

Větrný požár

W en.wikipedia.org/wiki/Windscale_fire

The Windscale Piles (uprostřed a vpravo) v roce 1985



datum	10. října 1957
Umístění	Windscale, <u>Seascale</u> , <u>Cumbria</u> (nyní <u>Sellafield</u>)
Souřadnice	<u>54,4243°N 3,4982°Z</u> Souřadnice : <u>54,4243°N 3,4982°W</u>
Výsledek	<u>Úroveň INES 5</u> (nehoda s širšími následky)
Úmrtí	Odhaduje se 100 až 240 úmrtí na <u>rakovinu</u> v dlouhodobém horizontu ^{[1][2][3]}
Nesmrtelná zranění	Maximálně 140 z odhadovaných 240 dalších případů <u>rakoviny</u> , které nejsou fatální

Větrný požár

Požár Windscale z 10. října 1957 byl nejhorší jadernou havárií v historii Spojeného království a jednou z nejhorších na světě, podle závažnosti na úrovni 5 ze 7 možných na Mezinárodní stupnici jaderných událostí . ^[1] Požár byl v jednotce 1 dvoupilotové lokality Windscale na severozápadním pobřeží Anglie v Cumberlandu (nyní Sellafield , Cumbria). Dva grafitem moderované reaktory , v té době označované jako „hromady“, byly postaveny jako součást britského poválečného projektu atomové bomby . Větrná pilota č. 1 byla v provozu v říjnu 1950, následovaná pilotou č. 2 v červnu 1951. ^[4]

Oheň hořel tři dny a uvolňoval radioaktivní spad , který se rozšířil po Velké Británii a zbytku Evropy. ^[5] Radioaktivní izotop jódu-131 , který může vést k rakovině štítné žlázy , byl v té době zvláště

znepokojen. Od té doby vyšlo najevo, že se také uvolnilo malé, ale významné množství vysoce nebezpečného radioaktivního izotopu polonia-210.^{[6].[5]} Odhaduje se, že únik radiace mohl způsobit dalších 240 případů rakoviny, přičemž 100 až 240 z nich bylo smrtelných.^{[1].[2].[3]}

V době incidentu nebyl nikdo z okolí evakuován, ale mléko z asi 500 km² (190 čtverečních mil) blízkého venkova bylo asi měsíc ředěno a ničeno kvůli obavám z jeho radiační expozice. Britská vláda tehdejší události bagatelizovala a zprávy o požáru podléhaly tvrdé cenzuře, protože premiér Harold Macmillan se obával, že incident poškodí britsko-americké jaderné vztahy.^[3]

Událost nebyla izolovaným incidentem; v letech před nehodou došlo k sérii radioaktivních výbojů z hromad.^[7] Na jaře 1957, pouhé měsíce před požárem, došlo k úniku radioaktivního materiálu, ve kterém se do životního prostředí uvolnily izotopy stroncía-90.^{[8].[9]} Stejně jako pozdější požár byl i tento incident zakryt britskou vládou.^[8] Pozdější studie o uvolnění radioaktivního materiálu v důsledku požáru Windscale odhalily, že velká část kontaminace vznikla z takových úniků radiace před požárem.^[7]

Studie z roku 2010 u pracovníků, kteří se podíleli na odstraňování nehody, nezjistila žádné významné dlouhodobé účinky na zdraví způsobené jejich zapojením.^{[10].[11]}

- 1 Pozadí
- 2 Hromady větru
- 3 Wignerova energie
- 4 Výroba tritia
- 7 Srovnání s jinými nehodami
- 8 Kontaminace irského moře
- 9 Televizní dokumenty
- 10 Izotopové kazety
- 11 Viz také
- 12 Poznámky

- 13 Reference
- 14 Další čtení
- 15 externí odkazy

Pozadí

Objev jaderného štěpení v prosinci 1938 Otto Hahnem a Fritzem Strassmannem po jeho předpovědi Idy Noddack v roce 1934 – a jeho vysvětlení a pojmenování Lise Meitnerovou a Otto Frischem – vyvolalo možnost, že by mohla být vytvořena extrémně silná atomová bomba.^[12] Během druhé světové války Frisch a Rudolf Peierls na univerzitě v Birminghamu vypočítali kritickou hmotnost kovové koule čistého uranu-235, a zjistili, že jen 1 až 10 kilogramů (2,2 až 22,0 lb) může explodovat silou tisíců tun dynamitu.^[13]

V reakci na to zahájila britská vláda projekt atomové bomby s kódovým označením Tube Alloys.^[14] Quebecká dohoda ze srpna 1943 sloučila Tube Alloys s americkým projektem Manhattan.^[15] Jako hlavní vedoucí britského příspěvku k projektu Manhattan vytvořil James Chadwick úzké a úspěšné partnerství s Američany^[16] a zajistil, že britská účast byla kompletní a bezvýhradná.^[17]

Po skončení války se zvláštní vztahy mezi Británií a Spojenými státy „staly mnohem méně zvláštními“. ^[18] Britská vláda předpokládala, že Amerika bude i nadále sdílet jadernou technologii, což považovala za společný objev,^[19] ale bezprostředně po válce bylo vyměněno jen málo informací.^[20] Zákon o atomové energii z roku 1946 (McMahonův zákon) oficiálně ukončil technickou spolupráci. Jeho kontrola nad "omezenými daty" zabránila spojencům Spojených států v přijímání jakýchkoli informací.^[21]

Britská vláda to viděla jako oživení izolacionismu Spojených států podobného tomu, ke kterému došlo po první světové válce. To vyvolalo možnost, že Británie bude muset bojovat s agresorem sama.^[22] Také se obávalo, že by Británie mohla ztratit své velmocenské postavení, a tedy i vliv na světové dění.^[23] Předseda vlády Spojeného

království Clement Attlee zřídil dne 10. srpna 1945 podvýbor kabinetu , Výbor Gen 75 (neformálně známý jako „Výbor pro atomovou bombu“) ^[24] , aby prozkoumal proveditelnost obnovený program jaderných zbraní. ^[25]

Ředitelství trubkových slitin bylo 1. listopadu 1945 převedeno z oddělení vědeckého a průmyslového výzkumu pod ministerstvo zásobování ^[26] a Lord Portal byl jmenován kontrolorem výroby, atomová energie (CPAE) s přímým přístupem k předsedovi vlády. Atomic Energy Research Establishment (AERE) byl založen v RAF Harwell , jižně od Oxfordu , pod vedením Johna Cockcrofta . ^[27] Christopher Hinton souhlasil, že bude dohlížet na návrh, konstrukci a provoz nových jaderných zbrojních zařízení, ^[28] která zahrnovala továrnu na výrobu uranu ve Springfields .v Lancashire [²⁹] a jaderné reaktory a zařízení na zpracování plutonia ve Windscale v Cumbrii . ^[30] Své sídlo založil v bývalé Royal Ordnance Factory v Risley v Lancashire dne 4. února 1946. ^[28]

V červenci 1946 Výbor náčelníků štábů doporučil Británii získat jaderné zbraně. ^[31] Odhadli, že do roku 1957 bude potřeba 200 bomb. ^[32] Zasedání výboru Gen 163, podvýboru výboru Gen 75, dne 8. ledna 1947, souhlasilo s pokračováním vývoje atomových bomb a podpořilo Portalův návrh. umístit Penneyho, nyní hlavního vrchního dozorce pro výzkum výzbroje (CSAR) ve Fort Halstead v Kentu, pověřeným vývojovým úsilím ^[23] , které bylo označeno kódovým označením High Explosive Research . ^[33] Penney tvrdil, že "diskriminačním testem pro prvotřídní mocnost je to, zda vyrobila atomovou bombu a my buď musíme projít testem, nebo utrpět vážnou ztrátu prestiže v této zemi i na mezinárodní úrovni." ^[34]

Hromady větru

Hlavní článek: Windscale Piles

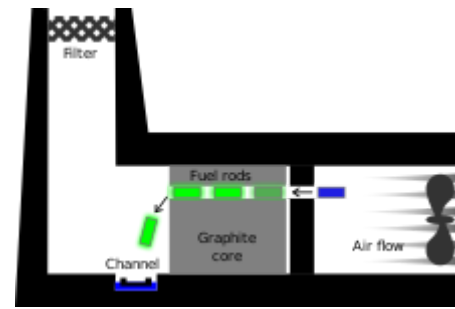
Britští vědci měli díky své účasti ve válečném projektu Tube Alloys and Manhattan značné znalosti o výrobě štěpných materiálů.

Američané vytvořili dva druhy, uran-235 a plutonium, a prosazovali

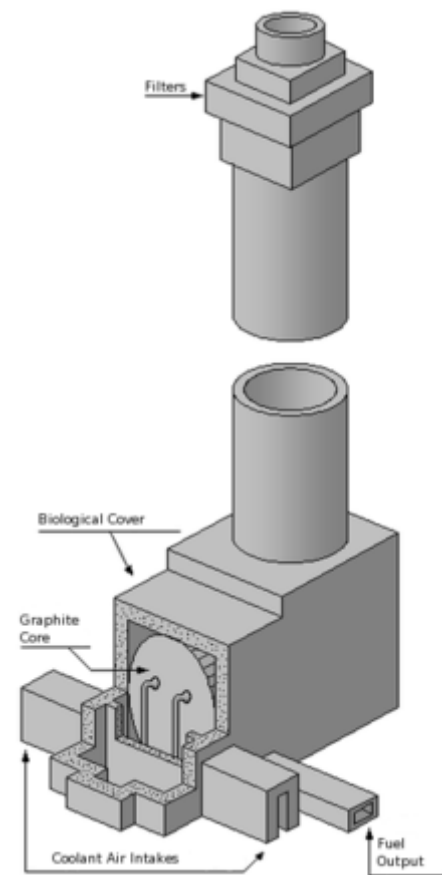
tři různé způsoby obohacování uranu . [35]
 Muselo být učiněno brzké rozhodnutí, zda by se vysoce explozivní výzkum měl soustředit na uran-235 nebo plutonium. I když by každý rád prošel všemi cestami, jako to udělali Američané, bylo pochybné, zda si poválečná britská ekonomika s omezenou hotovostí může dovolit peníze nebo kvalifikovanou pracovní sílu, kterou by to vyžadovalo. [36]

Vědci, kteří zůstali v Británii, upřednostňovali uran-235, ale ti, kteří pracovali v Americe, byli silně pro plutonium. Odhadli, že bomba s uranem-235 by vyžadovala desetkrát více štěpného materiálu než bomba využívající plutonium k výrobě poloviny ekvivalentu TNT . Odhady nákladů na jaderné reaktory se lišily, ale počítalo se, že továrna na obohacování uranu bude stát desetkrát tolik, aby vyrobila stejný počet atomových bomb jako reaktor. Rozhodnutí bylo proto přijato ve prospěch plutonia.

Reaktory byly postaveny v krátké době poblíž vesnice Seascale , Cumberland . Byly známé jako Windscale Pile 1 a Pile 2, umístěné ve velkých betonových budovách několik set stop od sebe. Jádro reaktorů sestávalo z velkého bloku grafitu s vyvrtanými horizontálními kanály pro palivové kazety. Každá kazeta se skládala z uranové tyče o délce asi 30 cm (12 palců) uzavřené v hliníkovém kanystru, aby byla chráněna před vzduchem, protože uran se za tepla stává vysoce reaktivní a může se vznítit.



Design Windscale Pile č. 1 s vyobrazením jednoho z mnoha palivových kanálů



Výřezový diagram reaktoru Windscale

Zásobník byl žebrovaný, což umožnilo výměnu tepla s okolím pro chlazení palivových tyčí, když byly v reaktoru. Tyče byly zatlačeny do přední části jádra, „čela náboje“, přičemž nové tyče byly přidávány vypočítanou rychlostí. To zatlačilo ostatní nábojnice v kanálu směrem k zadní části reaktoru, což nakonec způsobilo, že vypadly ze zadní části, „čela výboje“, do kanálu naplněného vodou, kde se ochladily a mohly být shromážděny.

Řetězová reakce v jádře přeměnila uran na různé izotopy, včetně plutonia, které bylo odděleno od ostatních materiálů pomocí chemického zpracování. Protože toto plutonium bylo zamýšleno pro účely zbraní, spalování paliva by bylo udržováno na nízké úrovni, aby se snížila produkce těžších izotopů plutonia, jako je plutonium-240 a plutonium-241.

Konstrukce zpočátku požadovala chlazení jádra jako reaktor B, který využíval stálý přísun vody, která proudila kanály v grafitu. Existovaly značné obavy, že by takový systém mohl v případě havárie se ztrátou chladicí kapaliny způsobit katastrofální selhání. To by způsobilo, že by se reaktor během několika sekund vymknul kontrole a mohl by explodovat. V Hanfordu byla tato možnost řešena vybudováním 30 mil (48 km) únikové cesty k evakuaci personálu, pokud by k tomu došlo, a místo bylo opuštěno.

Protože chybělo jakékoli místo, kde by mohla být opuštěna oblast 30 mil, pokud by k podobné události došlo ve Spojeném království, návrháři požadovali pasivně bezpečný chladicí systém. Místo vody použili chlazení vzduchem poháněné konvekcí přes 400 stop (120 m) vysoký komín, který mohl vytvořit dostatečné proudění vzduchu pro chlazení reaktoru za normálních provozních podmínek. Komín byl uspořádán tak, že vtahoval vzduch kanály v aktivní zóně a ochlazoval palivo přes žebra na patronách. Pro dodatečné chlazení byly před jádrem umístěny obrovské ventilátory, které mohly výrazně zvýšit rychlost proudění vzduchu.

Fyzik Terence Price během stavby zvažoval možnost roztržení palivové kazety, pokud by byla například nová kazeta vložena příliš silně, což způsobilo, že kazeta v zadní části kanálu vypadla za relativně úzký vodní kanál a rozbila se o podlahu. Za tím. Horký uran by se mohl vznítit a jemný prach oxidu uranu by byl vyhozen do komína a unikl.

Na schůzi nastolil problém a navrhl, aby byly do komínů přidány filtry, ale jeho obavy byly zamítnuty jako příliš obtížné na řešení a nebyly ani zaznamenány do zápisu. Sir John Cockcroft, vedoucí projektového týmu, byl dostatečně znepokojen, aby objednal filtry. Nemohly být instalovány na základně, protože stavba komínů již začala, a byly postaveny na zemi a poté, co beton komínu ztuhl, navijákem se umístily nahoře.

Stali se známými jako "Cockcroft's Folly", protože mnozí považovali zpoždění, které způsobili, a jejich velké náklady za zbytečné plýtvání. Během požáru filtry zachytily asi 95 % radioaktivního prachu a pravděpodobně zachránily velkou část severní Anglie před tím, aby se stala jadernou pustinou. Terence Price řekl, že „slovo bláznovství se po nehodě nezdálo vhodné“. [42]

Nakonec se Priceovy obavy naplnily. Vodní kanál minulo tolik patron, že se pro personál stalo rutinou procházet komínovým potrubím s lopatami a nabírat patrony zpět do vody. [43] Při jiných příležitostech se palivové nábojnice zasekávaly v kanálech a praskly, když byly ještě v jádře. [44] Navzdory těmto opatřením a komínovým filtrům objevil vědec Frank Leslie radioaktivitu v okolí místa a vesnice, ale tato informace byla držena v tajnosti, dokonce i před zaměstnanci stanice. [45].[46]

Wignerova energie

Hlavní článek: Wignerův efekt

Jakmile byla pilota 2 uvedena do provozu a usazena do provozu, zažila záhadný nárůst teploty jádra. Na rozdíl od Američanů a Sovětů měli Britové jen málo zkušeností s chováním grafitu při vystavení neutronům. Maďarský-americký fyzik Eugene Wigner objevil, že grafit, když je bombardován neutrony, trpí dislokacemi ve své krystalické struktuře, což způsobuje nahromadění potenciální energie. Pokud by se tato energie mohla akumulovat, mohla by samovolně uniknout v silném přívalu tepla. Američané na tento problém dlouho upozorňovali a dokonce varovali, že takový výboj by mohl vést k požáru reaktoru. ^[47] Britský design tak měl fatální chybu. ^[47]

Náhlé výbuchy energie znepokojily operátory, kteří se obrátili na jediné schůdné řešení, ohřev aktivní zóny reaktoru v procesu známém jako žihání. Když se grafit zahřeje nad 250 °C (482 °F), stane se plastickým a Wignerovy dislokace se mohou uvolnit do svého přirozeného stavu. Tento proces byl postupný a způsobil rovnoměrné uvolňování, které se rozšířilo po celém jádru. ^[48] Tento improvizovaný proces byl pravidelně prováděn ve Windscale, ale v průběhu let bylo stále obtížnější vytlačit nahromaděnou energii ven. ^[47] Uvolnění Wignerovy energie, podrobnosti o reaktorech a další podrobnosti o havárii pojednává Foreman ve svém přehledu havárií reaktorů. ^[49]

Výroba tritia


Winston Churchill veřejně zavázal Spojené království k vybudování vodíkové bomby a dal vědcům přesný harmonogram, jak tak učinit. To bylo poté urychleno poté, co USA a SSSR začaly pracovat na zákazu zkoušek a možných dohodách o odzbrojení, které by vstoupily v platnost v roce 1958. Ke splnění tohoto termínu nebyla šance postavit nový reaktor na výrobu požadovaného tritia, takže Windscale Palivo na hromadě 1 bylo upraveno přidáním obohaceného uranu a lithia - hořčíku, z nichž druhý by produkoval tritium během ostřelování neutrony. Všechny tyto materiály byly

vysoce hořlavé a řada zaměstnanců Windscale nadnesla otázku inherentních nebezpečí nových palivových náplní. Tyto obavy byly smeteny stranou.

Když jejich první test H-bomby selhal, padlo rozhodnutí postavit velkou fúzní štěpnou zbraň.namísto. To vyžadovalo obrovské množství tritia, pětkrát více, a muselo být vyrobeno co nejrychleji, jak se blížily termíny zkoušek. Aby zvýšili rychlost výroby, použili trik, který byl úspěšný při zvyšování produkce plutonia v minulosti: zmenšením velikosti chladicích žebor na palivových kazetách byli schopni zvýšit teplotu náplně paliva, což způsobilo malé, ale užitečné zvýšení rychlosti obohacování neutrony. Tentokrát také využili výhod menších ploutví tím, že v kazetách vybudovali větší vnitřky, což umožnilo více paliva v každé z nich. Tyto změny vyvolaly další varování od technického personálu, která byla opět smetena. Christopher Hinton , ředitel Windscale, odešel frustrovaný.

Po prvním úspěšném výrobním cyklu tritia v hromadě 1 se předpokládalo, že problém s teplem je zanedbatelný a začala výroba v plném rozsahu. Ale zvýšením teploty reaktoru nad konstrukční specifikace vědci změnilí normální rozložení tepla v aktivní zóně, což způsobilo vznik horkých míst na hromadě 1. Ty nebyly detekovány, protože termočlánky používané k měření teplot aktivní zóny byly umístěny založeny na původním návrhu rozvodu tepla a neměřily části reaktoru, které byly nejžhavější.

nehoda

 Tato sekce **potřebuje pro ověření** další citace . Pomozte prosím vylepšit tento článek přidáním citací na spolehlivé zdroje . Nezděrovaný materiál může být napaden a odstraněn.

Najít zdroje: "Větrný požár" – zprávy · noviny · knihy · vědec · JSTOR (říjen 2019) (Zjistěte, jak a kdy odstranit tuto šablonu zprávy.)

zapalování

Dne 7. října 1957 si operátoři piloty 1 všimli, že reaktor se zahřívá více než normálně, a bylo nařízeno uvolnění Wignera.^[52] V minulosti to bylo provedeno osmkrát a bylo známo, že cyklus způsobí rovnoměrné zahřátí celého jádra reaktoru. Během tohoto pokusu teploty začaly anomálně klesat v aktivní zóně reaktoru, kromě kanálu 2053, jehož teplota stoupala.^[53] Došlo k závěru, že rok 2053 uvolňoval energii, ale nikdo z ostatních nebyl, ráno 8. října bylo rozhodnuto zkusit druhé vydání Wignera. Tento pokus způsobil, že teplota celého reaktoru vzrostla, což ukazuje na úspěšné uvolnění.^[54]

Brzy ráno 10. října vzniklo podezření, že se děje něco neobvyklého. Teplota v jádru měla postupně klesat, jak skončilo uvolňování Wignerovy energie, ale monitorovací zařízení ukázalo něco nejednoznačnějšího a jeden termočlánek naznačoval, že teplota jádra místo toho roste. Jak tento proces pokračoval, teplota dále stoupala a nakonec dosáhla 400 °C (750 °F).

Ve snaze ochladit hromadu byly zrychleny chladicí ventilátory a zvýšeno proudění vzduchu. Detektory záření v komíně pak indikovaly uvolnění a předpokládalo se, že praskla patrona. Nebyl to fatální problém a v minulosti se to stávalo. Operátoři však nevěděli, že nábojnice nejen praskla, ale začala hořet, a to byl zdroj anomálního zahřívání v kanálu 2053, nikoli Wignerovo uvolnění.

Oheň

Zrychlení ventilátorů zvýšilo proudění vzduchu v kanálu a rozdmýchalo plameny. Oheň se rozšířil do okolních palivových kanálů a brzy se radioaktivita v komíně rychle zvyšovala.^[56] Předák, přijíždějící do práce, si všiml kouře vycházejícího z komína. Teplota jádra stále rostla a operátoři začali mít podezření, že jádro hoří.^[57]

Operátoři se pokusili hromadu prozkoumat vzdáleným skenerem, ale zasekla se. Tom Hughes, druhý ve velení vedoucího reaktoru, navrhl prozkoumat reaktor osobně, a tak on a další operátor, oba v ochranném oblečení, šli k náloži reaktoru. Kontrolní zátka

palivového kanálu byla vyjmuta v blízkosti termočlánku zaznamenávajícího vysoké teploty a právě tehdy operátoři viděli, že palivo je rozžhavené.

"Byla vyjmuta kontrolní zátka," řekl Tom Hughes v pozdějším rozhovoru, "a my jsme k naší naprosté hrůze viděli čtyři kanály paliva zářící jasně třešňově červeně."

Nyní již nebylo pochyb o tom, že reaktor byl v plamenech, a to už téměř 48 hodin. Manažer reaktoru Tom Tuohy^[58] si nasadil kompletní ochranné vybavení a dýchací přístroj a vyšplhal po 80stopém (24 m) žebříku na vrchol budovy reaktoru, kde se postavil na víko reaktoru, aby prozkoumal zadní část reaktoru. tvář. Riskoval tím svůj život tím, že se vystavil velkému množství radiace.^[47] Hlásil viditelnou matně červenou luminiscenci, která osvětlovala prázdnotu mezi zadní částí reaktoru a zadním kontejnmentem.^[59]

Red hot fuel cartridges were glowing in the fuel channels on the discharge face. He returned to the reactor upper containment several times throughout the incident, at the height of which a fierce conflagration was raging from the discharge face and playing on the back of the reinforced concrete containment – concrete whose specifications required that it be kept below a certain temperature to prevent its collapse.^[60]

Initial fire fighting attempts

Operators were unsure what to do about the fire. First, they tried to blow the flames out by running the fans at maximum speed, but this fed the flames. Tom Hughes and his colleague had already created a fire break by ejecting some undamaged fuel cartridges from around the blaze, and Tom Tuohy suggested trying to eject some from the heart of the fire by bludgeoning the melted cartridges through the reactor and into the cooling pond behind it with scaffolding poles.^[47]

This proved impossible and the fuel rods refused to budge, no matter how much force was applied.^[47] The poles were withdrawn with their ends red hot; one returned dripping molten metal.^[47] Hughes knew this had to be molten irradiated uranium, causing serious radiation problems on the charge hoist itself.

"It [the exposed fuel channel] was white hot," said Hughes' colleague on the charge hoist with him, "it was just white hot. Nobody, I mean, nobody, can believe how hot it could possibly be."

Carbon dioxide

Next, the operators tried to extinguish the fire using carbon dioxide.^[47] The new gas-cooled Calder Hall reactors on the site had just received a delivery of 25 tonnes of liquid carbon dioxide and this was rigged up to the charge face of Windscale Pile 1, but there were problems getting it to the fire in useful quantities.

"So we got this rigged up," Tuohy recounted, "and we had this poor little tube of carbon dioxide and I had absolutely no hope it was going to work."^[47] In the event, it was found to have no effect.^[47]

Use of water

On the morning of Friday 11 October, when the fire was at its worst, eleven tons of uranium were ablaze. Temperatures were becoming extreme (one thermocouple registered 1,300 °C (2,400 °F) and the biological shield around the stricken reactor was now in severe danger of collapse. Faced with this crisis, Tuohy suggested using water. This was risky, as molten metal oxidises in contact with water, stripping oxygen from the water molecules and leaving free hydrogen, which could mix with incoming air and explode, tearing open the weakened containment. Faced with a lack of other options, the operators decided to go ahead with the plan.^[61]

About a dozen fire hoses were hauled to the charge face of the reactor; their nozzles were cut off and the lines themselves connected to scaffolding poles and fed into fuel channels about 1 metre (3 ft)

above the heart of the fire. Tuohy once again hauled himself onto the reactor shielding and ordered the water to be turned on, listening carefully at the inspection holes for any sign of a hydrogen reaction as the pressure was increased. The water was unsuccessful in extinguishing the fire, requiring further measures to be taken.

Shutting off air

Tuohy then ordered everyone out of the reactor building except himself and the fire chief in order to shut off all cooling and ventilating air entering the reactor. By this time, an evacuation of the local area was being considered, and Tuohy's action was the workers' last gamble.^[47] Tuohy climbed up several times and reported watching the flames leaping from the discharge face slowly dying away. During one of the inspections, he found that the inspection plates—which were removed with a metal hook to facilitate viewing of the discharge face of the core—were stuck fast. This, he reported, was due to the fire trying to suck air in from wherever it could.^[47]

"I have no doubt it was even sucking air in through the chimney at this point to try and maintain itself," he remarked in an interview.

Finally he managed to pull the inspection plate away and was greeted with the sight of the fire dying away.

"First the flames went, then the flames reduced and the glow began to die down," he described, "I went up to check several times until I was satisfied that the fire was out. I did stand to one side, sort of hopefully," he went on to say, "but if you're staring straight at the core of a shut down reactor you're going to get quite a bit of radiation." (Tuohy lived to the age of 90, despite his exposure.)

Water was kept flowing through the pile for a further 24 hours until it was completely cold. After the water hoses were turned off, the now contaminated water spilled out onto the forecourt.^[47]

The reactor tank itself has remained sealed since the accident and still contains about 15 tons of uranium fuel. It was thought that the remaining fuel could still reignite if disturbed, due to the presence of pyrophoric uranium hydride formed in the original water dousing.^[62] Subsequent research, conducted as part of the decommissioning process, has ruled out this possibility.^[63] The pile is not scheduled for final decommissioning until 2037.

Aftermath

Radioactive release

There was a release into the atmosphere of radioactive material that spread across the UK and Europe.^[5] The fire released an estimated 740 terabecquerels (20,000 curies) of iodine-131, as well as 22 TBq (594 curies) of caesium-137 and 12,000 TBq (324,000 curies) of xenon-133, among other radionuclides.^[64] The UK government under Harold Macmillan ordered original reports into the fire to be heavily censored and information about the incident to be kept largely secret, and it later came to light that small but significant amounts of the highly dangerous radioactive isotope polonium-210 were released during the fire.^{[47][3]}

Later reworking of contamination data has shown national and international contamination may have been higher than previously estimated.^[5] For comparison, the 1986 Chernobyl explosion released approximately 1,760,000 TBq of iodine-131; 79,500 TBq caesium-137; 6,500,000 TBq xenon-133; 80,000 TBq strontium-90; and 6,100 TBq plutonium, along with about a dozen other radionuclides in large amounts.^[64]

The Three Mile Island accident in 1979 released 25 times more xenon-135 than Windscale, but much less iodine, caesium and strontium.^[64] Estimates by the Norwegian Institute of Air Research

indicate that atmospheric releases of xenon-133 by the Fukushima Daiichi nuclear disaster were broadly similar to those released at Chernobyl, and thus well above the Windscale fire releases.^[65]

<u>Material</u>	<u>Half life</u>	<u>Windscale</u>	<u>Three Mile Island (compared to Windscale)</u>	<u>Chernobyl</u>	<u>Fukushima Daiichi (atmospheric)</u>
<u>Iodine-131</u>	8.0197 days	740	much less	1,760,000	130,000
<u>Caesium-137</u>	30.17 years	22	much less	79,500	35,000
<u>Xenon-133</u>	5.243 days	12,000		6,500,000	17,000,000
<u>Xenon-135</u>	9.2 hours		25 × Windscale		
<u>Strontium-90</u>	28.79 years		much less	80,000	
<u>Plutonium</u>				6,100	

Radioactive releases compared (TBq)

The presence of the chimney scrubbers at Windscale was credited with maintaining partial containment and thus minimising the radioactive content of the smoke that poured from the chimney during the fire. These scrubbers were installed at great expense on the insistence of John Cockcroft and were known as Cockcroft's Folly until the 1957 fire.^[42]

Health effects

Of particular concern at the time was the radioactive isotope iodine-131, with a half-life of about eight days. Iodine taken up by the human body is preferentially incorporated in the thyroid. As a result, consumption of iodine-131 can give an increased chance of later suffering cancer of the thyroid. In particular, children are especially at risk due to their thyroids not being fully developed.^[7] In the days

following the disaster, tests were carried out on local milk samples, and the milk was found to be dangerously contaminated with iodine-131.^[66]

It was thus decided that consumption of milk from the surrounding area should be stopped, and eventually restrictions were put in place on the consumption of milk from the 200-square-mile (520 km²) area surrounding the piles.^[67] Milk from about 500 km² of nearby countryside was destroyed (diluted a thousandfold and dumped in the Irish Sea) for about a month.^[7] However, no one was evacuated from the surrounding area.

The original report into the incident, the Penney Report, was ordered to be heavily censored by prime minister Harold Macmillan.^{[68][3]} Macmillan feared that the news of the incident would shake public confidence in nuclear power and damage British-American nuclear relations.^[3] As a result, information about the release of radioactive fallout was kept hidden by the government.^[3] It was not until 1988 that Penney's report was released in full.^[69]

Partly because of this censorship, consensus on the extent of the long-term health impacts caused by the radiation leak has changed over time as more information on the incident has come to light.^[70] The release of the highly dangerous radioactive isotope polonium-210, which had been covered up at the time, was not factored into government reports until 1983, when it was estimated that the fallout had caused 33 cancer fatalities in the long-term.^[71]

These deaths were attributed not only to thyroid cancer, but also to lung cancer.^[72] An updated 1988 UK government report (the most recent government estimate) estimated that 100 fatalities "probably" resulted from cancers as a result of the releases over 40 to 50 years.^{[73][74]} The government report also estimated that 90 non-fatal cancers were caused by the incident, as well as 10 hereditary defects.^[75]

Other studies of additional cancer cases and mortality resulting from the radiological release have produced differing results.^[76] In 2007, the 50-year anniversary of the fire, new academic research into the health effects of the incident was published by Richard Wakeford, a visiting professor at the University of Manchester's Dalton Nuclear Institute, and by former UK Atomic Energy Authority researcher John Garland.^[2] Their study concluded that because the actual amount of radiation released in the fire could be double the previous estimates, and that the radioactive plume actually travelled further east, there were likely to be 100 to 240 cancer fatalities in the long term as a result of the fire.^{[3][2]}

A 2010 study of workers directly involved in the cleanup—and thus expected to have seen the highest exposure rates—found no significant long-term health effects from their involvement.^{[10][11]}

Salvage operations

The reactor was unsalvageable; where possible, the fuel rods were removed, and the reactor bioshield was sealed and left intact. Approximately 6,700 fire-damaged fuel elements and 1,700 fire-damaged isotope cartridges remain in the pile. The damaged reactor core was still slightly warm as a result of continuing nuclear reactions. In 2000 it was estimated that the core still contained

- 1470 TBq (4.1 g) of tritium (half-life 12 years),
- 213 TBq (69 g) of caesium-137 (half-life 30 years),
- 189 TBq (37 g) each of strontium-90 (half-life 29 years) and its daughter yttrium-90,
- 9.12 TBq (4.0 kg) of plutonium-239 (half-life 24,100 years),
- 1.14 TBq (0.29 g) of plutonium-241 (half-life 14 years)

as well as smaller activities of other radionuclides.^[77] Windscale Pile 2, though undamaged by the fire, was considered too unsafe for continued use. It was shut down shortly afterwards. No air-cooled

reactors have been built since. The final removal of fuel from the damaged reactor was scheduled to begin in 2008 and to continue for a further four years.^[63]

Inspections showed that there had not been a graphite fire, and the damage to the graphite was localised, caused by severely overheated uranium fuel assemblies nearby.^[63]

Board of inquiry

A board of inquiry met under the chairmanship of Sir William Penney from 17 to 25 October 1957. The "Penney Report" was submitted to the Chairman of the United Kingdom Atomic Energy Authority and formed the basis of the Government White Paper submitted to Parliament in November 1957. In January 1988, it was released by the Public Record Office. In 1989, a revised transcript was released, following work to improve the transcription of the original recordings.^{[78][79]}

Penney reported on 26 October 1957, 16 days after the fire was extinguished,^[80] and reached four conclusions:

- The primary cause of the accident had been the second nuclear heating on 8 October, applied too soon and too rapidly.
- Steps taken to deal with the accident, once discovered, were "prompt and efficient and displayed considerable devotion to duty on the part of all concerned".
- Measures taken to deal with the consequences of the accident were adequate and there had been "no immediate damage to health of any of the public or of the workers at Windscale". It was most unlikely that any harmful effects would develop. But the report was very critical of technical and organisational deficiencies.
- A more detailed technical assessment was needed, leading to organisational changes, clearer responsibilities for health and safety, and better definition of radiation dose limits.

Those who had been directly involved in the events were heartened by Penney's conclusion that the steps taken had been "prompt and efficient" and had "displayed considerable devotion to duty". Some considered that the determination and courage shown by Thomas Tuohy, and the critical role he played in the aversion of complete disaster, had not been properly recognised. Tuohy died on 12 March 2008, having never received any kind of public recognition for his decisive actions.^[58]



Pile 1 being dismantled in 2018

The Board of Inquiry's report concluded officially that the fire had been caused by "an error of judgment" by the same people who then risked their lives to contain the blaze. The grandson of Harold Macmillan, prime minister at the time of the fire, later suggested that the US Congress might have vetoed plans of Macmillan and US president Dwight Eisenhower for joint nuclear weapons development if they had known that the accident was due to reckless decisions by the UK government and that Macmillan had covered up what really happened. Tuohy said of the officials who told the US that his staff had caused the fire that "they were a shower of bastards".^[81]

The Windscale site was decontaminated and is still in use. Part of the site was later renamed Sellafield after being transferred to BNFL, and the whole site is now owned by the Nuclear Decommissioning Authority.

Comparison with other accidents

The release of radiation by the Windscale fire was greatly exceeded by the Chernobyl disaster in 1986, but the fire has been described as the worst reactor accident until Three Mile Island in 1979.

Epidemiological estimates put the number of additional cancers caused by the Three Mile Island accident at not more than one; only Chernobyl produced immediate casualties.^[82]

Three Mile Island was a civilian reactor, and Chernobyl primarily so, both being used for electrical power production. By contrast, Windscale was used for purely military purposes.

The reactors at Three Mile Island, unlike those at Windscale and Chernobyl, were in buildings designed to contain radioactive materials released by a reactor accident.

Other military reactors have produced immediate, known casualties, such as the 1961 incident at the SL-1 plant in Idaho which killed three operators.

The accident at Windscale was also contemporary to the Kyshtym disaster, a far more serious accident, which occurred on 29 September 1957 at the Mayak plant in the Soviet Union, when the failure of the cooling system for a tank storing tens of thousands of tons of dissolved nuclear waste resulted in a non-nuclear explosion.

The Windscale fire was retrospectively graded as level 5, an accident with wider consequences, on the International Nuclear Event Scale.

Irish sea contamination

In 1968 a paper was published in the journal Nature, on a study of radioisotopes found in oysters from the Irish Sea, using gamma spectroscopy. The oysters were found to contain ^{141}Ce , ^{144}Ce , ^{103}Ru , ^{106}Ru , ^{137}Cs , ^{95}Zr and ^{95}Nb . In addition a zinc activation product (^{65}Zn) was found; this is thought to be due to the corrosion of magnox fuel cladding in cooling ponds.^[83] A number of harder-to-detect pure alpha and beta decaying radionuclides were also present, such as ^{90}Sr and ^{239}Pu , but these do not appear in gamma spectroscopy as they do not generate any appreciable gamma rays as they decay.

Television documentaries

In 1983, Yorkshire Television released a documentary focusing on the health effects of the fire, entitled *Windscale – the Nuclear Laundry*.^[67] It alleged that the clusters of leukaemia in children around Windscale were attributable to the radioactive fallout from the fire.^[84]

In 1990, the first of three BBC documentaries on the incident was shown. Titled *Our Reactor is on Fire*, the documentary featured interviews with key plant workers, including Tom Tuohy, deputy general manager of Windscale at the time of the incident.^[85]

In 1999, the BBC produced an educational drama-documentary film about the fire as a 30-minute episode of "Disaster" (Series 3) titled *The Atomic Inferno*. It was subsequently released on DVD.^[86]

In 2007, the BBC produced another documentary about the accident titled "Windscale: Britain's Biggest Nuclear Disaster",^[78] which investigates the history of the first British nuclear facility and its role in the development of nuclear weapons. The documentary features interviews with key scientists and plant operators, such as Tom Tuohy. The documentary suggests that the fire – the first fire in any nuclear facility – was caused by the relaxation of safety measures, as a result of pressure from the British government to quickly produce fissile materials for nuclear weapons.^[87]

The Windscale accident is depicted also in the movie O Lucky Man! featuring Malcolm McDowell.

The film 'The Medusa Touch' released 1978 mentions Windscale as being a disaster caused by a psychotic John Mortar who has the telekinetic power to cause accidents of an ever increasing nature.

Isotope cartridges

The following substances were placed inside metal cartridges and subjected to neutron irradiation to create radioisotopes. Both the target material and some of the product isotopes are listed below. Of

these, the polonium-210 release made the most significant contribution to the collective dose on the general population.^[88]

- Lithium-magnesium alloy: tritium
- Aluminium nitride: carbon-14.
- Potassium chloride: chlorine-36
- Cobalt: cobalt-60
- Thulium: thulium-170
- Thallium: thallium-204.
- Bismuth oxide: polonium-210
- Thorium: uranium-233.

See also

[RAF Lakenheath nuclear near-disasters](#)

Notes

1. ^ [Jump up to: a b c d](#) *Richard Black (18 March 2011). "[Fukushima - disaster or distraction?](#)". *BBC News*. Retrieved 7 April 2011.*
2. ^ [Jump up to: a b c d](#) *Ahlstrom, Dick (8 October 2007). "[The unacceptable toll of Britain's nuclear disaster](#)". *The Irish Times*. Retrieved 15 June 2020.*
3. ^ [Jump up to: a b c d e f g h](#) *Highfield, Roger (9 October 2007). "[Windscale fire: 'We were too busy to panic'](#)". *The Telegraph*. [Archived from the original on 15 June 2020](#). Retrieved 15 June 2020.*
4. ^ [Jump up to: a b c d](#) *Morelle, Rebecca (6 October 2007). "[Windscale fallout underestimated](#)". *BBC News*.*
5. ^ *Arnold, Lorna (1995). [Windscale 1957: Anatomy of a Nuclear Accident \(Second ed.\)](#). London: Palgrave Macmillan UK. p. 147. ISBN 9781349240081.*
6. ^ [Jump up to: a b](#) *Morgan, Kenneth O. (2001). [Britain Since 1945: The People's Peace](#) (3rd ed.). Oxford: Oxford University Press. p. 180. ISBN 0191587990.*

7. ^ "Info withheld on nuclear accident, papers show". *The Index-Journal*. Greenwood, South Carolina. 3 January 1989.
Retrieved 10 March 2015.
8. ^ Jump up to: ^a ^b McGeoghegan, D.; Whaley, S.; Binks, K.; Gillies, M.; Thompson, K.; McElvenny, D. M. (2010). "Mortality and cancer registration experience of the Sellafield workers known to have been involved in the 1957 Windscale accident: 50 year follow-up". *Journal of Radiological Protection*. **30** (3): 407–431. *Bibcode*:2010JRP....30..407M. *doi*:10.1088/0952-4746/30/3/001. *PMID* 20798473.
9. ^ Gowing 1964, pp. 23–29.
10. ^ Gowing 1964, pp. 39–41.
11. ^ Gowing 1964, pp. 108–111.
12. ^ Gowing 1964, pp. 173–177.
13. ^ Gowing 1964, pp. 236–239.
14. ^ Gowing 1964, p. 242.
15. ^ Gowing & Arnold 1974a, p. 93.
16. ^ Goldberg 1964, p. 410.
17. ^ Gowing & Arnold 1974a, p. 111.
18. ^ Gowing & Arnold 1974a, pp. 106–108.
19. ^ Gowing 1964, pp. 94–95.
20. ^ Gowing & Arnold 1974a, p. 21.
21. ^ Baylis & Stoddart 2015, p. 32.
22. ^ Goldberg 1964, p. 417.
23. ^ Gowing & Arnold 1974a, pp. 40–43.
24. ^ Gowing & Arnold 1974b, pp. 370–371.
25. ^ Gowing & Arnold 1974b, pp. 400–407.
26. ^ Wynn 1997, pp. 16–18.
27. ^ Gowing & Arnold 1974a, p. 216.
28. ^ Cathcart 1995, pp. 24, 48, 57.
29. ^ Gowing & Arnold 1974b, p. 500.
30. ^ Gowing & Arnold 1974a, pp. 10–12.
31. ^ Jump up to: ^a ^b Windscale, 19:15.
32. ^ Windscale, 19:50.

33. ^ Windscale, 20:40.
34. ^ Windscale, 22:15.
35. ^ Windscale, 22:30.
36. ^ Jump up to: ^a ^b *Leatherdale, Duncan (4 November 2014). "Windscale Piles: Cockcroft's Follies avoided nuclear disaster". BBC News. Retrieved 12 July 2020.*
37. ^ Windscale, 42:35.
38. ^ Windscale, 41:10.
39. ^ Windscale, 41:45.
40. ^ Jump up to: ^a ^b ^c ^d ^e ^f ^g ^h ⁱ ^j ^k ^l ^m ⁿ BBC (1999). "Disaster - The Windscale Fire" (TV Documentary). Series 3: BBC Two.
41. ^ W. BOTZEM, J. WÖRNER (NUKEM Nuklear GmbH, Alzenau, Germany) (14 June 2001). "INERT ANNEALING OF IRRADIATED GRAPHITE BY INDUCTIVE HEATING" (PDF).
42. ^ M.R.StJ. Foreman, Reactor accident chemistry an update, Cogent Chemistry, 2018, volume 4, 1450944, <https://www.cogentoa.com/article/10.1080/23312009.2018.1450944>.
43. ^ Windscale, 46:20.
44. ^ Windscale, 49:45.
45. ^ Windscale, 57:20.
46. ^ Windscale, 58:20.
47. ^ Windscale, 59:00.
48. ^ Jump up to: ^a ^b Windscale, 1:00:30.
49. ^ Windscale, 1:02:00.
50. ^ Windscale, 1:03:00.
51. ^ Windscale, 1:10:30.

52. ^ Jump up to: ^a ^b ^c John R. Cooper; Keith Randle; Ranjeet S. Sokhi (2003). Radioactive releases in the environment: impact and assessment. Wiley. p. 150. ISBN 978-0-471-89923-5..
Citing: M. J. Crick; G. S. Linsley (1984). An assessment of the radiological impact of the Windscale reactor fire, October 1957. *International Journal of Radiation Biology and Related Studies in Physics, Chemistry, and Medicine*. Vol. 46. National Emergency Training Center. pp. 479–506.
doi:10.1080/09553008414551711. ISBN 978-0-85951-182-7.
PMID 6335136.
53. ^ Geoff Brumfiel (25 October 2011). "Fallout forensics hike radiation toll". *Nature*. **478** (7370): 435–436.
Bibcode:2011Natur.478..435B. doi:10.1038/478435a.
PMID 22031411.
54. ^ Arnold, Lorna (1995). *Windscale 1957: Anatomy of a Nuclear Accident (Second ed.)*. London: Palgrave Macmillan UK. pp. 55–6. ISBN 9781349240081.
55. ^ Jump up to: ^a ^b Arnold, Lorna (1995). *Windscale 1957: Anatomy of a Nuclear Accident (Second ed.)*. London: Palgrave Macmillan UK. p. 61. ISBN 9781349240081.
56. ^ Arnold, Lorna (1995). *Windscale 1957: Anatomy of a Nuclear Accident (Second ed.)*. London: Palgrave Macmillan UK. p. 83. ISBN 9781349240081.
57. ^ Lohr, Steve (2 January 1988). "Britain Suppressed Details of '57 Atomic Disaster". *The New York Times*. Retrieved 12 July 2020.
58. ^ Arnold, Lorna (1995). *Windscale 1957: Anatomy of a Nuclear Accident (Second ed.)*. London: Palgrave Macmillan UK. p. 147. ISBN 9781349240081.
59. ^ Arnold, Lorna (1995). *Windscale 1957: Anatomy of a Nuclear Accident (Second ed.)*. London: Palgrave Macmillan UK. p. 147. ISBN 9781349240081.

60. ^ Arnold, Lorna (1995). *Windscale 1957: Anatomy of a Nuclear Accident (Second ed.)*. London: Palgrave Macmillan UK. pp. 146–152. ISBN 9781349240081.
61. ^ Arnold, Lorna (1995). *Windscale 1957: Anatomy of a Nuclear Accident (Second ed.)*. London: Palgrave Macmillan UK. p. 152. ISBN 9781349240081.
62. ^ Brown, Paul (26 August 1999). "Windscale's terrible legacy". *The Guardian*. Retrieved 30 June 2020.
63. ^ Arnold, Lorna (1995). *Windscale 1957: Anatomy of a Nuclear Accident (Second ed.)*. London: Palgrave Macmillan UK. p. 152. ISBN 9781349240081.
64. ^ Details of the levels and nature of the radioactivity remaining in the core can be seen at D.G. Pomfret (2000). "Safety and Dose Management During Decommissioning of a Fire Damaged Nuclear Reactor" (PDF). *IRPA-10 Proceedings of the 10th International Congress of the International Radiation Protection Association on Harmonization of Radiation, Human Life and the Ecosystem*. Table 1, p. 6.
65. ^ Jump up to: ^a ^b Paul Dwyer (5 October 2007). "Windscale: A nuclear disaster". *BBC News*.
66. ^ When Windscale burned
67. ^ Gerry Matlack (7 May 2007). "The Windscale Disaster".
68. ^ Arnold, Lorna (1995). *Windscale 1957: Anatomy of a Nuclear Accident (Second ed.)*. London: Palgrave Macmillan UK. pp. 147–8. ISBN 9781349240081.
69. ^ "Disaster - Series 3". *bbcactivevideoforlearning.com*. 1999.

References

- Arnold, Lorna (2007). *Windscale, 1957: Anatomy of a Nuclear Accident*. New York: Palgrave Macmillan. ISBN 978-0230-57317-8. OCLC 471012298.

- *Baylis, John; Stoddart, Kristan (2015). The British Nuclear Experience: The Roles of Beliefs, Culture and Identity. Oxford: Oxford University Press. ISBN 978-0-19-870202-3. OCLC 900506637.*
- *Cathcart, Brian (1995). Test of Greatness: Britain's Struggle for the Atom Bomb. London: John Murray. ISBN 978-0-7195-5225-0. OCLC 31241690.*
- *Gowing, Margaret (1964). Britain and Atomic Energy 1939–1945. London: Macmillan. OCLC 3195209.*
- *Gowing, Margaret; Arnold, Lorna (1974a). Independence and Deterrence: Britain and Atomic Energy, 1945–1952, Volume 1, Policy Making. London: Macmillan. ISBN 978-0-333-15781-7. OCLC 611555258.*
- *Gowing, Margaret; Arnold, Lorna (1974b). Independence and Deterrence: Britain and Atomic Energy, 1945–1952, Volume 2, Policy and Execution. London: Palgrave Macmillan. ISBN 978-0-333-16695-6. OCLC 946341039.*
- *Penney, William; Schonland, Basil F. J.; Kay, J. M.; Diamond, Jack; Peirson, David E. H. (2017). "Report on the accident at Windscale No. 1 Pile on 10 October 1957". *Journal of Radiological Protection*. **37** (3): 780–796. Bibcode:2017JRP....37..780P. doi:10.1088/1361-6498/aa7788. PMID 28854153.*
- *Wynn, Humphrey (1997). RAF Strategic Nuclear Deterrent Forces, Their Origins, Roles and Deployment, 1946–1969. A Documentary History. London: The Stationery Office. ISBN 978-0-11-772833-2.*
- *Windscale: Britain's Biggest Nuclear Disaster. BBC. 8 October 2007. Archived from the original on 13 December 2021.*

Further reading

- [http://iopscience.iop.org/journal/0952-4746/page/Focus on Kyshtym and Windscale](http://iopscience.iop.org/journal/0952-4746/page/Focus%20on%20Kyshtym%20and%20Windscale)

- "Windscale fallout blew right across Europe", Rob Edwards. *New Scientist*, 6 October 2007.
- "Chernobyl: worst but not first", Walter C. Patterson. *Bulletin of the Atomic Scientists*, August/September 1986.
- 'Secrets of the Windscale fire revealed', F. Pearce. *New Scientist* vol 99 29 September 1983, p. 911
- 'Windscale; increased cancer incidence alleged', T. Beardsley. *Nature* vol 306 Issue 5938 November 3, 1983 p. 5
- "Accident at Windscale: World's First Atomic Alarm", Hartley Howe. *Popular Science*, October 1958, Vol. 173, No. 4.
- "An Assessment of the Radiological Impact of the Windscale Reactor Fire", M.J. Crick, G.S. Linsley. NRPB Reports, Oct. 1957, Nov. 1982.
- *An airborne radiometric survey of the Windscale area, 19–22 October, 1957* . A.E.R.E. reports, no. R2890. (Atomic Energy Research Establishment).
- *The deposition of strontium 89 and strontium 90 on agricultural land and their entry into milk after the reactor accident at Windscale in October, 1957* . A.H.S.B. (United Kingdom Atomic Energy Authority).
- 'Accident at Windscale' *British Medical Journal* 16 Nov 1957;2 (5054) pp 1166-8.

External links

- Video of John Dunster Memorial Lecture at SRP annual conference 2017, by Prof R Wakeford. Includes radiological aspects of Windscale Fire
- "Windscale". *Nuclear Decommissioning Authority*. Archived from the original on 25 March 2014.
- "The 1957 Windscale Fire". *lakestay.co.uk*. 5 July 2009.
- "Windscale Nuclear Incident". *The Virtual Nuclear Tourist*. 22 December 2005.
- "1957: Inquiry publishes cause of nuclear fire". *BBC*. 8 November 1957.

- Marsden, B.J.; Preston, S.D.; Wickham, A.J. (AEA Technology plc, Warrington (United Kingdom)); Tyson, A. (Process and Radwaste Chemistry Dept., AEA TEchnology plc, Windscale (United Kingdom)) (8–10 September 1997). "Evaluation of graphite safety issues for the British production piles at Windscale" (PDF). IAEA.
- Paul Dodgson (8.–9. října 2007). "Rozhlasové hry - Energetický průmysl: WINDSCALE....2007" . suttonelms.org.uk.