Docusign Envelope ID: 6A209AAB-08DE-80F5-80F8-E4116323EF51

SHINE EU Milieu-effectanalyses (publieksversie)

NLV2-TECRPT-2023-0018 Rev. 2

Naam en functie	Datum	Handtekening
[redacted]		
[redacted]		
[redacted]		
[redacted]		
[redacted]		
[redacted]		

Ingangsdatum: 10 februari 2026

Jan Salwaweg 1-11, 4th Floor
9641 LL Veendam
The Netherlands
www.shinefusion.com

Docusign Envelope ID: 6A209AAB-08DE-80F5-80F8-E4116323EF51

Revisiegeschiedenis

Revisie	Paragraaf	Beschrijving	Datum
0	Alle	Nieuw document	31 maart 2025
1	3.2 4.2	Aanpassingen n.a.v. verzoek aanvullende informatie ANVS	23 september 2025
2	3.1 3.2 Nadere analyse 3 figuur 1,4,7,8 Bijlage A, B, D	Aanpassingen i.v.m. wijziging terreingrens	Zie voorblad

Docusign Envelope ID: 6A209AAB-08DE-80F5-80F8-E4116323EF51

Inhoudsopgave

1 Omvang 6
BEREKENINGEN VOLGENS AGIS DEEL 1 7
2 Inleiding op het secundair niveau 7
3 Externe straling 8
3.1 Rekenstappen: 8
3.2 Analyse 9
4 Lozingen in lucht 14
4.1 Rekenstappen: 15
4.2 Analyse 16
5 Lozingen in water 18
5.1 Rekenstappen: 18
5.2 Analyse 19
6 Conclusie 22
NADERE ANALYSE - DOVIS A 23
1 Inleiding 23
2 SCREEN-model 23
2.1 In het model ingevoerde waarden 24
Gebouweigenschappen 24
Emissie-eigenschappen 28
Terreinopties 30
Samenvatting 32
3 Methodiek analyses 33
3.1 Mesh openbare toegang 34
3.2 Jaarlijkse blootstelling in mesh 35
3.3 Dosis “worst-case” scenario mesh 39
Dosisconversie 39
3.4 SCREEN3 Concentratieresultaten 43
Aanpassingen voor radioactief verval 43
4 Resultaten 44
5 Conclusie 45

Docusign Envelope ID: 6A209AAB-08DE-80F5-80F8-E4116323EF51

6 Algemeen milieueffect - Conclusie 45

7 Bijlagen 46

AGIS Bijlage A: MicroShield®-modellen scenario A 46

AGIS Bijlage B: MicroShield®-modellen scenario B 48

AGIS bijlage C: Plattegrond SHINE-faciliteit 49

AGIS bijlage D: Terreingrenzen kavel 50

AGIS bijlage E: Intern transport berekeningen 51

8 Referenties 56

Docusign Envelope ID: 6A209AAB-08DE-80F5-80F8-E4116323EF51

Afkortingen

Afkorting	Beschrijving
JBG	Jaarlijkse bezettingsgraad
LKVM	Luchtstroom kubieke voet per minuut
AID	Actuele individuele dosis
ALARA	Zo laag als redelijkerwijs mogelijk (As Low As Reasonably Achievable)
ANVS	Autoriteit Nucleaire Veiligheid en Stralingsbescherming
B.V.	Besloten Vennootschap
Bbs	Besluit basisveiligheidsnormen stralingsbescherming (Nederlandse wetgeving)
CCDF	Complimentary Cumulative Distribution Function
CFM	Kubieke voet per minuut
CONF	Confidentieel (vertrouwelijk) op basis van Wet open overheid
EPA	Milieubeschermingsagentschap VS (Environmental Protection Agency)
EU	Europa
HVAC	Heating, ventilation en airconditioning
ICRP	Internationale Commissie voor Radiologische Bescherming
KC	Kwaliteitscontrole
Lu	Lutetium
MCNP	Monte Carlo N-Particle
MID	Multifunctionele individuele dosis
NNM	Nieuw Nationaal Model
SN	Secundair niveau
Tx	Therapeutics
VS	Verenigde Staten
Vbs	ANVS-verordening basisveiligheidsnormen stralingsbescherming (Nederlandse wetgeving)

Docusign Envelope ID: 6A209AAB-08DE-80F5-80F8-E4116323EF51

1 Omvang

Als onderdeel van de vergunningsprocedure in Nederland moeten de radiologische gevolgen voor het milieu (leden van de bevolking) worden geanalyseerd. Nederlandse wet- en regelgeving heeft grenswaarden vastgelegd voor verschillende blootstellingsroutes die het secundair niveau (SN) worden genoemd [1]. Het secundair niveau is een niveau waaronder de implementatie van het ALARA-principe voor de overheid minder prioriteit heeft; de verantwoordelijkheid voor de implementatie van het ALARA-principe wordt daarbij overgedragen aan de organisatie die de vergunningsaanvraag doet, in dit geval SHINE Europe B.V. (SHINE EU).

Binnen de Nederlandse wet- en regelgeving zijn drie mogelijke blootstellingsroutes gedefinieerd; voor elke route is een secundair niveau vastgesteld [1]:

- Externe straling is een dosis die het gevolg is van directe straling (meestal gammastraling) van bronnen in de faciliteit tot aan de terreingrens. Het secundair niveau (H^*_{SN}) is 10 µSv/jr.
- Lozingen in lucht zijn lozingen van radionucliden als gevolg van activiteiten die bij verschillende omstandigheden worden uitgevoerd. Deze lozingen in lucht kunnen vervolgens een dosis veroorzaken, op basis van de inademing/inhalatie van radionucliden. Het secundair niveau (L_{sn}) is 1 µSv/jr.
- Waterlozingen zijn meestal lozingen in de riolering door bijvoorbeeld uitscheidingen van patiënten in het ziekenhuis. Het secundair niveau (W_{sn}) is 1 µSv/jr.
-

Om de gevolgen van het gebruik van ioniserende straling voor het milieu en de bevolking te analyseren, heeft de wetgever (ANVS) specifieke methodes ontwikkeld die zijn beschreven in bijlage 10 van de [1]Vbs.
Voor de berekeningen is er een 'eenvoudige' methode (die bekend staat als AGIS deel 1), en een 'diepgaandere analyse' (die bekend staat als deel II). Om te voldoen aan de berekening AGIS-deel I moet aan verschillende criteria worden voldaan.
Zoals gespecificeerd in het vergunningsdocument van SHINE [2] is voor de externe straling en lozingen in lucht en in water een analyse vereist. Voor de externe straling en waterlozing is de analyse van AGIS-deel I van toepassing, voor de lozingen in lucht is de analyse deel II met gebruik van DOVIS-A vereist. Dit document beschrijft de gebruikte methodes en de resultaten van deze analyses.

Docusign Envelope ID: 6A209AAB-08DE-80F5-80F8-E4116323EF51

BEREKENINGEN VOLGENS AGIS DEEL 1

2 Inleiding op het secundair niveau

In de SHINE-faciliteit worden handelingen uitgevoerd met bronnen van ioniserende straling. Deze handelingen omvatten het hanteren van radioactieve stoffen voor de productie van therapeutische radionucliden zoals Lutetium-177 (Lu-177) voor de behandeling van patiënten. Alleen de productie van Lu-177 zal in de SHINE-faciliteit plaatsvinden. Er worden geen patiënten behandeld. Zie bijlage C voor een plattegrond van de faciliteit.

Om aan te tonen dat de dosislimieten voor leden van de bevolking buiten de SHINE-terreingrenzen (zie bijlage D) als gevolg van de Lu-177-productie niet worden overschreden, is een integrale analyse opgesteld voor de jaardosis aan de terreingrens.

Voor elke blootstellingsroute (externe straling, inhalatie, ingestie en of submersie) wordt de bijdrage aan de jaardosis H^*_{max} of de individuele dosis (ID) berekend op basis van de radioactiviteitconcentratie en/of straling die in de omgeving aanwezig is. Deze individuele dosis is de dosis die een persoon kan ontvangen wanneer hij/zij onbeschermd aan de bron wordt blootgesteld. De multifunctionele individuele dosis (MID) wordt vervolgens berekend op basis van de blootstellingsroute, gebaseerd op een potentiële woonlocatie direct aan de terreingrens. Wanneer er een (potentiële) woonsituatie is aan de terreingrens, is de actuele individuele dosis (AID) gelijk aan de MID. In alle andere gevallen wordt de AID berekend door de ID te vermenigvuldigen met de actuele blootstellingscorrectiefactor (ABS-factor) die van toepassing is op het daadwerkelijke gebruik van de naastgelegen kavels aan de terreingrens. Om de H^*_{max}, ID, multifunctionele individuele dosis en Actuele Individuele Dosis (AID) te berekenen wordt de rekenregels voor analyse van de gevolgen van ioniserende straling (AGIS) uit bijlage 10 van de Vbs [1] gebruikt.

Als een gevolg van de Lu-177-productie zijn drie mogelijke blootstellingsroutes gedefinieerd:

- Externe straling
- Lozingen in lucht
- Waterlozingen

Voor elke blootstellingsroute worden de resultaten van de berekeningen vergeleken met het grenswaarden van het secundaire niveau (SN). Deze berekeningen worden uitgevoerd volgens de berekeningsmethode AGIS-deel I. Als de uitkomsten van de berekeningen op basis van AGIS-deel I voor externe straling, lozingen in lucht of waterlozingen de SN-grens overschrijden, moet een diepgaandere analyse op basis van de methode AGIS-deel II worden uitgevoerd. Dit document levert de berekeningen op basis van AGIS-deel I voor externe straling, lozingen in lucht, waterlozingen en de vergelijking met de SN-grenswaarden.

Docusign Envelope ID: 6A209AAB-08DE-80F5-80F8-E4116323EF51

3 Externe straling

Om de gevolgen van het gebruik van ioniserende straling voor het milieu en de bevolking te analyseren, heeft de wetgever (ANVS) specifieke methodes ontwikkeld die worden beschreven in bijlage 10 van de Vbs [1].
Deze analysemethodes beschrijven het secundair niveau (SN). Dit niveau is vastgelegd voor lozingsroutes via lucht of water en voor de externe straling. Het SN beschrijft het punt waarbij er met betrekking tot een milieueffect geen bezwaar tegen autorisatie kan worden gemaakt.
Dit hoofdstuk beschrijft de gebruikte methodes en resultaten van de analyses voor iedere blootstellingsroute (externe straling, lozing via lucht, waterlozingen). De methodes zijn onderverdeeld in een initiële analyse (AGIS-deel I) en een nadere analyse (AGIS-deel II).

3.1 Rekenstappen:

A) Stap 1 – De externe straling aan de terreingrens (s) berekenen voor iedere stralingsbron (i):

Om de externe straling te kunnen beoordelen, moet eerst het maximale omgevingsdosisequivalent per jaar worden berekend volgens onderstaande formule:

$$H^*_{max,s} = \sum_i \dot{H}^*_{(10,r)} \cdot \frac{r^2}{l^2} \cdot F \cdot T$$

Waarin:

$H^*_{max,s}$	Het omgevingsdosisequivalent in een jaar aan de terreingrens ten gevolge van stralingsbron s [Sv]
$\dot{H}^*_{(10,r)}$	Het omgevingsdosisequivalenttempo op dosispunt r per bron i [Sv/h]
r	De afstand tussen de stralingsbron en het dosispunt r $H^*_{(10,r)}$ [m]
l	De afstand tussen de stralingsbron en de terreingrens [m]
F	The transmissiefactor voor de stralingsbron i [-]
T	Aantal uren in een jaar dat de stralingsbron i in gebruik is [h]

In de berekeningen is geen correctie opgenomen voor de korte vervaltijd van enkele radionucliden, wat leidt tot een overschatting van de doses.

B) Stap 2 – H^*_{max} tot H^*_{SN} berekenen voor de terreingrenzen:

Het omgevingsdosisequivalent wordt vervolgens vergeleken met H^*_{sn} wat de secundaire limiet definieert en conform de Vbs [1] met behulp van de volgende formule is bepaald op 40 µSv/jaar:

$$H^*_{max,s}/H^*_{SN} \leq 1$$

Docusign Envelope ID: 6A209AAB-08DE-80F5-80F8-E4116323EF51

3.2 Analyse

A) Stap 1 – De externe straling aan de terreingrenzen berekenen voor iedere stralingsbron (i):

Vanwege de verschillen tussen afschermingsmaterialen tussen de externe stralingsbronnen en de terreingrenzen worden Microshield®-modellen gebruikt om de H^*_{10} te berekenen voor de externe stralingsbronnen die in de SHINE-faciliteit aanwezig zijn. Door het gebruik van Microshield®-modellen worden de termen r^2/l^2 en F in de vergelijking in stap 1 uitgesloten.

Voor de externe straling zijn er drie scenario's geanalyseerd:

A. De dosis die het gevolg is van de target die voor verwerking in de hotcell-lijn wordt geplaatst.
B. Een stabiele inventaris van twee jaar aan verwerkte targets, die in de vervalbergplaats zijn opgeslagen.
C. Lu-177 voor verzending aanwezig in de verpakkingsruimte

Deze drie scenario's zijn relevant en voldoende om het dosiseffect op de grens van de locatie te dekken om de volgende redenen:
- De hypothese die voor de berekeningen is aangenomen, is conservatief
- De andere bijdragen zijn verwaarloosbaar vergeleken met die scenario's

Conservatisme dat voor elk scenario is aangehouden

Scenario A:
- De afscherming van de binnen- en buitenmuren van de faciliteit en de andere apparatuur of objecten worden bij de berekeningen niet in aanmerking genomen;
- 2 dagen productie per target en per week worden in aanmerking genomen voor de target in de hotcell, de operationele ervaring in de VS toont aan dat er minder tijd nodig is om in de targets in de hotcell te verwerken;
- De afstand tot de locatiegrens is de kortste afstand van hotcell.

Scenario B:
- De totale inventaris in de bergplaats (Decay In Storage) wordt in aanmerking genomen, echter wanneer een deel van het gebruikte materiaal naar de VS wordt gestuurd voor recyclingdoeleinden zal dit minder zijn.

Scenario C:
- Er wordt aangenomen dat de productie altijd op volle capaciteit zal zijn;
- De afstand tot de locatiegrens is de dichtstbijzijnde afstand voor alle vials en er is geen andere afscherming dan de loodafscherming van de vials meegenomen.

Docusign Envelope ID: 6A209AAB-08DE-80F5-80F8-E4116323EF51

Overige scenario's met een (verwaarloosbare) bijdrage aan de terreingrens:

Ingekapselde bronnen:
Het dosistempo van de aanwezige ingekapselde bronnen, uitgaande van de maximale activiteit, is opgenomen in bijlage 7. De dichtstbijzijnde afstand vanaf de buitenzijde ven het gebouw tot aan de terreingrens is 35 meter. De bronnen zijn het grootste deel van het jaar aanwezig in een hot cell (voor kalibratie) of in een afgeschermde bergplaats. Gezien de afstand en de afschermende materialen tussen de ingekapselde bronnen en de dichtstbijzijnde terreingrens zal de dosis van de ingekapselde bronnen (kalibratie en toetsing) zal verwaarloosbaar zijn.

Handelingen in het KC-laboratorium:
De dosis van de handelingen met de bronnen in het KC-laboratorium is hoofdzakelijk afkomstig van de tijdelijke opslag van de monsters. Dosistempo op 2 meter afstand van de bergkast is <4 nSv/uur [3]. Op basis van een eenvoudige vergelijking voor een puntbron zal de dosis aan de dichtstbijzijnde terreingrens lager zijn dan 0,1 µSv/jaar (afstand 55 m, zonder afschermend materiaal van de wanden). Dit is een verwaarloosbare dosis; daarom wordt deze dosis niet opgeteld bij de resultaten van de scenario's A, B en C.

Transport:
Extern transport op de locatie:
Het transport van radioactieve stoffen (bestraalde Yb-targets en het uiteindelijke Lu-177-product) dat aankomt bij de productiefaciliteit van SHINE en vertrekt, zal worden uitgevoerd door een extern transportbedrijf. Dit bedrijf beschikt over een passende Kernenenergiewetvergunning en het transport voldoet aan de VLG-ADR [4] vereisten. Daarom maakt transport geen deel uit van de door SHINE aangevraagde vergunning. Bovendien blijft het transportvoertuig alleen op locatie zolang het nodig is om de verpakkingen te laden en lossen, wat slechts enkele minuten per week duurt.

Intern transport binnen de locatie:
Alle handelingen met radioactieve stoffen vinden plaats in één gebouw. Een inschatting van het interne transport binnen de faciliteit is gemaakt op basis van de gegevens van de RI&E [5]. Hieruit blijkt dat het interne transport niet meer dan 1,2 µSv per jaar (ID) zal bijdragen aan de dosis op de terreingrens zuidwest. (zie bijlage E) De dosisbijdrage aan de overige terreingrenzen worden als verwaarloosbaar beschouwd (MID <1 µSv/jaar) . Berekeningen voor de noordwestzijde zijn gemaakt met inachtneming van de kortste afstand van de buitenmuur van de faciliteit tot de terreingrens (ongeveer 35 m) en geen extra afscherming van het gebouw.

Scenario A: De dosis die het gevolg is van de targets die voor verwerking in de hotcell-lijn worden geplaatst.

Lu-177 wordt geproduceerd door de Lu-177 door middel van vloeistofchromatografie gescheiden uit een bron van gemengde radionucliden (target), die in een nucleaire faciliteit is bestraald, en in een titanium flacon wordt ontvangen. Dit target bevat een breed spectrum aan radionucliden. Om de complexiteit van de berekeningen van AGIS-deel I te verminderen, is van de radioactieve bron van het radionuclidenmengsel geanalyseerd en gesorteerd op de activiteit en omgevingsdosis-equivalenttempo. Er is een vergelijking opgesteld van de totale activiteit en de individuele activiteit

Docusign Envelope ID: 6A209AAB-08DE-80F5-80F8-E4116323EF51

van de radionucliden en het omgevingsdosisequivalenttempo. Het resultaat is dat de volgende radionucliden 99,9995% van de activiteit en het omgevingsdosistempo van 1 target bepalen.

Radionuclide	Radionuclide
Lu-177	P-32
Yb-175	Ca-45
Yb-169	Ce-141
Tm-170	Na-24
Eu-152m	Ce-143
La-140	Er-169
Cu-64	Eu-152
Sm-153	Eu-154
Eu-156	Pr-143
Ar-37	Gd-153
Sc-46	Zn-65

In het productieproces wordt één batch tegelijkertijd aangeleverd en verwerkt. De totale activiteit omvat tevens het vloeibaar afval dat tijdens het zuiveringsproces geproduceerd wordt.

De afstand tussen de bron in de hot cell en de grenzen van de SHINE-faciliteit (r^2/l^2) zijn:

Richting	Afstand in meter
Noordwest	131
Noordoost	70
Zuidoost	78
Zuidwest	59

Aangezien de afstand tussen de externe stralingsbron en de SHINE-terreingrenzen meer dan 5 keer zo groot is als de grootte van de externe stralingsbron (targets) is het toegestaan om in de MicroShield®-modellen de puntbrongeometrie te gebruiken.

Er is één afscherming geïdentificeerd die een invloed zal hebben op het omgevingsdosis-equivalenttempo aan de SHINE-terreingrenzen.

1. Loodafscherming van de hotcell-wand.

Om de berekeningen te vereenvoudigen zijn de afscherming van de binnen- en buitenwanden van de faciliteit en de andere apparatuur of objecten niet meegenomen. Dit leidt daarom tot een overschatting van het omgevingsdosisequivalenttempo aan de terreingrens.

Bij aankomst wordt een bestraalde target naar de hot cell getransporteerd. Na verwerking in de hot cell wordt de volledige radionuclideninventaris van de target, behalve de geëxtraheerde Lu-177 opgeslagen in de vervalbergplaats om te vervallen voordat deze ofwel naar de VS wordt verzonden voor recycling of als afval wordt verzonden.

Docusign Envelope ID: 6A209AAB-08DE-80F5-80F8-E4116323EF51

Scenario B: Een stabiele inventaris van twee jaar aan verwerkte targets opgeslagen in de vervalbergplaats

Een stabiele inventaris van twee jaar aan verwerkte targets opgeslagen in de vervalbergplaats, waarbij elke set van drie één week meer aan verval heeft, leidt tot aanwezigheid van de volgende activiteit in de vervalbergplaats. De aanwezigheid en de reeks aan genoemde radionucliden (>99% van de totale activiteit) zijn gebaseerd op theoretische aannames. Dit leidt tot een overschatting van het dosistempo aan de terreingrens omdat het plausibel is dat bijv. Ar-37 niet in het afval aanwezig zal zijn.

De afstand tussen de bron in de vervalbergplaats en de grenzen van de SHINE-faciliteit (r^2/l^2) is:

Richting	Afstand in meter
Noordwest	136
Noordoost	86
Zuidoost	63
Zuidwest	44

Het radioactieve gebruikte materiaal zal in een container met loden afscherming worden geplaatst. De positie van deze bronnen is afhankelijk van het gebruik van de loden kast en hoe deze met radioactief afval is gevuld. Voor de berekeningen wordt aangenomen dat het radioactief afval homogeen in een geometrie van een kubus is geplaatst met de volgende afmetingen: 1x1x1 meter (geometrie is in Microshield berekend; zie bijlage scenario B) . Naar verwachting zal het meeste van het radioactieve afval uit vloeibaar afval bestaan. Daarom wordt voor de bron een dichtheid van 1 g/cm^3 gekozen (water). Het dosistempopunt voor de berekeningen is geplaatst op een hoogte van 1 meter in het midden van de kubusvorm en op de afstanden van de kubusvorm tot de terreingrens.

Er zijn twee soorten afscherming geïdentificeerd die een invloed zullen hebben op het omgevingsdosisequivalenttempo aan de SHINE-terreingrenzen.

1. Betonnen afscherming in de binnenwanden van de afvalbergplaats en;
2. Lood in de afvalcontainer.

Om de berekeningen te vereenvoudigen zijn de afscherming van de binnen- en buitenwanden van de faciliteit en de andere apparatuur of objecten niet meegenomen. Dit leidt daarom tot een overschatting van het dosistempo aan de terreingrens.

De activiteit is gebaseerd op een stabiele inventaris; daarom is de tijd gedurende welke afval jaarlijks aanwezig zal zijn 8760 uur.

Docusign Envelope ID: 6A209AAB-08DE-80F5-80F8-E4116323EF51

Scenario C: Lu-177 voor verzending aanwezig in de verpakkingsruimte

In de verpakkingsruimte zal een inventaris aan Lu-177 flacons voor verzending aanwezig zijn. Het wordt aangenomen dat bij een volledige capaciteit van de productielijn.

De afstand tussen de cel van de verpakkingsruimte en de grenzen van de SHINE-faciliteit (r^2/l^2) is:

Richting	Afstand in meter
Noordwest	109
Noordoost	65
Zuidoost	97
Zuidwest	59

De activiteit bevindt zich in een glazen flacon die geplaatst is in een loden transportcontainer. Aangezien de afstand tussen de externe stralingsbron en de SHINE-terreingrenzen meer dan 5 keer zo groot is als de grootte van de externe stralingsbron (bij een dosistempo op 1 meter) is het toegestaan om de puntbrongeometrie te gebruiken. Om de complexiteit van de berekeningen te verminderen, wordt aangenomen dat alle flacons op dezelfde, dichtstbijzijnde, afstand tot de terreingrens worden geplaatst.
De afschermende materialen van de glazen flacon, de loden transportcontainer en het verpakkingsmateriaal zijn reeds in de MCNP-modellen opgenomen (zie verslag [4]). Er zijn geen andere soorten afscherming geïdentificeerd die een invloed zullen hebben op het omgevingsdosisequivalenttempo aan de SHINE-terreingrenzen.

B) Stap 2 Cumulatieve externe stralingsdosis

De cumulatieve externe stralingsdosis H^*_{max} aan de terreingrenzen zijn:

Scenario	Noordwest	Noordoost	Zuidoost	Zuidwest	Eenheid
A	$1{,}14*10^{0}$	$5{,}41*10^{0}$	$4{,}19*10^{0}$	$8{,}06*10^{0}$	µSv/jaar
B	$1{,}07*10^{0}$	$3{,}63*10^{0}$	$7{,}80*10^{0}$	$1{,}81*10^{1}$	
C	$1{,}41*10^{-1}$	$4{,}00*10^{-1}$	$1{,}80*10^{-1}$	$4{,}86*10^{-1}$	
Intern transport	<1	<1	<1	$1{,}22*10^{0}$	
Totaal	*$2{,}35*10^{0}$*	*$9{,}44*10^{0}$*	*$1{,}22*10^{1}$*	*$2{,}79*10^{1}$*	

Docusign Envelope ID: 6A209AAB-08DE-80F5-80F8-E4116323EF51

4 Lozingen in lucht

Voor mogelijke lozingen in lucht wordt aangenomen dat er wekelijks Lu-177 op de faciliteit aankomt en verwerkt wordt. Lu-177 wordt geproduceerd door de Lu-177 door middel van chromatografische zuivering te extraheren uit een target die in een titanium flacon wordt ontvangen die in een nucleaire faciliteit is bestraald. Deze target bevat een breed spectrum aan radionucliden. Om de complexiteit van de berekeningen van AGIS-deel I te verminderen, is van de radioactieve bron van het radionuclidenmengsel geanalyseerd en gesorteerd op de activiteit van de radionucliden en het radiotoxiciteitsequivalent voor inhalatie (Re_{inh}) van de radionucliden. Het resultaat is dat 3 radionucliden 99,9% van het totale Re_{inh} bepalen:

Radionuclide	Percentage totale Re_{inh}
Lu-177	91,6%
Yb-175	8,1%
Yb-169	0,2%

Tijdens de bestraling van de target wordt een fractie aan edelgas geproduceerd in de vorm van de radionuclide Ar-37. Dit edelgascomponent wordt in lucht geloosd wanneer de flacon in de hot cell wordt geopend. Dit leidt tot een jaarlijkse lozing van edelgas Ar-37. Dit is een kleine fractie van de totale activiteit die jaarlijks aanwezig is en vanwege de fysieke eigenschappen van edelgas zal de invloed op de dosisconsequenties voor leden van de bevolking hierdoor verwaarloosbaar zijn vergeleken met de mogelijke lozing van Lu-177, Yb-175 en Yb-169. Daarom wordt de Ar-37 lozing in de AGIS-deel I-berekeningen niet genoemd.

Docusign Envelope ID: 6A209AAB-08DE-80F5-80F8-E4116323EF51

4.1 Rekenstappen:

Stap 1- Berekening van het radiotoxiciteitsequivalent ($Re_{inh.i}$):

De radiotoxiciteitsequivalent is gebaseerd op de inhalatiecoëfficiënt voor leden van de bevolking zoals deze in ICRP-119 zijn vermeld en wordt verstrekt als onderdeel van Vbs. Deze waarde is de activiteit van een radionuclide die resulteert in een effectieve dosis van 1 Sv en is daarom radionuclide specifiek. De formule voor het berekenen van de radiotoxiciteitsequivalent is:

$$Re_{inh.i} = \frac{1}{e_{inh.i}}$$

Waarin:

$Re_{inh.i}$	radiotoxiciteitsequivalent voor inhalatie van radionuclide i [Bq]
$e_{inh.i}$	inhalatiecoëfficiënt voor radionuclide i voor volwassenen [Sv/Bq]

Stap 2 - Berekening van de maximale jaarlijkse lozing van elk radionuclide ($A_{L.i}$):

Op basis van de hoeveelheid radionucliden die in 1 jaar wordt gebruikt, het soort handelingen dat wordt verricht en de mogelijkheden tot verspreiding kan voor ieder radionuclide de maximale jaarlijkse lozing worden berekend:

$$A_{L,i} = \sum_{handeling} A_{inkoop,i} \cdot 10^{-pi-4-si} \cdot CR_{L,i}$$

Waarin:

$A_{L.i}$	maximale (theoretisch mogelijke) lozing van radionuclide i in een jaar in lucht, gecorrigeerd voor cumulatie in het milieu [Bq]
$\sum$	som van alle handelingen die met deze nuclide worden uitgevoerd
$A_{inkoop.i}$	hoeveelheid van radionuclide i die in 1 jaar wordt gekocht voor een bepaalde handeling [Bq]
pi	parameter voor de verspreidingskans van radionuclide i bij de beschouwde handeling
si	effectiviteitsparameter voor het filtersysteem voor radionuclide i
$CR_{L.i}$	correctiefactor voor lozingen in lucht voor de fysische halveringstijd van radionuclide i

Omdat hetzelfde proces elke week wordt uitgevoerd, zal $A_{inkoop.i}$ het nuclideninventaris van 1 target bevatten op het moment dat deze wordt ontvangen, maal het aantal targets dat in 1 jaar wordt verwerkt.

Stap 3 - Berekening van de maximale jaarlijkse emissie vanuit de locatie (L_{max})

$$L_{max} = \sum_{nuclide.i} \frac{A_{L.i}}{Re_{inh.i}}$$

Docusign Envelope ID: 6A209AAB-08DE-80F5-80F8-E4116323EF51

L_{max} toont de maximale, theoretisch mogelijke, hoeveelheid radiotoxiciteitsequivalenten dat in 1 jaar in lucht kan worden geloosd.

Stap 4 - Bepalen van het afgeleide secundaire toetsingsniveau voor lozingen in lucht (L_{sn}):

Het secundaire toetsingsniveau voor lozingen in lucht is afhankelijk van de afstand vanaf het lozingspunt tot aan de terreingrens. Dit wordt gebruikt om te corrigeren voor een groot terrein. Dit niveau is gebaseerd op 1 miljoenste van de oorspronkelijke lozingsconcentratie die de terreingrens bereikt als de lozing binnen 50 meter van de grens plaatsvindt, waarbij de concentratie die de grens bereikt een inhalatiedosis van 1 µSv kan produceren.

Stap 5 - Toetsing van L_{max} aan L_{sn}:

Na de analyse moet elk lozingspunt worden getoetst met gebruik van onderstaande formule:

$$\frac{L_{max}}{L_{sn}} \leq 1$$

Indien het resultaat van deze formule groter is dan 1, moet een berekening op basis van AGIS-deel II worden uitgevoerd.

4.2 Analyse

Stap 1- Berekening van het radiotoxiciteitsequivalent ($Re_{inh.i}$):

Voor stap 1 worden de waarden voor de inhalatiecoëfficiënt voor leden van de bevolking van ICRP-119 gebruikt:
Lu-177 : $1{,}1 \cdot 10^{-9}$ Sv/Bq
Yb-169 : $2{,}50 * 10^{-9}$ Sv/Bq
Yb-175 : $6{,}50 * 10^{-10}$ Sv/Bq

Daarom wordt het Re_{inh}:

$$Re_{inh.Lu-177} = \frac{1}{1{,}10 \cdot 10^{-9}} = 9{,}09 \cdot 10^{8}\ Bq$$

$$Re_{inh.Yb-169} = \frac{1}{2{,}50 \cdot 10^{-9}} = 4{,}00 \cdot 10^{8}\ Bq$$

$$Re_{inh.Yb-175} = \frac{1}{6{,}50 \cdot 10^{-10}} = 1{,}54 \cdot 10^{9}\ Bq$$

Stap 2 - Berekening van de maximale jaarlijkse lozing van elk radionuclide ($A_{L.i}$):

De flacons waarin de radionucliden worden geleverd zijn afgesloten en worden in een hot cell geopend. Alle andere activiteiten met de radionucliden worden uitgevoerd in een hot cell. De target die is gearriveerd is al gesublimeerd in de hot-cells, dus niet in het B-laboratorium. Daarom wordt gesteld dat de parameter voor de verspreidingskans (*pi*) gelijk is aan -4.

Docusign Envelope ID: 6A209AAB-08DE-80F5-80F8-E4116323EF51

In de afvoer van de SHINE-faciliteit zullen hoog rendement deeltjesluchtfilters zijn opgenomen met een filterefficiëntie van minimaal 99,9%. Daarom wordt gesteld dat de effectiviteitsparameter voor het filtersysteem gelijk is aan 3.
De correctiefactor voor lozingen in lucht voor de fysische vervaltijd van de radionucliden is (CR_L):

Radionuclide	Vervaltijd	CR_L
Lu-177	6,6 dagen	1
Yb-169	32 dagen	1
Yb-175	4,2 dagen	1

Stap 3 - Berekening van de maximale jaarlijkse emissie vanuit de locatie (L_{max})

De maximale jaarlijkse emissie is:

$$L_{max} = [\ldots]CONF$$

Stap 4 - Bepalen van het afgeleide (secundaire) toetsingsniveau voor lozingen in lucht (L_{sn}):
De kortste afstand van het luchtlozingspunt (afvoer) tot de terreingrens is minder dan 50 meter. Daarom is het afgeleide toetsingsniveau voor lozingen in lucht gelijk aan 1.

Stap 5 - Toetsing van L_{max} aan L_{sn}:
Het resultaat van de toetsing van L_{max} aan L_{SN} is:

$$\frac{[\ldots]CONF}{1} = [\ldots]CONF\ en\ \gg 1$$

Aangezien het resultaat van de toetsing van L_{max} aan L_{SN} groter is dan 1, moet een uitvoerige analyse op basis van AGIS-deel II worden uitgevoerd.

Docusign Envelope ID: 6A209AAB-08DE-80F5-80F8-E4116323EF51

5 Lozingen in water

Voor mogelijke lozingen in het water wordt aangenomen dat er maximale jaaractiviteit Lu-177 op de faciliteit wordt verwerkt. Zoals vermeld in de paragraaf Lozingen in lucht, zijn de volgende radionucliden verantwoordelijk voor 99,9% van het totale Re_{ing}:

Radionuclide	Percentage totale Re_{ing}
Lu-177	91,6%
Yb-175	8,1%
Yb-169	0,2%

5.1 Rekenstappen:

Stap 1- Berekening van het radiotoxiciteitsequivalent ($Re_{ing.i}$):

De radiotoxiciteitsequivalent is gebaseerd op de inhalatiecoëfficiënt voor leden van de bevolking zoals deze in ICRP-119 zijn vermeld en wordt verstrekt als onderdeel van de Vbs. Deze waarde is de activiteit van een radionuclide die resulteert in een effectieve dosis van 1 Sv en is daarom radionuclidespecifiek. De formule voor het berekenen van de radiotoxiciteitsequivalent is:

$$Re_{ing.i} = \frac{1}{e_{ing.i}}$$

Waarin:

$Re_{ing.i}$ = radiotoxiciteitsequivalent voor ingestie van radionuclide i [Bq]

$e_{ing.i}$ = ingestiedosiscoëfficiënt van nuclide i voor volwassenen [Sv/Bq]

Stap 2 - Berekening van de maximale jaarlijkse lozing van elk radionuclide ($A_{L.i}$):

Op basis van de hoeveelheid radionucliden die in 1 jaar wordt gebruikt, het soort handelingen dat wordt verricht en de mogelijkheden tot verspreiding kan voor ieder radionuclide de maximale jaarlijkse lozing worden berekend:

$$A_{W,i} = \sum_{handeling} A_{inkoop,i} \cdot Z_i \cdot V_i \cdot W_i \cdot 10^{-si} \cdot CR_{W,i}$$

Waarin:

$A_{W.i}$ maximale (theoretisch mogelijke) emissie van radionuclide i in een jaar in water, gecorrigeerd voor cumulatie in het milieu [Bq]

$\sum A_{inkoop.i}$ som van alle handelingen die met deze nuclide worden uitgevoerd hoeveelheid van radionuclide i die in 1 jaar wordt gekocht voor een bepaalde handeling [Bq]

Docusign Envelope ID: 6A209AAB-08DE-80F5-80F8-E4116323EF51

Z_i	correctiefactor voor uitscheiding van patiënten
V_i	correctiefactor voor kans op lozing op het riool
W_i	correctiefactor voor uitscheiding van proefdieren
si =	effectiviteitsparameter voor het filter- of tanksysteem voor radionuclide i
$CR_{W.i}$ =	correctiefactor voor lozingen in water voor de fysische halveringstijd van radionuclide i

Stap 3 - Berekening van de maximale jaarlijkse emissie vanuit de locatie (L_{max})

$$W_{max} = \sum_{nuclide.i} \frac{A_{W.i}}{Re_{ing.i}}$$

W_{max} toont de maximale, theoretisch mogelijke, hoeveelheid radiotoxiciteitsequivalenten dat in 1 jaar in water kan worden geloosd.

Stap 4 - Bepalen van het afgeleide (secundaire) toetsingsniveau voor waterlozingen (W_{sn}):

Op basis van hoofdstuk 4.4.4 in de Vbs is de waarde van het afgeleide (secundaire) toetsingsniveau voor waterlozingen (W_{sn}) = 100.

Stap 5 - Toetsing W_{max} aan W_{sn}:

Na de analyse moet elk lozingspunt worden getoetst met gebruik van onderstaande formule.

$$\frac{W_{max}}{W_{sn}} \leq 1$$

Indien het resultaat van deze formule groter is dan 1, moet een berekening op basis van AGIS-deel II worden uitgevoerd.

5.2 Analyse

Stap 1- Berekening van het radiotoxiciteitsequivalent ($Re_{inh.i}$):

Voor stap 2 worden de waarden voor de ingestiedosiscoëfficiënt voor leden van de bevolking van ICRP119 gebruikt:
Lu-177 : $5{,}30*10^{-10}$ Sv/Bq
Yb-169 : $7{,}10*10^{-10}$ Sv/Bq
Yb-175 : $4{,}40*10^{-10}$ Sv/Bq

Daarom wordt het Re_{ing}:

$$Re_{ing.Lu-177} = \frac{1}{5{,}3 \cdot 10^{-10}} = 1{,}89 \cdot 10^{9}\ Bq$$

$$Re_{ing.Yb-169} = \frac{1}{7{,}1 \cdot 10^{-10}} = 1{,}41 \cdot 10^{9}\ Bq$$

Docusign Envelope ID: 6A209AAB-08DE-80F5-80F8-E4116323EF51

$$Re_{ing.Yb-175} = \frac{1}{4{,}4 \cdot 10^{-10}} = 2{,}27 \cdot 10^{9}\ Bq$$

Stap 2 - Berekening van de maximale jaarlijkse lozing van elk radionuclide ($A_{L.i}$):

Omdat er in de SHINE-faciliteit geen patiënten worden behandeld en geen proefdieren worden gebruikt, zijn de correctiefactoren Z_i en W_i allebei 1.

De fysische vorm waarin de radionucliden aanwezig zijn, is een vloeistof en er bestaat de mogelijkheid tot verspreiding van de besmetting. Daarom is de correctiefactor V_i gelijk aan 0,1.

De vervaltijd van de radionucliden bepaalt de waarde voor $CR_{W.i}$. Deze waarden worden als volgt bepaald:

Radionuclide	Halveringstijd	Grenswaarden (tabel 4.9 Vbs)	Correctiefactor
Lu-177	6,6 dagen	≤ 7,5 dagen	0,01
Yb-169	32 dagen	≤ 25 jaar	1
Yb-175	4,2 dagen	≤ 5 dagen	0,001

Theoretisch zijn er geen realistische lozingsroutes door het water:

- Er zijn geen routes voor vloeistoffen die worden gebruikt bij de reiniging van de apparatuur die mogelijk lozing op het riool zouden kunnen veroorzaken.
- Administratieve en persoonlijke beschermingsmiddelen (zoals werken met handschoenen en controleren op besmetting door hand- en voetmeters) zorgen er daarnaast voor dat handelingen zoals handenwassen geen realistische emissie in water vormen.
- Water dat is gebruikt voor decontaminatie wordt opgevangen in vloeistofvaten waarna het kan vervallen.

Omdat er in de faciliteit geen route is voor waterlozing, is er op de faciliteit ook geen waterzuiveringssysteem of tanksysteem aanwezig. De AGIS-methode levert voor deze situatie geen specifieke effectiviteitsparameter voor het filter- of tanksysteem. Daarom wordt parameter (si) voor de berekeningen op het maximum van 4 ingesteld.

Stap 3 - Berekening van de maximale jaarlijkse emissie vanuit de locatie W_{max})

De maximale jaarlijkse emissie wordt als volgt berekend:

$$W_{max} = [\ldots]CONF$$

Stap 4 - Bepalen van het afgeleide (secundaire) toetsingsniveau voor waterlozingen (W_{sn}):

Op basis van hoofdstuk 4.4.4 in de Vbs is de waarde van het afgeleide (secundaire) toetsingsniveau voor waterlozingen (W_{sn}) = 100.

Docusign Envelope ID: 6A209AAB-08DE-80F5-80F8-E4116323EF51

Stap 5 - Toetsing W_{max} aan W_{sn}:

Het resultaat van de toetsing van W_{max} aan W_{SN} is:

$$\frac{[..]CONF}{100} = [...]CONF\ en \ll 1$$

Omdat W_{max} << W_{SN} is er geen verdere analyse volgens AGIS-deel II is vereist.

Docusign Envelope ID: 6A209AAB-08DE-80F5-80F8-E4116323EF51

6 Conclusie

De resultaten van de berekeningen volgens AGIS-deel I voor de externe straling zijn lager dan de limiet voor het secundaire niveau van 40 µSv/jaar. Er is geen verdere analyse volgens AGIS-deel II vereist.
De resultaten van de berekeningen volgens AGIS-deel I voor de lozingen in lucht zijn hoger dan de limiet voor het secundaire niveau. Een verdere analyse volgens AGIS-deel II is vereist.
De resultaten van de berekeningen volgens AGIS-deel I voor de waterlozing zijn lager dan de limiet voor het secundaire niveau. Er is geen verdere analyse volgens AGIS-deel II vereist.

Bijlages bij AGIS DEEL 1

A: MicroShield®-modellen scenario A [CONF]
A: MicroShield®-modellen scenario B [CONF]
C: Plattegrond SHINE-faciliteit][CONF]
D: Terreingrenzen kavel
E: Intern transport berekeningen

Docusign Envelope ID: 6A209AAB-08DE-80F5-80F8-E4116323EF51

NADERE ANALYSE - DOVIS A

1 Inleiding

Volgens de richtlijnen van de Nederlandse overheid is een initiële milieu-effectberekening (ALARA-berekening) uitgevoerd door SHINE EU; de resultaten hiervan lagen boven de limiet van het secundair niveau. Daarom moet een diepgaandere milieuanalyse worden uitgevoerd om een vergunning te kunnen verkrijgen voor de nieuwe faciliteit. Volgens de Nederlandse wet moeten voor de volgende rekenstap de regels worden gevolgd die in de DOVIS-A-richtlijnen staan vermeld [5].
De DOVIS-A beschrijft diverse categorieën berekeningen met betrekking tot milieuveiligheid en de veiligheid van mensen die uitgevoerd dienen te worden. Dit zijn dispersie van radioactieve stoffen aan de atmosfeer, water, aarde en voedsel. Dit rapport richt zich specifiek op de berekening van atmosferische lozingen. De reden is dat volgens DOVIS-A, "Als de maximumconcentratie op grondniveau [van atmosferische verspreiding] wordt berekend binnen 100m afstand van de bron, er geen verdere dispersie- en depositieberekeningen hoeven te worden uitgevoerd met het Nieuw Nationaal Model (NNM). De dosisberekeningen kunnen dan worden gericht op directe blootstelling aan de lozingen in lucht via externe straling en inhalatie." [5] Dit impliceert dat water-, aarde- en voedselberekeningen niet vereist zijn indien kan worden aangetoond dat de maximale concentraties van Lu-177, Yb-169 en Yb-175 zich binnen 100 meter van het lozingspunt van het gebouw bevinden. Ook betekent dit dat het uitgebreide Nieuw Nationaal Model (NNM) dat focust op de atmosferische verspreiding tussen 100 meter en 25 kilometer van de bron, niet vereist is. Voor de initiële atmosferische verspreiding vereist DOVIS-A het gebruik van het SCREEN-model, een gratis model beschikbaar gesteld door de Milieubeschermingsagentschap (EPA) van de Verenigde Staten.
Het SCREEN-model met als nieuwste versie SCREEN3, is een eenvoudig model voor het berekenen van de concentraties vervuilende stoffen afkomstig van individuele bronnen [6]. Dit model maakt gebruik van een verscheidenheid aan parameters, van gebouwafmetingen tot emissie-eigenschappen. Dit model is gebruikt als basis voor deze analyse.

2 SCREEN-model

DOVIS-A focust op de radiologische emissies van het gebouw bij normaal bedrijf. Emissies als gevolg van abnormale gebeurtenissen of calamiteiten worden behandeld in afzonderlijke rapporten en analyses. Twee nominale processen zijn geïdentificeerd als bronnen voor de regelmatige lozing van radioactieve stoffen aan het milieu; de bulk-scheidingsprocedure van de target en de procedure voor kwaliteitscontrole (KC) met gebruik van de inductief gekoppelde plasmamassaspectrometrie (ICP-MS). Bij de bulk-scheiding betreft het een geactiveerd en zeer verrijkt Yb-176-metaaltarget. De bulk-scheiding wordt uitgevoerd om Ytterbium te scheiden van het gewenste Lu-177. Dit proces wordt bij hoge temperatuur en lage druk uitgevoerd en betreft drie belangrijke radionucliden (isotopes of interest): Yb-169, Yb-175 en Lu-177. In de target zijn diverse andere radionucliden aanwezig, deze worden als in verhouding insignificant beschouwd. Zie bijlage 1 voor de analyse van deze overige radionucliden. Omdat het proces bij een hoge temperatuur en lage druk plaatsvindt, bestaat de kans

Docusign Envelope ID: 6A209AAB-08DE-80F5-80F8-E4116323EF51

dat er een klein gedeelte deze radioactieve stoffen tijdens het proces vanuit het gebouw worden geloosd.
Gedurende het gehele proces wordt de ICP-MS-procedure meerdere malen uitgevoerd, door kleine monsters van het materiaal af te nemen om de radionucliden te analyseren. Omdat tijdens ICP-MS de monsters worden verdampt, is er ook een kans dat dit verdampte materiaal kan ontsnappen en vanuit het gebouw wordt geloosd.
Als de faciliteit op de volle vergunde capaciteit draait, zullen deze processen meerdere malen per week plaatsvinden. Dit resulteert in meerdere pulslozingen van radioactiviteit per jaar. DOVIS-A stelt dat tenzij kan worden aangetoond dat het effect van een pulslozing significant anders is dan een continue lozing, een continue lozing moet worden aangenomen[5]. Daarom is aangenomen dat deze meerdere emissies in de loop van het jaar gelijkmatig zijn afgevoerd vanaf een enkel lozingspunt. Het SCREEN-model kan echter alleen met een enkele puntbron per keer werken. Daarom is het model voor elk van de radionucliden eenmaal uitgevoerd, waarbij he resultaat van de einddoses de optelling van de doses van de verschillende radionucliden is. Tenslotte zijn hetzelfde gebouwontwerp plus emissies honderden keren uitgevoerd bij veranderde buitentemperatuur, afvoerluchttemperatuur en variabiliteit van de HVAC, om te toetsen of het gebouw bij alle mogelijke wijzigingen nog steeds aan de eisen voldoet. Hieronder staan de diverse gegevens die volgens het SCREEN-model vereist zijn en de geselecteerde waarde(n) vermeld.

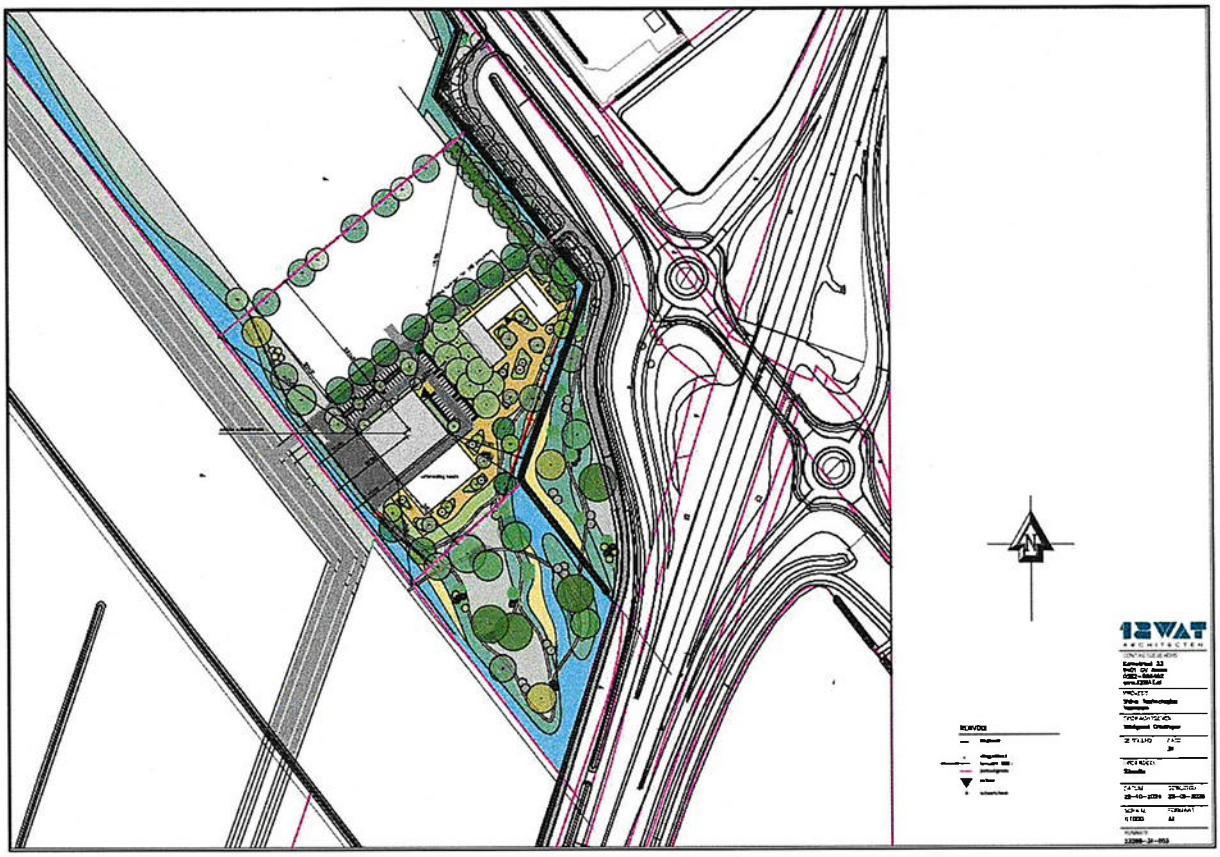
2.1 In het model ingevoerde waarden

Gebouweigenschappen

Terreingrens

Het DOVIS-A-document geeft specifiek aan dat het blootstelling van leden van de bevolking buiten de terreingrens beoordeelt. Dit betekent dat doses die binnen de terreingrens worden berekend, niet van belang zijn omdat die doses van toepassing zijn op werknemers. Daarom is de maximum dosis buiten de terreingrens het belangrijkste blootstellingsgetal dat wordt berekend en getoetst.
De SHINE EU Tx-faciliteit wordt gebouwd op een kavel in het gebied Dallen III in Veendam-Zuid. De terreingrens (rood) en de locatie van het Tx-gebouw staan hieronder weergegeven in Afbeelding 1.

Docusign Envelope ID: 6A209AAB-08DE-80F5-80F8-E4116323EF51



Afbeelding 1: Terreinplattegrond SHINE Europe Tx in Dallen III.

Voor deze analyse wordt aangenomen dat de locatie van het lozingspunt zich in het midden van het gebouw bevindt. Op basis hiervan is de kortste afstand tussen het lozingspunt en de terreingrens van de SHINE EU Tx-faciliteit ongeveer 58 meter. Maar omdat de DOVIS-A-berekening rekening houdt met de historische windgegevens in dit gebied, is deze locatie met de kortste afstand niet noodzakelijkerwijs de locatie met de hoogste jaardosis. Daarom is de exacte vorm en oriëntatie van de vestiging belangrijk voor de analyse. De details van deze geospatiale analyse worden verderop in dit document beschreven.

Gebouwafmetingen

De beoogde SHINE Tx-faciliteit krijgt een lengte van 45,5 meter, een breedte van 38,6 meter en een hoogte van 8 meter.

Locatie lozingspunt

De locatie van het lozingspunt op het dak van de SHINE Tx-faciliteit bevindt zich in het midden van het dak van het gebouw, wat ook de standaardaanname is in het SCREEN-model.

Hoogte lozingspunt

De schoorsteen wordt bevestigd op het dak van het gebouw; daarom is de hoogtemeting van de schoorsteen de hoogte van het lozingspunt boven het dak van het gebouw en niet de absolute hoogte

Docusign Envelope ID: 6A209AAB-08DE-80F5-80F8-E4116323EF51

van het lozingspunt boven de grond. De hoogte van de schoorsteen op het gebouw is 2 meter; dit komt overeen met de minimumhoogte vereisten voor een schoorsteen in Nederland van 2 meter.

Volumestroom/afzuigsnelheid lozingspunt

Het HVAC-systeem is ontworpen voor een maximale afzuiging van 37474 m^3/uur. Maar deze maximale afzuiging vindt alleen plaats als alle systemen en individuele ruimtes op 100% capaciteit draaien. Wanneer één of beide procesruimtes niet worden gebruikt, is de totale luchtstroom uit het lozingspunt minder. Daarom zijn om rekening te houden met deze wisselende afvoer van de HVAC, de volgende percentages van het maximumdebiet gebruikt: 48%, 52%, 56%, 60%, 64%, 68%, 72%, 76%, 80%, 84%, 88%, 92%, 96%, en 100%.
Het HVAC-systeem wordt zodanig ontworpen dat bij 100% capaciteit de snelheid van de uitblaaslucht 9,5 m/s is. De afzuigsnelheid neemt af naarmate de HVAC-afvoer afneemt.

Effectieve binnendiameter lozingspunt

Het SCREEN-model kijkt in de berekeningen vooral naar de totale volumestroom en afzuigsnelheid. Daarom is voor het SCREEN-model de daadwerkelijke vorm van het lozingspunt niet belangrijk; het kan een cirkel of een rechthoek, enz. zijn. Al deze parameters komen samen in Vergelijking 1.

$$\dot{V} = A * v$$

Waarin:

$\dot{V}: Volumestroom \left[{}^{m^3}/_{s}\right]$
$A: Dwarsdoorsnede - oppervlak\ [m^2]$
$v: Afzuigsnelheid [{}^{m}/_{s}]$
Vergelijking 1: Formule voor luchtstroomsnelheid

Het oppervlak van de dwarsdoorsnede van het lozingspunt blijft in deze vergelijking constant in de modellering, terwijl de andere parameters variëren als gevolg van de verschillende operationele configuraties, zoals uitgelegd in de paragraaf over volumestroom hierboven. Om de gewenste maximale HVAC-afvoer als boven omschreven te bereiken, is een dwarsdoorsnede van circa 1,1 m^2 vereist om een debiet van 37474 m^3/uur en een afzuigsnelheid van 9,5 m/s te bereiken. De standaard geometrie voor het dwarsdoorsnede-oppervlak dat het SCREEN-model gebruikt is een cirkel. Daarom is in deze analyse voor het lozingspunt een binnendiameter van 1,18 meter gebruikt aangezien dit gelijk is aan een dwarsdoorsnede-oppervlak van 1,1 m^2.

Uitlaat temperatuur

De uitlaattemperatuur is variabel en hangt af van de binnentemperatuur van het gebouw. Daarom is een reeks temperaturen gebruikt. De Amerikaanse Food and Drug Adminstration beschouwt een luchttemperatuur tussen 20 en 25°C als een 'comfortabele werkomgeving' voor een laboratorium[7]. Daarom zijn de gebruikte afzuigtemperaturen 20 en 25°C.

Docusign Envelope ID: 6A209AAB-08DE-80F5-80F8-E4116323EF51

Omgevingstemperatuur

Het DOVIS-A-document beschrijft niet hoe moet worden omgegaan met de omgevingstemperatuur van de buitenlucht. De temperatuur van de buitenlucht is belangrijk omdat deze effect heeft op hoe de afgezogen lucht uit het lozingspunt door de omgeving beweegt. De meest accurate wijze om dit te modelleren zou zijn om per uur een dosisberekening voor het gehele jaar te maken met de gemiddelde temperatuur op enig moment en om vervolgens al deze uurdoses op te tellen om de definitieve jaardosis te berekenen. Dit zou echter een aanzienlijke hoeveelheid computertijd vergen. Daarom heeft, om de computertijd te beperken en ook conservatief te blijven met betrekking tot de einddosis, is het model alleen uitgevoerd voor enkele specifieke buitenluchttemperaturen. In de resultaten wordt bijvoorbeeld aangenomen dat de buitentemperatuur het gehele jaar constant is terwijl een persoon wordt blootgesteld.

De buitentemperaturen die in het model zijn gebruikt, zijn gekozen om het standaardweer in Veendam te vertegenwoordigen. Volgens Weather Spark, "Over the course of the year, the temperature [in Veendam] typically varies from 32°F [0°C] to 72°F [22.2°C] and is rarely below 18°F [-7.8°C, 10^{th} percentile] or above 83°F [28.3°C, 90^{th} percentile]" [3]. Op basis van deze informatie zijn als omgevingstemperaturen voor het model 0, 2,5, 4,9, 7,4, 9,9, 12,3, 14,8, 17,3, 19,8 en 22,2°C gebruikt. De 10^{e} en 90^{ste} percentieltemperaturen zijn genegeerd omdat ons vereenvoudigde temperatuurmodel het reeds onrealistische scenario aanneemt dat de temperatuur het gehele jaar of 0 of 22,2°C is; temperaturen van het 10^{e} en 90^{e} percentiel komen zeer zelden voor; het is daarom zelfs nog onrealistischer om aan te nemen dat deze zeldzame temperatuur gedurende het hele jaar zouden voorkomen.

Stedelijk/landelijk

In het SCREEN-model moet de locatie ofwel stedelijk (urban) ofwel landelijk (rural) zijn. SCREEN verwijst naar bijlage W bij 40 CFR deel 51 met de uitleg over hoe de regio moet worden gedefinieerd [6]. Volgens deze bijlage wordt een streek beschouwd als stedelijk als aan tenminste een van de volgende voorwaarden is voldaan:

1. Als meer dan 50% van het land binnen een 3km-radius kan worden gecategoriseerd als industrieel, commercieel of residentieel.
2. Als de bevolkingsdichtheid rond de bron groter is dan 750 personen/km^2

De SHINE EU Tx-faciliteit wordt gebouwd in het gebied Dallen III in Veendam-Zuid. De bevolkingsdichtheid van Veendam is globaal 363 mensen/km^2 zodat deze onder de classificatie "stedelijk" valt [8]. Maar dezelfde gegevensbron schat de regio Veendam in als '82% verstedelijkt'; hoewel de exacte definitie hiervan niet duidelijk is. Omdat er geen objectieve bron is over de categorie van het gebied en het niet duidelijk is hoe de SHINE Tx-faciliteit moet worden gecategoriseerd, is voor elk scenario ook een stedelijke en een landelijke variant uitgevoerd.

Docusign Envelope ID: 6A209AAB-08DE-80F5-80F8-E4116323EF51

Emissie-eigenschappen

Soort radioactieve bron

Het SCREEN-model biedt vier keuzes voor de soort bron: Punt, vlak, fakkel en volume. Het lozingspunt van de SHINE Tx-faciliteit wordt het best vertegenwoordigd door een puntbron; daarom is voor de analyse puntbron gebruikt.

Emissiesnelheid radionuclide

Twee processen blijken een bron van radionuclide emissies uit het gebouw te zijn: de bulk-scheiding van de radioactieve target en de ICP-MS KC-testprocedure. Beide worden op verschillende tijden en in verschillende ruimtes uitgevoerd. Maar zoals eerder aangegeven, wordt aangenomen dat de emissies voor deze processen zich gedurende het hele jaar uniform verspreiden. Deze beide processen hebben verschillende stralingsbronnen en hoeveelheden, en daarom zijn ze verdeeld in twee gedeeltes. Wat betreft de uniforme emissies zijn deze twee individuele emissiebronnen echter bij elkaar opgeteld om voor de modellering tot een enkele bron te komen.

Bulk-scheidingsproces

Er zijn geen daadwerkelijke emissiesnelheden voor het beoogde gebouw; er zijn echter wel experimentele en echte prestatiegegevens afkomstig van de SHINE US-faciliteit, gevestigd in Janesville, Wisconsin, van het bulk-scheidingsproces dat gebruikt is om de maximaal mogelijke emissies voor de Ytterbium en Lutetium radionucliden te binden. De hot cell heeft een hoog rendement deeltjesluchtfilter met een minimale efficiëntie van 99,97% voor de uitblaaslucht. Daarna kom het gas via het lozingspunt ongehinderd in het milieu.
In plaats van gegevens die aantonen hoeveel van de verloren Ytterbium- en Lutetium de vacuümruimte verlaat, de hot cell binnengaat en door het hoog rendement deeltjesluchtfilter van de hot cell gaat migreren, hebben we aangenomen dat 100% van het verloren materiaal tot het hoog rendement deeltjesluchtfilter komt, in plaats van te condenseren en af te zetten op de relatief koele materialen in de hot cell. Hierdoor zijn de emissiesnelheden en dus ook de einddosisresultaten een conservatieve benadering van de nominale operationele werkzaamheden.
De dosisberekening vereist individuele concentraties voor alle belangrijke radionucliden. Daarom is het SCREEN-model voor elk van de drie onderzochte radionucliden eenmaal uitgevoerd: Lu-177, Yb-169 en Yb-175 (zie bijlage 1 voor de redenering over waarom uitsluitend deze drie radionucliden zijn gekozen). Elke radionuclide heeft een unieke emissiesnelheid gebaseerd op bovengenoemde retentie-/terugwinningssnelheid en de radionuclideconcentratie op het moment van bulkscheiding. De activiteit van de Ytterbium-radionucliden vergeleken met Lu-177 staat vermeld in tabel 1.

Tabel 1: Activiteit van verontreinigingen ten opzichte van de Lu-177-activiteit bij aankomst in het SHINE Tx-gebouw.

$[\cdots]^{CONF}$

Er zijn andere parameters vereist om de emissiesnelheid in gram per seconde te berekenen. De specifieke activiteit van elke radionuclide is vereist om te converteren van eenheden activiteit naar eenheden van massa. De specifieke activiteiten voor Lu-177, Yb-169 en Yb-175 zijn 4,07, 0,89 en 6,66 [TBq/mg] respectievelijk [9].

Docusign Envelope ID: 6A209AAB-08DE-80F5-80F8-E4116323EF51

Dus met deze doorvoer, de activiteit in de retentie-/terugwinningspercentages en het hoog rendement deeltjesluchtfilter in de hot cel, zijn de nominale emissiesnelheden van elk radionuclide berekend. Deze vergelijking staat hieronder vermeld in Vergelijking 1 een samenvatting van de resultaten staat vermeld in Tabel 2.

$$\dot{E}_i = \dot{A}_i * \frac{1}{S_i} * (1 - r_i) * (1 - f) * \left(\frac{1\ week}{604800\ seconden}\right)$$

Waarin:

$\dot{E}_i$: *Emissiesnelheid van radionuclide i* $\left[{}^{g}/_{s}\right]$

$\dot{A}_i$: *Wekelijkse activiteitsdoorvoer van radionuclide i* $\left[{}^{Bq}/_{week}\right]$

S_i: *Specifieke activiteit van radionuclide i* $\left[{}^{Bq}/_{g}\right]$

r_i: *Sublimatieretentie −/terugwinningspercentage voor radionuclide i*

f: *hoog rendement deeltjesluchtfilterefficiëntie in een hot cell*

Vergelijking 2: Vergelijking emissiesnelheid bulk-scheiding

Tabel 2: Bulk-scheidingsemissiesnelheden met een minimale hoog rendement deeltjesluchtfilterefficiëntie in de hot cell van 99,97%.

$[\cdots]^{CONF}$

ICP-MS KC-proces

Er worden meerdere ICP-MS-analyses uitgevoerd in de verschillende stadia van het gehele productieproces, om de isotopische zuiverheid van het materiaal te meten. Van elke target die wordt verwerkt, wordt in totaal grofweg 3,7 GBq (100 mCi) via het ICP-MS in de KC-ruimte getoetst. Verderop in het productieproces is de meerderheid van de Yb-radionucliden verwijderd, zodat het materiaal dat getoetst wordt voornamelijk gaat bestaan uit Lu-177. Echter, om conservatief te zijn, is aangenomen dat de concentraties Yb-onzuiverheden die in tabel 1 staan vermeld, bij alle ICP-MS-toetsen aanwezig blijven. Ook is conservatief aangenomen dat 100% van het materiaal dat bij de ICP-MS-toetsen wordt gebruikt wordt verdampt en uit de ruimte wordt afgezogen. De HVAC-afzuiging van het KC-lab is uitgerust met een hoog rendement deeltjesluchtfilter met minimaal 99,97% filtrering.

Met deze gegevens, de activiteitsverhoudingen en het KC-hoog rendement deeltjesluchtfilter zijn de nominale emissiesnelheden van elke radionuclide berekend. Deze vergelijking staat hieronder vermeld in Vergelijking 3 en een samenvatting van de resultaten staat vermeld in **Fout! Verwijzingsbron niet gevonden.**.

$$\dot{E}_i = N * S_{icp} * I_i * \frac{1}{S_i} * (1 - f) * \left(\frac{1\ week}{604800\ seconden}\right)$$

Waarin:

$\dot{E}_i$: *Emissiesnelheid van isotoop i* $\left[{}^{g}/_{s}\right]$

N: *Wekelijkse targetdoorvoer* $[targets/week]$

S_{icp}: *Totale ICP − monsteractiviteit per target* $\left[{}^{Bq\ Lu^{177}}/_{target}\right]$

I_i: *Isotoopconcentratie* $\left[{}^{Bq\ van\ isotoop\ i}/_{Bq\ Lu^{177}}\right]$

Docusign Envelope ID: 6A209AAB-08DE-80F5-80F8-E4116323EF51

S_i: *Specifieke activiteit van isotoop i* $\left[{}^{Bq}/_{g}\right]$
f: *hoog rendement deeltjesluchtfiltereffiëntie in een hot cell*
Vergelijking 3: Vergelijking ICP-MS emissiesnelheid

Tabel 3: ICP-MS emissiesnelheden met een minimale hoog rendement deeltjesluchtfilterefficiëntie in de hot cell van 99,97%.

$[\cdots]^{CONF}$

Samenvatting radionuclide emissies

Uit de combinatie van de bulk-scheiding en de ICP-MS-emissiesnelheden worden de totale radionuclide emissies berekend die het lozingspunt verlaten en in het milieu terechtkomen. De definitieve totale emissies staan hieronder vermeld in tabel 4.

Tabel 4: Gemiddelde totale jaarlijkse radionuclide emissies uit het lozingspunt.

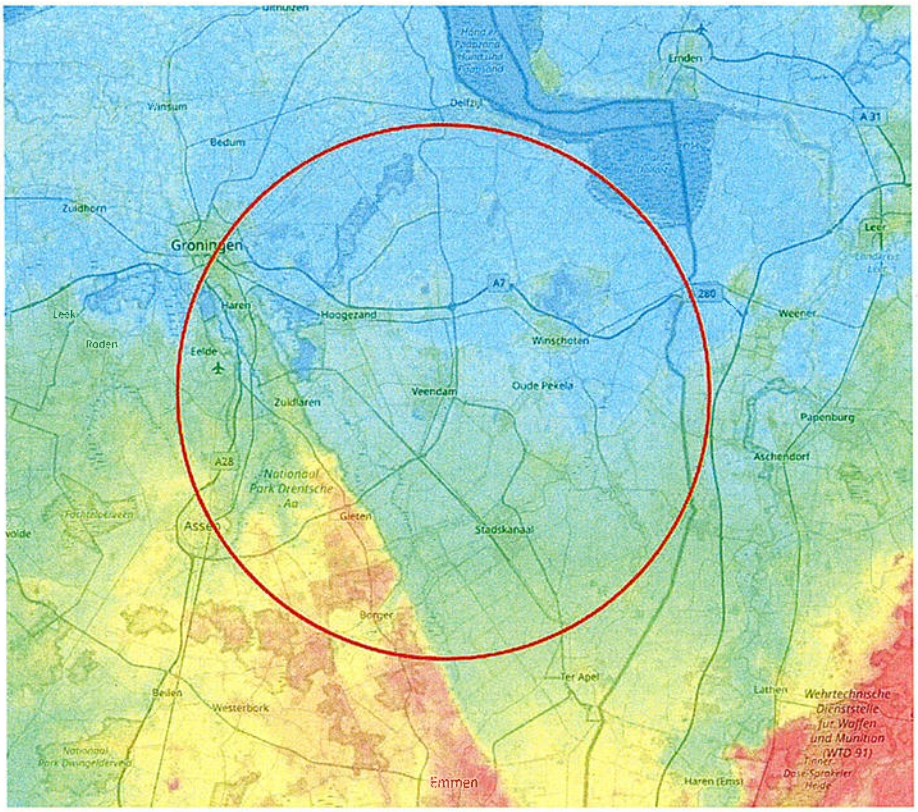
$[\ldots]^{CONF}$

Op basis van tabel 4 is naar schatting ruwweg 95% van alle emissies afkomstig van het bulk-scheidingsproces; het resterende deel is afkomstig van het ICP-MS-proces.

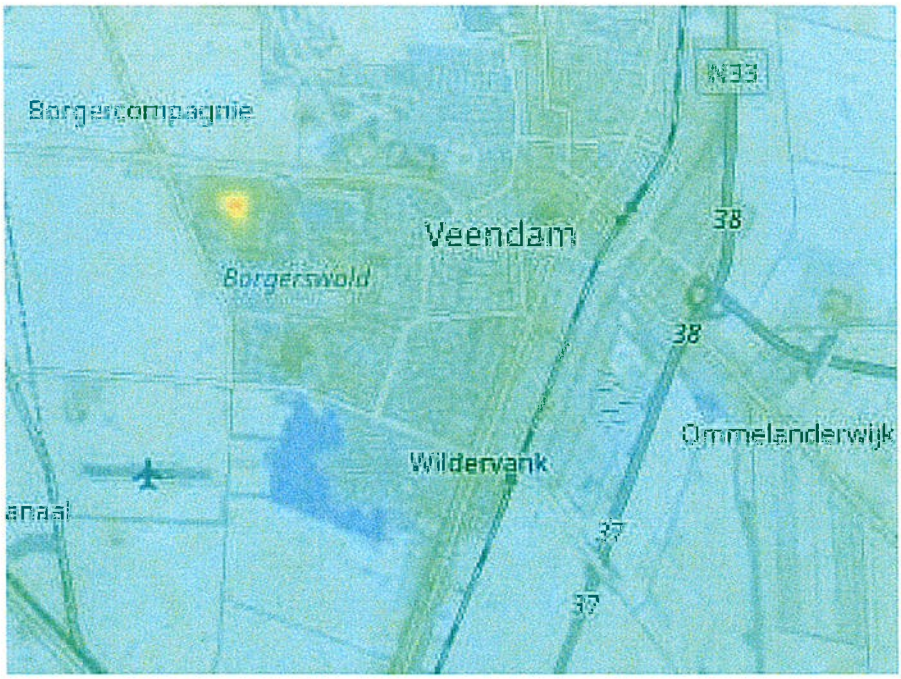
Terreinopties

Het SCREEN-model biedt diverse terreinopties; het is echter niet mogelijk om het exacte terrein nauwkeurig te modelleren. Dit komt omdat het model aanneemt dat de hoogtegegevens die worden aangeleverd, radiaal symmetrisch zijn. Dit houdt in dat wanneer er een bergketen aan één kant van het gebouw is maar niet aan de andere kant, deze asymmetrie niet wordt gemodelleerd. DOVIS-A biedt geen richtlijnen voor de modellering van het terrein. Dit is geen probleem voor het terrein binnen 100 meter afstand van de beoogde vestiging, aangezien dit gebied in principe vlak is. Het SCREEN-model dient ook aan te tonen dat de maximale luchtconcentratie van de bron niet verder dan 100 meter van het lozingspunt verwijderd is. Daarom is het terrein binnen 25 kilometer afstand van het gebouw, de maximumreikwijdte van het SCREEN-model meegenomen.
Het SCREEN-model heeft 3 opties voor terrein. De eenvoudige optie moet worden gebruikt als het terrein niet hoger wordt dan de onderkant van het lozingspunt. Deze optie is gebruikt voor de berekeningen binnen 150 m afstand van het gebouw. De tweede optie is verhoogd gebied dat geldt wanneer het terrein hoger wordt dan de hoogte van het gebouw maar niet hoger dan de hoogte van het lozingspunt. Aangezien het lozingspunt voor het beoogde gebouw relatief klein is, is deze optie vrij onpraktisch en daarom niet gebruikt. De laatste optie is die voor een complex terrein waarbij het terrein hoger wordt dan de bovenkant van het lozingspunt. Er zijn vier primaire topografische kenmerken binnen 25 kilometer afstand van de vestiging die hoger zijn dan de potentiële hoogte van het lozingspunt. Deze worden weergegeven in Afbeelding 2 en Afbeelding 3 hieronder.

Docusign Envelope ID: 6A209AAB-08DE-80F5-80F8-E4116323EF51



Afbeelding 2: Hoogtekaart omgeving Veendam. De rode cirkel geeft de straal van 25km rond de stad weer. *[10]*



Afbeelding 3: Heuvel in de buurt van Veendam. *[10]*

Docusign Envelope ID: 6A209AAB-08DE-80F5-80F8-E4116323EF51

Afbeelding 2 laat een duidelijke heuvelrug ten zuidwesten van Veendam zien. Omdat het onmogelijk is om deze gehele heuvelrug accuraat te modelleren, zijn er drie locaties in de buurt van bevolkingscentra gekozen die een vrij beeld geven van het terrein. Het eerste punt is de maximale hoogte van de heuvelrug binnen een straal van 25 km van de faciliteit, ruwweg 27,3 m boven NAP net ten noorden van de plaats Borger; dit punt wordt het Drouwen-punt genoemd en bevindt zich op 15,0 km afstand van de SHINE-faciliteit. Het tweede punt is de plaats Gieten, op 11,1 km afstand van de voorgestelde faciliteit, op ruwweg 21,3 m boven NAP. En het laatste punt is de plaats Zuidlaren, op 13,4 km afstand van de voorgestelde faciliteit, op ongeveer 12 m (40 ft) boven NAP. Afbeelding 3 laat een opvallende heuvel net ten westen van Veendam zien. Deze heuvel ligt op 4,0 km afstand van de voorgestelde faciliteit en is ongeveer 19,2 m boven NAP, wat een sterk contrast vormt met de omgeving. Al deze vier punten worden onafhankelijk gemodelleerd naast een model dat simpelweg uitgaat van een vlak terrein. De voorgestelde SHINE EU Tx-faciliteit ligt op een hoogte van ongeveer 1,5 m boven NAP.

Samenvatting

Het SCREEN-model is, met alle verschillende invoergegevens, in totaal 1680 keer uitgevoerd; met andere woorden, er zijn 560 unieke scenario's uitgevoerd voor elk van de 3 radionucliden. De resultaten van al deze modellen zijn geanalyseerd om ervoor te zorgen dat het gebouwontwerp leidt tot doses voor de bevolking die onder de MID liggen en concentraties waarvoor het gebruik van het NNM voor enige temperatuur van de afvoerlucht, de buitentemperatuur of de HVAC-uitstroom niet vereist is.

Docusign Envelope ID: 6A209AAB-08DE-80F5-80F8-E4116323EF51

3 Methodiek analyses

DOVIS-A bevat vergelijkingen om de jaarlijkse inhalatie- en submersiedosis te berekenen met een radionuclideconcentratie op bodemniveau. Het SCREEN-model berekent radionuclideconcentraties op bodemniveau, maar deze concentraties zijn eendimensionaal (1D) een functie van de benedenwindse afstand van het lozingspunt. De richtlijnen vereisen dat de jaarlijkse dosistempo's worden berekend op locatiebasis; omdat de wind gedurende het jaar voortdurend verandert, veranderen ook de benedenwindse locaties in deze SCREEN-resultaten tijdens het jaar voortdurend. DOVIS-A biedt een algemene richtlijn en een vergelijking om deze 1D-benedenwindse resultaten te converteren naar geldige dosisresultaten [5]. Voor een willekeurige locatie moet de verstrekte wake-vergelijking worden gebruikt met historische windrichtingsgegevens om te berekenen welk deel van het jaar iemand die op deze locatie staat benedenwinds zou zijn en daarmee blootgesteld aan de radionuclidepluim uit het lozingspunt. Dit houdt in dat het jaarlijkse dosistempo een functie is van de locatie ten opzichte van het lozingspunt. Omdat in dit geval alleen de dosis voor leden van de bevolking belangrijk is, betekent dit dat de jaardosis ook een functie is van de locatie ten opzichte van de terreingrens. Daarom wordt de gehele analyse een geospatiaal probleem, en belangrijker nog, een probleem waarbij er niet een enkele locatie is die voor enig scenario altijd de locatie met de hoogste dosis is. De geospatiale doses zijn voor elk scenario op 90601 locaties berekend met een cartesiaanse mesh-methodologie op basis van Vergelijking 4 hieronder. De cartesiaanse mesh die voor de analyse is gebruikt is een mesh met mazen van 1 meter bij 1 meter die zich uitstrekt van 150 meter ten noorden, oosten, zuiden en westen van de lozingspuntlocatie, oftewel een mesh ter grootte van 301 bij 301 met op elke 1 meter een locatie.

$$E(x,y) = D(x,y) \cdot A(x,y) \cdot P(x,y)$$

Waarin:

$E(x,y)$: $Mesh\ jaardosis\ [Sv/jaar]$
$D(x,y)$: $Dosis - mesh\ worst - case\ scenario\ [Sv/jaar]$
$A(x,y)$: $Mesh\ aandeel\ jaarlijkse\ blootstelling$
$P(x,y)$: $Mesh\ publieke\ toegang$

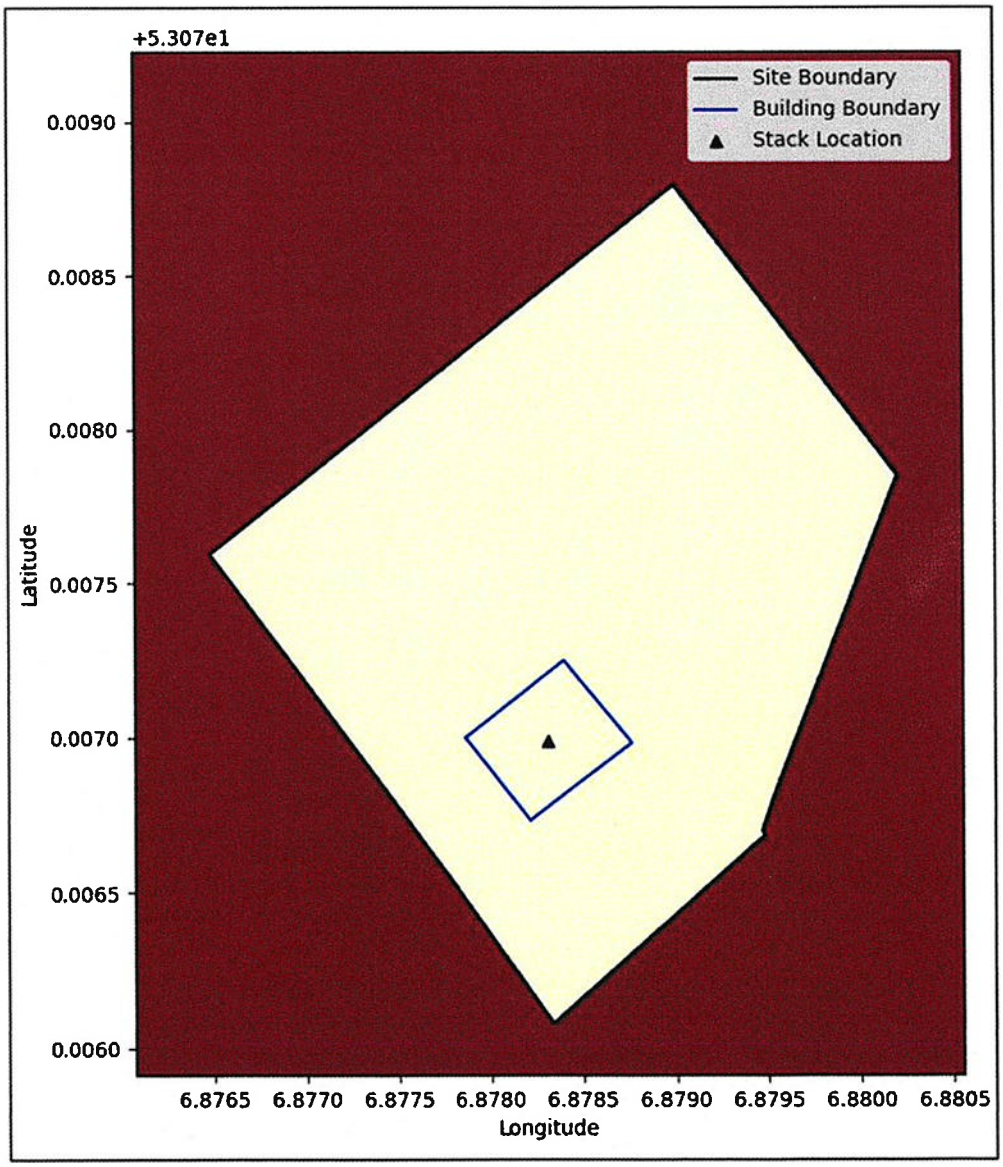
Vergelijking 4: Berekening mesh jaardosis

De mesh worst-case jaardosis wordt berekend met de concentratieresultaten van SCREEN en de inhalatie- en submersiedosisvergelijkingen van DOVIS-A. De mesh neemt aan dat de locatie 100% van het jaar wordt blootgesteld. Daarom moet deze worst-case mesh-dosis worden gecorrigeerd voor het weer. De mesh jaarlijkse blootstelling doet deze correctie door de historische windgegevens en wakevergelijking te gebruiken om te berekenen welk deel van het jaar een locatie wordt blootgesteld aan de uitlaatpluim. Tot slot worden deze resultaten vermenigvuldigd met de mesh voor publieke toegang, op Boolean gebaseerd, die de terreingrens van de locatie gebruikt om alle doses die niet toegankelijk zijn voor het publiek uit te sluiten. De maximale waarde van deze definitieve jaardosis-mesh is de dosis die is gebruikt, samen met de maximale concentratieafstand, om te toetsen of een scenario aan alle vereisten voldoet. Elk van deze meshes wordt in de paragrafen hieronder uitgebreider besproken. Voor de geospatiale berekeningen in deze analyse is gebruik gemaakt van een open-souce python-library genaamd GeoPy [11].

Docusign Envelope ID: 6A209AAB-08DE-80F5-80F8-E4116323EF51

3.1 Mesh openbare toegang

Aangezien alleen de doses voor de bevolking van belang zijn, was er voor de mesh-berekening een methode nodig voor het negeren van doses in ruimten die niet toegankelijk zijn voor leden van de bevolking. Van elke locatie in de cartesiaanse mesh is bepaald dat deze ofwel publiekelijk toegankelijk was of dat deze niet de coördinaten van de terreingrens en geometrie gebruikte. Locaties die toegankelijk zijn voor leden van de bevolking kregen een waarde van 1,0 en locaties binnen de het terrein van SHINE kregen een waarde van 0,0. Op deze manier is de mesh openbare toegang een Booleaanse mesh. De mesh voor publieke toegang wordt hieronder weergegeven in Afbeelding 4. Locaties in rood zijn toegankelijk voor leden van de bevolking.



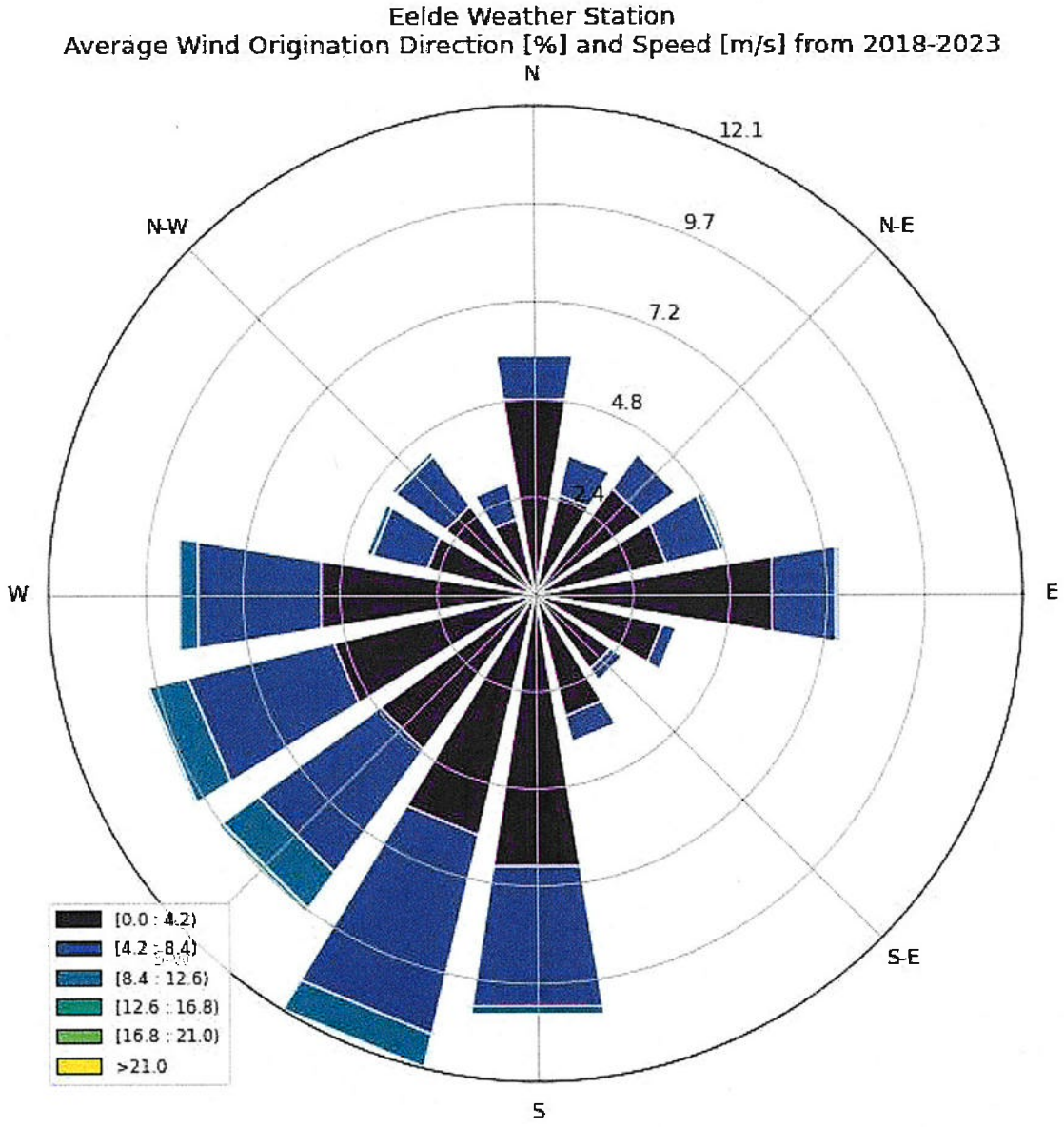
Afbeelding 4: Mesh openbare toegang voor de Tx-vestiging van SHINE Europe

Docusign Envelope ID: 6A209AAB-08DE-80F5-80F8-E4116323EF51

3.2 Jaarlijkse blootstelling in mesh

Het SCREEN-model berekent een concentratie per uur op bodemniveau als een functie van de benedenwindse afstand van het lozingspunt. Hierbij wordt echter de windrichting niet meegenomen, wat de concentratie op bodemniveau een tweedimensionaal probleem maakt. Als de wind niet wordt meegenomen, wordt de jaardosis overschat omdat dan ten onrechte wordt aangenomen dat de hypothetische beschouwde locatie zich altijd benedenwinds van het lozingspunt bevindt, ongeacht het feit dat de windrichtingen gedurende het hele jaar van uur tot uur aanzienlijk verschillen. Het weerstation Eelde, op ongeveer 20 km afstand ten westen van Veendam, is gebruikt als bron voor gegevens over het weer in de buurt van de beoogde SHINE Tx-faciliteit. Voor deze berekeningen zijn vijf jaar aan gegevens over wind- en temperatuur op elk uur van de dag gebruikt. De resulterende windrichtingsgegevens zijn afgebeeld in Afbeelding 5 hieronder.

Docusign Envelope ID: 6A209AAB-08DE-80F5-80F8-E4116323EF51



Afbeelding 5: Windstatistieken voor weerstation Eelde (op ong. 20 km ten westen van Veendam) op basis van uurmetingen tussen 2018 en 2023 *[12].*

Afbeelding 5 laat zien dat de wind het meest uit het zuidwesten komt. Daarom is de hypothese dat een persoon die zich ten noordoosten van het lozingspunt bevindt een significant hogere jaardosis krijgt dan een persoon die zich ten zuidwesten van het lozingspunt bevindt.
Om de breedte van de afvoerpluim te modelleren zodat kan worden ingeschat hoe lang iemand in een jaar aan de besmette afvoerpluim wordt blootgesteld, biedt DOVIS-A een vereenvoudigd wake-model. Dit model neemt aan dat de pluim een effectieve breedte heeft die equivalent is aan de breedte van het betreffende gebouw. Dit betekent dat hoe dichter iemand zich bij het gebouw bevindt, hoe meer windrichtingen deze persoon blootstellen aan de afvoer. Vergelijking 5 hieronder toont de methode

Docusign Envelope ID: 6A209AAB-08DE-80F5-80F8-E4116323EF51

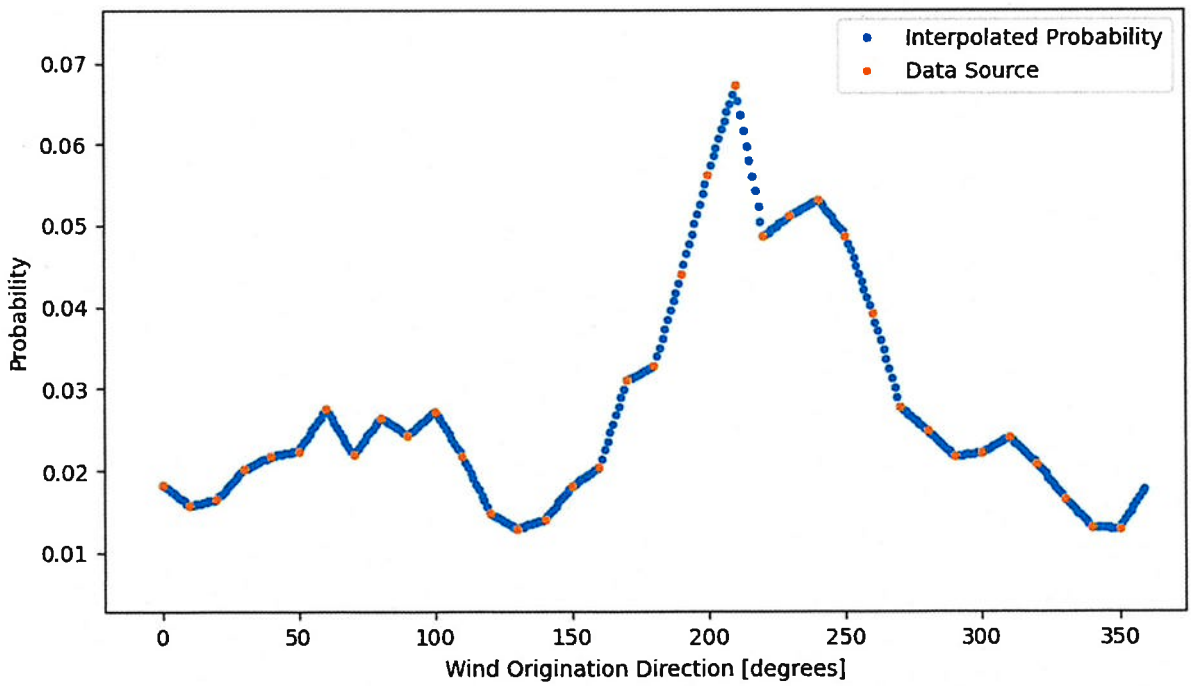
voor het berekenen van de maximale afwijking van de windrichting waarbij iemand op een specifieke afstand van het gebouw nog steeds wordt blootgesteld.

$$\alpha = sin^{-1}\left(\frac{w_{gebouw}}{2 * r_{lozingpunt}}\right)$$

Waarin:

$w_{gebouw} = breedte\ van\ gebouw\ [m]$
$r_{uitlaatpijp} = afstand\ van\ lozingpunt\ tot\ locatie\ [m]$
Vergelijking 5: Wake-hoekberekening

Ter verduidelijking van Vergelijking 5 kan worden aangenomen dat iemand zich op 50 m ten noordoosten van het SHINE Tx-gebouw bevindt, dus op 45°. In dat geval geldt dat α = 22.7° als de korte breedte van 38,6 meter van het SHINE Tx-gebouw wordt gebruikt. Dit houdt in dat een persoon door elke wind die in een richting tussen 22,3° (45°- α) en 67,7° (45°+ α) wordt blootgesteld. In termen van meteorologische gegevens zal elke wind vanuit 202,3° - 247,7° een persoon blootstellen. Helaas hebben de historische weersgegevens van het weerstation Eelde niet de juiste resolutie om deze resultaten accuraat weer te geven; de ruwe windrichtingscijfers zijn afgerond op 10 graden.
Om een groot discontinuïteitsprobleem in de eindresultaten te voorkomen, is de resolutie van de windgegevens kunstmatig verhoogd van 10 naar 1 °. Er is een lineaire interpolatiefunctie gebruikt om de waarschijnlijkheid van windrichtingen te schatten bij een resolutie van 1°. De resultaten van deze verhoging van de resolutie staan weergegeven in Afbeelding 6.

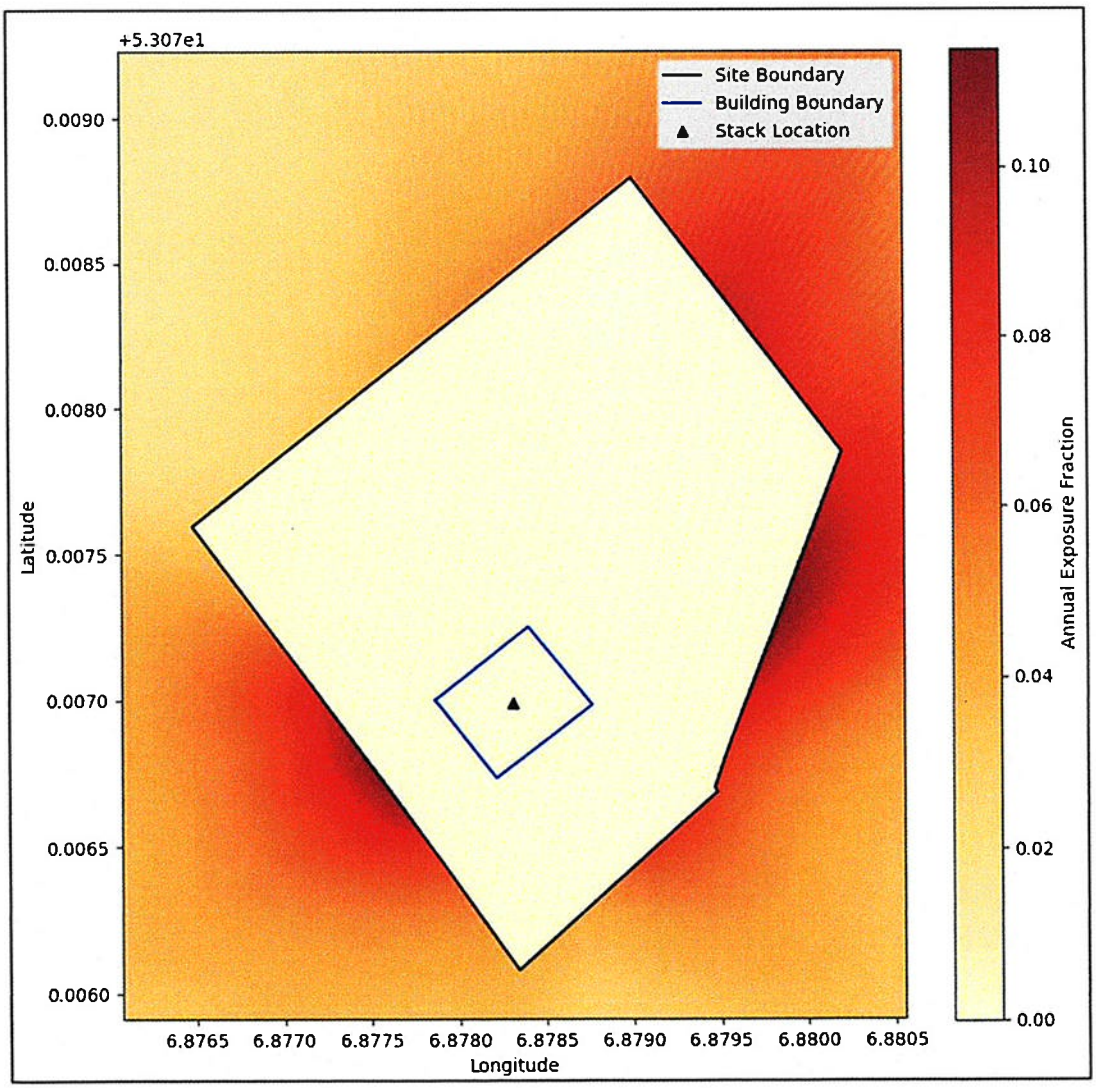


Afbeelding 6: Waarschijnlijkheidsdichtheidsfunctie windrichting Eelde met verhoogde resolutie

Om de plot in Afbeelding 6 informatiever te maken, is de waarschijnlijkheid van de windrichtingen uit de ruwe data gedeeld door 10 zodat ze overlapten met de nieuw geïnterpoleerde data. Niettemin is

Docusign Envelope ID: 6A209AAB-08DE-80F5-80F8-E4116323EF51

de daadwerkelijke som van de waarschijnlijkheden voor beide reeksen 1,0 aangezien dit beide waarschijnlijkheidsdichtheidsfuncties zijn (PDF, probability density function). Door de hogere resolutie van deze windgegevens en de wake-vergelijking te gebruiken, kan voor elke coördinaat het aandeel aan jaarlijkse blootstelling worden geschat.
Voor elke locatie in de cartesiaanse mesh is de jaarlijkse blootstellingsfractie berekend. Ten eerste is de windstreek en afstand van een locatie ten opzichte van het lozingspunt berekend. Vervolgens is de oorsprong van de windrichting, Ω, waardoor de locatie direct benedenwinds van de uitlaat is, berekend door 180 graden op te tellen of af te trekken. Vervolgens is de wake-kvergelijking gebruikt om de wake-hoek α te berekenen. Tenslotte is het aandeel jaarlijkse blootstelling berekend door de integraal van de windwaarschijnlijkheidsdichtheidsfuncties (PDF) in Afbeelding 6 om te rekenen van Ω-α naar Ω+α. Het aandeel jaarlijkse blootstelling is niet afhankelijk van de concentratieresultaten en blijft daarom voor alle gebouwwijzigingen gelijk. Afbeelding 7 hieronder laat het mesh-aandeel jaarlijkse blootstelling zien, vermenigvuldigd met de mesh openbare toegang.



Afbeelding 7: Mesh aandeel jaarlijkse blootstelling van de Tx-vestiging van SHINE Europe. De mesh voor publieke toegang is ook toegepast.

Docusign Envelope ID: 6A209AAB-08DE-80F5-80F8-E4116323EF51

Zoals verwacht is het aandeel jaarlijkse blootstelling groter in gebieden ten noordoosten van het lozingspunt, vanwege de aanzienlijke waarschijnlijkheid dat de wind vanuit het zuidwesten komt. Ten zuidwesten van het lozingspunt is echter een gebied dat ook hogere aandelen jaarlijkse blootstelling vertoont, simpelweg als gevolg van de verhoogde wake-hoek die het gevolg is van kleinere stralen ondanks de lagere windwaarschijnlijkheden vanuit het noordoosten.

3.3 Dosis "worst-case" scenario mesh

Opstelling voor de berekening

De worst-case jaardosis is de som van de inhalatie- en submersiedoses voor alle radionucliden, waarbij wordt aangenomen dat de locaties zich altijd benedenwinds van het lozingspunt bevinden. Dit is onderbouwd omdat deze dosis wordt gecorrigeerd door de mesh voor jaarlijkse blootstelling in de laatste Vergelijking 4. Daarom is het grootste deel van de dosisberekening in 1D gedaan om het eenvoudiger te maken. Zodra de totale worst-case jaardosis wordt berekend als een functie van de radius, wordt een lineaire interpolatiefunctie gebruikt om de laatste 2D-mesh te produceren. DOVIS-A bevat vergelijkingen en beschrijvingen voor zowel de inhalatie- als submersieberekeningen. Deze berekeningen worden in de paragrafen hieronder uitgebreider besproken.

Dosisconversie

Effectieve inhalatiedosis

De inhalatieberekening maakt gebruik van bodemconcentraties voor radionucliden afkomstig van SCREEN, het inhalatietempo van een "mannelijke volwassene die zittende werkzaamheden verricht", een factor voor jaarlijkse bezettingsgraad (ABC, oftewel Actuele Blootstelling Correctiefactoren) en de inhalatiedosiscoëfficiënten voor elke radionuclide. Deze vergelijking neemt aan dat de aangeleverde radionuclideconcentraties zijn geconverteerd naar activiteitseenheden. De DOVIS-A inhalatiedosisvergelijking was semantisch gewijzigd in Vergelijking 6.

$$E_{inh}(r) = O * I_{inh} * \sum_i S_i(r) * S_i * e_{inh.i}$$

Waarin:

$E_{inh}(r)$: *jaarlijkse effectieve inhalatiedosis als functie van radius r van de bron* $\left[{}^{Sv}/_{jaar}\right]$

O: *jaarlijkse verblijfsfactor (ABC)*

I_{inh}: *inhalatiesnelheid* $\left[{}^{m^3}/_{jaar}\right]$

$S_i(r)$: *concentratie van radionuclide i in lucht als een functie van radius r vanaf de bron* $\left[{}^{g}/_{m^3}\right]$

S_i: *specifieke activiteit van radionuclide i* $\left[{}^{Bq}/_{g}\right]$

e_{inh}: *Inhalatiedosiscoëfficiënt van radionuclide i* $\left[{}^{Sv}/_{Bq}\right]$

Vergelijking 6: SCREEN-aangepaste berekening effectieve inhalatiedosis.

De enige verschillen tussen Vergelijking 6 en de DOVIS-A-vergelijking is dat de effectieve dosis hier afhankelijk is van de benedenwindse afstand van het lozingspunt en van de opname van de specifieke parameter voor activiteit. Deze semantische wijzigingen maken het eenvoudiger om zowel de SCREEN-concentratieresultaten te verwerken en om in te kunnen zien hoe deze resultaten in de ruimte veranderen.

Docusign Envelope ID: 6A209AAB-08DE-80F5-80F8-E4116323EF51

De factor voor jaarlijkse bezettingsgraad, de ABC-factor, wordt beschreven als de hoeveelheid tijd die een persoon op de locatie doorbrengt waar de concentratie wordt gemeten. Voor een initiële conservatieve dosisbeoordeling is een ABC-factor van 1 gekozen. Dit vertegenwoordigt het absolute worst-case-scenario en wordt beschouwd als de multifunctionele individuele dosis (MID).
Het inhalatietempo dat voor de berekeningen moet worden gebruikt is gebaseerd op de focusgroep waardoor in de ANVS-Verordening basisveiligheidsnormen stralingsbescherming naar wordt verwezen. De ANVS-Verordening gaat uit van een jaarlijkse inhalatiesnelheid van 8300 m^3/jaar (0,947 m^3/uur) wat overeenkomt met een "volwassen man die rustige werkzaamheden uitvoert" [1].
De specifieke activiteit van elk radionuclide is toegevoegd om de concentratieresultaten van SCREEN te converteren van µg/m^3 naar Bq/m^3. Dit is nodig omdat de inhalatiedosiscoëfficiënten in eenheden van radioactiviteit zijn vermeld.
DOVIS-A vereist het gebruik van inhalatiedosiscoëfficiënten voorgeschreven door de Europese Unie en door de Nederlandse overheid vastgelegd in het Besluit stralingsbescherming [13]. Na analyse bleken deze rechtstreeks te verwijzen naar de inhalatiedosiscoëfficiënten van ICRP-119 [14]. De inhalatiecoëfficiënten die zijn gebruikt staan vermeld in tabel G van ICRP-119 omdat deze de dosis voor volwassen leden van de bevolking vertegenwoordigen. Tabel G toont meerdere waardes per radionuclide- en leeftijdsgroep voor de verschillende opnamewaarden van chemicaliën. Omdat we de specifieke chemische samenstelling van de geloosde radionucliden niet kennen, is om conservatieve redenen de opnamewaarde met de hoogste dosiscoëfficiënt gebruikt.
Hieronder wordt een samenvatting van de geselecteerde waardes weergegeven.

Tabel 5: Inhalatiedosiscoëfficiënten voor volwassen leden van de bevolking. Van tabel G van ICRP-119 [14].

Radionuclide	Matige absorptie [Sv/Bq]
Lu-177	$1,2*10^{-9}$
Yb-169	$3,0*10^{-9}$
Yb-175	$7,3*10^{-10}$

Effectieve dosis bij luchtonderdompeling

De berekening luchtonderdompeling maakt gebruik van bodemconcentraties voor radionucliden afkomstig van SCREEN, een correctiefactor voor jaarlijkse bezettingsgraad (bekend als de ABC-factoren; Actuele Blootstelling Correctiefactoren), oftewel de jaarlijkse bezettingsgraad) en de submersiedosiscoëfficiënten voor elke radionuclide. Deze vergelijking neemt aan dat de aangeleverde radionuclideconcentraties zijn geconverteerd naar activiteitseenheden. De DOVIS-A submersiedosisvergelijking was semantisch gewijzigd in Vergelijking 7.

$$E_{ext,lucht}(r) = 0 * \sum_i S_i(r) * S_i * e_{sub,i}$$

Waarin:

$E_{ext,lucht}(r)$: *jaarlijkse effectieve luchtonderdompelingsdosis als functie van radius r van de bron* $\left[Sv/_{jaar}\right]$

Docusign Envelope ID: 6A209AAB-08DE-80F5-80F8-E4116323EF51

O: *jaarlijkse verblijfsfactor (ABC)*

$S_i(r)$: *concentratie van radionuclide i in lucht als een functie van radius r vanaf de bron* $\left[{}^{g}/_{m^3}\right]$

S_i: *specifieke activiteit van radionuclide i* $\left[{}^{Bq}/_{g}\right]$

$e_{sub,i}$: *Inhalatiedosiscoëfficiënt van radionuclide i* $\left[{}^{Sv * m^3}/_{jaar * Bq}\right]$

Vergelijking 7: SCREEN-aangepaste berekening effectieve dosis bij submersie

De enige verschillen tussen Vergelijking 7 en de DOVIS-A-vergelijking zijn dat de effectieve dosis hier afhankelijk is van de benedenwindse afstand van het lozingspunt en van de opname van de specifieke parameter voor activiteit. Deze semantische wijzigingen maken het eenvoudiger om zowel de SCREEN-concentratieresultaten te verwerken en om in te kunnen zien hoe deze resultaten in de ruimte veranderen.
De factor voor jaarlijkse bezettingsgraad, de ABC-factor, wordt meer gedetailleerd beschreven in de paragraaf over inhalatiedosis hierboven.
De specifieke activiteit van elk radionuclide is toegevoegd om de concentratieresultaten van SCREEN te converteren van µg/m^3 naar Bq/m^3. Dit is nodig omdat de submersiedosiscoëfficiënten in eenheden van radioactiviteit zijn vermeld.
DOVIS-A vereist dat de submersiedosiscoëfficiënten afkomstig zijn van een rapport van Kocher [15].
De dosiscoëffiënten voor deze drie radionucliden worden hieronder vermeld in tabel 6.

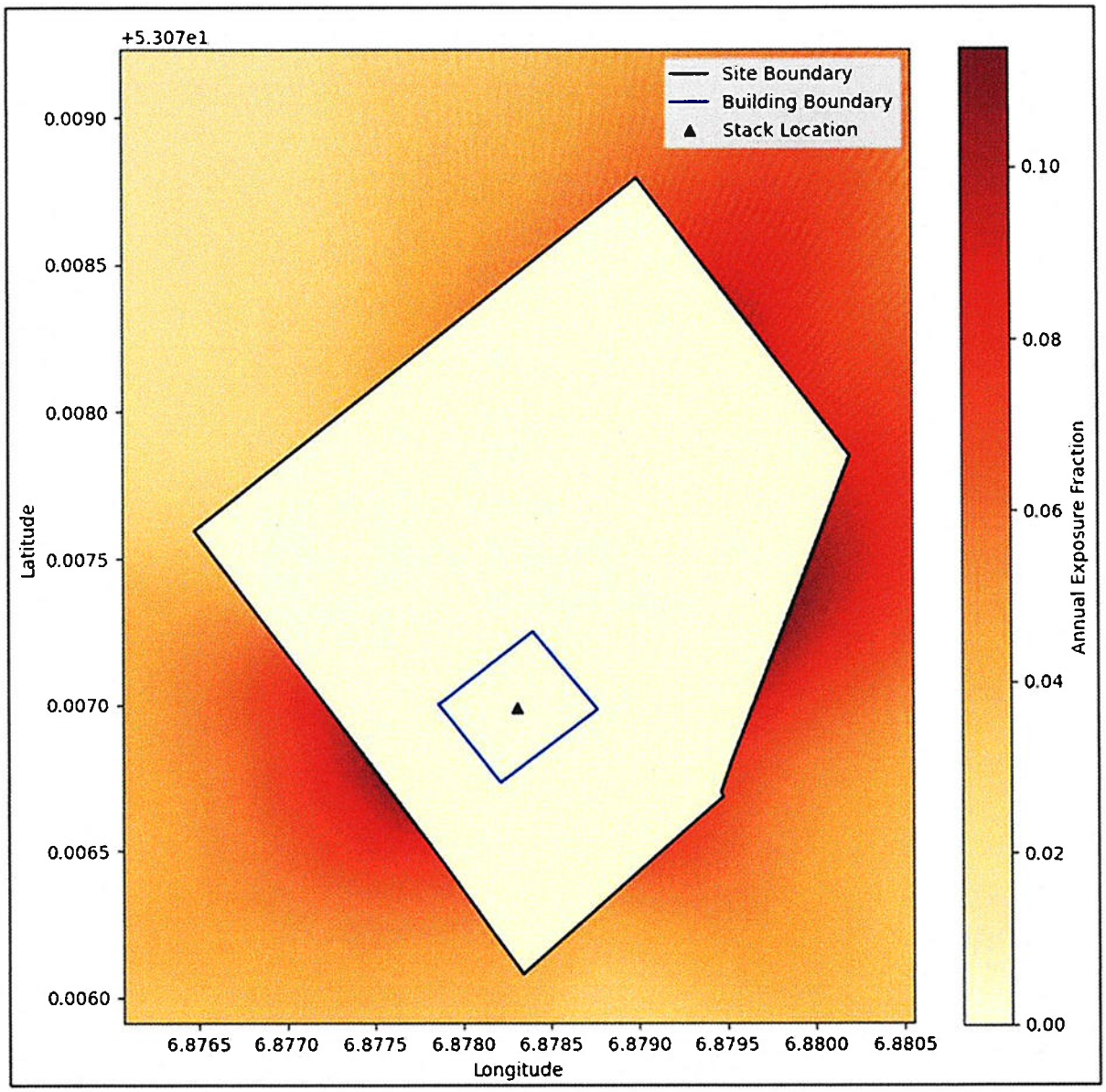
***Tabel 6: Sumersiedosiscoëfficiënten volgens Kocher** [15]*

Radionuclide	Luchtonderdompelingsdosiscoëfficiënt [Sv*cm^3/jaar*Bq]
Lu-177	4,35*10^{-1}
Yb-169	9,57*10^{-1}
Yb-175	4,06*10^{-1}

Totale effectieve dosis

Het totale effectieve dosistempo dat een persoon ontvangt is de som van de inhalatie- en lsubmersiedoses van alle drie de onderzochte radionucliden. Conform de Nederlandse wet zijn twee verschillende totale effectieve doses berekend. De eerste is de multifunctionele individuele dosis (MID) die het worst-case-scenario vertegenwoordigt waarbij een lid van de bevolking zich gedurende een geheel jaar op een specifieke geospatiële locatie bevindt. Hiervoor is een ABC-factor van 1,0 aangehouden.
Het 1D MID-dosistempo als functie van de benedenwindse afstand tot het lozingspunt is voor elk scenario berekend met gebruik van de SCREEN-resultaten en de hiervoor genoemde vergelijkingen. Voor elke locatie in de 2D-cartesiaanse mesh is de worst-case multifunctionele individuele dosis berekend. De afstand van de locatie tot het lozingspunt is berekend en gebruikt om de MID op de locatie te schatten door de 1D-MID-data lineair te interpoleren. Een voorbeeld van deze 2D slechtste MID-dosis mesh wordt hieronder weergegeven in Afbeelding 8.

Docusign Envelope ID: 6A209AAB-08DE-80F5-80F8-E4116323EF51



Afbeelding 8: De dosis-mesh voor het worst-case scenario voor de Tx-vestiging van SHINE Europe in eenheden van Sv/jaar. De mesh voor publieke toegang is ook toegepast. Dit geldt specifiek voor het landelijke scenario met een HVAC-afvoer van 37.475 m3/uur (100%), een lozingstemperatuur van 25°C en een buitentemperatuur van 22,2°C.

De dosis-mesh voor het slechtste scenario in Afbeelding 8 geldt voor een enkel scenario. Dit scenario resulteert in een 1D-concentratiecurve in SCREEN die een piek vertoont op 96 meter afstand van het lozingspunt. Daarom is er precies op 96 meter zoals verwacht een duidelijke 'ring' zichtbaar in de mesh van de 2D worst-case-dosis. Echter, aangezien de wind historisch hoofdzakelijk uit het zuidwesten komt, heeft het gebied net ten noordoosten van het lozingspunt de hoogste doses, omdat het aandeel jaarlijkse blootstelling op die locatie significant hoger is dan op andere locaties rond het gebouw.

Docusign Envelope ID: 6A209AAB-08DE-80F5-80F8-E4116323EF51

3.4 SCREEN3 Concentratieresultaten

Als de afstand tot de maximale luchtconcentratie zich binnen 100 meter van het lozingspunt bevindt, zijn er geen verdere luchtdispersieberekeningen met het NNM vereist. Zoals aangegeven is SCREEN voor elke radionuclide afzonderlijk uitgevoerd. Ten behoeve van deze analyse is de som van alle drie radionuclideconcentratie curves gebruikt als concentratiemetrie en is de piek van deze opgesomde concentratiecurve gebruikt om de bepalen of het NNM-model vereist is of niet.

Aanpassingen voor radioactief verval

DOVIS-A biedt een methode om de doses die zowel in SCREEN als het NNM-model zijn berekend te corrigeren voor radioactief verval van de radionucliden. DOVIS-A gebruikt de afstand van het lozingspunt tot de betreffende locatie samen met de windsnelheid om de tijd te berekenen voordat de radionucliden deze locatie bereiken, en corrigeert dit vervolgens voor verval. Maar vanwege de betreffende afstanden en de halveringstijd van de drie onderzochte radionucliden is de hoeveelheid verval die zelfs bij langzame wind optreedt, verwaarloosbaar. Bij bijvoorbeeld een maximumafstand van 25 kilometer in SCREEN en een windsnelheid van 0,5 m/s, duurt het 13,9 uur voordat de radioactieve pluim deze locatie bereikt. Wanneer de halveringstijd van 4,1 dagen voor Yb-175 wordt gebruikt, dat de kortste halveringstijd van de drie radionucliden heeft, bedraagt de hoeveelheid verval die tijdens deze 13,9 uur reistijd optreedt, slechts 9,3% Dit verval is verwaarloosbaar, zeker wanneer de daadwerkelijke onderzochte afstanden zich in de orde van grootte van 100 meter bevinden. Daarom wordt in de modellering geen radioactief verval meegenomen. Dit resulteert ook in meer conservatieve doses en concentratieresultaten.

DOVIS-A vereist ook dat dochternucliden uit de vervalketen van de primaire radionucliden onderdeel zijn van de dosisberekening. Echter alle drie de betreffende radionucliden vervallen tot stabiele isotopen. Lu-177 vervalt 100% van de tijd tot Hf-177, een stabiele isotoop. Yb-169 vervalt in 100% van de gevallen tot Tm-169, een stabiele isotoop. En Yb-175 vervalt in 100% van de gevallen tot Lu-175, een stabiele isotoop [16]. Daarom is geen verdere analyse van de vervalreeks vereist.

Docusign Envelope ID: 6A209AAB-08DE-80F5-80F8-E4116323EF51

4 Resultaten

De belangrijkste maatstaf voor de resultaten is de binaire aanduiding van een 'goedaardig scenario'. Een goedaardig scenario is een scenario waarbij een MID-inhalatiedosis voor leden van de bevolking lager is dan 1 µSv/jaar (de secundaire inhalatiedosislimiet), een MID-submersiedosis voor leden van de bevolking lager is dan 10 µSv/jaar (de secundaire submersiedosislimiet) en de afstand tot de maximale concentratie binnen 100 meter van het lozingspunt ligt (de grens waarboven het vereist is om een NNM uit te voeren). Dit is belangrijk omdat als het gebouw aan dit criterium voor alle combinaties van ingevoerde waardes voldoet, de regeldruk wordt verminderd en verdere analyses met het NNM niet nodig zijn.
Op basis van de analyse, kan het gebouwontwerp zoals in dit verslag beschreven, worden beschouwd als "goedaardig", aangezien alle 560 unieke combinaties voor temperatuur, HVAC-afvoer, en stedelijk versus landelijk resulteerden in de classificatie goedaardig. De resultaten die de overschrijding van de betreffende vereisten het dichtst benaderden zijn hieronder vermeld in
Tabel **7**. In alle gevallen waren er enkele buiten- en uitlaattemperaturen die allemaal globaal dezelfde resultaten opleverden. Daarom worden temperatuurreeksen weergegeven. De uitlaattemperaturen zijn genegeerd omdat ze resulteerden in vergelijkbare resultaten.

Tabel 7: Ergst mogelijke scenario's voor het SHINE Tx-gebouw

Metrische conditie	Metrische waarde	Buitentemperatuur [°C]	HVAC-afvoer [% van maximum]	Stedelijk of landelijk
Hoogste publieke inademing MID	0,41 µSv/jaar	17,3 – 22,2	48%	Landelijk
Hoogste publieke submersie MID	19 nSv/jaar	17,3 – 22,2	48%	Landelijk
Langste afstand piekconcentratie	96 meter	17,3 – 22,2	100%	Landelijk

Er kunnen enkele belangrijke conclusies uit deze resultaten worden getrokken. De eerste conclusie is dat de slechtst mogelijke inhalatiedosis voor leden van de bevolking ongeveer een orde van grootte onder de MID-limiet ligt. De submersiedosis ligt zelfs nog verder onder de betreffende limiet, grofweg 3 orders van grootte lager dan de MID-limiet. Al deze scenario's met hoge dosering vinden plaats op warme dagen en wanneer het HVAC-systeem aanzienlijk onder de maximumcapaciteit draait. De NNM-limiet werd het dichtst benaderd. Alle scenario's hebben echter maximale concentratieafstanden opgeleverd op minder dan 100 meter. De scenario's die deze resultaten opleverden vinden ook plaats tijdens warmere dagen; ze vinden echter plaats wanneer het HVAC-systeem op de maximum ontwerpcapaciteit draait. Daarnaast vinden al deze extreme scenario's plaats onder de classificatie landelijk. Indien bijvoorbeeld alleen naar stedelijke scenario's wordt gekeken, bevindt de afstand tot de hoogste berekende piekconcentratie zich slechts op 41 meter afstand van het lozingspunt, een significant verschil. Een belangrijke afsluitende opmerking bij het bekijken van deze resultaten is te onthouden dat al deze scenario's ervan uitgaan dat de gespecificeerde temperaturen en het gedrag van de afzuiging het gehele jaar door constant blijven; dit is niet realistisch. Deze resultaten laten dus zien da zelfs in de meest extreme en onrealistische scenario's het gebouw nog steeds aan alle vereisten voldoet.

Docusign Envelope ID: 6A209AAB-08DE-80F5-80F8-E4116323EF51

5 Conclusie

De volgende parameters zijn in het computermodel meegenomen:

- De hoogte van 2 m en dwarsdoorsnede van 1,1 m2 van het lozingspunt op het gebouw.
- Specifieke gebouwafmetingen: lengte van 45,5 m, breedte van 38,6 m en hoogte van 8 m.
- Omgevingsomstandigheden zoals windsnelheid, windrichting, hoogste gemiddelde maandtemperatuur, laagste gemiddelde maandtemperatuur.
- Landelijke en stedelijke locatie
- Emissiesnelheid per radionuclide.
- Luchtstroomsnelheid (variërend van 48% tot 100%) en temperatuur

Op basis van deze SCREEN-resultaten voor het beoogde SHINE Tx-gebouw en de veronderstelde doorvoer van 55 TBq (1.500 Ci) per week, voldoet het gebouw aan alle vereisten ten aanzien van alle weersvariëteiten en HVAC-omstandigheden. Voor elke combinatie van uitlaattemperatuur, buitentemperatuur, HVAC-afvoer variërend tussen 48% en 100% van het ontwerp, en landelijke/stedelijke bestemming, heeft het gebouw altijd een publieke MID-inhalatiedosis onder 1 µSv/jaar, een publieke MID-submersiedosis onder 10 µSv/jaar en een maximum radionuclide concentratie binnen 100 m van het lozingspunt. Doordat aan al deze criteria wordt voldaan, is verdere modellering met het NNM niet vereist.

6 Algemeen milieueffect - Conclusie

Beide analyses tonen aan dat de SHINE EU Tx-faciliteit geen schadelijke effecten op leden van de bevolking en het milieu hebben.
De berekeningen van AGIS-deel I toonden aan dat de externe straling op de terreingrens onder het secundaire niveau (H^*_{max}/ H^*_{SN} <1) blijven: de cumulatieve externe stralingsdosis H^*_{max} aan de noordwestelijke terreingrens is het hoogst en zal maximaal 12 µSv/jaar zijn. Ook toonde AGIS aan dat de waterlozingen geen probleem zijn, met name vanwege het feit dat er binnen de beperkte zone geen riolering zal worden aangesloten.
Met betrekking tot lozingen in lucht toonde DOVIS-A aan dat het worst-case-scenario zou leiden tot een maximale inhalatie- en submersiedosis voor leden van de bevolking onder het secundair niveau (<1µSv/jaar).
Daarom ligt de maximale effectieve dosis die iemand in een kalenderjaar op enig punt buiten de faciliteit kan ontvangen onder het secundair niveau.

Docusign Envelope ID: 6A209AAB-08DE-80F5-80F8-E4116323EF51

7 Bijlagen

AGIS Bijlage A: MicroShield®-modellen scenario A

[...]CONF

Docusign Envelope ID: 6A209AAB-08DE-80F5-80F8-E4116323EF51

Docusign Envelope ID: 6A209AAB-08DE-80F5-80F8-E4116323EF51

AGIS Bijlage B: MicroShield®-modellen scenario B

[...]CONF

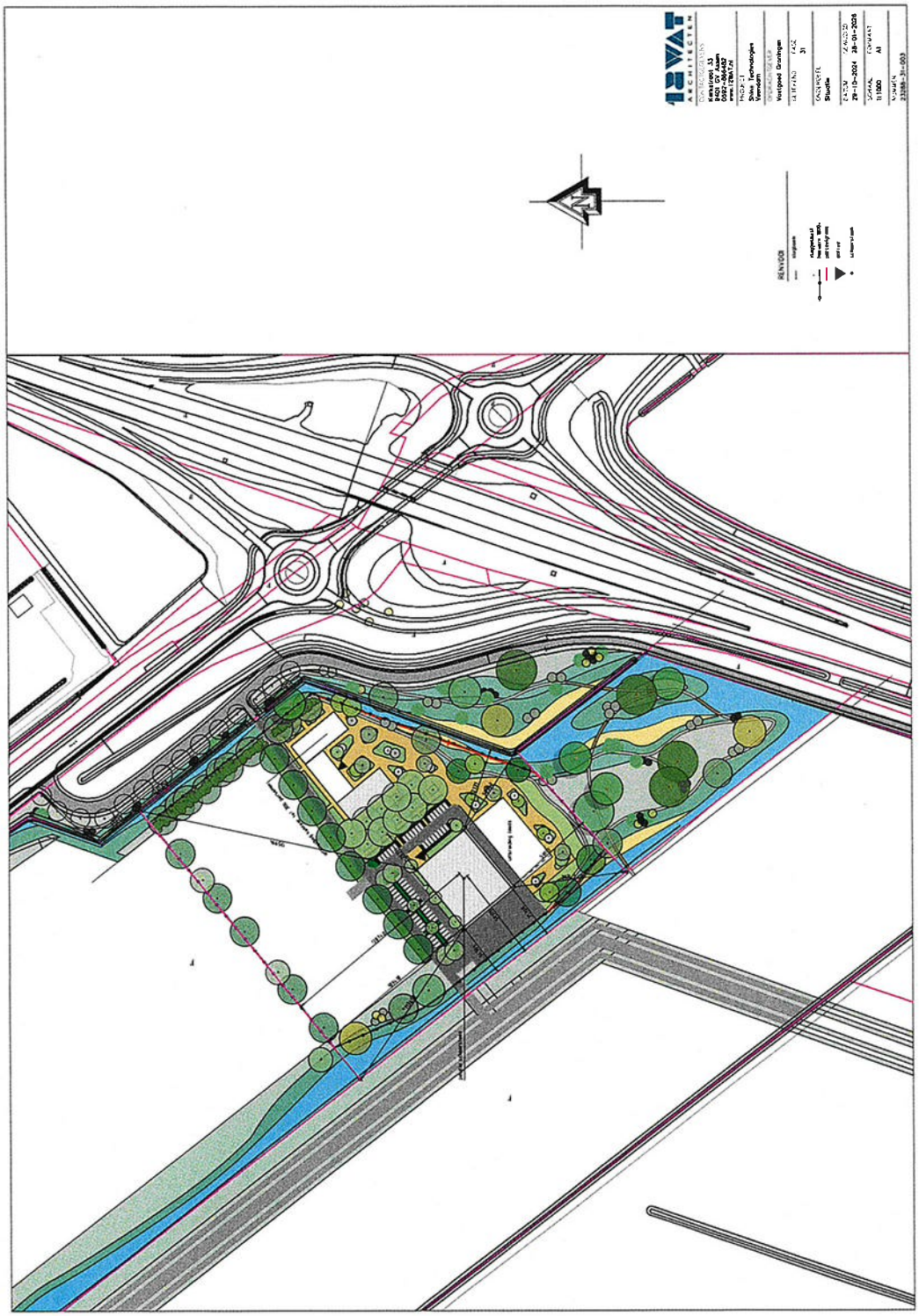
Docusign Envelope ID: 6A209AAB-08DE-80F5-80F8-E4116323EF51

AGIS bijlage C: Plattegrond SHINE-faciliteit

[...]CONF

Docusign Envelope ID: 6A209AAB-08DE-80F5-80F8-E4116323EF51

AGIS bijlage D: Terreingrenzen kavel



Docusign Envelope ID: 6A209AAB-08DE-80F5-80F8-E4116323EF51

AGIS bijlage E: Intern transport berekeningen

RI&E Appendix A step number	Description	Weekly frequency	Duration [min]	Distance to source (m)	Source dose rate (mSv)	Yearly dose rate at 35m (µSv/h)	Yearly dose (µSv/y)
5	Movement from shipping and receiving to decontamination room	3	15	0.9	1.24E-02	8.20E-03	3.07E-01
7	Movement from cask opening towards the technical area	3	10	0.9	1.24E-02	8.20E-03	2.05E-01
18	Movement of Yb from hot cell to decay and storage area after hot cell (SCC-1) recovery; cart travel	3	10	0.9	2.44E-02	1.61E-02	4.03E-01
19	Yb shipment (after decay): Transporting pig on cart	1	30	0.9	8.78E-03	5.81E-03	1.45E-01
9	Movement of finished product (cart) from the process room to the packaging area	15	10	0.9	1.98E-03	1.31E-03	1.64E-01
14	Movement of samples of finished product (cart) from the process room to the QC lab	3	10	0.45	7.73E-04	1.28E-04	3.19E-03
20	Movement of liquid waste to decay and storage area after end of process: cart movement	3	10	0.9	9.53E-04	6.30E-04	1.58E-02

Docusign Envelope ID: 6A209AAB-08DE-80F5-80F8-E4116323EF51

23	Movement of decayed radiological liquid waste from the decay storage area to waste out: Transport with cart	0.12	30	0.9	9.69E-12	6.41E-12	1.92E-11
15.2	waste sample analysis: Transport mobile phase waste to QC Lab	0.12	10	0.9	2.76E-09	1.82E-09	1.82E-09
15.2	waste sample analysis: Transport mobile phase waste to decay and storage	0.12	10	0.9	2.76E-09	1.82E-09	5.47E-09
17	Movement of QC microbiology waste between QC lab and decay and storage room	3	10	0.9	5.13E-05	3.39E-05	8.48E-04
26	Movement of sample of irradiated target (tracer pellet) between hot cell and QC lab for HPGe analysis; cart transport	0.5	10	0.9	1.65E-08	1.09E-08	4.58E-08
TOTAL							1.24E+00

Docusign Envelope ID: 6A209AAB-08DE-80F5-80F8-E4116323EF51

DOVIS-A bijlage 1: Belangrijke radionucliden

De zeer verrijkte Yb-176 target wordt bestraald met neutronen om Lu-177 te produceren. Vanwege kleine hoeveelheden verontreinigingen en vervalketens is vastgesteld dat er tijdens bulk-scheiding 641 radionucliden aanwezig zouden kunnen zijn in de bestraalde target. Het aandeel van elke radionuclide in verhouding tot Lu0177 is geschat. De 3 radionucliden met de hoogste activiteit zijn Lu-177, Yb-175 en Yb-169. Deze drie radionucliden zijn verantwoordelijk voor naar schatting 99,97% van alle activiteit in de target. Een CCDF van de op activiteit gerangschikte radionucliden wordt hieronder weergegeven in Afbeelding 9.

Afbeelding 9: CCDF (Complimentary Cumulative Distribution Function) van op activiteit gerangschikt radionuclidegehalte voor de bestraalde target

[...]CONF

Activiteit alleen is niet het enige verhaal, aangezien de totale dosis van elke radionuclide afhankelijk is van de eigen dosiscoëffiënten die van radionuclide tot radionuclide in meerdere ordes van grootte kunnen verschillen. De geschatte bijdrage van een radionuclide aan de totale dosis is geanalyseerd om te bepalen welke radionucliden in de volledige analyse moesten worden opgenomen; om zelfs deze analyse nog verder te vereenvoudigen zijn alleen de radionucliden met een hogere concentratie van 1 ppm vergeleken met Lu-177, getoetst. Er is aangenomen dat op de luchtconcentratie op een bepaalde locatie 1 Ci/m^3 Lu-177 zou zijn. Luchtconcentraties van de andere radionucliden zijn berekend met hun aandeel in de targetactiviteit.
Op deze manier wordt effectief aangenomen dat alle radionucliden uit de hot cell ontsnappen en op dezelfde snelheid het lozingspunt worden uitgeblazen en op dezelfde wijze worden getransporteerd. Vergelijking 8 en Vergelijking 9 zijn gebruikt om de effectieve dosis van zowel inhalatie als submersie in lucht te berekenen.

$$E_{inh,i} = \dot{I} * S_i * e_{inh,i}$$

Waarin:

$E_{inh,i}$: $Effectieve\ inhalatiedosis\ van\ radionuclide\ i\ [Sv/uur]$
$\dot{I}$: $inhalatiesnelheid\ [m^3/uur]\ =\ 0{,}947$
S_i: $Luchtconcentratie\ van\ radionuclide\ i\ \left[\frac{Bq}{m^3}\right]$
$e_{inh,i}$: $Inhalatiedosiscoëfficiënt\ van\ radionuclide\ i\ [Sv/Bq]$

Vergelijking 8: Vereenvoudigde vergelijking effectieve inhalatiedosis

$$E_{sub,i} = S_i * e_{sub,i}$$

Waarin:

$E_{inh,i}$: $Effectieve\ dosistempo\ t.g.v.\ submersie\ van\ radionuclide\ i\ [Sv/uur]$
S_i: $Luchtconcentratie\ van\ isotoop\ i\ \left[\frac{Bq}{m^3}\right]$
$e_{sub,i}$: $Submersiedosiscoëfficiënt\ van\ radionuclide\ i\ \left[\frac{Sv * m^3}{hr * Bq}\right]$

Vergelijking 9: Vereenvoudigde vergelijking van effectieve dosis bij submersie

Docusign Envelope ID: 6A209AAB-08DE-80F5-80F8-E4116323EF51

De inhalatiedosiscoëfficiënten zijn verkregen uit ICRP-199, de submersiedosiscoëfficiënten zijn verkregen uit Kocher en de Argon-37 dosiscoëfficiënt is afkomstig uit tabel 7 van het Besluit stralingsbescherming van 16 juli 2001, alle conform de vereisten van DOVIS-A [14] [15] [13]. Het resultaat van deze berekeningen staat in onderstaande tabel 8; de radionucliden staan vermeld op volgorde van hun aandeel in de activiteit.

Tabel 8: Schattingen totale effectieve dosis afkomstig van een uniform gedistribueerde bestraalde SHINE-target met een hypothetische concentratie in lucht van 1 Ci/m3 Lu-177.

Radionuclide	Luchtconcentratie [Ci/m^3]	Inhalatiedosis [Sv/uur]	Submersiedosis [Sv/uur]	Totale effectieve dosis [Sv/uur]	Totaal dosisbijdrage
Lu-177	1,00E+00	4,2E+01	1,8E+00	4,4E+01	9,2E-01
Yb-175	1,38E-01	3,5E+00	2,4E-01	3,8E+00	7,9E-02
Yb-169	9,81E-04	1,0E-01	4,0E-03	1,1E-01	2,2E-03
Eu-152m	5,26E-05	4,1E-04	4,3E-04	8,3E-04	1,7E-05
Tm-170	5,07E-05	1,2E-02	1,7E-04	1,3E-02	2,6E-04
La-140	4,65E-05	1,8E-03	1,3E-03	3,1E-03	6,5E-05
Cu-64	2,98E-05	1,3E-04	9,3E-05	2,2E-04	4,6E-06
Sm-153	1,91E-05	4,2E-04	6,3E-05	4,8E-04	1,0E-05
Eu-156	1,58E-05	1,9E-03	2,8E-04	2,2E-03	4,5E-05
Ar-37	1,45E-05	Geen dosiscoëff. beschikbaar	5,4E-20	5,4E-20	1,1E-21
Sc-46	9,88E-06	2,4E-03	2,1E-04	2,6E-03	5,4E-05
P-32	6,38E-06	7,6E-04	4,5E-05	8,1E-04	1,7E-05
Ca-45	5,95E-06	1,6E-04	4,7E-16	1,6E-04	3,3E-06
Ce-141	5,75E-06	7,7E-04	2,2E-06	7,7E-04	1,6E-05
Na-24	5,02E-06	4,7E-05	2,3E-04	2,8E-04	5,9E-06
Ce-143	4,01E-06	1,2E-04	5,5E-06	1,2E-04	2,6E-06
Er-169	3,61E-06	4,7E-05	3,8E-06	5,1E-05	1,1E-06
Eu-152	3,25E-06	4,8E-03	4,1E-05	4,8E-03	1,0E-04
Eu-154	2,67E-06	4,9E-03	4,0E-05	5,0E-03	1,0E-04
Pr-143	2,49E-06	2,1E-04	8,0E-06	2,2E-04	4,5E-06
Gd-153	1,68E-06	1,2E-04	1,2E-06	1,2E-04	2,6E-06
Zn-65	1,19E-06	9,2E-05	6,9E-06	9,9E-05	2,1E-06

De belangrijkste conclusie van deze resultaten is dat het niet nodig is om andere radionucliden dan Lu-177, Yb-174 en Yb-169 in overweging te nemen. Dit komt omdat alle andere radionucliden samen verantwoordelijk zijn voor slechts 0,07% van de totale effectieve dosis. Het meeste van deze andere dosis is afkomstig van Tm-170 en Eu-154. Als de analyse zou worden uitgebreid, zouden deze twee radionucliden als eerste moeten worden meegewogen. Echter, de bijdrage hiervan is onbetekenend en het kost alleen maar meer tijd om ze in de modellen mee te berekenen. Een andere conclusie op basis van deze resultaten is dat de dosis van inhalatie significant belangrijker is dan de dosis van

Docusign Envelope ID: 6A209AAB-08DE-80F5-80F8-E4116323EF51

luchtonderdompeling. De inhalatiedosis is verantwoordelijk voor 96% van de totale effectieve dosis voor personen. Dit was ook verwacht, omdat blootstelling door externe straling alleen van belang is bij sterk radioactieve bronnen. Toch wordt de dosis voor luchtonderdompeling meegenomen in de analyse omdat een bijdrage van 4% nog steeds significant is.

Docusign Envelope ID: 6A209AAB-08DE-80F5-80F8-E4116323EF51

8 Referenties

[1] ANVS, "ANVS-verordening basisveiligheidsnormen stralingsbescherming,". [Online]. Available: https://wetten.overheid.nl/BWBR0040581/2023-07-01
[2] SHINE EU, "NVL2-TECRPT-2023-0015 rev.0 Therapeutics facility - License application file".
[3] SHINE Europe B.V, "NVL2-TECRPT-2024-0008 - SHINE EU Therapeutics room classification".
[4] SHINE Europe B.V, "NVL2-TECRPT-2024-0009 - EU MCNP modeling report".
[5] "R. Blaauboer, 'Dosisberekening voor de Omgeving bij Vergunningverlening Ioniserende Straling - DOVIS,' Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu, Bilthoven, 2002.".
[6] "U.S. Environmental Protection Agency, 'SCREEN3 Model User's Guide,' September 1995. [Online]. Available: https://gaftp.epa.gov/Air/aqmg/SCRAM/models/screening/screen3/screen3d.pdf.".
[7] "Food and Drug Administration, 'Facilities and Enviornmental Conditions,' 2019.".
[8] "www.Citypopilation.de, 'Veendam,' 2023. [Online]. Available: https://www.citypopulation.de/en/netherlands/admin/groningen/0047__veendam/.".
[9] "United States Nuclear Regulatory Commission, 'Appendix A to Part 71,' 2021.".
[10] "topographic-map.com, 'Veendam topographic map'".
[11] "GeoPy Contributors, 'GeoPy,' 2018.".
[12] "Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut, 'Weather Stations: Hourly Observations'.".
[13] "Ministerie van Sociale Zaken en Werkgelegenheid, 'Besluit van 16 juli 2001, houdende vaststelling van het Besluit stralingsbescherming,' 9 September 2001. [Online]. Available: https://zoek.officielebekendmakingen.nl/stb-2001-397.html.".
[14] "International Commission on Radiological Protection, 'ICRP Publication 119: Compendium of Dose Coefficients based on ICRP Publication 60,' 2012.".
[15] "D. C. Kocher, 'Dose-Rate Conversion Factors for External Exposure to Photons and Electrons,' Oak Ridge National Laboratory, 1981.".
[16] "United States Environmental Protection Agency, 'Radionuclide Decay Chain,' [Online]. Available: https://epa-prgs.ornl.gov/radionuclides/chain/chain.php.".