

Fartygsventilation och brandskydd

Brandforsk-projekt: 402-051

Hans Nyman

Förord

Rapporten är finansierad av Brandforsk. Förutom de personer som ingår i Brandforsks referensgrupp har följande personers engagemang och åsikter spelat en stor roll i projektet:

Staffan Bengtson	Brandskyddslaget
Tomas Fagergren	Brandskyddslaget
Bengt Hägglund	Brandskyddslaget
Jan Billvik	F.d. vice Brandchef Göteborgs brandförsvär
Erik Moberndt	Teknisk chef Stena Line
Magnus Arvidsson	SP
Haukur Ingason	SP
Lars Jensen	LTH
Per Olof Hybring	Räddningstjänsten Göteborg
Örjan Götmalm	Callenberg Fläkt Marine AB

Sammanfattning

Brandskyddslaget har på uppdrag av Brandforsk genomfört en litteraturstudie avseende fartygsventilation och brandskydd. Syftet med studien är:

- inventera befintliga lösningar inom området fartygsventilation och brandskydd
- ge förslag på systemlösningar för fartygs komfortventilationssystem med hänsyn tagen till skydd mot brandgasspridning via ventilationssystem mellan brandceller
- studera befintliga brandgaskontrollsystem och ge förslag till nya möjliga system

Litteraturstudien är inriktad på två områden inom fartygsventilation och brandskydd; dels risken för och skydd mot spridning av brandgaser (rök) via komfortventilationssystemet dels brandgaskontrollsystem på fartyg. Inom projektet har också praktiska försök med en läckagemätning av en fartygshytt gjorts och beräkningar av effekten av en brand i en fartygshytt utförts. De förslag som diskuteras avseende alternativa lösningar för fartygsventilationen och brandskydd är främst inriktade på passagerardelarna.

Begreppet brandgaskontrollsystem innefattar följande:

1. Avskiljningar (både mot brand och brandgaser)
2. Brandgasevakivering
3. Trycksättning
4. Motströmsflöde

I litteraturstudien har exempel på alla ovannämnda metoder hittats. Avskiljningar med olika klasser förekommer på fartyg. Placeringen av dessa är ofta styrda av regelverk. I de lösningsförslag, vars syfte är att höja skyddet för passagerare, som presenteras ligger brandavskiljningarna på ett annorlunda sätt jämfört med det vedertagna.

I litteraturstudien presenteras försök utförda på fartyg med brandgasevakiveringssystem vars syfte är att t.ex. avlägsna brandgaser (rök) för att underlätta en släckinsats eller utrymning. Inom USA:s flotta finns ett antal olika system för brandgasevakivering, inkluderat system som innefattar komfortventilationen. I en rapport beskrivs försök där effektiva resultat avseende sikten kunde mätas då fyra omsättningar användes. Ett annat system som finns beskrivet är SES (Smoke Ejection System) som testats på testfartyget USS Shadwell.

Inga referenser hittades till praktiska försök där trycksättning av t.ex. omgivande lokaler runt en branddrabbad lokal används.

I ett fall har motströmsflöde testats och beräknats (över en dörröppning). Flödet är bland annat beroende av brandgastemperaturerna men ligger ofta inom området 2–3 m/s.

Litteraturstudien visar att det saknas en djupare analys avseende risken för brandgasspridning via ventilationssystem på fartyg. De praktiska försök som gjorts antyder att det i vissa fall är bättre att bibehålla ventilationssystem i drift vid en brand.

Läckagemätningarna utförda på fartyget Silja Symphony visar att läckageflödet för en hytt är ca 3 l/s²m vid 50 Pa. (Där läckageytorna är väggar och tak). Tryck- flödesförhållandet för hytten kan generellt beskrivas som $\Delta p = q^{1.4}$. De aktuella överluftsdonen ger ca 40 l/s vid 50 Pa och tryckfallet beror kvadratisk av flödet. Risken för brandgasspridning via ventilationssystemet minskar om ventilationssystemet bibehålls i drift.

Beräkningarna utförda i en tvåzonsmodell visar att brandgaser snabbt (3–5 minuter) fyller en osprinklad fartygshytt om dörren hålls stängd. Brandflödet (expansionen) som kommer att tränga ut genom läckor i konstruktionen och ventilationssystemet är beroende av brandens tillväxthastighet och når sitt maximala värde strax innan brandgaserna når golvnivån efter ca 2–4 minuter. Brandflödet kan uppgå till ca 160 l/s.

I rapporten presenteras två lösningsförslag för att förbättra skyddet mot brandgasspridning såväl som ett brandgasevakueringssystem för en hyttsektion med korridor. Lösningsförslagen inkluderar följande:

- Fartygshyttens konstruktion, antingen hela eller delar av, skulle behöva utföras med brandmotstånd. Till vilken grad kan diskuteras, redan idag har troligtvis befintliga konstruktioner redan ett visst motstånd avseende på brand.
- Hyttedörren ska förses med dörrstängare.
- Ingen överluft från hytterna till korridor får ske. Idag är den gängse konstruktionen att tillföra luft i hytten via ett kanalsystem och placera frånluft i toaletter och frånluft i korridor via överluft. Detta kan innebära något mer kanaldragning i hyttsektionen då frånluften från varje fartygshytt måste ökas. Korridoren ska ha separat tilluft och frånluft. Komfortventilationen dimensioneras för fläktar i drift där flöde och tryckfall över don är dimensionerat för ett brandfall.
- Ett brandgasventilationssystem med utsug placerat i korridoren. Syftet med brandgasventilationssystemet är underlätta en släckinsats och är inte i första hand ämnat för att säkerställa utrymningen. Det erforderliga luftflödet dimensioneras för att upprätthålla en minsta hastighet över den öppna dörren mellan hytt och korridor. Den erforderliga lufthastigheten ligger med stor sannolikhet mellan 1–3 m/s beroende på dimensionerande brand. Detta skulle innebära att de erforderliga flödena ligger mellan 2 och 6 m³/s om dörröppningen antas vara 2 m².

	Sammanfattning	
1	Inledning.....	4
1.1	Syfte	4
1.2	Allmänt.....	4
2	Bakgrund.....	4
2.1	Branden	4
2.2	Skydd mot brandgasspridning via ventilationssystem	4
2.3	Brandgaskontrollsystem	4
2.4	SOLAS	5
3	Litteraturstudie	5
3.2	Sammanfattning	20
4	Förslag på lösningar	21
4.1	Tryck - flödesmätning i en fartygshytt vid normalförhållanden	21
4.2	Brandsimuleringar med tvåzonsmodell.....	26
4.3	Förslag på alternativa lösningar avseende brandskydd och ventilation för en hyttsektion	28
4.4	Sprinklerdiskussion	30
4.5	Säkra platser	30
5	Resultat och diskussion	30
6	Förslag på fortsatt arbete	33
7	Referenser.....	34

1 Inledning

1.1 Syfte

Syftet med litteraturstudien är att:

- inventera befintliga lösningar inom området fartygsventilation och brandskydd
- ge förslag på systemlösningar för fartygs komfortventilationssystem med hänsyn tagen till skydd mot brandgasspridning via ventilationssystem mellan brandceller
- studera befintliga brandgaskontrollsystem och ge förslag till nya möjliga system

Huvuddelen av analysen och slutsatserna av litteraturstudien är inriktad på de delar av fartyget där passagerarhytterna är belägna.

1.2 Allmänt

Rapporten redovisar förutom resultatet av en litteraturstudie inom området fartygsventilation och brandskydd också resultat av en provtryckning av en fartygshytt. Ett resonemang avseende de olika faktorer som påverkar brandgasspridningen finns också. I de senare kapitlen finns förslag på systemuppbyggnader för att förbättra skyddet mot brandgasspridning via ventilationssystemet och förslag på system för brandgasventilation.

Rapporten är finansierad av Brandforsk.

2 Bakgrund

2.1 Branden

Vid en brand kommer temperaturökning (och minskningen av densiteten) att orsaka en volymexpansion. Trycket i brandrummet kommer att öka och storleken på tryckökningen beror dels på vilken temperatur som uppnås i brandrummet men också på hur stora läckage som finns i brandrummet. Ju tätare rummet är desto högre tryck kommer att uppstå. Detta kommer i många fall att innebära att brandgaser (rök) kommer att tryckas ut genom läckageöppningar från brandrummet.

2.2 Skydd mot brandgasspridning via ventilationssystem

Det finns ett antal olika metoder för att försvåra och i vissa fall hindra brandgaser (rök) att spridas via ventilationssystem. Exempel på skyddsmetoder på landsidan är:

- Avgränsande spjäll, brandgasspjäll eller så kallade brand/brandgasspjäll
- Olika metoder där fläktar i drift används som skyddsmetod

På senare år har skyddsmetoder ökat där fläktar i drift utnyttjas. Exempel på lokaler där metoden kan användas är sprinklade kontor. På sjösidan förekommer oftast avgränsande spjäll, se kapitel 2.4.

2.3 Brandgaskontrollsystem

Generella metoder för brandgaskontrollsystem som förekommer inom andra områden än fartyg är:

1. Avskiljningar. Exempel på detta är begreppet brandceller som förekommer inom t.ex. byggnader. Syftet är att avgränsa den branddrabbade delen och skydda övriga.

2. Brandgasevakivering. Principen är att avlägsna försmutsad luft (brandgaserna) och ersätta den med ren luft. Exempel på dessa system är t.ex. luckor i källare. Syftet är att underlätta en insats från räddningstjänstens sida.
3. Trycksättning. Konceptet bygger på att brandgasspridning hindras genom att trycksätta odrabbade delar och tryckavlasta branddrabbade delar. Dessa system är vanliga i så kallade brandhissar som används av räddningstjänsten vid insatser i byggnader men de förekommer också i vanliga byggnader i t.ex. utrymningshissar.
4. Motströmsflöde. Metoden bygger på en luftström som med en kritisk hastighet skapar ett mottryck över en öppning, som t.ex. en dörröppning.

Syftet med brandgaskontrollsystem kan vara olika. I vissa fall är de en del i en utrymningsstrategi för att säkra utrymningen från en lokal vid brand, i andra fall kan brandgaskontrollsystem användas av räddningstjänsten för att släcka en brand, i åter andra fall för att vädra ut brandgaser efter det att branden slocknat.

2.4 SOLAS

I regelverket SOLAS (Safety of Life at Sea) som hanteras av IMO (International Maritime Organisation) anges hur ventilationssystem på fartyg ska vara uppbyggt. Principen är att ventilationssystemet i huvudsak ska vara utfört i obrännbart material och att spjäll med brandskyddsfunktion ska finnas i vissa (enligt SOLAS) reglerade zoner.

Regler avseende brandgaskontrollsystem innefattar bland annat utrymmen som atrium, kontrollrum, maskinrum och dolda utrymmen. Syftet är att kunna styra brandgaserna (röken) så att faran minskar.

3 Litteraturstudie

Den aktuella litteraturen söktes via Internet och databassökning på Kungliga Tekniska Högskolans bibliotek i Stockholm. De rapporter och studier som hittades i sökningarna sträcker sig från 1982 fram till 2002.

I den inledande tabellen 3.1 redovisas översiktligt de aktuella artiklarna. I tabellen redovisas vilken fartygstyp som är aktuell, om eventuella brandförsök har utförts och redovisats. I dessa fall redovisas också var branden har varit placerad. Eventuella brandgaskontrollsystem och om hänsyn tagits till spridning av brandgaser via ventilationssystem redovisas också. I den sista kolumnen finns kortare kommentarer.

I återstoden av kapitlet sammanfattas varje artikel och i vissa fall förs kortare resonemang avseende innehållet i artikeln.

Tabell 3.1 Sammanställning av artiklar med kommentarer

Studie	Fartygstyp	Försök	Brandstorlek [kW], temp. [C]	Placering	Brandgas-kontrollsystem	Hänsyn tagen till komfort-ventilations-systemet	Kommentarer
/1/Klote, 1982, se kap. 3.1.1	Handelsfartyg	Ja med spårgas	-	-	Nej	Ja	Rapporten konstaterar att brandgaser troligtvis kommer att spridas i de båda fartygen. Författarna föreslår trycksatta trapphus och aktiva brandgaskontrollsystem
/2/Alger, 1984, se kap.3.1.2	Testfartyg, Albert E Watts	Ja	Oklart	-	Nej	Nej	Ett test är utfört där det konstateras att ventilerade brandgaser vid en brand förbättrar möjligheterna till en insats.
/3/Rodrigues, 1987, se kap.3.1.3	FFG 16, USS Clifton Sprague	Ja	Kall rök	Olika zoner	Ja	Ja	Rapporten beskriver ett system där komfortventilationen används som brandgaskontrollsystem. Vid försöken konstaterades att sikten blev acceptabel inom ca 30 minuter vid en luftväxling av fyra omsättningar.
/4/ Jansson, Werling m.fl. 1991, se kap.3.1.4	Minfartyg	Ja	100 kW ca 200°C	Hytt	Nej	Ja, delvis.	Omfattande spridning av brandgaser konstaterades, resultatet blev bättre om komfortventilationen var i drift. I försöken mättes också sikt.
/5/ W.M Cummings 1992, se kap.3.1.5	”Passagerarfartygstyp” - Testfartyg, Albert E Watts	Ja	Soffa i hytt uppskattat till 1MW	Hytt	Nej	Ja	Resultaten visar att ingen försämring görs avseende brandgasspridning till övriga utrymmen, det sprids i båda fallen bland annat runt dörren till hytten. Resultaten visar också att i en del fall då komfortventilationen är igång blir resultaten bättre för omkringliggande rum.
/6/ Göteborg 1992, se kap.3.1.6	Kustkorvett	Ja	90 kW ca 200°C	Hytt på trossdäck, elapparatur	Nej	Ja	Omfattande spridning av brandgaser konstaterades, resultatet blev bättre om komfortventilationen var i drift. I försöken mättes också sikt.

Studie	Fartygstyp	Försök	Brandstorlek [kW], temp. [C]	Placering	Brandgas-kontrollsystem	Hänsyn tagen till komfort-ventilations-systemet	Kommentarer
/7/ G.Bergström 1993, se kap.3.1.7	Passagerarfartyg	Nej	-	-	Ja	Ja	Rapporten beskriver ett brandgasevakueringssystem där komfortventilationssystemet används för att trycksätta trapphus med separata fläktar för brandgasevakuering
/8/ K H Jensen 1994, se kap.3.1.8	Passagerarfartyg	Nej	-	-	Ja	Ja	Rapporten diskuterar och efterlyser kriterier för brandgasevakueringssystem. De föreslagna systemen innefattar komfortventilationssystemet och trycksättning av trapphus.
/9/ Williams 1994, se kap.3.1.9	USS Shadwell, försöksfartyg	Ja	Propenbrännare 0,35, 0,65, 1,3 MW	Hytt och korridor mellan hytter	Nej	Nej	Försöken visade att ca 2–3 m/s räckte för att hindra brandgaser att spridas i korridor och från hytt med öppna dörrar.
/10/ Farman, 2001, se kap.3.1.10	USS Shadwell, försöksfartyg	Nej	0,62 MW	Hytt och korridor mellan hytter	Nej	Nej	Jämförelse mellan beräkningar och de ovan /9/ beskrivna försöken. Överensstämmelsen visar sig vara bra.
/11/ Peatross, Williams 2002, se kap.3.1.11	Militära fartyg	Nej	-	-	Ja	Ja	Rapporten är en sammanfattning av de analyser som gjorts tidigare. Ett antal koncept med för- och nackdelar presenteras
/12/ Andersson, Säterborn 2002, se kap.3.1.12	Passagerarfartyg, M/S Skåne	Nej	Ca 1,6-6 MW	Hytt, publika utrymmen	Ja	Enbart frånluft	Rapporten tar inte hänsyn till brandgasspridning via ventilationssystem. Beräkningsprogrammet CFAST har använts för att bestämma extraktionskapaciteter
/13/ Hägglund, Nireus, Werling 1996, se kap.3.1.13	-	Ja	0- 1 MW ca	-	-	-	Rapporten redovisar försök där bland annat tryck och flöde mättes upp i ett rum vid en brand.
/14/ Hägglund, Nireus, Werling 1998, se kap.3.1.14	-	Ja	0- 1 MW ca	-	-	-	Rapporten redovisar försök med olika ventilationssystem och brandgasspridning via ventilationssystemet.

- /1/. J.H Klote, R.H. Zile, *Smoke Movement and Smoke Control on Merchant ships*, NBSIR 81-2433, ISSN 0347-3694
- /2/. R.S. Alger, W.H. Johnson, *Use of ventilation to control smoke in shipboard firefighting*, FY83
- /3/. E. Rodriguez, E. Carey, *Smoke Management on FFG 7 Class Ships - An Evaluation of Smoke Removal Diagrams And Procedures on USS Clifton Sprague*
- /4/. R.Jansson, Bengt Onnermark, P.Werling, *Brandrökspridning på HMS Visborg, v9047*, FOA Report C20850-2, ISSN 0347-3694 [1991]
- /5/. W.M.Cummings, *Smoke Control Systems Analyses; Balancing Ducts versus Door Vents in class B Bulkheads*
- /6/. R.Jansson, L-E Altvall, K.Nireus, *Brandrökspridning på kustkorvett Göteborg*, Report C20879-2.4, ISSN 0347-3694
- /7/. G.Bergström, *Fire Smoke Control*, World Cruise Industry Review, 1993, Sterling Publications, London
- /8/. K H Jensen, *Smoke Control in Cruise and Passenger vessels*, paper 13, IMAS 94, Fire Safety on Ships, 26-27 May 1994
- /9/. F.W Williams, *Shipboard Smoke Control Tests Using Forced Counterflow Air Supply*, NRL/MR/6180—94-7616
- /10/. G.J Farman, *Modelling of Shipboard Smoke Propagation With a Forced Counter-Flow Air Supply*, NSN 7540-01-280-5500
- /11/. M.J Peatross, *Options for Advanced Smoke Control Onboard Ships*, NRL/MR/6180--02-8612
- /12/. Andresson, Säterborn, *Smoke Control Systems Aboard*, report 5093, 2002, Dep. Of Fire Safety, Lund, Sweden
- /13/. Hägglund, Nireus, Werling, *Pressure rise due to fire growth in a closed room*, ISSN 1104-9154, FOA, Sweden 1996
- /14/. Hägglund, Nireus, Werling, *An experimental study of the smoke spread via ventilation ducts*, ISSN 1104-9154, FOA, Sweden 1998

3.1.1 Smoke Movement and Smoke Control on Merchant Ships (1982)

Rapporten är författad av John H. Klote och Richard H. Zile. Bakgrunden till rapporten är att Klote sedan 70-talet varit delaktig i olika former av brandgaskontrollsystem för byggnader och påpekar att det då (1982) inte fanns liknande system på handelsfartyg. I rapportens inledning diskuterar författarna översiktligt vilka faktorer som påverkar brandgasspridningen:

- Skorstenseffekt (stack effect). Den drivande kraften bakom skorstenseffekt är en skillnad i temperatur och en skillnad i höjd. I byggnader kan detta i vinterfallet orsaka uppåtgående luft rörelser i schakt och i sommarfallet nedåtgående luft rörelser. I de aktuella fartygen (som är ca 20 m höga) kan det uppstå tryckskillnader på ca 20 Pa. (Detta vid en temperaturskillnad på 40°C och att neutralplanet är placerat på schaktets mittnivå.)
- Vindpåverkan. I många fall kan vinden påverka brandgasspridningen inom byggnader.
- Ventilationssystemets utformning. Författarna påpekar att brandgaser kommer att spridas via ventilationssystem både då systemet är i drift och om det stängs av. (Förutsatt att det inte finns spjäll som reagerar relativt snabbt.) Men också att det finns system som utnyttjar ventilationssystemet vid brand.

I rapporten skiljer författarna på statisk och dynamisk brandgaskontroll (static smoke control och dynamic smoke control). Den statiska brandgaskontrollen består av avskiljningar (väggar, dörrar m.m.) för att begränsa spridningen av brandgaser. Hur effektiv denna metod är beror på hur täta avskiljningarna är och hur stora tryckskillnaderna är över dessa.

Den dynamiska brandgaskontrollen bygger på att antingen ett luftflöde skapas för att styra brandgaserna eller att en tryckdifferens skapas med samma syfte. Fördelarna med dessa system är att man kan tillåta mindre läckage i de avskiljande delarna utan att nämnvärt försämra effektiviteten. Systemet blir också mindre känsligt för skorstensffekten och de termiska tryckskillnader som skapas av branden.

I rapporten diskuteras också kritiska lufthastigheter för att hindra brandspridning i korridorer. Dessa lufthastigheter bygger på tidigare undersökningar utförda av Thomas /15/. Den kritiska lufthastigheten över en korridor beskrivs som en funktion av bland annat den avgivna brandeffekten, korridorens bredd, densiteten uppströms branden och den specifika värmekapaciteten nedströms branden. I rapporten utförs beräkningar av kritiska lufthastigheter. En brandeffekt av 37 kW svarar mot en kritisk lufthastighet på 1 m/s och en brand på 2,4 MW svarar mot en lufthastighet på 4 m/s över en korridor med bredden 1 m.

I rapporten diskuteras också trycksättning av trapphus som används i byggnader. Även en kortare diskussion avseende rök- eller brandgaszoner (zone smoke control), också med hänsyn till tidigare erfarenheter från byggnader, förs i rapporten. I dessa brandgaszoner kan det vara möjligt att utnyttja det befintliga komfortventilationssystemet. Följande råd ges i detta fall:

- Tilluften till den branddrabbade zonen bör stängas
- Frånluften från zonen ska maximeras
- Tilluften till alla omkringliggande zoner ska maximeras
- Ingen återluft får användas

Spårgastester utfördes på två fartyg, dels på en äldre oljetanker (byggd 1966) och dels på ett containerfartyg. Testerna utfördes i de delar som bland annat innefattade hytter och rekreationsavdelningar. Oljefartyget hade 6 nivåer. Ventilationssystemet var ett till-

frånluftssystem utan återluft. Fem test utfördes där det simulerade brandrummet varierades. Vid alla tester var dörren ut mot korridoren öppen.

Containerfartyget hade 7 nivåer och var försett med två stycken luftbehandlingsaggregat. Luftbehandlingsaggregaten var försedda med återluftsfunktion. Också i detta fall utfördes fem olika tester.

Resultaten visade att spårgaserna spreds både horisontellt och vertikalt i de båda fartygen. Som förbättringar föreslås trycksatta trapphus, brandgaszoner och brandgaskontrollsystem med fläktar. Författarna påpekar också att tester bör utföras på passagerarfartyg då dessa i flera avseende är mer komplexa jämfört med de aktuella fartygen.

Klote är en av de forskare som tidigt påpekat vikten av brandgaskontrollsystem och även applicerat trycksättning av trapphus. Senare tids forskning inom t.ex. brand i tunnlar /21/ men också vidareutvecklingar av trycksatta trapphus /16/ har också bekräftat storleksordningen på de kritiska lufthastigheter som redovisas i rapporten.

De fall som diskuteras tar inte hänsyn till de stora övertryck som momentant kan skapas (se kapitel 2.1).

Att stänga av tilluften till den branddrabbade zonen (se de råd som anges vid ett aktivt användande av komfortventilationssystemet och brandgaszoner) innebär att syretillförseln till branden minskar, men samtidigt innebär detta att tilluftkanalsystemet görs trycklöst, vilket kan innebära en ökad risk för brandgasspridning via ventilationssystem. Då tilluften är igång har hela tilluftssystemet ett övertryck.

De aktuella testerna konstaterade att brandgasspridning kan ske.

3.1.2 Use of ventilation to control smoke in shipboard firefighting, FY83 (1984)

Rapporten är författad av R.S Alger och W.H. Johnson på SRI International (Stanford Research Institute, ett oberoende forskningsinstitut i Kalifornien, USA) till den amerikanska flottan. I rapporten beskrivs tre moment, alla med syfte att kontrollera brandgaser och värme under en insats. Det första momentet undersöker ventilationens påverkan vid en släckinsats i ett maskinrum. Försöken utfördes i Camp Parks i Kalifornien. Syftet med försöken var att verifiera tidigare analytiska resultat av brandgasventilationen i maskinrum. Resultaten visar att överensstämmelsen med de tidigare rekommendationerna för brandgasventilation av maskinrum är god och att brandgasventilationen förbättrar möjligheterna till en insats trots risken med att brandgasventilationen innebär en ökad tillförsel av syre till branden.

I det andra momentet utarbetades ett testprogram för brandgasventilation för systemet CPS (Collective Protective System). I det föreslagna testprogrammet föreslås bland annat följande:

- Testerna med spårgas på nätterna då bemanningen är begränsad.
- Testrummet ska vara lufttätt.

Det tredje momentet var inriktat på bränder i utrymmen för smutsvätt. Testerna utfördes på testfartyget Albert E. Watts.

I den relativt tidiga rapporten konstateras att det är fördelaktigt med brandgasventilation vid en insats. I rapporten redovisas också en stor mängd kurvor som resultat av testerna. Inte heller i denna rapport diskuteras de tryckhöjningar som kan uppstå vid bränder i slutna rum.

3.1.3 Smoke Management on FFG 7 Class Ships – An Evaluation of Smoke Removal Diagrams And Procedures on USS Clifton Sprague (1987)

Rapporten beskriver resultaten av de försök som utförts på fartyget USS Clifton Sprague i den amerikanska flottan. Syftet med försöken är att verifiera diagram och instruktioner framtagna för att via det befintliga ventilationssystemet ventilerade förutbestämda områden av lokaler och delar av fartyget kallade brandgaszoner. Testerna utfördes med en rökmaskin sammankopplad med en fläkt. Testerna delades upp i två delar; en del då röken tillfördes rummet och en del där röken avlägsnades. Röken tillfördes det aktuella rummet under ca 30 minuter, därefter aktiverades brandgasventilationen. Under hela testet mättes röktheten.

Vid försöken konstaterades att rök från rökmaskinen spreds vid otäta genomföringar mellan rökzonerna. I vissa fall spred också cirkulationsaggregat rök. I försöken konstaterades att komfortventilationssystemet kunde användas för att tömma brandgaszonerna på rök. Sikten i de rökdrabbade zonerna var acceptabel då 4 omsättningar luft till respektive zon användes. Detta skedde inom 30 minuter. Vid försöken konstaterades att om mindre hjälpfläktar användes förbättrades resultatet.

3.1.4 Brandrökspridning på HMS Visborg, v 9047 (1991)

Rapporten är författad av R. Jansson, B. Onnemark och P. Werling. Syftet med försöken var att studera spridningen från en hyttbrand på minfartyget HMS Winborg. De parametrar som studeras var ventilationens inverkan på spridningen och insamling av mätdata för rökthet och röktemperatur. Den så kallade brandröksimulatoren producerade ”vit” rök med temperaturen 200°C med ett flöde av 0,5 m³/s.

Vid försöken spreds brandrök från det i fartygets nedre del placerade brandrummet till delar av fartyget. Om komfortventilationen var i drift blev rökspridningen mindre.

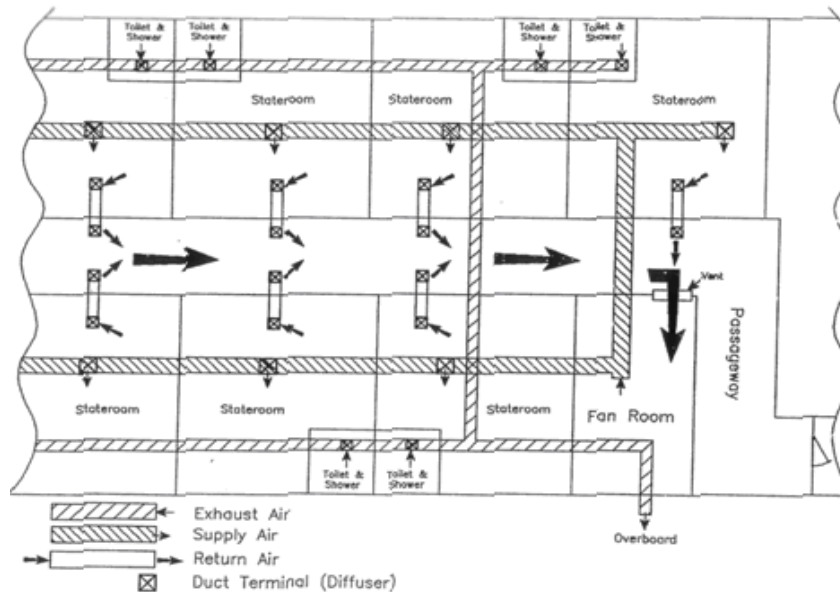
3.1.5 Smoke control analyses, balancing ducts versus door vents in class B bulkheads (1992)

Rapporten är skriven av USA:s kustbevakning. Syftet är att jämföra de enligt SOLAS tillåtna överluftsspringorna i dörrar med överluftskanaler i klass B-sektioner. (En B-klassad sektion ska vara utförd i ett obrännbart material. Temperaturhöjningen på den icke-brandutsatta sidan får i genomsnitt inte öka mer än 140°C och maximalt vara 225°C över ursprungstemperaturen vid en standardbrand. Detta gäller efter en viss tid som t.ex. 15 minuter). Bakgrunden är att SOLAS tillåter öppningar i B-klassade avgränsningar som är mindre än 0,05 m² (vilket ungefär svarar mot en diameter på 250 mm). I vissa lokaler och rum kan det ibland krävas mer ventilation än vad denna area klarar av att förmedla och i dessa fall har kanaler anslutits som överluft från t.ex. hytter till korridorer och andra publika utrymmen.

Den simulerade branden var en brand i en papperskorg intill en soffa. Rummets dimension var 4,6x3,8x2,1. I testerna användes träribbor ovan ett mindre dieselkärl. Ovanpå träribborna placerades en kudde med polyuretanstoppling för att simulera brandröken.

Hytten förses med ca 100 l/s i normalfallet. 30 l/s tas som frånluft från hytten och intilliggande hytt, resten som överluft till korridor. Se figur 3.1. De kanaler som i bilden är

markerade med "Duct Terminal" är alltså de överluftskanaler som i försöken jämförs med de överluftsöppningar i dörrarna som är tillåtna.



Figur 3.1. Schematisk bild över ventilationssystemet i korridor och hytt i de aktuella försöken.

Resultaten visar att ingen försämring uppstår avseende brandgasspridning till övriga utrymmen, det sprids i båda fallen bland annat runt dörren till hytten. Resultaten visar också att i de fall då komfortventilationen är igång blir resultaten bättre för omkringliggande rum. Däremot förbättras inte förhållandena i korridoren med avseende på brandgasspridningen. Författaren menar att komfortventilationen rätt utförd kan vara en del i ett brandgaskontrollsystem (smoke control system). Vid försöken konstaterades också att om dörren till hytten var stängd minskade brandstorleken. Den största delen av brandgaserna som läckte ur hytten kom från läckage runt dörren. Författaren föreslår att dörrarna till hytterna ska förses med dörrstängare och tätningsslistor.

3.1.6 "Fire Smoke Control", G. Bergstrom, World Cruise Industry Review, 1993

Artikeln är författad av Gary Bergström på ABB Fläkt Marine och beskriver ett brandgasevakueringsystem som utnyttjar det befintliga komfortventilationssystemet med särskilda temperaturlåga fläktar. Systemet ska starta automatiskt. Enligt artikeln används komfortventilationssystemet för trycksättning av trapphusen och för att balansera den ökning av tryck som branden orsakar. Samtidigt startar särskilda brandgasevakueringsfläktar i korridorer i den branddrabbade zonen. Systemet kallas i artikeln för ASC (Active Smoke Control) system och innefattar alltså föreslagna åtgärder för besättningen och kan också styras av besättningen. Regelverket IMO-SOLAS föreskriver att branddörrarna i brandzonerna ska stänga vid brand. Författaren hävdar att detta är omoraliskt och i praktiken omöjligt då detta står i motsats till utrymningen av passagerarna. Med det föreslagna systemet kan korridorerna och de trycksatta trapphusen utgöra fullgoda utrymningsvägar och tillåta en effektiv insats av räddningsmanskaper.

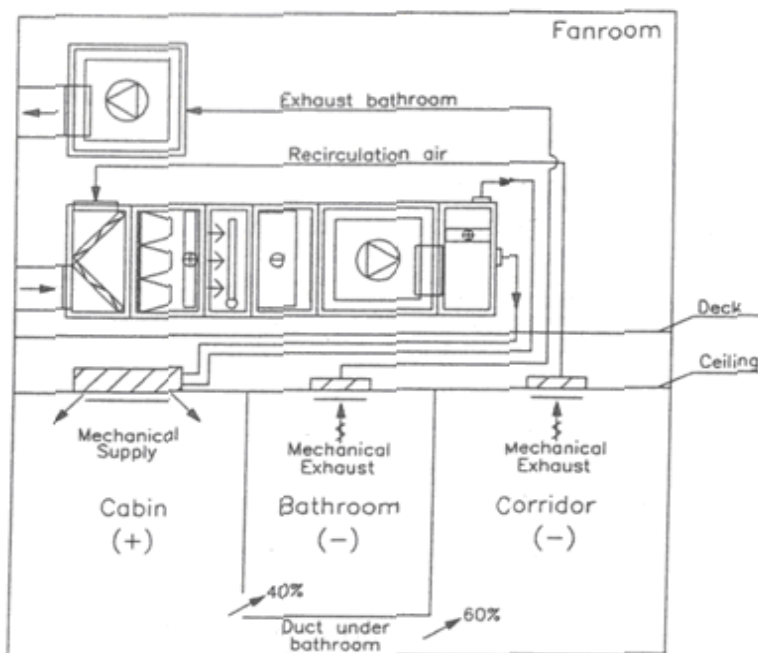
Detta är en av de få artiklar där komfortventilationssystem diskuteras som en del i ett aktivt brandskydd. Principen att trycksätta områden runt den branddrabbade delen samtidigt som en brandgasventilation av branddrabbade korridorer är en troligtvis en bra lösning. Det framkommer inte i artikeln hur komfortventilationen i den branddrabbade zonen styrs vid

brand. Det finns en risk att brandgaser kan spridas via t.ex. tilluftssystemet om branden tillfälligt orsakar ett högt tryck och tilluftssystem är avstängt och därigenom trycklöst. Artikeln förutsätter att branden drabbar en hel brandzon samtidigt. I en sektion med korridor och hytter kan en brand uppstå i en hytt eller i korridoren. Om en brand i en hytt under de första minuterna kan begränsas till hytten borde förutsättningarna för en säkrare utrymning uppstå.

3.1.7 Smoke control in cruise and passenger vessels, KH Jensen Novenco, 1994

Artikeln är publicerad 1994 i IMAS 94, Fire Safety on Ships av Jensen som arbetar för Novenco som bland annat tillverkar komfortventilationssystem för bland annat passagerarfartyg. Bakgrunden till artikeln är branden på Scandinavian Star där större delen av de omkomna dog av rök och författaren ger förslag på ett brandgaskontrollsystem.

I artikeln beskrivs ett ventilationssystem för hyttdelen i ett passagerarfartyg. Tilluften till hytten sker via en blandningsbox där både kyld och värmd luft blandas. Frånluften från hytten tas dels från toalettdelen men också via överluft ut till korridoren. Ca 30–40 % av den tillförda luften tas via toaletten. Normalt är det alltså lite högre tryck i hytten jämfört med korridor och badrum. Frånluften från korridoren recirkuleras via aggregatet, frånluften från toaletterna är ansluten till en separat frånluftsfläkt. Luften distribueras via ett kanalsystem med höga lufthastigheter. Både system med konstanta flöden och system med variabla flöden förekommer. Se figur 3.2.



Figur 3.2. Schematisk bild över ventilationssystemet och brandgasevakueringsystemet.

Författaren nämner att bland annat följande kriterier ska beaktas vid dimensionering av brandgaskontrollsystem:

- Vilken är den dimensionerande branden?
- Kommer branddörrarna att stänga automatiskt?
- Brandgasspridning till de omkringliggande ytorna som undvikas.
- Eventuella tryckskillnader får inte vara så stora att öppningskrafter för dörrar blir för stora.

- Hur ska brandgaskontrollsystemet aktiveras?
- Ur ekonomisk synvinkel är det bra att så mycket som möjligt utnyttja det befintliga ventilationssystemet.

Faktorer som påverkar den dimensionerande branden är t.ex. brandens omkrets, avgiven effekt och brandgaslagrets höjd ovan branden. Dessutom ska också hänsyn tas till sprinklerinstallationer.

Enligt författaren beror brandgasspridningen på i huvudsak två faktorer:

- Tryckdifferenser på grund av densitetsskillnader i branden
- Normala luftrörelser i fartygen som t.ex. luftrörelser skapade av ”skorstenseffekter”, vindförhållanden och rörelser skapade av ventilationssystem.

Ett brandgaskontrollsystem måste dimensioneras för att kunna övervinna dessa krafter.

Det föreslagna systemet bygger på följande:

Särskilda brandgasfläktar är anslutna till galler i korridorernas undertak och vid en brand är tilluften till hytterna i den branddrabbade i drift. För att undvika att brandgaser sprids till trapphus ska dessa trycksättas. Författaren påpekar att det kan bli problem med utrymme i korridoren om två olika kanalsystem ska användas och föreslår att de båda systemen ska använda samma kanalsystem. Tanken med att bibehålla tilluften igång är att skapa ett lätt övertryck i hytterna. Författaren hävdar också att frånluften från toaletterna ska vara i drift men frånluftsflödet måste vara mindre än det tillförda flödet för att övertrycket ska bibehållas.

Rökdetektorer skall finnas i tilluftssystemet och ska vid detektion ska fläktar stoppa. Avluften ska också vara placerad på ett sådant sätt att det inte finns någon risk att brandgaser riskerar att dras in i tilluftsgaller. Avluften skall därför vara placerad vertikalt placerad på fartygets topp.

Alla komponenter i brandgaskontrollsystemet ska tåla höga temperaturer. Detta ska enligt författaren regleras. Ljudnivån från brandlarmet måste vara tillräckligt högt för att inte överröstas av fläktarna vid en brandsituation. Utrymningsvägarna som t.ex. trapphus bör trycksättas för att undvika att brandgaser tränger in. De branddörrar som finns bör stänga automatiskt. Även öppningskraften för att öppna dörrar vid eventuella tryckskillnader ska beaktas. Som riktvärde anges 133 N som kommer från NFPA. Författaren nämner bland annat tilluftsfläkt med variabelt flöde som ett sätt att trycksätta. Vid sprinklerinstallationer kommer trycket att reduceras och författaren nämner ett riktvärde på 10 Pa som ett minimumvärde. Författaren för också en diskussion kring trycksättningen av trapphusen där hänsyn dels måste tas till att branddörrar mot korridor måste vara öppningsbara trots trycksättningen samtidigt som trycket måste vara tillräckligt högt för att ”hålla” emot då alla dörrar är öppna samtidigt. I artikeln anges 0,25–1,25 m/s över dörröppningar som riktvärde vid sprinklade bränder. Författaren efterlyser riktlinjer från myndigheter avseende krav på dimensionerande förutsättningar för trycksättning av trapphus (minsta erforderliga övertryck och hastigheter över dörröppningar, antal öppna dörrar). Men också riktlinjer avseende:

- Dimensionerande brand
- Ska branddörrarna vara öppna eller stängda?
- Högsta och minsta tryckskillnader mellan korridor och trapphus
- Kriterier avseende krav på temperaturtålighet på brandgasevakueringssystemet
- Definition och funktionskrav på styr- och övervakningssystemet

3.1.8 Shipboards Smoke Control Tests Using Forced Counterflow Air Supply (1994)

Rapportens syfte var att erhålla data från tester avseende där brandstorlek, geometri och lufthastigheter för att kunna utvärdera användning av påtryckta luftflöden för att styra brandgaser i horisontella passager och vertikala utrymmen. I rapporten diskuteras också risken med att det påtryckta luftflödet kan öka brandtillväxten.

De aktuella experimenten utfördes i en L-formad korridor, 1,2 m bred, 2,3 m hög och 13,7 plus 7 m lång. Tre olika bränder var aktuella. Dessa simulerades med en propenbrännare. De aktuella effekterna var 0,35, 0,65 och 1,3 MW. Författarnas resultat visade att lufthastigheter i storleksordningen 2–3 m/s i de aktuella geometrierna räckte för att hålla undan brandgaser.

3.1.9 Model of a Shipboard Smoke Propagation with a Forced Counter-Flow Air Supply (2001)

Rapporten beskriver resultatet av tester för att utvärdera CFD-beräkningar avseende motströms lufthastigheter vid bränder redovisade i kapitel 3.1.8. The aktuella lufthastigheterna var 0,5, 1, 2 m/s och den simulerade brandens storlek var 0,62 MW. Beräkningarna jämfördes med de praktiska försök som beskrivs ovan (3.1.8). Resultaten visar att överensstämmelsen mellan simuleringarna och de praktiska försöken är bra.

3.1.10 Options for Advanced Smoke Control Onboard Ships (2002)

Rapportens syfte är att undersöka vilka krav som ställs på ett brandgaskontrollsystem och hur dessa påverkar utformningen systemet. Under 1980-talet utvecklade United States Navy ett brandgaskontrollsystem där fläktar, kanaler och spjäll användes. Dess tester visade att brandgasspridning kan undvikas om ventilationssystemet dimensionerades efter dessa förutsättningar. Praktiskt så innebar detta att all normalventilation omfördelades till de branddrabbade områdena. Systemet kallas för SES (Smoke Ejection System). Detta system installerades på försöksfartyget USS-Shadwell där tester visade att sikten förbättrades från ca. 1,5 m till 6,1 m efter 5 minuter (detta då den branddrabbade delen isolerats och ventilerats med ett visst antal omsättningar). De brandgaskontrollsystem som alltså har testats är sådana som utnyttjat befintliga ventilationssystem. Författarna i rapporten har med hjälp av en referensgrupp försökt identifiera krav på framtida brandgaskontrollsystem utifrån att bemanningen på dessa fartyg också kommer att minska.

Följande koncept för brandgaskontrollsystem (smoke control) identifieras i rapporten:

1. Avskiljningar (compartment/Passive design)
2. Brandgasevakivering (smoke exhaust). Principen är att avlägsna försmutsad luft och ersätta den med ren luft. Beroende på i vilket skede av branden brandgasventilationen ska användas definieras också följande underbegrepp:
 - a. Brandgasextraktion (smoke extraction) som sker innan branden är släckt
 - b. Brandgasventilation (desmoking) som sker efter att branden är släckt och röken ska avlägsnas
3. Tryckskillnader, trycksättning (pressure differences) Konceptet bygger på att brandgasspridning genom att trycksätta odrabbade delar och tryckavlasta branddrabbade delar.
4. Motströmsflöde (counterflow). Konceptet bygger på en luftström med en kritisk hastighet skapar ett mottryck över en öppning, som t.ex. en dörröppning.
5. Brandgasrening (smoke scavenging) t.ex. via elektrostatfilter.

Tabell 3.2 Sammanställning av fördelar och nackdelar för olika koncept inom brandgaskontrollsystem

Koncept	Fördelar	Nackdelar
Avskiljning	<ul style="list-style-type: none"> - Enkelt angreppssätt - Förhindrar försmutsning av odrabbade delar 	<ul style="list-style-type: none"> - Brandgaser är kvar inom branddrabbade delar - Om systemen (stängande dörrar etc.) inte är automatiserade är de manskapskrävande - Beroende av pålitligheten av de stängande dörrarna, luckorna - Hur tät är tillräckligt tät?
Brandgasevakivering	<ul style="list-style-type: none"> - Ger möjligheter att relativt snabbt avlägsna brandgaser 	<ul style="list-style-type: none"> - Kan även sprida brandgaser till odrabbade delar
Trycksättning	<ul style="list-style-type: none"> - Begränsas av en dimensionerande brand 	<ul style="list-style-type: none"> - Kan vara svår att dimensionera för de öppningar som orsakas av de brandmän som angriper branden - Behovet av tillslutning kan påverka funktionaliteten - Konceptet inbegriper inte att avlägsna brandgaserna
Motströmsflöde	<ul style="list-style-type: none"> - Begränsar brandgasspridningen - Ger ”vind i ryggen” åt brandmän vid angrepp 	<ul style="list-style-type: none"> - Kräver ofta stora luftflöden - Kan bidra till brandutveckling - Begränsar brandgasspridningen men avlägsnar inte brandgaserna - Kräver en tryckavlastning ”bakom” branden
Rökrening	<ul style="list-style-type: none"> - Behöver inte vara en fast anläggning, kan vara en portabel anläggning 	<ul style="list-style-type: none"> - Teknologin är inte testad - Om det krävs en stor anläggning är det ingen fördel jämfört med att använda komfortventilationen - Behöver inte innebära att giftiga brandgaser transporteras bort

Avskiljningar kommer att begränsa brandgasspridningen och skydda icke-branddrabbade områden. Däremot ger konceptet inga möjligheter till att avlägsna brandgaserna. Hur bra konceptet fungerar beror på hur täta avskiljningarna är och om de kan upprätthållas. Om t.ex. en släckinsats ska göras kommer dörrar och portar att behöva öppnas. I rapporten nämns också fallet att om en missil träffar fartyget kommer också att avskiljningarna att rämna. Men avskiljningarna går att kombinera med andra åtgärder och koncept.

System för brandgasevakivering (SES) har testats t.ex. i USS-Shadwell (se även kapitel 3.1.10) med bra resultat. De bästa resultaten har nåtts då tilluften är placerad i mitten av zonerna och frånluften i de yttre delarna av zonen.

Trycksättning är enligt författarna en utmärkt teknik för att undvika brandgasspridning till icke-branddrabbade områden. Hur bra metoden fungerar beror bland annat på hur tät den trycksatta delen är. Ju fler öppningar desto större blir tryckförlusterna.

Motströmsflöde kan vara ett bra koncept men förutsätter att öppningarna över vilka flödet ska skapas inte är för stora. Systemet kräver en tilluftssida och en frånluftssida.

Enligt författarna finns rening av luft t.ex. via elektrostatfilter finns i ventilationsanläggningar på sjukhus men även på ubåtar. Det har förekommit tester med rökrening med de enheter som finns installerade på ubåtar. Vid dessa tester konstaterades att standardenheterna inte fungerade tillfredsställande men att detta kunde åtgärdas. (Författarna nämner inte de rökreningsanläggningar som finns i tunnlar i t.ex. Japan.)

Författarnas slutsats är att motströmssystem och brandgasevakuering är de två koncept som är minst känsliga för tillslutning (closure) och integritet (integrity). Båda koncepten kräver luftrörelser men kommer också att avlägsna brandgaser. Normalt skapas luftrörelserna via fläktar. Andra lösningar för att skapa dessa luftrörelser kan vara att utnyttja ejektorverkan, det vill säga den medryckningseffekt som uppstår via undertryck i närheten av t.ex. vattenstrålar med höga hastigheter.

Det är mycket viktigt att definiera brandgaskontrollsystems prestanda i form av vad som förväntas av systemet. Den högsta nivån är att inte acceptera någon brandgasspridning från en branddrabbad zon till kringliggande delar. Men i vissa fall kan man kanske acceptera en begränsad spridning till omkringliggande områden. Acceptansvillkor kan t.ex. vara siktsträckor eller höjd på brandgaslager.

I rapporten förs också en diskussion avseende sprinklers påverkan. Sprinkler kan påverka alla beskrivna koncept. Det finns studier som visar att rökmängden är väsentlig även i sprinklade bränder. Författarna påpekar att även om det också finns studier som visar att mängden brandgas minskar med sprinkler är det svårt att förutbestämma dessa situationer.

Om konceptet med motströmsflöde utnyttjas rekommenderas lufthastigheter på ca 2,5 m/s över dörröppningen. Detta svarar mot en temperatur på ca 1000°C i brandgaslagret. Rekommendationen grundar sig på resultat publicerade av bland annat Heskestad /19/ referens och riktlinjer angivna i NFPA. Det bör påpekas att motströmsflödet kan innebära att brandeffekten ökar eftersom mer syre tillförs vilket också nämns i rapporten. Dessutom krävs en avlastning ”bakom” branden för att erhålla ett flöde förbi branden.

3.1.11 Smoke Control Systems Aboard, Andersson, Säterbom (2002)

Bakgrunden till rapporten är införandet av funktionsbaserad dimensionering i SOLAS. I rapporten behandlas endast de publika delarna. Följande scenarier studerades:

1. Brand i hyttsektion
2. Brand i stora publika utrymmen
3. Brand i små publika utrymmen
4. Brand i atrier

I rapporten tas ingen hänsyn till risken för brandgasspridning via ventilationssystemet. I beräkningarna används CFAST vilket är ett tvåzonsprogram. Kriterierna för brandgasevakueringen är baserade på kriterier enligt BBR. Ett av många brandscenarier som redovisas är en brand i en hytt där kriteriet var att en brandgasfri höjd på 1,8 m efter 15 minuter. Simuleringarna visar att efter ca 3,5 minuter har brandgaslagret nått golvnivå. För att nå kriterierna krävs ca ett frånluftsflöde av ca $4 \text{ m}^3/\text{s}$ i hytten. Detta flöde svarar mot 100-200 ggr det normala flödet i hytten.

Resultatet av rapporten visar att brandgaskontrollsystem om de dimensioneras rätt utifrån varje enskilt objekt förbättrar utrymningsmöjligheterna. Författarna rekommenderar inte att separata utsug placeras i hytterna utan i korridoren, jämt fördelade. Ersättningsluften ska tas från tilluftssystemet och från anslutande trapphus. I de större publika utrymmena kan brandgasevakueringen ske via komfortventilationssystemet om dess kapacitet uppgår till 12 omsättningar per timme.

3.1.12 Pressure rise due to fire growth in a closed room, Hägglund, Nireus, Werling, (1996)

Försöken är utförda av FOA, Försvarets Forskningsanstalt och berör inte fartyg med är ändå relevanta. I ett rum utfört av betong med volymen ca 60 m^3 gjordes försök med tre olika brandstorlekar. I en öppning med diametern 200 mm, 0,6 m ovan golv, mättes flödes hastigheten upp. Dessutom mättes följande:

- Den varma brandgastemperaturen på olika nivåer i rummet
- Tryckskillnaden mellan rummet och utomhus
- Brandgastemperaturen i öppningen
- Syrehalten i rummet

I det första försöket användes en brand med en tillväxthastighet av ca $0,035 \text{ kW/s}^2$ som svarar mot en tillväxthastighet mellan en slow-brand och en fast-brand enligt NFPA. I det andra testet var tillväxthastigheten ca $0,075 \text{ kW/s}^2$ som svarar mot en brand mellan fast och ultrafast. I det tredje testet var tillväxthastigheten $0,085 \text{ kW/s}^2$. I tabell 3.3 redovisas en sammanställning av resultaten. Det ungefärliga brandflödet (brandens expansion per tidsenhet) har beräknats utifrån öppningsarea och den uppmätta maximala utloppshastigheten.

Tabell 3.3. Sammanställning av testfall

	Test 1	Test 2	Test 3
Tillväxthastighet [kW/s^2]	0,035	0,075	0,085
Maxeffekt [kW]	900	900	1200
Max. tryckskillnad [Pa]	100	160	250
Max. utloppshastighet [m/s]	13	16	18
Brandflöde [m^3/s]	0,39	0,48	0,54
Utloppstemperatur [$^{\circ}\text{C}$]	150	150	170
Max. temp. i brandgaslager [$^{\circ}\text{C}$]	350	350	400
Min.syrehalt. [%]	8	8	6

Resultaten visar att relativt höga tryck (100–250 Pa) och brandflöden (ca 400–500 l/s) orsakas av branden. I försöken uppmärksammades också att då syrehalten sjunkit så långt att branden slocknat vände flöde och tryck i rummet till ett inflöde och ett undertryck.

Artikeln är en av de få där försök med inriktning på expansionen vid en brand och tryckuppsyggnad redovisas.

3.1.13 An experimental study of the smoke spread via ventilation ducts, Hägglund, Nireus, Werling (1998)

I artikeln beskrivs ett antal olika brandfall där fyra ”rum” är sammankopplade med olika ventilationssystem. Försöken beskrivs som en fortsättning på de försök som beskrivs ovan. Vid försöken mäts följande storheter:

- Differenstryck mellan brandrum och utomhus
- Brandgastemperaturen i brandrummet
- Utströmningshastighet i en till brandrummet ansluten öppning (med diametern 100–200 mm)
- Temperaturen på de utströmmande brandgaserna i öppningen
- Syrehalten i brandrummet
- CO-halten i brandrummet
- Flödes hastigheten och temperaturen i ventilationskanalerna

I det första fallet testas två olika bränder i det slutna rummet utan ventilation och arean på öppningen mot det fria varierades och jämfördes med beräkningar. Vid beräkningarna jämfördes de uppmätta trycken (två fall) mot flödes hastigheten i öppningen mot det fria med bra överensstämmelse. I de fall som ventilationssystem användes var luftflödet per rum injusterat till 25 l/s.

Det andra fallet beskriver tester med ett frånluftssystem. Rummen är anslutna till en frånluftsfäkt via ett kanalsystem. Tilluften till brandrummet tas via den cirkulära öppningen. Brandens tillväxthastighet var $0,085 \text{ kW/s}^2$ som svarar mot en brand mellan medium och fast enligt NFPA. Inte i något av fallen fås brandgasspridning till de andra rummen trots att tryckökningen i brandrummet är mellan 300–900 Pa.

I det tredje fallet installeras ett till- och frånluftssystem. Två olika tillväxthastigheter på branden (med tillväxthastigheterna $0,035 \text{ kW/s}^2$ och $0,085 \text{ kW/s}^2$) och två olika storlekar på öppningar mot det fria testades. I alla fall spreds brandgaser till andra rum via tilluftskanalsystemet. De uppmätta övertrycken i brandrummet varierade mellan ca 400–1000 Pa beroende på brandfall och öppning mot det fria.

I rapporten jämförs också det första fallet (utan ventilation men med öppning mot det fria) med beräkningar utförda med programmet DSLAYV /18/. I de beräknade fallen jämfördes de beräknade trycken i brandrummet och utloppshastigheten i öppningen med beräknade värden. Överensstämmelsen visade sig vara god.

Resultaten visade alltså att ingen brandgasspridning via ventilationssystem skedde med ett frånluftssystem. Däremot spreds brandgaser via kanalerna mellan rummen då ventilationssystemet var utformat som ett till- och frånluftssystem. Anledningen till att frånluftssystemet är bättre ur brandgasspridningssynpunkt är att en naturlig tryckavlastning sker via tilluftsintaget i väggen.

3.2 Sammanfattning

Litteraturstudien visar att det saknas djupare analyser, undersökningar och tester avseende komfortventilationens påverkan och betydelse för brandgasspridning vid fartygsbränder. I många fall rekommenderas det att komfortventilationssystemet ska stoppas av manskapet vid en brand. I flera av de beskrivna artiklarna konstateras det att förhållandena (t.ex. sikt) förbättras om komfortventilationssystemet bibehålls i drift vid en brandsituation. Inte i någon av artiklarna analyseras brandgasspridningen via komfortventilationssystemet. Den bidragande orsaken till detta är med stor sannolikhet det rådande regelverket SOLAS.

I ett fåtal artiklar berörs komfortventilationssystem som en aktiv del samband med brandgasevakueringsystem. Dessa artiklar utgår i alla fall från det förhärskande sättet att konstruera komfortventilationssystem där brandgasevakueringsystemet "hängs på" de traditionella lösningarna. Dessa system bygger på att brandgaserna evakueras från den branddrabbade delen, t.ex. en korridor, där ersättningsluft tas från de omkringliggande trycksatta delarna som t.ex. trapphus.

Försvarets forskningsanstalt, FOA (numera FOI) har utfört tester som inte direkt är relaterade till sjösidan utan inriktade mot ventilationssystem. Vid testerna utfördes ventilationssystemen på olika sätt. När ett tillufts- och frånluftssystem användes visade tester att det finns risk att brandgasspridning sker till närliggande rum via tilluftskanalsystemet. Dessa system är de som är vanligast på fartyg.

Följande generella koncept för brandgaskontrollsystem har identifierats i en artikel av Peatross /11/:

1. Avskiljningar
2. Brandgasevakuering
3. Trycksättning
4. Motströmsflöde

Avskiljningar kan utgöras av t.ex. väggar, golv och tak. Principen för brandgasevakueringen är att avlägsna försmutsad luft och ersätta den med ren luft. Trycksättningen innebär att en tryckskillnad skapas mellan odrabbade delar och branddrabbade delar (som tryckavlastas). Motströmsflöde kan t.ex. användas för att hindra brandgaser att spridas genom en dörröppning.

I ett antal artiklar beskrivs tester med ett brandgasevakueringsystem kallad SES (smoke ejection system) testat ex-USS Shadwell ett försöksfartyg i USA:s flotta. Det har också utförts

tester avseende kritiska lufthastigheter över dörröppningar för att skapa ett motströmsflöde. Testerna ha visat att lufthastigheter upp till 3 m/s kan vara aktuella. Det bör påpekas att motströmsflödet kan innebära att brandeffekten ökar eftersom mer syre tillförs och att någon form av öppning eller tryckavlastning krävs bakom branden för att få ett flöde förbi branden.

4 Förslag på lösningar

Utifrån litteraturstudien och utförda försök kommer ett antal olika förslag på utformningar av ventilationssystem, avskiljningar och brandgasventilation inriktade mot fartygshytter att diskuteras. Dessa redovisas i följande kapitel.

För att få ett bättre underlag för förslag på lösningar avseende skyddet mot brandgasspridning via ventilationssystemet har tryck- och flödesmätningar utförts på en befintlig fartygshytt. Dessutom har beräkningar avseende det förväntade brandflödet vid en hyttbrand och en diskussion avseende vilka följder detta kan få utförts.

4.1 Tryck – flödesmätning i en fartygshytt vid normalförhållanden

4.1.1 Inledning och bakgrund

Den 24 november 2005 utfördes ett antal mätningar avseende flöde och tryck i två hytter på fartyget Silja Symphony. Vid en brand i en hytt orsakar temperaturhöjning en tryckhöjning och kommer därigenom ”trycka” ut brandgaser (rök) till intilliggande lokaler via otätheter i konstruktioner och i vissa fall via ventilationssystemet. Expansionen i ett brandrum kan t.ex. mätas som ett flöde (volymökningen per tidsenhet [l/s]) benämnt brandflöde /17/. Den största expansionen kommer med stor sannolikhet ske de första minuterna, troligtvis innan sprinkler eventuellt utlöser.

4.1.2 Syfte

Syftet med mätningarna var att få en uppfattning om hur stort läckage som kan förväntas i en passagerarhytt, men också hur ventilationssystemets komponenter (till-, frånlufts- och överluftsdon) påverkas av en brandrelaterad tryckökning i en fartygshytt. När läckaget väl är uppmätt kan dessa värden underlätta dimensioneringen ventilationssystem vid brand för att minska risken för brandgasspridningen via ventilationssystemet.

4.1.3 Utförande

Mätningarna utfördes den 24 november 2005 i två hytter (hytt 8313 och 8314) på Silja Symphony av Ronny Abrahamsson, Zeco, och Brandskyddslaget. Hytt 8314 var placerad mot sjösida och hytt 8313 in mot fartygets ”gågata”. De flesta mätningarna utfördes i hytt 8314. Hyttens dimensioner var ca (B x L x H) 2,4 x 4,3 x 2,1. Ventilationssystemet var i normaldrift under mätningarna. I varje hytt finns ett tilluftsdon, ett frånluftsdon och ett överluftsdon ut mot korridoren.

Den trycksättande fläkten applicerades i dörröppningen till hytten så att ett övertryck skapades i passagerarhytten jämfört med korridor och omgivande hytter. Detta svarar mot ett principiellt brandfall. Skillnaden är att övertrycket i ett verkligt brandfall kan bli betydligt högre jämfört med de övertryck som används i försöken.



Figur 4.1 Trycksättande fläkt applicerad i dörröppning till fartygshytt.

Fyra olika fall studerades i hytt 8314:

Fall 1. Tilluftsdon och frånluftsdon avskärmades (förseddes med tejp)

Fall 2. Tilluftsdon, frånluftsdon och överluftsdon avskärmades (förseddes med tejp)

Fall 3. Endast överluftsdon tejpades

Fall 4. Inga åtgärder utfördes på donen. (Detta svarar alltså mot ett normalfall)

Vid varje fall varierades tryck och flöde så att minst tre mätpunkter erhöles för varje fall. Dessutom uppmättes ett antal tryckfall över don och rum och korridor.

Fall 1

I det aktuella fallet avskärmades både till- och frånluftsdon med hjälp av tejp. Följande mätvärden erhöles:

Tabell 4.1

Tryckskillnad mellan hytt och korridor [Pa]	Flöde [l/s], trycksättningsfläkt
51	146
106	235
197	355

Detta fall redovisar alltså hyttens och överluftsdonets sammanlagda läckage.

Fall 2

I fall 2 avskärmades både tilluftsdon, frånluftsdon och överluftsdon med hjälp av tejp. Följande mätvärden erhöles:

Tabell 4.2

Tryckskillnad mellan hytt och korridor [Pa]	Flöde [l/s], trycksättningsfläkt
52	104
100	172
197	355

Fall 2 svarar mot hyttens läckage (väggar och tak). Omräknat på omslutande area (väggar och tak) svarar det mot ca 2,7 l/(s, m²) vid 52 Pa. Vid fall mättes också det statiska trycket i

tilluftsdonet vid ”nollflödet” till 311 Pa. Motsvarande statiska tryck uppmättes på frånluftssidan till 77 Pa.

Fall 3

I fall 3 avskärmades enbart överluftsdon med hjälp av tejp. Följande mätvärden erhöles:

Tabell 4.3

Tryckskillnad mellan hytt och korridor [Pa]	Flöde [l/s], trycksättningsfläkt
52	89
101	165
198	287
275	372

Fall 4

I fall 4 utfördes inga begränsande åtgärder på donen. Följande mätvärden erhöles:

Tabell 4.4

Tryckskillnad mellan hytt och korridor [Pa]	Flöde [l/s], trycksättningsfläkt
51	128
100	219
199	369

Beräkningar

För att kunna avgöra hur brandgaserna (röken) sprids krävs kunskap om hur stort läckaget är vid olika tryck och hur flödet beror av trycket.

I de flesta fall är tryckökningen exponentiellt beroende av volymflödet enligt:

$$\Delta p = K \cdot q^n \text{ där,} \quad (1)$$

K är en konstant

Δp = tryckökningen [Pa]

q = flödet [l/s]

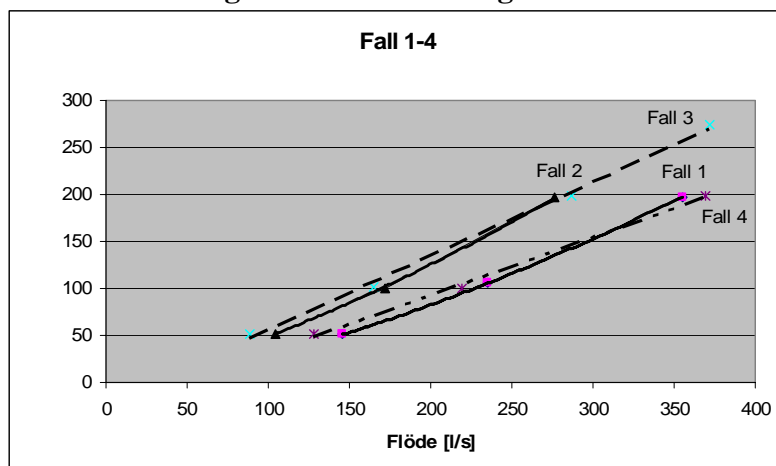
n = är en konstant som beror på om strömningen är turbulent eller inte. I de flesta fall är konstanten 2, vilket svarar mot turbulent strömning.

Vad trycket blir och hur mycket brandgaser som sprids beror på vilket brandflöde som skapas och hur ”tätt” det är i hytten, d.v.s. hur stort läckaget är i rummet, men också hur stora tryckfall som frånluftsdon, tilluftsdon och överluftsdon har i normalfallet.

4.1.4 Bestämning av tryck – flödessamband

De fyra fallen kan representeras i tryck/flödesdiagram enligt nedan. För att bestämma n, enligt ekvation (1) används en kurvanpassning.

Sammanställning av utförda mätningar



Figur 4.2 Tryck-flödesförhållande för läckage över fartygshytt och överluftsdon vid 4 olika fall.

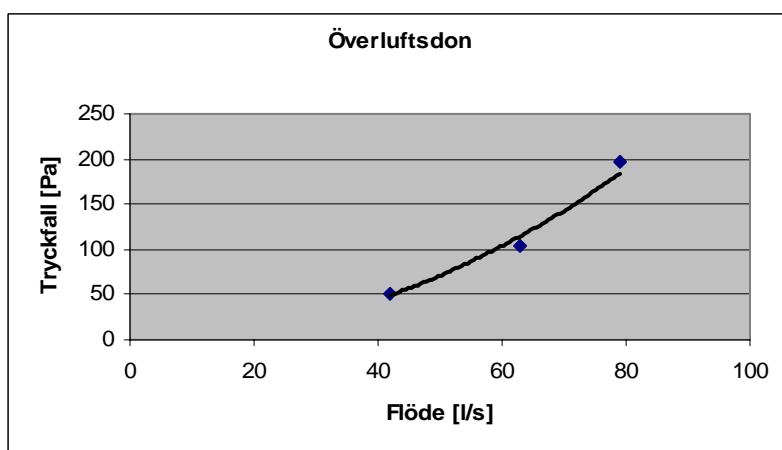
Förhållandet mellan tryck och flöde för fall 1, hyttens och överluftsdonets läckage, (enligt ekvation (1) ovan) kan beskrivas som:

$$\Delta p = K \cdot q^{1,5} \quad (2)$$

På motsvarande sätt kan förhållandet mellan tryck och flöde i fall 2, hyttkonstruktionens läckage, beskrivas som:

$$\Delta p = K \cdot q^{1,4} \quad (3)$$

Skillnaden mellan fall 1 och fall 2 svarar mot läckaget över överluftsdonet. Vid beräkningarna antas de tre mätpunkterna vara ungefärliga, d.v.s. de tre punkterna svarar mot ca 50, 100 och 200 Pa och ger att n är ungefärligt 2, vilket alltså innebär att tryckfallet ökar kvadratisk med volymflödet. Se diagram 5.3.



Figur 4.3. Tryck-flödesförhållande för överluftsdonet

Tryckfall över till- och frånluftsdon är kvadratiska ($n=2$). Fall 3 och 4 visar att tryckhöjningen i de fall då till- och frånluftsdon inte är tejpede närmast är linjära. Detta beror sannolikt på att

ventilationssystemet (eventuella konstantflödesdon, tryckreglering etc.) reagerar på tryckförändringen vid försöken.

Kompletterande mätningar av hytt

Vid de kompletterande mätningarna av hytt 8313 konstaterades att läckaget var följande:

Tabell 4.6

Tryckskillnad mellan hytt och korridor [Pa]	Flöde [l/s], trycksättningsfläkt
51	130
100	202
198	335

Fallet (jämför med fall 2 ovan) svarar mot hyttens läckage (väggar och tak). Omräknat på omslutande area (väggar och tak) svarar det mot ca 3,3 l/(s, m²) vid 51 Pa. Vid fall mättes också det statiska trycket i tilluftsdonet vid ”nollflödet” till 587 Pa. Motsvarande statiska tryck uppmättes på frånluftssidan till 109 Pa. Skillnaden jämfört med hytt 8314 bedöms vara inom rimliga gränser.

4.1.5 Resultat och diskussion

Följande resultat erhöles:

- Läckageflödet för en hytt är ca 3 l/s²m vid 50 Pa. (Där läckageytorna är väggar och tak). Tryck- flödesförhållandet för hytten kan generellt beskrivas som $\Delta p = K \cdot q^{1,4}$, där K är en konstant.
- De aktuella överluftsdonen ger ca 40 l/s vid 50 Pa och tryckfallet beror kvadratisk av flödet
- Risken för brandgasspridning via ventilationssystemet minskar om ventilationssystemet bibehålls i drift.

Som jämförelse till det uppmätta läckageflödet enligt Boverkets Byggregler är 0,8 l/(sm²) för bostäder och 1,6 l/(sm²) för lokaler som alltså är ett betydligt lägre läckage jämfört med de aktuella försöken.

Det brandskapade brandflödet beror bland annat av rummets volym och brandens tillväxthastighet. Ofta beskrivs tillväxthastigheten enligt den amerikanska organisationen NFPA:s riktlinjer. Enligt dessa finns fyra olika tillväxthastigheter, slow (0,003 kW/s²), medium (0,0012 kW/s²), fast (0,047 kW/s²) och ultrafast (0,187 kW/s²). Hyttens volym ger då enligt /17, Bilaga 6.1/ brandflöden 200-500 l/s (slow till fast-brand).

Detta innebär att om det brännbara materialet i hytterna utformas så att brandens tillväxthastighet begränsas minskar risken för att brandgasspridningen sker via ventilationssystemet in till närliggande hytt förutsatt att ventilationssystemet är i drift. Om brandgasspridning sker beror förutom på tillväxthastigheten också på ventilationssystemets utformning och styrning. Däremot så kommer, som ventilationssystemet idag är utformat, brandgasspridning snabbt ske ut till korridoren via överluftsdonet. Detta är idag tillåtet (enligt gällande regelverk, SOLAS) eftersom brandcellen innefattar en hyttsektion med korridor som är ca 40 m lång.

Om ventilationssystemet ska vara i drift vid en brandsituation ska också hänsyn tas till att detta kan innebära krav på säkerställd ström till aggregaten. Dessutom ska hänsyn tas till

eventuella krav på temperaturlighet. Detta kan t.ex. gälla fläktar om antalet betjänade brandceller är få och ingen hänsyn tas till sprinkler.

Mätningarna indikerar (med de ovan angivna brandflödena) att tryckfallet i tilluftssystemet i vissa fall är tillräckligt för att hindra brandgasspridning. Se fall 3 där det trycksättande flödet var ca 370 l/s och tryckhöjningen ca 275 Pa vilket understiger det uppmätta statiska trycket på 311 Pa.

För att ytterligare minska brandgasspridningen ut till korridoren kan t.ex. dörrarna förses med självstängare och ventilationssystemet konstrueras utan överluft till korridor.

Utgångspunkten för de genomförda testerna har varit att studera brandgasspridning från en hytt till omgivande lokaler.

4.2 Brandsimuleringar med tvåzonsmodell

Brandgasspridningen är beroende av brandens utveckling och storlek. Ett vanligt sätt att beskriva en brands utveckling är att effektutvecklingen som funktion av tiden. Detta är ett schematiskt och idealt sätt att beskriva brandutvecklingen i ett rum. Brandens effektutveckling påverkar en stor del av de fysikaliska fenomen som uppstår vid en brand, såsom temperaturutveckling, rökgaslager och temperaturutveckling. NFPA (National Fire Protection Association) har tagit fram ett antal idealiserade brandeffekt kurvor så kallade α^2 -kurvor där brandeffekten beror av ett α -värde och tiden i kvadrat. Brandeffekten vid en viss tidpunkt erhålls genom att multiplicera med ett antaget värde på α med tiden i kvadrat.

Det finns ett antal beräkningsprogram för att simulera brandförlopp. De mer sofistikerade programmen är baserade på CFD-teknik (Computational Fluid Dynamics) där brandrummet delas in i ett stort antal volymer och energi- och rörelseekvationerna beräknas i varje punkt. Enklare modeller, så kallade tvåzonsmodeller, delar upp brandrummet i en övre varm zon och en nedre kallare zon. I det aktuella fallet har simuleringarna skett i tvåzonsprogrammet DSLAYV /18/.

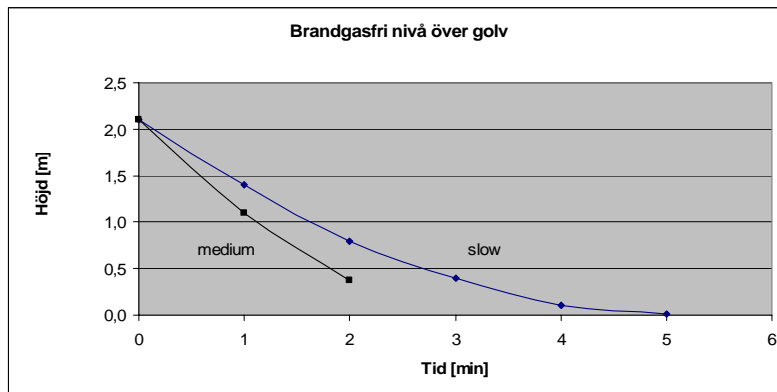
Syftet med simuleringarna är att studera rökfyllnaden, temperaturfördelningen, syrehalt och brandflödet, den volymökning per tidsenhet som uppstår då densiteten minskar med ökande temperatur, i en fartygshytt. Brandflödet är en parameter som är viktig i bedömningen om det finns risk för att brandgaser kan spridas via ventilationssystemet.

Fartygshyttens dimensioner är valda till (BxHxL) 2,4 x 4,3 x 2,1 m vilket svarar mot den trycksatta fartygshytten i kapitel 4.1. I samband med mätningarna konstaterades att hyttläckaget var ca 104 l/s vid 50 Pa och detta svarar mot arean 0,01 m² som ansattes som läckage i hytten. I de beräkningarna togs ingen hänsyn till komfortventilationssystemet eftersom syftet var att bestämma expansionen, brandflödet, för att kunna bedöma spridningsrisken via ventilationssystemet.

I beräkningarna ansattes brandens tillväxthastighet enligt NFPA till $\alpha_{\text{slow}} = 0,0029 \text{ kW/s}^2$ och $\alpha_{\text{medium}} = 0,012 \text{ kW/s}^2$. Branden antas nå ett maximum av 2 MW. Då syrehalten minskat till ca 10 % eller brandgaslagret når golvnivå antas brandens utveckling att avta.

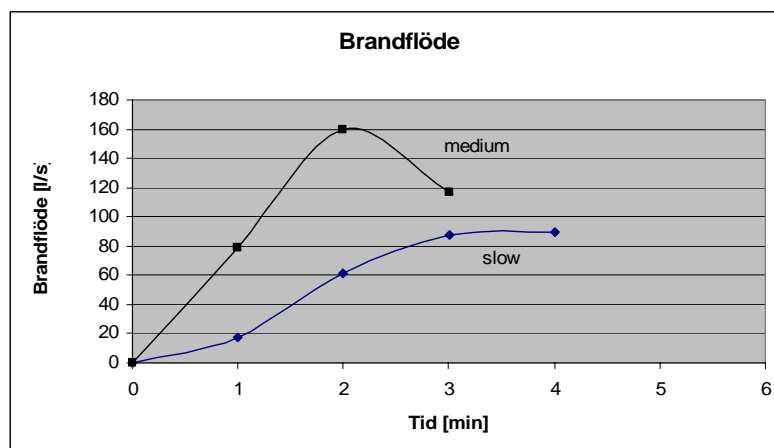
I det beräknade fallet antogs brandens tillväxthastighet till $\alpha_{\text{slow}} = 0,0029 \text{ kW/s}^2$. Hyttedörren förutsätts vara stängd. De första fem minuterna simulerades. Efter ca 4 minuter har syrehalten sjunkit till ca 10 % och efter ca 5 minuter har det övre varma brandgasskiktet nått golvnivå.

Vid detta tillfälle är temperaturen ca 300 °C i hytten och brandeffekten har nått ca 1 MW. Brandflödet sitt maximala värde ca 90 l/s efter ca 3,5 minuter i fallet med slow-branden.

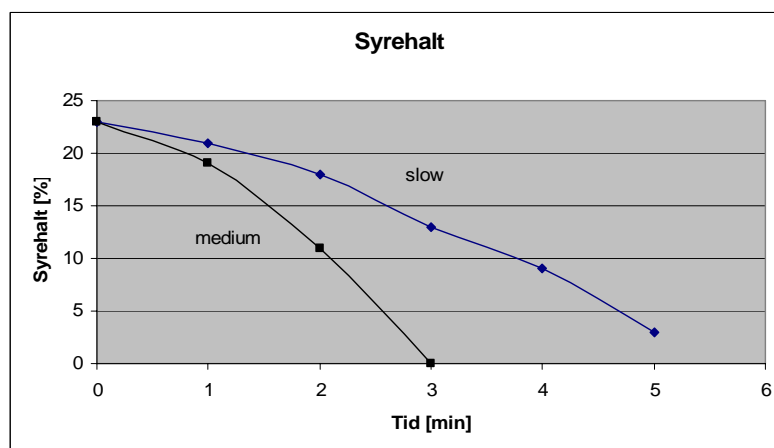


Figur 4.5. Brandgasfri nivå över golv vid en brand i en fartygshytt.

Om brandens tillväxthastighet antas vara $\alpha_{\text{medium}}=0,012 \text{ kW/s}^2$ när det varma brandgaslagret golvet efter ca 3 minuter och syrehalten 10 % efter ca 2 minuter. Vid detta tillfälle är brandflödet 160 l/s. (Brandflödet är beräknat utifrån den gällande temperaturen).



Figur 4.6. Brandflöde vid en brand i en fartygshytt.



Figur 4.7. Syrehalt i fartygshytt

Branden förbrukar syre, i diagram 4.7 redovisas den beräknade syrehalten i brandrummet.

Beräkningarna visar följande:

- Det maximala brandflödet är ca 90–160 l/s beroende på vilken tillväxthastighet som antas.
- Brandgaslagret når golvnivå efter 3–5 minuter och syrehalten är under 10 % efter ca 2–4 minuter.
- Temperaturen i det varma brandgaslagret är efter 4 minuter 250°C med en slow-brand och ca 300°C under antagandet att tillväxthastigheten är en medium-brand.

4.2.1 Resultat och kommentarer

Beräkningarna visar att brandgaser snabbt fyller en fartygshytt om dörren hålls stängd. Brandflödet (expansionen) som kommer att tränga ut genom läckor i konstruktionen och ventilationssystemet är beroende av brandens tillväxthastighet och når sitt maximala värde strax innan brandgaserna når golvnivån efter ca 2–4 minuter. Det maximala brandflödet kommer att vara ca 90–160 l/s och temperaturen ligga mellan 250 och 300°C.

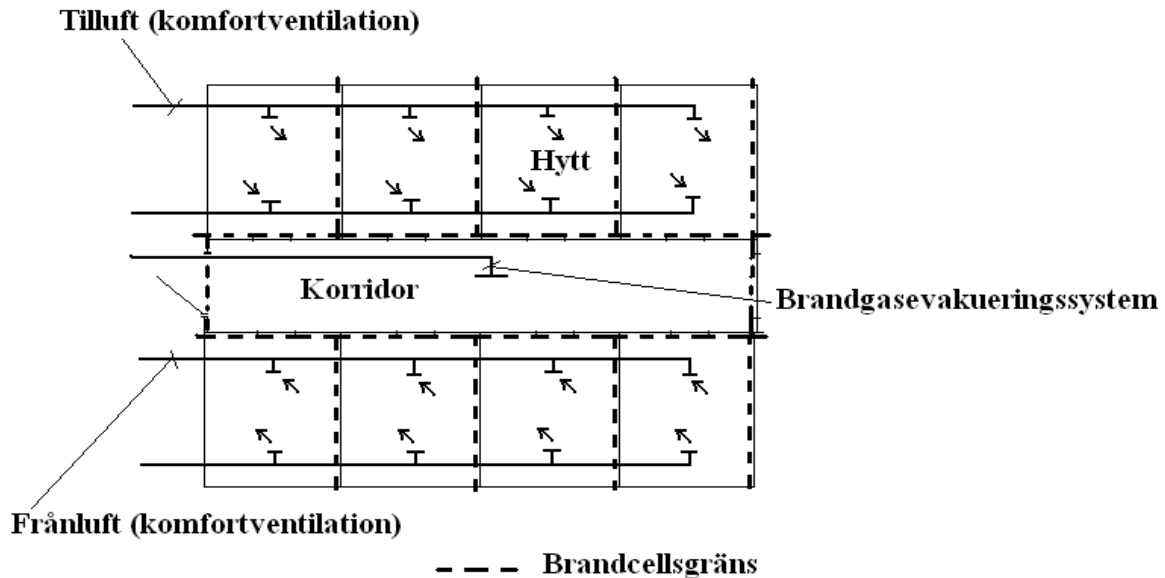
4.3 Förslag på alternativa lösningar avseende brandskydd och ventilation för en hyttsektion

4.3.1 Fall 1. Fartygshytterna brandtekniskt avskiljda från varandra och korridor

En fartygshytt liknar i många fall ett hotellrum på land. Enligt gällande lagstiftning BBR (Boverkets Byggregler) ska hotellrum avskiljas brandskyddstekniskt från korridor och övriga hotellrum. Detta är alltså inte fallet på fartyg. En liknande lösning skulle innebära att brandsäkerhet avseende utrymning, brand och brandgasspridning förbättrades betydligt. En utrymmande person skulle alltså vara skyddad redan utanför sin egen fartygshytt. Lösningen skulle innebära följande:

- Fartygshyttens konstruktion skulle behöva brandklassas. Till vilken grad kan diskuteras, redan idag har troligtvis de befintliga konstruktionerna redan ett visst motstånd avseende brand. Inom sprinklade ytor kan ofta kraven på brandklassade delar ytterligare reduceras.
- Hyttedörren ska förses med dörrstängare. Detta är en lösning som idag finns på hotell på land.
- Ingen överluft från hytterna till korridor får ske. Idag är den gängse konstruktionen att tillföra luft i hytten och placera frånluft i toaletter och frånluft i korridor via överluft. Detta kan innebära något mer kanaldragning i hyttsektionen då frånluften från varje fartygshytt måste ökas. Korridoren ska ha separat tilluft och frånluft. Komfortventilationen dimensioneras för fläktar i drift där tryckfall flöde och tryckfall över don är dimensionerat för ett brandfall.
- Ett brandgasventilationssystem med utsug placerat i korridoren. Syftet med brandgasventilationssystemet är underlätta en släckinsats och är inte i första hand ämnad för att säkerställa utrymningen. Det erforderliga luftflödet dimensioneras för att upprätthålla en minsta hastighet över den öppna dörren in till korridoren från de lokaler som angreppet ska ske. Den erforderliga lufthastigheten ligger med stor sannolikhet mellan 1 och 3 m/s beroende på dimensionerande brand och om branden är sprinklad. Detta skulle innebära att de erforderliga flödena ligger mellan 2 och 6 m³/s om dörröppningen antas vara 2 m². Detta system innebär att brandgaser kan transporteras från en hytt ut till korridoren. Bedömningen om detta är en bra strategi ska göras från fall till fall. Ett motsvarande fall på landsidan är t.ex. brandgasevakuering av källarlokal där

ibland separata fläktar eller schakt används av räddningstjänsten för att underlätta en släckande insats.



Figur 4.10. Principbild för lösningsförslag 1.

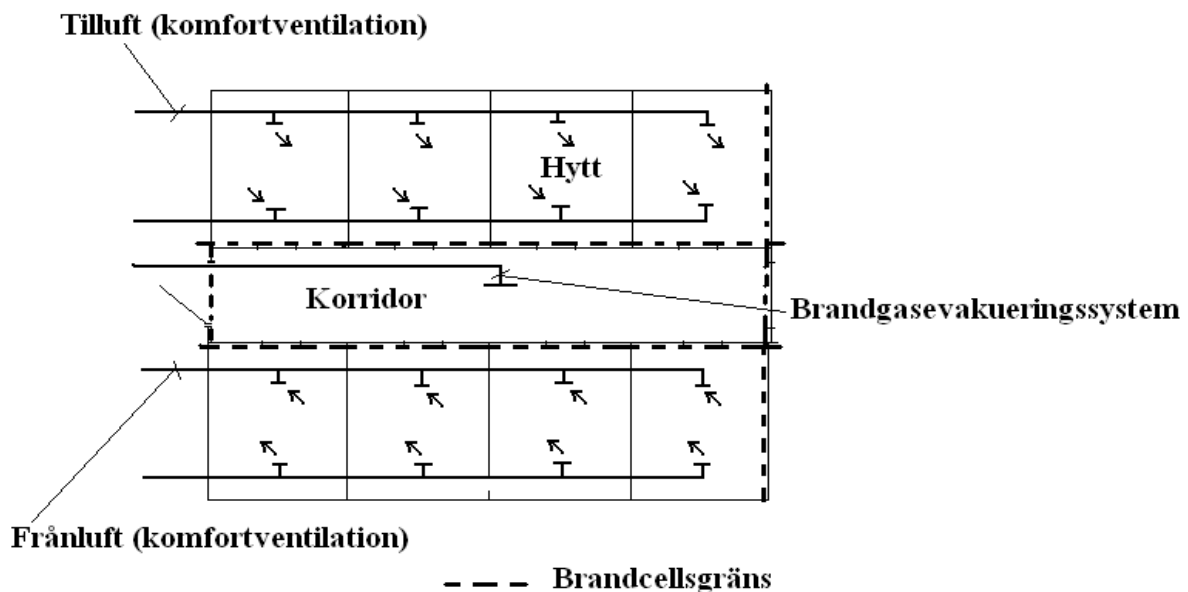
Den föreslagna lösningen innebär att utrymningen från hytterna runt den branddrabbade inte ska drabbas nämnvärt en hyttbrand. En viss spridning av brandgaser kommer troligtvis att ske via läckage i byggnadsdelar till de omkringliggande hytterna.

4.3.2 Fall 2. Korridoren brandtekniskt avskiljd från hytterna

I detta förslag är brandsäkerhetsnivån något lägre jämfört med fall 1, men högre än det gängse sättet. I detta fall finns också en analogi till lagstiftningen på land. I en vårdanläggning ska, enligt BBR (Boverkets Byggregler), korridoren vara brandtekniskt avskiljd från vårdrummen. Mellan vårdrummen behövs däremot ingen brandteknisk avskiljning. I detta lösningsförslag är korridoren brandtekniskt avskiljd från de omkringliggande hytterna. Lösningen skulle innebära följande:

- Fartygshyttens konstruktion skulle behöva brandklassas ut mot korridor.
- Hyttddörren ska också i detta fall förses med dörrstängare.
- Det får inte förekomma någon överluft från hytterna till korridor. Korridoren ska också i detta fall ha separat tilluft och frånluft. Komfortventilationen dimensioneras för fläktar i drift där tryckfall flöde och tryckfall över don är dimensionerat för ett brandfall. Detta fall ställer lägre krav på komfortventilationssystemets utformning. Grundtanken är att bibehålla fläktarna i drift. Däremot innebär detta fall att alla fartygshytterna ligger i samma brandcell och därigenom kan brandgasspridning tillåtas mellan hytterna, till korridoren får däremot inte brandgasspridning ske. Idag finns det befintliga exempel på komfortventilationssystem som är snarlika det beskrivna. Ofta förses en hel brandzon via separata kanaler från fläktrum. Däremot matas också korridoren som redan nämnts på ett i detta fall icke önskvärt sätt.
- Ett brandgasventilationssystem med utsug placerat i korridoren. Syftet med brandgasventilationssystemet är underlätta en släckinsats och är inte i första hand ämnad för att säkerställa utrymningen. Det erforderliga luftflödet dimensioneras för att upprätthålla en minsta hastighet över den öppna dörren in till korridoren. Den erforderliga

lufthastigheten ligger med stor sannolikhet mellan 1 och 3 m/s beroende på dimensionerande brand och om branden är sprinklad. Detta skulle innebära att de erforderliga flödena ligger mellan 2 och 6 m³/s om dörröppningen antas vara 2 m².



Figur 4.11. Principbild för lösningsförslag 2.

4.4 Sprinklerdiskussion

Den aktuella studien har inte beaktat de fall då sprinkler förekommer. Idag sprinklas ofta fartygshytter med så kallad ”dimsprinkler”. Då sprinklern utlöser kommer branden i bästa fall att släckas och i sämsta fall att begränsas. Detta innebär att temperaturökningen i rummet troligtvis inte blir lika stor som i det osprinklade fallet. I dessa fall kan också expansionen bli betydligt mindre. Detta beror när sprinklern aktiveras i förhållande till hur branden utvecklas. Om sprinklern aktiveras tidigt kommer alltså tryckhöjningen att begränsas och risken för brandgasspridning bli mindre.

4.5 Säkra platser

De senare åren har så kallade säkra platser, safe areas, diskuterats inom IMO (International Maritime Organisation) /20/. Syftet med dessa är att de ska fungera som avgränsade brandavskiljda platser där passagerare kan vara säkra tills fartyget kommit till hamn eller branden släckts. Resultaten från rapporten visar att det är väsentligt att beakta skyddet mot brandgasspridning via ventilationssystemet vid utformningen av dessa säkra platser. Om kravet på dessa utrymmen innebär att brandgasspridning ska ”förhindras” ställer detta höga krav på utformningen av systemen. Många av de diskuterade ämnena i rapporten är aktuella och tillämpbara inom detta område. På landsidan förekommer uttrycket ”säker flyktplats” (Boverkets byggregler 5:31) som ett alternativ till en fullständig utrymning.

5 Resultat och diskussion

Litteraturstudien är inriktad på två områden inom fartygsventilation och brand; dels risken för spridning av brandgaser (rök) via komfortventilationssystemet och dels brandgaskontrollsystem på fartyg. Inom projektet har också praktiska försök med en

läckagemätning av en fartygshytt gjorts och beräkningar av effekten av en brand i en fartygshytt utförts. De alternativa lösningsförslag som diskuteras berör främst hyttsektioner.

Begreppet brandgaskontrollsystem innefattar följande:

1. Avskiljningar
2. Brandgasevakuering
3. Trycksättning
4. Motströmsflöde

I litteraturstudien har exempel på alla ovannämnda metoder hittats. Avskiljningar med olika klasser förekommer på fartyg. Placeringen av dessa är ofta styrda av regelverk. I de lösningsförslag, vars syfte är att höja skyddet för passagerare, som presenteras ligger avskiljningarna på ett annorlunda sätt jämfört med det vedertagna.

I litteraturstudien presenteras tester utförda på fartyg med brandgasevakueringsystem vars syfte är att t.ex. avlägsna brandgaser (rök) för att underlätta en släckinsats eller utrymning. Inom USA:s flotta finns ett antal olika system för brandgasevakuering, inkluderat system som innefattar komfortventilationen. I en rapport beskrivs försök där effektiva resultat avseende sikten kunde mätas då fyra omsättningar användes. Ett annat system som finns beskrivet är SES (Smoke Ejection System) som testats på testfartyget USS Shadwell.

Inga referenser hittades till praktiska försök där trycksättning används.

I ett fall har motströmsflöde testats och beräknats (över en dörröppning). Flödet är bland annat beroende av brandgastemperaturerna men ligger ofta inom området 2–3 m/s.

Litteraturstudien visar att det saknas en djupare analys avseende risken för brandgasspridning via ventilationssystem på fartyg. De praktiska försök som gjorts antyder att det i vissa fall är bättre att bibehålla ventilationssystem i drift vid en brand. I ett fåtal artiklar berörs komfortventilationssystem som en aktiv del samband med brandgasevakueringsystem. Dessa artiklar utgår i alla fall från det förhärskande sättet att konstruera komfortventilationssystem där brandgasevakueringsystemet ”hängs på” de traditionella lösningarna. Dessa system bygger på att brandgaserna evakueras från den branddrabbade delen, t.ex. en korridor, där ersättningsluft tas från de omkringliggande trycksatta delarna som t.ex. trapphus.

De utförda försöken antyder att det finns bra förutsättningar (relativt höga tryckfall över till- och frånluftsdon) för att bibehålla ventilationssystemet i drift vid brand läckagemätningarna antyder att det finns bra förutsättningar

Läckagemätningarna utförda på fartyget Silja Symphony visar att läckageflödet för en hytt är ca $3 \text{ l/s}^2\text{m}$ vid 50 Pa. (Där läckageytorna är väggar och tak). Tryck-flödesförhållandet för hytten kan generellt beskrivas som $\Delta p = Kq^{1,4}$ (där K är en konstant). De aktuella överluftsdonen ger ca 40 l/s vid 50 Pa och tryckfallet beror kvadratisk av flödet och risken för brandgasspridning via ventilationssystemet minskar om ventilationssystemet bibehålls i drift.

Försvarets forskningsanstalt, FOA (numera FOI) har utfört tester som inte direkt är relaterade till sjösidan utan inriktade mot ventilationssystem. Vid testerna utfördes ventilationssystemen på olika sätt. Då ett tillufts- och frånluftssystem användes visade tester att det finns risk att

brandgasspridning sker till närliggande rum via tilluftskanalsystemet. Dessa system är också de som är vanligast på fartyg.

Det finns goda möjligheter att dimensionera komfortventilationssystem på ett sådant sätt att risken för brandgasspridningen via komfortventilationssystem minskar på fartyg. Detta kräver dock en samordning mellan systemets utformning, brandcellsgränser och dimensionerande brand. Några punkter som bör beaktas avseende passagerarfartyg är:

- Minimera brandbelastning i passagerarhytter
- Avskilj hytterna brandtekniskt antingen mot korridor eller mot korridor och närliggande hytter.
- Hytt dörrar ska ha dörrstängare
- Avskilj korridor och hytter ventilationsmässigt. Ingen överluft får förekomma.
- Fläktar i drift är antagligen en bra skydds metod för att försvåra brandgasspridning via ventilationssystemet. Detta system kräver med stor sannolikhet höga tryckfall över don och kanalsystem. Idag utformas systemen med höga tryckfall.

Kraven på och syfte med brandgasevakueringssystem måste definieras. Är syftet att säkra utrymningen eller underlätta en släckande insats. Om utrymningen ska säkras kan exempel på kriterier vara siktsträckor eller minsta brandgasfria höjd. Är syftet att underlätta en släckande insats kan kriteriet vara en minsta erforderlig lufthastighet över t.ex. en dörröppning. I det senare alternativet är riktvärdet 2–3 m/s. Att kombinera brandgasutsug med att trycksätta omgivande ytor är att rekommendera.

Med de nya funktionsbaserade möjligheterna i SOLAS öppnas möjligheter för nya lösningar på fartyg. Erfarenheter från den liknande utvecklingen på land sidan är bland annat: Okonventionella konstruktioner och byggande är genomförbara.

- Brandsäkerheten har blivit mer objektsanpassad.
- Kunskapsutvecklingen på brandsidan de sista 20 åren har ökat enormt vilken innebär bättre lösningar.
- I många fall kan billigare lösningar göras med funktionsbaserad dimensionering, men i vissa fall kan kostnaderna också öka.

6 Förslag på fortsatt arbete

För att minska risken avseende brandgasspridning via komfortventilationssystemet krävs en djupare analys av samspelet mellan ventilationssystemets uppbyggnad, branden och byggnadsdelarnas läckage. Analysen bör både utgå från befintliga system för att undersöka vilka åtgärder som är mest lämpliga ur ett kostnads-säkerhets perspektiv och från ett nybyggnadsperspektiv. I dessa analyser bör försök med en sprinklad brand i en hytt med olika utformningar på ventilationssystemet utföras. Ytterligare ett område som inte har analyserats är brandgasspridningens påverkan på personer vid en sprinklad brand. Om en brand i en hytt uppstår och sprinklern fungerar och brandgaser sprids via ventilationssystemet och otätheter, hur påverkar detta utrymningen från närliggande områden. Dessa resultat kan sedan ligga till grund för dimensionering och studier av brandgasevakueringsystem.

Det krävs en djupare analys av de kriterier som bör fastställas beträffande brandgasevakueringsens syfte. Vissa delar har berörts i rapporten men det finns ett behov av fördjupning och förtydligande.

I litteraturstudien har inga studier hittats där brandgasevakueringsystem har diskuterats tillsammans med en insats från personalen. Erfarenheter från andra komplexa anläggningar (t.ex. tunnlar och undermarksanläggningar) visar att detta är ett mycket viktigt och ofta eftersatt område.

7 Referenser

- /1/. J.H Klote, R.H. Zile, *Smoke Movement and Smoke Control on Merchant ships*, NBSIR 81-2433, ISSN 0347-3694
- /2/. R.S. Alger, W.H. Johnson, *Use of ventilation to control smoke in shipboard firefighting, FY83*
- /3/. E. Rodriguez, E. Carey, *Smoke Management on FFG 7 Class Ships – An Evaluation of Smoke Removal Diagrams And Procedures on USS Clifton Sprague*
- /4/. R.Jansson, Bengt Onnermark, P.Werling, *Brandrökspridning på HMS Visborg, v9047*, FOA Report C20850-2, ISSN 0347-3694 [1991]
- /5/. W.M.Cummings, *Smoke Control Systems Analyses; Balancing Ducts versus Door Vents in class B Bulkheads*
- /6/. R.Jansson, L-E Altvall, K.Nireus, *Brandrökspridning på kustkorvett Göteborg*, Report C20879-2.4, ISSN 0347-3694
- /7/. G.Bergström, *Fire Smoke Control*, World Cruise Industry Review, 1993, Sterling Publications, London
- /8/. K H Jensen, *Smoke Control in Cruise and Passenger vessels*, paper 13, IMAS 94, Fire Safety on Ships, 26-27 May 1994
- /9/. F.W Williams, *Shipboard Smoke Control Tests Using Forced Counterflow Air Supply*, NRL/MR/6180—94-7616
- /10/. G.J Farman, *Modelling of Shipboard Smoke Propagation With a Forced Counter-Flow Air Supply*, NSN 7540-01-280-5500
- /11/. M.J Peatross, *Options for Advanced Smoke Control Onboard Ships*, NRL/MR/6180--02-8612
- /12/. Andersson, Säterborn, *Smoke Control Systems Aboard*, report 5093, 2002, Dep. Of Fire Safety, Lund, Sweden
- /13/. Hägglund, Nireus, Werling, *Pressure rise due to fire growth in a closed room*, ISSN 1104-9154, FOA, Sweden 1996
- /14/. Hägglund, Nireus, Werling, *An experimental study of the smoke spread via ventilation ducts*, ISSN 1104-9154, FOA, Sweden 1998
- /15/. Thomas, P.H "Movement of Smoke In Horizontal Corridors Against an Air Flow" Institution of Fire Engineers, Quarterly, Vol. 30 No.77 pp 45-53 1970
- /16/. Jensen "Konstantrycksättning av trapphus för utrymning", Lunds Tekniska Högskola Rapport TABK—99/7054
- /17/. Fagergren, Jensen m.fl. "En handbok om brandskyddsteknik för ventilationssystem", ISBN 91-630-4419-6
- /18/. Hägglund, B. "Simulating Fires in Natural and Forced Ventilated Enclosures", ISSN 0347-3694, 1986
- /19/. Heskestad, G., Spaulding, R.D. "Inflow of Air Required at Wall and Ceiling Apertures to Prevent Escape of Fire Smoke" Factory Mutual Technical Report FMRC J.I. 0QE4.RU 070 (A), July 1989
- /20/. http://www.imo.org/Safety/mainframe.asp?topic_id=102&doc_id=3818 (2006-10-03)
- /21/. Ingason, H "Tunnel Safety Handbook" kapitel 11, ISBN 0-7277-3168-8