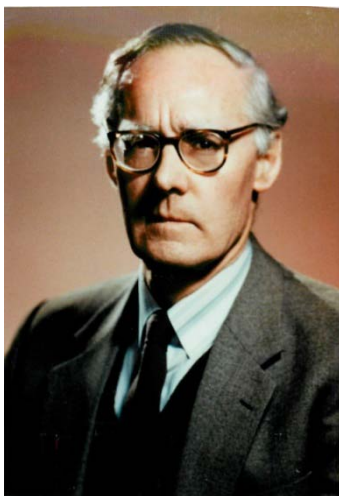


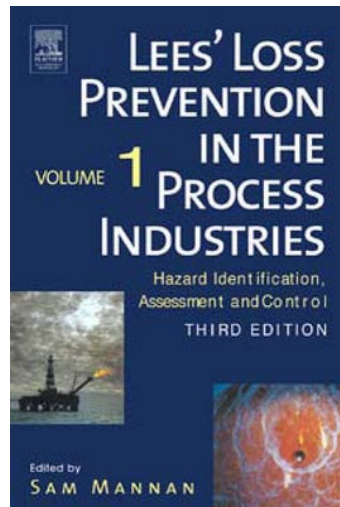
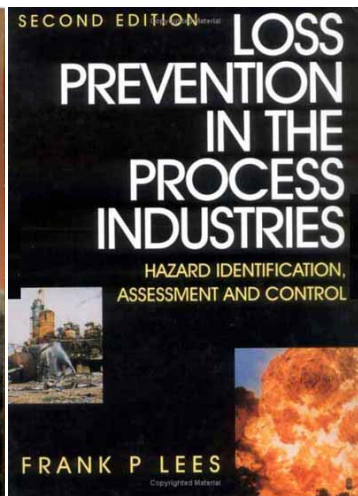
מבוא להנדסת בטיחות 1

תוכן העניינים -

| | | |
|---------|---|-----|
| 3..... | הקדמה..... | .1 |
| 8..... | סטטיסטיקה של תאונות עבודה – | .2 |
| 14..... | מודל הפירמידה של תאונות עבודה - | .3 |
| 16..... | הקטסטרופות הגדולות שאירעו בעולם – | .4 |
| 17..... | השתלטות על בטיחות תהליך – הבטיחות הפשוטה נשארת ללא פתרון - | .5 |
| 18..... | תפיסת הסיכון – סיכון נראה/בלתי נראה, סיכון נשלט/בלתי נשלט – | .6 |
| 20..... | כמות של חומרים שיש לדווח עליהם - | .7 |
| 21..... | חומרים מאד מסוכנים לעומת חומרים מסוכנים – | .8 |
| 21..... | חלוקה של חומרים דליקים לקבוצות – | .9 |
| 22..... | עלות כלכלית של בטיחות, כדאיות השקעה בבטיחות, הישרדות כלכלית של מפעל - | .10 |
| 22..... | אירועים קטנים קורים הרבה, אירועים גדולים קורים מעט - | .11 |
| 23..... | פרופיל סיכון – Risk Profile – | .12 |
| 23..... | ירידה בפרמיה של סיכון בבטיחות למפעל עקב שיפורי בטיחות – | .13 |
| 24..... | אמינות – Reliability – | .14 |



Frank Pearson Lees



Sam Mannan



יגאל ריזל



יגאל ריזל מִישראל (2 מצד שמאל בשורה העליונה) בקורס של סאם מאנאנאן בטקסס 2003 – Loss Prevention in the Process Industries

הספר מוקדש לפרופסור – Frank P Lees – שהיה המרצה שלי באוניברסיטת Loughborough באנגליה – 1984.

Francis Pearson Lees (5 April 1931 - 18 March 1999), known as Frank Lees, was a chemical engineer and a Professor at Loughborough University who is noted for his contribution to the field of industrial safety. Lees was born in Hexham, Northumberland. His parents sent him to the Quaker boarding school, Leighton Park School, Reading, which led to a lifelong association with the Society of Friends. He registered as a conscientious objector when called for National Service in 1948, and worked with the Friends Ambulance Unit/Post-War Service, part of the time in a British hospital. He won an open scholarship at Trinity College, Oxford, graduating with a first class degree in Modern Languages (Russian and German) in 1954. After a period of employment, he decided to pursue a more scientific career and took A levels in Mathematics, Chemistry and Physics. These enabled him to start work in 1956 as an experimental officer in the Central Instrument Research Laboratory of ICI. He studied chemical engineering part-time at West Ham College of Technology, then full time at Imperial College, London, graduating with first class honours in 1959. The same year he married Elizabeth, whom he had known as a student at Oxford. Professional life - He then worked as a chemical engineer at ICI, being particularly involved in the early development of computer control of chemical plants, and later published the book "*Man and Computer in Process Control*" by E. Edwards and F. P. Lees (1973), IChemE. In 1967 he became a lecturer at what was then the Loughborough University of Technology. He received a PhD from the same institution in 1969 and rose to the position of Professor of Plant Engineering in 1974. Following the Flixborough disaster of the same year, he was appointed to a new body, the (UK) national Advisory Committee on Major Hazards. He was later a technical assessor for the Inquiry into the Piper Alpha disaster, 1988. Publications - He published many papers, a notable one being "The Hazard Warning Structure of Major Hazards" which showed how risks could be assessed and reduced. However, he will be most remembered for his book *Loss Prevention in the Process Industries* of more than 1000 pages published in two volumes in 1980. This was a comprehensive review of the literature on accidents – how they happen and how they might be prevented. He took early retirement in 1990 to work on the second edition, which was published in 1996 in three volumes, indicating the growth in the field. Most books of this type would have been the result of efforts by a large team, but he was a single author. He had just finished the revision when he was affected by cancer, which led to his death. According to Professor Gupta "His work has already saved numerous casualties and enormous economic losses since many thousands have been trained using his books and research papers and have applied them in practice. This process will continue at an accelerated rate for a very long time and, thanks to the universal nature of academic activities, it is already impacting globally." His achievements were recognised by medals and awards from the Institution of Chemical Engineers, the Royal Society of Chemistry, and the Institute of Metals. He was made a Fellow of the Royal Academy of Engineering in 1985 and was awarded the degree of Doctor of Science, DSc, honoris causa, by Loughborough University in 1998. He did various voluntary works, and in later life was a local Magistrate. In his honour, the Institution of Chemical Engineers instituted the Frank Lees Medal for the most meritorious publication on the topic of safety and loss prevention. In addition, Loughborough University set up the Frank Lees Centre for Loss Prevention.

Loss Prevention in the Process Industries

Hazard Identification, Assessment and Control

Volume 1

Second edition

Frank P. Lees

Emeritus Professor of Chemical Engineering, Department of Chemical Engineering, Loughborough University, United Kingdom

Lee's Loss Prevention in the Process Industries

Hazard Identification, Assessment and Control

Volume 1

Third edition

Dr. Sam Mannan, PE, CSP

Department of Chemical Engineering, Texas A&M University, Texas, USA

1. הקדמה

החלטתי לכתוב את הספר הנקרא "מבוא להנדסת בטיחות" שבתחילתו יהיה תרגום קליל של הספר – Loss Prevention in the Process Industries – שבנוי מ-3 חלקים וכל חלק מכיל 1000 עמודים. סה"כ הספר מכיל כ-3000 עמודים. הספר המקורי הוא מאד מורכב ולדעתי מאד מסורבל. החלטתי לקחת רק את תוכנית העבודה של הספר ולהוסיף לה את הצד שלי לפי החומר הרב שיש באינטרנט. אני מאד מקווה שספר זה ישמש את הממונים על הבטיחות כספר לימוד של המקצוע. אינני מאמין שאני יכול להתמודד לבד עם כתיבה של ספר שכזה. אני מאד מקווה שבהמשך יצטרפו אלי אנשים שינהלו אותי ויגידו לי מה הם חושבים שצריך להיכנס לספר. כמו כן שייקחו על עצמם כתיבה של חלק מהספר. אני הייתי מאד רוצה ש-4 גופים בישראל יהיו קשורים באימוץ הספר והכוונה למשרד מפקח עבודה ראשי, למוסד לבטיחות וגהות, לארגון הממונים על הבטיחות, אגודת מהנדסי הבטיחות.

צביקה גרינברג

ההקדמה שכותב פרופסור Frank P Lees – לספר שלו – מהדורה שנייה 1994

The first edition of this book appeared in 1980, at the end of a decade of rapid growth and development in loss prevention. After another decade and a half the subject is more mature, although development continues apace. In preparing this second edition it has been even more difficult than before to decide what to put in and what to leave out. The importance of loss prevention has been underlined by a number of disasters. Those at San Carlos, Mexico City, Bhopal and Pasadena are perhaps the best known, but there have been several others with death tolls exceeding 100. There have also been major incidents in related areas, such as those on the Piper Alpha oil platform and at the nuclear power stations at Three Mile Island and Chernobyl. Apart from the human tragedy, it has become clear that a major accident can seriously damage even a large international company and

may even threaten its existence, rendering it liable to severe damages and vulnerable to takeover. Accidents in the process industries have given impetus to the creation of regulatory controls. In the UK the Advisory Committee on Major Hazards made its third and final report in 1983. At the same time the European Community was developing its own controls which appeared as the EC Directive on Major Accident Hazards. The resulting UK legislation is the NIHHS Regulations 1982 and the CIMAH Regulations 1984. Other members of the EC have brought in their own legislation to implement the Directive. There have been corresponding developments in planning controls. An important tool for decision-making on hazards is hazard assessment. The application of quantitative methods has played a crucial role in the development of loss prevention, but there has been lively debate on the proper application of such assessment, and particularly on the estimation and evaluation of the risk to the public. Hazard assessment involves the assessment both of the frequency and of the consequences of hazardous events. In frequency estimation progress has been made in the collection of data and creation of data banks and in fault tree synthesis and analysis, including computer aids. In consequence assessment there has been a high level of activity in developing physical models for emission, vaporization and gas dispersion, particularly dense gas dispersion; for pool fires, fireballs, jet flames and engulfing fires; for vapour cloud explosions; and for boiling liquid expanding vapour explosions (BLEVEs). Work has also been done on injury models for thermal radiation, explosion overpressure and toxic concentration, on models of the density and other characteristics of the exposed population, and on shelter and escape. Some of these topics require experimental work on a large scale and involving international cooperation. Large scale tests have been carried out at several sites on dense gas dispersion and on vapour cloud fires and explosions. Another major cooperative research programme has been that of DIERS on venting of chemical reactors. The basic approach developed for fixed installations on shore has also been increasingly applied in other fields. For Advisory Committee on Dangerous Substances represents an important landmark. Another application is in the offshore oil and gas industry, for which the report on the Piper Alpha disaster, the Cullen Report, constitutes a watershed. As elsewhere in engineering, computers are in widespread use in the design of process plants, where computer aided design (CAD) covers physical properties, flow sheeting, piping and instrument diagrams, unit operations and plant layout. There is increasing use of computers for failure data retrieval and analysis, reliability and availability studies, fault tree synthesis and analysis and consequence modelling, while more elusive safety expertise is being captured by computer-based expert systems. The subject of this book is the process industries, but the process aspects of related industries, notably nuclear power and oil and gas platforms are briefly touched on. The process industries themselves are continually changing. In the last decade one of the main changes has been increased emphasis on products such as pharmaceuticals and agrochemicals made by batch processes, which have their own particular hazards. All this knowledge is of little use unless it reaches the right people. The institutions which educate the engineers who will be responsible for the design and operation of plants handling hazardous materials have a duty to make their students aware of the hazards and at least to make a start in gaining competence in handling them. **FRANK P. LEES Loughborough, 1994**

ההקדמה שכותב פרופסור – Sam Mannan – למהדורה השלישית 2004 -

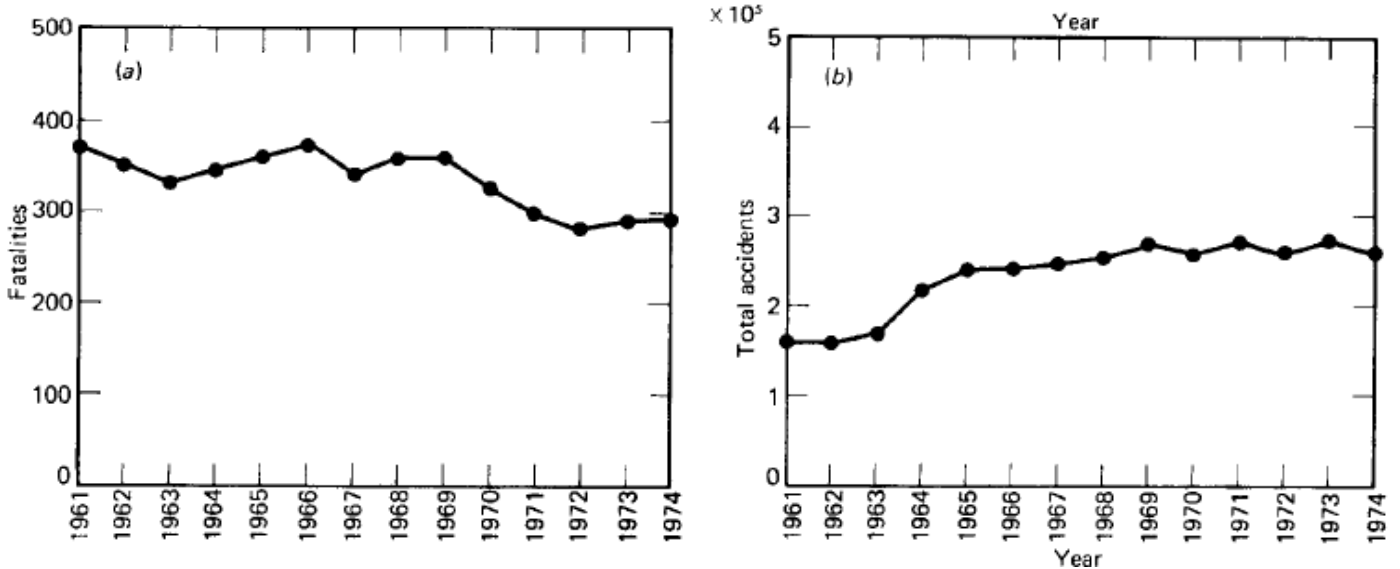
The first edition of this book appeared in 1980, at the end of a decade of rapid growth and development in loss prevention. In the preface to the second edition, Frank P. Lees wrote, “After another decade and a half the subject is more mature, although development continues apace. In preparing this second edition it has been even more difficult than before to decide what to put in and what to leave out.” Frank Lees’ statement in 1996 rings even truer today, another eight years later in 2004. Industrial advances and technology changes coupled with recent events have made it essential to focus on new topics while keeping a complete grasp of all of older technologies and learnings as well. Safety programs today must also consider issues such as chemical reactivity hazards, safety instrumented systems, and layer of protection analysis. In the post 9-11 world, process safety and loss prevention must also include consideration of issues related to chemical security and resilient engineering systems. The history of safety regulations in the United States can be traced back to the year before the beginning of the twentieth century. The River and Harbor Act, the first known federal legislation relevant to safety was promulgated in 1899. Since then, the total number of legislations has steadily increased. In addition to the federal government, local entities such as the state, county, and cities have also promulgated regulations and ordinances, which impose safety requirements on process facilities. Varying degrees of similar legislative action has also occurred in the rest of the world. These legislation were all promulgated in response to some event, demographic changes, as well as changes in the industry. Also, as our understanding of the hazards associated with industrial processes developed, procedures and practices were put in place to limit or eliminate the damage. Government programs and industry initiatives spurred improvements in the science and technology

needed for the recognition of hazards and associated risks. Management systems have been put in place to implement regulations and industry practices. Government regulations will continue to be a significant driver for safety programs. As such, one of the main objectives of these management systems is to ensure compliance. However, it is also quite clear that profitability is directly related to safety and loss prevention. Thus the management systems for safety are intricately tied into the operational management. The industrial revolution brought prosperity and along with it the use of hazardous processes and complex technologies. Growing economies and global competition has led to more complex processes involving the use of hazardous chemicals, exotic chemistry, and extreme operating conditions. As a result, a fundamental understanding of the hazards and associated risks is essential. Process safety and risk management requires the application of the basic sciences and a systematic approach. Recent advances, such as overpressure protection alternatives and reactive chemistry allow safer design and operation of processes. In the multiple barriers concept, plants are designed with several layers so that an incident would require the failure of several systems. Another novel approach to process safety and risk management is to consider various actions in a descending hierarchical order. Inherently safer design consideration should be first in the hierarchy followed by prevention systems, mitigation, and response. The success of these systems is dependent on the fundamental understanding of the process and the associated hazards. Chronic as well as catastrophic consequences resulting from toxic and flammable substances can be reduced and/or eliminated through appropriate design and operating practices. Managing safety is no easy task, but it makes bottom line sense. There is a direct payoff in savings on a company workers' compensation insurance, whose premiums are partly based on the number of claims paid for job injuries. The indirect benefits are far larger, for safe plants tend to be well run in general and more productive. The recipe for safety is remarkably consistent from industry to industry. It starts with sustained support of top management followed by implementation of appropriate programs and practices that institutionalize safety as a culture as compared to add-on procedures. The ingraining of safety as second nature in day-to-day activities requires a paradigm shift and can only be accomplished when safety is viewed as an integral and comprehensive part of any activity as compared to being a stand-alone or add-on activity. This third edition of Loss Prevention in the Process Industries represents a combination of appropriate revisions of the essential compilations put together by Frank P. Lees, along with several new chapters and additions on new areas that deserve attention and discussion. The third edition includes five new chapters and three new appendices. The five new chapters address incident investigation, inherently safer design, reactive chemicals, safety instrumented systems, and chemical security. The three new appendices address process safety management regulation in the United States, risk management program regulation in the United States, and incident databases. The chapter on incident investigation provides a summary of incident investigation procedures that can be used not only to determine causes of incidents but also provides a primer on capturing and integrating lessons learned from incident investigations into design, operations, maintenance, and response programs. Chemical process incidents can be accompanied by significant consequences, both in terms of human life and in financial impact. Many major chemical process incidents are the result of a complex scenario involving simultaneous failures of multiple safeguards. A robust system for incident investigation is usually necessary to determine and understand the causes, as well as implement measures to prevent a repeat event. This chapter is intended to provide an overview of incident investigation by addressing major concepts, principles, and characteristics of effective incident investigations of chemical process events. The focus is on incidents pertaining to chemical processes and their associated hazards, and the associated investigation techniques appropriate for complex systems and scenarios. This chapter is based on best practices for incident investigation, and those common concepts (i.e., tools, techniques, definitions) included in root cause investigation methodologies currently in the public domain in use in the process industry. It is not the intention to provide a stand-alone investigation methodology/ guideline, nor address internal or proprietary investigation methodologies. The chapter on inherently safer design addresses options and issues that can be considered with regard to the design and operation of plants. Inherently safer design is a philosophy that focuses on elimination of hazards or reduction of the magnitude of hazards rather than the control of hazards. Many of the concepts of inherently safer design have been applied by engineers in a wide variety of technologies for many years, without recognizing the common approach. In the late 1970s, in the wake of many large incidents in the chemical industry, **Trevor Kletz**¹ recognized the common philosophies of hazard elimination and hazard reduction, gave the philosophy the name "inherently safer design," and developed a specific set of approaches to help engineers in the chemical process industries to design inherently safer processes and plants. Trevor realized that increased expectations for safety, from companies, regulatory bodies, and society in general, combined with the increased potential damage from incidents in the larger plants being built to meet

¹ המורה הרוחני שלי לבטיחות מאוניברסיטת Loughborough - שהביא אותי לאנגליה. היה מספר פעמים בישראל. יהודי אוהב ישראל. גידל 100 אנשי בטיחות בישראל.

increased demand and global markets, resulted in increased complexity and cost for the safety systems required to satisfy these demands. Furthermore, while hazard control systems can be made highly reliable, they can never be perfect and will always have some failure probability. While this probability can be made very small, there is always some chance that all safety systems will fail simultaneously and the result would be a large incident. Also, the hazard management systems require ongoing maintenance, as well as management and operator training, for the life of the plant. This results in ongoing costs, and the potential for future deterioration of the safety systems. Deteriorated systems will have reduced reliability, increasing the potential for a catastrophic accident. **Trevor Kletz** suggested that in many cases, a simpler, cheaper, and safer plant could be designed by focusing on the basic technology, eliminating or significantly reducing hazards, and therefore the need to manage them. The chapter on reactive chemicals provides an overview of this critical issue and provides guidance on management systems as well as experimental and theoretical methods for analyses of chemical reactivity hazards. Serious incidents arising from uncontrolled reactivity have taken place since the inception of the chemical industry. The human toll of such incidents has been staggering. In recent decades, greater recognition and resources have been directed toward preventing and mitigating such occurrences. A number of incidents have been so severe as to prompt regulatory initiatives to force better management of reactivity. It is prudent for any company, organization, or other group to scrutinize the chemicals being handled and implement measures to limit the risk of a major reactive hazards event. A sampling of incidents that have substantially heightened concerns regarding reactive hazards in the general public, in governmental agencies, and in industry includes: _ The 1976 ICMESA incident in Seveso, Italy in which an uncontrolled chemical reaction generated pressure resulting in relief venting of a highly toxic dioxane into the neighboring villages and countryside. _ The 1984 Union Carbide incident in **Bhopal**², India in which methyl isocyanate was contacted with water, generating highly toxic cyanide gas and leading to thousands of fatalities. _ The 1994 Napp Technology incident in Lodi, New Jersey in which an uncontrolled reaction involving gold ore processing led to the deaths of five firefighters. _ The 1999 Concept Sciences incident in Allentown, Pennsylvania in which an explosion arising from a process concentrating hydroxylamine resulted in five fatalities. Another event involving purified hydroxylamine took place in a Nissin Chemical plant in Gunma Prefecture, Japan in 2000 and led to four fatalities. _ The 2001 Total FinaElf incident in Toulouse, France in which ammonium nitrate being processed for nitrogen fertilizers exploded leading to 30 fatalities. These events, as well as numerous others, have influenced the perception and approach to reactive hazards. The chapter on safety instrumented systems addresses systems and procedures that need to be in place with regard to this area of safety and instrumentation. In many processes, technical or manufacturing issues limit the engineer's capability to design an inherently safer process. Further, there is generally a point where the required capital investment is disproportional to the additional risk reduction provided by the process modification. In other words, the derived safety benefit is too low relative to the economic investment. When this occurs, protection layers or safeguards must be provided to prevent or mitigate the process risk. A Safety Instrumented System (SIS) is a protection layer, which shuts down the plant, or part of it, if a hazardous condition is detected. Throughout the years, SIS have also been known as Emergency Shutdown Systems (ESD, ESS), Safety Shutdown Systems (SSD), Safety Interlock Systems (SIS), Safety Critical Systems (SCS), Safety Protection Systems (SPS), Protective Instrumented Systems (PIS), interlocks, and trip systems. Regardless of what the SIS may be called, the essential characteristic of the SIS is that it is composed of instruments, which detect that process variables are exceeding preset limits, a logic solver, which processes this information and makes decisions, and final control elements, which take necessary action on the process to achieve a safe state. The chapter on chemical security deals with this new and critical element of the management of a process facility following the events of September 11, 2001. Security management is required for protecting the assets (including employees) of the facility, maintaining the ongoing integrity of the operation, and preserving value of the investment. Process security and process safety have many parallels and make use of many common programs and systems for achieving their ends. Process security requires a management systems approach to develop a comprehensive security program, which shares many common elements to process safety management. The new appendix on process safety management regulation in the United States provides a summary of this regulatory requirement. The fourteen elements of the OSHA Process Safety Management (PSM) regulation (29 CFR 1910.119) were published in the U.S. Federal Register on February 24, 1992. The objective of the regulation is to prevent or minimize the consequences of catastrophic releases of toxic, reactive, flammable, or explosive chemicals. The regulation requires a comprehensive management program: a holistic approach that integrates technologies, procedures, and management practices. The process safety management regulation applies to processes that involve certain specified chemicals at or above threshold quantities,

processes that involve flammable liquids or gases on-site in one location, in quantities of 10,000 pounds or more (subject to few exceptions), and processes that involve the manufacture of explosives and pyrotechnics. Hydrocarbon fuels, which may be excluded if used solely as a fuel, are included if the fuel is part of a process covered by this regulation. In addition, the regulation does not apply to retail facilities, oil or gas well drilling or servicing operations, or normally unoccupied remote facilities. The new appendix on risk management program regulation in the United States provides a summary of this regulatory requirement administered by the U.S. Environmental Protection Agency. In 1996, EPA promulgated the regulation for Risk Management Programs for Chemical Accident Release Prevention (40 CFR 68). This federal regulation was mandated by section 112(r) of the Clean Air Act Amendments of 1990. The regulation requires regulated facilities to develop and implement appropriate risk management programs to minimize the frequency and severity of chemical plant accidents. In keeping with regulatory trends, EPA required a performance-based approach towards compliance with the risk management program regulation. The EPA regulation also requires regulated facilities to develop a Risk Management Plan (RMP). The RMP includes a description of the hazard assessment, prevention program, and the emergency response program. Facilities submit the RMP to the EPA and subsequently is made available to governmental agencies, the state emergency response commission, the local emergency planning committees, and communicated to the public. The new appendix on incident databases addresses compilations of incident databases that can be used for improving safety programs, developing trends, performance measures, and metrics. Incident prevention and mitigation of consequences is the focus of a number of industry programs regulatory initiatives. As part of these programs and regulations, accident history data are often collected. There are two basic types of information. One is a database consisting of standardized fields of data usually for a large number of incidents. The second are more detailed reports of individual incidents. Analysis of these incident history databases can provide insight into incident prevention needs. While the analysis and conclusions obtained from the incident database are often limited by the shortcomings of the databases themselves, the fact remains that incident history databases are very useful and can be a powerful tool in focusing risk reduction efforts. The conclusions can be used to identify systematically the greatest risks to allow prioritization of efforts to improve process safety. At the plant level this might entail identifying certain processes, types of equipment, chemicals, operations and other factors most commonly associated with incidents. Databases that cover a very large number of facilities are likely to reveal trends and patterns that no one company or facility could determine from their own experience. Statistical knowledge of the likelihood of the release of certain types of chemicals could help emergency responders, state emergency response commissions, and local emergency planning committees determine the most likely and most serious chemical releases in their areas and plan appropriate chemical accident responses. Incident databases may also help identify technologies and practices to prevent chemical accidents, or the need to develop them. For example, the data could indicate that inspection and preventive maintenance of equipment and instruments should become more thorough or more frequent. **M. SAM MANNAN College Station, Texas, USA 2004**



Sources: Robens (1972); HM Chief Inspector of Factories (1974)

Figure 1.1 (a) Fatalities and (b) total accidents in factories in the UK, 1961–74 (Courtesy of the Health and Safety Executive)

על פי הגרף השמאלי אפשר לראות שמספר ההרוגים בתאונות עבודה באנגליה בין השנים 1961-1974 ירד מ-400 הרוגים לשנה ל-300 הרוגים לשנה.

על פי הגרף הימני אפשר לראות שמספר תאונות העבודה עלה מ-1.5 מיליון תאונות עבודה בשנת 1961 ל-2.5 מיליון תאונות עבודה ב-1974.

על פי הגרף השמאלי נראה שהבטיחות תרמה למערכת והורידה את מספר ההרוגים. על פי הגרף הימני נראה שהבטיחות לא הצליחה לתרום כלכלית למערכת והעלות הכספית של התאונות עלתה.

Table 1: The Fifteen Leadings Causes of Death in the United States, 2000

| Rank | Cause of Death | Number of Deaths |
|------|-------------------------------------|------------------|
| 1 | Heart Disease | 709,894 |
| 2 | Malignant Neoplasms | 551,833 |
| 3 | Cerebrovascular Diseases | 166,028 |
| 4 | Chronic Lower Respiratory Diseases | 123,550 |
| 5 | Accidents (Unintentional Injuries) | 93,592 |
| 6 | Diabetes Mellitus | 68,662 |
| 7 | Influenza and pneumonia | 67,024 |
| 8 | Alzheimer's Disease | 49,044 |
| 9 | Nephritis | 31,613 |
| 10 | Septicemia | 31,613 |
| 11 | Intentional Self Harm (Suicide) | 28,332 |
| 12 | Chronic Liver Disease | 26,219 |
| 13 | Hypertension & Renal Disease | 17,964 |
| 14 | Pneumonitis due to Solids or Liquid | 16,659 |
| 15 | Assault (Homicide) | 16,137 |

Source: Minino and Smith, 2001.

על פי הנתונים הללו אפשר לראות - שתאונות מוות בלתי מכוונות - הן במקום ה-4 ויש 93,592 הרוגים בשנת 2000 בארה"ב

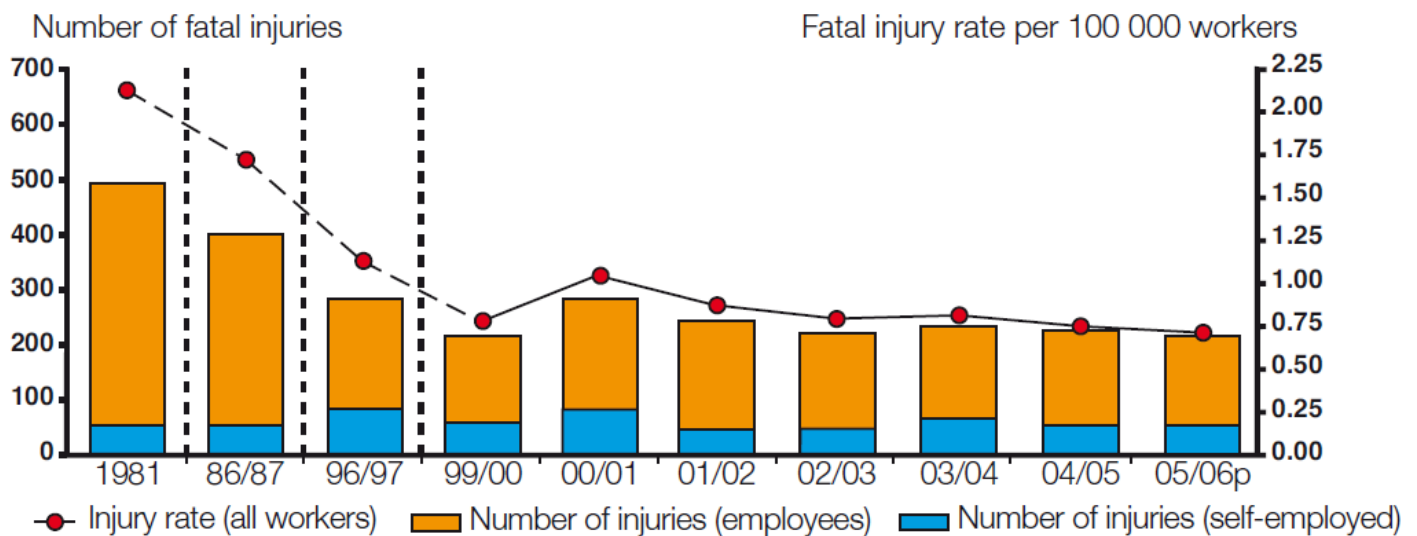
Table 2: Unintentional Injuries in the United States, 1999

| Rank | Cause of Death | Number of Deaths |
|-------|---|------------------|
| 1 | Motor Vehicle | 40,965 |
| 2 | Falls | 13,162 |
| 3 | Poisoning | 12,186 |
| 4 | Unspecified | 7,459 |
| 5 | Suffocation | 5,503 |
| 6 | Drowning | 3,529 |
| 7 | Fire/Burn | 3,471 |
| 8 | Natural/Environment | 1,923 |
| 9 | Other Land Transport | 1,867 |
| 10 | Pedestrian | 1,502 |
| 11 | Other Transport | 1,408 |
| 12 | Other Spec., Classified | 1,310 |
| 13 | Other Spec., (Not elsewhere classified) | 955 |
| 14 | Struck by or Against | 894 |
| 15 | Firearm | 824 |
| 16 | Machinery | 622 |
| 17 | Pedal Cyclist, Other | 185 |
| 18 | Cut/Pierce | 74 |
| 19 | Overexertion | 21 |
| Total | | 97,860 |

Source: Center for Disease Control and Prevention, 2002.

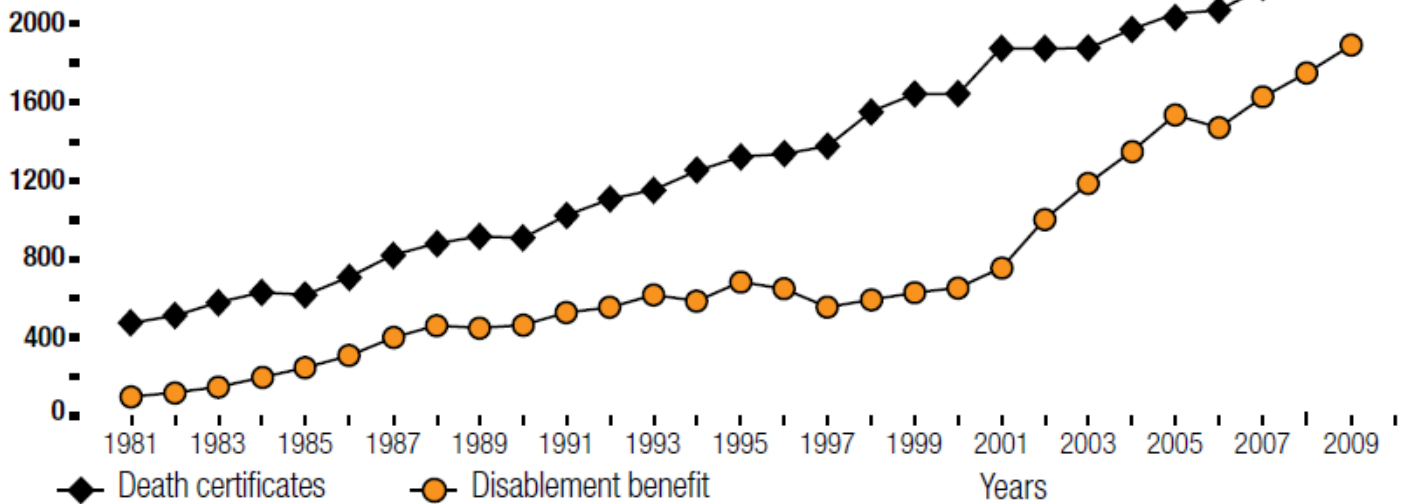
על פי טבלה זו אפשר לראות שמתוך 97,860 הרוגים מתאונות בשנת 1999 בארה"ב - 40,965 הם תאונות דרכים, 13,162 מנפילות

Figure 4: Number and rate of fatal injuries to workers



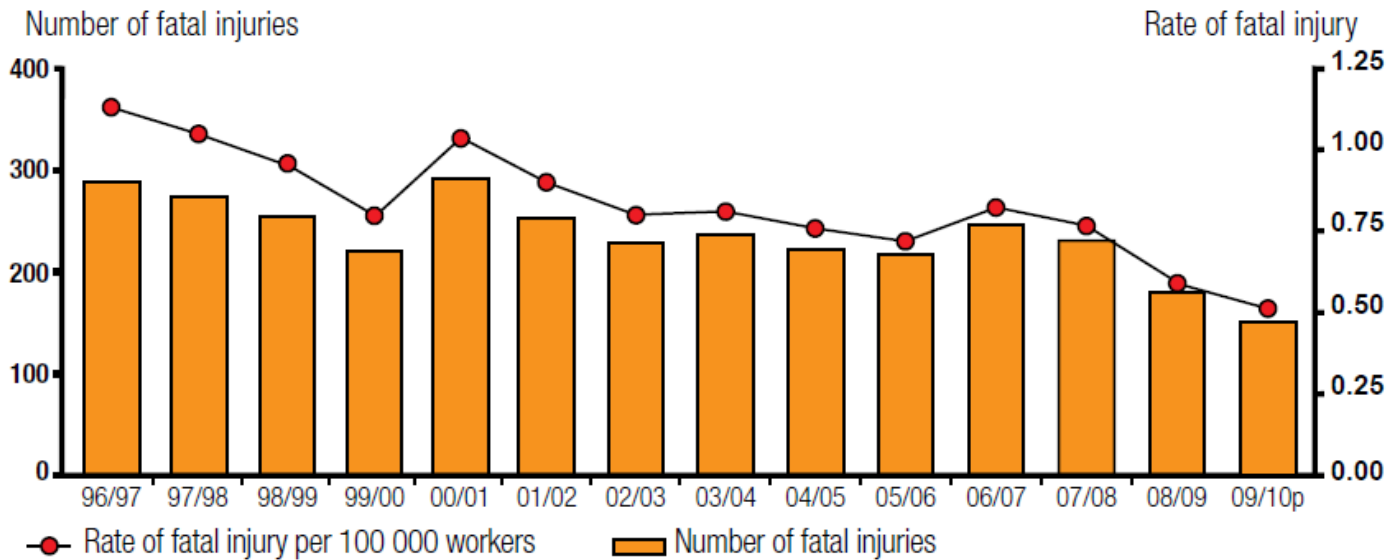
על פי הגרף הזה יש ירידה מתמדת בתאונות עבודה בבריטניה בין השנים 1981-2006 - מ- 500 הרוגים בשנה ל- 250 הרוגים בשנה. בצורה מוחלטת מ- 2.25 הרוגים לכל 100,000 עובדים ל- 0.75 הרוגים לכל 100,000 עובדים.

Number of deaths or cases



על פי הגרף הזה ³ שהוא משנת 1981-2009 – אנחנו רואים שמספר תאונות המוות עלה מ- 400 בשנת 1981 ל-2400 בשנת 2009. מספר הנכים לצמיתות עלה ממספר אפסי ב- 1981 ל- 2000 ב- 2009.

Figure 4 Number and rate of fatal injuries to workers



הגרף הזה נותן מספר ההרוגים בצד שמאל – בשנת 1996-7 – 300 הרוגים. ב- שנת 2009-10 – 150 הרוגים. הגרף הזה נותן בצד ימין את מספר ההרוגים ל-100,000 עובדים – הוא היה 1 עובד לכל 100,000 עובדים לשנה בשנת 1996-7 ויורד ל- 0.5 עובדים לכל 100,000 עובדים לשנה בשנת 2009-10. על פי הגרף הזה רואים שיש ירידה משמעותית במספר ההרוגים וכן במספר ההרוגים לגודל קבוצת העובדים. אם ב-2 הגרפים יש ירידה ב-50% זה אומר שכוח העבודה בבריטניה לא השתנה משנת 1996-2010.

Figure 5 Number and rate of reported major injuries to employees



הגרף הזה נותן את מספר הנפגעים בתאונות עבודה. בצד שמאל מספר הנפגעים – בשנת 1996-7 היו 28,000 נפגעים ובשנת 2009-10 היו כ- 27,000 נפגעים. בצד ימין רואים את הערך היחסי לגודל אוכלוסייה של 100,000 עובדים. בשנת 1996-7 – 120 נפגעים לכל 100,000 עובדים ובשנת 2009-10 – 100 נפגעים לכל 100,000 עובדים.

Figure 6 Rate of reportable non-fatal injury to employees and LFS rate of reportable non-fatal injury to workers

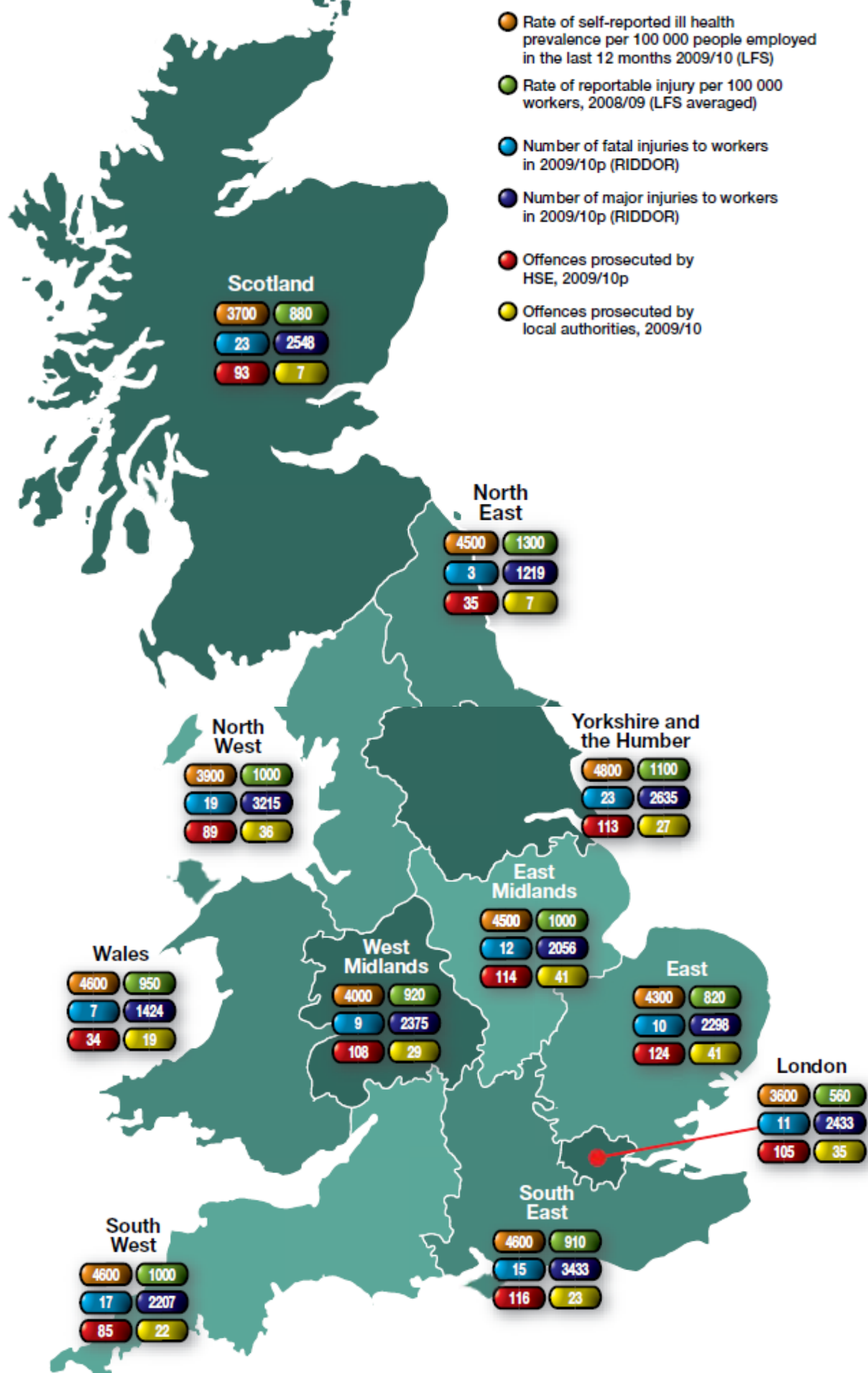


הגרף הזה מתאר את מספר הנפגעים יחסית לגודל אוכלוסייה של 100,000 עובדים.

LFS – Labor Force Survey

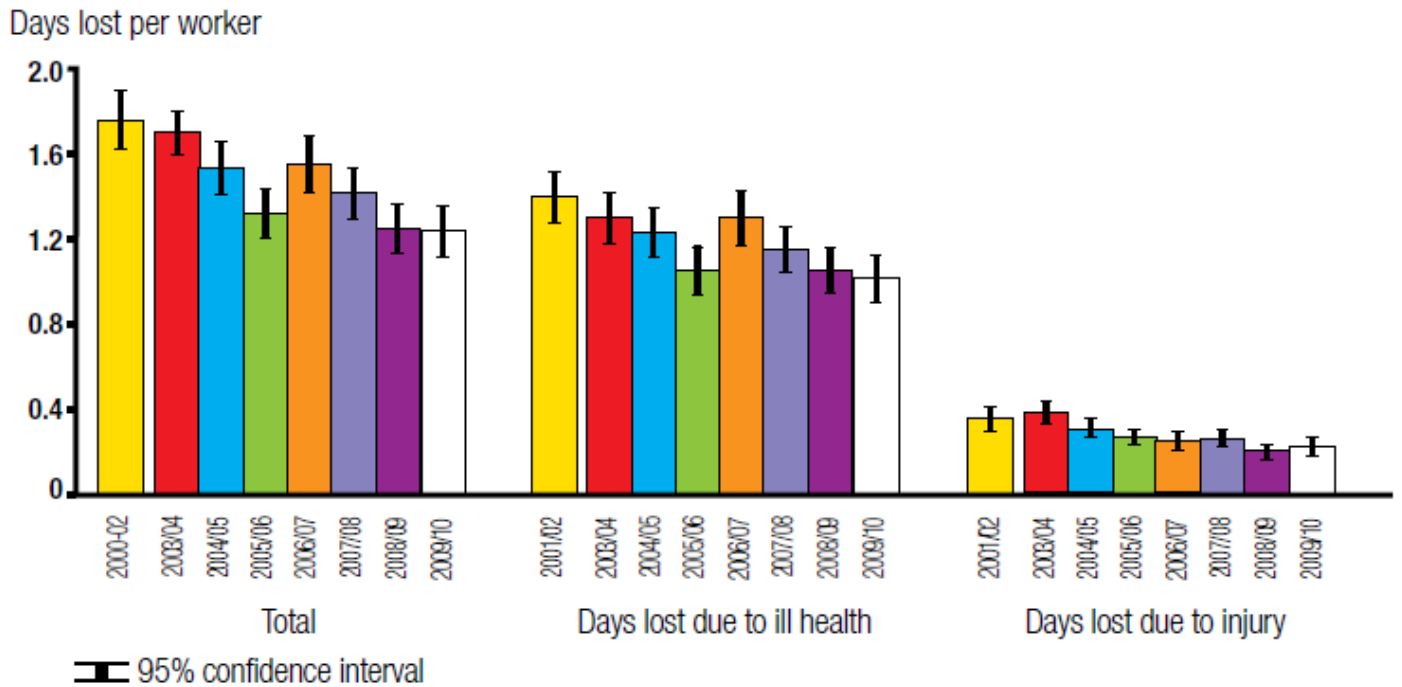
RIDDOR – Reported Injuries Diseases Dangerous Occurrences

מספר הנפגעים ב- 1999-2000 היה 1500 עובדים ל-100,000 איש. וזה ירד ל-900 עובדים ל-100,000 איש. מספר הנפגעים, מחלות מקצוע, מקרים מסוכנים היה – 700 ל-100,000 עובדים בשנת 1999-2000 ו-500 עובדים ל-100,000 איש בשנת 2009-2010.



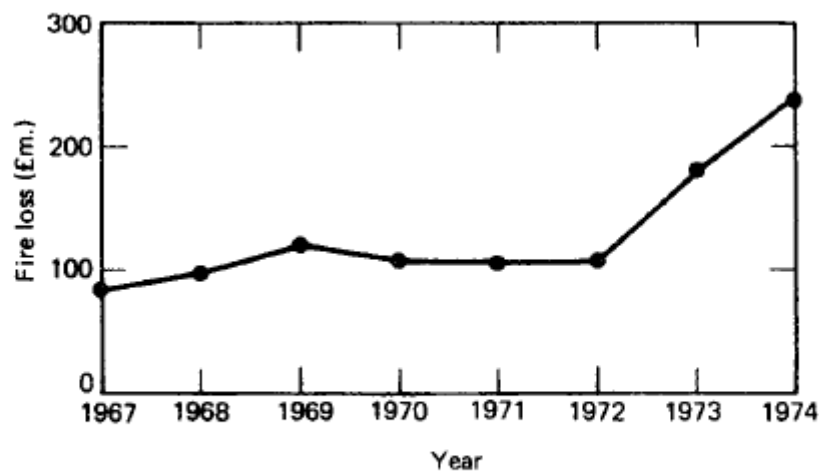
במפה זו רואים את הפיזור הגיאוגרפי של התאונות בשנים 2009-2010 – הריבוע הכחול מתאר את תאונות המוות ויש אזורים שיש בהם 23 הרוגים כמו בסקוטלנד ובירוק שיר. ויש אזורים עם 3 הרוגים בצפון מזרח אנגליה.

Figure 14 Estimated working days lost per worker due to work-related ill health and workplace injuries



אובדן ימי עבודה לעובד בשנים 2000-2010. ככלי ירד מ- 1.8 ימים לעובד ל- 1.2 ימים לעובד. זה מורכב מ-2 חלקים מחלות מקצוע ותאונות עבודה. מחלות מקצוע ירדו מ-1.4 ימים לעובד ל- 1.1 ימים לעובד. ותאונות עבודה ירדו מ- 0.4 ימים לעובד ל- 0.3 ימים לעובד.

מגרף זה רואים שמספר ימי היעדרות בגלל מחלות מקצוע הוא פי 4 מאשר תאונות עבודה.

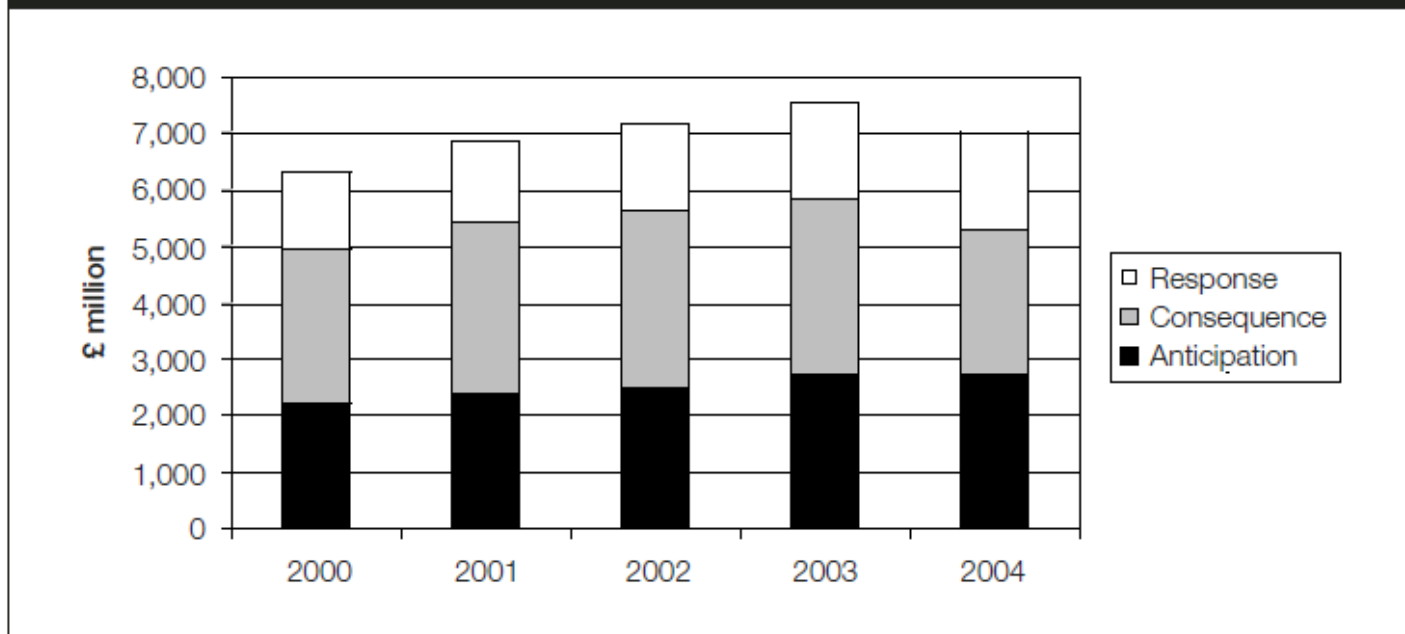


Source: British Insurance Association (1975)

Figure 1.2 Total fire losses in the UK, 1967–74 (Courtesy of the British Insurance Association)

בגרף זה רואים את הנזק בשנים 1967 – 1974 שעלה מ- 90 מיליון לירות סטרלינג ל- 250 מיליון לירות סטרלינג. עליה של יותר מ-250%.

Chart 3.1: Components of the total cost of fire, 2000-04 (current prices)



נזקי שרפה בריטניה⁴ - 2000-2004 – בין 6300 מיליון לירות סטרלינג לבין 7500 מיליון לירות סטרלינג. בהשוואה לתקופה של שנות ה-70 מדובר בקפיצה של פי 30.

3. מודל הפירמידה של תאונות עבודה -

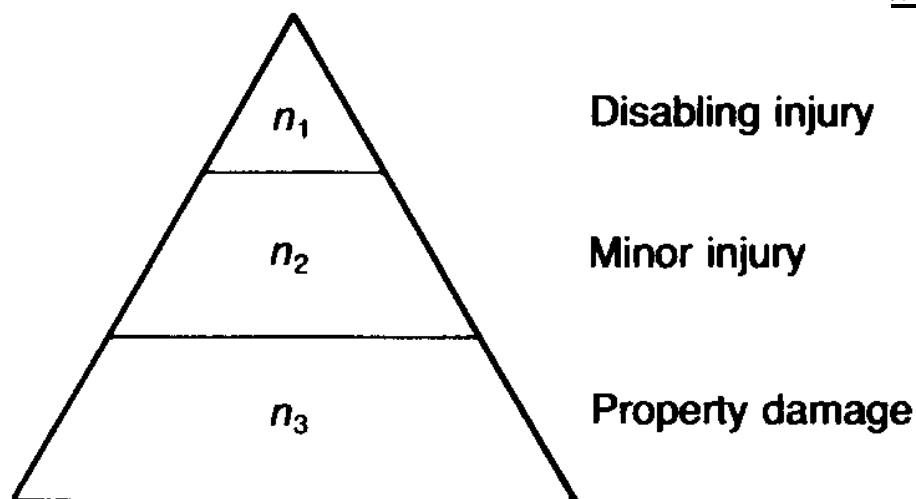


Figure 1.4 The accident pyramid (after Bird and Germain, 1966) - Major or lost time injury/Minor injury/No injury = 1 : 29 : 300

פירמידת התאונות – על כל תאונה גדולה יש 29 תאונות בינוניות.

Table 2.7 Fatal incidents in manufacturing industry in different countries^a

| | <i>Fatality rate</i> | |
|-----------------|--|--|
| | <i>Deaths per 1000 man-years^{b,c}</i> | <i>Deaths per 100,000 workers per year^d</i> |
| Argentina | 0.020 | |
| Austria | 0.142 | |
| Belgium | 0.140 (1979) | |
| Canada | 0.080 | 14 (1971–74) |
| Czechoslovakia | 0.061 | |
| Eire | | 9 (1971–75) |
| France | 0.068 (1982) | 11 (1971–74) |
| Germany (FRG) | 0.120 (1982) | 17 (1971–75) |
| Germany (GDR) | 0.030 | |
| Italy | | 8 (1971–73) |
| Japan | 0.010 | 5 (1971–75) |
| The Netherlands | 0.009 | 4 (1971–73) |
| Norway | 0.050 | |
| Poland | 0.066 (1984) | |
| Spain | 0.109 | |
| Switzerland | 0.080 | |
| UK | 0.020 | 4 (1971–75) |
| USA | 0.022 | 7 (1971–74) |

מספר התאונות במדינות שונות בעולם. בעמודה השמאלית מספר מקרי מוות ל-1000 שנות אדם. בעמודה הימנית מספר מקרי מוות ל-100,000 עובדים בשנה. אי אפשר לעבור מעמודה אחת לשנייה ע"י הכפלה בפקטור מתאים. אנחנו רואים שבעמודה השמאלית – בגרמניה וגם בספרד יש פי 10 תאונות מאשר בהולנד ויפן.

4. הקטסטרופות הגדולות שאירעו בעולם –

| | | | |
|------------------------|--|------|-----------------|
| Earthquake | Near East and East Mediterranean | 1201 | 1,100,000 |
| Volcanic eruption | Tambora Sumbawa, Indonesia | 1815 | 92,000 |
| Landslide | Kansu Province, China | 1920 | 180,000 |
| Avalanche | Yungay, Juascaran, Peru | 1970 | ≈18,000 |
| Circular storm | Ganges Delta Islands, Bangladesh | 1970 | 1,000,000 |
| Tornado | Shaturia, Bangladesh | 1989 | ≈1,300 |
| Flood | Hwang-Ho river, China | 1887 | 900,000 |
| Lightning | Hut in Chinamasa Krael nr Umtali, Zimbabwe (single bolt) | 1975 | 21 |
| Smog | London fog, UK (excess deaths) | 1951 | 2,850 |
| Panic | Chungking (Zhong qing), air raid shelter, China | 1941 | ≈4,000 |
| Dam burst | Manchu River Dam, Morvi, Gujarat, India | 1979 | ≈5,000 |
| Fire (single building) | The Theatre, Canton, China | 1845 | 1,670 |
| Explosion | Halifax, Nova Scotia, Canada | 1917 | 1,963 |
| Mining | Hankeiko Colliery, China (coal dust explosion) | 1942 | 1,572 |
| Industrial | Union Carbide methylisocyanate plant, Bhopal, India | 1984 | ≈2,500 |
| Offshore platform | Piper Alpha, North Sea | 1988 | 167 |
| Nuclear reactor | Chernobyl Reactor No. 4 | 1986 | 31 ^a |
| Aircraft | KLM-Pan Am, Boeing 747 crash, Tenerife | 1977 | 583 |
| Marine (single ship) | Wilhelm Gustloff, German liner torpedoed off Danzig by Soviet submarine S-13 | 1945 | ≈7,700 |
| Rail | Bagmati River, Bihar, India | 1981 | >800 |
| Road | Petrol tanker explosion inside Salang Tunnel, Afghanistan | 1982 | ≈1,100 |
| Atomic bomb | Hiroshima, Japan | 1945 | 141,000 |
| Conventional bombing | Tokyo, Japan | 1945 | ≈140,000 |
| B UK | | | |
| Earthquake | London earthquake, Christ's Hospital, Newgate | 1580 | 2 |
| Landslide | Pantglas coal tip No. 7, Aberfan, Mid-Glamorgan | 1966 | 144 |
| Avalanche | Lewes, East Sussex | 1836 | 8 |
| Circular storm | 'The Channel Storm' | 1703 | ≈8,000 |
| Tornado | Tay Bridge collapsed under impact of two tornadic vortices | 1879 | 75 |
| Flood | Severn Estuary | 1606 | ≈2,000 |
| Smog | London fog (excess deaths) | 1951 | 2,850 |
| Panic | Victoria Hall, Sunderland | 1883 | 183 |
| Dam burst | Bradfield Reservoir, Dale Dyke, near Sheffield (embankment burst) | 1864 | 250 |
| Fire (single building) | Theatre Royal, Exeter | 1887 | 188 |
| Explosion | Chilwell, Nottinghamshire (explosives factory) | 1918 | 134 |
| Mining | Universal Colliery, Senghenydd, Mid-Glamorgan | 1913 | 439 |
| Offshore platform | Piper Alpha, North Sea | 1988 | 167 |
| Nuclear reactor | Windscale (now Sellafield), Cumbria (cancer deaths) | 1957 | ^b |
| Marine (single ship) | HMS Royal George, off Spithead | 1782 | ≈800 |
| Rail | Triple collision, Quintinshill, Dumfries | 1915 | 227 |
| Road | Coach crash, River Dobb, near Grassington, North Yorkshire | 1975 | 33 |
| Conventional bombing | London, 10–1 May | 1941 | 1,436 |

הקטסטרופות הגדולות ביותר שתועדו בהיסטוריה. ב-1970 הייתה סופה בבנגלהדש שבה נספו 1 מיליון אנשים. ב-1887 הייתה הצפה של נהר בסין שבו נספו 900,000 איש. במבנים מעשה ידי אדם – שרפה ב-1845 בסין – 1670 הרוגים. פיצוץ בגמל בקנדה 1917 – 1963 הרוגים. ולעומת כל אלה התאונה בצ'רנוביל 1986 היו בסה"כ 31 הרוגים.

Table 2.10 Large fires in the chemical and petroleum industries^a in Great Britain, 1963–75: number and cost (FPA, 1974; Redpath, 1976)

| Year | No. of fires | Cost (£m.) |
|------|--------------|------------|
| 1963 | 44 | 2.3 |
| 1964 | 43 | 2.9 |
| 1965 | 40 | 3.0 |
| 1966 | 43 | 2.5 |
| 1967 | 51 | 4.4 |
| 1968 | 53 | 3.1 |
| 1969 | 44 | 3.2 |
| 1970 | 67 | 6.2 |
| 1971 | 65 | 6.2 |
| 1972 | 66 | 3.5 |
| 1973 | 80 | 12 |
| 1974 | 45 | 43 |
| 1975 | 46 | 6.6 |

^aThe chemical and petroleum industries are taken as Standard Industrial Classification Order 4 (Coal and petroleum products) and 5 (Chemical and allied industries).

שרפות באנגליה בשנים 1963-1975. מספר השרפות הוא קבוע. בשנת 1974 קרה האירוע של פליקסבורו – והוא הגדיל את הנזק פי 10 מהרגיל. זו הייתה השנה המכוננת של הבטיחות בבריטניה.

5. השתלטות על בטיחות תהליך – הבטיחות הפשוטה נשארת ללא פתרון -

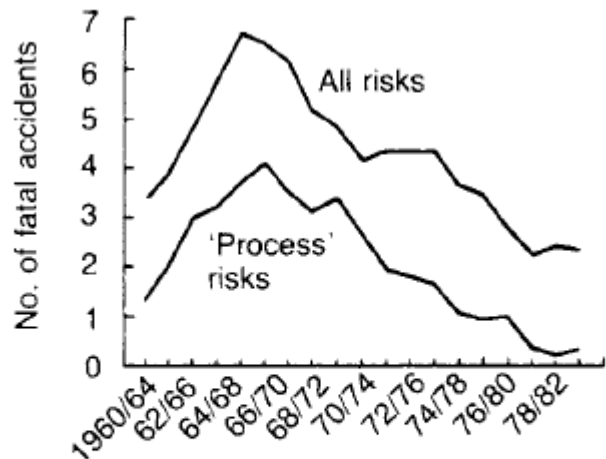
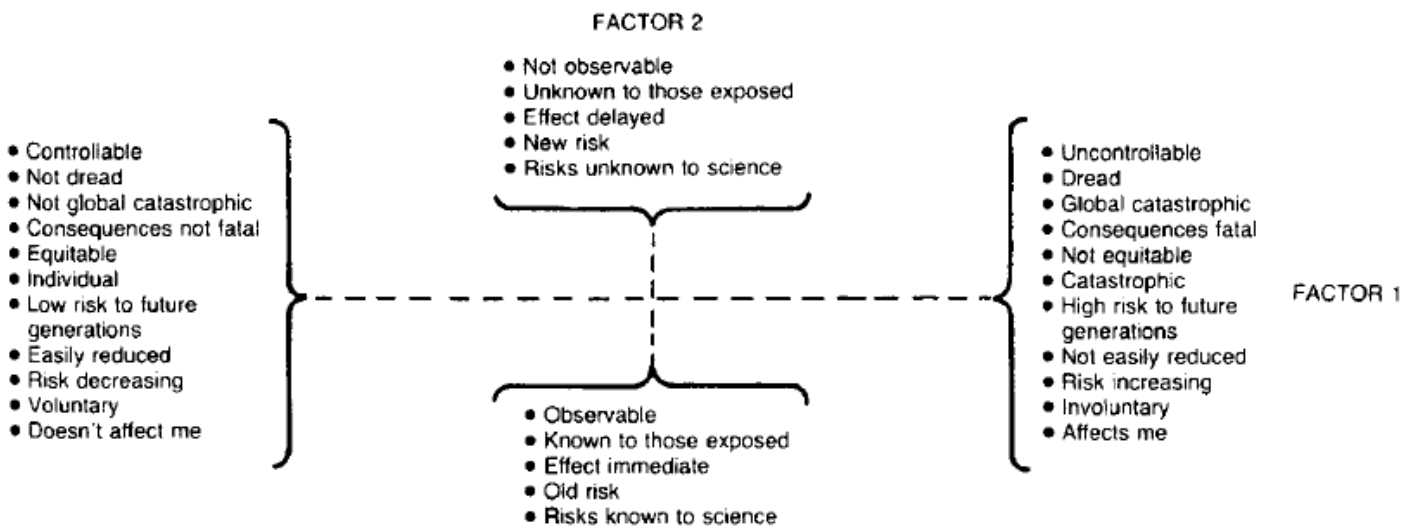
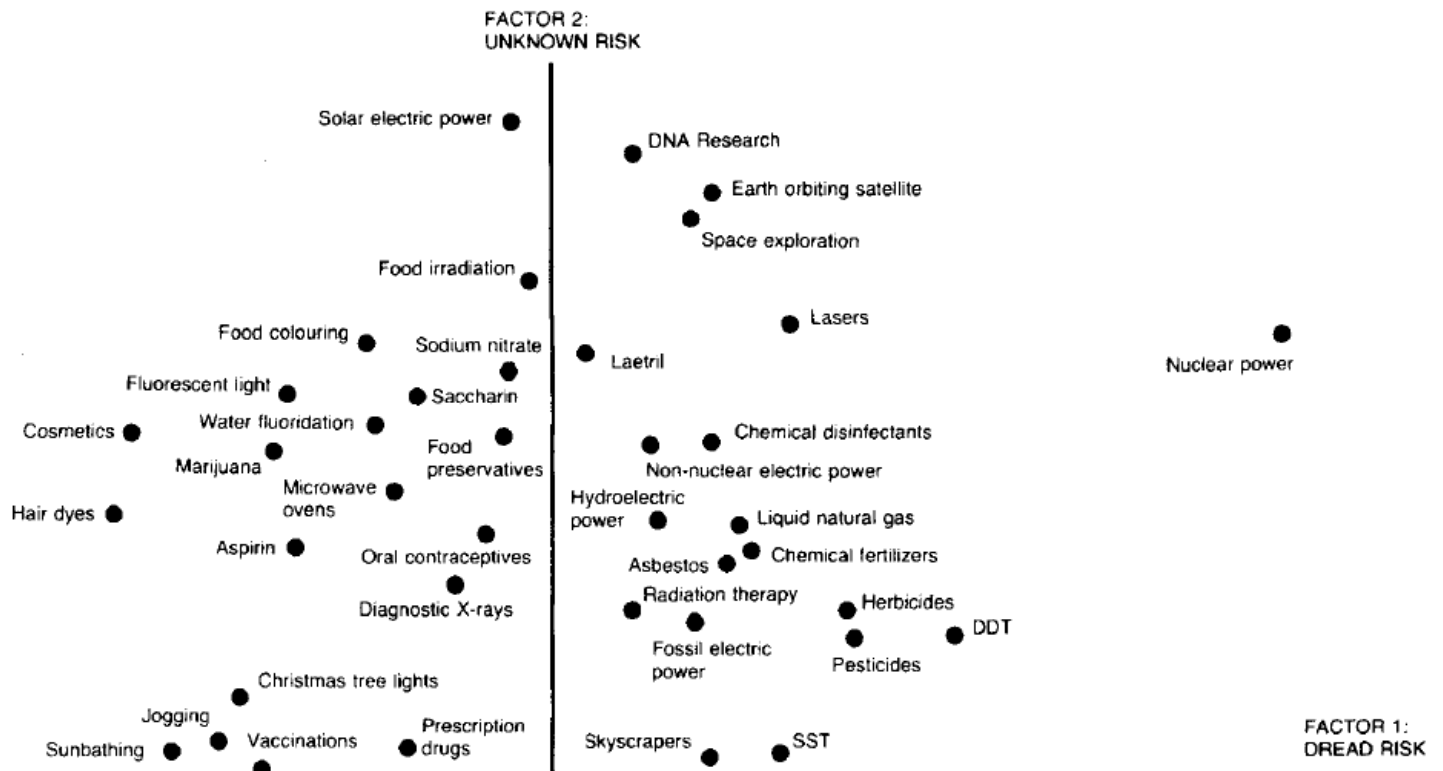


Figure 2.8 Trend of the fatal accident rate in ICI, 1960–82 (Hawksley, 1984). The number of fatal accidents is given as the number in 10^8 working hours or the number in 1000 men in a working lifetime expressed as a 5-year moving average

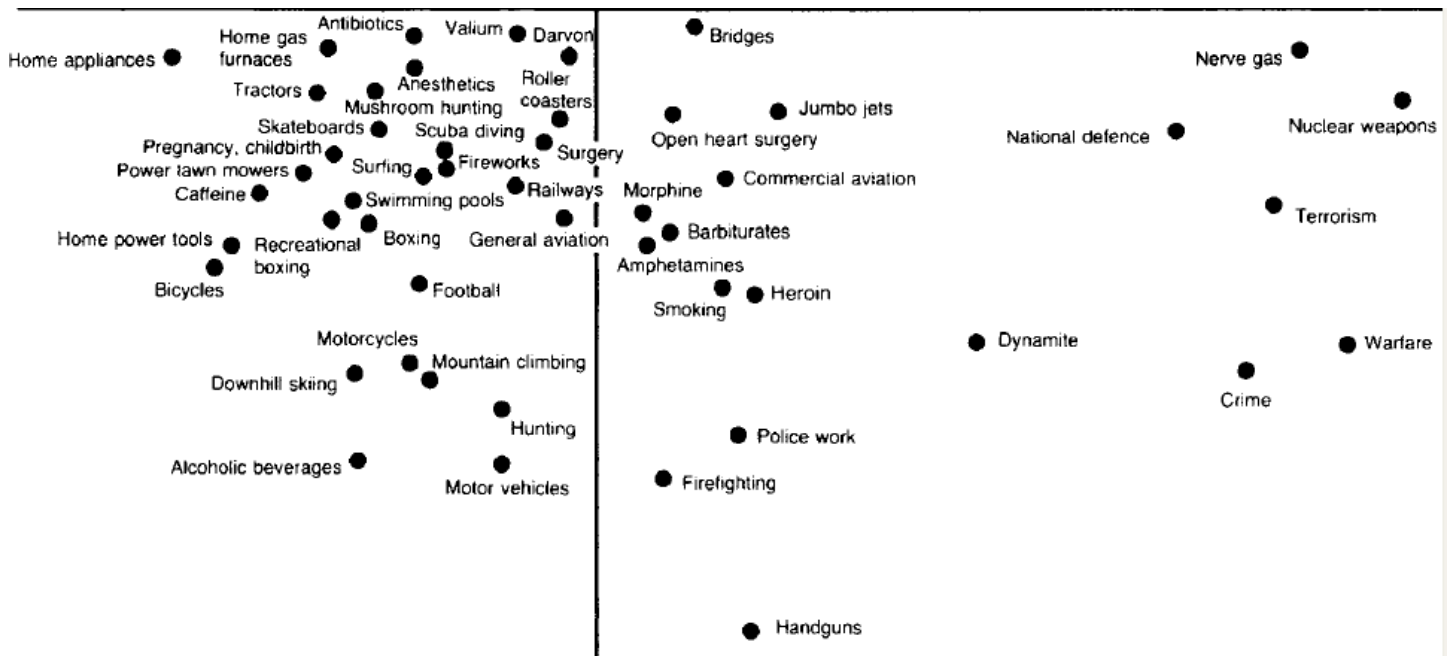
מצב תאונות המוות בחברת ICI שם עבדו פרופסור טרבור קלץ והוא הצליח להוריד את התאונות. בתחילת שנות ה-60 הם עמדו על 3.5 הרוגים ל- 10^8 שעות. בחברת ICI עובדים כ-100,000 עובדים. בשנות ה-80 פרש טבור קלץ מהחברה והעמיד את מצב התאונות על 2.5 הרוגים. יש לשים לב שטרבור קלץ ניתח את התהליכים בלבד. שם יש ירידה מ-1.2 הרוגים ל-0.2 הרוגים. הדבר החשוב שיש לשים לב אליו זה שאת התהליך אפשר לשפר מבחינה בטיחותית. אבל את התאונות הפשוטות שבהם אדם נופל מגובה הם התקשו וכאן היו להם יותר תאונות כאמור.



תפיסת הסיכון – יש סיכונים ידועים יהיה להם מקדם סיכון 1. יש סיכונים בלתי ידועים יהיה להם מקדם סיכון 2. מבין הסיכונים הידועים יש סיכונים נשלטים ויש סיכונים בלתי נשלטים. מבין הסיכונים הלא ידועים יש כאלה שניתן לצפות בהם ויש כאלה שלא ניתן לצפות בהם.



ניקה למשל את גורדי השחקים. כל הסיכונים ידועים והם נשלטים. לעומת זאת מחקר ב-DNA הוא סיכון בלתי ידוע אך נשלט. מצד שני אמבטיית שמש זה סיכון ידוע ובלתי נשלט. הקרנה של מזון זה סיכון בלתי ידוע ולא נשלט.



החלק השני של הסיכונים – אקדחי יד – סיכון ידוע ונשלט. גז עצבים – סיכון מאד נשלט אבל פחות נראה. ציוד ביתי זה סיכון בלתי נשלט אך ידוע.

Figure 4.1 Perception of different hazards: 'dread risk' vs 'unknown risk' (Stovic, Fischhoff and Lichtenstein, 1980): locations of 90 hazards on factor 1 (dread risk) and factor 2 (unknown risk) of the three-dimensional space derived from the interrelationships among 18 risk characteristics. Factor 3 (not shown) reflects the number of people exposed to the hazard and the degree of one's personal exposure (Courtesy of Plenum Press)

| | | | |
|---|-----|--|-----|
| Liquefied petroleum gas, such as commercial propane and commercial butane, and any mixtures thereof held at a pressure greater than 1.4 bar absolute | 25 | | |
| Liquefied petroleum gas, such as commercial propane and commercial butane, and any mixture thereof held under refrigeration at a pressure of 1.4 bar absolute or less | 50 | Cellulose nitrate other than: | 50 |
| Phosgene | 2 | (a) cellulose nitrate to which the Explosives Act 1875 applies or | |
| Chlorine | 10 | (b) solutions of cellulose nitrate where the nitrogen content of the cellulose nitrate does not exceed 12.3% by weight and the solution contains not more than 55 parts of cellulose nitrate per 100 parts by weight of solution | |
| Hydrogen fluoride | 10 | Ammonium nitrate and mixtures of ammonium nitrate where the nitrogen content derived from the ammonium nitrate exceeds 28% of the mixture by weight other than: | 500 |
| Sulfur trioxide | 15 | (a) mixtures to which the Explosives Act 1875 applies, or (b) ammonium nitrate based products manufactured chemically for use as fertilizer which comply with Council Directive 80/876/EEC | |
| Acrylonitrile | 20 | | |
| Hydrogen cyanide | 20 | | |
| Carbon disulfide | 20 | | |
| Sulfur dioxide | 20 | | |
| Bromine | 40 | | |
| Ammonia (anhydrous or as solution containing more than 50% by weight of ammonia) | 100 | Aqueous solutions containing more than 90 parts by weight of ammonium nitrate per 100 parts by weight of solution | 500 |
| Hydrogen | 2 | | |
| Ethylene oxide | 5 | | |
| Propylene oxide | 5 | Liquid oxygen | 500 |

PART II Classes of substance not specifically named in Part I

| <i>Class of substance</i> | <i>Notifiable quantity (tonnes)</i> |
|--|---|
| 1. Gas or any mixture of gases which is flammable in air and is held in the installation as a gas | 15 |
| 2. A substance or any mixture of substances which is flammable in air and is normally held in the installation above its boiling point (measured at 1 bar absolute) as a liquid or as a mixture of liquid and gas at a pressure of more than 1.4 bar absolute | 25 being the total quantity of substances above the boiling points whether held singly or in mixtures |
| 3. A liquefied gas or any mixture of liquefied gases, which is flammable in air, has a boiling point of less than 0°C (measured at 1 bar absolute) and is normally held in the installation under refrigeration or cooling at a pressure of 1.4 bar absolute or less | 50 being the total quantity of substances having boiling points below 0°C whether held singly or in mixtures |
| 4. A liquid or any mixture of liquids not included in items 1 to 3 above, which has a flashpoint of less than 21°C | 10,000 |

Table 4.9 Notification of Installations Handling Hazardous Substances Regulations 1982: Schedule 1: notifiable inventories

| PART I Named substances | |
|-------------------------|------------------------------------|
| <i>substance</i> | <i>Notifiable quantity (tonne)</i> |

(a) *Very toxic substances:*

- Substances which correspond to the first line of the table below,
- Substances which correspond to the second line of the table below and which, owing to their physical and chemical properties, are capable of producing major accident hazards similar to those caused by the substance mentioned in the first line.

| | LD ₅₀ (oral) ⁽¹⁾ (mg/kg body weight) | LD ₅₀ (cutaneous) ⁽²⁾ (mg/kg body weight) | LC ₅₀ ⁽³⁾ (mg/l inhalation) |
|---|---|--|--|
| 1 | LD ₅₀ ≤ 5 | LD ₅₀ ≤ 10 | LC ₅₀ ≤ 0.1 |
| 2 | 5 < LD ₅₀ ≤ 25 | 10 < LD ₅₀ ≤ 50 | 0.1 < LC ₅₀ ≤ 0.5 |

(b) *Other toxic substances:*

The substances showing the following values of acute toxicity and having physical and chemical properties capable of producing major accident hazards.

| | LD ₅₀ (oral) ⁽¹⁾ (mg/kg body weight) | LD ₅₀ (cutaneous) ⁽²⁾ (mg/kg body weight) | LC ₅₀ ⁽³⁾ (mg/l inhalation) |
|--|---|--|--|
| | 25 < LD ₅₀ ≤ 200 | 50 < LD ₅₀ ≤ 400 | 0.5 < LC ₅₀ ≤ 2 |

ההבחנה בין החומרים היא בריכוז החומר ובדרך החדירה לגוף. ישנם 3 דרכי חדירה – בליעה – Oral, עור – Cutaneous, שאיפה – Inhalation. הקריטריון החמור הוא בשאיפה. והערך הנמדד הוא ריכוז הגורם למוות של 50% מהאוכלוסייה. לכן חומר מאד מסוכן הוא חומר אשר ריכוזו בשאיפה בין 0.1-0.5 מ"ג/ליטר. לעומת זאת חומר מסוכן הוא חומר שריכוזו בשאיפה בין 0.5-2 מ"ג/ליטר.

(c) *Flammable substances:*

(i) *Flammable gases;*

Substances which in the gaseous state at normal pressure and mixed with air become flammable and the boiling point of which at normal pressure is 20°C or below;

(ii) *Highly flammable liquids;*

Substances which have a flash point lower than 21°C and the boiling point of which at normal pressure is above 20°C;

(iii) *Flammable liquids;*

Substances which have a flash point lower than 55°C and which remain liquid under pressure, where particular processing conditions, such as high pressure and high temperature, may create major accident hazards.

(d) *Explosive substances:*

Substances which may explode under the effect of flame or which are more sensitive to shocks or friction than dinitrobenzene.

(e) *Oxidizing substances:*

Substances which give rise to highly exothermic reaction when in contact with other substances, particularly flammable substances.

9. חלוקה של חומרים דליקים לקבוצות –

חומרים דליקים מחולקים ל-3 קבוצות –

1. גזים דליקים – Flammable Gases – טמפ' הרתיחה היא מתחת ל-20°C.
2. נוזלים מאד דליקים – Highly Flammable Liquids – טמפ' רתיחה מעל 20°C, טמפ' הבזוקה – Flash Point – מתחת ל-21°C.
3. נוזלים דליקים – Flammable Liquids – טמפ' הבזוקה – Flash Point – מתחת ל-55°C. החומר נשאר במצב נוזלי תחת לחץ.

חומרים נפיצים – Explosive Substances –

חומרים אשר מתפוצצים בהשפעת להבה אשר רגישים למכה או חיכוך יותר מאשר ומר הנקרא – דיניטרובנזן.

חומרים מחמצנים – Oxidizing Substances –

חומרים אשר יוצרים ריאקציה אקזו-תרמית ופולטים הרבה חום כאשר הם באים במגע עם חומרים אחרים במיוחד חומרים דליקים.

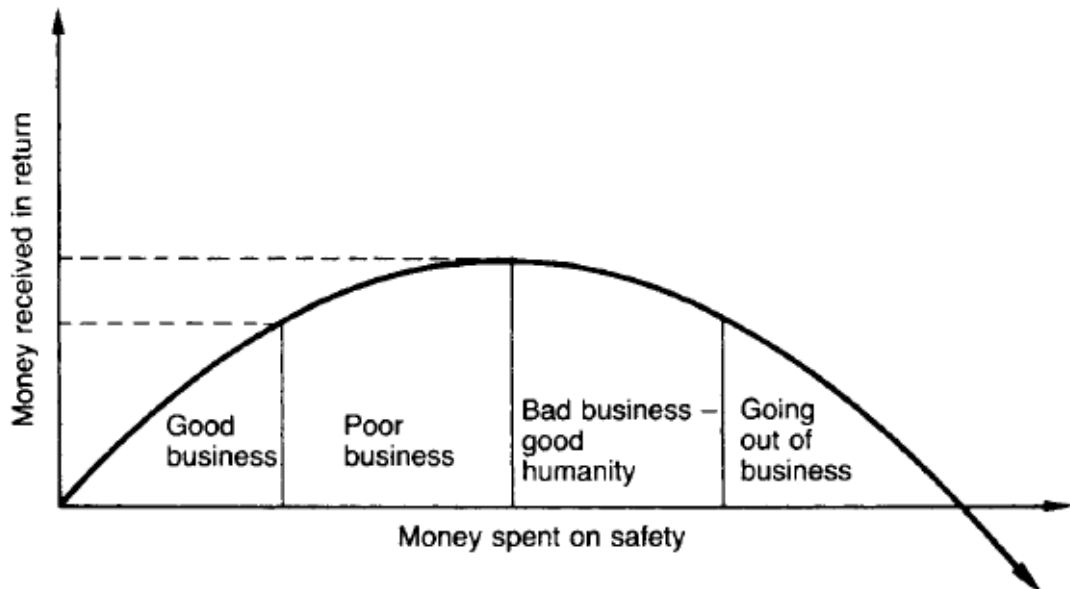


Figure 5.1 Effects of increasing expenditure on safety and loss prevention (Kletz, 1986d) (Courtesy of the Institution of Chemical Engineers)

הגרף של טרבור קלץ – עסק שמנוהל טוב הוא עסק שמשקיע מעט בבטיחות ומקבל משהו בתמורה. לעומת זאת כאשר עסק משקיע הרבה מאד בבטיחות בשביל לקבל את אותה תמורה הוא פושט רגל. באמצע ישנם עסקים שמשקיעים הרבה בשביל בטיחות והם נחשבים לעסקים שמנוהלים גרוע מבחינה עסקית אבל הם מאד אנושיים ועבורם האדם במרכז החברה – כמו שהי פעם בקיבוצים.

11. אירועים קטנים קורים הרבה, אירועים גדולים קורים מעט -

NML $\geq 10^{-3}$ /year
 EML $10^{-4} - 10^{-3}$ /year
 MCL $10^{-5} - 10^{-4}$ /year

1. NML – Normal Maximum Loss – אובדן מקסימאלי בצפי רגיל – אירוע שיכול לקרות פעם ב-1000 שנים – (אם יש 1000 מתקנים זהים יכול לקרות באחד מהם אירוע פעם בשנה) –
 - The maximum loss which would be expected if all protective functions work כל אמצעי ההגנה פועלים כנדרש.
 2. EML – Estimated Maximum Loss – אובדן מקסימאלי בצפי לא רגיל – אירוע שיכול לקרות בין פעם ל-1000 שנים לבין פעם ב-10,000 שנים – (אם יש 10,000 מתקנים זהים יכול לקרות באחד מהם אירוע פעם בשנה) –
 - The maximum loss if one critical item of protection does not work של מערכת ההגנה אינה פועל.
 3. MCL -Maximum Credible Loss – אובדן מקסימאלי בצפי נדיר ביותר – אירוע שיכול לקרות בין פעם ל-10,000 שנה לבין פעם ב-100,000 שנה (אם יש 100,000 מתקנים זהים יכול לקרות באחד מהם אירוע פעם בשנה) –
 - The maximum loss in circumstances where a number of critical items of protection do not work or where a catastrophic event occurs which is just credible.
- האובדן המקס' שיכול לקרות בנסיבות שבהן מספר אביזרים קריטיים של מערכת הגנה אינם פועלים או שיש אירוע קטסטרופאלי.

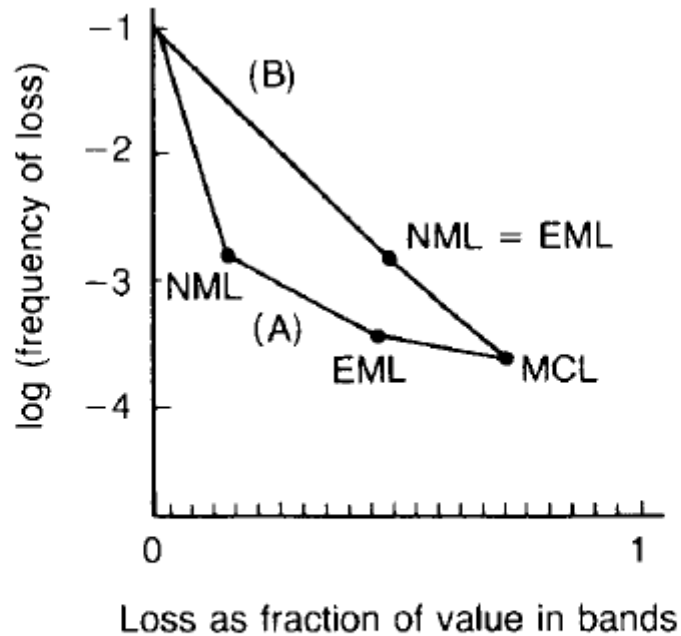


Figure 5.3 Frequency – loss profiles of two hypothetical process plants (Alexander, 1990a) (Courtesy of the Institution of Chemical Engineers)

שיטה המתארת את התדירות כנגד האובדן בצורה גרפית – Frequency Loss (FL) Plot – עבור תאונות גדולות. עבור מתקן A הוא מתקן מוגן עם סידורי בטיחות. לכן עבורו הערך של התדירות לכשל EML נמוך מאשר לתדירות של NML. והתדירות של MCL היא עוד יותר נמוכה. עבור מתקן B שאין שם סידורי בטיחות ל-EML יש את אותו ערך של NML – ולכן הגרף יותר גבוה. בסופו של דבר הערך MCL שקשור בקטסטרופה שלמה זהה ב-2 המתקנים. לכן הגרף שונה ב-2 המתקנים ומראה עד כמה כדאי להשקיע בבטיחות.

31. ירידה בפרמיה של סיכון בבטיחות למפעל עקב שיפורי בטיחות –

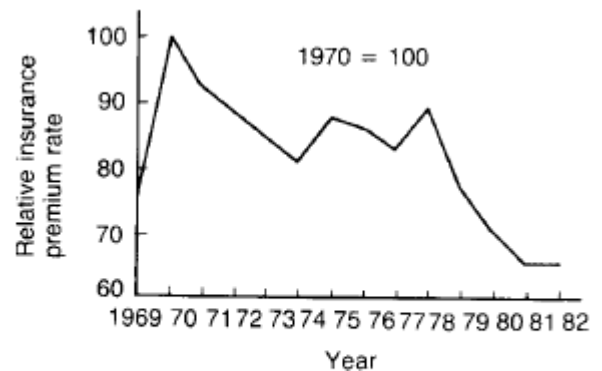
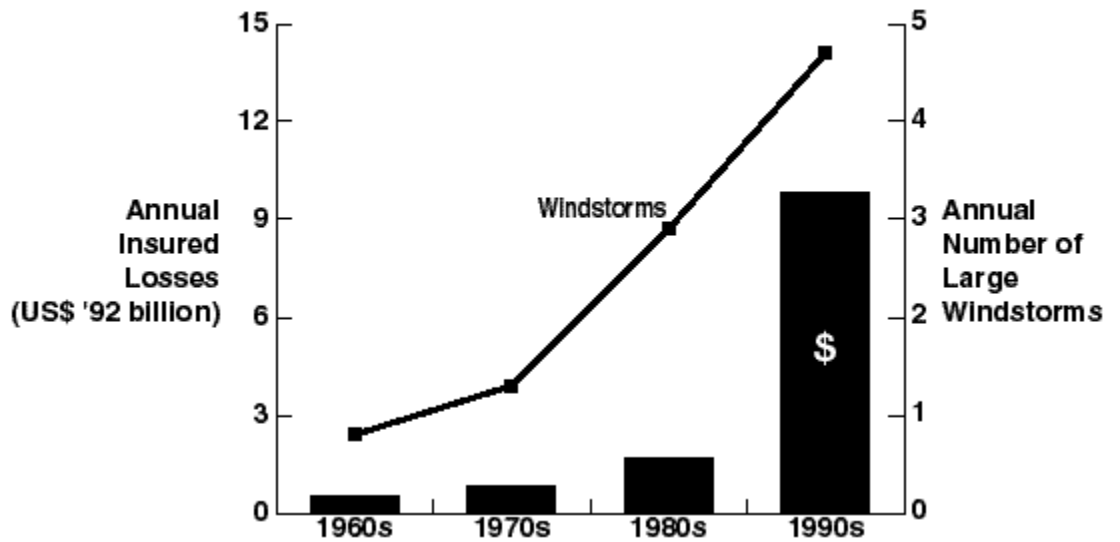


Figure 5.4 Relative insurance premium rate (1970 = 100) for material damage cover for ICI United Kingdom (Hawksley, 1984)

אנחנו רואים לפנינו בצורה יחסית בלבד (ולא בערכים מוחלטים) את הירידה של תשלומי הפרמיה לחברת הביטוח של חברת ICI הבריטית בעקבות שיפור בסידורי בטיחות שהביאו לירידה בתביעות ונזקים. משנת 1969 עד 1970 הייתה עלייה ב- 20% ומאז מחלקת הבטיחות בחברה קיבלה גם לטפל בפאן הכלכלי של הבטיחות. פעולותיה הנמרצות באו לידי ביטוי ב- 1982 כאשר הפרמיה ירדה ב- 35% לעומת 1970.

**Major Windstorms Worldwide:
Annual Insured Losses 1960-1995**



| תקופה | הפסדים - Losses | מספר סופות |
|-----------|------------------------------|----------------------------|
| | עמודה שמאלית - מיליארדי דולר | עמודה ימנית - מספר אירועים |
| 1960-1970 | 0.5 | 0.8 |
| 1970-1980 | 0.8 | 1.3 |
| 1980-1990 | 1.7 | 2.9 |
| 1990-2000 | 9.8 | 4.7 |

נזקים כלכליים בעולם בעקבות סופות רוח בשנים 1960-2000. עמודה שמאלית - בשנות ה-1960 - 0.5 מיליארד דולר במונחי דולר ארה"ב 1992. כאשר היו 0.8 סופות בתקופה זו. בשנות ה-90 - 9.8 מיליארד דולר ו-4.7 סופות לתקופה. עלות הנזקים ומספר הסופות גדל בסדר גודל שלם.

41. אמינות - Reliability

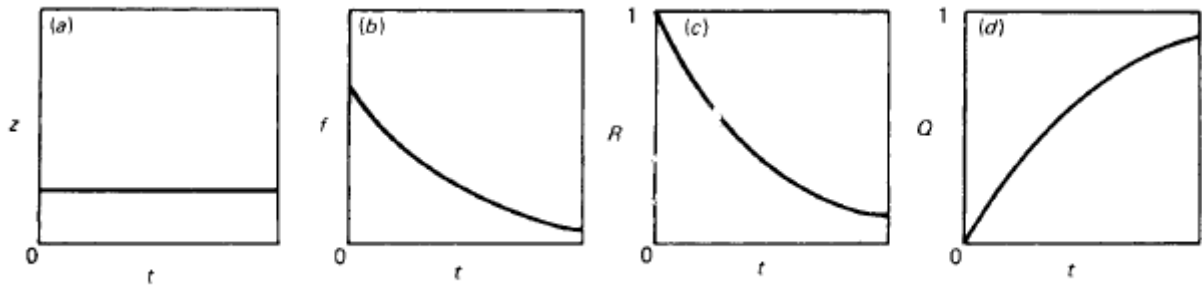
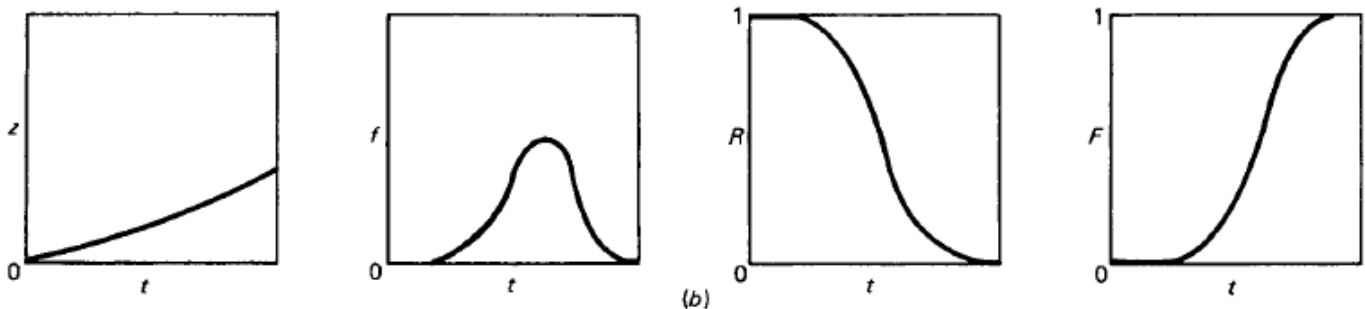


Figure 7.2 The exponential distribution: (a) hazard-rate; (b) failure density; (c) reliability; (d) unreliability

כאשר יש לנו z - קצב סיכון (פונקציה פשוטה) קבועה לאורך הזמן. למשל מספר הכשלים של פריט הוא קבוע למשך אורך חייו. אז קצב הכשל f הוא גבוה בהתחלה והולך ויורד לקראת סוף התקופה (עם הזמן יש פחות פריטים בגלל אלה שנכשלו ולכן מספר הכשלים יורד). האמינות של המערכת R - היא גבוהה בהתחלה אך לקראת הסוף יש פחות פריטים ולכן היא פחות אמינה. ולעומת אי האמינות של המערכת Q הולכת וגדלה.



פילוג נורמאלי של סיכון z - קצב סיכון שהולך וגדל עם הזמן. עקומת הכשל f - היא מסוג של שיא באמצע התקופה. האמינות R - היא גבוהה בהתחלה וקטנה בסוף כאשר הקצב שלה הולך וגדל עם הזמן ולאחר מכן הולך וקטן עם הזמן. אי האמינות היא משלים של גרף האמינות.

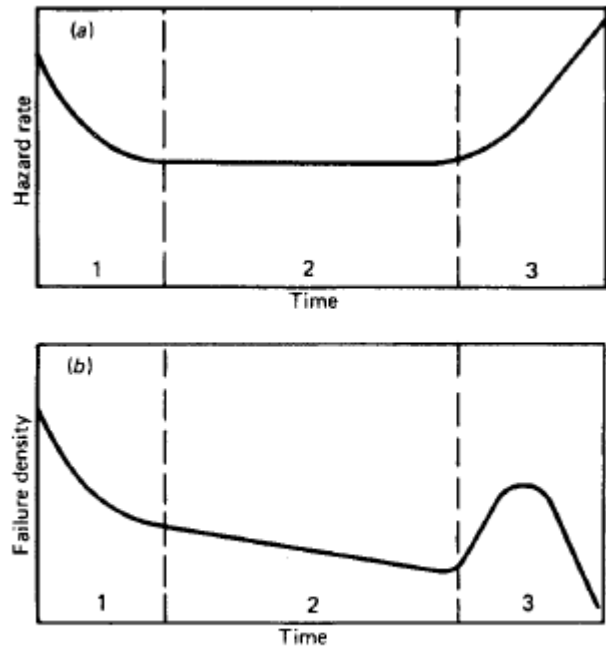


Figure 7.3 The bathtub curve: (a) hazard rate; (b) failure density

במציאות קצב הסיכון - z - הוא שונה. בתחילה כאשר הפריטים לא עובדים בצורה אופטימאלית שלב זה נקרא שלב "ההקמה - Commission" - יש קצב סיכון גבוה. לאחר מכן המערכת מתחילה לעבוד בצורה "משומנת - Normal Operation" ואז קצב הסיכון הוא קבוע. לקראת סוף ימי הפריט, קצב הסיכון מתחיל לעלות שלב זה נקרא שלב "ההרס - Deterioration". פונקצית סיכון זו נקראת "אמבטיה" - שיש לה 3 שלבים - 1. Early Failure. 2. Constant Failure. 3. Wear Out Failure - שלב כשל מוקדם, שלב של כשל קבוע, שלב כשל יציאה משימוש בגלל שחיקה. כאשר מביטים על קצב הכשלים - f - מקבלים שבתחילה יש קצב גבוה שהולך ויורד עם הזמן כי האוכלוסייה הולכת ונעשית קטנה. כאשר הוא מגיע לבסיס האמבטיה אז יש לו קצב סיכון קבוע וקצב כשלים שיורד ליניארית רק בגלל ירידה בגודל האוכלוסייה. לבסוף מתחיל קצב הסיכון לעלות כאמור ולכן יש 2 פונקציות - אחת הכשלים והשנייה גודל האוכלוסייה. בהתחלה האוכלוסייה גדולה ולכן קצב הכשלים הולך וגדל. אך לקראת הסוף האוכלוסייה כל כך קטנה שגם קצבה הכשלים הולך ויורד. השלב המוקדם הוא - שלב הלידה - Infant Mortality - והוא בגלל גורמים כמו - ציוד פגום - Defective Equipment, התקנה לא נכונה - Incorrect Installation - זוהי עקומת הלמידה - Learning Curve - של הציוד ושל המשתמש. השלב השני הוא שלב של כשל קבוע - Constant Failure - או כשל אקראי - Random Failure - זה קורה בגלל תנודות של עומס - Fluctuations of Load - שעובר את החוץ המתוכנן - Design Strength - של הפריט. כשל קבוע הוא מאפיין של מערכת שיש לה מספר רכיבים שכל אחד בנפרד יש לו פיזור כשל - Failure Distribution - שונה. שלב הכשל שנובע בגלל יציאה משימוש עקב שחיקה מצטברת מסביר את עצמו לפי השם. היישום של המודלים הללו הוא נכון לציוד אלקטרוני אל לא לציוד מכאני. עקומת הכשל של האמבטיה לשם המחשה מתאימה לכשל של בני אדם. יש תמותה גבוהה בקרב תינוקות שהולכת ויורדת עם השנים עד שהילד נעשה עצמאי ולא צריך השגחה. לאחר מכן בתקופת הבגרות יש כשל קבוע. בסוף ימיו של האדם הכשל שוב עולה בשל היות האדם זקוק להשגחה.

המלצות בעקבות המידע שקשור באמינות -

1. בתקופת הלמידה של מערכת אפשר לראות שיש כשלים בגלל היעדר בחירת ציוד מתאים, היעדר התקנה נכונה של הציוד, אי שימוש נכון של הציוד. לכן צריך לבצע את הפעולות הבאות -
 - א. היעדר בחירת ציוד מתאים - הבחירה תיעשה לפחות ע"י 2 אנשים.
 - ב. היעדר התקנה נכונה של ציוד - ההתקנה תיעשה לפחות ע"י 2 אנשים.
 - ג. אי שימוש נכון של ציוד - ההפעלה הראשונית של ציוד תיעשה בליווי של איש מיומן שיקבע את משך ההדרכה הנדרשת ועד שהמפעיל יכול להפעיל את הציוד באופן עצמאי.
2. בתקופת הכשל הקבוע אפשר לראות שיש כשלים בגלל תנודות בעומס מעל המותר, וכשל שבנוי ממספר רכיבים שלכל אחד יש כשל שונה. לכן צריך לנקוט בפעולות הבאות -
 - א. תנודות בעומס מעל המתוכנן - יש להקפיד שהעומס לא יעבור את העומס המתוכנן. צריכים להיות 2 אנשים שכל אחד בודק בנפרד את מידת ההעמסה. אם מגלים שיש העמסת יתר באזור מסוים יש לבצע תיקון מתאים ע"י החלפת פריט בצורה יזומה מוקדם יותר, ומציאת דרך להורדת עומס היתר.
 - ב. כשל בגלל רכיבים בעלי מאפיין כשל שונה - יש להקפיד שבמערכת מסוימת במיוחד זו העובדת במקביל עם מספר פריטים, הם יהיו מיצרנים שונים ובכך יבטיחו כשל שונה. כך שאם רכיב אחד מתקלקל - יש אפשרות להחליף אותו כאשר הרכיב

האחר ממשיך לעבוד ומספק את תצרוכת המערכת. אם יעבדו עם פריטים של אותה חברה, יש לצפות שמאפיין הכשל יהיה זהה ואז יכול להיות מצב שהכשל קורה בו זמנית במספר רכיבים וזה יכול להשבית את המערכת.

3. בתקופה הכשל של שחיקה מצטברת יש בעיה כי אין מאפיין לתגובה. לכן יש צורך לפעול לפי תוכנית של שעות עבודה של יצרן ולהחליף את החלק באחזקה מונעת.

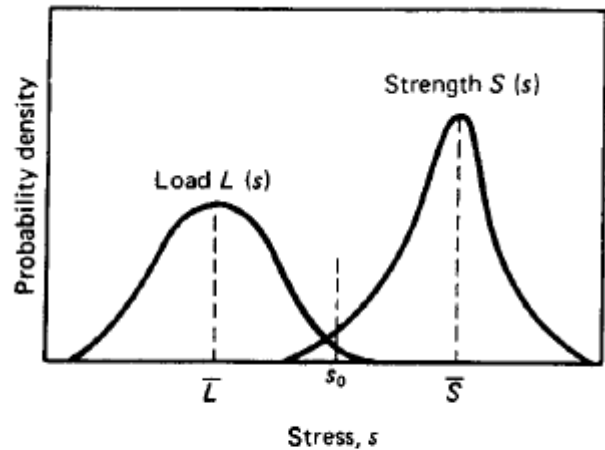


Figure 7.17 Effect of variability of strength and load on failure (A.D.S. Carter, 1973) (Reproduced by permission of the Institution of Mechanical Engineers)

פיזור של תנודות עומס לעומת פיזור של תנודות חוזק. באופן עקרוני אנחנו אומרים שהחוזק הממוצע חייב להיות גבוה מהעומס הממוצע. אבל זה לא מספיק. כי על הממוצע של החוזק יש פיזור שהצד הנמוך שלו במרכז הגרף מתאחד עם הפיזור של העומס החריג. במצב זה יש מפגש עם חוזק חריג חלש לבין עומס חריג גבוה אשר חופפים ואז מתחילים לראות את התאונות. באופן עקרוני אם נרחיק את הממוצעים לא נבטיח שיהיה 100% בטיחות אלא נוכל לומר שהסיכוי לכשל הולך וקטן כי השטחים שהולכים וחופפים הם הולכים וקטנים. לכן נקבל פחות מקרים של תאונות.

כשל בגלל שחיקה מוגברת לקראת סוף ימי חייו של פריט – Failure by Wear-Out

1. התעייפות – Fatigue.
2. שחיקה – Wear.
3. קורוזיה – Corrosion.
4. ארוזיה – Erosion.

בתעופה אזרחית הכשל הזה מהווה 6% מהכשלים. בתעשייה התהליכית יש לצפות לכשל גבוה יותר אך הוא אינו ידוע במפורש.

כשל מוקדם – Early Failure

מדובר בכשל של ציוד ישן ולא של ציוד חדש (כאשר מכניסים חלק ישן במקום חלק שהתקלקל). בתעופה האזרחית הוא מהווה 68% מהכשלים.

1. כשל בגלל התקנה של ציוד חדש – Newly Commissioned Equipment.
2. כשל של ציוד שפעל זמן מה – Equipment Operating for Some Time.
3. כשל בגלל מאמצי התנעה ודימום – Start Up and Shut Down Stresses.

כשל בגלל תכנון ציוד, הקמת מפעל –

1. תכנון לקוי ברמת הפרוט – Incorrect Design Specification.
2. תכנון לקוי – Incorrect Design.
3. בחירה שגויה של משתמש – Incorrect user Specification and Selection.
4. ייצור לקוי – Incorrect Manufacture.
5. התקנה לקויה – Incorrect Installation.
6. הקמה לקויה והפעלה ראשונית לקויה – Incorrect Commissioning and Initial Operation.

כשל מוקדם בציוד עם משך חיים ארוך יחסית בדגש על איכות אחזקה –

1. זיהוי תקלה שגוי – .Incorrect Fault Identification
2. טכניקת תיקון שגויה – .Incorrect Repair Technique
3. החלפת חלקים לקויה – .Incorrect Replacement Parts
4. הרכבה וכוונון מחדש לקויים – .Incorrect Reassembly and Alignment
5. תנאי עבודה מלוכלכים – .Dirty Work Conditions
6. הפרעה לחלקים אחרים של הציוד – .Disturbances to other Parts of Equipment

– התוצאה של ליקויים אלה שהמתקן אינו מוחזר למצב חדש לאחר תיקון או שיפוץ. בנוסף לאמור לעיל יש 2 ליקויים נוספים של אחזקה –

1. ביצוע אחזקה מונעת בלתי חיונית – .Unnecessary Preventive Maintenance
2. הדרכה לא טובה של אנשי אחזקה או משמעת לקויה שלהם – .Inadequate Training/Discipline of Personnel