

U.D.C. 697.957 : 725.51 : 697.953

IS RECIRCULATIE IN EEN ZIEKENHUIS ONAANVAARDBAAR?

door

Ir. H.B. Bouwman

met medewerking van

Prof.Dr. K.C. Winkler

I N H O U D.

- 1 INLEIDING
- 2 UITEENZETTING VAN ENKELE MOGELIJKE SYSTEEMSCHEMA'S
- 3 BEREKENINGEN
- 4 BESCHOUWING VAN DE UITKOMSTEN
- 5 FOUTENDISCUSSIE
- 6 CONCLUSIES
- 7 APPENDIX

1 INLEIDING

Onder recirculatie wordt in deze publicatie verstaan het feit, dat lucht uit een vertrek wordt teruggevoerd in hetzelfde vertrek, of ook in één of meer andere vertrekken.

Bij terugvoer in hetzelfde vertrek spreken wij van interne recirculatie. In het andere geval spreken wij van externe recirculatie. Is de recirculatie bewust gewild, dan zou men kunnen spreken van opzettelijke recirculatie. Treedt recirculatie op terwijl men deze juist zou willen voorkomen, dan zou men kunnen spreken van ongewilde recirculatie.

Op het eerste gezicht lijkt in het bijzonder de externe recirculatie, d.w.z. luchttransport van de ene ruimte naar de andere ruimte, in een ziekenhuis onaanvaardbaar als men kruisinfecties als gevolg van transport van kiemen in de lucht van de ene ruimte naar de andere ruimte wil voorkomen.

In een ziekenhuis met natuurlijke ventilatie, die altijd moet plaatsvinden via openingen in de gevel, is oncontroleerbaar luchttransport van de ene ruimte naar een andere de normale toestand; het oncontroleerbaar luchttransport tussen verschillende ruimten in het gebouw ontstaat n.l. als gevolg van drukverschillen, die hun oorsprong vinden in de winddruk op het gebouw en thermische krachten in het gebouw. In een gebouw - dus ook in een ziekenhuis - is het alleen met mechanische ventilatie mogelijk ongewenst luchttransport te verhinderen, overal waar dit nodig wordt geacht.

Eén van de mogelijkheden om oncontroleerbaar luchttransport van ruimte tot ruimte te vermijden, is dat per vertrek buitenlucht wordt toegevoerd en dat de lucht uit het vertrek naar buiten wordt afgevoerd. Daarbij moet worden voorkomen dat de lucht op ongewenste wijze uit een bepaald vertrek toch nog in een ander vertrek terecht komt. De buitenlucht moet vóór binnenkomst o.a. worden opgewarmd of afgekoeld. Na dit éénmalig gebruik van de lucht gaat de warmte of de koude - die aanwezig is in de afgevoerde lucht - verloren. Deze wijze van vermijden van recirculatie kost uiteraard geld. Het is dus uit econo-

misch oogpunt van belang om te weten wanneer en in welke mate recirculatie uit bacteriologisch oogpunt toch aanvaardbaar geacht kan worden. Deze problematiek kan vermoedelijk het beste worden ingeleid aan de hand van enkele figuren. Daarna zullen ook aan de hand van berekeningen enkele consequenties getalmatig worden aangegeven.

2 UITEENZETTING VAN ENKELE MOGELIJKE SYSTEEMSCHEMA'S

Geval 1: In figuur 1 is aangegeven het geval dat alléén buitenlucht aan een vertrek wordt toegevoerd. In het blok luchtbehandeling (LB) kan de lucht één of meer van de volgende behandelingen ondergaan:

- verwarmen of koelen
- bevochtigen
- filtreren

De afvoer wordt geheel naar buiten afgevoerd.

Geval 2: In figuur 2 is een ventilatiesysteem voor een ziekenhuis gegeven, waarbij ventilatie uitsluitend met buitenlucht geschiedt. In beginsel komt dit overeen met het schema van figuur 1 voor de enkele kamer.

Geval 3: In figuur 3a en 3b is een vertrek getekend waar een deel van de afvoerlucht wordt teruggevoerd naar het vertrek: interne recirculatie. Volgens het systeem in figuur 3a wordt de gerecirculeerde lucht niet behandeld. Men recirculeert bijv. om een betere doorspoeling en/of een betere luchtverdeling in de ruimte te verkrijgen en/of om te besparen op verwarming of koeling. In figuur 3b wordt de gerecirculeerde lucht wel opnieuw behandeld, bijv. gekoeld en gefilterd. Bij een bedrijfszekere en hoge mate van filtering kan deze methode zelfs aanvaardbaar zijn voor operatiekamers. In deze vorm wordt recirculatie reeds op vele plaatsen toegepast in operatiekamers met "laminar flow".

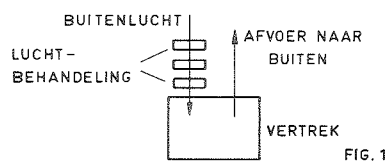


FIG. 1

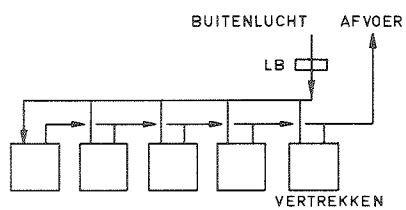


FIG. 2

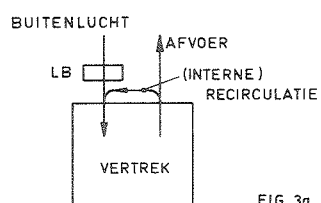


FIG. 3a

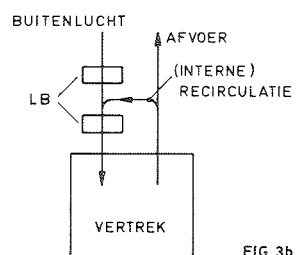


FIG. 3b

Geval 4: In figuur 4 is een systeem getekend waarbij gebruikte lucht aan meer vertrekken wordt teruggevoerd. Men doet dit om minder warmte naar buiten te verliezen. Omdat de lucht uit één vertrek hierdoor ook in een ander vertrek komt is hier sprake van externe recirculatie. Het woord "extern" slaat op de herkomst van de recirculatielucht. Deze wijze van recirculatie wordt voor een ziekenhuis als ongewenst of zelfs onaanvaardbaar beschouwd als de recirculerende lucht onvoldoende resp. niet gefilterd wordt. De externe recirculatie zou echter aanvaardbaar geacht kunnen worden als een bedrijfszekere en voldoende mate van filtering mogelijk zou zijn die ook economisch haalbaar is.

Geval 5: Een andere mogelijkheid om het warmteverlies te vermijden zonder contaminatiegevaar, is het toepassen van warmteterugwinning, bijv. volgens het systeem van figuur 5.

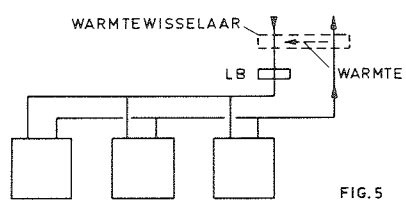
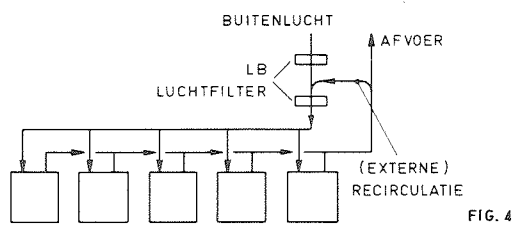
Door een warmtewisselaar wordt de warmte in de afvoerlucht toegevoerd aan de verse toevoerlucht. De uitgaande en de ingaande luchtstroom blijven in de warmtewisselaar geheel door wanden gescheiden. Er is dus geen recirculatielekstroom tussen de afvoerlucht en de toevoerlucht. Dit systeem is volledig acceptabel voor een ziekenhuis; maar het is als gevolg van het zeer grote warmte-uitwisselende oppervlak vermoedelijk zo kostbaar, dat de kosten nauwelijks zullen opwegen tegen de besparing op brandstof of koeling.

Geval 6: Een meer economisch systeem is mogelijk met een roterende warmtewisselaar, meestal regenerator genoemd. Het werkingsprincipe van een regenerator is in figuur 6a aangegeven.

De luchtige vulling van de vrij langzaam roterende trommel wordt bijv. 's winters in de uitgaande luchtstroom opgewarmd. Als de opgewarmde delen van de trommel daarna in de uitgaande luchtstroom komen, verwarmen deze de ingaande lucht.

Er zijn twee oorzaken dat er enige recirculatie optreedt of kan optreden.

De eerste oorzaak is dat telkens éénmaal de inhoud van een trommelsegment met afvoerlucht terugkomt in de ingaande luchtstroom. Dit be-



tekent in wezen dat er een recirculatiestroom is van afvoerlucht naar de verse luchttoevoer, in de orde van 3%. Deze recirculatiestroom kan men niet afzonderlijk filteren. Wel kan men deze stroom tezamen met de buitenlucht door het buitenluchtfilter voeren. Men kan deze vorm van recirculatie beperken door de sectoren van de trommel, nadat deze de uitgaande stroom hebben verlaten, doch ook voordat deze in de ingaande stroom komen, een tussenspoeling te geven met schone buitenlucht. Dit gaat dan wel ten koste van enig warmterendement. Zoals wij in de berekeningsvoorbeelden zullen zien, zal het toepassen van een tussenspoeling als middel ter beperking van de recirculatie zelden nodig zijn.

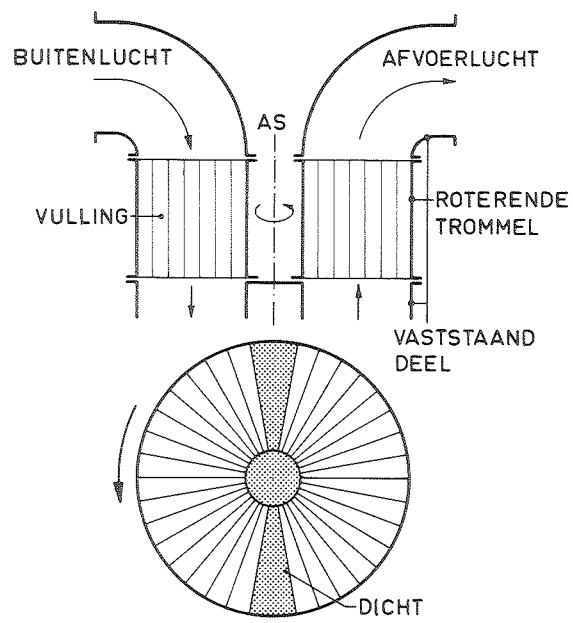
De tweede oorzaak kan zijn dat er een druk in het afvoergedeelte heerst die hoger is dan in het toevoergedeelte; aangezien de afdichtingen niet volmaakt zijn leidt dit tevens tot een recirculatiestroom van afvoerlucht naar toevoerlucht.

De remedie is duidelijk: men moet de installatie zo ontwerpen dat de druk in het toevoerdeel iets groter is dan in het afvoerdeel. De verliezen zijn kleiner naarmate de afdichting beter is. Het schema van een installatie met regenerator is aangegeven in figuur 6b.

3 BEREKENINGEN

Voor de situatie overeenkomstig de figuren 4 en 6b is een aantal berekeningen uitgevoerd die o.a. uitsluitel geven over de concentratie waarin de kiemen uit één vertrek terugkomen in een ander vertrek. Voor de berekeningen is uitgegaan van de volgende uitgangspunten:

- 1) Er zijn n vertrekken; $n = 20$ en 100
- 2) De vertrekinhoud is van alle vertrekken $I = 100 \text{ m}^3$
- 3) In de vertrekken wordt een aantal luchtwisselingen toegepast van $4/h$ of $8/h$. Dit komt dus neer op $400 \text{ m}^3/h$ resp. $800 \text{ m}^3/h$ per vertrek.
- 4) De binnengevoerde lucht bestaat voor het deel r ($r < 1$) uit recirculatielucht. Voor een regenerator komt r dus in de orde van $0,03$.



REGENERATOR

FIG. 6a

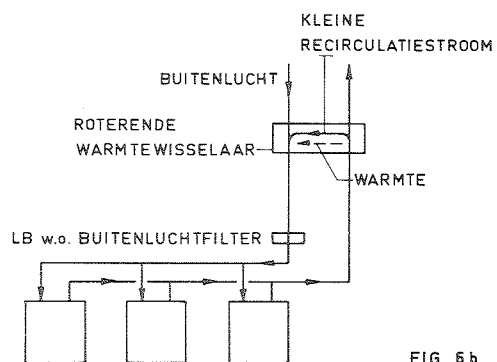


FIG. 6b

- 5) In elk vertrek (i) wordt slechts één soort kiemen (K_i) ontwikkeld.
- 6) In elk vertrek (i) komen per uur 10^6 kiemen van de soort K_i in de lucht.
- 7) Als de lucht wordt gefilterd gaat een deel d (d voor doorlaat) van de aankomende kiemen door het filter. Het vangrendement is dus $(1-d)$. Bij toepassing van een roterende regenerator zonder luchtfilter moet men dus $d = 1$ stellen.
- 8) Waar twee luchtstromen tezamen komen treedt onmiddellijk volledige menging op.
- 9) Tijdens het transport van de lucht neemt het aantal kiemen noch toe noch af. De groei en de afsterving van kiemen worden dus niet in de berekeningen betrokken.

Bij de berekeningen wordt uitgegaan van de volgende gelijkheden:

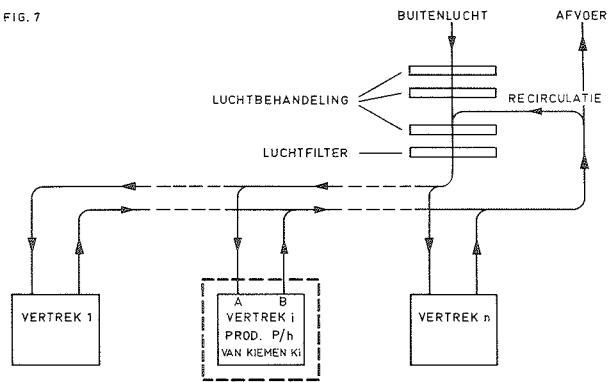
- a) Het aantal (A) kiemen van de soort K_i dat per uur in vertrek i terugkomt plus de productie (P) van de kiemen van de soort K_i in vertrek i, is gelijk aan het aantal (B) kiemen van de soort K_i dat vertrek i verlaat (fig. 7).
- b) Het aantal (C) kiemen van de soort K_i dat na de filters gepasseerd te zijn aan het begin van het luchtkanaalsysteem bij C het gebouw ingaat, plus het aantal P kiemen van de soort K_i dat in het gebouw wordt geproduceerd, is gelijk aan het aantal (D) kiemen van de soort K_i dat met de afgevoerde lucht het gebouw bij D verlaat (fig. 8).
- c) Van elke soort kiemen die met de recirculatiestroom E op een luchtfilter toekomt passeert het deel d het filter, en komt in de stroom G, terwijl deel $(1-d)$ in het filter F wordt gevangen (fig. 9).

4 BESCHOUWING VAN DE UITKOMSTEN

Voor een veertigtal combinaties zijn de uitkomsten samengevat in tabel 1. Om thuis te geraken in de tabel bezien wij eerst de getallen voor geval 1, samengevat in figuur 10.

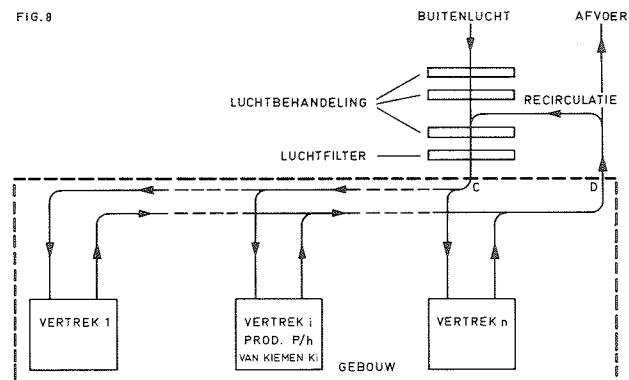
Er zijn 20 vertrekken. Het ventilatievoud bedraagt 4. Het recircula-

FIG. 7



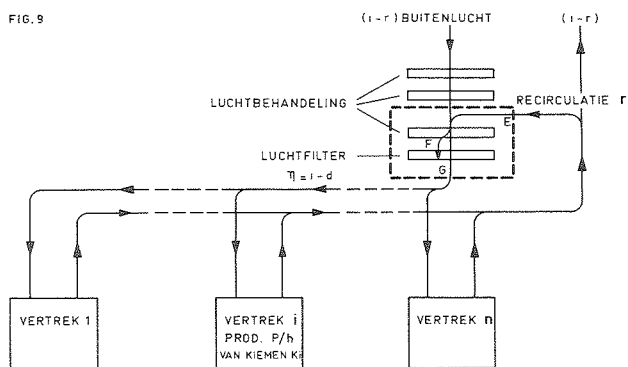
VOOR VERTREK: $A \text{ KIEMEN } K_i \text{ IN} + P \text{ KIEMEN } K_i \text{ PRODUCTIE} = B \text{ KIEMEN } K_i \text{ UIT}$

FIG. 8



VOOR HET GEBOUW: $C \text{ KIEMEN } K_i \text{ IN} + P \text{ KIEMEN } K_i \text{ PRODUCTIE} = D \text{ KIEMEN } K_i \text{ UIT}$

FIG. 9



VOOR HET FILTER: $E \text{ KIEMEN } K_i \text{ IN} = F \text{ KIEMEN } K_i \text{ GEVANGEN} + G \text{ KIEMEN } K_i \text{ DOORGELATEN}$

Tabel 1

ruimte	regel	onderwerp		geval→ eenh. ↓
	2	aantal vertrekken	n	
	3	aantal luchtwisselingen	vv	1/h
	4	recirculatiepercentage	r	%
	5	doorlaat van het filter	d	%
	6	vertrekinhoud	I	m ³
	7	totale luchtstroom	q	m ³ /h
	8	vangrendement	η	%
vertrek	10	vertrek-eigen kiemen	"in"	/m ³
	11	vertrek-vreemde kiemen	"in"	/m ³
	12	vertrek-eigen kiemen	"uit"	/m ³
	13	vertrek-vreemde kiemen	"uit"	/m ³
	14	totaal kiemen	"uit"	/m ³
gebouw	15	kiemen Ki	"uit"	/m ³
	16	totaal kiemen	"uit"	/m ³
	17	kiemen Ki	"in"	/m ³
	18	totaal kiemen	"in"	/m ³

ruimte	regel	onderwerp		geval→ eenh. ↓
	2	aantal vertrekken	n	
	3	aantal luchtwisselingen	vv	1/h
	4	recirculatiepercentage	r	%
	5	doorlaat van het filter	d	%
	6	vertrekinhoud	I	m ³
	7	totale luchtstroom	q	m ³ /h
	8	vangrendement filter	η	%
vertrek	10	vertrek-eigen kiemen	"in"	/m ³
	11	vertrek-vreemde kiemen	"in"	/m ³
	12	vertrek-eigen kiemen	"uit"	/m ³
	13	vertrek-vreemde kiemen	"uit"	/m ³
	14	totaal kiemen	"uit"	/m ³
gebouw	15	kiemen Ki	"uit"	/m ³
	16	totaal kiemen	"uit"	/m ³
	17	kiemen Ki	"in"	/m ³
	18	totaal kiemen	"in"	/m ³

GEEN REGENERATOR

1	2	3	4	5	6	7	8	
20	20	20	20	20	20	20	20	n
4	4	4	4	8	8	8	8	vv
50	50	50	50	75	75	75	75	r
13,3	10	2	1	13,3	10	2	1	d
100	100	100	100	100	100	100	100	I
8000	8000	8000	8000	16000	16000	16000	16000	q
86,7	90	98	99	86,7	90	98	99	η
8,9	6,6	1,3	0,63	6,9	5,1	0,95	0,47	10
169	125	24	12	132	96	18	9,0	11
2509	2507	2501	2501	1257	1255	1251	1250	12
169	125	24	12	132	96	18	9,0	13
2678	2632	2525	2513	1389	1351	1269	1259	14
134	132	126	126	69	68	63	63	15
2678	2632	2525	2513	1389	1351	1269	1259	16
8,9	6,6	1,3	0,63	6,9	5,1	0,95	0,47	17
178	132	25	13	139	101	19	9,4	18
21	22	23	24	25	26	27	28	
100	100	100	100	100	100	100	100	n
4	4	4	4	8	8	8	8	vv
50	50	50	50	75	75	75	75	r
13,3	10	2	1	13,3	10	2	1	d
100	100	100	100	100	100	100	100	I
40000	40000	40000	40000	80000	80000	80000	80000	q
86,7	90	98	99	86,7	90	98	99	η
1,8	1,3	0,25	0,13	1,4	1,0	0,19	0,09	10
176	130	25	12	137	100	19	9,4	11
2502	2501	2500	2500	1251	1251	1250	1250	12
176	130	25	12	137	100	19	9,4	13
2678	2632	2525	2513	1389	1351	1269	1259	14
27	26	25	25	14	14	13	13	15
2678	2632	2525	2513	1389	1351	1269	1259	16
1,8	1,3	0,25	0,13	1,4	1,0	0,19	0,09	17
178	132	25	13	139	101	19	9,4	18

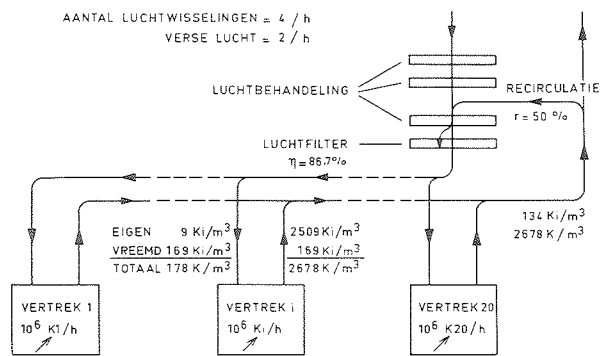
tie aandeel t.o.v. de totale luchthoeveelheid is 0,50. De doorlaat d van het filter is 13,3%, het vangrendement is dus 86,7%. De vertrek-inhoud is 100 m^3 , de luchtstroom per vertrek $400 \text{ m}^3/\text{h}$, de totale luchtstroom voor 20 vertrekken $8000 \text{ m}^3/\text{h}$. Met de binnenkomende lucht komen o.a. 9 (regel 10) vertrek-eigen kiemen het vertrek binnen. De productie van 10^6 kiemen/h in het vertrek leidt hier op de totale luchtstroom van $400 \text{ m}^3/\text{h}$ tot een stijging van de kiemconcentratie met $\frac{10^6}{400} = 2500$ kiemen per m^3 , zodat 2509 (regel 12) vertrek-eigen kiemen het vertrek verlaten.

Behalve de 9 vertrek-eigen kiemen komen er nog 169 vertrek-vreemde kiemen per m^3 lucht binnen (regel 11); uit elk van de 19 vertrekken 8,9 stuks (regel 10) per m^3 , evenveel als het aantal terugkerende vertrek-eigen kiemen. De lucht die het vertrek verlaat bevat dus totaal 2678 vertrek-eigen plus vertrek-vreemde kiemen per m^3 (regel 14). De lucht die het gebouw verlaat bevat eveneens 2678 kiemen/ m^3 (regel 16) maar hierin is het aantal per soort voor alle soorten even groot, n.l. 134 kiemen per m^3 (regel 15). Dit aantal van 2678 kiemen per m^3 wordt door de recirculatie en de filtratie in de lucht die teruggaat naar de vertrekken gereduceerd tot 178 per m^3 (regel 18), of 8,9 per m^3 per kamer van herkomst (regel 17 en 10).

Verhoogt men het vangrendement van het filter tot 99% (geval 4, fig. 11), een rendement dat ook voor kantoren al meer en meer ingang vindt, dan is het totale aantal naar het vertrek terugkomende kiemen ca 13 per m^3 (regel 18).

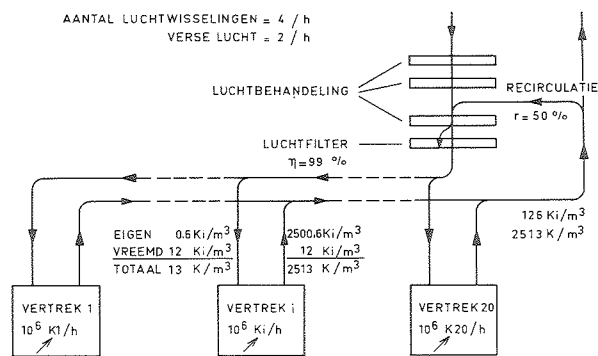
Het aantal terugkerende kiemen afkomstig van een bepaald vertrek is dan 0,63 kiem per m^3 . Van het totaal van 13 terugkerende kiemen per m^3 , zijn er ca 12 afkomstig uit alle andere vertrekken tezamen.

Verdubbeling van het aantal luchtwisselingen van 4 tot 8 keer per uur (bijv. van geval 1 naar geval 5; fig. 10 en 12), waarbij de hoeveelheid verse lucht in absolute zin constant wordt gehouden (recirculatievoud hier dus van 0,5 naar 0,75) geeft weliswaar duidelijk een vermindering te zien van het aantal vertrek-vreemde kiemen, maar geen halvering ervan.



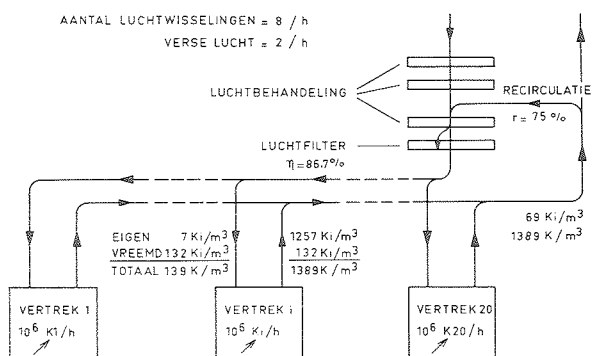
GEVAL 1

FIG. 10



GEVAL 4

FIG. 11



GEVAL 5

FIG. 12

Verdubbelt men het aantal luchtwisselingen met behoud van het recirculatievoud, dus ook met een dubbele hoeveelheid verse lucht, dan wordt het aantal terugkerende kiemen wel gehalveerd. Dit geval is niet in de tabel 1 opgenomen.

Als men met een regenerator gaat werken, doet men dit om het aantal luchtwisselingen en daarmee de doorspoeling van het gebouw te vergroten zonder dat dit tot een evenredige vergroting van de kosten voor verwarming en koeling leidt. Zou men bij 8 luchtwisselingen per uur werken met 10% recirculatie, (geval 15, fig. 13), reeds een onwaarschijnlijk slecht hoog bedrag, dan is in de lucht die aan het vertrek wordt toegevoerd het aantal vertrek-vreemde kiemen 132 per m^3 afkomstig uit 19 vertrekken. (zie tabel, vervolg op pag. 16).

Met een meer reëel getal van 3% recirculatie voor een regenerator (geval 18, fig. 14), komt men, nog steeds zonder filter, in de toevoerlucht, op een bedrag van 37 vertrek-vreemde kiemen per m^3 afkomstig van 19 vertrekken. Dit is ongeveer een vijfde van hetgeen in geval 1 werd gevonden (regel 11). Vergelijk de figuren 10 en 14.

Passeert de lucht wèl een filter, bijv. 90% vangrendement (geval 19, fig. 15), dan daalt het aantal tot 3,6 vertrek-vreemde kiemen per m^3 ingeblazen lucht, waarbij deze 3,6 kiemen afkomstig zijn uit 19 vertrekken, reeds een zeer laag getal. Een verdere verhoging van het vangrendement tot 98% (geval 20) zou het aantal kiemen dan nog verder verlagen.

Om rekening te houden met enige toename van de recirculatie in een regenerator als gevolg van slijtage, is in de getallen genoemd in conclusie 2 een recirculatiepercentage van 5% aangehouden in combinatie met een filterrendement van 90%.

De verviervoudiging van het aantal op één luchtcentrale aangesloten vertrekken, n.l. van 20 op 100, (gevallen 21 t/m 40 t.o.v. de gevallen 1 t/m 20) brengt geen verandering in het totale aantal vertrek-

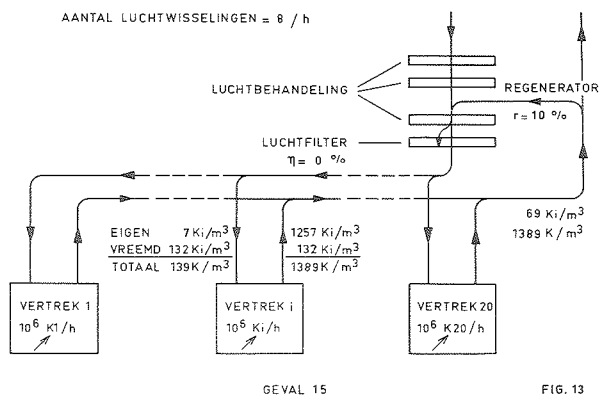


FIG. 13

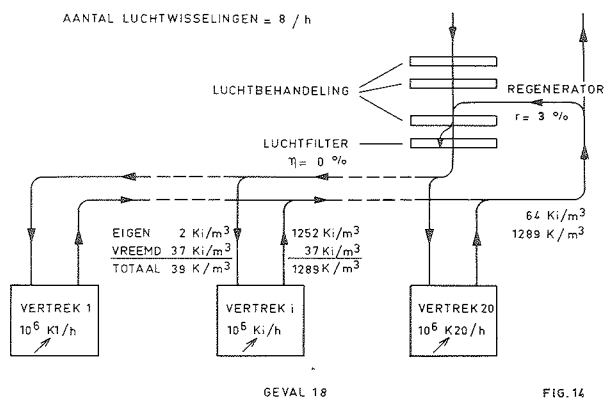


FIG. 14

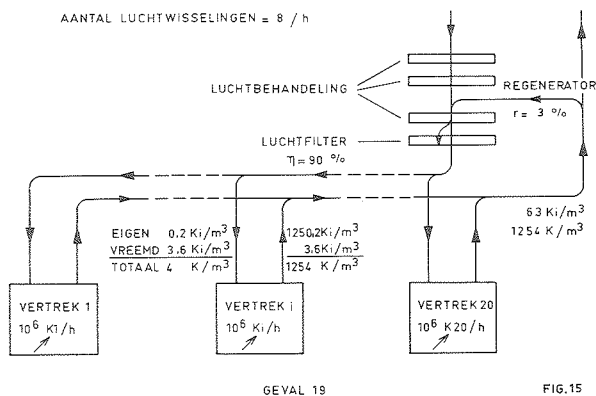


FIG. 15

Tabel 1 (vervolg)

					MET REGENERATOR			
ruimte	regel	onderwerp	geval- eenh.		9	10	11	12
vertrek	2	aantal vertrekken	n		20	20	20	20
	3	aantal luchtwisselingen	vv	1/h	4	4	4	4
	4	recirculatiepercentage	r	%	10	10	10	3
	5	doorlaat van het filter	d	%	100	10	2	100
	6	vertrekinhoud	I	m ³	100	100	100	100
	7	totale luchtstroom	q	m ³ /h	8000	8000	8000	8000
	8	vangrendement	η	%	-	90	98	-
	10	vertrek-eigen kiemen	"in"	/m ³	14	1,3	0,25	3,9
	11	vertrek-vreemde kiemen	"in"	/m ³	264	24	4,8	73
	12	vertrek-eigen kiemen	"uit"	/m ³	2514	2501	2500	2504
	13	vertrek-vreemde kiemen	"uit"	/m ³	264	24	4,8	73
	14	totaal kiemen	"uit"	/m ³	2778	2525	2505	2577
	15	kiemen Ki	"uit"	/m ³	139	126	125	129
	16	totaal kiemen	"uit"	/m ³	2778	2525	2505	2577
gebouw	17	kiemen Ki	"in"	/m ³	14	1,3	0,25	3,9
	18	totaal kiemen	"in"	/m ³	278	25	5,0	77
ruimte	regel	onderwerp	geval- eenh.		29	30	31	32
vertrek	2	aantal vertrekken	n		100	100	100	100
	3	aantal luchtwisselingen	vv	1/h	4	4	4	4
	4	recirculatiepercentage	r	%	10	10	10	3
	5	doorlaat van het filter	d	%	100	10	2	100
	6	vertrekinhoud	I	m ³	100	100	100	100
	7	totale luchtstroom	q	m ³ /h	40000	40000	40000	40000
	8	vangrendement filter	η	%	-	90	98	-
	10	vertrek-eigen kiemen	"in"	/m ³	2,8	0,25	0,05	0,77
	11	vertrek-vreemde kiemen	"in"	/m ³	275	25	5,0	77
	12	vertrek-eigen kiemen	"uit"	/m ³	2503	2500	2500	2501
	13	vertrek-vreemde kiemen	"uit"	/m ³	275	25	5,0	77
	14	totaal kiemen	"uit"	/m ³	2778	2525	2505	2577
	15	kiemen Ki	"uit"	/m ³	28	25	25	26
	16	totaal kiemen	"uit"	/m ³	2778	2525	2505	2577
gebouw	17	kiemen Ki	"in"	/m ³	2,8	0,25	0,05	0,77
	18	totaal kiemen	"in"	/m ³	278	25	5,0	77

M E T R E G E N E R A T O R

13	14	15	16	17	18	19	20	
20	20	20	20	20	20	20	20	n
4	4	8	8	8	8	8	8	vv
3	3	10	10	10	3	3	3	r
10	2	100	10	2	100	10	2	d
100	100	100	100	100	100	100	100	I
8000	8000	16000	16000	16000	16000	16000	16000	q
90	98	-	90	98	-	90	98	η
0,38	0,08	6,9	0,63	0,13	1,9	0,19	0,04	10
7,1	1,4	132	12	2,4	37	3,6	0,71	11
2500	2500	1257	1251	1250	1252	1250	1250	12
7,1	1,4	132	12	2,4	37	3,6	0,71	13
2508	2502	1389	1263	1253	1289	1254	1251	14
125	125	69	63	63	64	63	63	15
2508	2502	1389	1263	1253	1289	1254	1251	16
0,38	0,08	6,9	0,63	0,13	1,9	0,19	0,04	17
7,5	1,5	139	13	2,5	39	3,8	0,71	18
33	34	35	36	37	38	39	40	
100	100	100	100	100	100	100	100	n
4	4	8	8	8	8	8	8	vv
3	3	10	10	10	3	3	3	r
10	2	100	10	2	100	10	2	d
100	100	100	100	100	100	100	100	I
40000	40000	80000	80000	80000	80000	80000	80000	q
90	98	-	90	98	-	90	98	η
0,08	0,015	1,4	0,13	0,025	0,39	0,038	0,008	10
7,4	1,5	138	13	2,5	38	3,7	0,74	11
2500	2500	1251	1250	1250	1250	1250	1250	12
7,4	1,5	138	13	2,5	38	3,7	0,74	13
2508	2502	1389	1263	1253	1289	1254	1251	14
25	25	14	13	13	13	13	13	15
2508	2502	1389	1263	1253	1289	1254	1251	16
0,08	0,015	1,4	0,13	0,025	0,39	0,038	0,008	17
7,5	1,5	139	13	2,5	39	3,8	0,74	18

vreemde kiemen per m^3 binnengebrachte lucht. Wel wordt de concentratie van het aantal vertrek-vreemde bacteriën dat afkomstig is uit één ander vertrek een factor vijf kleiner. Zo ziet men dat in geval 21 slechts 1,8 vertrek-vreemde kiemen/ m^3 afkomstig zijn uit één ander vertrek, in plaats van 8,9 in geval 1.

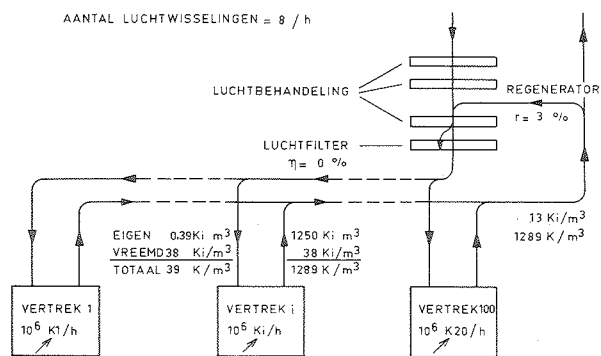
Vergroting van het aantal vertrekken aangesloten op één luchtcentrale is dus uit oogpunt van verdunning van de kiemen afkomstig uit één ander vertrek gunstig; de verspreiding van deze kiemen over een groter aantal vertrekken kan echter als nadeel worden gezien. Zou men (zoals in geval 38) werken met 8 luchtwisselingen per uur en 3% recirculatie van de regenerator dan zou men reeds zonder gebruik van een luchtfilter komen op 39 vertrek-vreemde kiemen per m^3 afkomstig uit 99 verschillende vertrekken: van de in een bepaald vertrek geproduceerde 1250 kiemen per m^3 komen er slechts $0,39/m^3$ in een ander vertrek (!) terug zonder dat een filter wordt gebruikt.

Zoals wij uit andere studies zullen zien, wordt de noodzaak van het toepassen van filters niet zozeer bepaald door de gevaren welke gevolg zijn van de recirculatie van bacteriën door het mechanische luchttransport, als wel door de bacteriologische gevaren welke de airconditioningsapparatuur zelf meebrengt. Deze laatste gevaren kunnen met filters voldoende worden overwonnen.

5 FOUTENDISCUSSIE

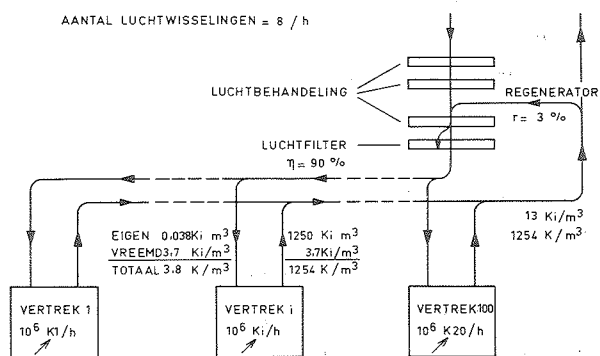
De uitkomsten gelden uiteraard alleen voor de gemaakte veronderstellingen en voor de onderzochte combinaties. Ten aanzien van een aantal veronderstellingen wordt nagegaan hoe de uitkomsten zouden veranderen als de betreffende veronderstellingen onjuist zouden zijn.

5.1 De kiemproductie van $10^6/h$ per vertrek kan als zeer hoog worden beschouwd. Dit niveau zal alleen tijdens bedopmaken korte tijd enigszins overschreden worden. De getallen in de tabel zijn dus als gemiddelden zeker nog aan de hoge kant.



GEVAL 38

FIG. 16



GEVAL 39

FIG. 17

5.2 Als groei van kiemen in de installatie gedurende het transport van de lucht zou optreden zijn de gevolgen als volgt te schatten: Als wij al zouden aannemen dat het aantal kiemen zich per minuut zou kunnen verdubbelen en wij nemen in aanmerking dat de lucht zijn weg van het vertrek naar en van de luchtcentrale in slechts een beperkt aantal (bijv. 5 tot 20) seconden aflegt en dat een verdubbeling per minuut door geen enkele kiemsoort wordt gehaald, dan weten wij dat het verwaarlozen van een eventueel groei-effect geen invloed heeft op de orde van grootte van de gevonden resultaten.

5.3 Houdt men rekening met het normale geval dat een zekere mate van natuurlijke afsterving optreedt dan zijn uiteraard alle kiemconcentraties lager dan tabel 1 aangeeft.

5.4 Indien geen volledige vermenging optreedt waar twee luchtstromen zich samenvoegen, blijft wel gelden dat de som van alle kiemen van de soort K1 t/m Kn die na het passeren van het laatste luchtfilter het gebouw via het kanalsysteem binnenkomt, plus de producties van alle kiemen K1 t/m Kn gelijk is aan de som van alle kiemen K1 t/m Kn die het gebouw volgens figuur 8 verlaten. Stellen wij nu het uiterst onwaarschijnlijke geval dat alle kiemen die uit de vertrekkende komen in gestratificeerde stroming (stroming langs gescheiden blijvende paden) tot de recirculatie-aftakking blijft bestaan. Hoe sterk de stratificatie (gescheiden blijvende padstroming) zich ook blijft handhaven, zeker is, dat in de recirculatielucht het aantal kiemen per m^3 hetzelfde zal blijven. Alleen zullen er van de ene soort meer of zelfs alle en van de andere soort minder of geen enkele aanwezig zijn. Het luchtfilter verdunt vervolgens deze gelederen alle in dezelfde mate. Het totaal aantal kiemen per m^3 lucht dat na het filter gepasseerd te zijn via het toevoersysteem het gebouw weer ingaat kan nooit groter zijn dan het aantal genoemd op regel 18 van tabel 1. Stellen wij vervolgens het uiterst onwaarschijnlijke geval dat de stroming volledige gestratificeerd blijft dan krijgen alle vertrekkende toch evenveel kiemen per m^3 teruggevoerd. De mogelijkheid zou dan bestaan dat het aantal kiemen dat per m^3 terugkomt

uit een ander bepaald vertrek hoger is dan regel 10 aangeeft; maar het is onmogelijk dat dit aantal per m^3 groter is dan het getal dat in regel 11 is genoemd.

In al die gevallen dat regel 11 een acceptabel getal aangeeft, blijft dit getal ook geldig en dus acceptabel, bij elke mate van onvolledigheid van de genoemde menging. Het zal overigens duidelijk zijn dat de werkelijke toestand dichter zal liggen bij volledige menging dan bij volledige stratificatie.

6 CONCLUSIES

- a) Bij toepassing van luchtbehandelingsapparatuur, werkend met recirculatie van de lucht uit het ziekenhuis en toepassing van filters welke 99% van de kiemen uit de recirculatielucht vangen komt het aantal vertrek-vreemde bacteriën per m^3 zo laag (in de orde van $10/m^3$) te liggen dat men vrijwel overal recirculatie zonder bedenking kan toepassen.
- b) Bij toepassing van luchtbehandelingsapparatuur werkend met warmteregeneratie, waarbij de lucht voor 5% recirculeert en door een buitenluchtfilter wordt gevoerd dat de kiemen voor tenminste 90% wegvangt, komt per m^3 binnengevoerde lucht het totale aantal vertrek-vreemde bacteriën reeds zo laag (in de orde van $6/m^3$) dat men vrijwel overal deze combinatie van warmteregeneratie en filtering zonder bedenking kan toepassen.

7 APPENDIX

Voor de lezer welke de tabel 1 wil aanvullen voor andere parameter combinaties zijn hieronder enkele formules aangegeven.

Regel 10 en 17:

Aantal kiemen, K_i vertrek-eigen kiemen per m^3 terugkomend met lucht toegevoerd aan vertrek i is $\frac{10^6}{n \cdot vv \cdot I} \cdot \frac{r \cdot d}{1 - r \cdot d}$

Regel 11 en 13:

Aantal vertrek-vreemde kiemen in de lucht toegevoerd aan kamer i , is $(n-1) \cdot (\text{regel 10})$

Regel 11:

Aantal kiemen K_i in de lucht, afgevoerd uit vertrek i , is $\frac{10^6}{vv \cdot I} + (\text{regel 10})$

Regel 14 en 16:

Totaal aantal kiemen in de lucht, afgevoerd uit vertrek i , is $\frac{10^6}{vv \cdot I} + n \cdot (\text{regel 10})$

Regel 15:

Aantal kiemen K_i in de lucht, dat het gebouw verlaat is $\frac{1}{n} \cdot (\text{regel 14})$

Regel 18:

Totaal aantal kiemen K_i per m^3 in de lucht, afgevoerd uit het gebouw = $n \cdot (\text{regel 10})$

Hierin betekenen:

d = de doorlaat van het filter ($d < 1$)

I = de inhoud van een vertrek in m^3

n = het aantal vertrekken aangesloten op één luchtcentrale

r = het relatieve recirculatievoud = aantal luchtwisselingen met recirculatielucht / totaal aantal luchtwisselingen

vv = het aantal luchtwisselingen per uur in de vertrekken