

Beregninger av utslipp og eksponering av ansatte i nabobedrifter til Thor Medicals pilotanlegg i bygg 125 i Herøya industripark

Oppsummering

Dosebidraget fra Thor Medical sin produksjon i løpet av 5 måneder høsten 2025 er beregnet og forklart i teksten under. Vi har benyttet en konservativ beregningsmetode og de estimerte dosene til ansatte i nabobedrifter ligger mellom 0,012 og 0,036 μSv i løpet av denne 5-måneders perioden for en gjennomsnittlig ansatt. Doseberegningene inkluderer bidrag fra både Rn-220 og datteren Pb-212. Beregningene viser at vår produksjon ikke vil gi noen negativ helseeffekt på ansatte i nabobedrifter ved et utslipp på 3,25 MBq Rn-220 i løpet av 5 måneder.

1) Beregning av utslipp

I første kvartal 2025 prosesserte vi 3 tønner med thorium-232, med til sammen 990 MBq Th-232. Utslipet ble rapportert til gjennomsnittlig 0,77 MBq av Rn-220 i første kvartal basert på målinger og beregninger¹. Dersom man tar hensyn til måleusikkerheten, ligger utslippet mellom 0,33 MBq og 1,22 MBq Rn-220. Utslipet er altså estimert til 0,257 MBq/tønne (0,110 – 0,407 MBq/tønne).

I neste omgang får vi 8 tønner av samme materiale. Vi antar at framtidig utslipp ift råvare blir det samme. Vi kan derfor gange antatt utslipp per tønne med 8. Dvs. 2,05 MBq dersom vi bruker gjennomsnittverdien, eller 3,25 MBq Rn-220 dersom vi tar høyeste verdi utfra måleusikkerhet. For å ha en konservativ tilnærming til eksponeringsberegningene, velger vi å benytte det høyeste utslippet, altså 3,25 MBq for prosesseringen av de neste 8 tønnene som vil skje i løpet av høsten 2025.

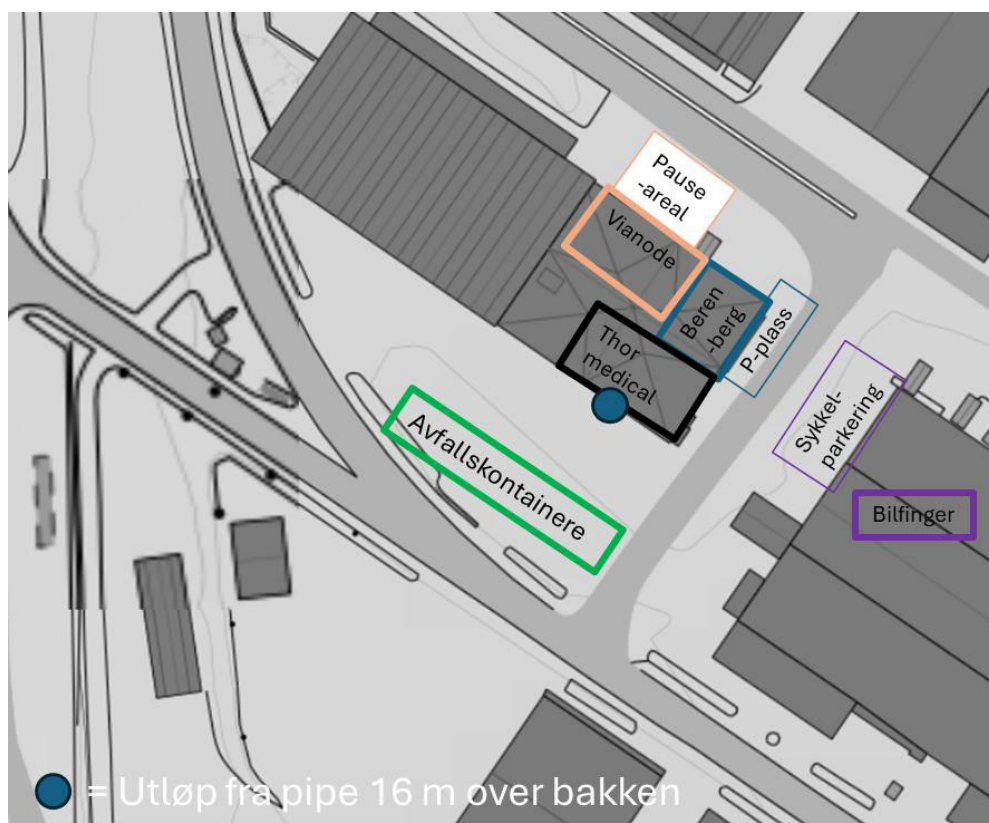
Hvis vi anslår oppstart for prosessering 1. august, blir perioden med utslipp 5 måneder eller 153 dager i resten av 2025. Da blir det daglige utslippet i snitt 21 kBq/d for Rn-220. Det daglige utslippet av luft fra piloten er 1111 m^3/d . Konsentrasjonen av Rn-220 per kubikkmeter luft blir derfor 19 Bq/ m^3 i snitt per dag når det slipper ut på toppen av pipa.

Vi gjør et konservativt anslag og antar at hele denne luftmassen blir fraktet til lokasjoner der ansatte i nabobedrifter oppholder seg utendørs, med den vindhastigheten som er angitt fra Meteorologisk institutt uten å bli fortynnet. I realiteten vil aktiviteten fortynnes i luft, slik at vi her gjør en worst-case konservativ beregning.

¹ Kvartalsrapport utslipp Q1-2025, oversendt DSA 1. april 2025.

2) Avstander fra utslippet på toppen av pipa og til områder der ansatte i nabobedrifter oppholder seg utendørs (gitte lokasjoner)

Det fins noen områder i nærheten av vårt pilotanlegg der ansatte i andre bedrifter av og til oppholder seg utendørs. Dette gjelder p-plass foran inngangen til Berenbergs kontorer, sykkelparkering foran Bilfingers bygg, felles avfallskontainere for flere bedrifter og et pauseareal foran inngangen til Vianode. Disse er vist i figur 1. Avstanden er beregnet fra toppen av pipa og ned



til 1,5 m over bakken på oppholdsstedet i en rett linje, selv om bygningens struktur i realiteten vil gi noe lengere avstander. Avstandene og antatt oppholdstid for en person per dag per lokasjon er gitt i tabell 1.

Figur 1: Områder der ansatte fra nabobedrifter oppholder seg utendørs i nærheten av Thor Medicals pilotanlegg

Tabell 1: Avstander i meter og oppholdstid i timer per dag for lokasjoner i nærheten av Thor Medicals pilotanlegg

Lokasjon	Avfalls-kontainere	Pauseareal	P-plass	Sykkel-parkering
Avstand fra pipe (m)	37	38	34	52

Oppholdstid (min/d)	30	60	10	10
------------------------	----	----	----	----

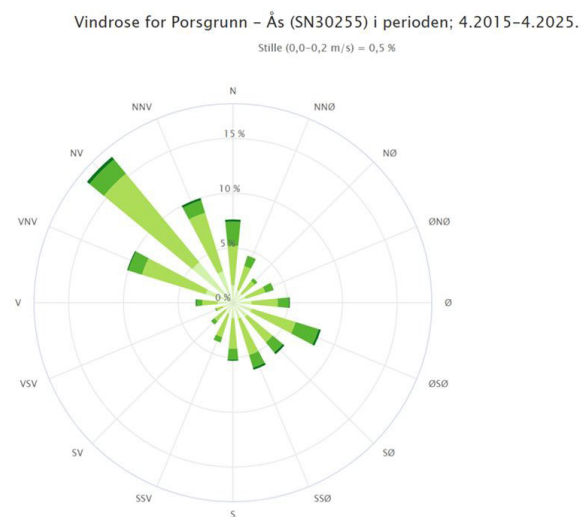
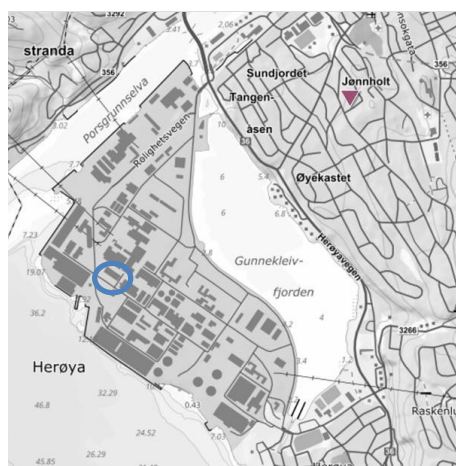
3) Vindrose for Porsgrunn sentrum og beregning av utslipp til gitte lokasjoner

Meteorologisk institutt (MET) har en målestasjon i Porsgrunn sentrum. Plassering og vindrose for Porsgrunn er gitt i figur 2. Dominerende vindretning er fra nordvest, etterfulgt av nord-nordvest og vest-nordvest. Middelvind og retningen vinden kommer fra, er gitt i tabell 2.

Når Rn-220 slipper ut av pipen, vil luftmassene bevege seg utfra hvor vinden blåser fra. De fire lokasjonene vil treffes av vind fra følgende:

Avfallskontainere når det blåser fra nordøst (NØ)
 Pauseareal for Vianode når det blåser fra sør-sørvest (SSØ)
 P-plass for Berenberg når det blåser fra vest-sørvest (VSV)
 Sykkelparkering for Bilfinger når det blåser fra vest (V)

Tabell 3 oppsummerer middelvind og retningen vinden kommer fra for de fire lokasjonene, samt gjennomsnittlig vindhastighet.



Figur 2: MET sin målestasjon i Porsgrunn angitt med rød trekant og Thor Medicals pilotanlegg angitt med blå ring. Vindrosedata hentet fra [Vindrose med frekvensfordeling - Seklima](#) den 25. april 2025.

Tabell 2: Middelvind og retningen vinden kommer fra for Porsgrunn - Ås (SN30255) i perioden 04.2015-04.2025 (%)

Tabell 3: Middelvind og retningen vinden kommer fra (i %) for de fire lokasjonene. Gjennomsnittsverdi for vindhastighet er regnet ut for å benyttes i de videre kalkulasjoner av eksponering.

Middelvind (m/s)	Middelvind gjennomsnitt (m/s)	Vind fra NØ	Vind fra SSV	Vind fra VSV	Vind fra V
0,3-1,5	0,9	1,1	1,1	1	1,4
1,6-3,3	2,45	1,5	2,2	0,6	1,4
3,4-5,4	4,4	0,3	0,5	0,1	0,5
5,5-7,9	6,7	0	0	0	0,1
SUM		2,9	3,9	1,8	3,5
		Avfalls-containere	Pauseplass Vianode	P-plass Berenberg	Sykkelparkering Bilfinger

I 5 måneder er det 153 dager. Den prosentvise fordelingen kan da benyttes til å beregne hvor mange dager det blåser fra en gitt vindretning med en gitt vindstyrke. Dette er vist i tabell 4.

Tabell 4: Antall dager i løpet av 5 måneder der vinden blåser fra en gitt vindretning med en gitt styrke.

Middelvind gjennomsnitt (m/s)	NØ (d)	SSV (d)	VSV (d)	V (d)
0,9	1,7	1,7	1,5	2,1
2,45	2,3	3,4	0,9	2,1
4,4	0,5	0,8	0,2	0,8
6,7	0,0	0,0	0,0	0,2
SUM	4,4	5,8	2,6	5,2

Middelvind (m/s)	N	NNØ	NØ	ØNØ	Ø	ØSØ	SØ	SSØ	S	SSV	SV	VSV	V	VNV	NV	NNV	SUM
0,0-0,2																	0,5
0,3-1,5	1,6	1,2	1,1	1,2	1,7	1,8	1,7	1,5	1,4	1,1	0,9	1	1,4	2,6	4,8	3	28
1,6-3,3	3,6	2,3	1,5	1,9	2,4	4,2	3	3,5	2,8	2,2	1,3	0,6	1,4	6,1	10,5	5,6	52,7
3,4-5,4	2,2	1	0,3	0,8	1	2,2	1,2	1,2	1	0,5	0,4	0,1	0,5	1,3	1,7	1,2	16,7
5,5-7,9	0,2	0	0	0	0,1	0,2	0,2	0,2	0,1	0	0	0	0,1	0,1	0,3	0,2	1,9
8,0-10,7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,1
SUM	7,6	4,5	2,9	3,9	5,1	8,4	6,1	6,4	5,3	3,9	2,7	1,8	3,5	10,2	17,2	10	100

Antall sekunder det tar fra luftmassene forlater pipa og til det når en av lokasjonene, varier med vindhastighet og avstand til lokasjon som vist i tabell 5.

Tabell 5: Antall sekunder det tar før luftmassene når en lokasjon.

Middelvind gjennomsnitt (m/s)	Avfalls- containere (s)	Pauseplass Vianode (s)	P-plass Berenberg (s)	Sykkelparkering Bilfinger (s)
0,9	41,1	42,2	37,8	57,8
2,45	15,1	15,5	13,9	21,2
4,4	8,4	8,6	7,7	11,8
6,7	na	na	na	7,8

4) Eksponeringsberegninger

Rn-220 vil henfalle på veien fra pipa til lokasjonene ettersom den har en halveringstid på bare 56 sekunder. Aktiviteten av Rn-220 reduseres iht likning 1, se resultater i tabell 6.

$$A_1 = A_0 e^{-\lambda t} \quad (\text{likning 1})$$

der A_1 er aktiviteten (Bq/m^3) ved lokasjon,

A_0 er aktiviteten ved utslippstidspunktet fra pipa (19 Bq/m^3),

$\lambda = \ln 2 / T_{1/2}$ der $T_{1/2}$ er halveringstiden til Rn-220 på 56 s, og

t er henfallstid (s) som angitt i tabell 5 for hver lokasjon og vindhastighet.

Rn-220 desintegrer iht likning 1 til stabilt bly via bla. Pb-212. Denne bidrar også til inhalasjonsdosen i tillegg til Rn-220. Vi trenger derfor å beregne hvor mye Pb-212 som dannes og er tilgjengelig for inhalasjon på lokasjonene. Til dette benytter vi programmet Micro shield Pro fra Grove software radiation solutions². Vi tar utgangspunkt i aktiviteten til Rn-220 som ved utslipp fra pipa er 19 Bq/m^3 og det antall sekunder det tar fra pipa til hver lokasjon med gitt vindhastighet. Tabell 6 viser hvor mange Bq det dannes av Pb-212 på lokasjonene ved gitt vindhastighet når Rn-220 henfaller. Igjen antar vi konservativt at hele luftmassen fra pipa transporteres ufortynnet til lokasjon.

Tabell 6: Aktivitetskonsentrasjonen av Rn-220 og Pb-212 (Bq/m^3) når luften når lokasjonene ved gitt vindretning og -hastighet

Middelvind gjennomsnitt (m/s)	Avfalls- containere (s)	Rn-220 (Bq/m^3)	Pb-212 (Bq/m^3)	Pauseplass Vianode (s)	Rn-220 (Bq/m^3)	Pb-212 (Bq/m^3)	P-plass Berenberg (s)	Rn-220 (Bq/m^3)	Pb-212 (Bq/m^3)	Sykkelparkering Bilfinger (s)	Rn-220 (Bq/m^3)	Pb-212 (Bq/m^3)
0,9	41,1	11,38	0,011	42,2	11,2	0,011	37,8	11,9	0,010	57,8	9,2	0,014
2,45	15,1	15,74	0,005	15,5	15,7	0,005	13,9	16,0	0,004	21,2	14,6	0,006
4,4	8,4	17,11	0,003	8,6	17,1	0,003	7,7	17,3	0,002	11,8	16,4	0,004
6,7	na			na			na			7,8	17,2	0,002

² <https://www.radiationsoftware.com/>

Tabell 4 angir det antall dager som har en gitt vindretning og vindhastighet. Dette multipliseres med oppholdstiden i timer per dag for hver lokasjon, med aktiviteten av Rn-220 og Pb-212 på gitt lokasjon (Bq/m^3), og med inhalasjonsfrekvens for en vanlig arbeider angitt som $1,2 \text{ m}^3/\text{t}$ i ICRPs publikasjon 137³. Vi kan da summere dette til totalt inhalert antall Bq av de to nuklidene på hver lokasjon i løpet av utslippsperioden på 5 måneder iht likning 2:

$$I_n(\text{Bq}) = D \cdot O \cdot A_n \cdot IF \quad (\text{likning 2})$$

der I_n er inhalert mengde av nuklide n (Bq),

D er antall dager med gitt vindretning og vindhastighet (d) som gitt i tabell 4,

O er oppholdstiden i timer per dag (t/d) på gitt lokasjon som gitt i tabell 1,

A_n er aktivitetskonsentrasjonen av nuklide n ved en gitt lokasjon (Bq/m^3) gitt i tabell 6, og

IF er inhalasjonsfrekvensen av luft for en vanlig arbeider (m^3/t).

Resultatene er vist i tabell 7.

Tabell 7: Antall Bq av Rn-220 og Pb-212 inhalert ved hver lokasjon i løpet av 5 måneder med gjennomsnittlig vindretning og vindhastighet.

Middelvind gjennomsnitt (m/s)	Avfalls- kontainere (inhalert Bq Rn-220)	Avfalls- kontainere (inhalert Bq Pb-212)	Pauseplass (inhalert Bq Rn-220)	Pauseplass (inhalert Bq Pb-212)	P-plass (inhalert Bq Rn-220)	P-plass (inhalert Bq Pb-212)	Sykel- parkering (inhalert Bq Rn-220)	Sykel- parkering (inhalert Bq Pb-212)
0,9	11,5	0,011	22,7	0,023	3,6	0,003	4,0	0,006
2,45	21,7	0,006	63,3	0,019	2,9	0,001	6,2	0,003
4,4	4,7	0,001	15,7	0,003	0,5	0,000	2,5	0,001
6,7	0,0	0,000	0,0	0,000	0,0	0,000	0,5	0,000
SUM Bq	37,9	0,018	101,6	0,045	7,1	0,004	13,2	0,009

Dosekonverteringsfaktorene for effektive doser ved inhalasjon av de to nuklidene fra ICRP-137 er gitt i tabell 8. Når den inhalerte mengden aktivitet (Bq) ganges med disse faktorene, blir de effektive dosene på hver lokasjon som angitt i tabell 9. Dosene fra Rn-220 og Pb-212 er i samme størrelsesorden. Dette skyldes at dosekonverteringsfaktoren for Pb-212 er vesentlig høyere enn for Rn-220.

Vi ser at de totale dosene er svært lave for alle lokasjoner over en 5 måneders periode, mellom 0,002 og 0,026 μSv . Det er mulig at ansatte i Vianode, Berenberg og Bilfinger benytter avfallskontainerne, i tillegg til å oppholde seg på

³ ICRP, 2017. Occupational intakes of radionuclides: Part 3. ICRP Publication 137. Ann. ICRP 46(3/4).

hhv pauseplass, p-plass og sykkelparkering. Dersom man legger til det bidraget, blir totale doser for ansatte i disse tre bedriftene høyere, men fortsatt bare mellom 0,012 og 0,036 μSv for 5 måneders perioden. Vi kan derfor konkludere med at Thor Medicals utslipp av 3,25 MBq Rn-220 i løpet av 5 måneder ikke vil ha negativ helseeffekt på ansatte i nabobedrifter.

Tabell 8: Dosekonverteringsfaktorer for effektiv dose fra inhalasjon hentet fra ICRP Publication 137, Occupational Intakes of Radionuclides: Part 3

Nuklide	Sv/Bq
Rn-220	1,80E-10
Pb-212	1,70E-07

Tabell 9: Totale doser fra Rn-220 og Pb-212 over en 5 måneders periode (μSv)

Lokasjon	Avfalls- kontainere	Pauseplass Vianode	P-plass Berenberg	Sykel- parkering Bilfinger
Dose i μSv	0,010	0,026	0,002	0,004
Dose i μSv pluss avfallskont.		0,036	0,012	0,014