

Technical SciencesLeeghwaterstraat 44
2628 CA Delft
Postbus 6012
2600 JA Delftwww.tno.nl

T +31 88 866 22 00

F +31 88 866 06 30

TNO-rapport**TNO 2017 R10851-A****Luchttechnische vergelijking van twee typen
sluizen op het verspreidingsrisico uit een asbest
containment**

Datum 25 juli 2017

Auteur(s) Ing. B. Knoll

Aantal pagina's 26

Aantal bijlagen -

Opdrachtgever Vereniging voor Verwijdering van Toxische en gevaarlijke
Bouwmaterialen (VVTB)
VERAS, Vereniging voor aannemers in de sloop

Projectnaam Asbest containment

Projectnummer 060.26584/01.14.01

Alle rechten voorbehouden.

Niets uit deze uitgave mag worden vermenigvuldigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke andere wijze dan ook, zonder voorafgaande toestemming van TNO.

Indien dit rapport in opdracht werd uitgebracht, wordt voor de rechten en verplichtingen van opdrachtgever en opdrachtnemer verwezen naar de Algemene Voorwaarden voor opdrachten aan TNO, dan wel de betreffende terzake tussen de partijen gesloten overeenkomst.

Het ter inzage geven van het TNO-rapport aan direct belanghebbenden is toegestaan.

Inhoudsopgave

1	Inleiding	3
2	Uitvoering	4
3	Modellering.....	5
3.1	Ventilatiemodel	5
3.2	Vlaageffecten.....	6
3.3	Modelvariabelen	7
3.4	Modelvarianten	12
4	Resultaten en bespreking.....	13
4.1	Uitsluizen via 2-traps platensluis	13
4.2	Uitsluizen via 3-traps platensluis	13
4.3	Uitsluizen via 3-traps vouwsluis.....	14
4.4	Decontaminatie via platensluis	17
4.5	Decontaminatie via vouwsluis	17
4.6	Overzicht resultaten.....	20
5	Conclusies en aanbevelingen	22
6	Referenties	23
7	Ondertekening	24
	Bijlage: Karakterisering van luchtdoorlaat.....	25

1 Inleiding

Voor het veilig saneren van asbesthoudende bouwmaterialen zijn bij ministeriële regeling van SZW onder beheer van de stichting Ascet eisen en regels opgesteld [1]. Tevens worden inrichtingseisen gegeven voor douches, die verplicht zijn voor het decontamineren van saneerders [2].

Naar aanleiding van proefnemingen [3] zijn er vragen gerezen of de huidige inrichtingseisen van sluisen afdoende zijn om te voorkomen dat er vuile lucht uit het containment in de schone omgeving terecht komt.

In dit kader is aan TNO gevraagd een luchttechnische analyse uit te voeren van de huidige uitvoering van twee typen sluisen, de platensluis en de vouwsluis, bij de gangbare procedures van uitsluisen en decontamineren. Het doel is beide sluis typen zowel onderling als absoluut te beoordelen. Indien verspreiding via de sluisen niet geheel kan worden beheerst, is de vraag met welke aanpassingen in de uitvoering of procedure dit kan worden verbeterd en de werknemers het beste kunnen worden beschermd.

2 Uitvoering

In het onderzoek zijn de volgende werkzaamheden uitgevoerd:

- Opstellen van een ventilatiemodel.
Het ventilatiemodel is gebaseerd op fysische wetmatigheden, waarmee de luchtstromen en luchtuitwisseling van en naar het containment via de sluisen en aanwezige lek- en ventilatieopeningen zijn nagebootst. Aan de hand hiervan zijn relatieve concentratieverlopen in de sluiscompartimenten aangegeven.
Het model is zowel voor een platensluis als een vouwsluis geschikt gemaakt;
- Met het model voor beide sluisstypen simuleren van karakteristieke situaties:
 - Achtereenvolgens uitsluizen van 5 kleine afvalobjecten;
 - Opeenvolgend decontamineren van 4 saneerders en verlaten van het containment via de sluis.

De resultaten zijn vergeleken met de metingen [3]. Op grond hiervan zijn de modellen waar nodig eerst nog bijgesteld, zodat ze zo goed mogelijk de testsituaties representeren;

- Analyseren en beoordelen van de uitkomsten;
- Opstellen van een rapportage met advies.

Om zo realistisch mogelijke situaties te simuleren, zijn deze afgeleid van de beschrijvingen in het meetrapport [3] en van twee door VVTB ter beschikking gestelde films van het uitsluizen van producten via een platen- en vouwsluis.

3 Modelling

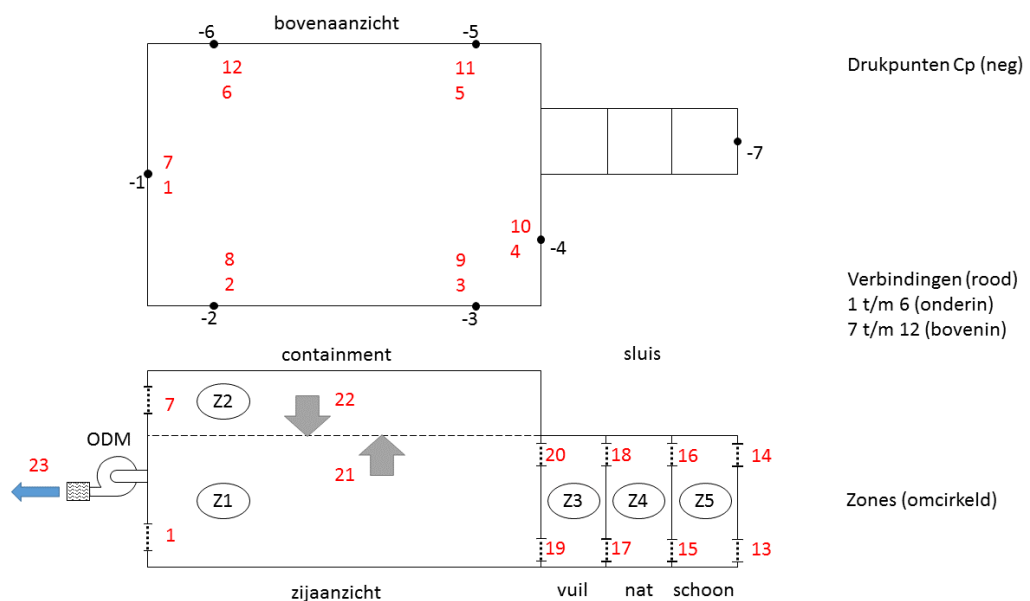
3.1 Ventilatiemodel

Voor het modelleren van de stromingssituaties is gebruik gemaakt van het multizone-ventilatiemodel COMIS [4]. Dit model is ontstaan via een internationale samenwerking, waarbij destijds de beste simulatietechnieken zijn samengevoegd. Het model is sindsdien voortdurend uitgebreid en bijgesteld naar de laatste inzichten. Het model is intensief gevalideerd en wordt veelvuldig gebruikt door ventilatie-experts.

De werking van COMIS wordt wel vergeleken met een elektrisch netwerk van weerstanden waarin spanningsverschillen voor stromen zorgen. In COMIS wordt elke ruimte (zone) als knooppunt gezien dat via openingen van verschillende grootten (de 'weerstand') is verbonden met naastliggende ruimten of buiten. Ventilatoren, wind en thermiek (de 'spanningsbronnen') zorgen voor drukverschillen over de openingen. COMIS bepaalt van het netwerk aan zones met verbindingen wat de resulterende ruimtedrukken ('spanningen' per knooppunt) zijn waarbij de som van in- en uitgaande stromen per ruimte gelijk is. Het resultaat is de ventilatie (totaal 'stroom') per ruimte en de bijbehorende verdunning van verontreinigingen.

Figuur 1 toont de basisopzet van het model dat is gemaakt van het containment met sluis. Behalve de getoonde drietrapsvariant is ook de situatie met een tweetrapssluis gemodelleerd.

De opdeling in hoge en lage openingen is gemaakt om eventuele effecten van thermiek te kunnen modelleren. De openingen die aan de omgeving grenzen hebben de mogelijkheid een externe winddruk (drukpunt C_p) aan te brengen. Dit is thans niet relevant, maar kan worden gebruikt bij het simuleren van containments die aan buiten grenzen of buiten zijn opgesteld.

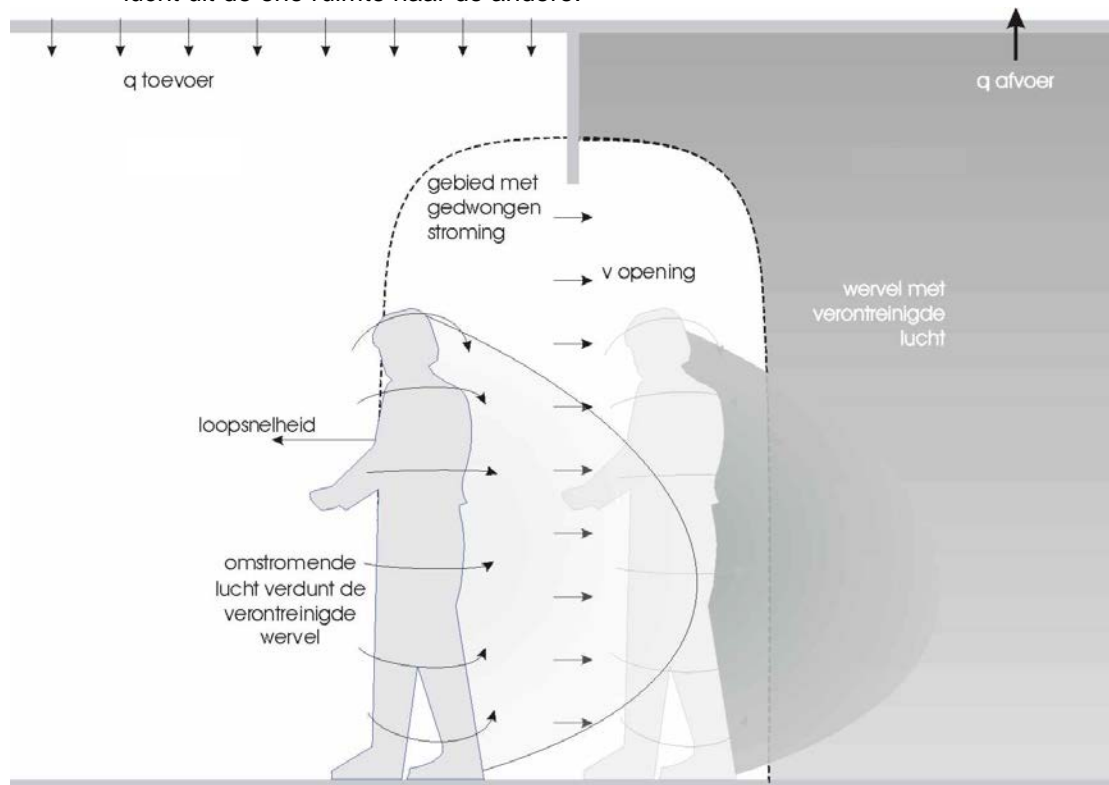


Figuur 1 Basisopzet van het ventilatiemodel van het containment met drietrapsluis

Met het model worden de luchtstromen berekend tussen de (5) zones onderling en met de omgeving ('buiten'), onder invloed van de drijvende krachten. In dit geval is de ventilator van de onderdrukmaschine (ODM) als primaire drijvende kracht beschouwd. Daarnaast gelden deur- en gordijnbewegingen van resp. platen- en vouwsluis en passages van personen als bijzondere drijvende krachten (zie H3.2). In het containment (zone Z1) is een arbitraire genormeerde bronsterkte verondersteld. Per tijdstap is de verspreiding van deze verontreiniging uit het containment via de luchtstromen naar andere ruimten bepaald. Rekening houdend met de volumens van de ruimten ontstaat hieruit als functie van de tijd een concentratieverloop per ruimte. Door deze concentraties te combineren met de verblijfsduur van (onbeschermde) personen per ruimte is hun relatieve blootstelling bepaald.

3.2 Vlaageffecten

Bij sluizen vormt de luchtuitwisseling door vlagen t.g.v. deur- en gordijnbewegingen en door luchtversleping achter passanten (Figuur 2) een bijzonder aspect. In al deze gevallen zorgt de verplaatsing van het betreffende object voor verdringing van lucht uit de ene ruimte naar de andere.



Figuur 2 In het zogebied achter een passerende persoon wordt vervuilde lucht meegezogen

Afhankelijk van de verplaatsingsnelheid, de vorm van het obstakel en zijn volume t.o.v. het ruimtevolumen wordt voor het bewegende obstakel een overdruk opgebouwd en achter het obstakel een onderdruk. Hierdoor wordt achter het obstakel lucht meegezogen en voor het obstakel lucht weggeduwd. Door de vereffening van deze drukken ontstaat een sterke luchtwerveling rond het obstakel. Die zorgt op zijn beurt weer voor een sterke menging ('inductie'). Dit zorgt voor verdunning, zodat het netto vanuit de ene ruimte naar de andere verplaatst

(verontreinigde) luchtvolume ruim kleiner is dan het werkelijk verplaatste volume van de verdrongen lucht.

In eerdere TNO-projecten is dit fenomeen nader in kaart gebracht en gesimuleerd, bijvoorbeeld bij het voorkomen van kruisinfectie in ziekenhuizen [5] of om rokers en niet-rokers effectief te scheiden [6]. Op basis hiervan is deze uitwisselingsterm globaal afgeleid en in het ventilatiemodel gebracht. Door overeenstemming met de testresultaten [3] is deze uitwisselingsterm nog bijgesteld voor de specifieke sluiscondities.

Met name bij de platensluis is in de films (met rook) een zichtbaar sterke luchtuitwisseling bij deurgebruik te zien. Dit wordt toegeschreven aan het vrij schoksgewijs openen, doordat de hechtkracht van een magneetbandsluiting moet worden overwonnen plus de kracht van de veer die de deur (snel) vanzelf dient te sluiten. Bij de vouwsluis is de zichtbare luchtuitwisseling door de bewegende gordijnen minder, hoewel hierbij ook de sterke overstroom richting containment een onderdrukkende rol speelt.

3.3 Modelvariabelen

Voor de opbouw van het ventilatiemodel is een groot aantal variabelen vastgesteld. Ze worden hier nader toegelicht.

Ruimtevolume

De volumen van ruimten zijn van belang voor de ventilatietijdconstante, ofwel de afnamesnelheid van het concentratieverloop. Voor het containment is een ruimtevolume van 50 m³ aangehouden, op basis van de afmetingen volgens het testrapport. Afhankelijk van de uitvoering variëren de volumens van de sluiscellen van 1,6 à 2,0 m³ voor de platensluis tot 0,9 m³ voor de vouwsluis. Bij de simulaties is van een gemiddeld volume van 1,4 m³ per cel uitgegaan.

Lek van het containment

In hoofdstuk 3.1 van het testrapport wordt aangegeven dat het containment bij gesloten toegangen lekstromen heeft van 75 en 200 m³/h bij respectievelijk 4 en 21 Pa. Hieruit is een C-waarde (doorlaat) van 9,3 dm³/s@1Pa afgeleid bij een n-waarde (stromingsexponent) van 0,59 [zie de bijlage voor nadere achtergrondinformatie over C- en n-waarden].

Volgens informatie van Gerrie van Beljouw in een e-mail van 17 mei jl. zou de lek met afgeplakte naden van de aangesloten sluis 120 m³/h zijn bij 20 Pa, wat zou neerkomen op een C-waarde van 5,6 dm³/s@1Pa.

Overstroomopening containment

Om het minimaal vereiste ventilatievoud van 6 luchtwisselingen per uur te halen (ofwel een luchtstroom van $6 \times 50 = 300$ m³/h) bij de voornoemde n-waarde van 0,59 dient de totale C-waarde van het containment minimaal 14,3 dm³/s@1Pa te bedragen. Naast de lekken is daarom nog een overstroomopening met een complementaire C-waarde van 5,0 dm³/s@1Pa aangehouden.

Deurroosters platensluis

Uit de concentratieafname na het uitsluizen, beschreven in hoofdstuk 3.4 van het testrapport, is een C-waarde van de deurroosters in de sluis afgeleid in de orde van 0,045 dm³/s@1Pa wat neerkomt op een doorlaat van circa 0,35 cm². Dit is dermate klein dat wordt vermoed dat het hier uitsluitend lekken van de deuren betreft.

Volgens informatie van Gerrie van Beljouw in een e-mail van 17 mei jl. is door het douchecompartiment een (vereiste) luchtstroom gemeten van 35 m³/h bij 20 Pa onderdruk aan de ingang van de vuile zijde. Ervan uitgaande dat deze onderdruk gelijkmatig over de 4 deuren wordt verdeeld, zou dit neerkomen op een C-waarde van 4,35 dm³/s@1Pa. Met deze waarde is verder gerekend.

Gordijnopeningen vouwsluis

Afhankelijk van het drukverschil over de gordijnen van de vouwsluis gaan deze onder een zekere hoek schuin hangen. De hoek wordt bepaald door het gewicht van het gordijn, dat is verzawaard met een strip van 750 g onderin. Dit beperkt de uitslag van het gordijn en dus zijn vrije doorlaat.

De doorlaat van het gordijn tussen de schone sluiscel en buiten wordt nog extra beperkt door dit gordijn van boven tot ca. 50 cm van onder dicht te ritsen. Deze afsluiting wordt zo ingesteld dat de vereiste 20 Pa onderdruk in het containment bij de toegepaste ventilatie (tenminste normstroom) wordt gehaald.

Om het verband tussen drukverschil en schuinstand c.q. doorlaatopening te kunnen bepalen, afhankelijk van het gewicht en de gewichtsverdeling van het gordijn, is gebruik gemaakt van een apart model. Het evenwicht tussen de momenten door de druk over het gordijn en door het eigen gewicht vormt hiervan de grondslag.

Met het ventilatiemodel is vervolgens bij de instelsituatie (rekening houdend met een gebruikelijke lek van het containment) de verdeling van de druksprongen over de afzonderlijke gordijnen bepaald. Hieruit volgt voor het deels gesloten gordijn een doorlaat van 72 dm³/s@1Pa en voor de overige drie gordijnen van 264 dm³/s@1Pa.

Instelling ODM

Het afzuigdebiet van de ODM is ingesteld op 250 dm³/s (900 m³/h), zoals opgegeven in het testrapport. In combinatie met voornoemde openingen is de ingestelde onderdruk in het containment dan 20 Pa.

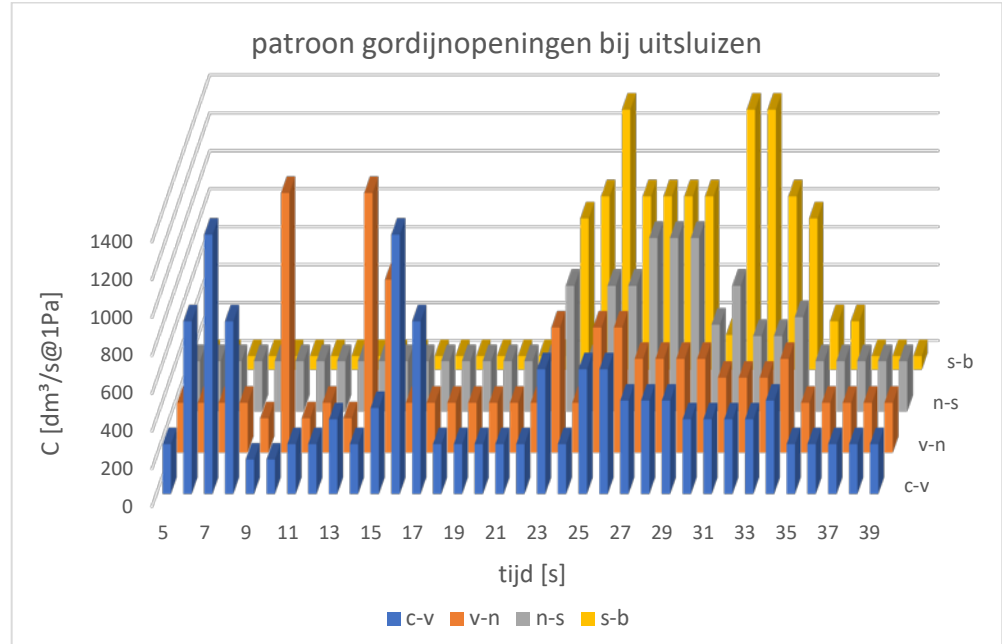
Doorgangen deuren en gordijnen

Bij het passeren van een deur of gordijn wordt dit geopend. Voor de deuren van de platensluis is de C-waarde van de geheel geopende deur ca. 2280 dm³/s@1Pa. Voor de vouwsluis is gerekend met 1370 dm³/s@1Pa voor een gordijn dat zodanig wordt open gedrukt dat men vrij kan passeren.

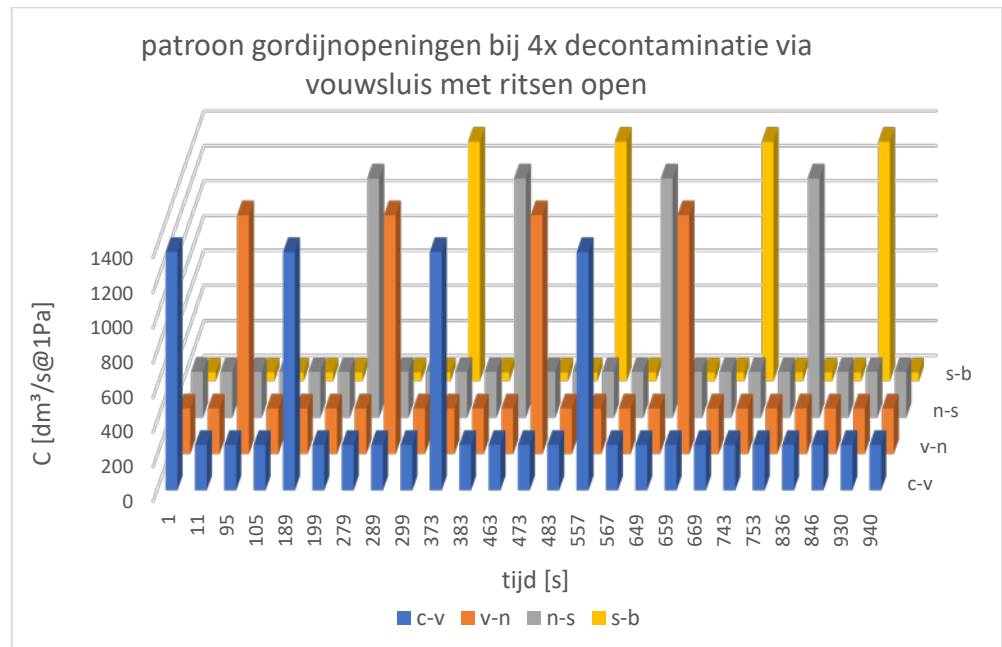
In de films is te zien dat, geheel volgens de procedure, bij de platensluis nooit meer dan één deur tegelijk is geopend. De geringe overstroom van lucht door de sluis zal door die ene open deur niet merkbaar worden beïnvloed, omdat de roosters in de nog dichte deuren de bepalende (serie)weerstand voor deze luchtstroom vormen. Voor het deurgebruik van de platensluis is de opening-grootte zowel bij uitsluizen als decontaminatie derhalve niet relevant. Voor de vouwsluis geldt dit ook als de ritsen van de tussengordijnen worden gesloten. Bepalend is dan de luchtverplaatsing ten gevolge van het bewegen van de deur of het gordijn.

Tijdens het uitsluizen door de vouwsluis zijn in de films de tussengordijnen niet dicht geritst en het aan buiten grenzende gordijn van de schone cel is nog deels open. Dan heeft het openen van één gordijn en vooral van het deels gesloten buitengordijn wel een significant effect op de overstroom via de sluis. Daarom is

voor de vouwsluis wel het patroon van gordijnopeningen voor de beschouwde scenario's bepaald. Figuur 3 geeft dit weer voor één representatieve uitsluiscyclus. Het decontamineren van saneerders via de vouwsluis is beschouwd bij het wel en niet dicht ritsen van de gordijnen. Figuur 4 geeft voor het decontamineren met losse gordijnen het patroon van gordijnopeningen.



Figuur 3 Patroon van gordijnopeningen bij de vouwsluis binnen één cyclus van uitsluizen van een afvalproduct (c=containment, v=vuile, n=natte en s=schone sluisruimte, b=buiten)



Figuur 4 Patroon van gordijnopeningen bij decontaminatie van 4 saneerders in de vouwsluis met ritsen open

Turbulente uitwisseling

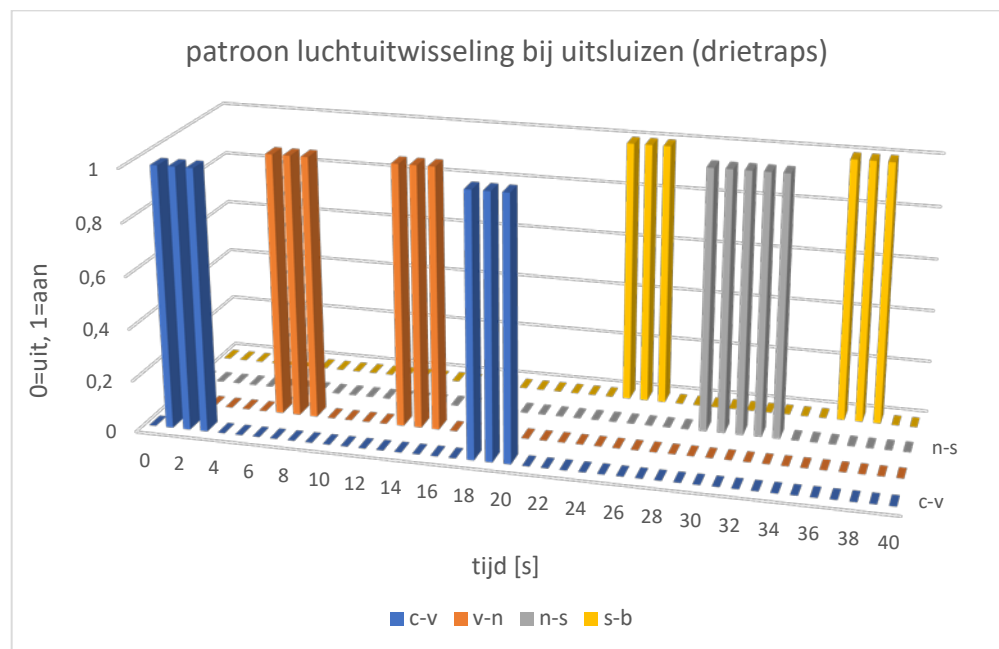
In hoofdstuk 3.2 is reeds toegelicht dat bij beweging van objecten door wervelingen uitwisseling ontstaat. Dit is in het ventilatiemodel ingebracht door over de betreffende openingen voor die tijdstappen zowel een in- als uitgaande luchtstroom op te drukken.

Eerst zijn de uitwisselingsstromen door de draaiende deuren van de platensluis afgeleid. Dit is gedaan door het verdrongen luchtvolume te bepalen en dit te vermenigvuldigen met een reductiefactor t.g.v. de inductie. De reductiefactoren zijn zodanig bijgesteld dat de relatieve concentraties bij de simulatie zo goed mogelijk overeenstemmen met die van de vergelijkbare test uit het meetrapport. Zo is gemiddeld tijdens het deurgebruik 0,1 m³/s uitwisseling aangehouden. Figuur 5 geeft voor het uitsluizen per onderscheiden opening het tijdstip en de duur aan waarop die uitwisseling plaatsvindt. Figuur 6 geeft het overeenkomstige beeld bij decontaminatie.

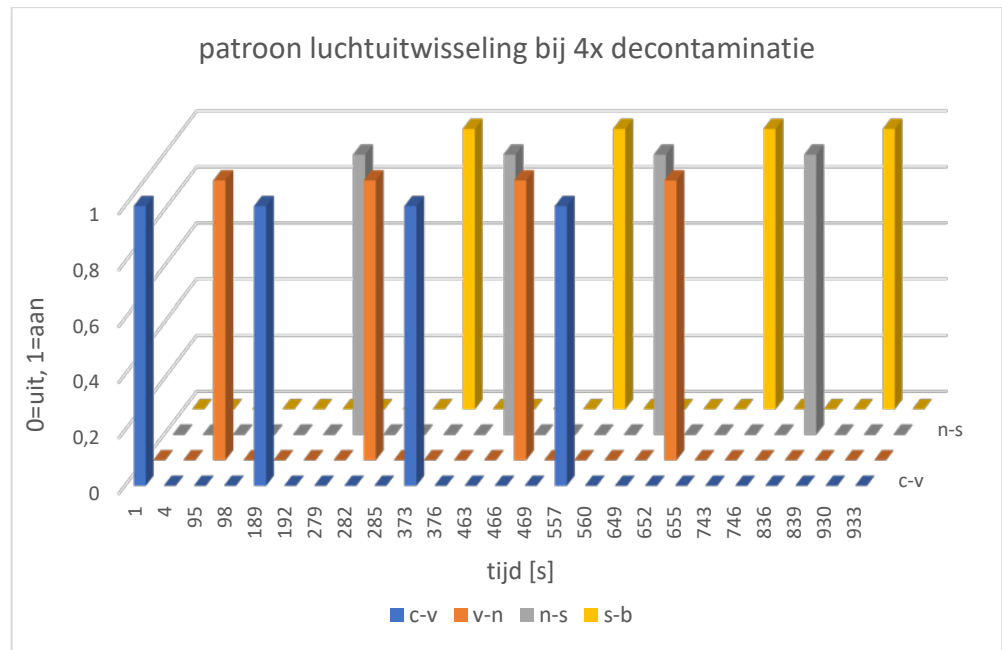
Voor de vouwsluis is vooralsnog van dezelfde uitwisselingsstromen uitgegaan als bij de platensluis. Weliswaar is de uitslag en beweging van de gordijnen minder, maar de inschatting hiervan is moeilijker. Het is ook beduidend minder kritisch dan bij de platensluis, omdat hier de sterke continue overstroom via de vouwsluis zal domineren. Door deze aanname wordt de concentratievereffening tussen de cellen hier dus enigszins ongunstig (= te sterk) ingeschat.

Omdat de tussengordijnen bij doorgang niet (hoeven te) worden open of dicht geritst, heeft een uitsluiscyclus bij de vouwsluis een wat kortere doorlooptijd dan bij de platensluis. Het patroon is echter vergelijkbaar met dat van Figuur 5. Bij het decontamineren is het patroon van Figuur 6 zowel voor de platen- als de vouwsluis aangehouden.

Naar aanleiding van de filmbeelden is besloten het sleepeffect door het passeren van personen te verwaarlozen. Het effect hiervan lijkt sterk ondergeschikt aan dat van de deur- of gordijnbeweging.



Figuur 5 Patroon van luchtuitwisseling bij de platensluis binnen één cyclus van uitsluizen van een afvalproduct (c=containment, v=vuile, n=natte en s=schone sluisruimte, b=buiten)

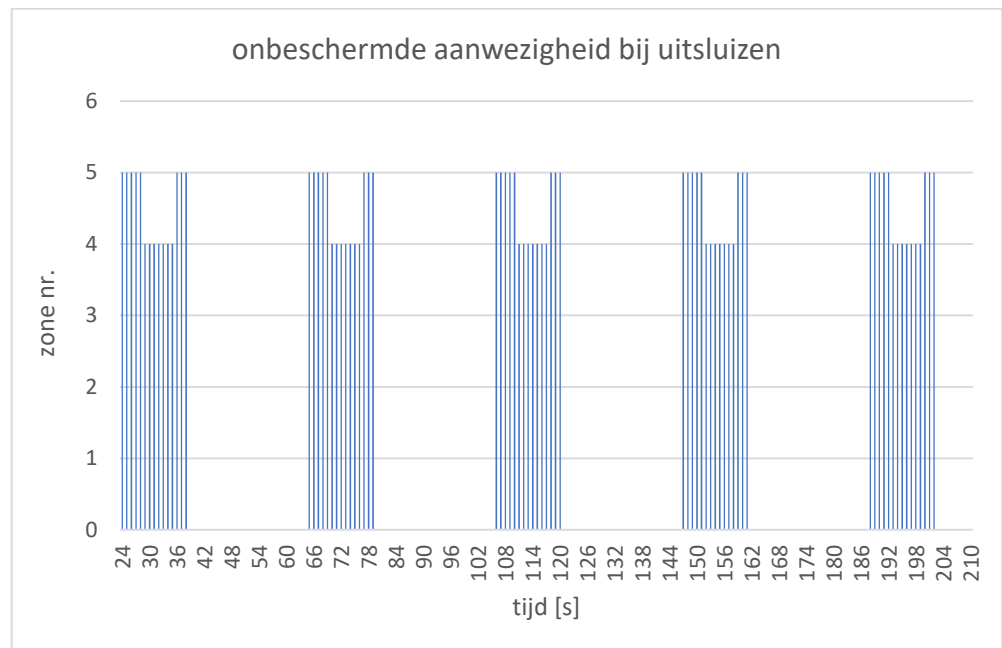


Figuur 6 Patroon van luchtuitwisseling bij de vouwsluis bij decontaminatie van 4 saneerders

Gebruikers

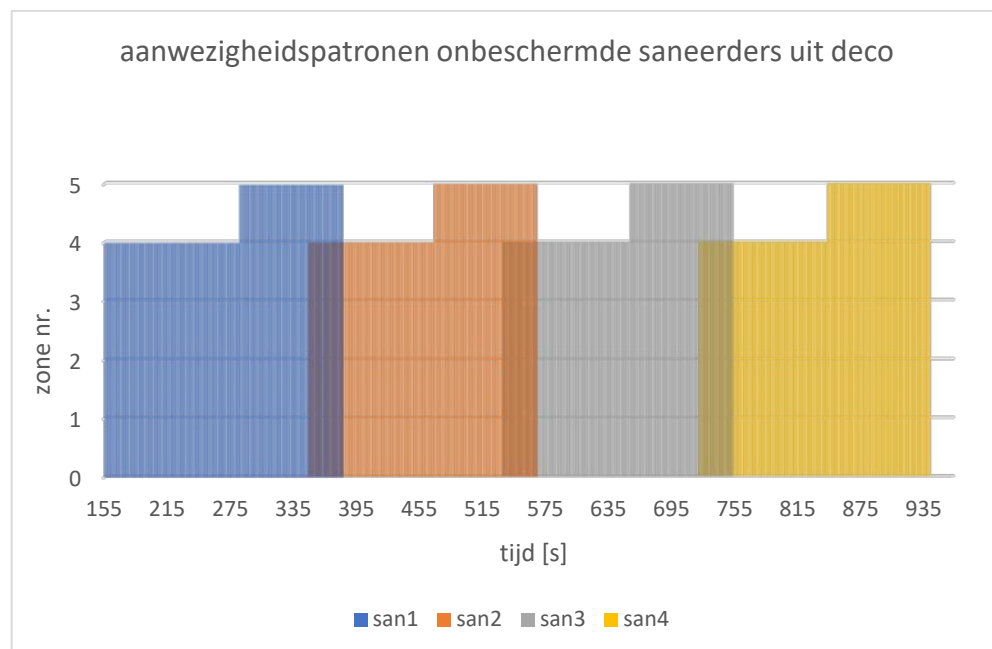
De optredende concentraties in de verschillende sluiscompartimenten, die met het model worden voorspeld, zijn vooral van belang bij aanwezigheid van onbeschermden gebruikers.

Bij het uitsluizen betreft dit de hulpkracht, die van buiten de verpakkingen ophaalt uit de schone en 'natte' sluiscel. Figuur 7 geeft zijn aanwezigheidspatroon aan.



Figuur 7 Aanwezigheidspatroon onbeschermden hulpkracht tijdens 5x uitsluizen (zone 4 = 'natte' cel, zone 5 = schone cel)

Bij het decontamineren gaat het om de saneerders nadat zij hun adembescherming hebben afgezet. Er is aangehouden dat dit gebeurt 1 minuut nadat men de natte cel heeft betreden. Figuur 8 geeft hun aanwezigheidspatronen aan gedurende de tijd dat ze onbeschermd zijn.



Figuur 8 Aanwezigheidspatronen onbeschermden saneerders tijdens decontaminatie (zone 4 = 'natte' cel, zone 5 = schone cel)

3.4 Modelvarianten

De volgende modelvarianten zijn beschouwd:

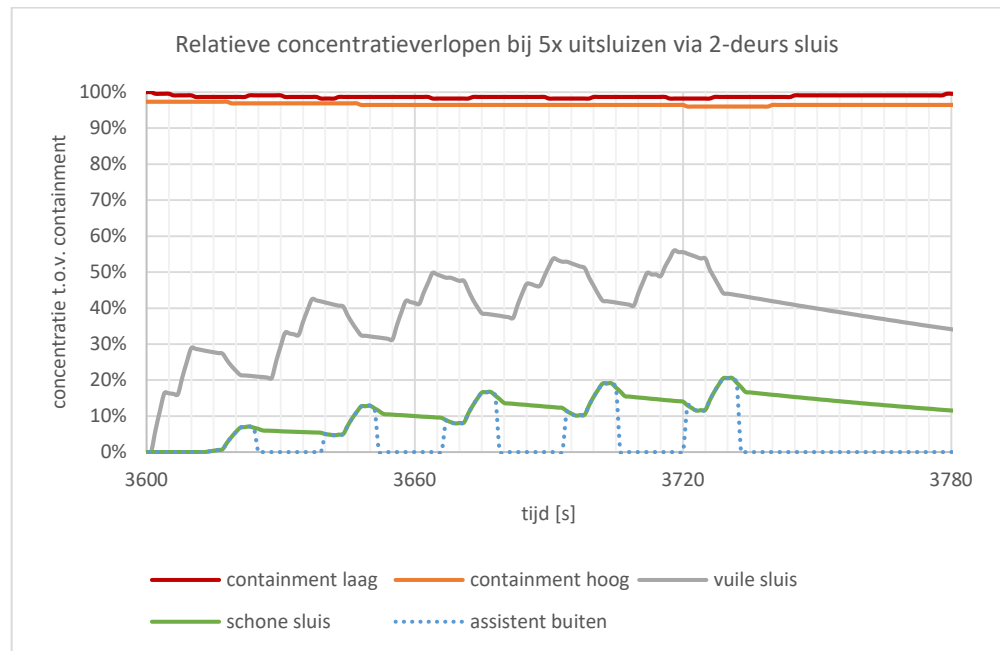
- T4 uitsluizen 2-traps platensluis;
- T5 uitsluizen 3-traps platensluis, afgestemd op testrapport;
- T6 uitsluizen 3-traps vouwsluis, uitwisselingsstromen afgestemd op film;
- T7 uitsluizen 3-traps vouwsluis, zonder uitwisselingsstromen;
- T8 decontaminatie via platensluis;
- T9 decontaminatie via vouwsluis, met ritsen dicht;
- T10 decontaminatie via vouwsluis, met ritsen open.

De modelvarianten T1 t/m T3 zijn gebruikt om de basisopzet van het model met de juiste lekopeningen en roosters te ontwikkelen en een eventuele invloed van thermiek te bestuderen. Dit voorwerk is hier verder niet gerapporteerd.

4 Resultaten en bespreking

4.1 Uitsluizen via 2-traps platensluis

Figuur 9 geeft het voorspelde concentratieverloop bij het achtereenvolgens uitsluizen van 5 kleine afvalverpakkingen via de 2-traps platensluis. De concentraties in de verschillende zones zijn uitgedrukt als percentage van de concentratie in het containment juist voordat deze activiteit wordt gestart.



Figuur 9 Concentratieverloop bij uitsluizen via 2-traps platensluis

De figuur laat zien dat de concentratie in de vuile ruimte aanzienlijk oploopt door het snel opeenvolgend openen van de deur naar het containment in combinatie met de sterke luchtuitwisseling die daarbij optreedt. De geringe tussentijdse doorspoeling van deze sluisruimte zorgt slechts voor een beperkte daling van de concentratie tussen de opeenvolgende deurbewegingen.

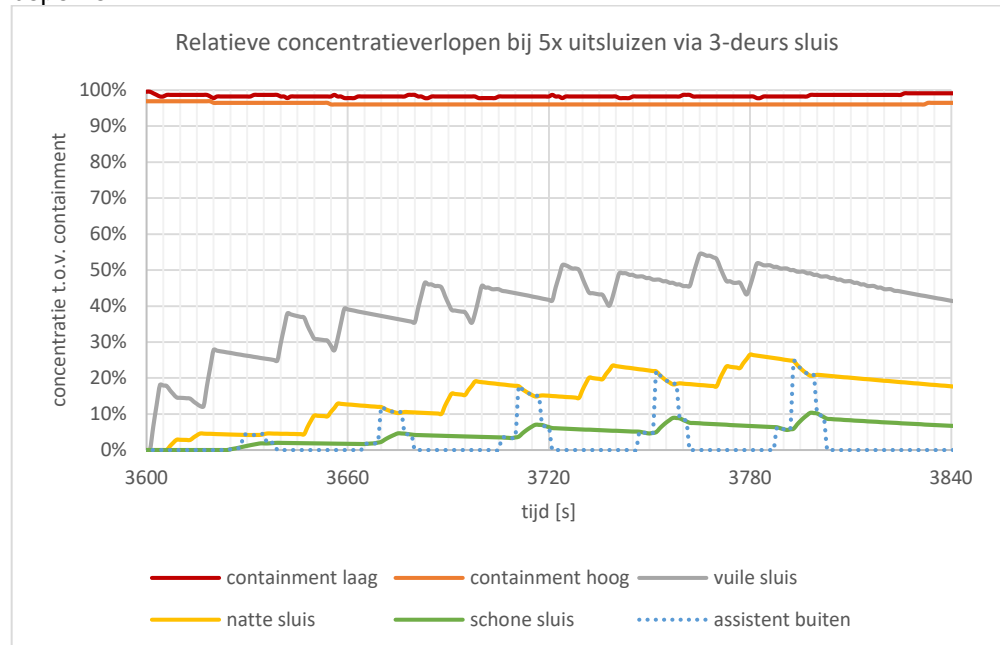
Bij het vervolgens openen van de deur tussen vuile en schone ruimte lekt steeds een flink luchtaandeel uit de vuile naar de schone ruimte. Elke keer dat dit gebeurt neemt de concentratie in de schone ruimte sprongsgewijs toe, terwijl tegelijk een navenante daling in de vuile ruimte optreedt. Ook hierbij wordt de sterke luchtuitwisseling door het deurgebruik geacht een belangrijke rol te spelen.

De assistent die van buiten onbeschermd de afvalverpakkingen uit de schone ruimte oppikt, wordt daarbij steeds blootgesteld aan de verhoogde concentratie in de schone ruimte. Zoals de grafiek laat zien, is die concentratie bij de vijfde charge al opgelopen tot circa 20% van de concentratie in het containment.

4.2 Uitsluizen via 3-traps platensluis

Figuur 10 laat zien dat gebruik van een 3- i.p.v. 2-traps platensluis niet tot een drastisch ander beeld leidt. De natte ruimte tussen het vuile en schone sluisdeel,

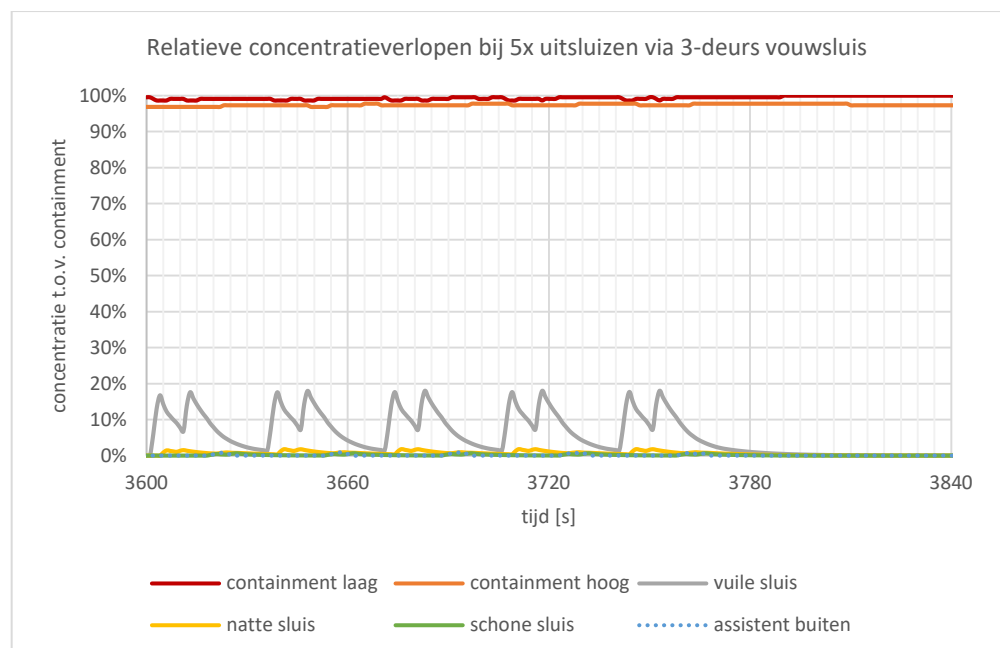
waaruit de assistent de afvalpakketten oppikt, bereikt zelfs een iets hogere concentratie (22,7%) dan de schone ruimte van de 2-traps sluis. Ook hier is een belangrijke constatering dat het deurgebruik een sterke uitwisseling van verontreinigde lucht genereert en dat de tussentijdse doorspoeling van de sluiscellen te gering is om overdracht van die verontreiniging drastisch te kunnen beperken.



Figuur 10 Concentratieverloop bij uitsluizen via 3-traps platensluis

4.3 Uitsluizen via 3-traps vouwsluis

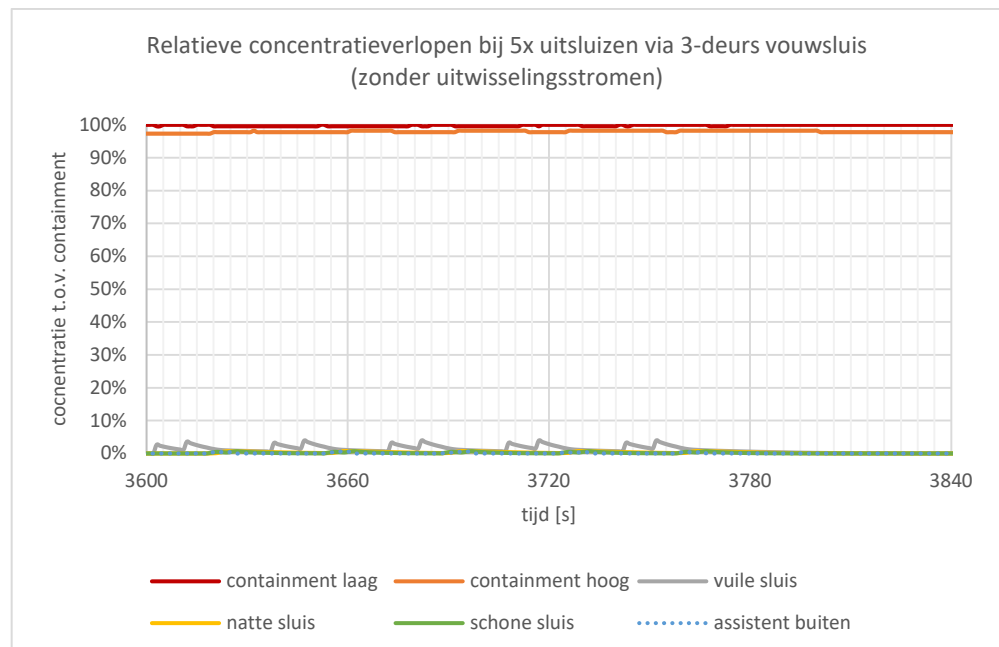
Figuur 11 toont het concentratieverloop bij uitsluizen via de open vouwsluis.



Figuur 11 Concentratieverloop bij uitsluizen via 3-traps vouwsluis

Ten opzichte van de vergelijkbare situatie van de platensluis valt direct op dat beduidend lagere concentraties in de sluiscompartimenten optreden. De assistent die de afvalpakken oppikt, wordt blootgesteld aan concentraties van 0,6 à 0,8% van de concentratie in het containment.

Men dient daarbij nog in ogenschouw te nemen dat bij deze simulatie de vergelijkbaar sterke luchtuitwisseling als bij de platensluis is aangehouden. Het is aannemelijk dat hierdoor een overschatting optreedt, omdat de gordijnbewegingen van de vouwsluis minder heftig zijn dan de deurbewegingen van de platensluis. Om inzicht te krijgen in de invloed van deze variabele is dezelfde simulatie nogmaals uitgevoerd zonder uitwisselingsstromen, wat uiteraard een onderschatting van de werkelijkheid zal geven. Figuur 12 geeft dit weer. Dit laat zien dat dan beduidend lagere concentraties in de sluiscompartimenten optreden. De blootstelling van de assistent wordt maximaal 0,3% van de concentratie in het containment. Een correcte inschatting van de luchtuitwisseling over de vouwsluis is dus wel relevant voor de concentraties in de sluiscompartimenten en de blootstelling van de assistent.

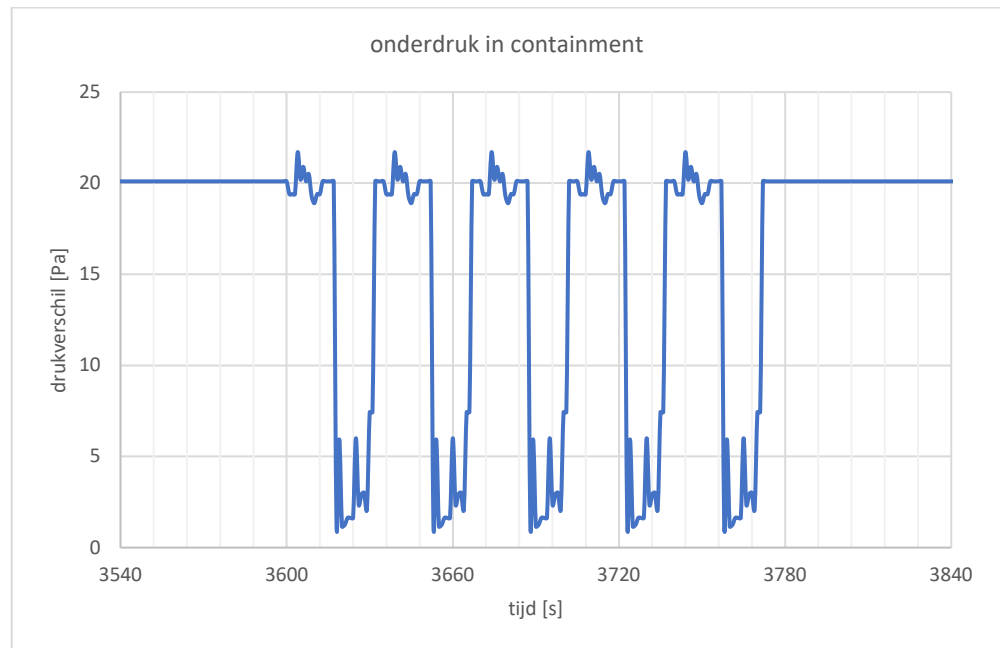


Figuur 12 Concentratieverloop bij uitsluizen via 3-traps vouwsluis zonder uitwisselingsstromen

De algemene constatering is dat bij de open vouwsluis een beduidend geringer verspreiding van verontreinigingen uit het containment optreedt dan bij de platensluis. Dit wordt vooral toegeschreven aan de grote overstrom van schone omgevingslucht via de sluis. Dat zorgt voor een veel betere doorspoeling van c.q. snellere verdunning in de sluiscompartimenten. Dat de gordijnbewegingen van de vouwsluis minder heftig zijn dan de deurbewegingen van de platensluis en daardoor voor minder luchtuitwisseling zorgen, wordt als gunstig bestempeld, maar blijkbaar toch van secundair belang.

De grote overstrom van lucht via de sluis heeft wel een nadeel. Het blijkt dat met name bij het losritsen van het buitengordijn, mede door het openen van tussenliggende gordijnen een dermate grote opening met navenant lage weerstand

ontstaat dat een duidelijke terugval in onderdruk in het containment optreedt. Figuur 13 laat dit zien.



Figuur 13 Het openen van de gordijnen kan een grote invloed hebben op de onderdruk in het containment

De drukdaling kan aanzienlijk worden doordat bij het losritsen van het buitenste gordijn het totaal aan openingen te groot wordt om met de ingestelde afzuigstroom uit het containment voldoende onderdruk te handhaven.

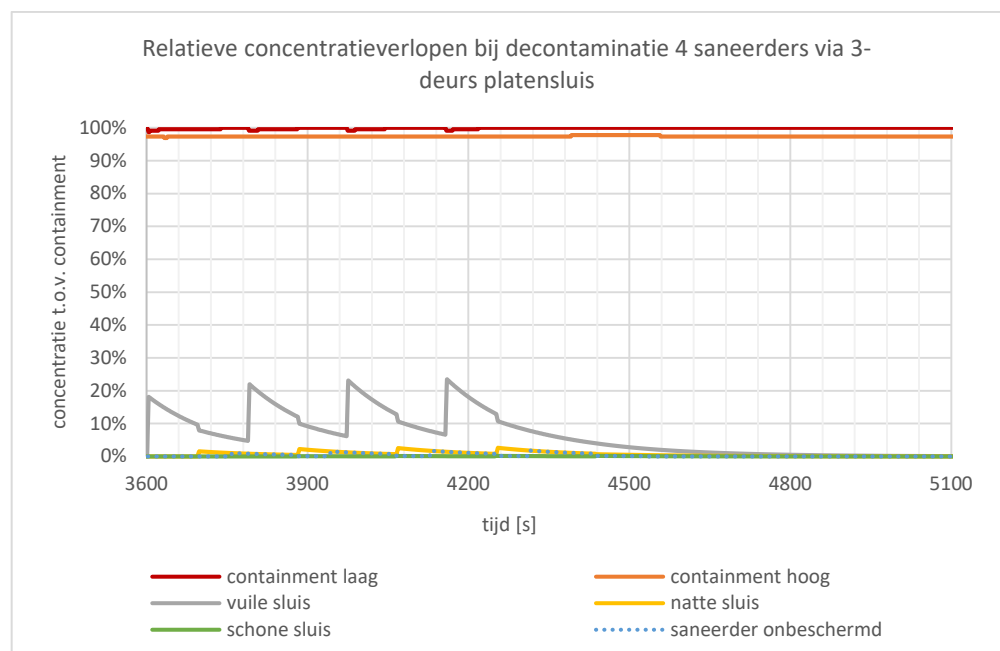
In het meetrapport wordt dit effect niet beschreven. Om dit met het model goed te voorspellen, zijn verificatietests gewenst. Er is namelijk een groot aantal variabelen van invloed op de werkelijke drukdaling. Dit zijn naast het gordijngebruik, de mate waarin één of meer gordijnen worden gesloten (dicht geritst), de maten en gewichten van de gordijnen en de daarin opgenomen verzwaren, de ingestelde afzuigstroom alsmede de verdeling tussen de luchtstroom uit het containment en de overstroom via de sluis. Figuur 13 dient voornamelijk dus als indicatief te worden gezien, maar toont wel dat dit een belangrijk aandachtspunt is.

Door een slimme afstemming van voornoemde variabelen kan de drukval al worden beperkt. Om de drukval geheel te compenseren, zou men de momentane afzuigstroom door de ODM op basis van de onderdruk kunnen regelen.

Vooropgesteld dat men de drukval moet trachten te voorkomen, is een interessante vraag hoe men het risico hiervan moet wegen. Er staat namelijk tegenover dat bij de vouwsluis tijdens het openen van de afscheiding tussen de schone sluiscel en buiten hoegenaamd geen verontreiniging naar buiten ontsnapt, waar bij de platensluis dat risico veel groter is. Bij de platensluis laat het model immers een tientallen malen grotere concentratieverhoging in de schone ruimte (Figuur 10) zien dan bij de vouwsluis (Figuur 11).

4.4 Decontaminatie via platensluis

Figuur 14 toont de concentratieverlopen als achtereenvolgens 4 saneerders via de platensluis worden gedecontamineerd en het containment verlaten. Het openen van de deur tussen het containment en de vuile ruimte leidt ook hier tot een merkbare concentratietoename in de vuile ruimte, die vervolgens gedempt is terug te zien in de natte sluiscel. Doordat de verblijfstijd in de cellen (c.q. de spoeltijd) groter is en men niet heen en terug gaat, zijn de concentraties bij het overgaan naar de volgende sluiscel beduidend lager dan bij het uitsluizen. Hierdoor wordt de saneerder, als die zijn adembescherming heeft afgedaan, aan een concentratie van 0,9 à 1,6% t.o.v. het containment blootgesteld. Dit is met name bij het verblijf in de natte cel. Het pleit er tenminste voor om de adembescherming op zijn vroegst vlak voor het verlaten van de natte cel af te doen.

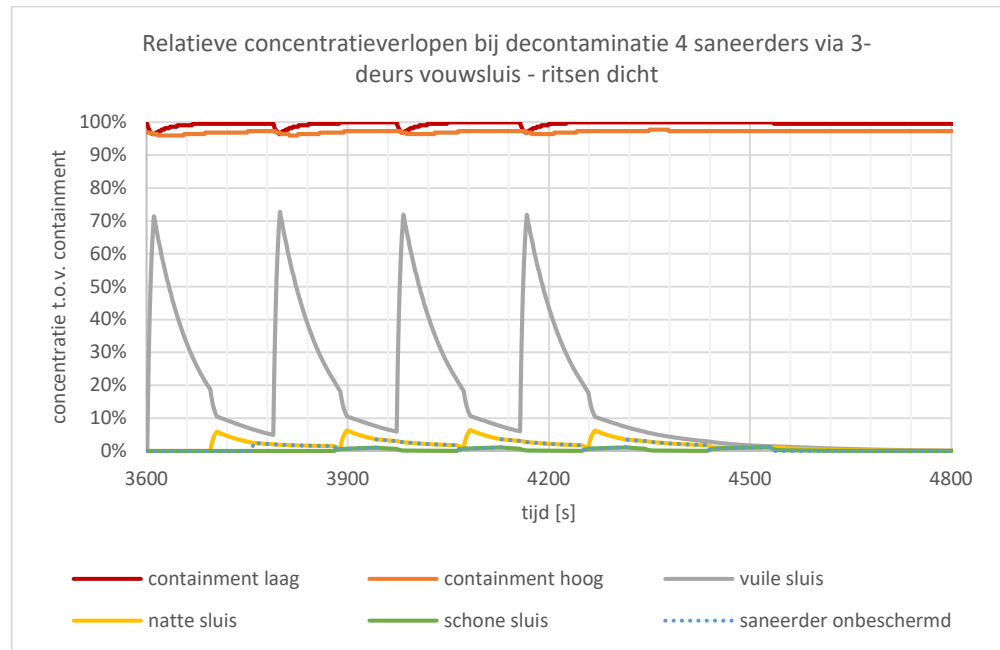


Figuur 14 Concentratieverloop bij decontaminatie via de 3-traps platensluis

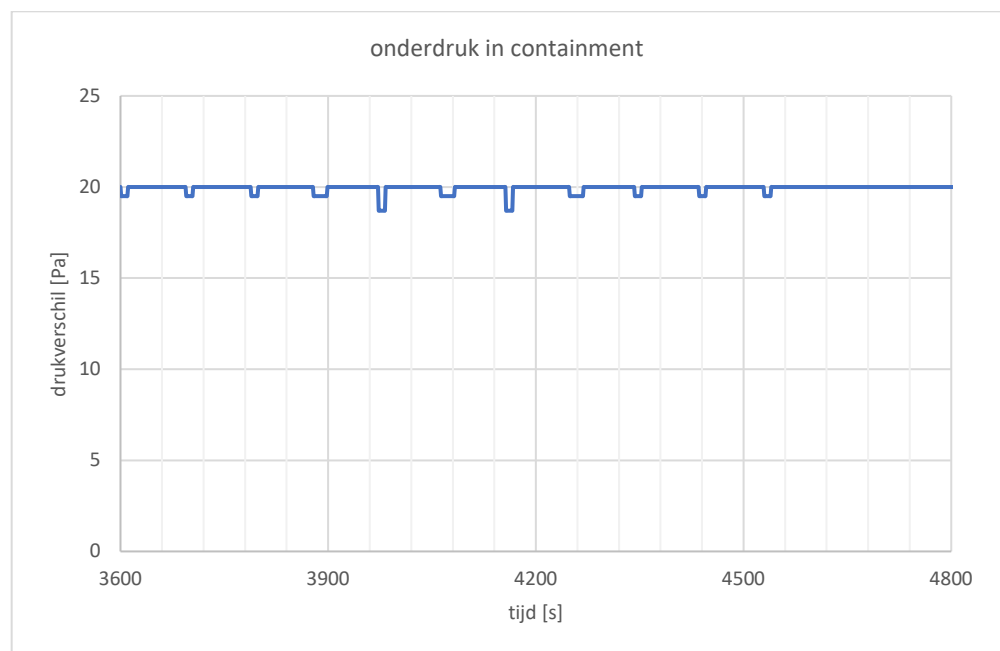
4.5 Decontaminatie via vouwsluis

Figuur 15 toont de vergelijkbare situatie bij decontaminatie via een vouwsluis met ritsen dicht.

Omdat het openen en sluiten van de ritsen langer duurt, kan de vuile cel een ruim hogere concentratie bereiken. Ook hier ziet men door de lange spoeltijd een sterke concentratieafname voordat de scheiding tussen de vuile en natte cel wordt geopend. Dit beperkt de concentratie in de natte cel ten opzichte van het uitsluizen. Toch wordt de concentratie bij de onbeschermdede saneerder uiteindelijk wel hoger dan bij de platensluis, te weten 2,4 à 3,3% van die in het containment. Het sluiten van de ritsen van de gordijnen tussen de verschillende cellen is wel gunstig voor het handhaven van de onderdruk in het containment. Figuur 16 laat zien dat kortstondig drukdalingen van 0,5 à 1,3 Pa optreden.

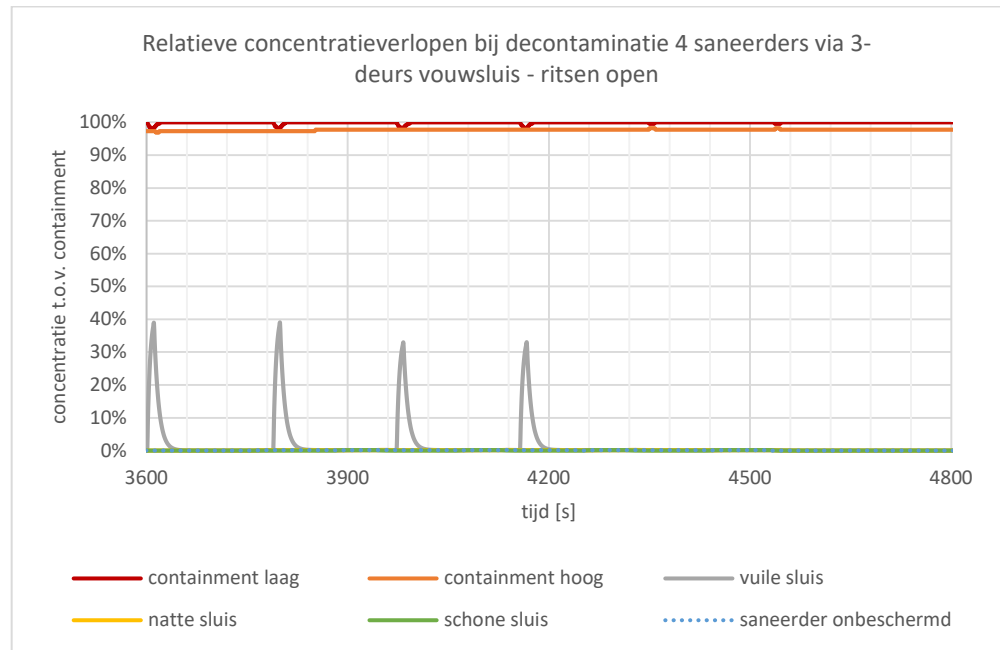


Figuur 15 Concentratieverloop bij decontaminatie via de 3-traps vouwsluis bij tussentijds sluiten van de ritsen



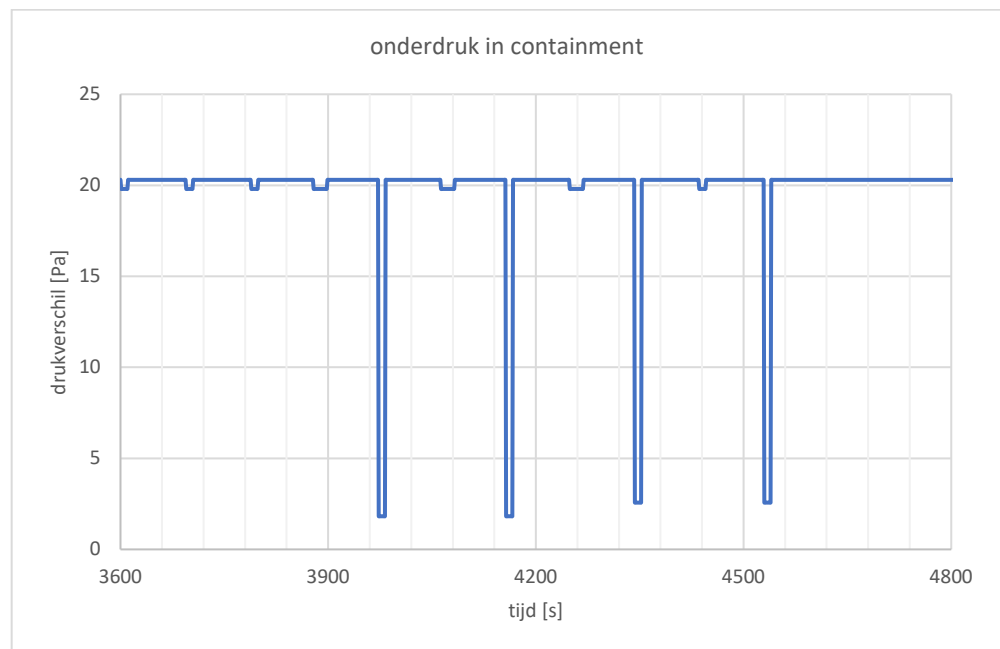
Figuur 16 Verloop van de onderdruk in het containment bij decontaminatie indien de ritsen tussentijds sluiten

Indien men de ritsen van de tussengordijnen niet sluit, blijkt de blootstellingssituatie evenals bij het uitsluizen weer gunstiger te worden (Figuur 17). De concentratie bij de onbeschermd saneerder wordt dan 0,1% van die in het containment.



Figuur 17 Concentratieverloop bij decontaminatie via de 3-traps vouwsluis bij open ritsen

Anderzijds blijkt het afnemen van de onderdruk in het containment weer op te treden, al beperkt zich dat nu tot de korte momenten dat het deels gesloten buitengordijn geheel wordt open geritst om de uitredende saneerder te laten passeren (Figuur 18).

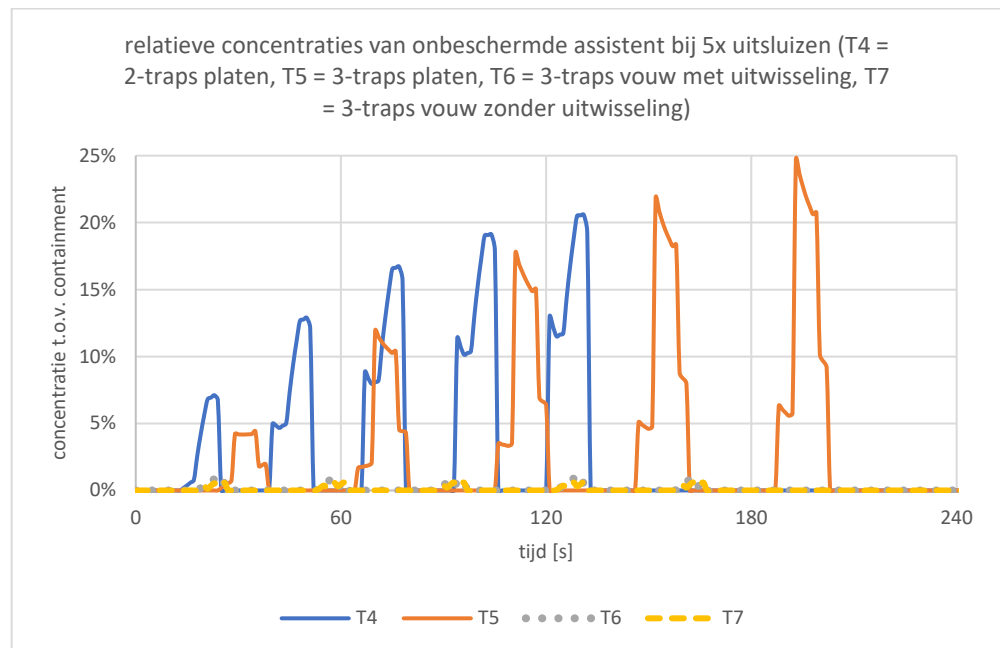


Figuur 18 Verloop van de onderdruk in het containment bij decontaminatie met open ritsen

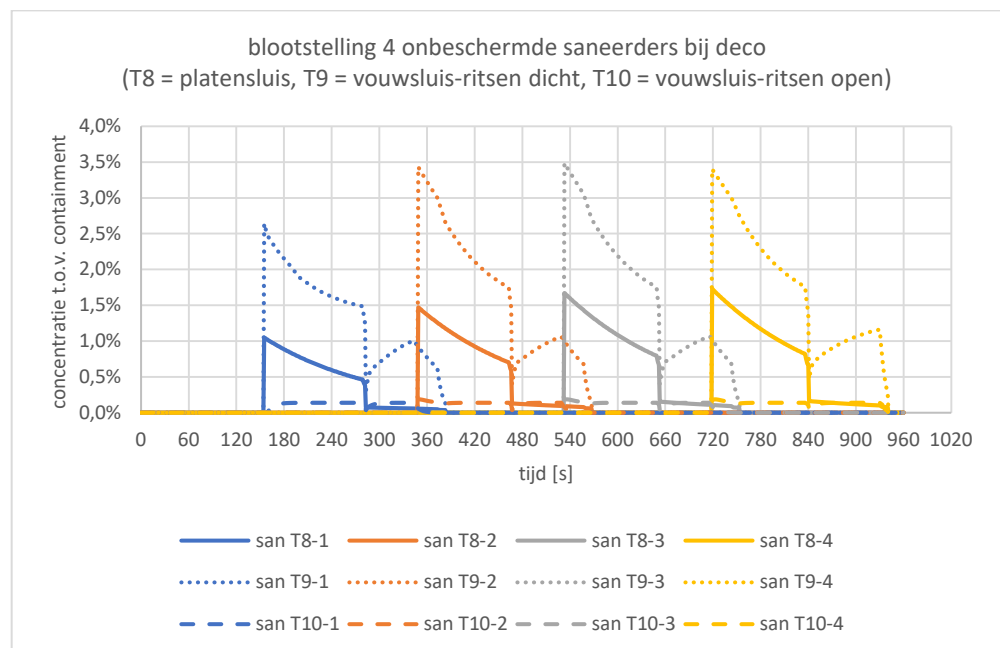
4.6 Overzicht resultaten

Figuur 19 vergelijkt de blootstellingspatronen van de onbeschermd assistent tijdens het uitsluizen bij de verschillende sluisconfiguraties. Daaruit blijkt duidelijk dat gebruik van de platensluis bij het uitsluizen tot veel hogere blootstellingen leidt dan de vouwsluis.

Bij het decontamineren van de saneerders is het onderscheid genuanceerder (Figuur 20).



Figuur 19 Vergelijking van de blootstellingspatronen van de onbeschermd assistent bij uitsluizen voor de verschillende sluisopties



Figuur 20 Vergelijking van de blootstellingspatronen van de onbeschermd saneerders bij decontaminatie voor de verschillende sluisopties

Gebruik van de vouwsluis leidt met geopende ritsen wederom tot ruimschoots de laagste blootstelling. Met gesloten ritsen is de situatie echter ongunstiger dan bij gebruik van de platensluis.

In zijn algemeenheid wordt opgemerkt dat de blootstellingsniveaus bij het decontamineren ruim lager liggen dan bij het uitsluizen.

Uit het oogpunt van blootstelling heeft het gebruik van de vouwsluis met geopende ritsen een duidelijke voorkeur boven het gebruik van een platensluis of een vouwsluis met gesloten ritsen. Daarbij geldt echter wel de aantekening dat dit gepaard kan gaan met een duidelijke momentane terugval van de onderdruk in het containment. Het mogelijke effect hiervan op de blootstelling is in deze studie niet nader onderzocht.

5 Conclusies en aanbevelingen

Uit het nabootsen en analyseren van de testsituaties met platen- en vouwsluis kunnen de volgende conclusies worden getrokken:

- Bij gebruik van een vouwsluis, waarvan de tussengordijnen niet zijn dicht geritst, treden ruim lagere blootstellingen van onbeschermd werkers op dan bij een platensluis. Het onderscheid is het grootst bij het uitsluizen van objecten. Bij het decontamineren van saneerders is het onderscheid genuanceerder;
- Bij de open vouwsluis in de huidige uitvoering kan een duidelijke vermindering van de onderdruk in het containment optreden op het moment dat het buitengordijn wordt los geritst en geopend.

Ongewenste blootstellingen kunnen ontstaan doordat vuile(re) en schone(re) lucht uitwisselt tussen het containment en de sluis of tussen de sluiscompartimenten onderling. Deze luchtuitwisseling wordt veroorzaakt door de wervelingen ten gevolge van het bewegen van deuren, gordijnen en personen tussen de genoemde ruimten. Een sterke overstroom van lucht van schone naar vuile ruimte onderdrukt deze luchtuitwisseling.

Het sterk doorspoelen van de sluiscellen tussen openingsmomenten zorgt voor een verlaging van de concentraties in de uitgewisselde lucht en kan zo in belangrijke mate bijdragen aan een vermindering van de blootstelling.

Als remedie om het blootstellingsrisico terug te dringen, wordt de volgende combinatie van maatregelen aanbevolen:

- Minimaliseer de luchtverplaatsing ten gevolge van deurbewegingen, bijvoorbeeld door toepassing van schuifdeuren in plaats van draaideuren;
- Handhaaf het snel passeren, sluiten en openen van die deuren om de uitwisselduur zo kort mogelijk te houden;
- Zorg voor een snelle doorspoeling van de sluis. Dit kan bijvoorbeeld door middel van een significante overstroom van lucht van schoon naar vuil. Dat vergt dan een drastische vergroting van de huidige roosters in de sluisdeuren. Beperk daarbij wel eventueel discomfort door tocht, met name in de meest kritische natte cel;
- Voorkom drukdalingen in het containment door de capaciteit van de ODM aan te passen aan de geoptimaliseerde balans tussen overstroomopeningen in de sluis en openingen in het containment.

Men dient te bedenken dat het huidige onderzoek stoelt op een beperkte doorsnede van werksituaties, die bovendien in het lab zijn gesimuleerd. Het verdient daarom aanbeveling de studie te verbreden naar een meer representatief scala aan praktijksituaties en de bevindingen hiervan ook te toetsen aan metingen in die praktijksituaties. Tevens wordt aanbevolen het effect van fluctuaties van de onderdruk door sluisgebruik op het blootstellingsrisico hierin te betrekken.

6 Referenties

[1] SC-530.

Certificatieschema voor het verwijderen van asbest.
Staatscourant 2011 nr. 22513, 22 december 2011.

[2] Inspectie SZW.

Asbest saneren? Laat uw werknemers douchen!
Rijksoverheid, folder sss-623369, maart 2014.

[3] Thomassen, J.P.

Luchtstromingstesten in en rondom een containment bij uitvoering van
representatieve saneringswerkzaamheden.
AVBT, rapport 15.369, 13 januari 2016.

[4] Feustel, H.E., J.C. Phaff et al.

Fundamentals of the multizone air flow model COMIS.
Coventry (GB), AIVC TechNote 29, mei 1990.

[5] Bouwman, H.B.

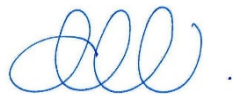
Luchtstromingen door een open deur.
Delft, IG-TNO publicatie nr. 478, 1973.

[6] Gids, W.F. de, A. Opperhuizen.

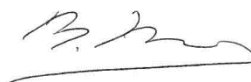
Reductie van blootstelling aan omgevingstabaksrook in de horeca door ventilatie en
luchtreiniging.
RIVM rapport 340450001, 2004.

7 Ondertekening

Delft, 25 juli 2017



Ir. A.C. Westerlaken
Research Manager

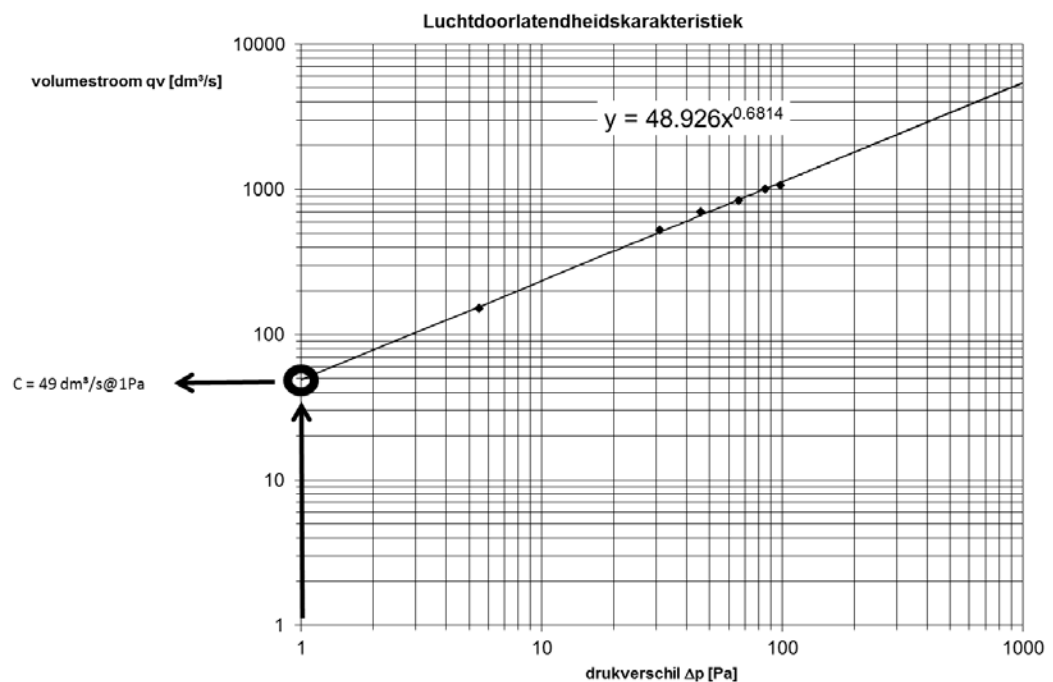


Ing. B. Knoll
Auteur

Bijlage: Karakterisering van luchtdoorlaat

De luchtdoorlaat van een opening (of ventilatievoorziening of luchttek) wordt bepaald met een opblaasproef. Voor Nederland is dat bijvoorbeeld vastgelegd in NEN1087 en NEN2686. Bij de proef worden over de opening verschillende drukverschillen aangebracht waarbij de doorgelaten luchtstroom wordt gemeten. Uit het verband tussen het drukverschil en de volumestroom wordt de waarde bij 1 Pa afgeleid (in het voorbeeld van Figuur 21 is dit 49 dm³/s). Dit noemen we de C-waarde [bij luchtlekken gaat men ook wel uit van de luchtstroom bij 10 Pa, die men dan de *qv10*-waarde noemt]. De grootte heeft als eenheid dm³/s of m³/s bij 1 Pa, ook geschreven als dm³/s@1Pa.

Zoals in de elektrotechniek een stroom bij een spanningsverschil de elektrische geleiding uitdrukt (reciproque weerstand), geeft de C-waarde de mogelijkheid weer om lucht door de opening te geleiden. Daarom noemt men dit de 'luchtdoorlatendheid'.



Figuur 21 Voorbeeld van een gemeten luchtdoorlatendheidskarakteristiek

Ondanks de parallel met de elektrotechniek drukt men de grootte van de luchtdoorlaat niet uit in een 'luchtweerstand', zoals bij de elektrische weerstand. Dit heeft er mee te maken dat de luchtstroom door openingen in het algemeen niet lineair toeneemt met het drukverschil er over (in Figuur 21 valt dit niet meteen op, maar merk op dat de assen logaritmisches zijn). Bij een elektrische stroom is het verband met het spanningsverschil veelal wel lineair.

Om de niet-lineariteit van de 'luchtweerstand' vast te stellen, wordt uit de opblaasproef ook een stromingsexponent n bepaald. Deze geeft weer met welke macht van het drukverschil de luchtstroom verandert. Grafisch gezien is het de helling van de rechte lijn door de logaritmen van de meetpunten van Figuur 21, ofwel de exponent van de machtsfunctie waarmee men het verband kan weergeven

(in het voorbeeld de macht 0,68 die men vindt door als trendlijn voor de optie 'power' te kiezen).

Fysisch gezien geeft de stromingsexponent de (gemiddelde) aard van de stroming door de openingen weer. Een n-waarde van 1 betekent laminaire stroming (alleen dan is sprake van een lineaire weerstand); een n-waarde van 0,5 betekent volledig turbulent. In de praktijk is de n-waarde van grote openingen zoals de in dit rapport beschouwde sluisdeuren en -doorgangen 0,5. De n-waarde van lekken, zoals in het containment, ligt vrijwel altijd tussen 0,5 en 1,0. Er is dan sprake van een overgangsstroming.

In het ventilatiemodel worden C- en n-waarden van openingen gebruikt om met de optredende drukverschillen luchtstromen te berekenen. Dit gaat volgens het verband:

$$q_v = C \times \Delta p^n$$

Hierin is:

q_v = luchtvolumestroom [dm^3/s]

Δp = drukverschil [Pa]