

REPORT BY NORCONSULT

Note: The original report is written in Norwegian, below please find the original as well as an English translation.

The following report is written by Norconsult about the Rensair air cleaning technology. The report set out to test the air purifier in a real life office environment, in a room with a built-in ventilation system. Norconsult is Norway's largest and one of the leading multidisciplinary consultancy firms in the Nordic region. More information can be found [here](#).

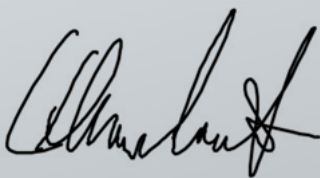
The report references "Busy Bee". Busy Bee was an early brand name of what is now known as the Rensair Hospital-Grade Air Purifier.

Key conclusions from the report include:

"The results show that the air purifier, on its own, cleans the air almost equally efficiently at two selected measuring points in the 93m³ test room and is thus little affected by placement."

"In a ventilated room [i.e. room with an HVAC system running], the air purifier will also be able to get help from the ventilation system to create full circulation and thus removes particles more efficiently."

Kind regards



Christian Hendriksen
Co-Founder and CEO
Rensair



Busy Bee luftrensere

Oppdragsgiver	: Strand Eriksen Consulting	Dok. nr.	: 4
Prosjekt nr	: 3964700	Dato	: 02.03.04
Kontaktperson	: Terje Strand Eriksen	Rev.	: 2D
Oppdragsansvarlig	: Thor Sætre	Sign.	: T.S
Kontrollert av	: Bent Børresen	Sign.	: B.B
Forfatter	: Thor Sætre/ Gro Aanesland Dahle	Sign.	: T.S / G.A.D

Ekstrakt :

Busy Bee luftrensere er et produkt beregnet på rensing av inneluft for forurensning av luftbårne mikroorganismer og pollen. Norconsult har fått i oppdrag å utføre målinger av luftrenseren i et tilfeldig utvalgt rom. Formålet med testen var å se hvor effektivt luftrenseren var i stand til å fjerne partikler fra rommet.

Konklusjoner:

1. Busy Bee luftrensere er et kostnadseffektivt produkt sammenlignet med et komplett renluftsanlegg.
2. For et rom på 93 m³ som ble testet, ble luftrenseren ved full luftmengde 560 m³/h målt og beregnet til en ventilasjonsvirkningsgrad på 50 % for partikler > 0,3 µm, og 69 % for partiklene > 1µm. På trinn-1 eller ved 300 m³/h ble de tilsvarende verdier 34 % og 38 %.
3. Måleresultatene viser at luftrenseren "alene" rensere luften tilnærmet like effektivt på de 2 utvalgte målepunktene i testrommet på 93 m³ og er således lite påvirket av plassering.
4. I et ventilert rom vil luftrenseren også kunne få hjelp av ventilasjonsanlegget til å skape full omrøring og således fjerne partikler mer effektivt.
5. Når luftrenseren benyttes sammen med rommets ventilasjonsanlegg 214 m³/h, viser både forsøk og modell at de to systemene påvirker hverandre. I starten ved et høyt partikkelnivået bidrar begge til å fjerne partikler. Når konsentrasjonen i rommet etter hvert nærmer seg tilluftens nivå på 9 000 000 part/feet³ vil endringen i konsentrasjon avta og flate ut på ca. 4 000 000 part/feet³ ved 560 m³/h og på ca. 6 000 000 part/feet³ ved 300 m³/h.
6. Luftrenseren vil ha liten renseseffekt i rom med stor luftveksling og egner seg best i rom med lav ventilasjon som for eksempel naturlig ventilerte rom der forurensningen skjer i selve rommet.
7. Antall partikler målt i luftrenseren nærrområde var om lag det halve av det som måles andre steder i rommet.
1. Ved å doble antall luftrensere i rommet viser fig 5.6 en senkning av antall partikler fra 4 000 000 part/feet³ til 3 000 000 etter en times drift. Ved ytterlig økning av antall luftrensere viser figur 5.8 en senkning til 1 800 000 part/feet³ i løpet av 40 minutter.

EMNE ORD :

Avdeling :

FoU

Problem :

Busy Bee luftrensere

Type :

Miljø

Bransje :

Luftbehandling

RAPPORT

Oppdrag : 3964700
Tema : Busy Bee luftrensere

Dato : 02.03.04
Rev : 2D

INNHOLDSFORTEGNELSE

1	GENERELT	3
2	TEST AV LUFTRENSER BUSY BEE	3
2.1	ROMMETS VENTILASJONSANLEGG	4
2.2	SPORGASSMÅLINGER.....	4
2.3	PARTIKKELTELLER	4
2.4	EFFEKTIVITET	4
2.5	ANTALL PARTIKLER PR. FT ³	4
3	KONKLUSJON	5
4	MÅLERESULTATER	5
4.1	MÅLEPROGRAM FOR LUFTRENSER BUSY BEE.....	5
4.2	MÅLERESULTATER	5
4.2.1	<i>Målinger helt inntil luftrenseren</i>	10
4.2.2	<i>Effektivitet for luftrensere Busy Bee for alle partikler > 0,3µm</i>	11
5	MATEMATISK MODELLERING AV FORSØKENE	16

RAPPORT

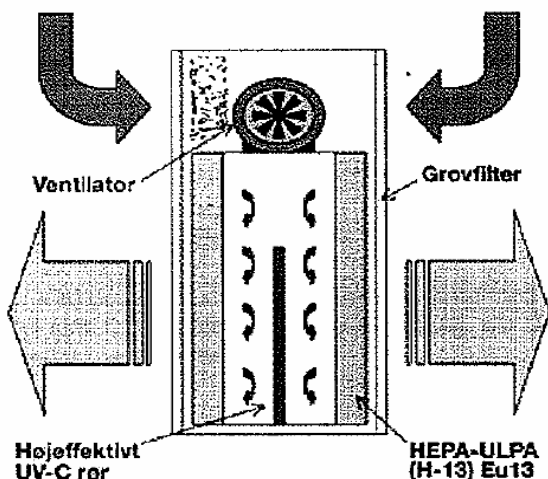
Oppdrag : 3964700
Tema : Busy Bee luftrensere

Dato : 02.03.04

Rev : 2D

1 GENERELT

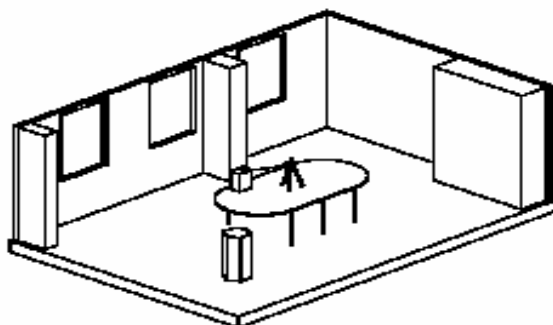
Busy Bee luftrensere er et produkt beregnet på rensing av inneluft for forurensning av luftbårne mikroorganismer og pollen. Nedenfor er luftrenseren vist skjematisk hvor de ulike funksjoner er illustrert.



2 TEST AV LUFTRENSER BUSY BEE

Norconsult har fått i oppdrag å utføre målinger av luftrenseren i et tilfeldig utvalgt rom. Vi har valgt et møterom på 36 m² / 93 m³ som var disponibelt for en uke. Formålet med testen var å se hvor effektivt luftrenseren var i stand til å fjerne partikler fra rommet. Det er i fig. 4.6 på side 15 laget en målsatt tegning av rommet med tilhørende utstyr. Målepunktene M1 og M2 er også vist på de to isometriske skissene under. Det er ført en slange fra partikkeltelleren og fram til målepunktet som er fiksert på toppen av stativet.

Luftrenseren har to hastighetstrinn og yter i følge produsent ; 300 m³/h på trinn-1 og 560 m³/h på trinn-2. Luftrenseren er plassert i et hjørne slik tegningen viser og målinger er utført både i målepunkt M1, plassert 1,3 m over gulv og målepunkt M2 1,8 m over gulv. Dette har vært ønskelig for å se om luftrenseren fjerner partikler like effektivt i alle deler av rommet. Luftrenserens evne til å fjerne partikler er målt på begge trinn både ved avslått ventilasjon, og ved ½ og full ventilasjon fra byggets ventilasjonsanlegg.



Målepunkt M1



Målepunkt M2

RAPPORT

Oppdrag : 3964700
Tema : Busy Bee luftrensere

Dato : 02.03.04
Rev : 2D

2.1 Rommets ventilasjonsanlegg

Rommet betjenes av et ventilasjonsanlegg med tilluft og avtrekk fra tak. Anlegget går med full luftmengde fra kl.08-16.40 og med 60% luftmengde ($\frac{1}{2}$ hastighet) fra kl.16.40-19 og kl.06.30-08 og er avslått fra kl.19-06.30.

2.2 Sporgassmålinger

Ved hjelp av sporgassmålinger har vi målt og beregnet luftmengden fra byggets ventilasjonsanlegg til 353 m³/h ved hel viftehastighet, og 214 m³/h ved $\frac{1}{2}$. Ved avslått anlegg har vi målt infiltrasjonen til 0,075 luftvekslinger pr. time eller 7 m³/h. De målte verdier tilsvarer henholdsvis; 9,8 - 5,9 - 0,2 m³/h pr. m² gulvflate. Et rom uten mekanisk ventilasjon har ofte et luftskifte på om lag 0,5 luftvekslinger pr time som tilsvarer 47 m³/h i testrommet.

2.3 Partikkelteller

Til måling av partikler i romluften er det benyttet partikkelteller type "Innovation by climet C1-500", som måler antall partikler $> 0,3$, $> 0,5$, > 1 og > 10 μm . Ved siden av partiklene i tilluften ble det tilsatt titan tetraklorid fra Regin røkflaske for å skape en høy partikkelkonsentrasjon i starten av målingen. I senere forsøk ble det tilført uteluft med et høyt partikkelinnhold gjennom vinduene. Dette ble gjort fordi vi ved bruk av "kunstig røyk", måtte koble ut brannvarsleren i rommet, noe som var lite ønskelig da forsøkene også foregikk om natten uten at noen var tilstede. Målingene ble utført etter at partiklene var godt spredt i rommet og at alle hadde forlatt rommet.

2.4 Luftrenserens effektivitet

Luftrenseren er å sammenligne med et balansert ventilasjonsanlegg som tilfører "partikkelfri" luft til et rom og skaper full omrøring. I sin avhandling for den tekniske licentiaturgrad har professor Bent Børresen ved hjelp av modeller og matematiske ligninger vist at med en luftveksling reduseres partikkelkonsentrasjonen i et slikt rom med 63,2% i løpet av 1 time forutsatt en luftveksling. Med 560 m³/h (trinn-2) som tilsvarer $560/93 = 6$ vekslinger, skal det dermed teoretisk ta 10 minutter å oppnå en tilsvarende reduksjon. Dersom luftrenseren trenger 20 minutter på en slik reduksjon av konsentrasjonen er effektiviteten 50%. Ved halv hastighet (trinn-1) får vi tilsvarende $300/93 = 3,2$ vekslinger som tilsvarer 19 minutter. Dersom vi måler tiden det tar luftrenseren å redusere konsentrasjonen til $(100 - 63,2) \% = 36,8\%$ av konsentrasjonen ved start og beregner forholdstallet mellom målt tid og teoretisk tid, vil det være et uttrykk for luftrenserens effektivitet.

2.5 Antall partikler pr. ft³

Partikkelkonsentrasjonen i uteluften ble i Sandvika målt til ca. 35 000 000 partikler $> 0,3\mu\text{m}$. Partikkelnivået var relativt høyt, og var trolig påvirket av utearbeider som skjedde i nærheten av bygget hvor prøvene ble utført. Tilluften hadde ca. 8 000 000 $> 0,3\mu\text{m}$, noe som tydet på at posefilteret fjernet 77 %. Måling av partikkelnivået i rommet med kun ventilasjonsanlegget i gang viste svingninger fra 6 - 12 000 000 $> 0,3\mu\text{m}$. Dette er fremstilt i et eget diagram se fig. 4.5. Ved å tilsette røyk til romluften, ble antall partikler målt til om lag 30 000 000 $> 0,3\mu\text{m}$. For å kunne beholde brannmelderen i rommet intakt, ble forsøkene

RAPPORT

Oppdrag : 3964700
Tema : Busy Bee luftrensere

Dato : 02.03.04
Rev : 2D

også utført med uteluft som hadde et tilsvarende partikkelinnhold. Siden det er et lite antall partikler > 1µm blir antall partikler > 0,5µm og antall mellom 0,5 - 1 µm tilnærmet det samme slik at linjene smelter sammen til en linje i diagrammet.

3 KONKLUSJON

2. Busy Bee luftrensere er et kostnadseffektivt produkt sammenlignet med et komplett renluftsanlegg.
3. For et rom på 93 m³ som ble testet, ble luftrenseren ved full luftmengde 560 m³/h målt og beregnet til en ventilasjonsvirkningsgrad på 50 % for partikler > 0,3 µm, og 69 % for partiklene > 1µm. På trinn-1 eller ved 300 m³/h ble de tilsvarende verdier 34 % og 38 %.
4. Måleresultatene viser at luftrenseren "alene" renser luften tilnærmet like effektivt på de 2 utvalgte målepunktene i testrommet på 93 m³ og er således lite påvirket av plassering.
5. I et ventilert rom vil luftrenseren også kunne få hjelp av ventilasjonsanlegget til å skape full omrøring og således fjerne partikler mer effektivt.
6. Når luftrenseren benyttes sammen med rommets ventilasjonsanlegg 214 m³/h, viser både forsøk og modell at de to systemene påvirker hverandre. I starten ved et høyt partikkelnivået bidrar begge til å fjerne partikler. Når konsentrasjonen i rommet etter hvert nærmer seg tilluftens nivå på 9 000 000 part/feet³ vil endringen i konsentrasjon avta og flate ut på ca. 4 000 000 part/feet³ ved 560 m³/h og på ca. 6 000 000 part/feet³ ved 300 m³/h.
7. Luftrenseren vil ha liten renseeffekt i rom med stor luftveksling og egner seg best i rom med lav ventilasjon som for eksempel naturlig ventilerte rom der forurensningen skjer i selve rommet.
8. Antall partikler målt i luftrenseren nærområde var om lag det halve av det som måles andre steder i rommet.
9. Ved å doble antall luftrensere i rommet viser fig 5.6 en senkning av antall partikler fra 4 000 000 part/feet³ til 3 000 000 etter en times drift. Ved ytterlig økning av antall luftrensere viser figur 5.8 en senkning til 1 800 000 part/feet³ i løpet av 40 minutter.

4 MÅLERESULTATER

4.1 Måleprogram for luftrensere Busy Bee

1. Måling av B.B på trinn-2 i målepunkt M1 med avslått ventilasjon .
2. Måling av B.B på trinn-1 i målepunkt M1 med avslått ventilasjon .
3. Måling av B.B på trinn-2 i målepunkt M2 med avslått ventilasjon .
4. Måling av B.B på trinn-1 i målepunkt M2 med avslått ventilasjon .
5. Måling av B.B på trinn-2 i målepunkt M1 med ½ ventilasjon.
6. Måling av B.B på trinn-1 i målepunkt M1 med ½ ventilasjon.

4.2 Måleresultater

Måling av Busy Bee luftrensere på trinn-2 med avslått ventilasjon i målepunkt M1

RAPPORT

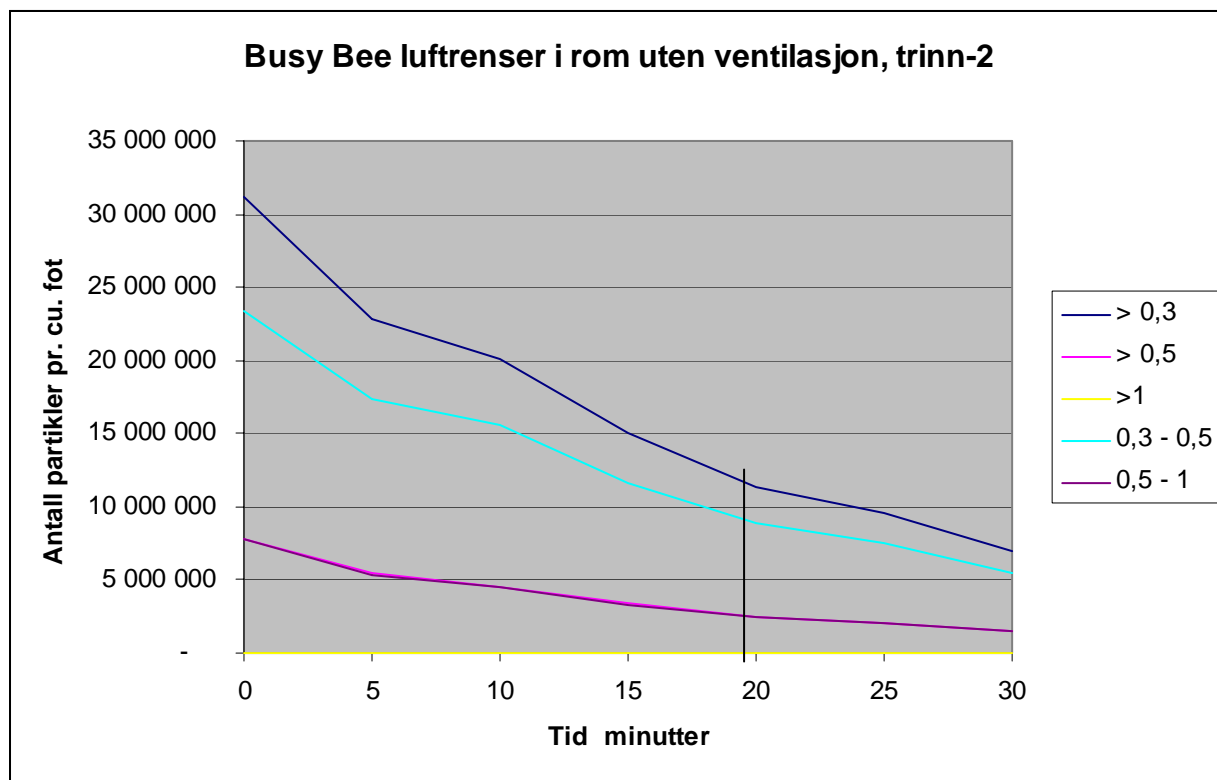
Oppdrag : 3964700
Tema : Busy Bee luftrensere

Dato : 02.03.04
Rev : 2D

Tabell 4.1 Måleresultater, luftrensere på trinn-2, avslått ventilasjon, målepunkt M1.

Minutter	> 0,3 μ m	> 0,5 μ m	>1 μ m	0,3 - 0,5 μ m	0,5 - 1 μ m
0	31 179 131 22 835	7 785 239	50 567	23 393 892	7 734 672
5	941 20 112	5 417 173	33 164	17 418 768	5 384 009
10	846 15 014	4 555 823	28 046	15 557 023	4 527 777
15	361 11 301	3 356 501	17 756	11 657 860	3 338 745
20	948 9 586	2 462 016	11 914	8 839 932	2 450 102
25	068 6 949	2 054 760	10 572	7 531 308	2 044 188
30	123	1 447 194	6 742	5 501 929	1 440 452
	0,37*31179131 = 11 473 920		0,37*50567 = 18 609		

Som vi ser av tabellen over og figuren nedenfor, reduseres antall partikler fra 100 % til 36,8 % i løpet av 20 minutter for de minste partiklene og 14-15 min. for partikler > 1 μ m.



Figur 4.1 Busy Bee luftrensere på trinn-2 i rom uten ventilasjon, målepunkt M1.

RAPPORT

Oppdrag : 3964700
Tema : Busy Bee luftrensere

Dato : 02.03.04
Rev : 2D

Apparatet har på trinn-2 en ventilasjonsvirkningsgrad for de to partikkelstørrelser på:

- 10min/20min = 50% for partikler mellom 0,3 - 0,5µm.
- 10min/14,5min = 69% for partikler > 1µm

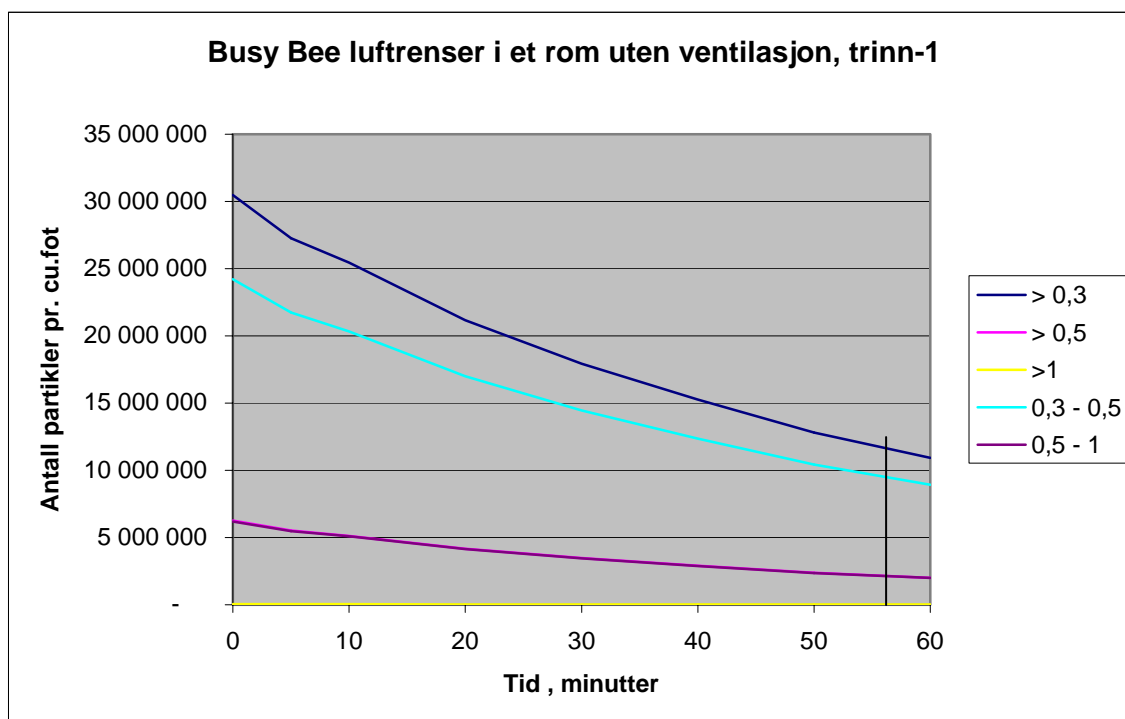
Måling av Busy Bee luftrensere på trinn-1 med avslått ventilasjon i målepunkt M1

Tabell 4.2 Måleresultater, luftrensere på trinn-1, avslått ventilasjon, målepunkt M1.

Minutter	> 0,3µm	> 0,5µm	>1µm	0,3 - 0,5µm	0,5 - 1µm
0	30 465 983	6 255 072	53 321	24 210 911	6 201 751
5	27 258 236	5 522 526	46 775	21 735 710	5 475 751
10	25 459 278	5 130 696	41 230	20 328 582	5 089 466
20	21 168 545	4 165 665	34 153	17 002 880	4 131 512
30	17 937 254	3 482 751	29 175	14 454 503	3 453 576
40	15 272 316	2 903 831	23 333	12 368 485	2 880 498
50	12 817 659	2 388 247	19 203	10 429 412	2 369 044
60	10 933 240	2 005 640	16 203	8 927 600	1 989 437

$0,37 \cdot 30465983$	$0,37 \cdot 53321$
= 11 211 482	= 19 622

Som vi ser av tabellen over og figuren under reduseres antall partikler fra 100% til 36,8 % i løpet av 50-60 min. for de minste partiklene og 50 min for partikler > 1µm



Figur 4.2 Busy Bee luftrensere på trinn-1 i rom uten ventilasjon, målepunkt M1.

RAPPORT

Oppdrag : 3964700
Tema : Busy Bee luftrensere

Dato : 02.03.04
Rev : 2D

Apparatet har på trinn-1 en ventilasjonsvirkningsgrad på de to partikkelstørrelser på :

- 19min /55min = 35% for partikler mellom 0,3 - 0,5µm.
- 19min /50 min = 38 % for partikler > 1µm

Måling av Busy Bee luftrensere på trinn-2 med avslått ventilasjon i målepunkt M2

Tabell 4.3 Måleresultater, luftrensere på trinn-2, avslått ventilasjon, målepunkt M2.

Minutter	> 0,3µm	> 0,5µm	> 1µm	0,3 - 0,5µm	0,5 - 1µm
0	7 468 439	499 301	6 513	6 969 138	492 788
5	6 160 574	411 280	5 277	5 749 294	406 003
10	4 156 522	274 263	4 000	3 882 259	270 263
15	2 981 297	193 250	2 453	2 788 047	191 244
20	2 227 095	140 106	2 006	2 086 989	137 653
25	1 673 397	109 306	1 906	1 564 091	107 400
30	1 359 297	87 544	1 324	1 271 753	86 220
	0,37*7468439		0,37*6513		
	= 2 703 575		= 2 358		

Som vi ser av tabellen reduseres antall partikler fra 100% til 36,8% i løpet av 15 - 20 min. både for de minste partiklene > 0,3µm og for partikler > 1µm.

Sammenligner vi med resultatet fra målepunkt M1 er denne målingen i M2 litt bedre for de små partikler og litt dårligere for de større. Tiden er henholdsvis 17 min. og 16 min.

RAPPORT

Oppdrag : 3964700
Tema : Busy Bee luftrensere

Dato : 02.03.04
Rev : 2D

Måling av Busy Bee luftrensere på trinn-1 med avslått ventilasjon i målepunkt M2

Tabell 4.4 Måleresultater, luftrensere på trinn-1, avslått ventilasjon, målepunkt M2.

Minutter	> 0,3µm	> 0,5µm	>1µm	0,3 - 0,5µm	0,5 - 1µm
0	10 755 839	721 338	13 149	10 034 501	708 189
5	9 496 256	644 154	11 278	8 852 102	632 876
10	8 617 595	582 768	10 908	8 034 827	571 860
15	7 680 856	507 808	9 884	7 173 048	497 924
20	6 871 429	447 445	8 490	6 423 984	438 955
25	6 200 904	404 520	8 454	5 796 384	396 066
30	5 638 063	364 570	7 642	5 273 493	356 928
35	5 047 335	320 153	7 078	4 727 182	313 075
40	4 596 254	290 219	6 372	4 306 035	283 847
45	4 167 165	263 179	6 583	3 903 986	256 596
50	3 833 668	236 104	5 272	3 597 564	230 832
55	3 491 135	215 401	4 924	3 275 734	210 477
60	3 267 209	202 799	4 860	3 064 410	197 939
	0,37* 10755839 = 3 958 149		0,37*13149 = 4 839		

Som vi ser av tabellen reduseres antall partikler fra 100% til 36,8% i løpet av ca. 50 min. for de minste partiklene og 60 min for partikler > 1µm.

Dette resultatet i målepunkt M2 er om lag det samme som ble målt i M1.

Partikkelsammensetningen er noe endret siden det er flere partikler > 1 i dette målepunktet. Det er noe uventet at det tar lenger tid å redusere de største partiklene.

Dette tyder på at luftrenseren i et rom uten ventilasjon er i stand til å ventilere 2 tilfeldig utvalgte steder i rommet med samme ventilasjonseffektivitet. For det aktuelle rom på 93 m³ med ca. 50% ventilasjonseffektivitet ved 560 m³/h og med ca.35% ved 300 m³/h, når vi betrakter alle partikler > 0,3µm.

Måling av Busy Bee luftrensere på trinn-2 med 1/2 ventilasjon i målepunkt M1

Tabell 4.5 Måleresultater, luftrensere på trinn-2, 1/2 ventilasjon, målepunkt M1.

Minutter	> 0,3µm	> 0,5µm	>1µm	0,3 - 0,5µm	0,5 - 1µm
0	31 983 936	2 897 954	284 059	29 085 982	2 613 895
5	23 401 764	2 131 238	196 568	21 270 526	1 934 670
10	17 656 389	1 567 498	136 329	16 088 891	1 431 169
15	13 579 592	1 103 602	82 408	12 475 990	1 021 194
20	11 504 817	846 776	56 145	10 658 041	790 631
25	10 696 730	745 272	45 678	9 951 458	699 594
30	9 725 150	627 581	33 500	9 097 569	594 081
	0,37*31983636		0,37*284059 9		

RAPPORT

Oppdrag : 3964700
Tema : Busy Bee luftrensere

Dato : 02.03.04
Rev : 2D

= 11 770 088

= 104 534

Som vi ser av tabellen reduseres antall partikler fra 100% til 36.8 % i løpet av 20 min. for de minste partiklene og 15 - 20 min for partikler > 1µm. Ved interpolering blir tiden 17 min for de større.

Dette er et tilsvarende resultat som ved avslått ventilasjon. Dette skyldes at byggets ventilasjonsanlegg både fjerner og produserer partikler i rommet. Ved en stor partikkelkonsentrasjon i starten bidrar ventilasjonsanlegget først til å redusere antall partikler, men når konsentrasjonen kommer ned til et lavere nivå vil byggets ventilasjonsanlegg bidra til å holde nivået stabilt siden det stadig "fyller på" med nye partikler i rommet.

Måling av Busy Bee luftrensere på trinn-1 med 1/2 ventilasjon i målepunkt M1

Tabell 4.6 Måleresultater, luftrensere på trinn-1, 1/2 ventilasjon, målepunkt M1.

Minutter	> 0,3µm	> 0,5µm	>1µm	0,3 - 0,5µm	0,5 - 1µm
0	31 616 233	2 586 731	304 692	29 029 502	2 282 039
5	27 468 395	2 236 502	289 195	25 231 893	1 947 307
10	22 408 334	1 801 288	254 937	20 607 046	1 546 351
15	17 964 417	1 385 013	176 624	16 579 404	1 208 389
20	15 376 733	1 143 596	123 991	14 233 137	1 019 605
25	13 973 629	1 021 494	92 292	12 952 135	929 202
30	12 823 307	892 631	67 935	11 930 676	824 696
35	11 544 353	770 493	50 320	10 773 860	720 173
40	10 652 093	689 462	37 259	9 962 631	652 203

			0,37*30469		
	0,37*31616233		2		
	= 11 634 774		= 112 127		

Som vi ser av tabellen reduseres antall partikler fra 100% til 36,8 % i løpet av 35 min. for de minste partiklene og 20 - 25 min for partikler > 1µm. Ved interpolering fra tabellen blir tiden 22 min for de større. Dette er et bedre resultat enn ved avslått ventilasjon. Dette skyldes at ventilasjonsanlegget hjelper til å fjerne partikler i startfasen når konsentrasjonen er høy. Siden ventilasjonsanlegget er i drift vil det medvirke til bedre omrøring og forbedret ventilasjonseffektivitet. Det er derfor ikke gjort målinger i M2 med byggets ventilasjonsanlegg i gang.

4.2.1 Målinger helt inntil luftrenseren

Målingene i rommet tydet på at det ikke var store forskjeller på antall partikler på de ulike stedene i rommet.

Om vi derimot plasserte måleren helt inntil luftrenseren, ble antall partikler redusert til det halve sammenlignet med øvrige resultater andre steder i rommet. Dette var det samme om luftrenseren gikk på trinn-1 eller trinn-2.

4.2.2

RAPPORT

Oppdrag : 3964700
Tema : Busy Bee luftrensere

Dato : 02.03.04
Rev : 2D

Effektivitet for luftrensere Busy Bee for alle partikler > 0,3 μ m

1. Måling på trinn-2 i målepunkt M1 med avslått ventilasjon (10min/20 min) = 0,50
2. Måling på trinn-1 i målepunkt M1 med avslått ventilasjon (19min/55 min) = 0,35
3. Måling på trinn-2 i målepunkt M2 med avslått ventilasjon (10min/17 min) = 0,58
4. Måling på trinn-1 i målepunkt M2 med avslått ventilasjon (19min/50 min) = 0,38
5. Måling på trinn-2 i målepunkt M1 med $\frac{1}{2}$ ventilasjon (10min/20 min) = 0,50
6. Måling på trinn-1 i målepunkt M1 med $\frac{1}{2}$ ventilasjon (19min/35 min) = 0,54

Uttrykket for effektiviteten i forsøk 5 og 6 blir ikke helt riktig siden luftrenseren får hjelp av byggets ventilasjonsanlegg i starten til å fjerne partikler. Luftmengden som bidrar til å fjerne partikler i starten er i forsøk 5 er 774 m³/h og i forsøk 6 er den 514 m³/h . I begge tilfeller får vi en høyere luftveksling og en raskere fjerning av partikler.

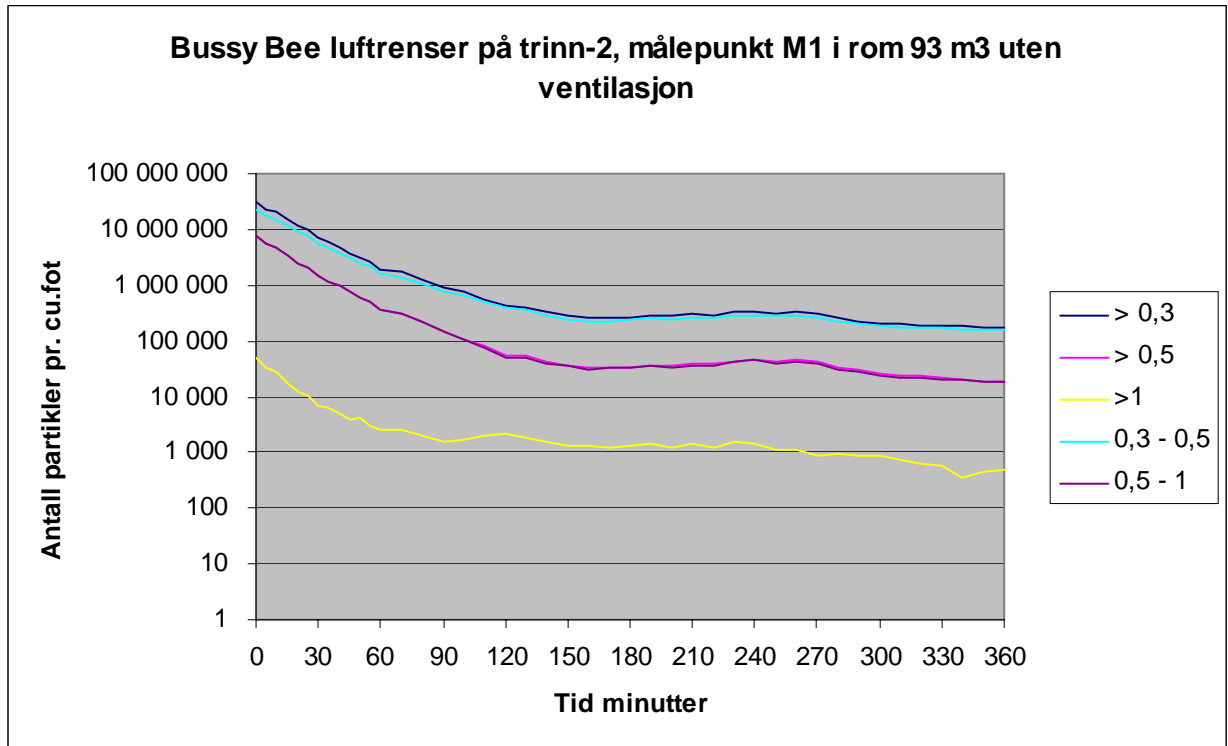
Vi har derfor valgt å lage en teoretisk beregningsmodell som kan benyttes til å illustrere grafisk det som skjer når luftrenseren settes inn i et rom hvor den skal fungere sammen med byggets ventilasjonsanlegg. Modellen er vist i fig 5.1

RAPPORT

Oppdrag : 3964700
Tema : Busy Bee luftrensere

Dato : 02.03.04
Rev : 2D

Figur 4.3 viser målt utvikling av partikkel- konsentrasjonen over 360 minutter med luftrenseren på fullt turtall.



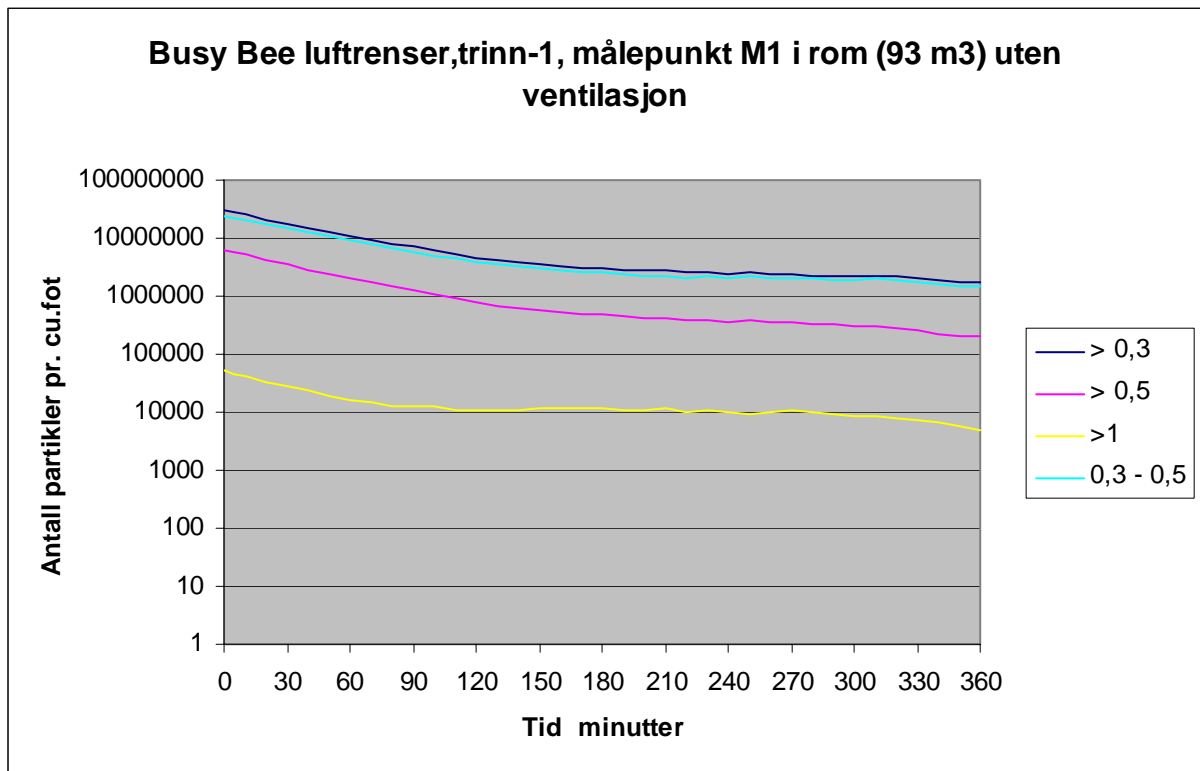
Figur 4.3 Busy Bee luftrensere på trinn-2 i rom uten ventilasjon, målepunkt M1.

RAPPORT

Oppdrag : 3964700
Tema : Busy Bee luftrensere

Dato : 02.03.04
Rev : 2D

Figur 4.4 viser målt utvikling av partikkel- konsentrasjonen over 360 minutter med luftrenseren på 1/2 turtall.



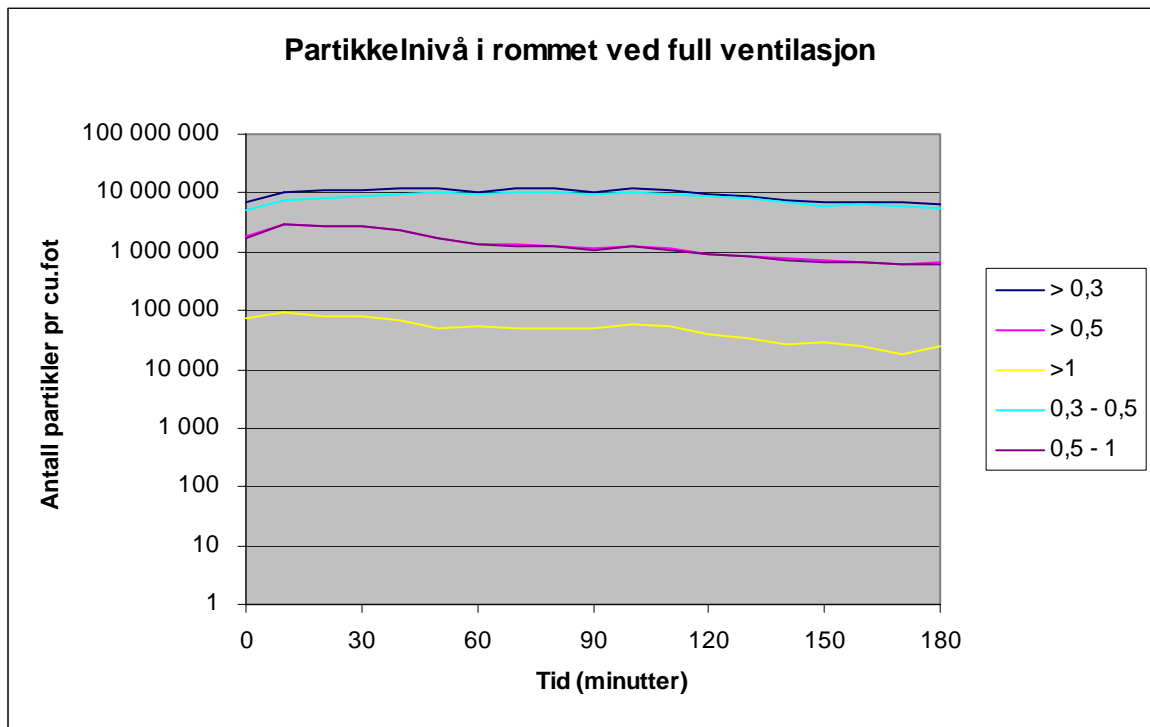
Figur 4.4 Busy Bee luftrensere på trinn-1 i rom uten ventilasjon, målepunkt M1.

RAPPORT

Oppdrag : 3964700
Tema : Busy Bee luftrensere

Dato : 02.03.04
Rev : 2D

Figur 4.5 viser partikkel- konsentrasjonen i testrommet med avslått luftrensere og ventilasjonsanlegget på fullt.



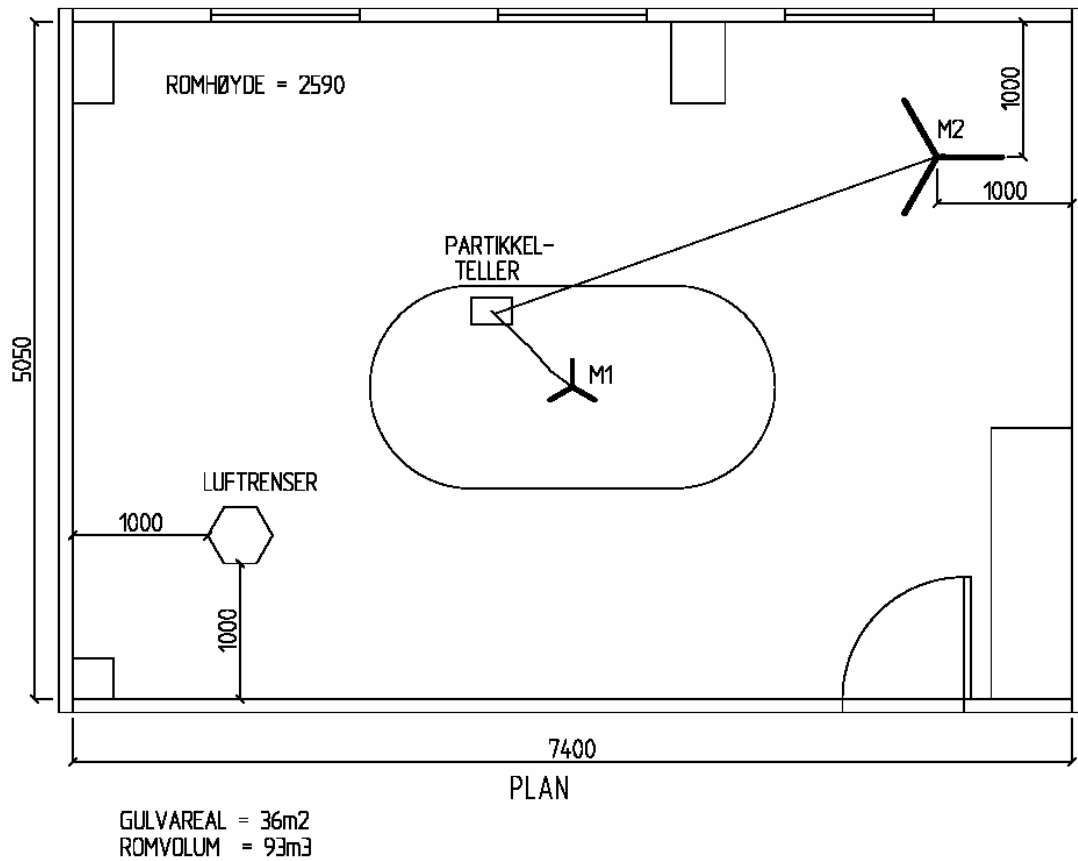
Figur 4.5 Partikkelnivå i rommet, Busy Bee luftrensere avslått, full ventilasjon i rommet.

RAPPORT

Oppdrag : 3964700
Tema : Busy Bee luftrensere

Dato : 02.03.04
Rev : 2D

Skissen viser testrommet og plasseringen av luftrensere og målepunktene M1 og M2.



Figur 4.6 Testrommet og plasseringen av luftrensere og målepunktene M1 og M2.

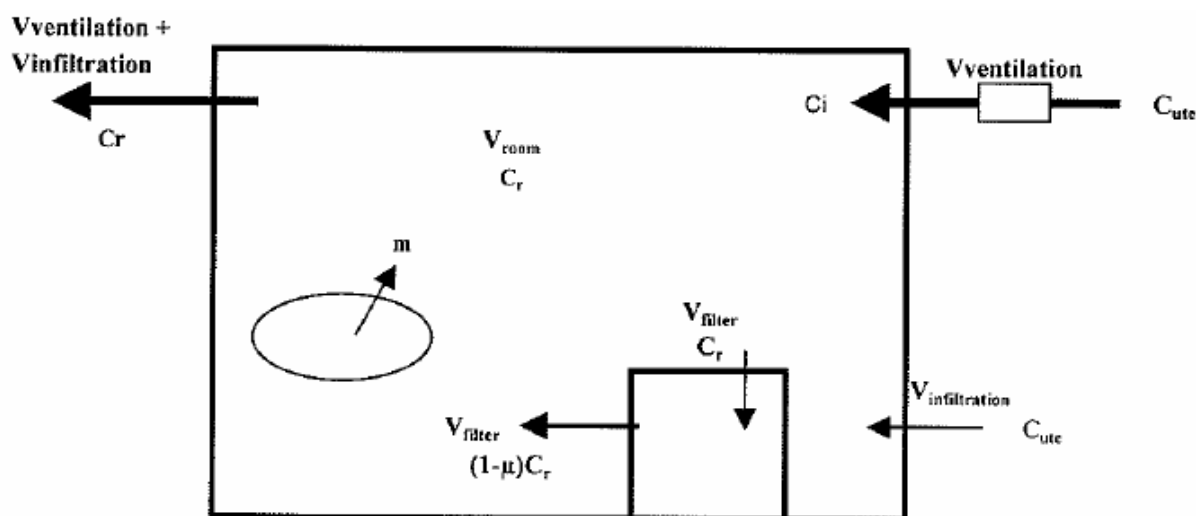
RAPPORT

Oppdrag : 3964700
Tema : Busy Bee luftrensere

Dato : 02.03.04
Rev : 2D

5 MATEMATISK MODELLERING AV FORSØKENE

For å anskueliggjøre forsøkene er det laget en modell som simulerer partikkelkonsentrasjonen i rommet. Variable parametre som inngår i modellen er blant annet ventilasjonsmengde til rommet, ventilasjonsmengde over luftrenseren og konsentrasjonen i uteluften. Simuleringene er utført for den minste partikkelstørrelsen ($> 0,3 \mu\text{m}$). Figur 5.1 viser modellen skjematisk.



Figur 5.1 Modellering av luftrensere Busy Bee. Figuren viser ventilasjonsluftmengde ($V_{\text{ventilation}}$), luftmengde over luftrenseren (V_{filter}) og infiltrasjonsluftmengden ($V_{\text{infiltration}}$).

For alle simuleringene er det benyttet følgende data:

- Romvolum 93 m^3
- Infiltrasjonsluftmengde $7 \text{ m}^3/\text{h}$
- Ventilasjonseffektivitet for ventilasjonen i rommet $0,9$
- Busy Bee filter effektivitet $0,99$
- Ventilasjon til rom, filter effektivitet $0,7$
- Startkonsentrasjon i rommet $31\,179\,000 \text{ part}/\text{feet}^3$
- Konsentrasjon uteluft $30\,000\,000 \text{ part}/\text{feet}^3$

Det betyr at $C_i = 30\,000\,000 \text{ part}/\text{feet}^3 * (1-0,7) = 9\,000\,000 \text{ part}/\text{feet}^3$.

RAPPORT

Oppdrag : 3964700
Tema : Busy Bee luftrensere

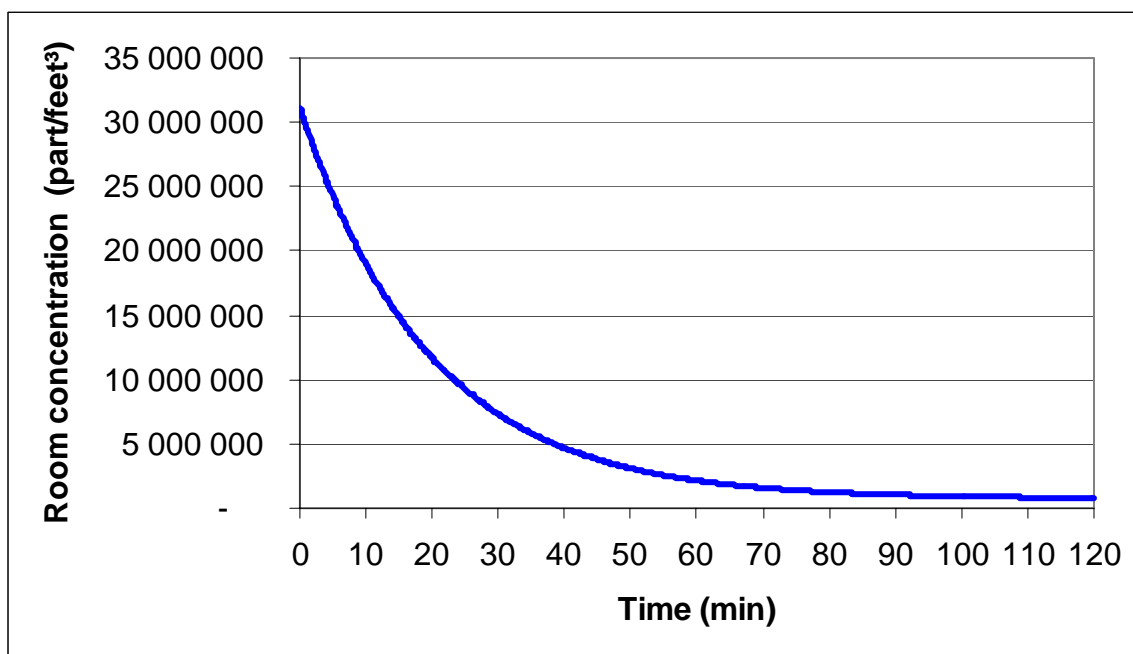
Dato : 02.03.04
Rev : 2D

Simulering av Busy Bee luftrensere på trinn-2 med avslått ventilasjon

Simuleringen er vist i figur 5.2.

Simuleringsparametre:

- Ventilasjonsmengde rom 0 m³/h
- Ventilasjonsmengde luftrensere 560 m³/h
- Ventilasjonvirkningsgrad for luftrenseren 0,5



Figur 5.2 Simulering av Busy Bee luftrensere på trinn-2 med avslått ventilasjon.

Som vi ser av figuren er antall partikler redusert til 10 000 000 part/feet³ etter ca. 22 minutter og stemmer bra med våre målinger slik det fremgår av figur 4.1 hvor det tok 24 min.

RAPPORT

Oppdrag : 3964700
Tema : Busy Bee luftrensere

Dato : 02.03.04

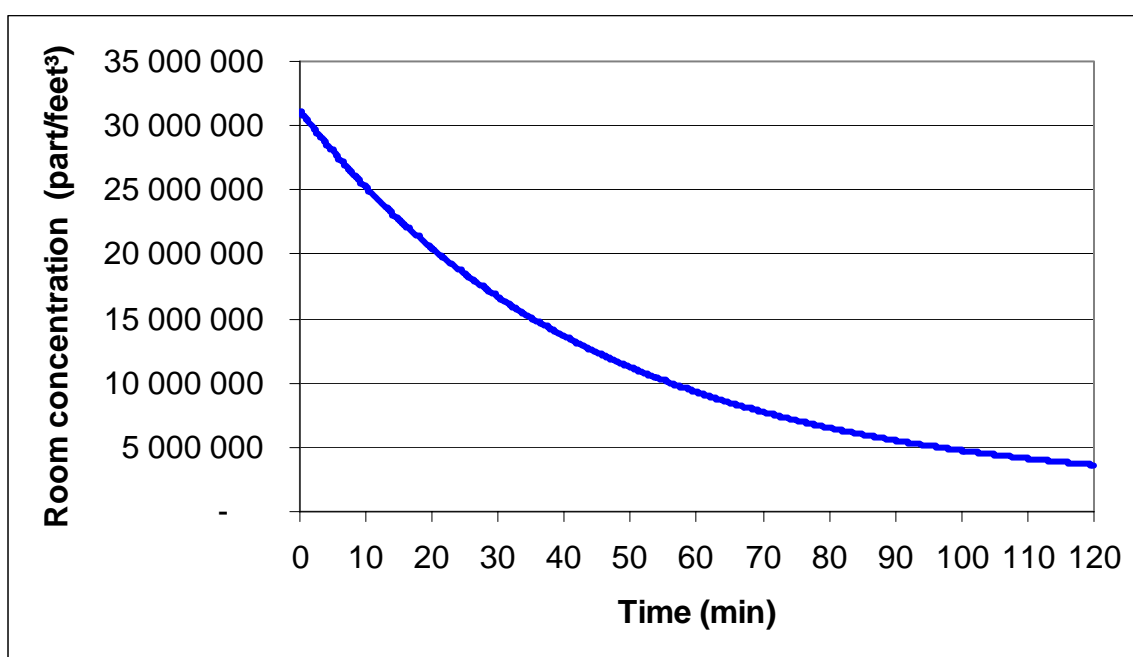
Rev : 2D

Simulering av Busy Bee luftrensere på trinn-1 med avslått ventilasjon

Simuleringen er vist i figur 5.3.

Simuleringsparametre:

- Ventilasjonsmengde rom 0 m³/h
- Ventilasjonsmengde luftrensere 300 m³/h
- Ventilasjonvirkningsgrad for luftrenseren 0,4



Figur 5.3 Simulering av Busy Bee luftrensere på trinn-1 med avslått ventilasjon.

Som vi ser av figuren er antall partikler redusert til 15 000 000 part/foot³ etter ca. 35 minutter og stemmer bra med våre målinger slik det fremgår av figur 4.2 hvor det tok 40 minutter.

RAPPORT

Oppdrag : 3964700
Tema : Busy Bee luftrensere

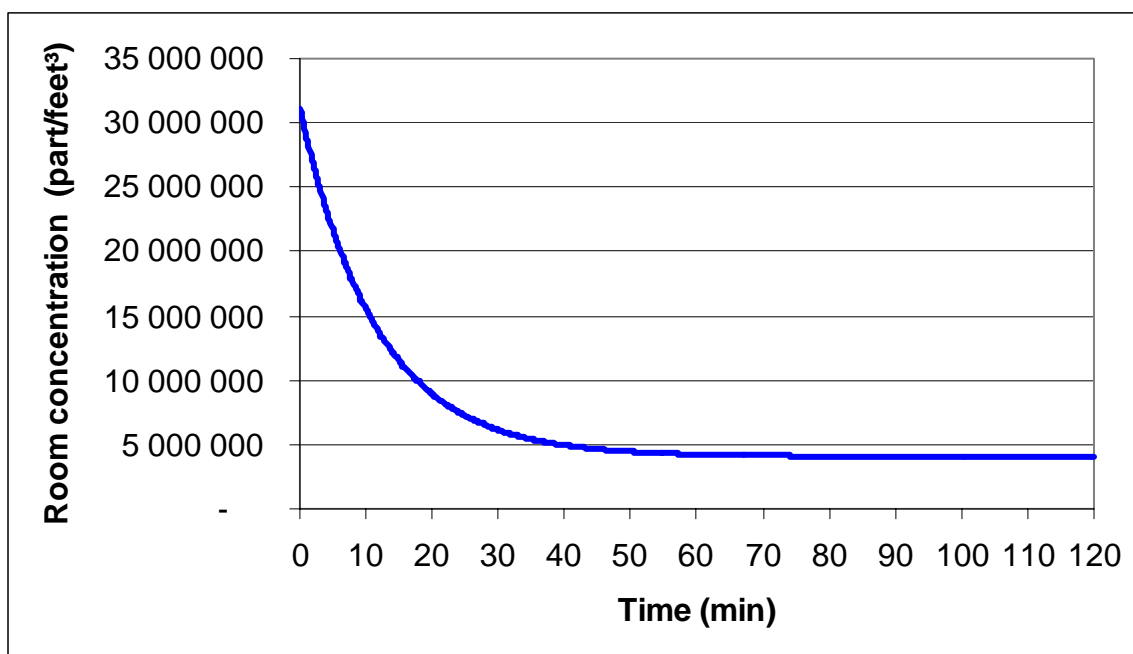
Dato : 02.03.04
Rev : 2D

Simulering av Busy Bee luftrensere på trinn-2 med 1/2 ventilasjon

Simuleringen er vist i figur 5.4.

Simuleringsparametre:

- Ventilasjonsmengde rom 214 m³/h
- Ventilasjonsmengde luftrensere 560 m³/h
- Ventilasjonvirkningsgrad for luftrenseren 0,5



Figur 5.4 Simulering av Busy Bee luftrensere på trinn-2 med 1/2 ventilasjon.

Som vi ser av figuren er antall partikler redusert til 10 000 000 part/feet³ etter ca. 18 minutter og stemmer bra med våre målinger slik det fremgår av figur 4.5 hvor det tok 25 minutter.

RAPPORT

Oppdrag : 3964700
Tema : Busy Bee luftrensere

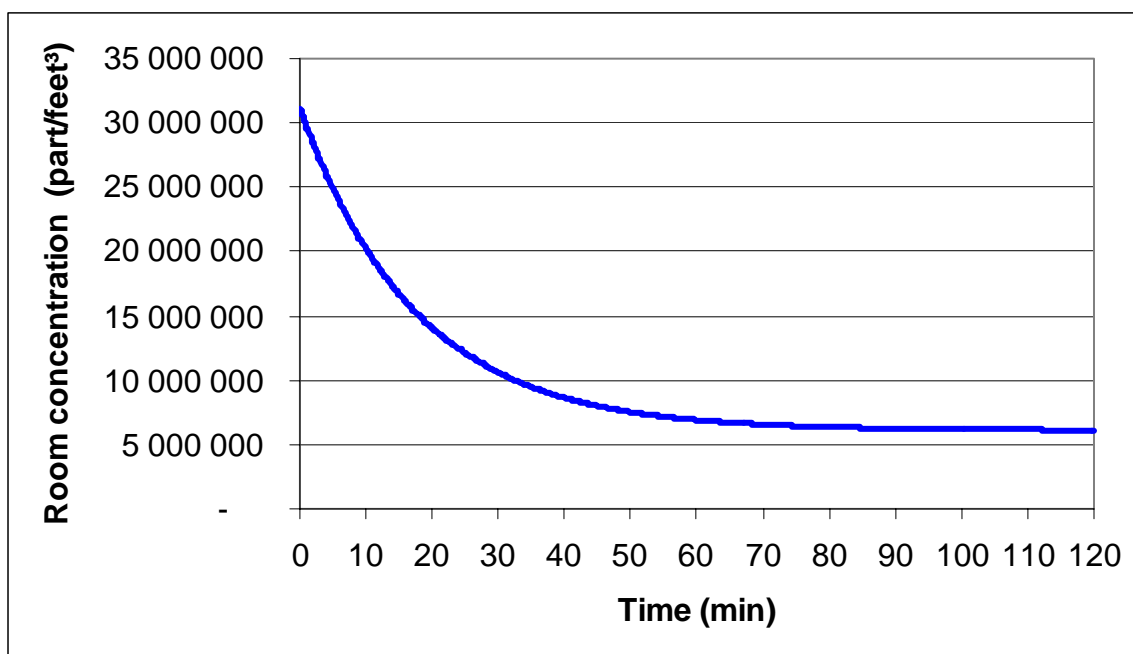
Dato : 02.03.04
Rev : 2D

Simulering av Busy Bee luftrensere på trinn-1 med 1/2 ventilasjon

Simuleringen er vist i figur 5.5.

Simuleringsparametre:

- Ventilasjonsmengde rom 214 m³/h
- Ventilasjonsmengde luftrensere 300 m³/h
- Ventilasjonvirkningsgrad for luftrenseren 0,4



Figur 5.5 Simulering av Busy Bee luftrensere på trinn-1 med 1/2 ventilasjon.

Som vi ser av figuren er antall partikler redusert til 15 000 000 part/feet³ etter ca. 18 minutter og stemmer bra med våre målinger slik det fremgår av figur 4.6 hvor det tok 20 minutter.

RAPPORT

Oppdrag : 3964700
Tema : Busy Bee luftrensere

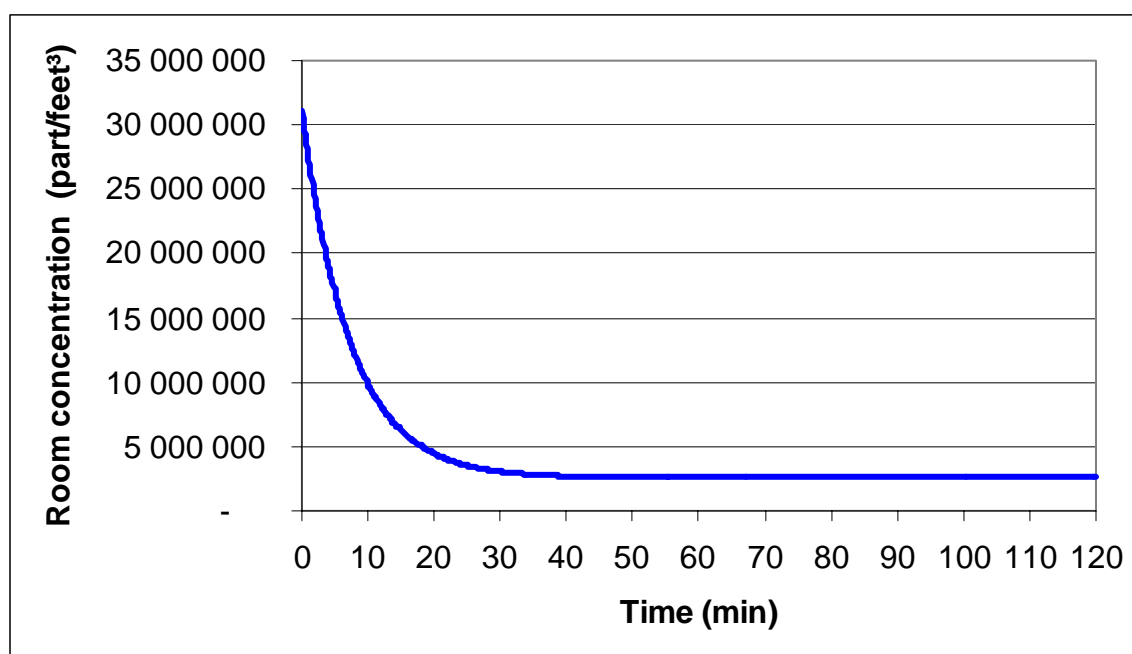
Dato : 02.03.04
Rev : 2D

Simulering av 2 Busy Bee luftrensere på trinn-2 med 1/2 ventilasjon

Simuleringen er vist i figur 5.6.

Simuleringsparametre:

- Ventilasjonsmengde rom 214 m³/h
- Ventilasjonsmengde luftrensere 1120 m³/h
- Ventilasjonvirkningsgrad for luftrenseren 0,5



Figur 5.6 Simulering av 2 Busy Bee luftrensere på trinn-2 med 1/2 ventilasjon.

Som vi ser av figuren er antall partikler redusert til 10 000 000 part/feet³ etter ca. 10 minutter ved bruk av 2 luftrensere isteden for 18 minutter som ble målt ved bruk av èn luftrenser.

Vi ser dessuten at kurven flater ut ved ca. 3 000 000 part/feet³ mot ca. 4 000 000 ved bruk av en luftrenser. Tilluften er satt til 9 000 000 part/feet³ i de beregninger vi har gjennomført. Ved å sette inn flere luftrensere vil tiden det tar å redusere partikkelnivået gå ytterligere ned og kurven vil flate ut på et enda lavere nivå.

Figur 5.7 viser 2 luftrensere på trinn-1 med til sammen 600 m³/h. Resultatet blir om lag det samme for èn renser på hel hastighet.

RAPPORT

Oppdrag : 3964700
Tema : Busy Bee luftrensere

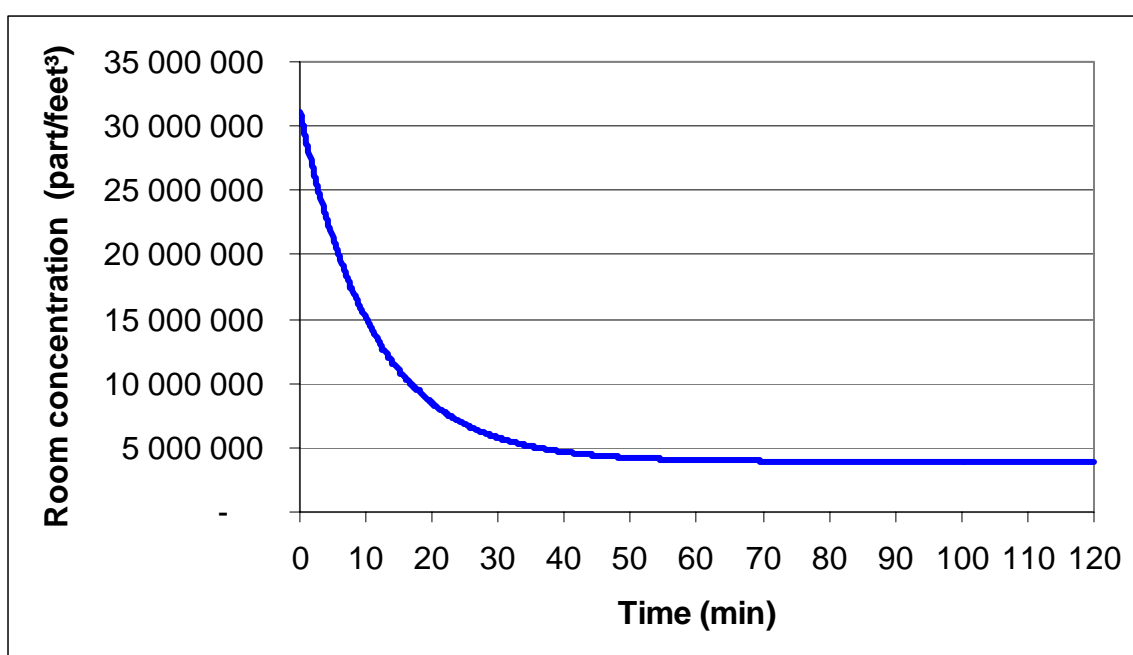
Dato : 02.03.04
Rev : 2D

Simulering av 2 Busy Bee luftrensere på trinn-1 med 1/2 ventilasjon

Simuleringen er vist i figur 5.7.

Simuleringsparametre:

- Ventilasjonsmengde rom 214 m³/h
- Ventilasjonsmengde luftrensere 600 m³/h
- Ventilasjonsvirkningsgrad for 2 luftrensere 0,5



Figur 5.7 Simulering av 2 Busy Bee luftrensere på trinn-1 med 1/2 ventilasjon.

Med 2 luftrensere plassert i det samme rommet på det laveste trinnet og som til sammen distribuerer om lag den samme luftmengden som en luftrensere på full hastighet har vi endret ventilasjonsvirkningsgraden fra 0,4 til 0,5.

RAPPORT

Oppdrag : 3964700
Tema : Busy Bee luftrensere

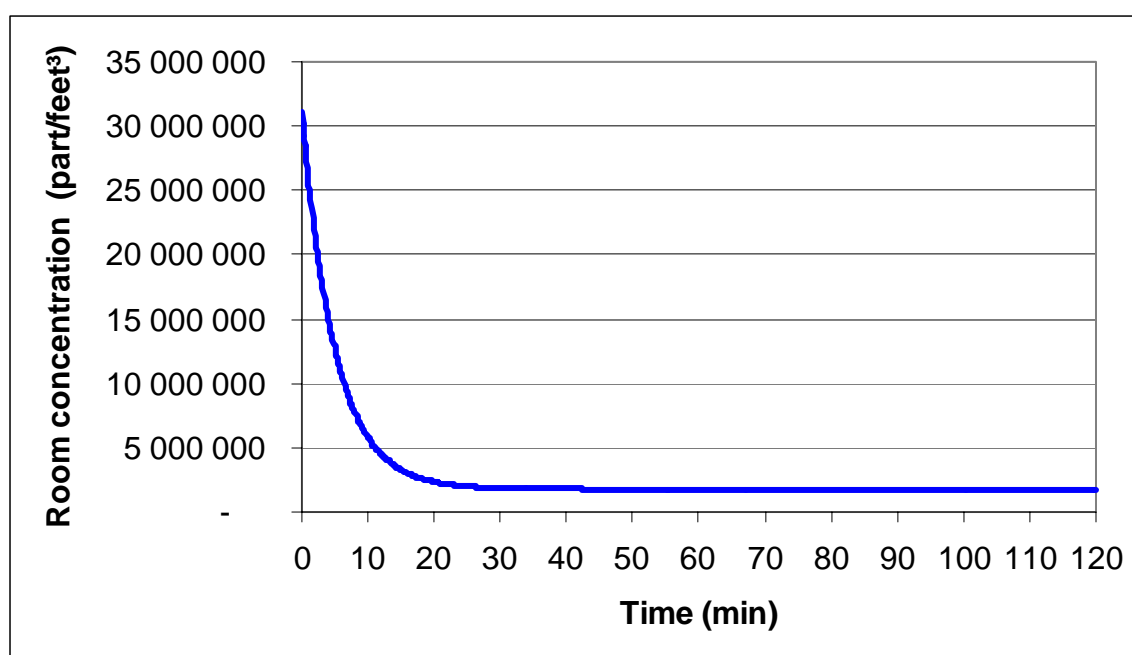
Dato : 02.03.04
Rev : 2D

Simulering av 6 Busy Bee luftrensere på trinn-1 med 1/2 ventilasjon

Simuleringen er vist i figur 5.8.

Simuleringsparametre:

- Ventilasjonsmengde rom 214 m³/h
- Ventilasjonsmengde for flere luftrensere 1 800 m³/h
- Ventilasjonvirkningsgrad for luftrenseren 0,5



Figur 5.8 Simulering av 6 Busy Bee luftrensere på trinn-1 med 1/2 ventilasjon.

Ved å sette inn mange luftrensere i det samme rommet og dermed øke luftmengden er det trolig at den totale ventilasjonvirkningsgraden vil øke noe. I den simuleringen som er vist i figur 5.8 er virkningsgraden på 0,5 benyttet. 1800 m³/h tilsvarer 6 luftrensere på halv hastighet eller trinn-1.

Av figuren ser vi at det tar 40 minutter å senke det høye partikkelnivået fra 30 000 000 part/feet³ til ca. 1 800 000 hvor kurven flater ut. Tilførsel av nye partikler skjer gjennom ventilasjonsanlegget som tilfører 214 m³/h til rommet med luft som inneholder 9 000 000 part/feet³ (> 0,3 µm).

Om vi antar at ventilasjonvirkningsgraden vil øke fra 0,5 til 0,7 på grunn av den store luftmengden som vil skape bedre omrøring i rommet, viser våre beregninger at kurven vil flate ut på 1 350 000 part/feet³ i løpet av ½ time.

Report



Vestfjordgaten 4, No-1338 Sandvika
Phone: 67 57 10 00, Fax 67 54 45 76
Email: firmapost@norconsult.no

Busy Bee Air Purifier

Principal	Strand Eriksen Consulting	Document number 4
Project number	3965700	Date: 02.03.04
Contact person	Terje Strand Eriksen	Revision: 2D
Report responsible	Thor Sætre	Sign. T.S
Oversight	Bent Børresen	Sign. B.B
Authors	Thor Sætre/ Gro Aanesland Dahle	Sign. T.S/G.A.D

Summary

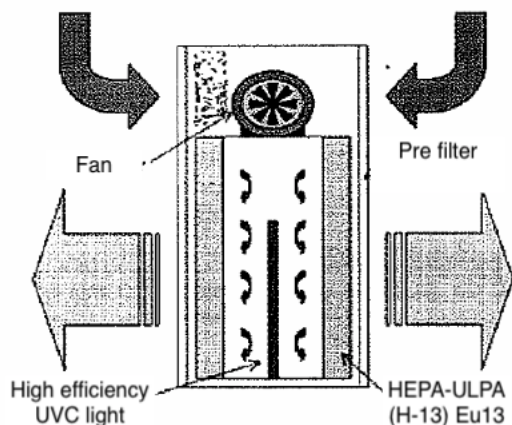
The Busy Bee air purifier is a product developed for cleaning of indoor air to remove airborne microorganisms and pollen. Norconsult has been engaged to perform a series of measurements to establish the performance of the air purifier in a room selected at random. The purpose with the test was to establish how efficient the air purifier is at removing particles from a room.

Conclusions:

1. The Busy Bee air purifier is a cost-effective solution compared to investing in a built-in HVAC air purification system.
2. The test was conducted in a 93 m³ room and it was found that on the air purifier's high air flow setting of 560 m³/h, a ventilation level of 50% was calculated for particles >0.3 microns and 69% for particles >1.0 microns. On the low air flow setting of 300 m³/h the corresponding values were 34% and 38% respectively.
3. The results show that the air purifier on its own cleans the air almost equally efficiently at two selected measuring points in the 93m³ test room and is thus little affected by placement.
4. In a room with built-in ventilation the air purifier will also be aided by the built-in ventilation system to create full circulation and thus remove particles more efficiently.
5. When the air purifier was used in conjunction with the room's built in 214 m³/h ventilation system, all tests show that the two systems influence each other. At the start of a test with a high level of particles in the room both influence the removal of particles. When the concentration of air particles falls towards a level of 9,000,000 particles/feet³ the further reduction flattens out towards ca 4,000,000 particles/feet³ at 560 m³/h and ca 6,000,000 particles/feet³ at 300 m³/h.
6. The air purifier will be less effective in rooms with many air changes from the built-in ventilation system and will be most effective in rooms with standard to few air changes from the built-in ventilation system and when pollution of the air happens within the room.
7. The number of particles measured around the air purifier was ca half of that measured other places in the room.
8. By doubling the amount of air purifiers in the room figure 5.6 shows a decrease in particles from 4,000,000 particles/feet³ to 3,000,000 particles/feet³ after one hour. Adding further air purifiers further reduces the particles to 1,800,000 particles/feet³ in 40 minutes.

1: General

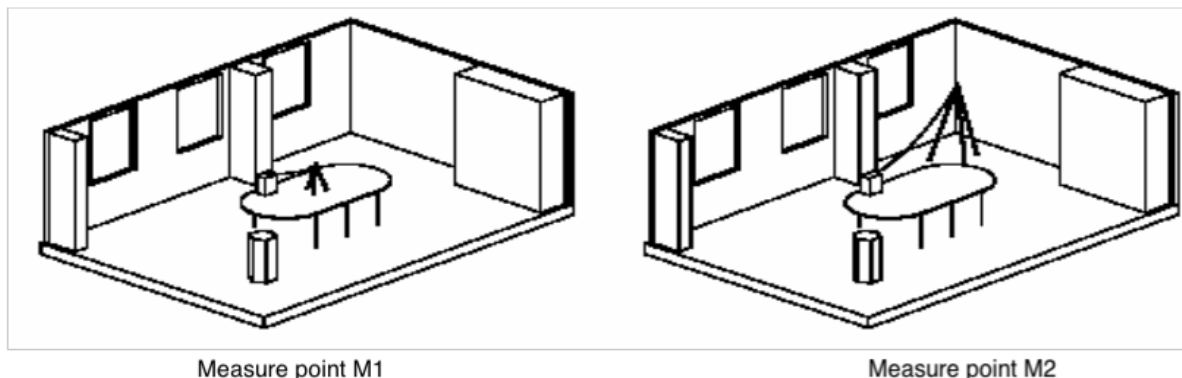
The Busy Bee air purifier is a product developed for cleaning of indoor air to remove airborne microorganisms and pollen. The illustration below shows the different parts of the machine:



2: TEST OF THE BUSY BEE AIR PURIFIER

Norconsult has been engaged to perform a series of measurements to establish the performance of the air purifier in a room selected at random. We chose a meeting room of 36 m² / 93 m³ which was available to us for a week. The purpose of the test was to measure how efficient the air purifier was at removing particles from the room. Figure 4.6 on page 12 shows a drawing of the room with measurements including equipment. The measure points M1 and M2 are also shown in the isometric drawings below. There is a cord between the particle counter and the measure point which is mounted on a tripod.

The air purifier is tested on two fan speeds that according to the manufacturer is 300 m³/h on the low setting and 560 m³/h on the highest setting. The air purifier is placed in a corner as shown on the drawing and the measurements are done at both measure point M1, 1.3 meters above the floor and measure point M2 1.8 meters above the floor. These points were selected to measure if the air purifier is equally efficient at removing particles from all parts of the room. The air purifier's performance at removing particles was measured at both fan speeds with the built-in room ventilation switched off, running at half capacity, and at full capacity.



2.1: The room's built-in ventilation system

The room has a built-in ventilation system mounted on the roof sending outside air in and taking inside air out. The ventilation system is running at full speed from 8am-4.40pm and at 60% air flow (half speed) from 4.40pm-7pm and 6.30am-8am and is switched off from 7pm-6.30am.

2.2: Air flow measurements

By using measuring equipment, it was established that the built-in ventilation system has an air flow capacity of 353 m³/h at full speed, and 214 m³/h at half speed. When the system was switched off, we measured a flow through rate of 0.075 air changes per hour or 7 m³/h. The values measured equate to 9.8, 5.9 and 0.2 m²/h per m² of floor space respectively. For reference, a room without mechanical ventilation typically has an air change rate of ca 0.5 air changes per hour equating to 47 m³/h in the test room.

2.3: Particle counter

For measurements of particles in the air, a particle counter "Innovation by climet C1-500" was used for measuring the number of particles > 0.3, >0.5, >1.0, >10 microns. In addition to the particles entering the room from the air inflow from the built-in ventilation system, titanium tetrachloride from a smoke machine was spread in the room to increase the particle count at the beginning of each test. In later tests, the room was filled with high particle concentration outside air through the windows. This was done to as an alternative to using the smoke machine. The tests were conducted after ensuring the particles were well spread out throughout the room and the room was empty.

2.4: The air purifier's ventilation level

The air purifier can be compared to a balanced ventilation system that adds "particle free" air to a room and creates full air circulation. In his PhD dissertation, professor Bent Børresen has via models and mathematical equations shown that one air change in one hour reduces the particle concentration in a room by 63.2%. At the air purifier's highest setting of 560 m³/h, $560/93 = 6$ air changes in one hour meaning it should theoretically take 10 minutes to achieve a similar reduction. If the air purifier for instance needs 20 minutes for such a reduction in particle concentration, the air purifier's ventilation level is 50%. At the low fan setting equating to $300/93 = 3.2$ air changes is equal to 19 minutes. If we measure the time it takes for the air purifier to reduce the concentration to $(100-63.2)\% = 36.8\%$ of the concentration at the beginning of the test and calculate the relative deviation between the measured time and the theoretical time, it will be an expression for the ventilation level of the air purifier.

2.5: Number of particles / ft³

The particle concentration in outside air was in Sandvika, Norway measured to ca 35,000,000 particles > 0.3 microns. That is a relatively high particle concentration and it was likely influenced by some construction work being carried out nearby. The air flowing into the

room through the built-in ventilation system had a concentration of 8,000,000 > 0.3 microns, indicating that the filter in the ventilation system removed 77%. When the built-in ventilation system was running on its own, we observed a variation in particle concentration in the room ranging from 6,000,000-12,000,000 > 0.3 microns. This is laid out in figure 4.5. By adding smoke to the room, the number of particles was measured at ca. 30,000,000 > 0.3 microns. Since the number of particles larger than >1 micron is low, it has been added to the group 0.5-1 micron in the graphs below.

3: CONCLUSION

1. The Busy Bee air purifier is a cost-effective solution compared to investing in a built-in HVAC air purification system.
2. The test was conducted in a 93 m³ room and it was found that at the air purifier's high air flow setting of 560 m³/h, a ventilation level of 50% was calculated for particles >0.3 microns and 69% for particles >1.0 microns. On the low air flow setting of 300 m³/h the corresponding values were 34% and 38% respectively.
3. The results show that the air purifier on its own cleans the air almost equally efficiently at two selected measuring points in the 93m³ test room and is thus little affected by placement.
4. In a room with built-in ventilation the air purifier will also be aided by the built-in ventilation system to create full circulation and thus remove particles more efficiently.
5. When the air purifier was used in conjunction with the room's built in 214 m³/h ventilation system, all tests show that the two systems influence each other. At the start of a test with a high level of particles in the room both influence the removal of particles. When the concentration of air particles falls towards a level of 9,000,000 particles/feet³ the further reduction flattens out towards ca 4,000,000 particles/feet³ at 560 m³/h and ca 6,000,000 particles/feet³ at 300 m³/h.
6. The air purifier will be less effective in rooms with many air changes from the built-in ventilation system and will be most effective in rooms with standard to few air changes from the built-in ventilation system and when pollution of the air happens within the room.
7. The number of particles measured around the air purifier was ca half of that measured other places in the room.
8. By doubling the amount of air purifiers in the room figure 5.6 shows a decrease in particles from 4,000,000 particles/feet³ to 3,000,000 particles/feet³ after one hour. Adding further air purifiers further reduces the particles to 1,800,000 particles/feet³ in 40 minutes.

4: TEST RESULTS

4.1: Test Results for the Busy Bee air purifier

1. Test of Busy Bee on the high fan setting at measure point M1 with no ventilation
2. Test of Busy Bee on the low fan setting at measure point M1 with no ventilation
3. Test of Busy Bee on the high fan setting at measure point M2 with no ventilation
4. Test of Busy Bee on the low fan setting at measure point M2 with no ventilation
5. Test of Busy Bee on the high fan setting at measure point M1 with half speed ventilation

6. Test of Busy Bee on the low fan setting at measure point M1 with half speed ventilation

4.2: Test Results

Test of Busy Bee on the high fan setting at measure point M1 with no ventilation

Tabel 4.1

Minutes	> 0,3µm	> 0,5µm	>1µm	0,3 - 0,5µm	0,5 - 1µm
0	31 179 131	7 785 239	50 567	23 393 892	7 734 672
5	941 22 835 20 112	5 417 173	33 164	17 418 768	5 384 009
10	846 15 014	4 555 823	28 046	15 557 023	4 527 777
15	361 11 301	3 356 501	17 756	11 657 860	3 338 745
20	948 9 586	2 462 016	11 914	8 839 932	2 450 102
25	068 6 949	2 054 760	10 572	7 531 308	2 044 188
30	123	1 447 194	6 742	5 501 929	1 440 452
	0,37*31179131 = 11 473 920		0,37*50567 = 18 609		

As we can see from the table above and the graph below, the number of particles is reduced from 100% to 36.8% in 20 minutes for the smallest particles (>0.3 microns) and 14-15 minutes for particles >1 micron.

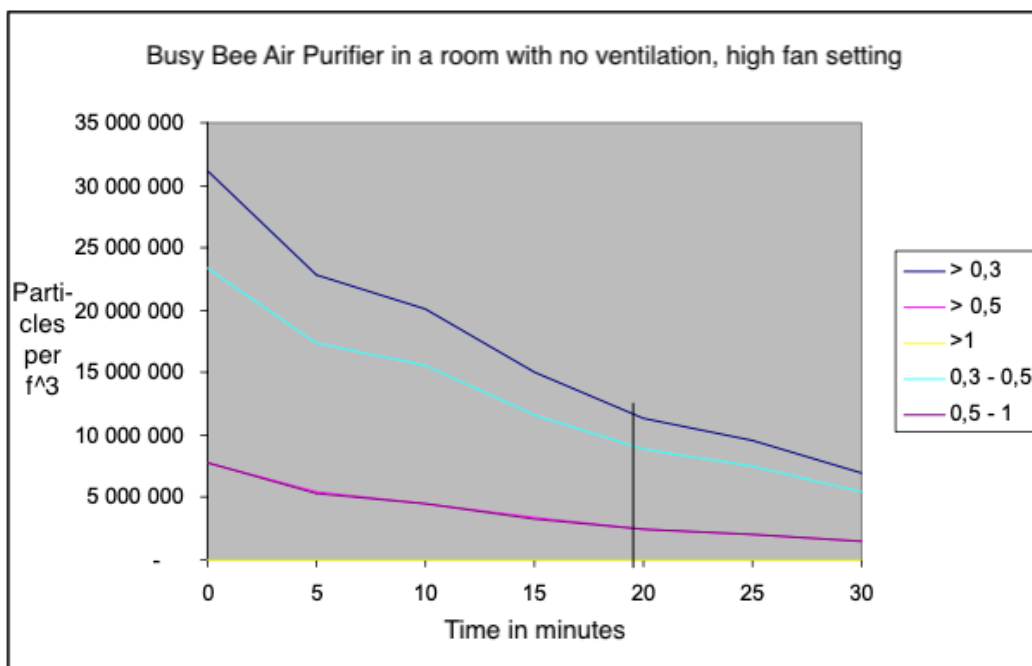


Figure 4.1 Busy Bee air purifier on high fan setting at measure point M1 with no ventilation

Report

Project number: 396470

Date: 02.03.04

Test: Busy Bee air purifier

Revision 2D

On the high fan setting the unit is observed to have a ventilation level for the two particle sizes of:

- 10min/20min = 50% for particles between 0.3-0.5 micron
- 10min/14.5min = 69% for particles > 1 micron

Test of Busy Bee on the low fan setting at measure point M1 with no ventilation

Tabel 4.2

Minutes	> 0,3µm	> 0,5µm	>1µm	0,3 - 0,5µm	0,5 - 1µm
0	30 465 983	6 255 072	53 321	24 210 911	6 201 751
5	27 258 236	5 522 526	46 775	21 735 710	5 475 751
10	25 459 278	5 130 696	41 230	20 328 582	5 089 466
20	21 168 545	4 165 665	34 153	17 002 880	4 131 512
30	17 937 254	3 482 751	29 175	14 454 503	3 453 576
40	15 272 316	2 903 831	23 333	12 368 485	2 880 498
50	12 817 659	2 388 247	19 203	10 429 412	2 369 044
60	10 933 240	2 005 640	16 203	8 927 600	1 989 437
	0,37*30465983 = 11 211 482		0,37*53321 = 19 622		

As seen from the table above and the graph below the number of particles is reduced from 100% to 36.8% in 50-60 minutes for the smallest particles (>0.3 microns) and 50 minutes for particles >1 micron.

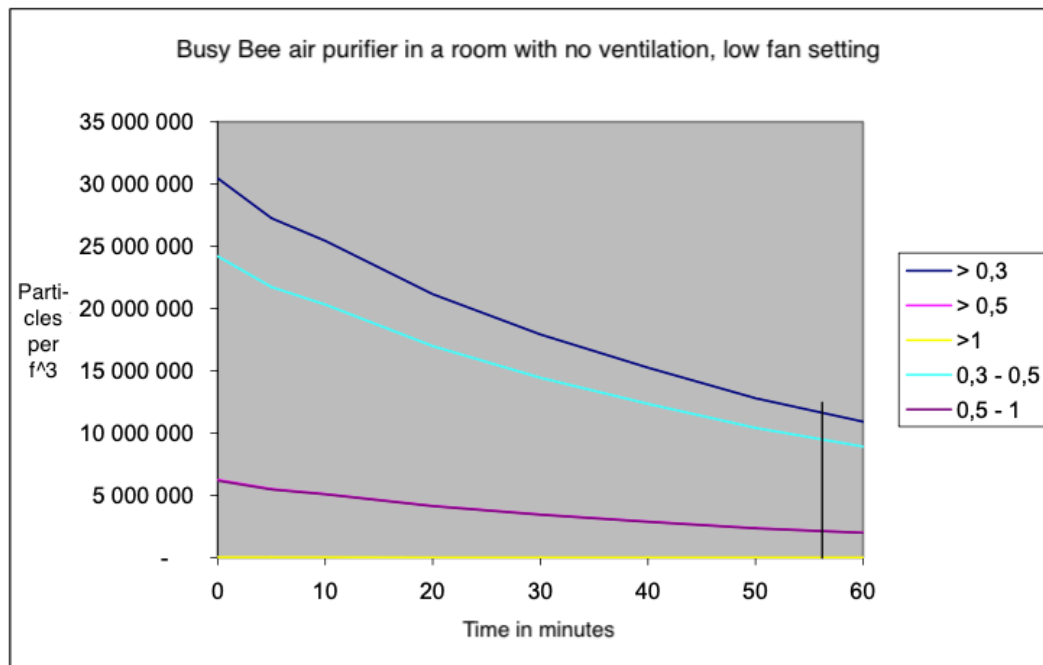


Figure 4.2

On the low fan setting the unit is observed to have a ventilation level for the two particle sizes of:

- 19min/55min = 35% for particles between 0.3-0.5 micron

Report

Project number: 396470

Date: 02.03.04

Test: Busy Bee air purifier

Revision 2D

- 19min/50min = 38% for particles > 1 micron

Test of Busy Bee on the high fan setting at measure point M2 with no ventilation

Tabel 4.3

Minutes	> 0,3µm	> 0,5µm	> 1µm	0,3 - 0,5µm	0,5 - 1µm
0	7 468 439	499 301	6 513	6 969 138	492 788
5	6 160 574	411 280	5 277	5 749 294	406 003
10	4 156 522	274 263	4 000	3 882 259	270 263
15	2 981 297	193 250	2 453	2 788 047	191 244
20	2 227 095	140 106	2 006	2 086 989	137 653
25	1 673 397	109 306	1 906	1 564 091	107 400
30	1 359 297	87 544	1 324	1 271 753	86 220
	0,37*7468439 = 2 703 575		0,37*6513 = 2 358		

As shown in the table, the number of particles is reduced from 100% to 36.8% in 15-20 minutes for particles of all sizes.

Comparing this with the test results from measure point M1 there is a slight improvement in removal of the smaller particles and a slight decrease in the removal of larger particles. The time required is 17 minutes and 16 minutes respectively.

Test of Busy Bee on the low fan setting at measure point M2 with no ventilation

Tabel 4.4

Minutes	> 0,3µm	> 0,5µm	>1µm	0,3 - 0,5µm	0,5 - 1µm
0	10 755 839	721 338	13 149	10 034 501	708 189
5	9 496 256	644 154	11 278	8 852 102	632 876
10	8 617 595	582 768	10 908	8 034 827	571 860
15	7 680 856	507 808	9 884	7 173 048	497 924
20	6 871 429	447 445	8 490	6 423 984	438 955
25	6 200 904	404 520	8 454	5 796 384	396 066
30	5 638 063	364 570	7 642	5 273 493	356 928
35	5 047 335	320 153	7 078	4 727 182	313 075
40	4 596 254	290 219	6 372	4 306 035	283 847
45	4 167 165	263 179	6 583	3 903 986	256 596
50	3 833 668	236 104	5 272	3 597 564	230 832
55	3 491 135	215 401	4 924	3 275 734	210 477
60	3 267 209	202 799	4 860	3 064 410	197 939
	0,37* 10755839 = 3 958 149		0,37*13149 = 4 839		

As shown in this table, the number of particles is reduced from 100% to 36.8% in ca 50 minutes for the smallest particles and 60 minutes for particles >1 micron.

The result is largely similar to the findings at measure point M1.

Report

Project number: 396470

Date: 02.03.04

Test: Busy Bee air purifier

Revision 2D

The number of particles however is significantly higher than was measured at measure point M1. It was unexpected that it would take longer to reduce the larger particles than the smaller particles.

These tests indicate that in a room with no ventilation, the air purifier is capable of creating the same ventilation level at two different points. For this particular room at 93 m³ with a ventilation level of 50% at 560 m³/h and ca 35% at 300 m³/h when considering all particles > 0.3 micron.

Test of Busy Bee on the high fan setting at measure point M1 with 1/2 ventilation

Tabel 4.5

Minutes	> 0,3µm	> 0,5µm	>1µm	0,3 - 0,5µm	0,5 - 1µm
0	31 983 936	2 897 954	284 059	29 085 982	2 613 895
5	23 401 764	2 131 238	196 568	21 270 526	1 934 670
10	17 656 389	1 567 498	136 329	16 088 891	1 431 169
15	13 579 592	1 103 602	82 408	12 475 990	1 021 194
20	11 504 817	846 776	56 145	10 658 041	790 631
25	10 696 730	745 272	45 678	9 951 458	699 594
30	9 725 150	627 581	33 500	9 097 569	594 081
	<u>0,37*31983636</u>		<u>0,37*28405</u> 9		

As seen from the table the number of particles is reduced from 100% to 36.8% in 20 minutes for the smallest particles and 15-20 minutes for particles >1 micron. Through extrapolation the time is determined to be 17 minutes for the larger particles.

This result is similar to the results without ventilation. This is in part because the built-in ventilation system both adds and removes particles from the room. With a large concentration of particles in the beginning, the ventilation system initially helps reducing the number of particles but as the concentration decreases, the ventilation system stabilises the number of particles by also letting new particles in.

Test of Busy Bee on the low fan setting at measure point M1 with 1/2 ventilation

Tabel 4.6

Minutes	> 0,3 μ m	> 0,5 μ m	>1 μ m	0,3 - 0,5 μ m	0,5 - 1 μ m
0	31 616 233	2 586 731	304 692	29 029 502	2 282 039
5	27 468 395	2 236 502	289 195	25 231 893	1 947 307
10	22 408 334	1 801 288	254 937	20 607 046	1 546 351
15	17 964 417	1 385 013	176 624	16 579 404	1 208 389
20	15 376 733	1 143 596	123 991	14 233 137	1 019 605
25	13 973 629	1 021 494	92 292	12 952 135	929 202
30	12 823 307	892 631	67 935	11 930 676	824 696
35	11 544 353	770 493	50 320	10 773 860	720 173
40	10 652 093	689 462	37 259	9 962 631	652 203
	$0,37 \cdot 31616233$ = 11 634 774		$0,37 \cdot 304692$ = 112 127		

As seen from the table the number of particles is reduced from 100% to 36.8% in 35 minutes for the smallest particles and 20-25 minutes for particles >1 micron. Through extrapolation the time is determined to be 22 minutes for the larger particles. This is a better result than when there was no ventilation in the room. This is because the ventilation system helps removing particles initially where the concentration is high. As the ventilation system is running it will aid the air purifier in creating air circulation and thereby achieve a better ventilation level. As a result we haven't done these same tests at measure point M2.

4.2.1: Measuring results prior to using the air purifier

The measurements taken from the room indicate that there were not any big differences in the number of particles in different locations in the room.

However, if we placed the particle counter very close to the air purifier, the number of particles was reduced by approximately half compared to other locations in the room. This was the case whether we ran the air purifier on high or low fan setting.

4.2.2:

Ventilation level results for the air purifier for particles > 0.3 micron:

1. Test of Busy Bee on the high fan setting at measure point M1 with no ventilation (10min/20min) = 0.5
2. Test of Busy Bee on the low fan setting at measure point M1 with no ventilation (19min/55min) = 0.35
3. Test of Busy Bee on the high fan setting at measure point M2 with no ventilation (10min/17min) = 0.58
4. Test of Busy Bee on the low fan setting at measure point M1 with no ventilation (19min/50min) = 0.38
5. Test of Busy Bee on the high fan setting at measure point M1 with 1/2 ventilation (10min/20min) = 0.5

6. Test of Busy Bee on the high fan setting at measure point M1 with 1/2 ventilation
 (19min/35min) = 0.54

The results for test 5 and 6 are influenced by the help the air purifier gets by the built-in ventilation system. The increased airflow at the beginning of the tests is 774 m³/h in test 5 and 514 m³/h in test 6. In both tests we observe a higher air change level and faster removal of particles.

As a result, we have chosen to create a theoretical model to graphically illustrate what happens when the air purifier is placed in a room where it works together with a ventilation system. See figure 5.1.

Figure 4.3 shows the development in particle concentration measured across 360 minutes with the air purifier running on the high air flow setting.

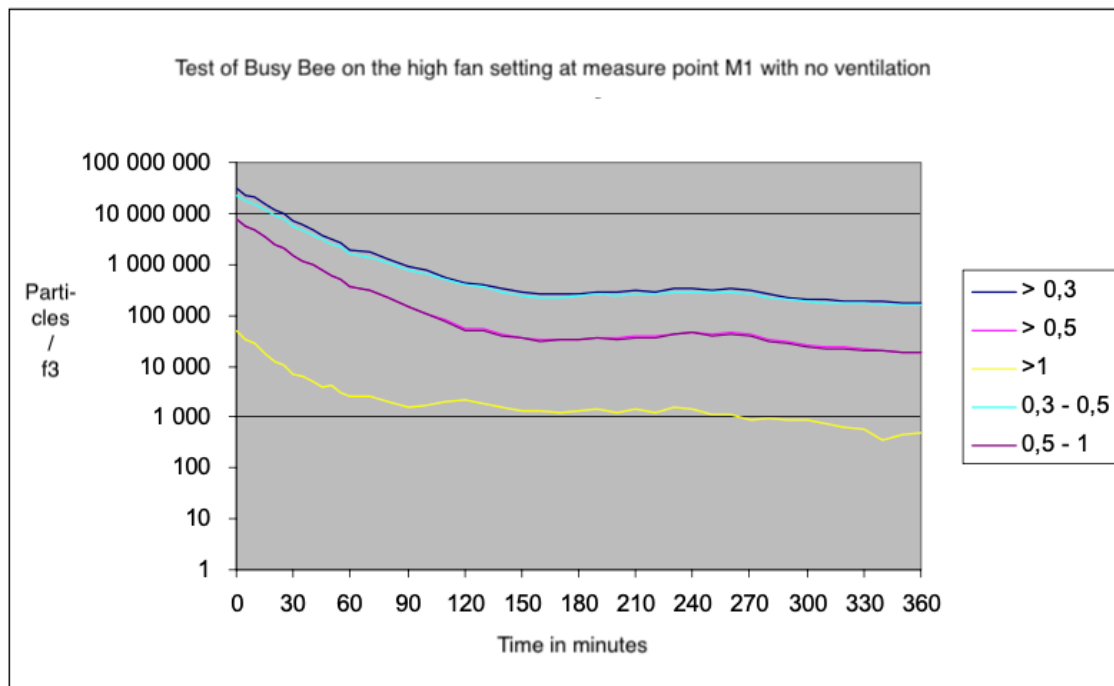


Figure 4.3

Figure 4.4 shows the development in particle concentration measured across 360 minutes with the air purifier running on the low air flow setting.

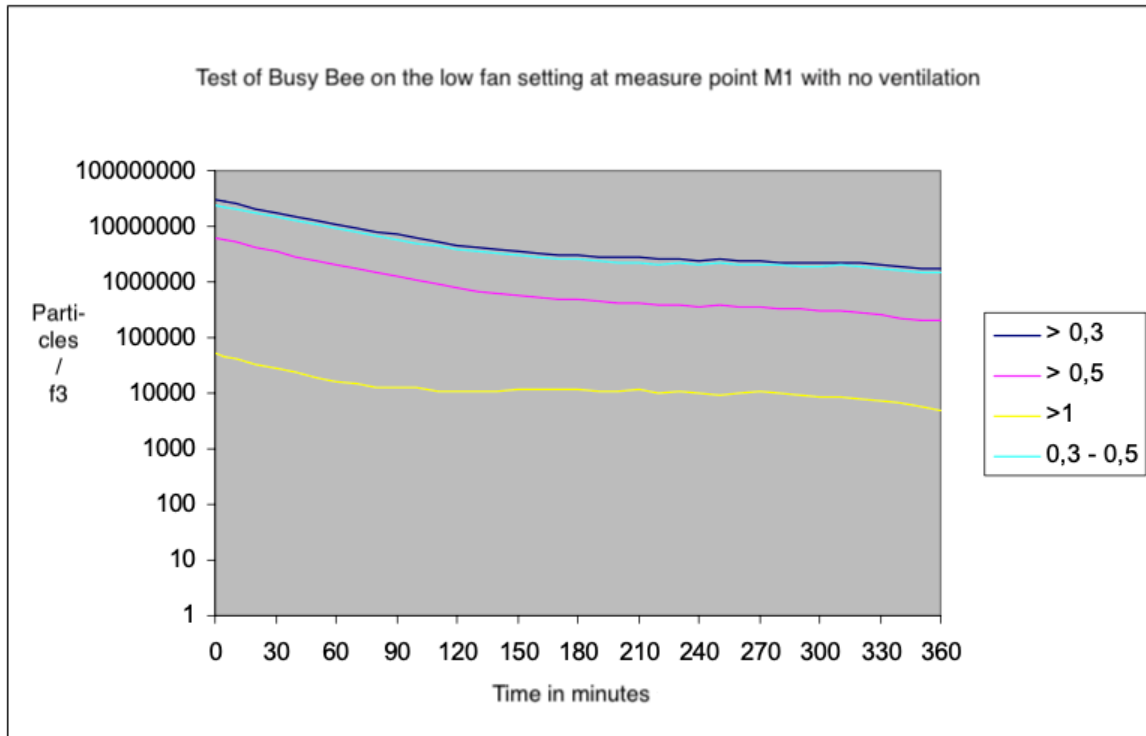


Figure 4.4

Figure 4.5 shows the development in particle concentration in the room with the air purifier switched off and the ventilation system running at full capacity.

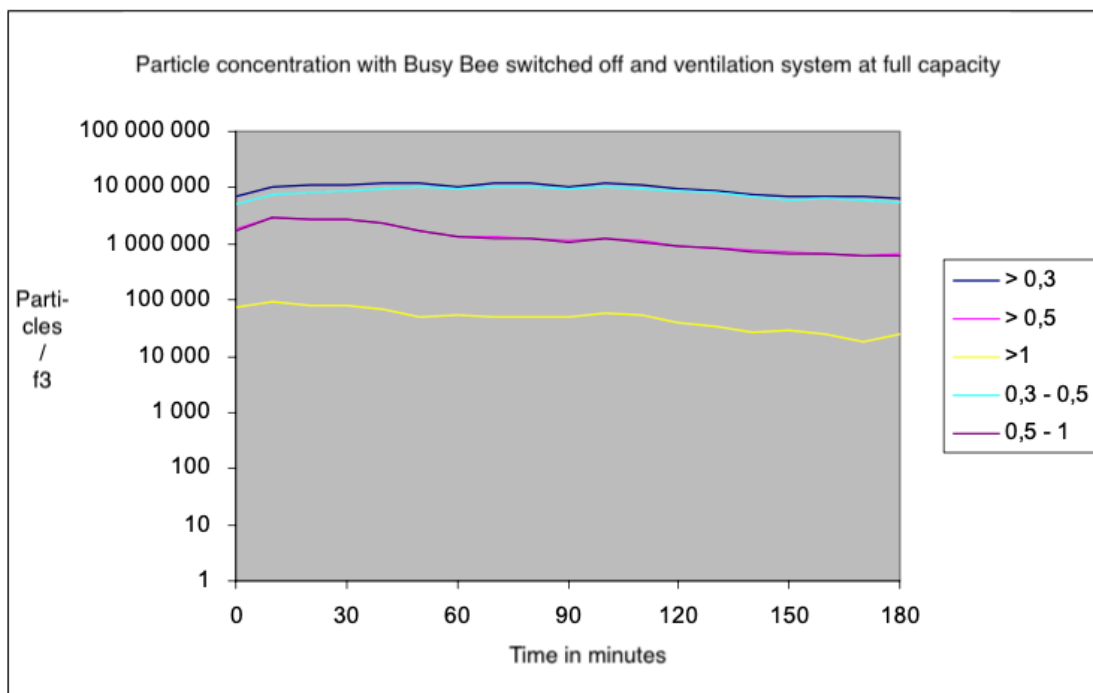


Figure 4.5

The drawing illustrates the test room and the placement of the air purifier and the measure points M1 and M2.

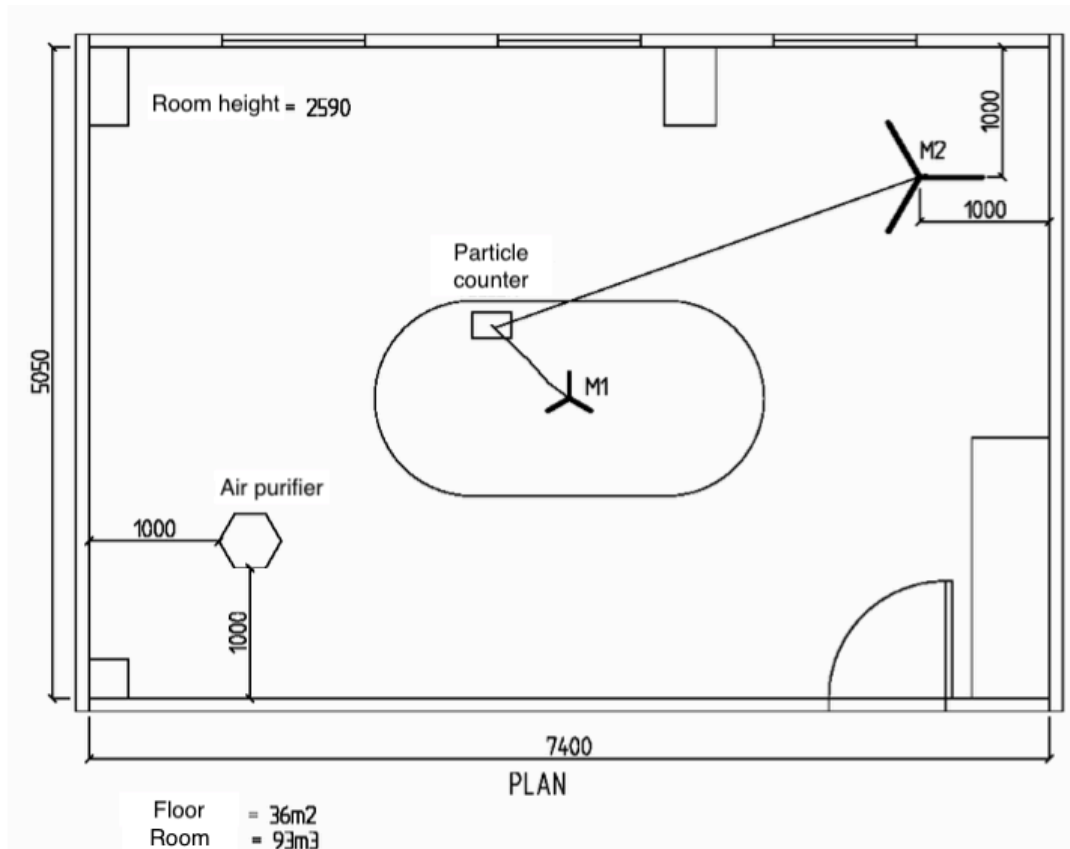


Figure 4.6

5: Mathematical modelling of the tests

To visualise the tests, a model has been created that simulates the particle concentration in the room. The variable parameters in the model include the amount of ventilation in the room, the ventilation power of the air purifier and the concentration in the outside air. The simulations have been run for the smallest particle size (>0.3 microns). Figure 5.1 illustrates the model in a drawing.

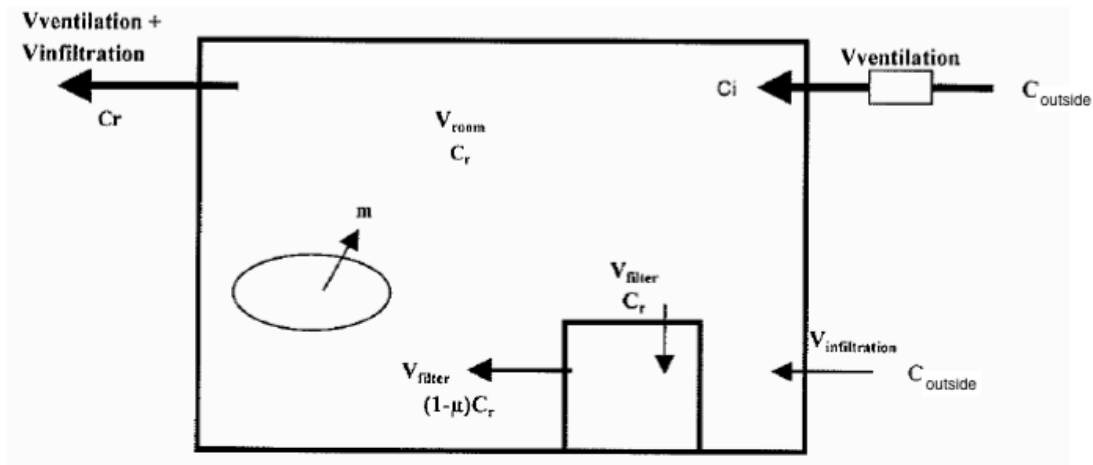


Figure 5.1 Model simulating the Busy Bee air purifier. The figure shows the amount of ventilation ($V_{\text{ventilation}}$), ventilation power of the air purifier (V_{filter}) and air flow through the ventilation system ($V_{\text{infiltration}}$).

The following data has been used for all the simulations:

- | | |
|--|--|
| • Room size: | 93 m ³ |
| • Air flow through the ventilation system switched off | 7m ³ /h |
| • Ventilation level for ventilation in the room | 0.9 |
| • Busy Bee filter efficiency | 0.99 |
| • Ventilation in the room, filter efficiency | 0.7 |
| • Initial particle concentration in the room | 31,179,000 particles/feet ³ |
| • Concentration in outside air | 30,000,000 particles/feet ³ |

This means that $C_i = 30,000,000 \text{ particles/feet}^3 * (1-0.7) = 9,000,000 \text{ particles/feet}^3$

Simulation of Busy Bee on the high fan setting with no ventilation

The simulation is shown in figure 5.2

Assumptions:

- | | |
|--|-----------------------|
| • Ventilation in the room | 0 m ³ /h |
| • Ventilation power of the air purifier | 560 m ³ /h |
| • Ventilation level for the air purifier | 0.5 |

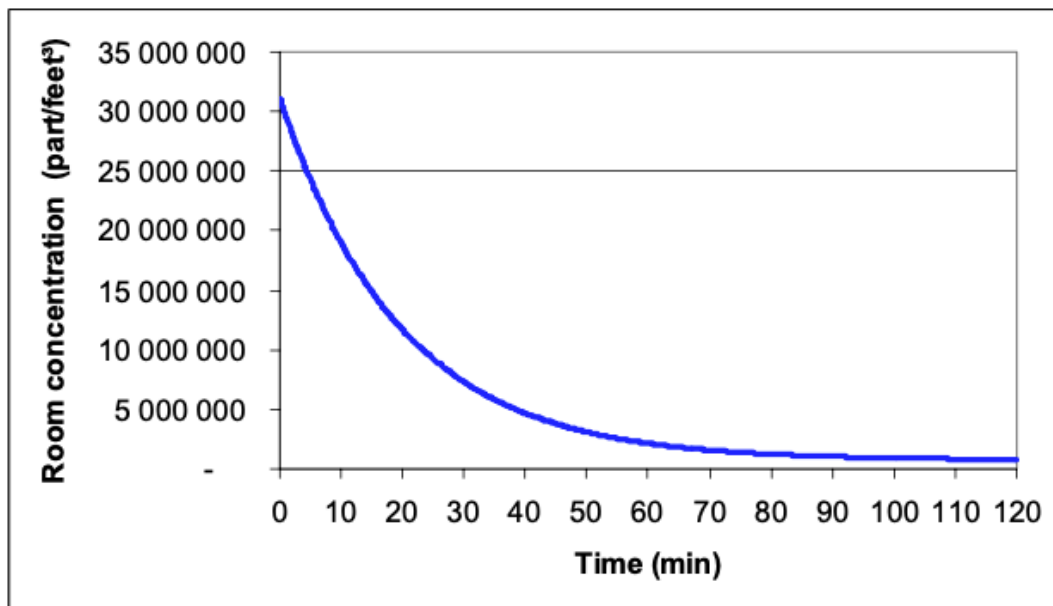


Figure 5.2

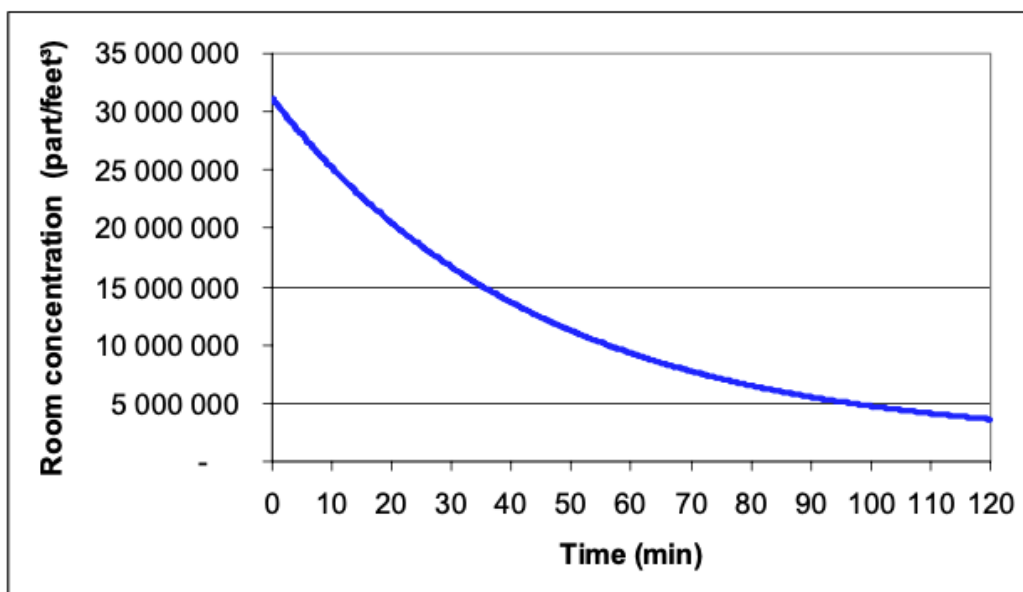
As seen from the graph the number of particles is reduced to 10,000,000 part/feet³ after approximately 22 minutes which is in line with our test 4.1 where it took 24 minutes.

Simulation of Busy Bee on the high fan setting with no ventilation

The simulation is shown in figure 5.3

Assumptions:

- Ventilation in the room 0 m³/h
- Ventilation power of the air purifier 300 m³/h
- Ventilation level for the air purifier 0.4



As seen above the number of particles is reduced to 15,000,000 part/feet³ after approximately 35 minutes which is in line with our test 4.2 where it took 40 minutes.

Simulation of Busy Bee on the high fan setting with 1/2 ventilation

The simulation is shown in figure 5.4

Assumptions:

- Ventilation in the room 214 m³/h
- Ventilation power of the air purifier 560 m³/h
- Ventilation level for the air purifier 0.5

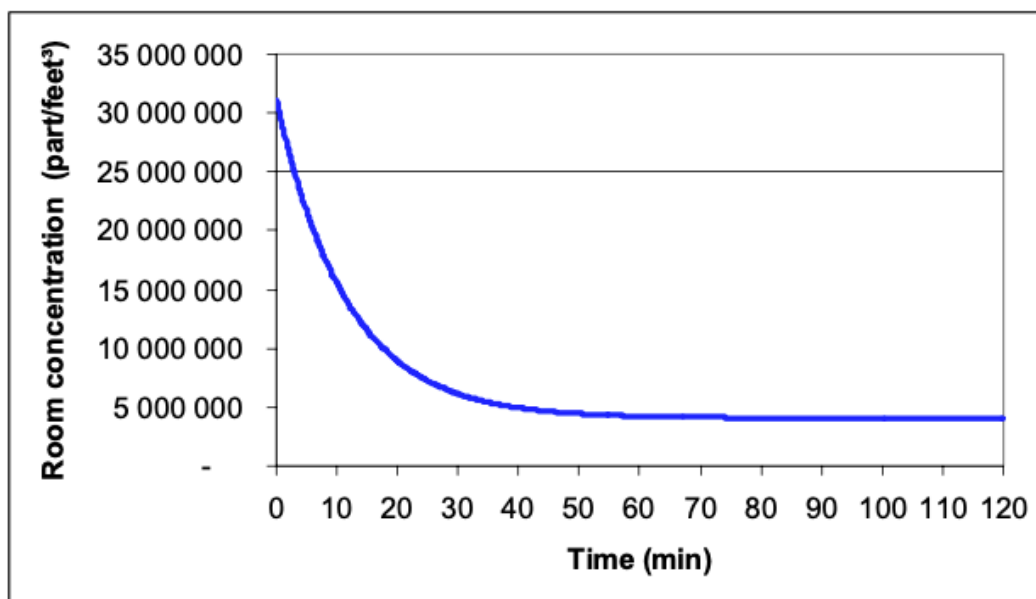


Figure 5.4

As seen from the graph the number of particles is reduced to 10,000,000 part/feet³ after approximately 18 minutes which is in line with our test 4.5 where it took 25 minutes.

Simulation of Busy Bee on the low fan setting with 1/2 ventilation

The simulation is shown in figure 5.5

Assumptions:

- Ventilation in the room 214 m³/h
- Ventilation power of the air purifier 300 m³/h
- Ventilation level for the air purifier 0.4

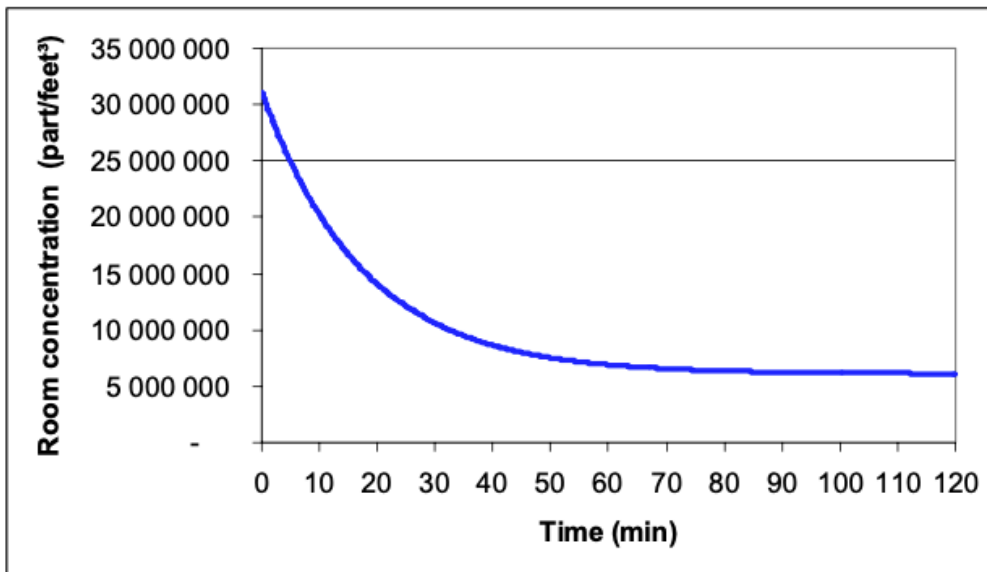


Figure 5.5

As seen above the number of particles is reduced to 15,000,000 part/feet³ after approximately 18 minutes which is in line with our test 4.6 where it took 20 minutes.

Simulation of 2 Busy Bee air purifiers on the high fan setting with 1/2 ventilation

The simulation is shown in figure 5.6

Assumptions:

- Ventilation in the room 214 m³/h
- Ventilation power of the air purifier 1120 m³/h
- Ventilation level for the air purifier 0.5

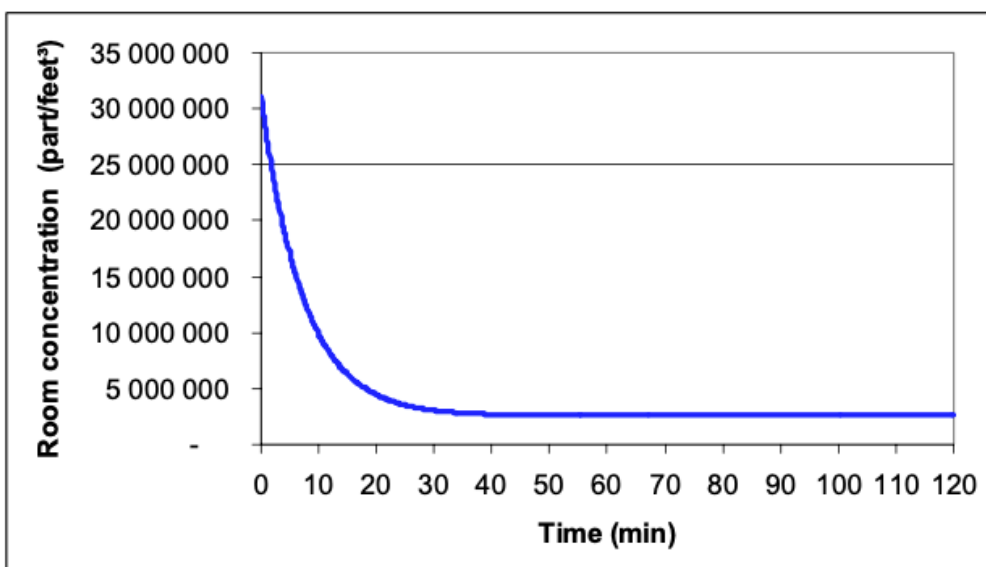


Figure 5.6

Report

Project number: 396470

Date: 02.03.04

Test: Busy Bee air purifier

Revision 2D

As seen from the graph the number of particles is reduced to 10,000,000 part/feet³ after approximately 10 minutes by using two air purifiers whereas it took 18 minutes if using only one.

Furthermore, we see that the curve flattens at approximately 3,000,000 part/feet³ as compared to at 4,000,000 when using one air purifier. We have assumed that the air being added to the room from the built-in ventilation system contains 9,000,000 part/feet³.

By adding more air purifiers the time it takes to reduce the number of particles is reduced further and the curve will flatten at an even lower level.

Figure 5.7 illustrates 2 air purifiers on the low fan setting with a combined air flow capacity of 600m³/h. The result is approximately the same as if you run one air purifier on the high fan setting.

Simulation of 2 Busy Bee air purifiers on the low fan setting with 1/2 ventilation

The simulation is shown in figure 5.7

Assumptions:

- Ventilation in the room 214 m³/h
- Ventilation power of the air purifier 600 m³/h
- Ventilation level for two air purifiers 0.5

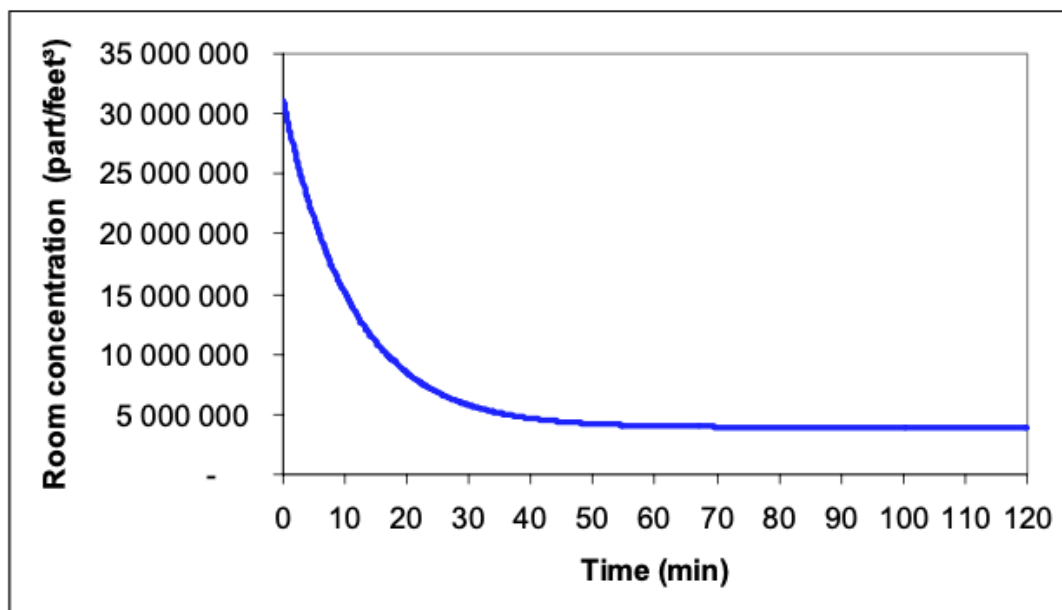


Figure 5.7

By placing two air purifiers in the same room on the low fan setting, which combined can process approximately the same amount of air as one air purifier on the high fan setting, we have changed the ventilation level from 0.4 to 0.5.

Simulation of 6 Busy Bee air purifiers on the low fan setting with 1/2 ventilation

The simulation is shown in figure 5.8

Assumptions:

- /Ventilation in the room 214 m³/h
- Ventilation power of the air purifier 1800 m³/h
- Ventilation level for two air purifiers 0.5

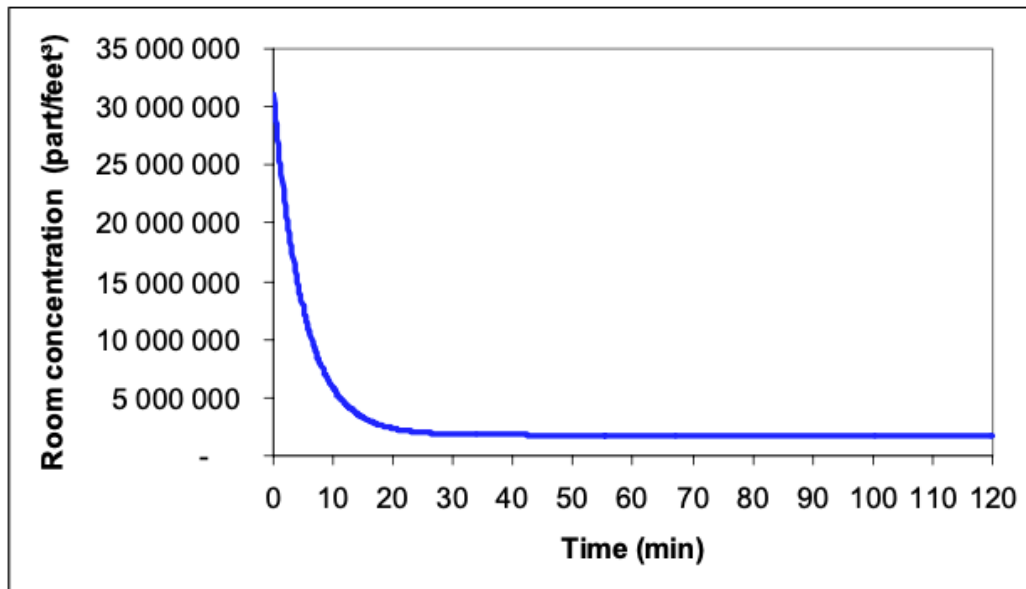


Figure 5.8

By placing multiple air purifiers in the same room and thereby increasing the total air flow capacity you would expect that the total ventilation level would increase. We have here however kept the ventilation level at 0.5. 1800 m³/h which is the same as 6 air purifiers on the low fan setting.

The graph shows that it takes 40 minutes to reduce the number of particles from 30,000,000 part/feet³ to 1,800,000 where the curve flattens out. New particles are added to the room via the built-in ventilation system at 214 m³/h containing 9,000,000 part/feet³ (>0.3 micros).

If we assume that the ventilation level is increased from 0.5 to 0.7 on the back of the large air circulation created by the air purifiers, it would take 30 minutes for the curve to flatten at 1,350,000 part/feet³.

RENSAIR

For additional information
please visit rensair.com or
email contact@rensair.com