX. Resultatene ble tatt ut for ulike avstander fra ArtBio sitt utkast på taket av Forskningsparken.

2. Beregning av eksponering / dose ble basert på resultatene fra pkt. 1. For omregning fra aktivitetskonsentrasjon og videre til eksponering og dose ble rater fra litteraturen benyttet. Metoden er kort forklart under.

2.1 CONCX modellbeskrivelse

For å beregne spredning av utslippene på lokal skala, det vil si rundt og i umiddelbar nærhet til bygningen i Forskningsparken, er CONCX-modellen benyttet (Bøhler, 1987). CONCX er en enkel og robust gaussisk spredningsmodell som beregner konsentrasjoner nedstrøms av et utslippspunkt ved ulike vindstyrker og ved fire ulike stabilitetsforhold i atmosfæren (ustabilt, nøytralt, lett stabilt og stabilt, se forklaring vedr. atmosfærens stabilitet i kap. 1.5).

Som inngangsdata til modellen brukes vanligvis skorsteinshøyde, utslippsmengde, skorsteinsdiameter, utslippshastighet, temperatur på avgassen (for å beregne termisk løft), samt høyde på bygninger rundt (grunnet bygningsturbulens). CONCX-modellen beregner deretter maksimale konsentrasjoner ved bakkenivå eller i gitte høyder som funksjon av avstand fra kilden. CONCX er en konservativ modell[6].

Alle inngangsparametre er oppgitt av ArtBio (Tabell 1). Samtidig er utslippspunktet på en måte som har betydning for spredningen. Det er gjort følgende antagelser:

- Det er antatt utslippstemperatur lik romtemperatur 20°C. Det medfører igjen at det ikke blir noe termisk løft i utslippet (i sommersesongen). Termisk løft er at røykfanen stiger pga. høyere temperatur enn omgivelsene
- Utkastet er rettet horisontalt på taket. Da blir det heller ikke noe dynamisk løft i utslippet. Dynamisk løft er at røykfanen stiger pga. høy vertikalhastighet rettet oppover.
- Utkastet er rettet mot nord, mens takterrassen er plassert mot sør (Figur 2). Eksponering mot folk som befinner seg på takterrassen er hovedfokus i denne studien. For at røykfanen skal treffe folk på terrassen må det være vind fra nord slik at røykfanen bremses ut av utkastet på vei nordover og igjen blåser andre veien sørover. Da vil det oppstå turbulens og blanding. I sum gjør denne situasjonen at NILU betrakter utslippene som en volumkilde som spres fra et gitt punkt / volum, ikke en regulær skorstein. Avstanden i luftlinje er ca. 10 m fra utkastet til nærmeste punkt på takterrassen. Resultatene er analysert for en transportavstand på 15 m for å ta hensyn til at røykfanen snur og derved får en lengre vei enn 10 m.

[6] En konservativ beregning innebærer at man anvender forsiktige antagelser og sikkerhetsmarginer, ofte ved å overvurdere risiko eller påvirkning. Hensikten er å unngå undervurdering av negative effekter. En slik metode har på mange måter mye til felles med et Worst Case-scenario. En konservativ beregning gir ikke nødvendigvis det verst tenkelige tilfellet, men et resultat som med overveiende sannsynlighet ligger på den sikre siden. På denne måten kan en konservativ tankemåte fungere som en metode for risikohåndtering.

2.2 Fortynning - takterrasse

Eksponering som følge av utslipp fra ArtBio reduseres ved to ulike prosesser; fortynning av røykfanen og desintegrasjon av radionuklidene som slippes ut. Prosessen med desintegrasjon er forklart og beregnet i kap. 2.3. Men som et første steg er det gjort beregninger for ulike stabilitetsklasser (forklart i kap. 1.5) og vindhastigheter for å bestemme grad av fortynning. Resultatene er gitt i Tabell 2.

Det er tregest blanding og dårligst fortynning ved stabile forhold. Da er det liten vertikal blanding. Men stabil atmosfære forekommer typisk om vinteren eller nattestid der atmosfæren avkjøles fra bakken, det nederste luftlaget blir kaldere enn laget over, temperaturen stiger med høyden og vi har det som kalles inversjon[7]. Under disse forholdene er det med treg vertikal blanding og dårlig spredning. Stabile forhold vil påvirke spredningen fra ArtBio spesielt siden utslippspunktet er plassert i taknivå uten vertikalt løft. Samtidig vil det være få folk på terrassen under disse forholdene, og det er slik sett ikke så relevant med tanke på doseberegning.

Om sommeren er det typisk ustabile (ved sterk sol) eller nøytrale forhold. Da vil det være vertikalbevegelser i luftmassene og god blanding.

Som tidligere diskutert er det et vesentlig poeng at utslippspunktet er rettet horisontalt. Da blir det ikke noe vertikalt løft av røykfanen på grunn av hastigheten ut av avkastet. I tillegg er utslippstemperaturen rundt innetemperatur (i sommersesongen). Da blir det heller ikke noe termisk løft av betydning, det vil si at utslippet stiger fordi luften ut er varmere enn omgivelsene. Begge disse faktorene gjør at det blir høye konsentrasjoner rett ved utslippspunktet.

Merk også hvordan graden av fortynning øker med vindhastigheten. Jo sterkere vind, jo større luftvolum passerer over utslippspunktet pr. tidsenhet og jo sterkere blir den øyeblikkelige fortynningen.

Tabell 2: Grad av fortynning for ulike vindhastigheter og stabilitetsforhold i atmosfæren beregnet for et punkt på takterrassen ved bruk av CONCX-modellen.

Stabilitetsforhold i atmosfæren	Vindhastighet	Typisk fortynning
Ustabil atmosfære	1 m/s	1/ 75
	2 m/s	1 / 240
	3 m/s	1 / 350
	4 m/s	1 / 500
Nøytral atmosfære	1 m/s	1 / 25
	2 m/s	1 / 80
	3 m/s	1 / 100
	4 m/s	1 / 130
Lett stabil atmosfære	1 m/s	1 / 20
	2 m/s	1 / 40
Stabil atmosfære	1 m/s	1 / 10
	2 m/s	1 / 20

[7] Inversjon: se eks. https://snl.no/inversjon_-_meteorologi [besøkt 1. november 2025].

2.3 Desintegrasjon Rn-220 og eksponering / dose - metode

Desintegrasjon Rn-220 → Pb-212 → Bi-212

Den radioaktive nedbrytningen kan først beregnes som et lukket system for radionuklidene Rn-220 → Pb-212 → Bi-212, se Figur 1. I denne kjeden inngår også Po-216, men inhalert dose fra denne radionukliden er 5 størrelsesordener mindre enn dosene fra andre radionuklider i kjeden[8]. Derfor er denne utelatt.

Artbio ønsker å søke om samlet utslipp 70 Gbq/år som tilsvarer 10 800 Bq/s gitt drift i 8 timer hver dag, 5 dager i uka, 45 uker i året. Basert på omsøkt utslipp og typisk utslippsvolum er det beregnet en aktivitets-konsentrasjon, C_{akt} (enhet Bq/m^3) som siden brukes for utregning av dose. Nær utslippspunktet vil bidraget fra Rn-220 dominere på grunn av den korte halveringstiden.

Dose

Total eksponeringsdose fra inhalering av radon-220 og datterproduktene kan beregnes fra følgende uttrykk definert i UNSCEAR (2000):

$$D(nSv) = [0.11 \cdot ATn + 100 \cdot ATnP] \cdot timer\ [nSv\ m^3 / (Bq \cdot t)] \quad (1)$$

der 0,11 og 100 nSv m^3 / (Bq·t) er dosekonverteringsfaktorer for henholdsvis Rn-220 (thoron, Tn[fotnote 9]) og thorondøtre (TnP, eng. «thoron progeny») og ATn og ATnP er aktivitetskonsentrasjonen [Bq / m^3] av henholdsvis thoron og thorondøtre. Dosekonverteringsfaktoren på 100 nSv m^3 / (Bq·t) er hentet fra ICPR 137 (tabell 12.7 side 315).

Ved likevekt kan total eksponeringsdose fra inhalering av radon-220 og datterproduktene beregnes fra følgende uttrykk definert i UNSCEAR (2000):

$$D(nSv) = [(0{,}11 + 100\ F)\ ATn]\ timer\ [nSv\ m^3 / (Bq \cdot t)] \quad (2)$$

der faktoren F er en likevektsfaktor for andelen av aktivitetskonsentrasjon som kommer fra thorondøtre. Denne er beregnet til ~0.1 for stabile innendørsforhold (UNSCEAR, 2000), men er vanligvis betydelig lavere utendørs (Komperød mfl., 2015, Haanes mfl., 2016). For det aktuelle punktutslippet vil det faktiske forholdet mellom Rn-220 og dets døtre variere kraftig med avstanden fra kilden.

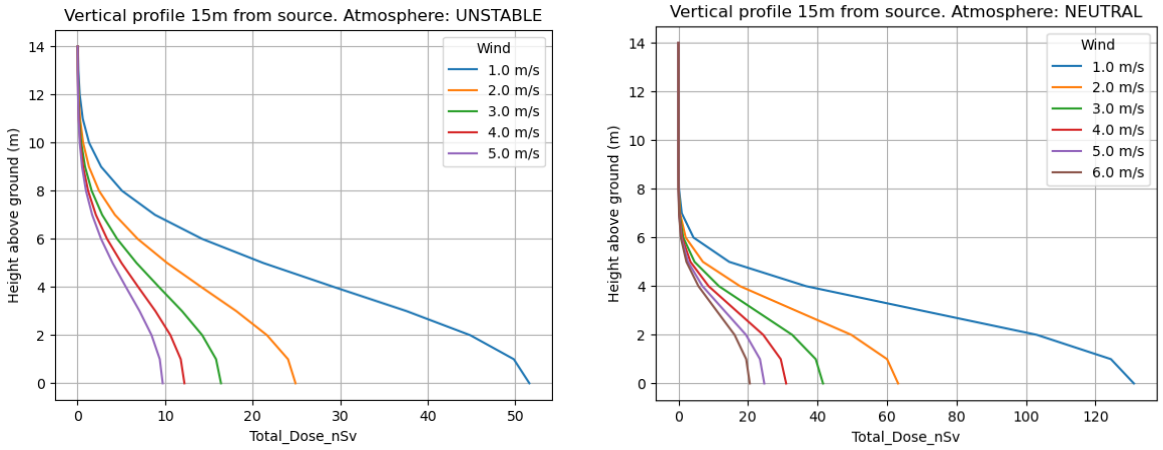
Fordi dosekonverteringsfaktoren for thorondøtrene nesten er en faktor 1000 (ref. ICPR 137) høyere enn thoron, er det vanligvis thorondøtrene som gir det største bidraget til dosen (se eksempelvis Tokonami, 2020; Bineng mfl., 2019; Bineng mfl., 2020).

[8] https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK234233/

[9] Radon-220 fikk opprinnelig navnet thoron, men dette begrepet er lite brukt i dag. Som et eksempel på ulik bruk gir søk på dsa.no tre treff for «thoron» og 110 treff for «radon-220».

2.4 CONCX spredningsberegninger og eksponering / dose - resultater

Som diskutert er beregning av eksponering og dose for en person som oppholder seg på takterrassen en kombinasjon av CONCX spredningsberegninger, beregning av aktivitetskonsentrasjon og doseberegning ved ICPR. Via den spesifikke aktiviteten til hver komponent og doseberegningen (ligning (1)) er det beregnet en dose for takterrassen for ulike vindforhold. Figur 7 viser dose ved inhalering [nSv] antatt én time eksponering under gitte forhold.



Figur 7: Total dose ved inhalering gitt én time eksponering for person som oppholder seg på takterrassen for ulike vindhastigheter, ustabil og nøytral atmosfære. Enhet: nSv/t.

Merk at lav vindhastighet (eks 1 m/s, blå graf) gir de høyeste dosene. Dette skyldes at fortynningen av utslippet er tregere og konsentrasjonene er høyere ved svak vind enn ved sterk vind.

Vindforholdene ved Forskningsparken / Blindern er vist og diskutert i kap. 1.5. Det er forenklet antatt at vind fra og med sektor 300 grader (fra nordvest) til og med 90 grader (fra øst) vil kunne påvirke takterrassen. Denne antagelsen gir dermed at terrassen vil kunne være eksponert i totalt ca. 37% av tiden. Videre er det lagt til grunn at folk oppholder seg på takterrassen i 2 timer hver ukedag, 5 dager i uka, 26 uker i året, det vil si totalt 260 timer i sommerhalvåret. Det er også tatt hensyn til variasjon i vind-hastighet. En person som oppholder seg på takterrassen gitt disse antagelser vil motta en vektet dose på totalt 4,8 µSv ved nøytrale atmosfæriske forhold og 1,9 µSv ved ustabile atmosfæriske forhold som følge av utslipp fra ArtBio.

Sommerstid vil det være overvekt av nøytrale forhold i atmosfæren, mens ustabile forhold er typisk nest mest forekommende. Stabile forhold opptrer mest om vinteren, samt på kalde netter. Gitt en konservativ tilnærming er konklusjonen derfor at en person som oppholder seg på takterrassen 260 timer i sommerhalvåret vil motta en beregnet vektet dose på totalt **4,8 µSv**. Dette er langt lavere (2 %) enn grenseverdi gitt for ikke-yrkeseksponerte arbeidstakere og allmennhet (effektiv dose 0,25 mSv/år).

2.5 Worst Case – utslipp uten kullfilter

Det er også gjort en beregning for Worst Case, det vil si et tilfelle der kullfiltrene ikke fungerer. I denne beregningen er det antatt utslipp av alle radionuklider. Likevektsfordeling mellom de ulike radionuklidene og dose er beregnet etter ligning (2). Det er videre antatt at svikt i kullfiltre inntreffer fredag ettermiddag og at det slippes ut 600 MBq gjennom helgen i til sammen 72 timer. Ved svak vind 1 m/s rett fra utslippspunktet mot terrassen, svak vind gir størst eksponering jfr. resonnement i kap 2.4., samtidig som det er nøytrale spredningsforhold så er beregnet effektiv dose for en person som oppholder seg på takterrassen **2,1 µSv pr. time**.

Vindretning og -styrke, samt atmosfærens stabilitet vil variere over tid. Denne beregnede effektive dosen er maksimumsverdi for et kort tidsrom (time).

Kullfiltrene er avhengige av strøm for å fungere. Risikoen for vedvarende strømbrudd er meget liten. ArtBio har et overvåkingssystem som kontinuerlig monitorerer og logger utslippene. Hvis utslippsnivåene overstiger en forhåndsdefinert grenseverdi, sendes det umiddelbart et varsel til både strålevern-ansvarlig(e) og daglig leder. Dette sikrer at eventuelle uønskede hendelser oppdages raskt slik at mottiltak kan iverksettes.

Ved et eventuelt strømbrudd vil reservesystemer slå inn raskt. UPS-systemet leverer strøm til luft- og avtrekksviftene. Hvis strømbruddet vedvarer vil UPS etter hvert slå over til en nødstrøm-generator. I tillegg vil døgnvakt-tjenesten i Forskningsparken oppdage feilen ganske raskt. I sum gjør dette at langvarig bortfall av strømforsyning med vedvarende utslipp av radionuklider uten rensing er meget lite sannsynlig.

3 Oppsummering og konklusjon

Klima- og miljøinstituttet NILU har gjort spredningsberegninger av utslipp fra ArtBio AS sin lab ved Forskningsparken i Oslo. Studien er en del av underlagsdokumentasjonen i forbindelse med søknad om utslippstillatelse. Utslippet vil bli renset ved hjelp av effektive kullfiltre, men det vil like fullt være utslipp av Rn-220 (thoron) som er en edelgass. ArtBio søker om tillatelse til å slippe ut 70 GBq/år. Rn-220 har kort halveringstid, 55,6 sekunder og desintegrerer via blant annet Pb-212 og Bi-212 til Pb-208.

I Forskningsparken er det en takterrasse om lag 10-15 m unna utkastet til ArtBio. Takterrassen er fritt tilgjengelig og brukes av arbeidstakere og besøkende i Forskningsparken, i særdeleshet i sommer-halvåret. Eksponering / dose for personer som oppholder seg på takterrassen vil være det mest kritiske punktet med tanke på overholdelse av grenseverdi gitt for ikke-yrkeseksponerte arbeidstakere og allmennhet (effektiv dose 0,25 mSv/år).

NILUs metode er en to-stegsprosess. Først beregnes utslipp av aktivitetskonsentrasjon (enhet Bq/s) og spredning / fortynning ved bruk av modellen CONCX. Deretter brukes disse resultatene til å beregne eksponering/dose basert på formler og rater fra den vitenskapelige litteraturen.

Meteorologiske målinger fra Blindern 100 m unna Forskningsparken viser at vinden står fra nordlig kant i om lag 37 % av tiden. Vind fra nord/nordøst gjør at utslipp fra ArtBio vil treffe takterrassen. NILUs beregninger med en konservativ tilnærming viser at en person som oppholder seg på takterrassen i 2 timer hver ukedag, 5 dager i uka, 26 uker i året (april – september), det vil si totalt 260 timer i sommerhalvåret, vil motta en vektet dose på totalt **4,8 µSv** som følge av utslipp fra ArtBio. Dette er kun 1/50-del av grenseverdi for effektiv dose 0,25 mSv/år.

Det er også gjort en beregning for Worst Case, det vil si et tilfelle der kullfiltrene ikke fungerer og det er utslipp av alle radionuklider (antatt en likevektsfordeling). Beregnet effektiv dose ved Worst Case er **2,1 µSv** pr. time. Det skal også bemerkes at en situasjon der strømbrudd eller lignende setter kullfiltrene ut av drift vil oppdages raskt slik at mottiltak kan iverksettes[10].

Naturlig bakgrunn i området er klassifisert som Aktsomhetsgrad Moderat til lav og utgjør ingen bekymring mtp. radon.

[10] Driftsavdelingen i Forskningsparken opplyser at tilluft- og avtrekksviftene i B-lab er koblet til UPS, som gir umiddelbar backup ved strømbrudd. Systemet slår automatisk over til nødstrømsaggregat etter et par sekunder. Kapasitet er ikke en begrensning og aggregatet har drivstoff for opptil 48 timer kontinuerlig drift.
Videre kan det fremheves at strømforsyningen i Oslo er svært stabil. Nasjonalt gjennomsnitt for å gjenopprette strøm ved langvarige strømbrudd er 1 time og 8 minutter, men Oslo ligger ofte under dette snittet grunnet god infrastruktur og rask respons. De senere årene har man kun hatt små glimt – heldigvis ingen større hendelser. Med UPS og aggregat er Forskningsparken derfor godt dekket. Ved bortfall av strøm eller stans i ventilasjon vil BMS-systemet sende ut varsel umiddelbart. Det er også mulig å sette opp spesifikke alarmnivåer etter behov.

4 Referanser og litteratur

Alle lenker og henvisning til websider er besøkt 1. november 2025.

Bineng, GS., Saïdou, Tokonami, S., Hosoda, M., Tchuente Siaka, YF., Issa, H., Suzuki, T., Kudo, H. and Bouba, O. (2020) The Importance of Direct Progeny Measurements for Correct Estimation of Effective Dose Due to Radon and Thoron. Front. *Public Health* 8:17. DOI: 10.3389/fpubh.2020.00017

Bøhler, T. (1987). User's guide for the Gaussian type dispersion models CONCX and CONDEP. (NILU TR, 8/1987). Lillestrøm: NILU.

Couturier, O., Supiot, S., Degraef-Mougin, M., Faivre-Chauvet, A., Carlier, T., Chatal, J.-F., Davodeau, F., Cherel, M. (2005) Cancer radioimmunotherapy with alpha-emitting nuclides. *Eur J Nucl Med Mol Imaging* (2005) 32:601–614 DOI 10.1007/s00259-005-1803-2

Grythe, H., Berglen, T. F., Evangeliou, N., Cassiani, M., Solberg, S. (2022). Utslipp og spredning av Radon-220 fra Oncoinvent, Nydalen. Underlag for utslippssøknad (NILU rapport 8/2022). Kjeller: NILU. Nedlastbar fra: https://hdl.handle.net/11250/3064730

Haanes, H., Finne, I.E., Kolstad, T., Mauring, A., Dahlgren, S., Rudjord, A.L. Outdoor thoron and progeny in a thorium rich area with old decommissioned mines and waste rock. *Journal of Environmental Radioactivity* 162-163 (2016) 23-32 (2015). Nedlastbar fra: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0265931X16301497?via%3Dihub

Harrison, J. D., and J. W. Marsh. "ICRP recommendations on radon." *Annals of the ICRP* 49.1_suppl (2020): 68-76. https://journals.sagepub.com/doi/full/10.1177/0146645320931974

ICRP, 2017. Occupational Intakes of Radionuclides: Part 3. ICRP Publication 137. Ann. ICRP 46(3/4). https://www.icrp.org/publication.asp?id=ICRP%20Publication%20137

ICRP, 2012. Compendium of Dose Coefficients based on ICRP Publication 60. ICRP Publication 119. Ann. ICRP 41(Suppl.).

Komperød, M., Friberg, EG., Rudjord, AL. Radiation Doses to the Norwegian Population. Summary of radiation doses from planned exposure and the environment. StrålevernRapport 2015:13. Østerås: Norwegian Radiation Protection Authority, 2015 (a).

Komperød, M., Rudjord, AL., Skuterud, L., Dyve, JE. Stråledoser fra miljøet. Beregninger av befolkningens eksponering for stråling fra omgivelsene i Norge. StrålevernRapport 2015:11. Østerås: Statens strålevern, 2015 (b).

Tokonami S. Characteristics of Thoron (^{220}Rn) and Its Progeny in the Indoor Environment. *Int J Environ Res Public Health*. 2020;17(23):8769. Published 2020 Nov 25. doi:10.3390/ijerph17238769

NILU er et norsk, nonprofit og uavhengig klima- og miljøforskningsinstitutt stiftet i 1969. Vi startet som et luftforskningsinstitutt, men har utvidet til å i dag forske på nær alle sider av hvordan mennesker, klima og miljø påvirker hverandre.

Vårt mål er bedre livskvalitet for alle! Det bidrar vi til gjennom vår forskning på atmosfærens sammensetning, klimaendringer, luftkvalitet, miljøgifter, helseeffekter, bærekraftige systemer, sirkulærøkonomi og digitalisering. Til sammen muliggjør dette bærekraftige løsninger på aktuelle samfunns- og næringslivsutfordringer.

www.nilu.no

nilu
science matters