



# LUND UNIVERSITY

## Kartläggning och kvalitativ analys av möjligheter och risker med reducerad syrehalt i brandceller innehållande elektrisk utrustning

Van Hees, Patrick; Frantzich, Håkan; Nilsson, Martin

2012

[Link to publication](#)

### *Citation for published version (APA):*

Van Hees, P., Frantzich, H., & Nilsson, M. (2012). *Kartläggning och kvalitativ analys av möjligheter och risker med reducerad syrehalt i brandceller innehållande elektrisk utrustning*. Lunds Universitet. Lunds tekniska högskola, Brandteknik och riskhantering.

### *Total number of authors:*

3

### **General rights**

Unless other specific re-use rights are stated the following general rights apply:

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal

Read more about Creative commons licenses: <https://creativecommons.org/licenses/>

### **Take down policy**

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

LUND UNIVERSITY

PO Box 117  
221 00 Lund  
+46 46-222 00 00

# Kartläggning och kvalitativ analys av möjligheter och risker med reducerad syrehalt i brandceller innehållande elektrisk utrustning

*Patrick van Hees*

*Håkan Frantzich*

*Martin Nilsson*

---

Department of Fire Safety Engineering and System  
Safety  
Lund University, Sweden

Brandteknik och Riskhantering  
Lunds tekniska högskola  
Lunds universitet

Rapport 3162, Lund 2012



Kartläggning och kvalitativ analys av möjligheter  
och risker med reducerad syrehalt i brandceller  
innehållande elektrisk utrustning

Patrick van Hees  
Håkan Frantzich  
Martin Nilsson

Lund 2012

Kartläggning och kvalitativ analys av möjligheter och risker med reducerad syrehalt i brandceller innehållande elektrisk utrustning

Patrick van Hees  
Håkan Frantzich  
Martin Nilsson

**Report 3162**  
**ISSN: 1402-3504**  
**ISRN: LUTVDG/TVBB--3162--SE**

Number of pages: 61  
Illustrations: Patrick van Hees

Keywords  
Fire, nuclear power plants, hypoxic air, fire prevention

Sökord  
Brand, kärnkraftverk, syrgasreducerad miljö, brandförebyggande brandskydd

#### Abstract

Fires can be an important hazard for the overall safe operation of nuclear power plants. Prevention of fire, fast detection and efficient extinguishment of a fire are some parameters, which are important to consider when designing the fire safety in a nuclear power plant. As an alternative to extinguishment system the use of hypoxic air or hypoxic air venting has been introduced e.g. in storage room of a museum or a historical building. This system is now being proposed for use in fire compartments in nuclear power plants containing electrical equipment such as electrical cabinets, cable trays, etc. This report is a pre-study to investigate the risk and advantages of this system for use in these types of rooms. This report also stipulates a number of areas where more research or investigations are necessary. The results in this report are based on a literature review of scientific publications and specific technical standards available in the area in combination with the technical expertise of the authors. The report should not be seen as a final evaluation of hypoxic air venting systems.

© Copyright: Brandteknik, Lunds tekniska högskola, Lunds universitet, Lund 2012.

---

Brandteknik och Riskhantering  
Lunds tekniska högskola  
Lunds universitet  
Box 118  
221 00 Lund  
brand@brand.lth.se  
<http://www.brand.lth.se>

Telefon: 046 - 222 73 60  
Telefax: 046 - 222 46 12

Department of Fire Safety  
Engineering and Systems Safety  
Lund University  
P.O. Box 118  
SE-221 00 Lund, Sweden  
brand@brand.lth.se  
<http://www.brand.lth.se/english>

Telephone: +46 46 222 73 60  
Fax: +46 46 222 46 12

## Förord

Brandsäkerhet är en viktig del i den allmänna driften i kärnkraftverk i Sverige. I slutet av 2011 gav NBSG (Nationella Brandsäkerhetsgruppen) ett uppdrag till LTH att kartlägga och kvalitativt analysera möjligheter och risker med reducerad syrehalt i brandceller innehållande elektrisk utrustning. Eftersom området är relativt nytt ska denna rapport ses som en första förstudie och inte som en uttömmande analys av ämnet.

Kontaktperson från NBSG har varit Ralph Nyman från Strålsäkerhetsmyndigheten.

Lund, 31 januari 2012.

Patrick van Hees

Håkan Frantzich

Martin Nilsson



# Innehåll

<b>1. INTRODUKTION .....</b>	<b>1</b>
<b>1.1. BAKGRUND.....</b>	<b>1</b>
<b>1.2. MÅL OCH SYFTE .....</b>	<b>1</b>
<b>1.3. FRÅGESTÄLLNINGAR .....</b>	<b>1</b>
<b>1.4. GENOMFÖRANDE.....</b>	<b>1</b>
<b>1.5. BEGRÄNSNINGAR.....</b>	<b>2</b>
<b>1.6. DEFINITIONER .....</b>	<b>2</b>
<b>1.7. FÖRKORTNINGAR.....</b>	<b>2</b>
<b>1.8. ORGANISATIONER .....</b>	<b>3</b>
<b>2. METOD.....</b>	<b>5</b>
<b>3. LITTERATURSTUDIE .....</b>	<b>7</b>
<b>3.1. RESULTAT AV LITTERATURSÖKNINGEN .....</b>	<b>7</b>
3.1.1. HYPOXIC AIR.....	7
3.1.2. MILJÖER MED FÖRHÖJT LUFTRYCK. ....	7
<b>3.2. BEFINTLIGA TEKNISKA STANDARDER.....</b>	<b>8</b>
3.2.1. VDS 3527EN (2007) .....	8
3.2.2. BGR 104 BG-REGEL EXPLOSIONSSCHUTZ-REGELN (2007) .....	9
3.2.3. PAS 95:2011 (2011).....	9
3.2.4. NFPA 2001: STANDARD ON CLEAN AGENT FIRE EXTINGUISHING SYSTEMS (2012) 10	
3.2.5. PROVNINGSMETODER FÖR EGENSKAPER AV BRÄNSLE VID ÄNDRADE SYRGASHALTER.....	10
<b>3.3. FÖRESKRIFTER .....</b>	<b>12</b>
3.3.1. ARBETSMILJÖVERKETS FÖRFATTNINGSSAMLING AFS 1993:3 (1993) .....	12
<b>3.4. SAMMANFATTNING AV VIKTIGA FORSKNINGSRAPPORTER OCH ARTIKLAR .....</b>	<b>12</b>
3.4.1. EXAMENSARBETE BERG OCH LINDGREN RAPPORT 5144: FIRE PREVENTION AND HEALTH ASSESSMENT IN HYPOXIC ENVIRONMENT. ....	13
3.4.2. COWI RAPPORT AV JENSEN OCH HOLMBERG: HYPOXIC AIR VENTING FOR PREVENTION OF CULTURALE HERITAGE – CONTRIBUTION COST C17 PROJECT (JENSEN ET AL 2006). ....	14
3.4.3. MSC THESIS CHITI – COWI RAPPORT 01/2010: TEST METHODS FOR HYPOXIC AIR PREVENTION SYSTEMS AND OVERALL ENVIRONMENTAL IMPACT OF APPLICATIONS (CHITI 2010) 16	
3.4.4. CHITI: HYPOXIC AIR TECHNOLOGY FIRE PROTECTION TURNS – INTERNATIONAL WORKSHOP ON FIRE SAFETY AND MANAGEMENT, OMAN 2011 (CHITI 2011) 16	
3.4.5. ARTIKEL OM HÄLSOASPEKTER FRÅN ANGERER AND NOWAK: WORKING IN PERMANENT HYPOXIA FOR FIRE PROTECTION–IMPACT ON HEALTH (ANGERER ET AL 2003) 17	
3.4.6. ARTIKEL AV BURTSCHER ET AL: SHORT-TERM EXPOSURE TO HYPOXIA FOR WORK AND LEISURE ACTIVITIES IN HEALTH AND DISEASE: WHICH LEVEL OF HYPOXIA IS SAFE? (BURTSCHER ET AL 2011) .....	18
3.4.7. KÜPPER ET AL: WORK IN HYPOXIC CONDITIONS-CONSENSUS STATEMENT OF THE MEDICAL COMMISSION OF THE UNION INTERNATIONALE DES ASSOCIATIONS D'ALPINISME (UIAA MEDCOM) (KÜPPER ET AL 2011) .....	18



3.4.8. ARTIKEL OM BRANDBETEENDE I TUNNLAR MED FÖRHÖJT TRYCK FRÅN LAMONT ET AL: FIRE TESTS IN A COMPRESSED AIR TUNNEL AT UP TO 3 BAR (LAMONT ET AL 1998) 19	
3.4.9. ARTIKEL AV TRZESZCYNski ET AL: INFLUENCE OF PRESSURE ON COMBUSTIBLE AND TOXIC PROPERTIES OF MATERIALS. (TRZESZCYNski ET AL 1987) .....	20
3.4.10. EXAMENSARBETE HOLMSTEDT OCH MALMBERG: EXPLOSIONS OCH BRÄNNBARHETSVILLKOR I EN ÖVERTRYCKSKAMMARE (HOLMSTEDT OCH MALMBERG1966) .....	21

#### **4. SVAR TILL FRÅGORN A AV SSM .....** 23

4.1. FRÅGA 1.....	23
4.2. FRÅGA 2.....	24
4.3. FRÅGA 3.....	24
4.4. FRÅGA 4.....	25
4.5. FRÅGA 5.....	26
4.6. FRÅGA 6.....	26
4.7. FRÅGA 7.....	27
4.8. FRÅGA 8.....	28
4.9. FRÅGA 9.....	28
4.10. FRÅGA 10.....	29
4.11. FRÅGA 11.....	30
4.12. FRÅGA 12.....	31
4.13. FRÅGA 13.....	31
4.14. FRÅGA 14.....	31
4.15. FRÅGA 15.....	32
4.16. FRÅGA 16.....	32
4.17. FRÅGA 17.....	34
4.18. FRÅGA 18.....	34

#### **5. ÖVERSIKT AV FÖRDELAR, FARHÅGOR OCH RISKER.....** 35

5.1. FÖRDELAR.....	35
5.2. FARHÅGOR OCH RISKER .....	35

#### **6. SLUTSATSER .....** 37

#### **7. FORTSATT FORSKNING .....** 39

#### **8. REFERENSER .....** 41

8.1. REFERENSER .....	41
8.2. ÖVRIG LITTERATUR .....	43

#### **BILAGOR**

##### **A. FRÅGOR SSM**

##### **B. LITTERATURSÖKNINGAR**

## 1. Introduktion

### 1.1. Bakgrund

Som alternativ till släckmedel undersöks nu möjligheten att använda tekniken med låga syrgashalter t ex 15 % för att begränsa uppkomst och spridning av brand i kärnkraftverk. Tekniken är känd och tillämpas inom områden som museer, datorrum etc. (Jensen G. et al 2006) och diskussionen har mycket varit inriktad mot vilken syrgasnivå man kan minska till för att säkerställa brandsäkerhet och ändå kunna erhålla en acceptabel arbetsmiljösäkerhet.

### 1.2. Mål och syfte

Målet med projektet är att presentera ett oberoende expertutlåtande om för- och nackdelar med tekniken med att reducera syrehalten i relä- och kabelutrymmen, baserat på en litteraturstudie. Vidare ska arbetet svara på frågor och farhågor som SSM inledningsvis ställt. Syftet är att öka kunskapen om tekniken med reducerad syrehalt som möjligt skyddssystem i kärnkraftverk.

Projektet skall ses som ett första försök att börja kartlägga/beskriva förhållanden som råder i miljöer vid reducerad syrehalt men det är mycket troligt att mera forskning behöver initieras. Projektet ska också identifiera sådana aspekter på tekniken som inte är tillräckligt väl kartlagda och som behöver utredas vidare i framtida forskningsprojekt.

### 1.3. Frågeställningar

Frågeställningarna som utgör grunden till projektet är sammanställda i bilaga A till denna rapport och de besvaras i kapitel 4. Frågorna skickades till LTH från NBSG genom SSM. De täcker LTHs åsikt om vad som kan vara relevanta problemställningar kring området.

### 1.4. Genomförande

Projektet innehöll tre moment:

1. I det första momentet har LTH utfört en genomgång av den vetenskapliga litteraturen samt eventuella internationella och nationella standarder. En vanlig sökning i vetenskapliga publikationsdatabaser och standardiseringswebsidor genomfördes. Resultatet finns i avsnitt 3.1

2. I det andra momentet undersöktes litteraturen och en sammanställning har gjorts för att presentera resultaten på ett översiktligt sätt, avsnitt 3.2 och 3.4

3. I det sista moment har LTH med det nuvarande kunskapsläget besvarat frågorna från NBSG samt indikerat de områdena där ytterligare undersökningar behövs. Resultaten finns i kapitel 4 och 7.

### 1.5. Begränsningar

Rapporten har ett antal begränsningar på grund av både metod och tidsplan.

Rapporten begränsas till litteratur som hittades via klassiska vetenskapliga publikationsdatabaser och valet av rapporter och standarder som beskrivs i kapitel 3 gjordes av författaren.

Dessutom är svaren på frågorna i kapitel 4 baserade på resultatet av den litteratur som är tillgänglig inom standardiseringsvärlden samt i den vetenskapliga litteraturen. Litteratur från produktsidor eller kommersiella tidningar har inte tagits med. Svaren på de tekniska ämnena baseras även på den befintliga expertisen hos författare.

Ytterligare en begränsning i studien är att några provningar inte har genomförts i denna fas av projektet.

### 1.6. Definitioner

Detta stycke listar definitioner för olika termer i denna rapport som är specifik för detta arbete. För övriga definitioner hänvisas till ISO 13943 (ISO 2008) som är en standard som beskriver definitioner för ISO TC 92 – Fire Safety.

<b>Antändning:</b>	start av förbränning av ett material (gas, vätska eller fast material)
<b>Hypoxic air:</b>	luft där partialtrycket är lägre än på havsnivån d v s luft med lägre volymandel än 21 %
<b>Hypoxic air venting:</b>	system där syrgasreducerad luft förs in i ett utrymme via ventilationssystem
<b>Effektutveckling:</b>	värmeutveckling per tidsenhet av ett material
<b>Tändkällor:</b>	föremål som kan ledda till antändning

### 1.7. Förkortningar

CFD: Computational Fluid Dynamics (strömningsdynamik)

FDS: Fire Dynamic Simulator, CFD-mjukvara från NIST

PRISME: Propagation de l'incendie lors de scénarios multilocaux élémentaires

PAS: Publicly Available Specification

PSA: Probabilistisk säkerhetsanalys

SAR: Safety Analysis Report

## 1.8. Organisationer

BSI British Standardisation Institute, National Standards Body UK.

LTH: Lunds Tekniska Högskola.

NBSG: Nationella Brandsäkerhetsgruppen

NFPA National Fire Protection Association

NIST: National Institute of Standards and Technology, USA

ISO: International Standardisation Organisation

SSM: Strålsäkerhetsmyndigheten (Swedish Radiation Safety Authority)

VdS: Organisation som är en del av Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft e.V. (German Insurance Association, GDV)



## 2. Metod

En litteraturstudie genomfördes där två vetenskapliga publikationsdatabaser användes för att täcka in de internationella vetenskapliga publikationerna. En tydlig avgränsning har gjorts för att enbart beakta artiklar och i förekommande fall rapporter som har genomgått en vetenskaplig granskning, sk peer-review. Anledningen till detta är att säkerställa att enbart underlag med en hög kvalitet används för analysen. Följande två vetenskapliga databaser användes:

- Web of Science (<http://apps.webofknowledge.com>)
- Google scholar (<http://scholar.google.se/>)

För mer allmän information om tekniken med låg syrgashalt användes den vanliga sökmotorn "Google search" som gav information om eventuella artiklar från konferenser, workshops, etc som inte är med i de ovanstående databaserna ([www.google.se](http://www.google.se)).

Som sökord användes "fire", "burning behaviour" i kombination med "hypoxic air", "reduced oxygen", "hypoxic", "hypoxia" för sökning av "hypoxic air"-undersökningen. På begäran av NBSG gjordes även en litteratursökning för brandbeteende vid förhöjt tryck. I detta fall användes sökorden "fire", "burning behaviour" i kombination med "increased pressure".

Utöver användning av sökmotorerna hittades en del andra nyttiga artiklar via referenslistorna i artiklarna som kom fram via de vetenskapliga databaserna.

Resultatet av sökning redovisas i avsnitt 3.1



### 3. Litteraturstudie

#### 3.1. Resultat av litteratursökningen

##### 3.1.1. Hypoxic air

Genomgång av de två databaserna ledde till 27 artiklar (se bilaga B.1 för exempel av resultat av sökning i Web of Science). De flesta artiklarna var kopplade till medicinska aspekter kring hypoxic air. Följande artiklar hade en direkt koppling till projektet:

- COWI rapport av Jensen och Holmberg: Hypoxic air venting for prevention of cultural heritage – contribution cost C17 project. (2006)
- Angerer and Nowak - Working in permanent hypoxia for fire protection– impact on health (2003)
- Burtscher - Short-term exposure to hypoxia for work and leisure activities in health and disease: which level of hypoxia is safe? (2011)
- Küpper et al - Work in Hypoxic Conditions-Consensus Statement of the Medical Commission of the Union Internationale des Associations d'Alpinisme (UIAA MedCom) (2011)

Det kan alltså konstateras att antalet vetenskapligt granskade artiklar är relativt begränsat. Görs en sökning på ”sprinkler” och ”fire” på Web of Science erhålls drygt 300 referenser där det mesta är relevant. Därför behövde en sökning med vanliga icke-vetenskapliga sökmotorer göras för att hitta artiklar som inte är registrerade i peer-review systemet, dvs i de vetenskapliga publikationsdatabaserna. Genom denna sökning och med litteraturlistorna i artiklarna som hittades på detta sätt byggdes en litteraturlista upp som finns i kapitel 8, Referenser. Ett kort citat eller en sammanfattning av de artiklar som var viktiga för att kunna formulera svar på frågorna finns i avsnitt 3.4.

##### 3.1.2. Miljöer med förhöjt lufttryck.

Genomgång av de befintliga vetenskapliga databaserna ledde till 20 artiklar (se bilaga B.2 som ger exempel av resultat av sökning med Web of Science). De flesta artiklarna var kopplade till miljöaspekter. Följande artiklar hade en viss koppling till projektet:

- Joutsenoja T; Saastamoinen J; Aho M; et al Effects of pressure and oxygen concentration on the combustion of different coals (1999)
- Lamont DR; Buckland I; Bettis RJ; et al Fire tests in a compressed air tunnel at up to 3 bar pressure (1998)
- Chapman Kirby S.; Keshavar Ali; Wolfram Kyle, Increasing turbocharged engine operating ranges through use of a booster system (2007)

På samma sätt som för hypoxic air finns det alltså en begränsad mängd information om ämnet. Utöver artiklarna ovan hittades även ett examensarbete från 1966 skrivet av numera Prof. Em. G. Holmstedt, som finns som elektronisk bilaga, och en artikel från Trzeszcynski et al. (1987).



## 3.2. Befintliga tekniska standarder

Nedanstående avsnitt ger en översikt av de viktigaste standarderna. Alla standarder utom provningsstandarderna finns med som en elektronisk bilaga till denna rapport.

### 3.2.1. VdS 3527en (2007)

VdS 3527 är en väldigt detaljerad standard som ger information kring installation, design och driftsspecifikationer av anläggningar med inerta gaser samt reducerad syrgasnivån. Denna standard är därför användbar för system med hypoxic air och innehåller information kring gränsvärde för olika material. Dessutom anger standarden att reducerad syrgas eller hypoxic air som system ska anses som ett system för att förhindra uppkomst av brand och ej som släcksystem. Det ställs också krav på övervakning av syrgasnivå i det skyddade rummet. Dessutom finns kontrollbesiktningskrav i standarden.

Standarden innehåller följande delar:

#### *“1 General*

##### *1.1 Application*

##### *1.2 Targets*

##### *1.3 Definitions*

##### *1.4 Physical units.*

##### *1.5 System specification*

##### *1.6 Protection of life*

##### *1.7 Effectiveness and application*

##### *1.8 Alarm organisation and alarm schedule*

#### *2 Inerting and oxygen reduction targets and methods*

#### *3 Planning of the installation*

#### *4 Distribution pipework*

#### *5 Oxygen concentration monitoring during continuous inerting and oxygen reduction*

#### *6 Alarms and indications*

#### *7 Detection of danger parameters*

#### *8 Control and indicating equipment*

#### *9 Operation of the system*

#### *10 Maintenance*

#### *11 Documentation*

#### *12 Installation, approval and revision*

#### *Annex A 1 – Properties of inert gases*

#### *Annex A 2 – Further applicable regulations, literature*

#### *Annex A 3 – Approval of installation firm, components and system*

#### *Annex A 4 – Oxygen threshold concentrations for explosion protection inerting*

#### *Annex A 5 – Ignition thresholds for oxygen reduction in fire protection*

*Annex A 6 – Pressure relief openings for the enclosure of rooms protected by inert gas*

*Annex A 7 – Example control diagram oxygen reduction.” (VdS 2007)*

### 3.2.2. BGR 104 BG-Regel Explosionsschutz-Regeln (2007)

Dokumentet refereras till i VdS 3527 och innehåller gränsvärden och regler för explosionsskydd. Dokument är främst lämpligt för användning om det skulle uppträda risker för explosion i utrymme där man vill använda tekniken med sänkt syrgashalt.

### 3.2.3. PAS 95:2011 (2011)

Denna skrift är relativt nyligen publicerad och är ett arbete inom brittisk standardiseringen och betecknas som ”Publicly Available Specification (PAS)”.

Målsättningen med standarden eller specifikationen är att:

*”This Publicly Available Specification (PAS) specifies requirements for the design, installation, testing and maintenance of hypoxic fire prevention systems in occupiable spaces. This PAS defines the limits of use of such systems. This PAS is not applicable for fire-extinguishing systems covered by the BS EN 15004 series.*

*This PAS does not specify for full fire risk assessment” (BSI 2011)*

Specifikationen är fokuserad på hypoxic air system och beskriver följande detaljer (innehållsförteckning):

- 1 Scope*
- 2 Terms and definitions*
- 3 Use and limitations*
- 4 System design*
  - 4.1 Planning*
  - 4.2 Provisions*
  - 4.3 System specification*
  - 4.4 Control panel*
  - 4.5 Design oxygen concentration level*
  - 4.6 Indoor air climate*
  - 4.7 Flushing*
  - 4.8 Monitoring*
  - 4.9 Data retention*
- 5 Installation, testing and maintenance*
  - 5.1 Installation*
  - 5.2 Testing*
  - 5.3 Documentation*

#### 5.4 Operation, maintenance and servicing instructions

##### *Annexes*

*Annex A (informative) Hypoxic fire prevention concept*

*Annex B (normative) Ignition-limiting oxygen threshold testing*

*Annex C (informative) System specification: graphical representations*

*Annex D (informative) Health and safety: working in hypoxic environments*

*Annex E (informative) Servicing*

*Bibliography (BSI 2011)*

Denna specifikation är framtagen av BSI med hjälp av industriella aktörer (listan finns i standarden). En PSA är inte en brittisk standard men en specifikation som behövs inom industrin och när man har för avsikt att senare publicera en BS eller europeisk eller internationell standard.

Specifikationen innehåller det mesta av informationen för att göra en design av ett system.

#### 3.2.4. NFPA 2001: Standard on Clean Agent Fire Extinguishing Systems (2012)

NFPA 2001 har följande målsättning:

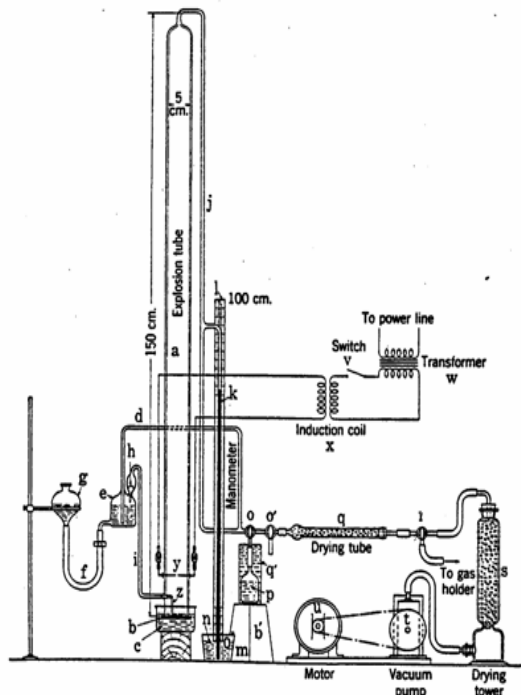
*Scope: This standard contains minimum requirements for total flooding and local application clean agent fire extinguishing systems. It does not cover fire extinguishing systems that use carbon dioxide or water as the primary extinguishing media, which are addressed by other NFPA documents. (NFPA 2012)*

Denna standard ger en del referenser till olika syrgashalter som krävs för att få en säker släckning. Tydligen har man försökt introducera hypoxic air systemet i denna standard men det bestämdes vid senaste revideringsmöte 2010 att inte inkludera FIREPass systemet i standarden (NFPA 2010). Trots det kan man använda metoderna i standarden som riktlinjer för att bestämma risken för fortsatt brand av materialen i s.k. Class A och B. För Class A refereras till listorna enligt UL 2127 eller UL 2166 eller ekvivalenta metoder (sidan 16) För Class B refereras till ”cup burner test” som beskrivs i annex B av NFPA 2001. Referenser till lägsta syrgasnivåer ligger under de som normalt anges som normala för sk hypoxic air-system.

#### 3.2.5. Provningsmetoder för egenskaper av bränsle vid ändrade syrgashalter

Detta avsnitt sammanfattar ett antal metoder som nämns i de olika tekniska standarderna för att bestämma gränsvärdena för antändning vid reducerade syrgashalter.

För gaser finns ett antal bra uppslagsverk för att få en indikation av gränsvärden och metoder som t ex US Bureau of Mines utrustning som nämns t ex i Fire Dynamics (Drysdale 1998) och som illustreras nedan i Figur 1.



Figur 1 Utrustning från US Bureau of Mines (anpassad efter Drysdale 2008)

För vätskor refereras ofta till t ex open cup metoden som tas upp i annex B av NFPA 2001 (NFPA 2012), Annex B av PAS 95:2011 (BSI 2011) och annex A5.2 av VdS 3527 (VdS 2007).

För fasta material som cellulosabaserade material (papper, wellpapp, trä, etc) och plaster (termoplaster och hårdplaster) finns följande alternativ utöver de metoder som även nämns i Annex B av PAS 95:2011 (BSI 2011) och annex A5.2 av VdS 3527 (VdS 2007). Anledningen att lista fler metoder är på grund att man även ska undersöka antändningsegenskaper vid olika strålningsnivåer och dessutom behöver man få information om värmeutveckling, rökproduktion och innehållet av rök i de fall man väljer syrgasnivåer som ändå kan leda till antändning av ett material.

- Konkalorimeter enligt ISO 5660 del 1 (ISO 2002) inbyggd i ett skåp eller box där man kan styra syrgasnivån, se Figur 2



Figur 2 ISO 5560 part 1 utan inbyggt skåp runt kon kalorimeter (bild FTT, med tillstånd av FTT)

- Tewarsonapparaten som utvecklades av FM och som är internationellt standardiserad som ISO 12136 Fire Propagation Apparatus (ISO 2011) och som visas i Figur 3.



Figur 3 Tewarsonapparaten (bild FTT, med tillstånd av FTT)

- Material som är UL-listat enligt NFPA 2001 (UL 2127 eller UL 2166) (NFPA 2012)

### 3.3. Föreskrifter

#### 3.3.1. Arbetsmiljöverkets författningssamling AFS 1993:3 (1993)

Citat från AFS 1993:3 kring regler av arbete i slutna utrymme:

*"3.1 Bedömning av färosituationen*

*Halten av syre i luften på arbetsplatsen bör vara mellan 20 och 22 volymprocent."*

I AFS finns inga speciella föreskrifter för s.k. hypoxisk miljö. I normalfallet förutsätts att lokaler med lägre syrenivåer kan normaliseras innan personer går in i dessa.

### 3.4. Sammanfattning av viktiga forskningsrapporter och artiklar

I detta avsnitt sammanfattas kort en del viktiga rapporter och artiklar.

### 3.4.1. Examensarbete Berg och Lindgren Rapport 5144: Fire prevention and Health Assessment in Hypoxic Environment.

Examensarbete genomfördes på uppdrag av Buro Happold Fedra och sammanfattningen av examensarbete är:

*"Hypoxic environment är en teknik där syrekonzentrationen konstant är reducerad i ett utrymme. Syftet med tekniken är att förebygga bränder och om brand skulle uppstå reducera risken för brandspridning. Reducerad syrekonzentration innebär att mindre syre och mer kväve finns tillgängligt för en brand, men också mindre syre för att andas. Det finns många fördelar med reducerad syrekonzentration i ett utrymme, men riskerna med tekniken måste undersökas, speciellt när människor vistas i utrymmet.*

*Det huvudsakliga syftet är att undersöka om konstant reducerad syrekonzentration är en genomförbar brandförebyggande metod i utrymmen där människor vistas. Syftet är också att undersöka vilka risker som finns med tekniken och vilka utrymmen som är bäst lämpade för denna teknik.*

*Fyra viktiga områden studeras; brands beteende, hälsoeffekter, management och säkerhetsrisker. Genom att reducera syrekonzentrationen så kommer sannolikheten för antändning och förbränning att minskas eller till och med att elimineras. Syrekonzentrationen är dock inte den enda parameter som förebygger brands uppkomst. Olika material, parametrar och experiment analyseras och diskuteras för att öka förståelsen för brands beteende i reducerad syrekonzentration. En lägre syrekonzentration kommer att innebära hälsorisker för människor. Dom individuella skillnaderna är betydande och människor drabbas av symptom vid olika syrekonzentrationer. Symtomen är både beroende på syrekonzentrationen och på exponeringstiden. Sannolikhets samband studeras i rapporten, vilket illustrerar sannolikheten för brands uppkomst och sannolikheten för negativa effekter på hälsan. Detta ger grundläggande kunskaper som kan användas när den sammanvägda risken mellan brand och hälsa ska bedömas.*

*Management är väldigt viktigt i ett utrymme med reducerad syrekonzentration och därför är det nödvändigt att detta diskuteras. Om reducerad syrekonzentration ska fungera så optimalt som möjligt så kan det vara nödvändigt att förbjuda inträde av vissa brännbara ämnen, minimera antändningskällor etc. Säkerhetsrisker studeras och analyseras för att förstå vikten av en säker och tillförlitlig teknik.*

*Scenarios har skapats och analyserats, vilket har gjort det möjligt att förstå problemen och möjligheterna med reducerad syrekonzentration i ett utrymme. Olika objekt och verksamheter behandlas för att förstå vilka utrymmen och populationer som kan vara lämpliga för reducerad syrekonzentration. En lämplighetsmodell har utvecklats som ska underlätta beslutet och illustrera komplexiteten av lämpligheten hos olika objekt.*

*Reducerad syrekonzentration i ett utrymme är en unik metod, där syftet är att förebygga bränder. Teorin bakom reducerad syrekonzentration är enkel men användningen av tekniken är förknippad med risker, som bör minimeras. Reducerad syrekonzentration är inte lämpad för alla användningsområden, men verkar vara en bra brandförebyggande åtgärd för vissa tillämpningar. Den svåraste bedömningen är att veta när människor drabbas av olika symptom. Reducerad syrekonzentration är möjlig i obemannade utrymmen och där kan syrekonzentrationen väljas utan hänsyn till hälsan. Syrekonzentrationen bör dock väljas så att sannolikheten för antändning blir minimal. Ett publikt utrymme är*

*en plats där hälsostatusen hos individerna är okänd. Eftersom det är omöjligt att kontrollera människors hälsa i dessa utrymmen, så är det inte möjligt att reducera syrekonzentrationen tillräckligt mycket för att förebygga bränder. Reducerad syrekonzentration är också möjlig för icke-publika utrymmen om vissa restriktioner följs med hänsyn till hälsoaspekterna.*

*Ett stort problem med reducerad syrekonzentration är när en brand faktiskt uppstår i utrymmet. En brand är fortfarande möjlig, även om sannolikheten för en brand är avsevärt reducerad. Detta framhäver behovet av ett detektionssystem med hög känslighet samt brandsläckare och annan brandsäkerhetsutrustning. Den designade syrekonzentrationen bör väljas som en kompromiss mellan brandrisk och hälsorisk. Slutsatserna kan sammanfattas genom att säga att minskade brandrisker kan köpas på bekostnad av ökade hälsorisker.” (Berg och Lindgren 2004)*

Arbetet presenterar en uttömmande lista med referenser och litteratur inom området och ger en bra översikt av för- och nackdelar med tekniken samt har en riskbaserad jämförelse mellan lösningar med olika syrgashalter. Systemets effektivitet vid glödbränder diskuteras och det konstateras att normalt kan glödbränder förekomma vid syrehaltnivåer där bränder med öppen låga inte kan förekomma.

#### 3.4.2. COWI rapport av Jensen och Holmberg: Hypoxic air venting for prevention of culturale heritage – contribution cost C17 project (Jensen et al 2006).

Rapporten är en del av ett EU COST C17-projekt och beskriver tillämpningen av tekniken för historiska byggnader. Det finns både en beskrivning av tekniken, regler, påverkan på det kulturella arvet och ett antal fallstudier. Rapporten ger en bra bild av möjligheter och fördelar av tekniken, utmaningar, tekniska detaljer, hälsoeffekter och applikationsområden. Arbetet har även varit underlag till PAS95:2011 (BSI 2011) där företaget var med i utveckling av specifikationen.

Fördelarna anges i nedanstående citat (Tabell 1).

1	Prevents ignition ( <i>in contrast to gas extinguishing systems</i> )	<b>Yes</b> Retards smouldering combustion as well
2	Prevents smoke release prior to fire extinguishing ( <i>in contrast to gas extinguishing systems</i> )	<b>Yes</b>
3	Prevents backdraught ( <i>in contrast to gas extinguishing systems</i> )	<b>Yes</b> The limited concentration holding time of <i>extinguishing gas</i> systems allow for reignition or smouldering; may cause backdraught
4	Fully benign to environment ( <i>in contrast to halon and other gas extinguishing systems</i> )	<b>Yes</b>
5	Not toxic, no residue, no added risk of corrosion	<b>Yes</b>
6	Allows considerable room air leakage ( <i>in contrast to gas extinguishing systems</i> )	<b>Yes</b> Energy costs prohibit large leakage application however.
7	Allows open doors for rescue of artefacts, manual intervention, evacuation ( <i>in contrast to gas extinguishing systems</i> )	<b>Yes</b>
8	Do not have limited extinguishant reservoirs ( <i>in contrast to gas extinguishing systems</i> )	<b>Yes</b>
9	No refilling, transport or resetting issues following incidents	<b>Yes</b>
10	Applicable to small vital rooms and vaults	<b>Yes</b>
11	Applicable to very large room volumes ( <i>galleries or multi-storey, multi-room historic buildings</i> )	<b>Yes</b>
12	Applicable to moderately leaky historic rooms where fixed permanent seals are not acceptable	<b>Yes</b> Energy consumption prevents economical applications if very leaky. Imminent next generation membrane separators are expected to be more energy-efficient.
13	Applicable to protection of artefacts which are extremely sensitive to smoke, particles, water, corrosive gas or mechanical impact	<b>Yes</b>
14	The inherent simplicity promises high reliability.	<b>Yes</b>
15	No installation of nozzles, pipes etc in protected room (when inert air generators are integrated in new or existing air conditioning systems)	<b>Yes</b> Nitrogen feed systems require greater complexity in control systems.

Tabell 1 Fördelar av tekniken (citerad tabell från Jensen et al 2006)

Utmaningar listas i Tabell 2:



### Challenges posed by inert air systems

A	Health risk for predisposed individuals in <i>public</i> spaces	<b>Yes</b> Yet, inert air public applications found acceptable when visitors are inform-ed and access controlled as for entering aircrafts.
B	Some fuels in special spaces like laboratories may require suppression mode and evacuation.	<b>Yes</b>
C	Secondary effects of continuous high concentration of nitrogen on fungus or other biological processes thriving by nitrogen.	<b>No evidence</b> No substantial research to neither support nor discount.
D	Nitrogen feed systems may cause uneven oxygen levels and require more complex systems to ensure inert air mix, especially in multi-room applications.	<b>Yes</b>
E	Power consumption may cause high energy costs.	<b>Yes</b> Especially if room is very leaky in the normal state. Imminent next generation membrane separators are expected to be more energy-efficient.

Tabell 2 Utmaningar för system (citerad tabell från Jensen et al 2006)

- 3.4.3. MSc thesis Chiti – COWI rapport 01/2010: Test methods for hypoxic air prevention systems and overall environmental impact of applications (Chiti 2010)

Arbete är en COWI-rapport men är faktiskt ett MSc arbete av Stefano Chiti (Chiti 2010) vid universitet i Modena, Italien och innehåller utöver en allmän information om metoden även utveckling av en testmetod, som genomförs i ett rum av drygt 10 m<sup>3</sup>, för att bestämma kritiska värden och förhållanden i testrummet. Metoden använder en pilotlåga som tändkälla. På ett sätt är arbete unikt då det är en av få vetenskapliga publikationer där experimentella data är tillgängliga från prov med olika produkter och där mätningar av fördelningen av syrgashalten genomfördes. Testmetoden tas senare upp i PAS 95:2011 (BSI 2011).

- 3.4.4. Chiti: HYPOXIC AIR TECHNOLOGY FIRE PROTECTION TURNS – International Workshop on fire safety and management, Oman 2011 (Chiti 2011)

Denna artikel är ett nyligen publicerat bidrag till en workshop om arbete och statusläget för den tekniska utvecklingen av metoden. Slutsatserna sammanfattar innehållet av artikeln och återges nedan:

*"Hypoxic air technology is based on a continuous reduction of the oxygen in the protected enclosure in order to limit the oxygen availability to the combustion process: typically a small amount of the oxygen in the air is replaced with nitrogen. Hypoxic air is safe to breathe in rooms for extended occupation, but prevents fire ignition.*

*Hypoxic air technology has demonstrated to be suitable especially for enclosures where a fire would cause unacceptable damages or for enclosures where the installation of a traditional firefighting system would pose problems. It is investigated the effect of low oxygen concentrations on the combustion process by a*

*literature survey of the existing pertinent resources. It is explored borderline performances of hypoxic air systems by means of a test series which included reference tests of known ignitable specimens as well as new materials, configurations and applications.*

*An overview on hypoxic air functions, operations, applications and its combined use in buildings for fire prevention, preservation of objects, food conservation, training and health is given.*

*A life cycle assessment analysis is made on hypoxic air systems versus conventional gas extinguishing systems to explore hypoxic air as "environmentally friendly" (Chiti 2011)*

#### 3.4.5. Artikel om hälsoaspekter från Angerer and Nowak: Working in permanent hypoxia for fire protection–impact on health (Angerer et al 2003)

Artikeln refereras till i flera publikationer bl a PAS 95:2011 (BSI 2011) och är en litteraturstudie av ämnet i medicinska peer review-databaser med syfte att identifiera och kartlägga korttidseffekter och hälsoeffekter för personer som arbetar i utrymmen med hypoxic air.

Resultaten av studien kan sammanfattas i följande citat:

*"Oxygen reduced to 15% and 13% in normobaric atmospheres is equivalent to the hypobaric atmospheres found at 2,700 and 3,850-m altitudes. When acutely exposed, a healthy person responds within minutes to hours with increased ventilation, stimulation of the sympathetic system, increased heart rate, increased pulmonary-circulation resistance, reduced plasma volume, and stimulation of erythropoiesis. Acute mountain sickness occurs frequently at these oxygen partial pressures, but the full syndrome is rare if continuous exposure is limited to 6 h. Mood, cognitive, and psychomotor functions may be mildly impaired in these conditions, but data are inconclusive. Persons suffering from cardiac, pulmonary, or hematological diseases should consult a specialist in order for their individual risk to be assessed, and medical screening for any of these diseases is strongly recommended prior to exposure" (Angerer et al 2003)*

I slutsatserna konkluderar de att en arbetsmiljö ner till 13% syrgas innebär en liten hälsorisk efter akuta symptom som är övergående. Referensen rekommenderar att personer som ska vistas i miljö med reducerad syrehalt genomgår en hälsoundersökning då risken för hälsoeffekter är större för personer med t ex hjärtsjukdomar. Dock påpekar de att informationen är begränsad när personerna har vissa sjukdomar eller utför krävande eller påfrestande uppgifter som kan läsas in nedanstående citat:

*"Preliminary evidence suggests that working environments with low oxygen concentrations to a minimum of 13% and normal barometric pressure do not impose a health hazard, provided that precautions are observed, comprising medical examinations and limitation of exposure time. However, evidence is limited, particularly with regard to workers performing strenuous tasks or having various diseases. Therefore, close monitoring of the health problems of people working in low oxygen atmospheres is necessary" (Angerer et al 2003)*

- 3.4.6. Artikel av Burtscher et al: Short-term exposure to hypoxia for work and leisure activities in health and disease: which level of hypoxia is safe? (Burtscher et al 2011)

Burtscher et al drar följande slutsatser i sin studie som påpekar riskerna med att det finns stora variationer i effekterna:

*”Available data from peer-reviewed literature report adaptive responses even to altitudes below 2,000 m or corresponding normobaric hypoxia ( $FiO_2 > 16.4\%$ ), but they also suggest that most of exposed subjects without severe preexisting diseases can tolerate altitudes up to 3,000 m ( $FiO_2 > 14.5\%$ ) well. However, physical activity and unusual environmental conditions may increase the risk to get sick. Large interindividual variations of responses to hypoxia have to be expected, especially in persons with preexisting diseases. Thus, the assessment of those responses by hypoxic challenge testing may be helpful whenever possible ” (Burtscher et al 2011)*

- 3.4.7. Küpper et al: Work in Hypoxic Conditions-Consensus Statement of the Medical Commission of the Union Internationale des Associations d'Alpinisme (UIAA MedCom) (Küpper et al 2011)

Denna artikel är viktig eftersom den indikerar hälsorisker vid höga höjder och utgör en sammanställning av en internationell konsensus och refererar bl a till artikeln av Angerer et al (2003) som presenterades ovan. Küpper et al. (2011) sammanfattar arbetsförhållande vid nedsatt syrgasnivån som uppträder vid arbete på högre höjder. Artikeln refererar också till arbete i utrymme som har låg syrgashalt av brandsäkerhetsskäl och där konstateras att en nivå ner till 13% för friska personer kan utgöra en gräns (tabell 2 i artikeln, se reproducerad Tabell 4 nedan).

Följande citat refererar till arbete i rum med hypoxic air:

*“In some special circumstances, there are some employees exposed to equivalent altitudes between 2700 and 3800 m in rooms for fire protection. This situation is limited by the duration of exposure to a maximum of a few hours, often for, 60 min. As for any room equipped with hypoxia systems for fire protection, these employees can leave immediately at any time and with plenty of time (see Table 1) if they do not feel well. Nevertheless, any break should be spent outside of the hypoxic area (e.g. lunch).” (Küpper et al 2011)*

Tabell 1 och 2 från deras artikel finns nedan som Tabell 3 och Tabell 4.

Table 1. Atmospheric conditions according to ICAO standard atmosphere (Ruff and Strughold, 1944) and the time of useful consciousness for non-acclimatized persons (Amsler, 1971; Ernsting and King, 1994), which can be used to 'escape' from hypoxia if any health problem should arise. *Note:* There is no limitation of the time of useful consciousness up to 5000 m or 11.1% O<sub>2</sub>, respectively. For corresponding O<sub>2</sub>%, see also Fig. 1

(Corresponding) Altitude (m)	Atmospheric pressure (mm Hg)	pO <sub>2</sub> (mm Hg)	%O <sub>2</sub> , isobaric conditions, and sea level	Time of useful consciousness
0	760.0	158.8	20.9	No limitation
500	716.0	149.6	19.7	
1000	673.8	140.8	18.5	
1500	634.0	132.5	17.4	
2000	596.0	124.6	16.4	
2500	560.0	117.0	15.4	
3000	525.8	109.9	14.5	
3500	493.0	103.0	13.6	
4000	462.0	96.6	12.7	
4500	432.6	90.4	11.9	
5000	404.8	84.6	11.1	
5500	378.6	79.1	10.4	>30 min
6000	353.6	73.9	9.7	
6500	330.0	69.0	9.1	
7000	307.8	64.3	8.5	3–5 min
10 500	183.0	38.2	5.0	~1 min
12 900	123.5	25.8	3.4	15–30 s

Tabell 3 Tabell 1 citerad från Küpper et al (2011)

Table 2. Characteristics of the types of altitude or hypoxia exposure

Group	Typical (equivalent) altitude and % O <sub>2</sub> (isobaric conditions)	Typical duration of exposure	Typical risk
Extreme short exposure (aircrafts, cable cars, skiing, road traffic, and fire protection rooms)	1800–2600 m, 18–15%	Minutes to some hours	Pressure changes (persons with infection of the upper airways) No risk by hypoxia for any person who does not have severe cardiopulmonary illness
	2600–3800 m, 15–13%		No risk for healthy persons
Limited exposure	2000–3000 m	Days to weeks	AMS if the unacclimatized person sleeps at this altitude Beside AMS, there is normally no risk to any person who does not have severe cardiopulmonary illness (HAPE is extremely rare at this altitude)
Expatriates	3000–4500 m	Years	HAPH Insufficiency of the right ventricle CMS (Monge's Disease)
Altitude populations	>3000 m	Several generations	CMS (see above) Re-entry pulmonary oedema

Tabell 4 Tabell 2 citerad från Küpper et al (2001)

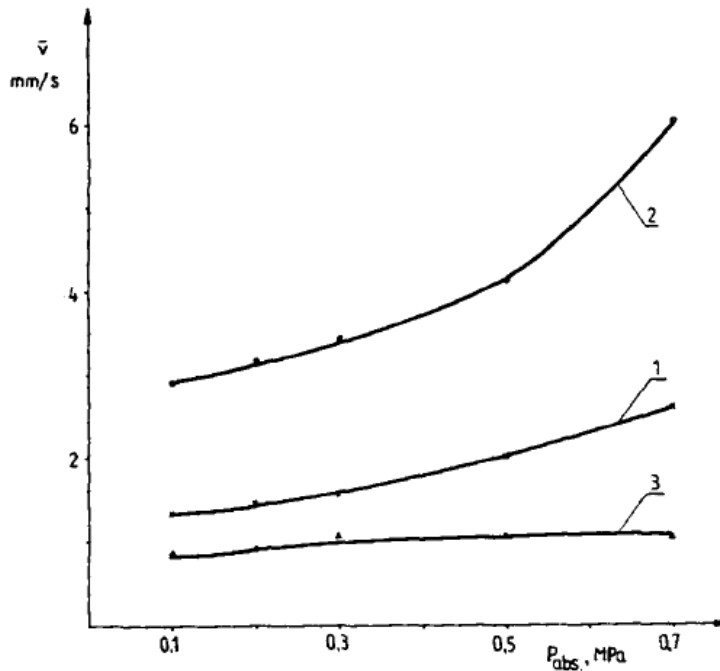
#### 3.4.8. Artikel om brandbeteende i tunnlar med förhöjt tryck från Lamont et al: Fire tests in a compressed air tunnel at up to 3 bar (Lamont et al 1998)

Den fullständiga artikeln fanns inte tillgänglig vid sökning men sammanfattningen från Web of Science är följande:

*"Standardised test fires and fires involving materials commonly found in tunnels under construction were carried out at pressures of up to 3 bar gauge. The results confirmed that flame temperature, maximum heat release and flame spread rate all increased with pressure. The proportion of carbon monoxide in the smoke reduced with increased pressure." (Lamont et al 1998)*

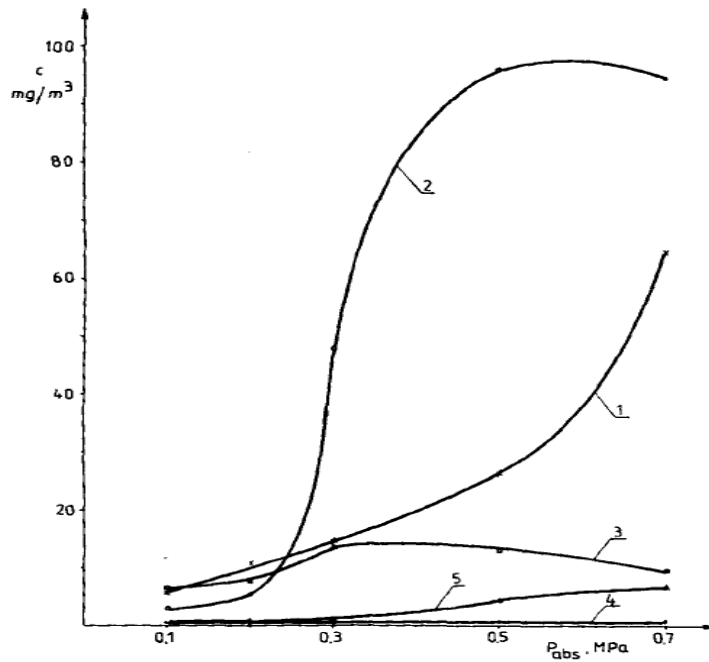
3.4.9. Artikel av Trzesczynski et al: Influence of pressure on combustible and toxic properties of materials. (Trzesczynski et al 1987)

Artikel behandlar resultat av brandförsök med ett antal material i en tryckkammare. För vissa material finns en tydlig ökning av flamspridningshastigheten men effekten är inte entydig och det finns en variation i beteendet mellan olika material. Artikeln redovisar även mängden av gaser som produceras som funktion av trycket. För t ex ulltyg är ökningen av HCN väsentlig, se Figur 4 och Figur 5.



**Figure 2.** Average flame spread velocity as a function of air pressure in the test chamber. 1 Plywood, 2 Wool fabric, 3 Metaplex.

Figur 4 Flamspridningshastighet för olika tryckförhållande och material (reproducerad från Trzesczynski et al 1987)



**Figure 4.** Variations of hydrogen cyanide concentrations versus air pressure in the chamber. 1 Plywood, 2 wool fabric, 3 Unitam, 4 phthalic paints composition, 5 Metaplex.

Figur 5 Produktion av HCN för olika tryckförhållande och material (reproducerad från Trzesczynski et al 1987)

#### 3.4.10. Examensarbete Holmstedt och Malmberg: Explosions och brännbarhetsvillkor i en övertryckskammare (Holmstedt och Malmberg 1966)

I ett examensarbete genomfördes en serie med försök vid temperaturer mellan 10 °C och 40 °C och från 1 bar upp till 15 bar. Syftet var bl a att klargöra brandrisker i den miljö som förekommer i övertryckskammare för kliniskt bruk. Även här finns information kring brandbeteende vid förhöjt tryck.



## 4. Svar till frågorna av SSM

### 4.1. Fråga 1

SSM fråga 1 avseende: Vid icke homogen blandning av syre och kväve (ej inom rekommenderade syrehalten 15  $\pm$  0,5%), ska då;

- Normal syrenivå antas i säkerhetsanalyser
- Rummet förklaras icke driftklart
- Krav på mätning av syre och kvävehalter
- Vilken bör tätheten på instrument vara
- Krav på omblandning i större utrymmen
- Trenduppföljning med data från instrument i syrereducerade rum
- Riskbilder detta kan ge.

#### Svar:

Om man följer t ex VdS 3527 (VdS 2007) eller PAS 95:2011 (BSI 2011) då finns det tydliga krav på hur man ska följa upp koncentrationen i rummet och att man ska bevaka det via mät- och larmsystem. Procedurer finns hur man ska mäta tätheten och läckage i rummet, t ex ISO 16000-8:2007 i PAS 95:2011 (BSI 2011). Däremot är information hur man kan avgöra att koncentrationen är jämt fördelad i rummet inte lika bra beskriven. Detta kan vara ett problem vid större utrymmen eller dolda utrymmen såsom installationsgolv och inneslutna kabelstegar och det finns tydliga krav i VdS 3527 (VdS 2007). Dock framgår inte detaljerad information om i vilka punkter övervakning ska ske utan det hänvisas till att detta ska avgöras från fall till fall.

Kraven på läckage och omblandning beror även på vilka av de tekniska lösningarna man använder: trycksättning av rummet, undertryckssystem eller system med genomflöde kopplat till det vanliga ventilationssystemet. Så minimikrav är att man följer minst de högsta kraven i antingen PAS 95:2011 (BSI 2011) eller VdS 3527 (VdS 2007). En fördjupad analys bör dock genomföras för att gå igenom dessa i detalj och med utgångspunkten att systemen ska användas i kärntekniska sammanhang.

Det är viktigt att nämna att reduceringen av syrehalten till 15% ger en förbättrad situation med tanke på antändning och eventuell flamspridning dock är det inte jämförbart med ett inerterande gassläckssystem. Vidare finns det lite information kring sot och rökutveckling vid lägre syrgashalter. Det finns fortfarande en möjlighet att brand både uppstår och utvecklas även om denna möjlighet är reducerad i jämförelse med en miljö med normal syrehalt.

Dessutom måste man beakta fallet då en sänkt syrgashalt inte kan uppfyllas t ex vid underhåll av systemet eller oönskat bortfall av systemet. I det läget kommer rummet inte att ha något skydd om inte tanken med redundanta system finns. Dessa situationer måste ingå som en del i den riskanalys som ska göras med hänsyn till brand. Faktorer som kan ingå i ett redundant system är back-up-funktioner och tydliga organisatoriska åtgärder som ska vara beskrivna i en



brandskyddsdocumentation och i de rutiner för brandskydd som finns på anläggningen.

## 4.2. Fråga 2

SSM fråga 2 avseende: Tändkällor eller brandstiftare i relärum och kabelrum

- De mest troliga
- eller transienta källor

### Svar:

Som tändkällor inkluderas i detta svar enbart de s.k. primära tändkällorna dvs de som utgör första orsak till att en komponent brinner. Som tändkälla listas inte de föremål som sedan antänds och brinner och kan leda till en utveckling av branden, t ex papperskorgar (sekundära tändkällor).

Tändkällor i relärum och kabelrum beror väldigt mycket på vilka material och system det finns i rummen och hur dessa är placerade. Förekomsten av tändkällor måste tas fram från fall till fall för de utrymmen där man vill använda tekniken och då som en del i riskanalysen och genom inventeringen. Mest troligt är att tändkällan är relaterad till elektriska orsaker såsom värmeutveckling i kablar och komponenter eller elektriska överslag i kablar eller komponenter. Viktiga faktorer för att avgöra möjligheten för antändning är bl a vilka spänningar (låg, medel, högspänning), vilka typer av kablar, elektroniska komponenter, fläktar för kylning, etc som finns i lokalen. Kortslutning, överbelastning, statisk elektricitet är ytterligare exempel på orsaker som kan leda till brand. Möjliga andra tändkällor kan ha mekaniska orsaker (överhettning av rörliga delar och gnistbildning) t ex vid användning av skärande maskiner. Mer information kring tändkällor och hur man tar hand om dem i en riskanalys finns i utkast till NUREG/CR-7114 (Nowlen et al 2011).

I samband med vissa reparationer kan heta arbeten förekomma där s k varma verktyg (lödverktyg, svetsar och liknande) används vilka, om de används ovarsamt, kan leda till brand.

Transienta tändkällor kan i värsta fall uppträda genom att någon medvetet använder tändstickor eller liknande för något ändamål eller i värsta fall kan anlagd brand i samband med antagonistiska hotbilder utgöra en tändkälla.

## 4.3. Fråga 3

SSM fråga 3 avseende: Bränslen (materialen) i relärum, kabelrum

- Kartbild av brännbara material i relärum, kabelrum
- Kritiska mängder av dessa
- Sortering av material i materialklasser (fasta, flambara fasta och vätskeformiga, flambara gaser)

**Svar:**

Bränslen i relärum, kabelrum ska genom riskidentifiering kartläggas både avseende plats och mängd. Mängden bränsle är kanske inte så viktigt för själva antändningsrisken vid lägre syrgashalter men kan dock vara avgörande för en eventuell brandspridning om en syrgashalt högre än släckgränsen används (Xin och Khan 2007 b).

Material ska i kärntekniska sammanhang klassas i materialklasser d v s fasta (i huvudsak brännbara) material, vätskor, gaser och elektronisk utrusning enligt följande:

- brandklass A (vanligt förekommande brännbara organiska material)
- brandklass B (brännbara vätskor, gaser, mm)
- brandklass C (spänningssatt el- och elektronikutrustning)

Material som är vanligt närvarande i utrymmet ska listas, men även de eventuella transienta bränsle som tas med vid underhåll och besök av utrymmet ska listas.

Själva riskidentifieringen kommer att ge en komplett lista men som exempel av brännbara material kan följande typiska produkter nämnas:

- Kabelmaterial (isolering, mantel, fyllnadsmaterial som används för kablar)
- Material som används i elektroniska komponenter (kretskort, kontakter, etc.)
- Material som används för elskåp (isoleringmaterial).
- Material i belysning (plastkomponenter, kondensatorer)
- Material i filter
- Tillfälligt förekommande (transienta) bränslen som papper, skräp, elutrustning för underhåll, kläder, etc

Brännbara vätskor kan vara olja, smörjmedel, lösningsmedel som både kan förekomma permanent och transient.

Gasformiga bränslen kan förekomma men är beroende på riskbilden och det är svårt ge ett generellt svar på frågan.

Elektronisk utrusning är bl a kontakter, kondensatorer, kretskort, motorer, etc.

#### 4.4. Fråga 4

SSM fråga 4 avseende: Antändningsförlopp (oxidationsförlopp) i olika bränslen i relä- och kabelrum, vid olika syrehalter

- 14-16%
- 16-18%
- 18-21%

**Svar:**

Data finns för vissa material. För kritiska värdena för material vid olika syrgashalter är dock informationen väldigt material- och produktberoende och är inte del av de vanliga klassificeringarna. Data är tillgänglig i litteraturen för generiska material som olika sorters plaster, t ex polypropen, PVC (t ex via oxygen index metoden (Isaacs 1969) eller (Xin, Khan 2007a)) men inte för specifika kablar eller elkompnenter. Mycket information om brandbeteende finns tillgänglig via t ex Euroklasser, UL-metoder, FM-metoder etc. men de är alla vid rumstemperatur och vanliga syrgashalter. Här behövs mer underlag för att generalisera och ge rekommendationer vid val av produkter.

## 4.5. Fråga 5

SSM fråga 5 avseende: Traditionella redundanta konstruktionslösningar som kan/bör krävas, då syrereducering i rum är huvudlösningen

- Vid läget ”driftsatt” och läget ”ej driftsatt”.
- Vid Ej driftsatt, görs bl.a. tester och prover.

**Svar:**

Redundanta system kan vara både andra släcksystem, manuella eller automatiska och ska vara del av det normala brandskyddsarbetet. Exempel på system kan vara ett kompletterande inertgassystem eller vattenbaserat system (sprinkler eller vattendimma) som är kopplat till ett detektionssystem. Både VdS 3527 (VdS 2007) och PAS 95:2011 (BSI 2011) tar upp behovet av redundans.

Själva hypoxic air kan användas som ett släcksystem genom att tillföra extra kväve eller ytterligare minskning av syrgashalten genom det befintliga systemet (beroende på tekniska lösningen). Sådana åtgärder kräver dock skyddsåtgärder för personsäkerheten dvs så att ingen personal är kvar i utrymmet när man slår på släcksystemet för ytterligare inertering och riskanalys får avgöra om behov av redundans är tillräcklig.

Extra krav på detektion och övervakning kan vara nödvändigt. Bara för att syrehalten minskas till 15% vilket generellt sett minskar risken för antändning innebär det inte att alla material uppvisar denna gynnsamma effekt (se t ex VdS 3527). För dessa fall behövs extra skyddssystem.

Även redundans för själva systemet för hypoxic air är viktigt speciellt om man använder ett system som tar bort syrgas ur luften. Om detta system ej fungerar kommer vanlig luft att ledas in i rummet i stället för hypoxic air.

## 4.6. Fråga 6

SSM fråga 6 avseende: Kartläggning av inträffade bränder (erfarenheter) och brandrisker i syrereducerade utrymmen

- Dominerande brandtyper för material x, y, z
- Värmestrålning från olika material och kritiska avstånd till närliggande komponenter
- Brandspridning och barriärbrott
- Påverkan av rök och sot på känslig utrustning

**Svar:**

Information om och kartläggning av inträffade bränder och brandrisker i syregasreducerade miljöer är nästan obefintlig i litteraturen och skulle behöva en mer omfattande litteraturstudie än vad som är möjlig i detta projekt. Eftersom systemen är ovanliga finns det relativt lite information t ex om tillförlitlighet. Men generellt sett hanteras brandrisker i syrereducerade utrymmen på samma sätt som i en traditionell riskanalys. Då underlaget är knapphändigt kan det finnas skäl att göra en mer omfattande undersökning kring erfarenheter av systemen med reducerad syrehalt samt brandbeteende av material/produkter (rök, sot, farliga gaser, antändning, effektutveckling) vid lägre syrehalt.

#### 4.7. Fråga 7

SSM fråga 7 avseende: Hur kan nya Kvalitetsmanualen tillämpas praktiskt i denna sakgranskning:

- Kvalitativt och kvantitativt
- Vilka steg bör krävas bli redovisade
- Definition av eventuell/-a CFD beräkningar

**Svar:**

Kvalitetsmanualen beskriver generellt hur en brandskyddsteknisk analys i kärntekniska anläggningar kan utföras och är inte begränsad till specifika utformningar eller metoder. Den är vidare inriktad mot verifieringskrav i samband med modellering. Kvalitetsmanualen kan därför med fördel användas vid beräkningar även med fall som involverar system med lägre syrehalt. CFD-beräkningar kan användas för att bestämma hur jämn fördelningen av syre och andra gaser i utrymmen är utan brand. Ett grundläggande krav i redovisning är här att demonstrera att alla ventilationssystem och detaljer såsom dolda utrymmen som kan påverka ventilationen inkluderas i beräkningarna. Detta kan leda till att det ställs höga krav på att CFD-beräkningarnas beskrivning av geometrin och data för ventilationssystemet är tillgängliga och korrekt representerade i modelleringen.

Andra typer av CFD-beräkningar som är kopplade till brandsituationen och spridning av rök/gaser kan dock vara tveksamma. Anledning är att det behövs ytterligare validering av programvaror och submodeller för en miljö där underventilerade bränder uppstår. Från PRISME-projektet finns det tydliga indikationer på att dagens CFD-modeller (t ex FDS) har vissa begränsningar vid underventilerade bränder (Audouin et al 2011).

#### 4.8. Fråga 8

SSM fråga 8 avseende: LTH:s rekommenderade sak- och kravfrågor bör lyftas upp till diskussion i denna applikation

**Svar:**

För svaret till denna fråga refereras till kapitel 5 vilket i princip betyder att alla nämnda risker och farhågor som nämns ska behandlas.

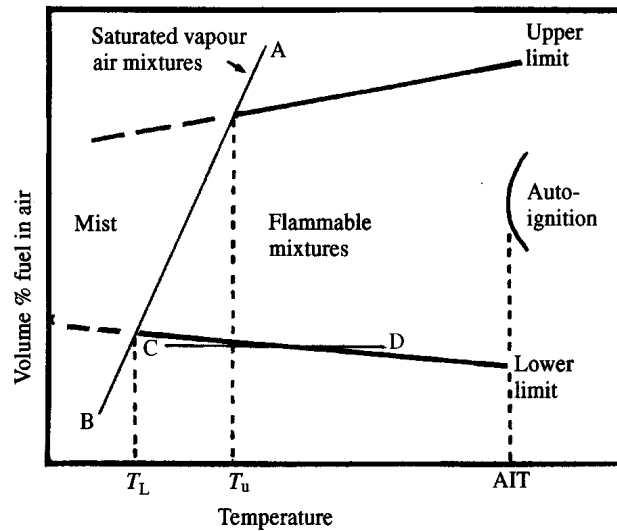
#### 4.9. Fråga 9

SSM fråga 9 avseende: LTH:s syn på behövliga framtida prover, tester, analyser, av t.ex. elskåpsutrustning, kablage, annat som ska verka i syre reducerade miljöer

- brandresistent material
- brandinverkan på spänningssatt utrustning
- obefogad syretillförsel
- inblandning av andra gaser
- inverkan av externa risker till syrereducerade rum

**Svar:**

Minimivån av provningar och dokumentation är de som finns i PAS95:2011 (BSI 2011) och VdS 3527 (VdS 2007). Det bör dock noteras att många material i elektriska utrymmen består av väldigt många olika typer av generiska plaster och icke-plaster och båda ovannämnda standarder har nästan alltid enbart en flamma som tändkälla utan extern strålningpåverkan. Dessutom finns enbart data tillgängliga vid normal rumstemperatur. Temperaturer i elskåp kan vara högre och dessutom kan lokalt extremt höga temperaturer förekomma när t ex en högenergitisk kortslutning (elektrisk båge) uppträder vid höga spänningar. Då utökas brännbarhetsgränserna som t ex visas i Figur 6.



Figur 6 Brännbarhetsgränsernas temperaturberoende för en brännbar ång/luft-blandning vid konstant initialtryck (anpassad från Drysdale (1998)).

Dessutom finns det ytterligare mindre mängder data tillgängliga om hur system fungerar i verklig skala, t ex i mer komplexa rumsscenarier (Chiti 2009, Chiti 2011).

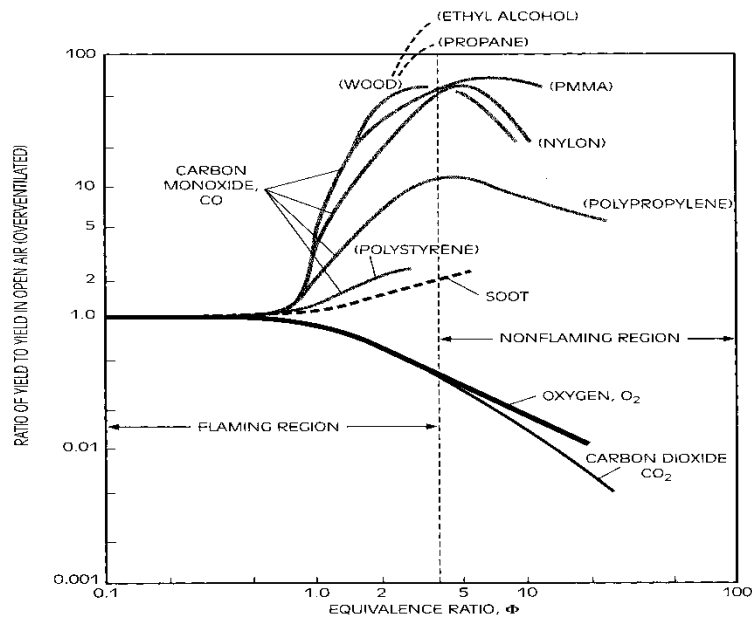
#### 4.10. Fråga 10

SSM fråga 10 avseende: Effekter av brand vid olika koncentrationer syre-kväve i ventilationsreglerade utrymmen, kärl och vid olika tryckförhållanden i dessa utrymmen, andra frågeställningar som:

- väsentligheter att beakta i en tillämpning som denna
- kartläggning av försvårande och förvärrande brandförhållanden med reducerad syrehalt och varierande tryckförhållanden i olika utrymmen t.ex. risker vid brand utan låga (pyrolys) och pyrbrand (smouldering)
- brandbelastningar (brännbara material) som inte får föras in i berörda elrum
- minimering av antändningskällor
- effekter vid provtryckning av reaktorinneslutning med tex 3 bar luft på brandantändning, brandförlopp och brandmaterial (är provtryckning med kväve eller annan gas att förorda)

#### Svar:

Användning av syrgasreducerad miljö vid 15% tar inte bort möjligheten till antändning och vid dessa förhållanden kommer branden antingen att bli underventilerad eller så kommer den att bete sig som en pyrbrand. Vid dessa bränder kommer t ex produktionen av sot att öka, se Figur 7.



Figur 7 Syretillgångens inverkan på sotbildning. (anpassad från Karlson et al (1999).)

Effektutvecklingar och antändning av olika bränsle som funktion av tid är tillgängliga från försök i t ex i konkalorimeter (ISO 2002, Mikkola 1993) eller Tewarsonapparaten (ISO 2011, Yin och Khan 2007a,b). För vissa bränslen som t ex trässtaplar finns det mycket data i full skala men där den sk ekvivalenskvoten ändras eftersom syrgashalterna ändrar sig under provningar eller experiment. Här kan det vara nödvändigt att skaffa mer data och göra en mer djupgående analys.

Vid provtryckning i reaktorinneslutningen är det, ur ett brandsäkerhetsperspektiv, att föredra att använda kväve eller annan inert gas. Litteraturen är väldigt begränsad men data finns i en artikel (Lamont et al 1998) som indikerar att flamspridning och brandeffekten kan vara intensivare vid högre tryck. Här rekommenderas att ta fram ytterligare data eftersom slutsatserna i artiklarna kan vara materialberoende (Trzeszynski et al 1987).

#### 4.11. Fråga 11

SSM fråga 11 avseende: Omvärldsbevakning rörande teknik och installationer med reducerad syrehalt i elutrymmen, kabelvägar med reducerad syrehalt och varierande tryckförhållanden i olika utrymmen

#### Svar:

I litteraturstudien ser man att tekniken är relativt ny och att mängden av peer-review artiklar är begränsad om man jämför med t ex artiklar som behandlar sprinkler. Genom utveckling av standarder tas dock mer data fram om tekniken och kraven utvecklas kontinuerligt. Nyligen publicerades PAS 95:2011 (BSI 2011) vilket får ses som ett steg framåt. Tekniken har dock mest använts för museer och historiska byggnader och förekomsten av t ex elektriska utrymme är begränsad i den offentliga miljön. Mycket av befintlig beskrivning redovisas dessutom i form av marknadsföringsmaterial. Tekniken har dock utvecklingsmöjligheter när mer information är tillgänglig.

#### 4.12. Fråga 12

SSM fråga 12 avseende: Osäkerheter kring nya tekniken och brandrisker med reducerad syrehalt och varierande tryckförhållanden i olika utrymmen t.ex. ökade tryckets inverkan på ökade risker för ljusbåge, kortslutning i elektrisk utrustning

**Svar:**

Osäkerheten är främst att tekniken är ny och man har begränsad kunskap om t ex tillförlitligheten. Risken för brands uppkomst minskar men är inte helt utesluten när man använder 15% syrgas och ytterligare skyddssystem blir därför nödvändiga. Ytterligare sänkning av syrehalten minskar risken för antändning.

Information om hur t ex ökande trycks inverkan ökar risken för ljusbågar, kortslutning i elektrisk utrustning mm har inte hittats i litteraturen.

#### 4.13. Fråga 13

SSM fråga 13 avseende: Osäkerheter och konsekvenser med nya tekniken och påverkan på personal i utrymmen med reducerad syrehalt och tryckförhållanden – risker för brand utan låga (pyrolysis), pyrbrand (smoulder) om barriärer öppnas ofta och länge.

**Svar:**

Examensarbetet av Berg och Lindberg (Berg och Lindberg 2004) ger en del av möjliga konsekvenser för personal om en brand uppstår. Rent arbetsmiljömässig finns information i PAS95:2011 (BSI 2011) som är baserad på ett antal publikationer som finns med som elektroniska bilaga till rapporten. Hur och om personal påverkas om ändå en brand uppstår är svårare att bedöma ifrån litteraturen. Risker finns att pyrbränder kan uppstå vilket innebär en ökad risk för CO-produktion. Här behöver man undersöka hur man kopplar det nya systemet med både detektionssystem för pyrbränder och befintliga brandsäkerhetssystem. I administrativa rutiner för arbete i miljöer med sänkt syrgashalt bör det finnas information kring hur in- och utpassage får ske för att minska risken att syrehalten minskar och att eventuella ”bubblor” med lokalt högre syrehalt kommer in i rummet.

#### 4.14. Fråga 14

SSM fråga 14 avseende: Behov av administrativ- och instruktionsstyrning i samband med införande av nämnda teknik

**Svar:**

Med tanke på hälsorisker, förändringar av syrehalt vid arbeten och behov av redundanssystem är det nödvändigt att tydligt dokumentera olika administrativ- och



instruktionsstyrningar. Båda VdS 3527 (VdS 2007) och PAS 95:2011 (BSI 2011) beskriver sådana krav. Vds3527 (Vds 2007) tar även upp kontrollregler.

#### 4.15. Fråga 15

SSM fråga 15 avseende: Förutsättningar för att kunna beskriva den deterministiska och probabilistiska modellen för att visa den valda designgränsen för syrgas- och kvävgasblandning i vissa el-utrymmen, vid jämförelser av skadliga koncentrationer syrgas för hälsan och att brandskyddet felar vid normalt lufttryck (vid vilka sannolikhetsnivåer är risken som lägst att skadlig koncentration syrgas råder och att brandskyddet felar) – se kapitel 3.5 i LTH rapport 5144 ”Fire Prevention and Health Assessment in hypoxic Environment” (Berg och Lindgren 2004)

#### Svar:

För att kunna göra fullständiga deterministiska och/eller probabilistiska analyser krävs en god tillgång till indata. Litteratursökningen har dock visat en uppenbar brist på sådan information. Detta gäller särskilt för antändningsrisker av produkter som kablar, komponenter, plaster, etc. LTH-rapport 5144 (Berg och Lindgren 2004) ger några exempel hur man kan göra. Dock behöver man kanske studera metodutvecklingen för att ta fram relevanta sådana metoder. Metodutveckling ingår dock inte i denna studie.

#### 4.16. Fråga 16

SSM fråga 16 avseende: Vilka typer av bränder kan inte släckas i utrymmen med en syrehalt mellan 14 - 21% syre, andra intressanta syrehalter.

#### Svar:

Generellt sett utgör inte sänkt syrehalt till 14-21% förhållanden som innebär att bränder inte kan uppstå eller slocknar, några exempel ges i tabell 2 samt figur 6 i artikel från Xin och Khan (Xin och Khan 2007a). Förbränningen påverkas så att hastighet och storlek begränsas samtidigt som andra aspekter t ex produktion av vissa förbränningsprodukter ökar. VdS 3527 (VdS 2007) och PAS 95:2011 (BSI 2011) ger information om gränsvärde för många material med de metoder och experiment som föreslås/ används i standarden. Om gaser som t ex metan, acetylen, vätegas förekommer är 14-21% syrehalt sådana nivåer där man kan förvänta att en antändning sker. Även vissa fasta material kan antända vid nivåer omkring 14% syre, t ex vissa papperssorter (VdS 3527). Plywood antänder vid 15% syre när det utsätts för provningsförhållanden i en anpassad konkalorimeter, se Tabell 5 (Delichatsios 2005).

Table 1  
Ignition times for 4 mm fire retardant plywood at different heat fluxes and oxygen concentrations for three repeats

Ignition times (s), thermal depth (mm) and functions $F_1$ and $F_2$							
Heat flux (kW/m <sup>2</sup> )	Oxygen 21%	Oxygen 18%	Oxygen 15%	Thermal depth, Eq. (2)	$x = \delta/\sqrt{\alpha t_{ign}}$	$F_1$ , Eq. (3b)	$F_2$ , Eq. (4b)
25	124,106,118 Av. = 116 s	113,113,114 Av. = 113 s	126,127,130 Av. = 128 s	3.78 (119 s)	1.058	1.148	1.37
35	50,49,64 Av. = 54 s	62,53,57 Av. = 57 s	70,52,55 s Av. = 59 s	2.6 (57 s)	1.529	1.027	1.77
50	19,11,18s Av. = 16 s	22,18,19s Av. = 20 s	41,27,20s Av. = 29 s	1.62 (22 s)	2.46	1	2.77

Tabell 5 Tabell 1 citerad från Delichatsios (2005)

Enligt t ex en artikel från Rasbash et al (1968) uppträder släckning mellan koncentration 13,2 och 18 % för cellulosebaserade material och flamspridning minskas med ungefär 50% för trä från 21 till 13%. (se Tabell 6)

TABLE 1. Movement of flame up vertical dowelling. Atmosphere—air diluted with nitrogen

Single stick specimen		Triple stick specimen			
Oxygen concentration, per cent	Speed, cm/s, of trailing edge of flame	Oxygen concentration per cent	Speed, cm/s, of flame		Time (s) for flame to pass point 70 cm up specimen
			Tip	Trailing edge	
20.9	0.82	20.9	2.75	2.06	28.5
18.5	0.68	17.7	2.44	2.00	27
17.7	0.64	16.6	2.28	1.90	28
16.1	0.63	13.7	1.82	1.40	30
15.7	0.58	13.1	1.80	1.27	31

TABLE 2. Horizontal propagation of fire along cribs in air and in atmosphere containing 19.5 per cent oxygen. Crib containing three layers of sticks. Diluent—nitrogen

Oxygen concentration of supporting gas, per cent	Diameter of dowel, cm	Rate of spread of flame, cm/s	Mean height of flame, cm	Mean width of flame base, cm	Burning time, s
20.9 (Air)	0.32	0.126	17.4	2.64	20.8
	0.48	0.064	20.8	2.95	46
19.5	0.32	0.104	12.4	2.2	21.2
	0.48	0.045	14.5	2.05	45.5

Tabell 6 Tabell 1 och 2 citerad från Rasbash (1968)

Samma observation görs i artikel av Xin och Khan (Xin och Khan 2007a) där effektutveckling av PMMA minskas från 300 kW/m<sup>2</sup> till 150 kW/m<sup>2</sup> när man minskar syrgashalten från 21 % till 15%.

#### 4.17. Fråga 17

SSM fråga 17 avseende: Hälsoaspekter som kan påverka reaktorsäkerheten

**Svar:**

Enligt litteraturen och PAS 95:2011 (BSI 2011) finns det begränsade hälsorisker i miljöer med syrehalter kring 15% så länge man är frisk. Litteratur i elektroniska bilagor tar upp möjliga risker. Det är oerhört viktigt att man har bra och detaljerade procedurer samt kvalitetskontroll på plats för att förhindra att mänskliga fel uppstår på grund av arbete i reducerad syremiljö eller av hälsoproblem. Eftersom lägre syrehalt kan påverka koncentrationsförmågan hos personer kan det finnas skäl att vara observant på en förhöjd risk att personer gör fel. Litteratur från Linde et al (1997) kan konsulteras. Bedömning av hälsoaspekterna kan dock ej göras av författarna på grund att detta fordrar en medicinsk kompetens och bör därför tas upp av de olika inblandade myndigheterna.

#### 4.18. Fråga 18

SSM fråga 18 avseende: Brand i utrymme med olika tryck, övertryck eller undertryck och hur syrehalten kan antas variera i olika situationer.

- Inverkan på brandförlopp och förbränningsförlopp
- Flamspridningsförlopp vid olika över- och undertryckstryckförhållanden
- Möjliga konsekvenser av sot- och rökproduktion vid olika fukthalter i luften

**Svar:**

Spridning av rök och påverkan av brand på ventilation och tvärtom finns delvis tillgängligt i PRISME-projektet (Audouin et al 2011, Van Hees et al 2011) som utgår från lokaler kopplade till varandra med ett ventilationssystem. Projektet har visat hur snabbt en brand kan påverka ventilationen och spridning av rök genom ventilationssystemet. Projektet har även visat att vår kunskap är relativt begränsad för dessa scenarier. Genom förlängning av PRISME-projektet kommer mer information att var tillgänglig.

Den mesta informationen som är tillgänglig förutsätter dock vanliga syrgasnivåer. Information hur snabbt t ex den reducerade miljön försvinner när nya läckage uppstår (naturlig eller olycksbaserad) behöver dokumenteras.

Data kring material (antändning och flamspridning) togs upp i ett tidigare svar.

## 5. Översikt av fördelar, farhågor och risker

### 5.1. Fördelar

Den främsta fördelen med sänkning av syrehalten till t ex 15 % är den minskade risken för uppkomst av brand genom minskad risk för antändning. Vid uppkomst av brand begränsas även effektutveckling, bl a på grund av minskad flamspridningshastighet. Den långsammare utvecklingen minskar därmed också brandspridning från föremål till föremål.

Eftersom den syrgasreducerade miljön är kontinuerligt på plats krävs inte brandinducerad aktivering.

Systemet är relativt enkelt att introducera om man kan använda det befintliga ventilationssystemet.

Vid vissa koncentrationer är det enligt PAS 95:2011 (BSI 2011) möjligt att vara närvarande i utrymmen med lägre syrgashalt utan att det finns några hälsorisker som särskilt behöver beaktas.

### 5.2. Farhågor och risker

Det är viktigt att beakta att systemet minskar risken för uppkomst av brand och ska ej anses som ett alternativt släcksystem om man har syrgasnivåer som t ex 15% (se VdS 3529). Systemen förhindrar inte bränder såvida inte syrenivån sänks betydligt lägre än 15 %.

En sänkning av syrehalten minskar självklart flamspridningshastigheten men information om t ex sot- och rökproduktion (såväl bedövande, irriterande och korrosiva gaser) är begränsad. Allmänt brukar t ex produktionen av sot öka vid minskad ventilation vilket i sin tur kan få konsekvenser för funktionsbeteende av komponenter, något som är oerhört viktigt inom brandsäkerhet av kärnkraftverk.

Saneringsbehovet efter en brand bedöms som fortsatt högt även med systemet installerat och aktivt.

Redundans behövs både för själva reduktionen av syrgashalten och för släckning av branden.

Antändlighet av många generiska material är kända men dock är det nödvändigt att data för elektriska komponenter som t ex kablar bestående av flera material tas fram.

Effektiviteten beror på vilken syrgasnivå som systemet använder och hur jämnt syrgasblandningen är fördelad i utrymme. Detta ställer krav på typ och placering av övervakningsinstrumenten och don för distribution av luften med lägre syrehalt. Lokalt högre syrgasnivåer i rummet får inte förekomma.

Systemet är i dagsläget mest använt för skydd av historiska föremål och vissa industriella processer t ex datarum. Erfarenheter från dessa verksamheter kan utnyttjas men systemen är därmed inte direkt överförbara.

Data om det nya systemets tillförlitlighet är begränsad på grund av att data och information om inträffade bränder inte är tillgängligt. Effekter av latent fel som

realiseras när syrehalten ökas till normalnivån är inte heller tillräckligt tydligt belysta vilket kan vara orsakat av tidigare områden för systemens tillämpning.

Hälsorisker är dokumenterade och är beroende på vilken syrgasnivån man väljer. En introduktion av tekniken kräver dock en anpassning av regler och en noggrann utveckling och uppföljning av procedurer. Risk för felhandlande av t ex underhållspersonal, på grund av effekterna på kroppen av den reducerade syrehalten, måste kunna hanteras.

## 6. Slutsatser

Användningen av syrgasreducerad miljö i utrymmen ("Hypoxic air" eller "Hypoxic air venting") är relativt ovanligt som brandskyddssystem. Tekniken introducerades först för att skydda historiska föremål i t ex museer men har sedan använts även för t ex skydd av datorutrymmen. I denna studie har det via en litteraturstudie visats att systemet har vissa fördelar som t ex en minskning av sannolikheten för uppkomst och utveckling av brand men att nyttan eller effekten beror på vilken nivå av syrgashalten man väljer. Det är exempelvis viktigt att konstatera att system med t ex 15% syrehalt inte kan anses som ett alternativ till ett släcksystem (VdS 3527).

Valet av syrgasnivå styrs även av möjligheten att kunna vistas i utrymmet utan extra personskydd vilket därför leder till att nivån blir sådan att bränder fortfarande kan uppträda.

Inför valet av system och syrgasnivå måste också redundansen av systemet beaktas och det bör övervägas om systemet måste kompletteras med andra släcksystem. Detta eftersom man enbart kan se systemet som ett släcksystem om syrgashalterna går ner till samma nivå som de krav som finns för andra gasformiga släckmedel d v s med en syrenivå runt 10 %. Vid dessa nivåer är hälsoriskerna uppenbara vilket leder till större svårigheter för exempelvis underhållsarbeten.

Data om brandrelaterat beteende och beteende i övrigt av elektriska komponenter och produkter vid lägre syrgashaltnivåer är begränsad både för enstaka komponenter och för hela kompletta rum med olika tekniska installationer.

Specifikationer och regler som nämns ibland annat VdS 3527 och PAS 95:2011 bör vara minimikrav som ska ställas på systemen om de väljs.

I litteraturstudien studerades även brandbeteende vid högre tryck än atmosfärstrycket. Datan är begränsad men pekar på att branden kan få högre effekt vid högre tryck för vissa material. Dock behövs mer experimentella data med flera material för att bekräfta detta.

Rapporten svarar även på ett antal frågor från NBSG som togs upp vid början av projektet.



## 7. Fortsatt forskning

Ifrån denna studie kan man identifiera minst följande forskningsområden för framtiden:

1. Antändningsegenskaper för material och produkter med olika provningsmetoder vid olika syrgashalter, temperatur och tryck och val av mest effektiva metoden för att bestämma gränsvärden vid användning av bl a hypoxic air-teknik.
2. Effekttutveckling vid brand i material och produkter med olika provningsmetoder vid olika syrgashalter, temperatur och tryck och val av mest effektiva metoden för att bestämma gränsvärden vid användning av bl a hypoxic air-teknik.
3. Rökproduktion vid brand i material och produkter med olika provningsmetoder vid olika syrgashalter, temperatur och tryck och val av mest effektiva metoden för att bestämma gränsvärden vid användning av bl a hypoxic air-teknik.
4. Innehållet av olika ämnen i rök vid brand i material och produkter med olika provningsmetoder vid olika syrgashalter, temperatur och tryck och val av mest effektiva metoden för att bestämma gränsvärden vid användning av bl a hypoxic air-teknik.
5. Sotproduktion vid brand i material och produkter med olika provningsmetoder vid olika syrgashalter, temperatur och tryck och val av mest effektiva metoden för att bestämma gränsvärden vid användning av bl a hypoxic air-teknik.
6. Kunskap om vilka syrgasnivåer som förhindrar glödbränder respektive bränder med öppen låga.
7. Validering av provningsmetoder som används i dagens tekniska standarder (VdS 3527 och PAS 95:2011).
8. Undersökning av vilken tändenergi som krävs för antändning vid syrgasnivåer angivna i standarder.
9. Framtagande av data och kunskap om hur systemet fungerar i verklig skala.
10. Kunskap om hur man kan bedöma hur jämn fördelningen av syre i utrymmet säkerställs och hur man kan kontrollera det via antingen beräkningar eller mätningar.
11. För att kunna göra brandskyddstekniska beräkningar behövs en vidareutveckling av CFD-modeller så att de kan räkna vid underventilerade bränder.
12. Metoder för att bedöma riskbilden och jämföra riskbilden med eller utan systemet.
13. Kunskap och data om individuella komponenters och systemets möjliga felfunktioner och kopplade sannolikheter.
14. Både teoretiskt och experimentellt öka kunskapen för att veta hur ett högre tryck påverkar brandförloppet.



15. Kunskap om brandbeteende av material vid högre tryck (effektveckling, rök, sot, innehållet av rök)

## 8. Referenser

### 8.1. Referenser

- Arbetskyddsstyrelsen (1993), AFS 1993:3, - Arbete i slutet utrymme, Arbetskyddsstyrelsen, 1993.
- Audouin et al (2011), Quantifying differences between computational results and measurements in the case of a large-scale well-confined fire scenario, Nuclear Engineering and Design, Volume 241, Issue 1, pp 18-31.
- Angerer, P. et al. (2003), Working in permanent hypoxia for fire protection – impact on health, Int. Arch Occup Environ Health, 76, pp. 87-102
- Berg och Lindgren (2004) LTH Rapport 5144 Fire prevention and Health Assessment in Hypoxic Environment, LTH, Lund.
- Brutcher, M. et al. (2011). Short-term exposure to hypoxia for work and leisure activities in health and disease: which level of hypoxia is safe?, DOI 10.1007/s11325-011-0521-1, Hypoxia Conference, Sleep Breath , Springer-Verlag 2011.
- BSI- PAS95:2011 (2011), Hypoxic fire prevention systems – Specification, BSI, London
- Chiti, S. (2009), Test Methods for Hypoxic air fire prevention systems and overall environmental impact of applications, MSc thesis University of Modena,
- Chiti, S. Et al (2011) Hypoxic air Technology Fire protections turn preventive, International Workshop on fire safety and management (IWFSEM 2011), Muscat Oman.
- Delichatsios, M. (2005), Fire Safety Journal, Piloted ignition times, critical heat fluxes and mass loss rates at reduced oxygen atmospheres, Fire Safety Journal 40 pp 197–212. Elsevier.
- Drysdale, D. (1998), An Introduction to Fire Dynamics, Second edition, John Wiley & Sons, Chichester.
- Holmstedt, G., Malmberg, B. (1966), Explosion och brännbarhetsvillkor i övertryckskammare, Examensarbete i fysik LTH, Lund.
- Isaacs, J. L. (1969), ASTM Standard for the Oxygen Index Test (D-2863), Major Appliance Laboratories Special Report.
- ISO (2002), ISO 13943, Reaction-to-fire tests - Heat release, smoke production and mass loss rate -- Part 1: Heat release rate (cone calorimeter method), ISO, Geneva.
- ISO (2008), ISO 13943, Fire safety - Vocabulary Sécurité au feu - Vocabulaire, ISO, Geneva.
- ISO (2011), ISO 12136 -Reaction to fire tests - Measurement of material properties using a fire propagation apparatus, ISO, Geneva.

- 
- Jensen, G. et al. (2006), Hypoxic Air venting for protection of heritage, report within COST Action C17 project, ISBN 82-7574-037-1, Rikantikvaren, Directorate for Cultural Heritage and Crown.
- Karlsson, B. et al (1999), Enclosure Fire Dynamics, CRC Press, Boca Raton
- Kupper, T. et al. (2011), Work in hypoxic conditions – Consensus statement of the medical commission of the Union Internationala des Associations d’Alpinisme (UIAA MedCom), doi:10.1093/annhyg/meq102, Ann. Occup. Hyg. Vol 55, No.4, pp. 369-386, 2011, Oxford University Press. UK
- Lamont, DR., Buckland I., Bettis RJ. et al., (1998), Fire tests in a compressed air tunnel at up to 3 bar pressure, World Tunnel Congress 98 on Tunnels and Metropolises Location: Sao Paulo, Brazil, Tunnels and Metropolises, Vol 1 and 2, Pages: 445-449.
- Linde L. et al., (1997), Effects of Reduced Oxygen Partial Pressure on Cognitive Performance in Confined Spaces, Military Psychology, 9:2, 151-168, dx.doi.org/10.1207/s15327876mp0902\_3.
- Nowlen, S. Tara Olivier, T., (2011), NUREG/CR-7114 SAND2011-0027P, Draft Report for Comment Methodology for Low Power/Shutdown Fire PRA. US-NRC.
- Mikkola, E. (1993), Effects of oxygen concentration on cone calorimeter results, Interflam 1993, VTT Fire Technology Laboratory, Espoo
- NFPA (2010) Fall revision cycle – Report on proposals, ISSN 1079-5332 pp 2001-2, National Fire Protection Association (NFPA), Quincy, MA.
- NFPA (2012), NFPA 2001, Standard on Clean Agent Fire Extinguishment Systems, 2012 Edition, National Fire Protection Association (NFPA), Quincy, MA.
- Rasbash, D., Langford, B. (1968), Burning of wood in atmospheres of reduced oxygen concentration, Combustion and Flame, Volume 12, Issue 1, February 1968, Pages 33–40, Elsevier.
- Trzesczynski, J. et al (1987), The influence of pressure on combustible and toxic properties of materials, Fire and Materials Journal Vol. 11, pp. 159-162, John Wiley & Sons, Ltd
- UL 2127, Inert Gas Clean Agent Extinguishing System Units, Underwriters Laboratories, USA.
- UL 2166, Halocarbon Clean Agent Extinguishing System Units, Underwriters Laboratories, USA.
- Van Hees P., et al (2011) Validation and development of different calculations methods and software packages for fire safety assessment in Swedish nuclear power plants, 21st International Conference on Structural Mechanics in Reactor Technology (SMiRT 21) - 12th International Pre-Conference Seminar on “FIRE SAFETY IN NUCLEAR POWER PLANTS AND INSTALLATIONS“, 2011-09-13/2011-09-14, Munich.
- VdS 3527 en (2007), Guidelines for Interting and Oxygen Reduction Systems, Planning and Installation, VdS Schadenverhütung GmbH, Köln.
- Xin, Y., Khan, M. (2007a), Flammability of combustible materials in reduced oxygen environment, Proceedings Fire and Materials conference 2007 San Francisco, USA, Interscience, London.

Xin, Y., Khan, M. (2007b) Flammability of combustible materials in reduced oxygen environment, *Fire Safety Journal* 42 pp 536–547, Elsevier.

## 8.2. Övrig litteratur

Cargo Compartment alternative MPS testing using Low Pressure Dual Fluid Water Mist and Hypoxic Air, International Aero Inc., 5-6 November 2003, Published on internet: [www.pyrogen.com/IAI\\_Cargo\\_MPS.pdf](http://www.pyrogen.com/IAI_Cargo_MPS.pdf) , 23rd April 2004

Hodkinson, P. D. et al. (2003) Is mild normobaric hypoxia a risk factor for venous thromboembolism?, *Journal of Thrombosis and Haemostasis*, 1, pp. 2131-2133

British Standard BS 5306-8:2000, (2000) Fire extinguishing installations and equipment on premises, Part 8: Selection and installation of portable fire extinguishers – Code of practice

Särdqvist, S. (2002) Vatten och andra släckmedel, Räddningsverket, Karlstad

Carhart, H. W. (1994) Impact of low O<sub>2</sub> on fires, *Journal of Hazardous materials*, 36, pp. 133-141

Gustavsson, C. et al. (1997) Effects of normobaric hypoxic confinement on human performance, Swedish Defence Research Establishment (FOA), Hårsfjärden

Linville, J. L. et al. (1995) SFPE Handbook of Fire Protection Engineering, Second edition, National Fire Protection Association (NFPA), Quincy

Johnson, J. E. et al. (1967) Flammability in Unusual atmospheres, Part 1 and part 2, NRL Report 6470 and Report 6606, Washington

Carhart, H. W. et al. (1972) Applications of gaseous fire extinguishants in submarines, Symposium on an Appraisal of Halogenated Fire Extinguishing Agents, April 11-12, National Academy of Sciences Proc., p. 239

Särdqvist, S. (2000) Demand for Extinguishing Media in Manual Fire Fighting, Dissertation, Department of Fire Safety Engineering, Lund University, Lund

Beyler, C. (1992) A unified model of fire suppression, *Journal of Fire Protection Engineering*, 4:1, pp. 5-16

Andersson, M., Skogetun, P. (1999) Flame extinguishing concentrations, of gaseous agents in Burner Cup, under influence of external radiative flux, Master's thesis (Report 5048), Department of Fire Safety Engineering, Lund University, Lund

Babrauskas, V. (2003) Ignition Handbook, Fire Science Publishers, Issaquah

Hietaniemi, J., Kallonen, R., Mikkola, E. (1997) Fires at chemical warehouses, A cone calorimeter study on the burning characteristics and fire effluent composition of selected chemical compounds, VTT Technical Research Centre of Finland, Espoo

Thomas, L. et al. (2001) Onboard Inert Gas Generation System/Onboard Oxygen Gas Generation System (OBIGGS/OBOGS) Study, Part II, NASA/CR–2001-210950, August 2001

- 
- Limiting Oxygen Concentration Required to Inert Jet Fuel Vapors Existing at Reduced Fuel Tank Pressures, Federal Aviation Administration (FAA), Report DOT/FAA/ARTN-02/79, August 2003
- Grigg, J. (2000) A full-scale cup burner for the testing of gaseous and low volatility agents, Kidde International Research, Halon Options Technical Working Conference 2-4 May 2000
- Zinn, S. V. (1971) Inerted fuel Tank Oxygen Concentration Requirements, Federal Aviation Administration (FAA), Report FAA-RD-71-42
- Measurement of limiting oxygen concentration in sewage sludge drying plants, Health & Safety Executive (HSE), 2003
- Linville, Jim L. et al. (1988) SFPE Handbook of Fire Protection Engineering, First edition, National Fire Protection Association (NFPA), Quincy
- DiNenno, P. J. et al. (2003) SFPE Handbook of Fire Protection Engineering, Third edition, National Fire Protection Association (NFPA), Quincy
- ARAC FTIHWG 2001 Final Report, Fuel Tank Inerting Harmonization Working Group, Aviation Rulemaking Advisory Committee (ARAC), June 2001
- Onnermark, B. et al. (1994) Antändlighet hos material i ubåt vid olika syrekonzentration, Swedish Defence Research Establishment (FOA), Hårsfjärden
- Angerer, P. et al. (2004) Working in an oxygen reduced atmosphere – effects on the performance, Österreichische Gesellschaft für Arbeitsmedizin, Deutsche Gesellschaft für Arbeitsmedizin und Umweltmedizin e.V., Annual Conference 21-24 April 2004, Innsbruck
- Loeppky, J. A. (1997) Ventilation during simulated altitude, normobaric hypoxia and normoxic hypobaria, *Respiration Physiology*, 107, pp. 231-23.
- Kimmerle, G. (1974) Aspects and methodology for the evaluation of toxicological parameters during fire exposure, *The Journal of Fire and Flammability Combustion Toxicology Supplement*, February 1974, vol 1
- [www.osha.gov/SLTC/smallbusiness/sec12.html](http://www.osha.gov/SLTC/smallbusiness/sec12.html), Occupational Safety & Health Administration (OSHA), 17th June 2004
- Clean fire extinguishing agents human safety testing, White paper 1016, Ansul Inc., 2001
- A review of the toxic and asphyxiating hazards of clean agent replacements for Halon 1301, Halon Alternative Group, February 2000
- Chen, Q. H. et al. (1997) Exercise performance of Tibetan and Han adolescents at altitudes of 3417 and 4300 m, *J Appl Physiol*, 83:2, pp. 661-667
- Hallagan, F. L. et al., Altitude: Acclimatization to Intermediate Altitudes, Department of Emergency medicine, George Washington University Medical Center, Washington, Published on internet: [www.sportsci.org/encyc/altitaccl/prev#prev](http://www.sportsci.org/encyc/altitaccl/prev#prev) 4th May 2004
- Honigman, B. et al, (1993) Acute mountain sickness in a general tourist population at moderate altitudes, *Annals of Internal Medicine*, 118:8, pp. 587-592

- Krivoshchekov, S. G. et al (2002) Effect of Short-Term Intermittent Normobaric Hypoxia on the Regulation of External Respiration in Humans, *Human Physiology*, 28:6, pp. 676-681
- Ainslie, P. N. et al. (2003) Effects of five nights of normobaric hypoxia on the ventilatory responses to acute hypoxia and hypercapnia, *Respiratory Physiology & Neurobiology*, 138, pp. 193-204
- Beall, C. M. (2000) Oxygen saturation increases during childhood and decreases during adulthood among high altitude native Tibetans residing at 3800-4200m, *High Alt Med Biol* 1:1, pp. 25-32
- Levin, B. C. et al. (1987) Effects of Exposure to Single or Multiple Combinations of the Predominant Toxic Gases and Low Oxygen Atmospheres Produced in Fires, *Fundamental and Applied Toxicological*, 9, pp. 236-250
- Akselsson, R. (2002) Människa, Teknik, Organisation och Risk, Lund University, Lund
- Safe work in confined spaces - Confined spaces Regulations 1997, Approved code of Practice, regulations and guidance L101, Health and Safety Commission, 1997
- [www.osha.gov](http://www.osha.gov), Occupational Safety & Health Administration, Permit-required confined spaces - 1910.146, 15th August 2004
- Fire Protection – Prevention is better than cure, Aon Ltd., 2004 Published on Internet: [www.aon.com/about/publications/pdf/riskalert/risk\\_alert3.pdf](http://www.aon.com/about/publications/pdf/riskalert/risk_alert3.pdf), 10th April 2004
- Riskbedömning och Riskhantering inom Kemikaliekontroll, Kemikalieinspektionen, November 1995
- Oxygen Reduction Systems Promising for Fire Prevention, Allianz Risk Consultants B.V., April 2002
- Edward, D. W. et al. (1992) Oxygen Index: Correlations to other fire tests, *Fire and materials*, 16, pp. 159-167
- Senecal, J. A. Flame extinguishing concentration by the cup burner method: Inert gas theory, performance & advancing the method, Kidde-Fenwal, Inc. Combustion Research center, Holliston
- Tapscott, R.E. (1999) Best Values of Cup Burner Extinguishing Concentration, in Proceedings of the Halon Technical Options Technical Working Conference 1999, New Mexico Engineering Research Institute, Albuquerque, pp. 27-29
- Extinguishing Behaviour of Inert Gases, Final report, VdS, Cologne, 1998
- Isaksson, S. (1997) Gasformiga alternativ till halon som släckmedel, Borås: Sveriges Provnings- och forskningsinstitut, Brandteknik, SP rapport 1997:10
- Baker, A. et al. (1998) Altitude training for sea-level competition, *Sportscience Training & Technology*. Internet Society for Sport Science, [www.sportsci.org/traintech/altitude/wgh.html](http://www.sportsci.org/traintech/altitude/wgh.html), 30th April 2004
- Purser, D.A. (1984) A bioassay model for testing the incapacitating effects of exposure to combustion product atmospheres using cynomolgus monkeys. *J Fire Sci*, 2, pp. 20-36
- Baumann, I. et al, NSA Round table: high altitude training, *New studies in Athletics*, 9:2, pp. 23-35

- 
- Gore, C. J. et al (1997) VO<sub>2</sub>max and haemoglobin mass of trained athletes during high intensity training, *International Journal of Sports Medicine*, 18, pp. 477-482
- Coote, J. H. (1995) Medicine and mechanisms in altitude sickness: recommendations, *Sports Medicine*, 20, pp. 148-159
- Chapman, R. F. et al. (1998) Individual variation in response to altitude training, *Journal of Applied Physiology*, 85, pp. 1448-1456
- Beyler, C. L. (1984) Ignition and Burning of a Layer of Incomplete Combustion Products, *Combustion Science and Technology*, 39, pp. 287-30
- Andersson, J. et al. (2002) Oxygen saturation and cognitive performance, *Psychopharmacology*, 162, pp. 119-128
- Balldin, U. et al (1985) Oxygen – för mycket eller för litet?, *Läkartidningen*, 82:45, pp. 3907-3918
- Berglund, B et al. (2002) Erythropoietin concentrations during 10 days of normobaric hypoxia under controlled environmental circumstances, *Acta Physiol Scand*, 174, pp. 225-229
- Hirst, R et al. (1977) Measurement of Flame-Extinguishing Concentrations, *Fire Technology*, 5, pp. 296-315
- Johnson, D. G. (1994-95) Combustion properties of plastics, *J. Applied Fire Science*, 4:3, pp. 185-201
- Knight, D. R. et al. (1990) Symptomatology during hypoxic exposure to flame-retardant chamber atmospheres, *Undersea Biomedical Research*, 17:1, pp. 33-44
- Kotliar, I. K. (2003) Catastrophic tunnel fires can be prevented and suppressed, *Tunnel Management International*, 6:3, pp. 43-50
- Linde, L. et al (1997) Effects of reduced oxygen partial pressure on cognitive performance in confined spaces, *Military Psychology*, 9:2, pp. 151-168
- Rienecker, L. (2003) Problemformulering, Liber, Malmö
- Robin, M. L. et al (1999) Development of a standard cup burner apparatus: NFPA and ISO standard methods, Fluorine Chemicals Department, Great Lakes Chemical Corporation, Halon Options Technical Working Conference 27-29 April 1999
- Särdqvist, S. (1996) An engineering approach to fire fighting tactics, Report 1014, Department of Fire Safety Engineering, Lund University, Lund
- Tewarson, A. et al. (1981) The Influence of Oxygen Concentration on Fuel Parameters for Fire Modeling, Eighteenth Symposium (International) on Combustion, pp. 563-570
- Tewarson, A. et al. (1992) Combustion and Flame, *Journal of the Combustion Institute*, 89, pp. 237-259, Elsevier
- Tewarson, A. et al. (1992) Fire Behaviour of Polymethylmethacrylate, *Combustion and Flame*, 89, pp. 237-259
- West, J. B., (1997) Fire Hazard in Oxygen-Enriched Atmospheres at Low Barometric Pressures, *Aviation, Space and Environmental Medicine*. 68:2, pp. 159-162.

Weng G. et al., (2006) Predicting the pyrolysis of wood considering char oxidation under different ambient oxygen concentrations, *Combustion and Flame* 145 pp 723–729, Elsevier.





## Bilaga A. Lista med frågor från SSM

- SSM fråga 1 avseende:** Vid icke homogen blandning av syre och kväve (ej inom rekommenderad syrehalten  $15 \pm 0,5\%$ ), ska då;
- Normal syrenivå antas i säkerhetsanalyser
  - Rummet förklaras icke driftklart
  - Krav på mätning av syre och kvävehalter
  - Vilken bör tätheten på instrument vara
  - Krav på omblandning i större utrymmen
  - Trenduppföljning med data från instrument i syrereducerade rum
  - Riskbilder detta kan ge
- SSM fråga 2 avseende:** Tändkällor i relärum och kabelrum
- De mest troliga
- SSM fråga 3 avseende:** kabelrum
- Bränslen (materialen) i relärum,
- Kartbild av brännbara material i relärum, kabelrum
  - Kritiska mängder av dessa
  - Sortering av material i materialklasser (fasta, flambara fasta och vätskeformiga, flambara gaser)
- SSM fråga 4 avseende:** Antämningsförlopp (oxidationsförlopp) i olika bränslen i relä- och kabelrum, vid olika syrehalter
- 14-16%
  - 16-18%
  - 18-21%
- SSM fråga 5 avseende:** Traditionella redundanta konstruktionslösningar som kan/bör krävas, då syrereducering i rum är huvudlösningen
- Vid läget ”driftsatt” och läget ”ej driftsatt”.
  - Vid Ej driftsatt, görs bl.a. tester och prover.

- 
- SSM fråga 6 avseende:** Kartläggning av inträffade bränder (erfarenheter) och brandrisker i syrereducerade utrymmen
- Dominerande brandtyper för material x, y, z
  - Värmestrålning från olika material och kritiska avstånd till närliggande komponenter
  - Brandspridning och barriärbrott
  - Påverkan av rök och sot på känslig utrustning
- SSM fråga 7 avseende:** Hur kan nya Kvalitetsmanualen tillämpas praktiskt i denna sakgranskning
- Kvalitativt och kvantitativt
  - Vilka steg bör krävas bli redovisade
  - definition av eventuell/-a CFD beräkningar
- SSM fråga 8 avseende:** LTH:s rekommenderade sak- och kravfrågor bör lyftas upp till diskussion i denna applikation
- SSM fråga 9 avseende:** LTH:s syn på behövliga framtida prover, tester, analyser, av t.ex. elskåpsutrustning, kablage, annat som ska verka i syre reducerade miljöer
- brandresistenta material
  - brandinverkan på spänningssatt utrustning
  - obefogad syretillförsel
  - inblandning av andra gaser
  - inverkan av externa risker till syrereducerade rum
- SSM fråga 10 avseende:** Effekter av brand vid olika koncentrationer syre-kväve i ventilationsreglerade utrymmen, kärl och vid olika tryckförhållanden i dessa utrymmen, andra frågeställningar som
- väsentligheter att beakta i en tillämpning som denna
  - kartläggning av försvårande och förvärrande brandförhållanden med reducerad syrehalt och varierande tryckförhållanden i olika utrymmen

- t.ex. risker vid brand utan låga (pyrolys) och pyrbrand (smoulder)
- brandbelastningar (brännbara material) som inte får föras in i berörda elrum
- minimering av antändningskällor
- effekter vid provtryckning av reaktorinneslutning med tex 3 bar luft på brandantändning, brandförlopp och brandmaterial (är provtryckning med kväve eller annan gas att förorda)

**SSM fråga 11 avseende:**

Omvärldsbevakning rörande teknik och installationer med reducerad syrehalt i elutrymmen, kabelvägar med reducerad syrehalt och varierande tryckförhållanden i olika utrymmen

**SSM fråga 12 avseende:**

Osäkerheter kring nya tekniken och brandrisker med reducerad syrehalt och varierande tryckförhållanden i olika utrymmen

- t.ex. ökade tryckets inverkan på ökade risker för ljusbåge, kortslutning i elektrisk utrustning

**SSM fråga 13 avseende:**

Osäkerheter och konsekvenser med nya tekniken och påverkan på personal i utrymmen med reducerad syrehalt och tryckförhållanden – risker för brand utan låga (pyrolys), pyrbrand (smoulder) om barriärer öppnas ofta och länge

**SSM fråga 14 avseende:**

Behov av administrativ- och instruktionsstyrning i samband med införande av nämnda teknik

**SSM fråga 15 avseende:**

Förutsättningar för att kunna beskriva den deterministiska och probabilistiska modellen för att visa den valda designgränsen för syrgas- och kvävgasblandning i

---

vissa el-utrymmen, vid jämförelser av skadliga koncentrationer syrgas för hälsan och att brandskyddet felar vid normalt lufttryck (vid vilka sannolikhetsnivåer är risken som lägst att skadlig koncentration syrgas råder och att brandskyddet felar) – se kapitel 3.5 i LTH rapport 5144 ”Fire Prevention and Health Assessment in hypoxic Environment”

**SSM fråga 16 avseende:**

Vilka typer av bränder kan inte släckas i utrymmen med en syrehalt mellan 14 - 21% syre, andra intressanta syrehalter

**SSM fråga 17 avseende:**

Hälsoaspekter som kan påverka reaktorsäkerheten

**SSM fråga 18 avseende:**

Brand i utrymme med olika tryck, övertryck eller undertryck och hur syrehalten kan antas variera i olika situationer.

- Inverkan på brandförlopp och förbränningsförlopp
- Flamspridningsförlopp vid olika över- och undertryckstryckförhållanden
- Möjliga konsekvenser av sot- och rökproduktion vid olika fukthalter i luften

## Bilaga B. Litteratursökningar

### B.1 Sökning web of science "hypoxic" and "fire"

**1. Title: Work in Hypoxic Conditions-Consensus Statement of the Medical Commission of the Union Internationale des Associations d'Alpinisme (UIAA MedCom)**

Author(s): Kuepper Thomas; Milledge Jim S.; Hillebrandt David; et al.

Source: ANNALS OF OCCUPATIONAL HYGIENE Volume: 55 Issue: 4  
Pages: 369-386 DOI: 10.1093/annhyg/meq102 Published: MAY 2011

Times Cited: 0 (from All Databases)

**2. Title: DISSOLVED OXYGEN REQUIREMENTS FOR HATCHING SUCCESS OF TWO AMBYSTOMATID SALAMANDERS IN RESTORED EPHEMERAL PONDS**

Author(s): Sacerdote Allison B.; King Richard B.

Source: WETLANDS Volume: 29 Issue: 4 Pages: 1202-1213 Published: DEC 2009

Times Cited: 1 (from All Databases)

**3. Title: HYPOXIC/ISCHEMIC CONDITIONS INDUCE EXPRESSION OF THE PUTATIVE PRO-DEATH GENE *Cla1* VIA ACTIVATION OF EXTRASYNAPTIC N-METHYL-D-ASPARTATE RECEPTORS**

Author(s): Wahl A. -S.; Buchthal B.; Rode F.; et al.

Source: NEUROSCIENCE Volume: 158 Issue: 1 Pages: 344-352 DOI: 10.1016/j.neuroscience.2008.06.018 Published: JAN 12 2009

Times Cited: 14 (from All Databases)

**4. Title: Risk assessment of physiological effects of atmospheric composition and pressure in Constellation vehicles**

Author(s): Scheuring Richard; Conkin Johnny; Jones Jeffrey A.; et al.

Conference: 16th IAA Humans in Space Symposium Location: Beijing, PEOPLES R CHINA Date: MAY 20-24, 2007

Sponsor(s): Int Acad Astronaut

Source: ACTA ASTRONAUTICA Volume: 63 Issue: 7-10 Pages: 727-739 DOI: 10.1016/j.actaastro.2008.02.009 Published: OCT-NOV 2008

Times Cited: 1 (from All Databases)

**5. Title: Up-regulation of gastrin gene expression under hypoxic conditions occurs via hypoxia inducible factor-1 alpha within gastrointestinal carcinomas**

Author(s): Royal Eve; Grabowska Anna M.; Watson Susan A.

Conference: Digestive Disease Week Meeting/ASGE Postgraduate Course Meeting Location: Washington, DC Date: MAY 19-24, 2007

Sponsor(s): ASGE

Source: GASTROENTEROLOGY Volume: 132 Issue: 4 Supplement: 2 Pages: A423-A423 Published: APR 2007

Times Cited: 1 (from All Databases)

**6. Title: The role of the bronchial circulation in the acute lung injury resulting from burn and smoke inhalation**

Author(s): Traber D. L.; Hawkins H. K.; Enkhbaatar P.; et al.

Conference: Annual Meeting of the Da-Vinci-Society Location: Camogli, ITALY  
Date: SEP 23-25, 2005

Sponsor(s): Da Vinci Soc

Source: PULMONARY PHARMACOLOGY & THERAPEUTICS Volume: 20  
Issue: 2 Pages: 163-166 DOI: 10.1016/j.pupt.2005.12.006 Published: 2007

Times Cited: 18 (from All Databases)

**7. Title: Protective role of hydrogen peroxide in oxygen-deprived dopaminergic neurones of the rat substantia nigra**

Author(s): Geracitano R; Tozzi A; Berretta N; et al.

Source: JOURNAL OF PHYSIOLOGY-LONDON Volume: 568 Issue: 1 Pages: 97-110 DOI: 10.1113/jphysiol.2005.092510 Published: OCT 1 2005

Times Cited: 12 (from All Databases)

**8. Title: Laboratory production of vouchered reference charcoal from small wood samples and non-woody plant tissues**

Author(s): Orvis KH; Lane CS; Horn SP

Source: PALYNOLOGY Volume: 29 Pages: 1-11 DOI: 10.2113/29.1.1  
Published: 2005

Times Cited: 5 (from All Databases)

**9. Title: Functional connectivity of raphe neurons and responses to peripheral and central chemoreceptor stimulation.**

Author(s): Nuding S. C.; Morris K. F.; Baeky D. M.; et al.

Conference: 33rd Annual Meeting of the Society of Neuroscience Location: New Orleans, LA, USA Date: November 08-12, 2003

Sponsor(s): Society of Neuroscience

Source: Society for Neuroscience Abstract Viewer and Itinerary Planner Volume: 2003 Pages: Abstract No. 503.13 Published: 2003

Times Cited: 0 (from All Databases)

**10. Title: PROGESTERONE - SENSITIVE NEURONAL RESPONSES TO CENTRAL HYPOXIA IN THE RAT NUCLEUS TRACTUS SOLITARIUS in vitro.**

Author(s): Denavit-Saubie M.; Pascual O.; Morun-Surun M. P.; et al.

Conference: 32nd Annual Meeting of the Society for Neuroscience Location: Orlando, Florida, USA Date: November 02-07, 2002

Sponsor(s): Society for Neuroscience

Source: Society for Neuroscience Abstract Viewer and Itinerary Planner Volume: 2002 Pages: Abstract No. 392.12 Published: 2002

Times Cited: 0 (from All Databases)

**11. Title: Barium-stimulated chemosensory activity may not reflect inhibition of background voltage-insensitive K<sup>+</sup> channels in the rat carotid body**

Author(s): Rozanov C; Roy A; Mokashi A; et al.

Source: BRAIN RESEARCH Volume: 897 Issue: 1-2 Pages: 1-8 DOI: 10.1016/S0006-8993(00)03310-2 Published: APR 6 2001

Times Cited: 1 (from All Databases)

**12. Title: Hypoxic augmentation of fast-inactivating and persistent sodium currents in rat caudal hypothalamic neurons**

Author(s): Horn EM; Waldrop TG

Source: JOURNAL OF NEUROPHYSIOLOGY Volume: 84 Issue: 5 Pages: 2572-2581 Published: NOV 2000

Times Cited: 27 (from All Databases)

**13. Title: Hypoxic excitation in neurons cultured from the rostral ventrolateral medulla of the neonatal rat**

Author(s): Mazza E; Edelman NH; Neubauer JA

Source: JOURNAL OF APPLIED PHYSIOLOGY Volume: 88 Issue: 6 Pages: 2319-2329 Published: JUN 2000

Times Cited: 17 (from All Databases)

**14. Title: Simply add oxygen - Why isn't oxygen administration taught in all resuscitation training?**

Author(s): Oxer HF

Source: RESUSCITATION Volume: 43 Issue: 3 Pages: 163-169 DOI: 10.1016/S0300-9572(99)00146-X Published: FEB 2000

Times Cited: 8 (from All Databases)

**15. Title: Early effects of hypoxia on brain cell function**

Author(s): Krnjevic K

Source: CROATIAN MEDICAL JOURNAL Volume: 40 Issue: 3 Pages: 375-380 Published: SEP 1999

Times Cited: 21 (from All Databases)

**16. Title: Roles of ion channels in carotid body chemotransmission of acute hypoxia**

Author(s): Shirahata M; Sham JSK

Source: JAPANESE JOURNAL OF PHYSIOLOGY Volume: 49 Issue: 3 Pages: 213-228 DOI: 10.2170/jjphysiol.49.213 Published: JUN 1999

Times Cited: 17 (from All Databases)

**17. Title: Developmental aspects and mechanisms of rat caudal hypothalamic neuronal responses to hypoxia**



Author(s): Horn EM; Dillon GH; Fan YP; et al.

Source: JOURNAL OF NEUROPHYSIOLOGY Volume: 81 Issue: 4 Pages: 1949-1959 Published: APR 1999

Times Cited: 17 (from All Databases)

**18. Title: Effect of intraluminal thrombus thickness and bulge diameter on the oxygen diffusion in abdominal aortic aneurysm**

Author(s): Vorp DA; Wang DHJ; Webster MW; et al.

Source: JOURNAL OF BIOMECHANICAL ENGINEERING-TRANSACTIONS OF THE ASME Volume: 120 Issue: 5 Pages: 579-583 DOI: 10.1115/1.2834747 Published: OCT 1998

Times Cited: 24 (from All Databases)

**19. Title: Effects of normobaric hypoxic confinement on visual and motor performance**

Author(s): Gustafsson C; Gennser M; Ornhagen H; et al.

Source: AVIATION SPACE AND ENVIRONMENTAL MEDICINE Volume: 68 Issue: 11 Pages: 985-992 Published: NOV 1997

Times Cited: 8 (from All Databases)

**20. Title: Effects of reduced oxygen partial pressure on cognitive performance in confined spaces**

Author(s): Linde L; Gustafsson C; Ornhagen H

Source: MILITARY PSYCHOLOGY Volume: 9 Issue: 2 Pages: 151-168 DOI: 10.1207/s15327876mp0902\_3 Published: 1997

Times Cited: 1 (from All Databases)

**21. Title: Biological consequences of hypoxic stress on working dogs - Expedition "Licancabur Chiens des cimes. Chile April 1996"**

Author(s): Grandjean D; Driss F; Sergheraert R; et al.

Source: RECUEIL DE MEDECINE VETERINAIRE Volume: 172 Issue: 11-12 Pages: 601-621 Published: NOV-DEC 1996

Times Cited: 0 (from All Databases)

**22. Title: LONG-TERM MODULATION OF INWARD CURRENTS IN O<sub>2</sub> CHEMORECEPTORS BY CHRONIC HYPOXIA AND CYCLIC-AMP IN-VITRO**

Author(s): STEA A; JACKSON A; MACINTYRE L; et al.

Source: JOURNAL OF NEUROSCIENCE Volume: 15 Issue: 3 Pages: 2192-2202 Part: Part 2 Published: MAR 1995

Times Cited: 52 (from All Databases)

**23. Title: ARE INFANTS RESISTANT TO CARBON-MONOXIDE POISONING**

Author(s): GASCHÉ Y; UNGER PF; BERNER M; et al.

Source: SCHWEIZERISCHE MEDIZINISCHE WOCHENSCHRIFT Volume: 123 Issue: 51-52 Pages: 2413-2417 Published: DEC 28 1993

Times Cited: 1 (from All Databases)

**24. Title: REGULATORY INTERACTIONS AMONG AXON TERMINALS AFFECTING THE RELEASE OF DIFFERENT TRANSMITTERS FROM RAT STRIATAL SLICES UNDER HYPOXIC AND HYPOGLYCEMIC CONDITIONS**

Author(s): MILUSHEVA E; DODA M; PASZTOR E; et al.

Source: JOURNAL OF NEUROCHEMISTRY Volume: 59 Issue: 3 Pages: 946-952 DOI: 10.1111/j.1471-4159.1992.tb08335.x Published: SEP 1992

Times Cited: 40 (from All Databases)

**25. Title: O-2 DEPRIVATION INDUCES A MAJOR DEPOLARIZATION IN BRAIN-STEM NEURONS IN THE ADULT BUT NOT IN THE NEONATAL RAT**

Author(s): HADDAD GG; DONNELLY DF

Source: JOURNAL OF PHYSIOLOGY-LONDON Volume: 429 Pages: 411-428 Published: OCT 1990

Times Cited: 150 (from All Databases)

**26. Title: SYMPTOMATOLOGY DURING HYPOXIC EXPOSURE TO FLAME-RETARDANT CHAMBER ATMOSPHERES**

Author(s): KNIGHT DR; CYMERMAN A; DEVINE JA; et al.

Source: UNDERSEA BIOMEDICAL RESEARCH Volume: 17 Issue: 1 Pages: 33-44 Published: JAN 1990

**27. Title: RELATIONSHIP BETWEEN TISSUE PO2 AND CHEMORECEPTOR ACTIVITY OF THE CAROTID-BODY INVITRO**

Author(s): DELPIANO M; ACKER H

Source: BRAIN RESEARCH Volume: 195 Issue: 1 Pages: 85-93 DOI: 10.1016/0006-8993(80)90868-9 Published: 1980

Times Cited: 20 (from All Databases)

**B.2 Sökning web of science "increased pressure" and "fire"**

**1. Title: Forest policies and programs affecting vulnerability and adaptation to climate change**

Author(s): Afreen Shamama; Sharma Nitasha; Chaturvedi Rajiv K.; et al.

Source: MITIGATION AND ADAPTATION STRATEGIES FOR GLOBAL CHANGE Volume: 16 Issue: 2 Special Issue: SI Pages: 177-197 DOI: 10.1007/s11027-010-9259-5 Published: FEB 2011

Times Cited: 0 (from All Databases)

**2. Title: Computer Modeling of Stairwell Pressurization to Control Smoke Movement During a High-Rise Fire**

Author(s): Black W. Z.

Book Group Author(s): ASHRAE

Conference: Winter Conference of the American-Society-of-Heating-Refrigerating-and-Air-Conditioning-Engineers (ASHRAE) Location: Las Vegas, NV Date: 2011

Sponsor(s): Amer Soc Heating, Refrigerating & Air-Conditioning Engineers (ASHRAE)

Source: ASHRAE: TRANSACTIONS 2011, VOL 117, PT 1 Book Series: ASHRAE Transactions Volume: 117 Pages: 786-800 Part: Part 1 Published: 2011

**3. Title: Plant health and global change - some implications for landscape management**

Author(s): Pautasso Marco; Dehnen-Schmutz Katharina; Holdenrieder Ottmar; et al.

Source: BIOLOGICAL REVIEWS Volume: 85 Issue: 4 Pages: 729-755 DOI: 10.1111/j.1469-185X.2010.00123.x Published: NOV 2010

Times Cited: 7 (from All Databases)

**4. Title: Can Managers Bank on Seed Banks When Restoring Pinus taeda L. Plantations in Southwest Georgia?**

Author(s): Andreu Michael G.; Hedman Craig W.; Friedman Melissa H.; et al.

Source: RESTORATION ECOLOGY Volume: 17 Issue: 5 Pages: 586-596 DOI: 10.1111/j.1526-100X.2008.00457.x Published: SEP 2009

**5. Title: PRESSURISED OXY-COAL COMBUSTION RANKINE-CYCLE FOR FUTURE ZERO EMISSION POWER PLANTS: PROCESS DESIGN AND ENERGY ANALYSIS**

Author(s): Gazzino Marco; Benelli Giancarlo

Book Group Author(s): ASME

Conference: 2nd International Conference on Energy Sustainability Location: Jacksonville, FL Date: AUG 10-14, 2008

Sponsor(s): ASME, Adv Energy Syst Div; ASME, Solar Energy Div

Source: ES2008: PROCEEDINGS OF THE 2ND INTERNATIONAL CONFERENCE ON ENERGY SUSTAINABILITY, VOL 2 Pages: 269-278 Published: 2009

Times Cited: 0 (from All Databases)

**6. Title: Mechanoreceptors innervating the external anal sphincter of the guinea pig**

Author(s): Lynn Penny; Costa Marcello; Brookes Simon

Source: GASTROENTEROLOGY Volume: 134 Issue: 4 Supplement: 1 Pages: A557-A557 Published: APR 2008

Times Cited: 0 (from All Databases)

**7. Title: Reality-based practice under pressure improves handgun shooting performance of police officers**

Author(s): Oudejans R. R. D.

Source: ERGONOMICS Volume: 51 Issue: 3 Pages: 261-273 DOI: 10.1080/00140130701577435 Published: 2008

Times Cited: 9 (from All Databases)

**8. Title: Increasing turbocharged engine operating ranges through use of a booster system**

Author(s): Chapman Kirby S.; Keshavar Ali; Wolfram Kyle

Book Group Author(s): ASME

Conference: Fall Technical Conference of the ASME Internal Combustion Engine Division Location: Charleston, SC Date: OCT 14-17, 2007

Sponsor(s): Amer Soc Mech Engineers

Source: PROCEEDINGS OF THE 2007 FALL TECHNICAL CONFERENCE OF THE ASME INTERNAL COMBUSTION ENGINE DIVISION Pages: 473-480 Published: 2008

Times Cited: 0 (from All Databases)

**9. Title: Moisture transport in heated concrete, as studied by NMR, and its consequences for fire spalling**

Author(s): van der Heijden G. H. A.; van Bijnen R. M. W.; Pel L.; et al.

Source: CEMENT AND CONCRETE RESEARCH Volume: 37 Issue: 6 Pages: 894-901 DOI: 10.1016/j.cemconres.2007.03.004 Published: JUN 2007

Times Cited: 11 (from All Databases)

**10. Title: Treeless vegetation of the Australian Alps**

Author(s): McDougall Keith L.; Walsh Neville G.

Source: Cunninghamia Volume: 10 Issue: 1 Pages: 1-57 Published: 2007

Times Cited: 12 (from All Databases)

**11. Title: Effect of water side deposits on the energy performance of coal fired thermal power plants**

Author(s): Bhatt MS

Source: ENERGY CONVERSION AND MANAGEMENT Volume: 47 Issue: 9-10 Pages: 1247-1263 DOI: 10.1016/j.enconman.2005.07.002 Published: JUN 2006

Times Cited: 2 (from All Databases)

**12. Title: Evaluation of hybrid fuel cell turbine system startup with compressor bleed**

Author(s): Tucker David; Lawson Larry; Gernmen. Randy; et al.

Book Group Author(s): ASME

Conference: 50th ASME Turbo-Expo Location: Reno, NV Date: JUN 06-09, 2005

Sponsor(s): Amer Soc Mech Engineers

---

Source: Proceedings of the ASME Turbo Expo 2005, Vol 5 Pages: 333-341  
Published: 2005

Times Cited: 0 (from All Databases)

**13. Title: Pressure ( $\leq 4$  ATA) increases membrane conductance and firing rate in the rat solitary complex**

Author(s): Mulkey DK; Henderson RA; Putnam RW; et al.

Source: JOURNAL OF APPLIED PHYSIOLOGY Volume: 95 Issue: 3 Pages: 922-930 DOI: 10.1152/jappphysiol.00865.2002 Published: SEP 2003

Times Cited: 14 (from All Databases)

**14. Title: Behavioral, neurochemical, and electrophysiological characterization of a genetic mouse model of depression**

Author(s): El Yacoubi M; Bouali S; Popa D; et al.

Source: PROCEEDINGS OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF THE UNITED STATES OF AMERICA Volume: 100 Issue: 10 Pages: 6227-6232 DOI: 10.1073/pnas.1034823100 Published: MAY 13 2003

Times Cited: 106 (from All Databases)

**15. Title: Proposals to reduce over-crowding, lengthy stays and improve patient care: Study of the geriatric department in Norway's largest hospital**

Author(s): Martin E; Gronhaug R; Haugene K

Editor(s): Chick SE; Sanchez PJ; Ferrin D; et al.

Conference: 36th Winter Simulation Conference Location: NEW ORLEANS, LA Date: DEC 07-10, 2003

Sponsor(s): Amer Stat Assoc; IEEE Comp Soc; IEEE SMC; Inst Ind Engineers; INFORMS, Coll Simulat; NIST; Soc Modeling & Simulat Int

Source: PROCEEDINGS OF THE 2003 WINTER SIMULATION CONFERENCE, VOLS 1 AND 2 Pages: 1876-1881 DOI: 10.1109/WSC.2003.1261647 Published: 2003

Times Cited: 1 (from All Databases)

**16. Title: Peak expiratory flow at increased barometric pressure: comparison of peak flow meters and volumetric spirometer**

Author(s): Thomas PS; Ng C; Bennett M

Source: CLINICAL SCIENCE Volume: 98 Issue: 1 Pages: 121-124 DOI: 10.1042/CS19990173 Published: JAN 2000

Times Cited: 1 (from All Databases)

**17. Title: Effects of pressure and oxygen concentration on the combustion of different coals**

Author(s): Joutsenoja T; Saastamoinen J; Aho M; et al.

Source: ENERGY & FUELS Volume: 13 Issue: 1 Pages: 130-145 DOI: 10.1021/ef980139j Published: JAN-FEB 1999

Times Cited: 12 (from All Databases)

**18. Title: Fire tests in a compressed air tunnel at up to 3 bar pressure**

Author(s): Lamont DR; Buckland I; Bettis RJ; et al.

Editor(s): Negro A; Ferreira AA

Conference: World Tunnel Congress 98 on Tunnels and Metropolises Location: SAO PAULO, BRAZIL Date: APR 25-30, 1998

Source: TUNNELS AND METROPOLISES, VOLS 1 AND 2 Pages: 445-449  
Published: 1998

Times Cited: 0 (from All Databases)

**19. Title: Facility risk review as a means to addressing existing risks during the life cycle of a process unit, operation or facility**

Author(s): Schlechter WPG

Conference: 3rd International Colloquium on Ageing of Materials and Methods for Assessing the Lifetime Extension of engineering Plants (CAPE 95) Location: CAPE TOWN, SOUTH AFRICA Date: MAR, 1995

Source: INTERNATIONAL JOURNAL OF PRESSURE VESSELS AND PIPING Volume: 66 Issue: 1-3 Pages: 387-402 DOI: 10.1016/0308-0161(95)00113-1 Published: 1996

Times Cited: 4 (from All Databases)

**20. Title: CAJANUS-CAJAN (L) MILLSP AS A POTENTIAL AGROFORESTRY COMPONENT IN THE EASTERN PROVINCE OF ZAMBIA**

Author(s): BOEHRINGER A; CALDWELL R

Source: AGROFORESTRY SYSTEMS Volume: 9 Issue: 2 Pages: 127-140 DOI: 10.1007/BF00168258 Published: 1989

Times Cited: 6 (from All Databases)