

Neznámé jaderné havárie a nehody

doc. PhDr. Tomáš Vlček, Ph.D.
tomas.vlcek@mail.muni.cz



Obsah

- Požár ve Windscale (UK, 1957)
- Kyštymská katastrofa (SSSR, 1957)
- Nehoda na ponorce K-19 (SSSR/Grónsko, 1961)
- Únik na úpravně uranu Church Rock (USA, 1979)
- Incident v Goiânia (Brazílie, 1987)
- Incident v Lilo (Gruzie, 1997)
- Jaderná havárie v Tōkai-mura (Japonsko, 1999)
- Výbuch v Njonokse (Rusko, 2019)

Jednotky dávky ionizujícího záření

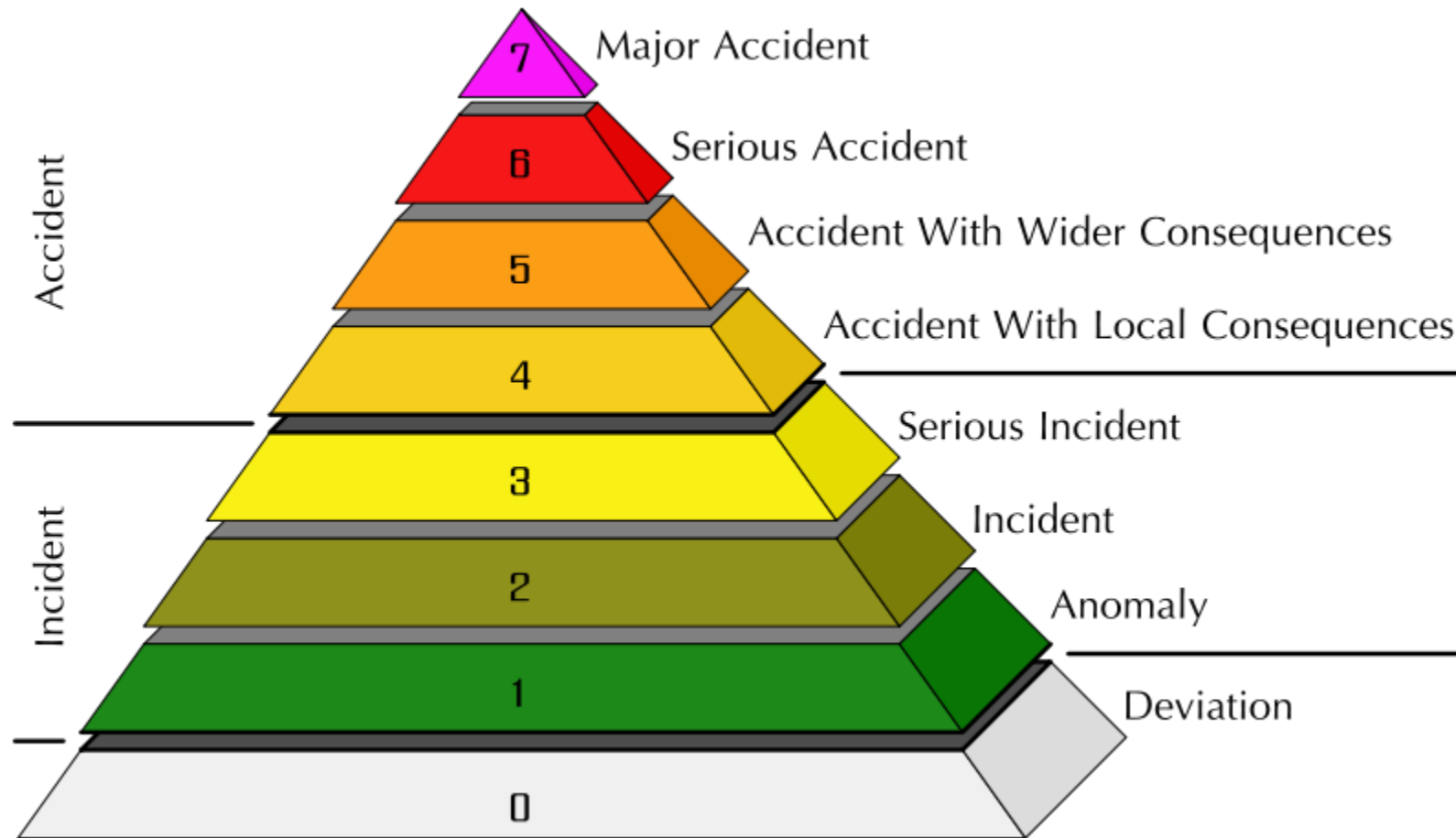
- **rad** (jednotka absorbované dávky)
- **Gray** (Gy, jednotka absorbované dávky v soustavě SI)
- $1 \text{ rad} = 0.01 \text{ Gy} = 0.01 \text{ J/kg}$

100-200 rad (1-2 Gy; 1-2 J/kg) = působí ARS do jednoho dne

200-1,000 rad (2-10 Gy; 2-10 J/kg) = vážný ARS, vysoká pravděpodobnost úmrtí

1,000+ rad (10+ Gy, 10+ J/kg) = vážný ARS, téměř jistá smrt

International Nuclear Event Scale

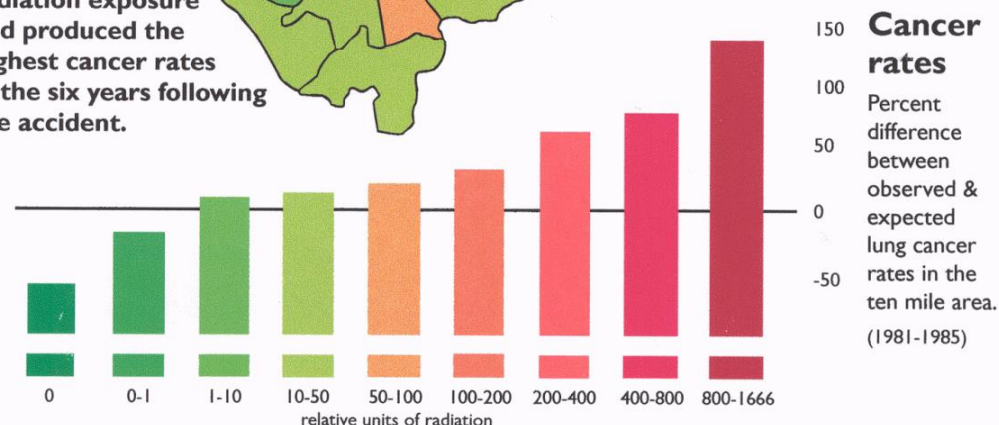
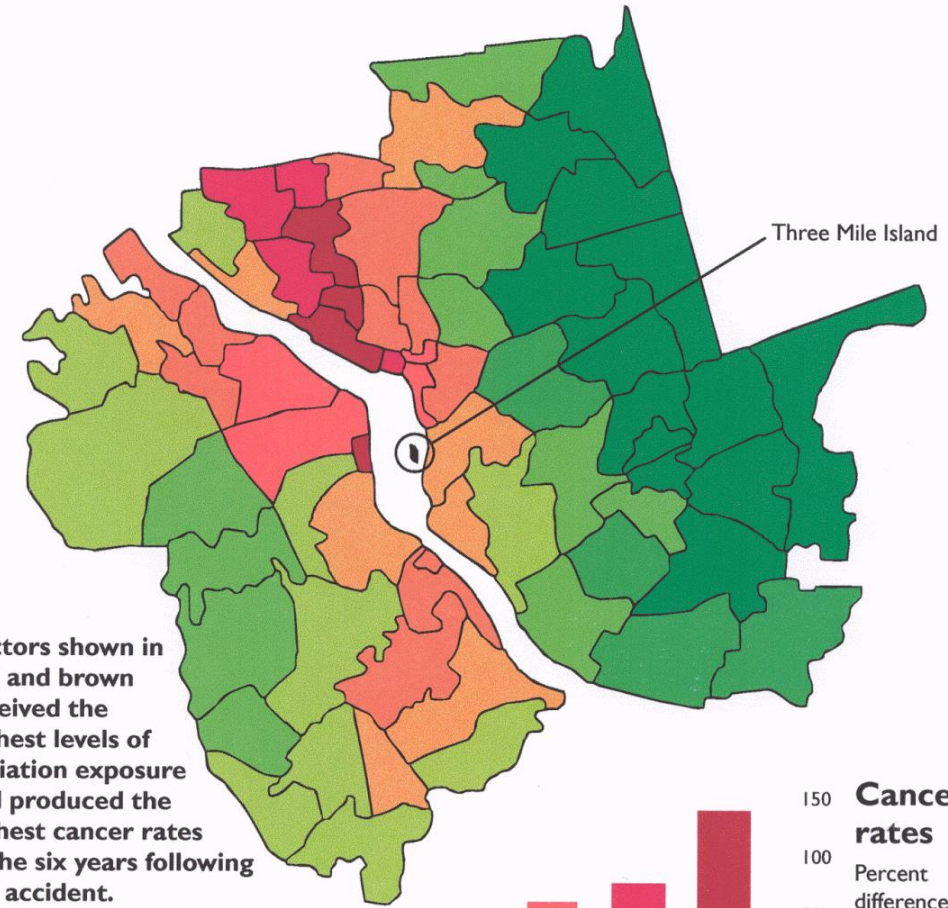
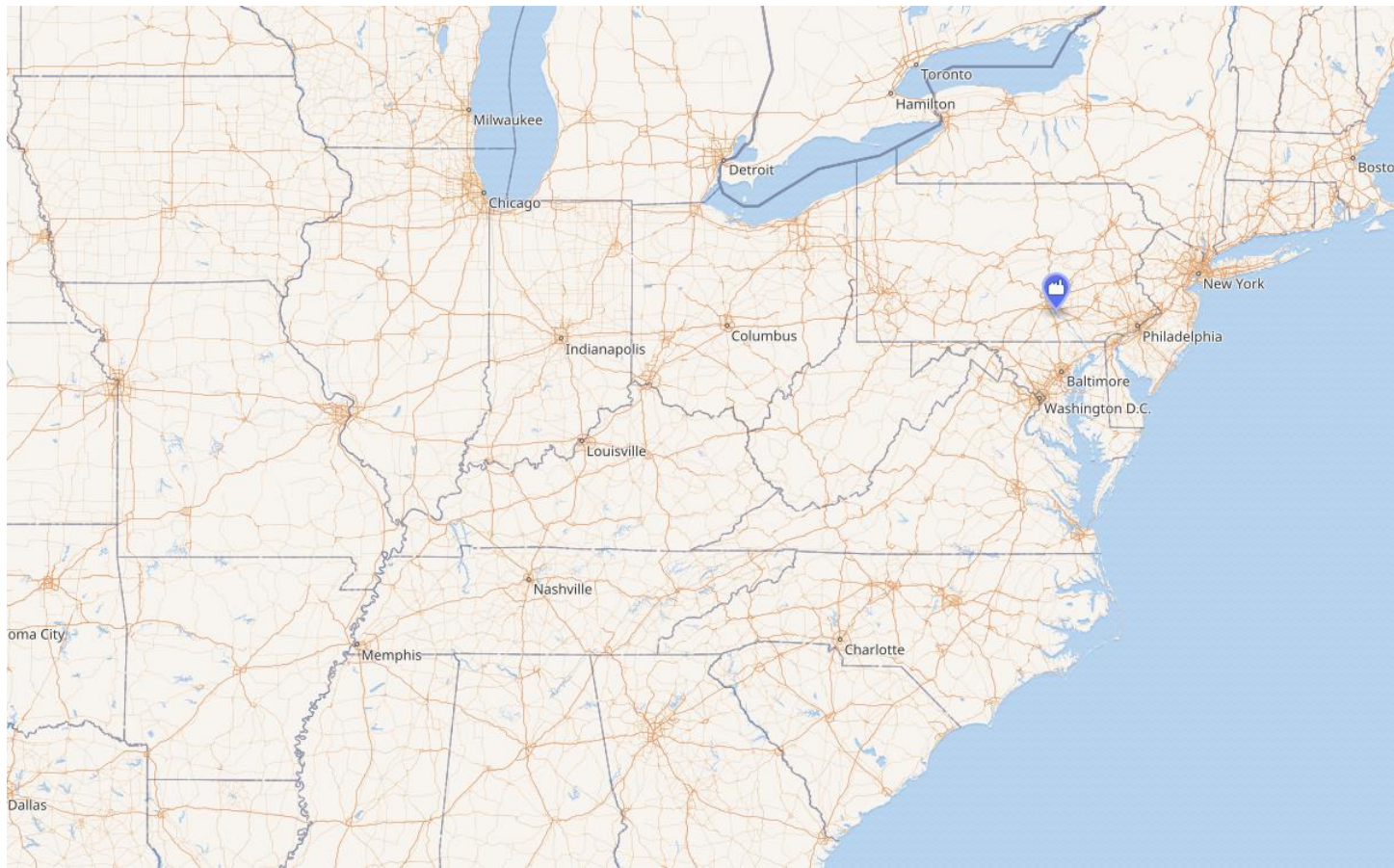


Three Mile Island NPP (INES 5)

- 28. března 1979, Harrisburg, Pennsylvánie, USA
- 2x PWR (800 a 906 MWe)
- nehoda na Bloku 2, závada v sekundárním chladicím okruhu, částečné roztavení reaktoru
- žádná úmrtí, žádné radiologické zdravotní dopady, psychologický stres
- došlo k úniku určitého množství vodíku a radioaktivních vzácných plynů, avšak s krátkým poločasem rozpadu a bez zdravotních rizik
- vyčistit Blok 2 trvalo téměř 12 let, už nikdy nebyl restartován

Radiation Emissions and Cancer Incidence within 10 miles of TMI

Three Mile Island NPP



Radiation doses resulting from the 1979 nuclear accident.

Data Source: *Environmental Health Perspectives*, Volume 5, Number 1, January 1997
 Graphic: Julia R. Bryan, *Endeavors*, Volume XIV, No. 1, Fall 1997

Černobyl NPP (INES 7)

- 26. dubna 1986
- 4x RBMK-1000
- nehoda na Bloku č. 4, výbuch a roztavení reaktoru
- 2 okamžitá úmrtí, 28 úmrtí v důsledku ARS do několika týdnů
- 134 pracovníků s ARS, 600 záchranářů těžce ozářeno
- 116 000 osob okamžitě evakuováno; 220 000 osob pak ještě v následujících letech
- rozsáhlá území kontaminována iodem-131, cesiem-137, xenonem-133, strontiem-90, plutoniem a dalšími radionuklidy
- dávka záření ve štítné žláze (způsobené především iodem-131 a cesiem-137) v populaci kolísala mezi 0,07 Gy a 2 Gy u dětí



RADIATION FROM CHERNOBYL

KiloBecquerels (KBq) per square metre

more than 1,480

185 to 1,480

40 to 185

10 to 40

2 to 10

less than 2

No data

Chernobyl plant

0 500 1 000 km

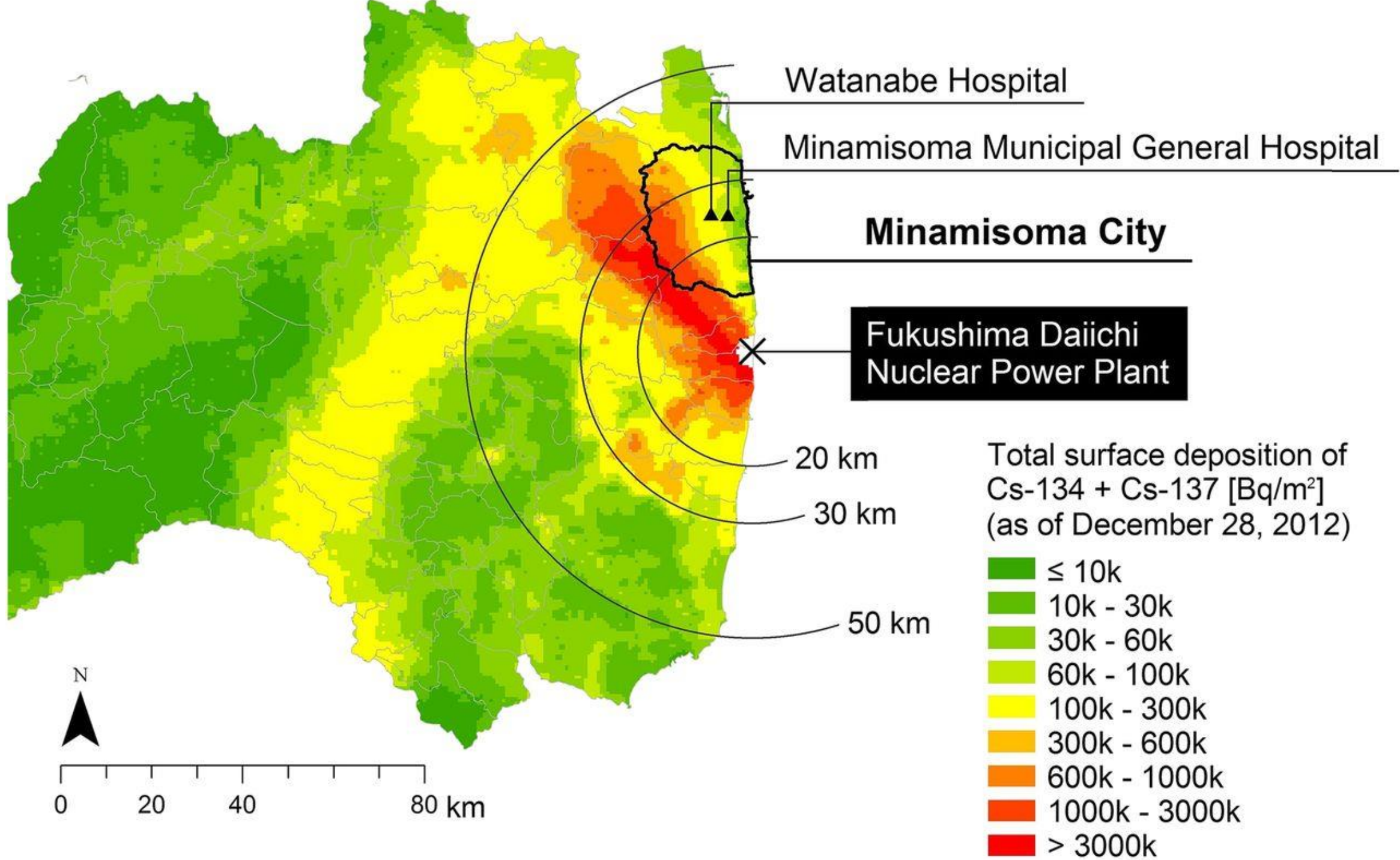
Sources: *Atlas des dépôts de césium 137 en Europe après l'accident de Tchernobyl*, rapport EUR 16733, Bureau des publications de la Communauté européenne, Luxembourg, 1996. Adapted from *Le Monde Diplomatique*, July 2000.



Fukushima Daiichi NPP (INES 7)

- březen 2011
- 4x BWR-5 1100 MWe
- zemětřesení a tsunami 11. března 2011, po kterém následovala ztráta chlazení, exploze vodíku a roztavení paliva
- 1 okamžité úmrtí, 2 ozáření, 16 fyzických zranění v důsledku výbuchu, přes 1000 úmrtí během evakuace
- 154 000 obyvatel evakuováno během několika dní, vážné posttraumatické stresové poruchy
- kontaminace agrikulturních oblastí, mořské vody (v roce 2013 dalších 300 m³) a ryb
- dávka záření ve štítné žláze (způsobené především cesiem-137 a cesiem-134)
- dekontaminace a dekomise bude trvat 30-40 let





Požár ve Windscale (INES 5)

- Sellafield – jaderný komplex na pobřeží Cumbrie
- Windscale Piles (1950), Windscale přepracovací závod, sklad jaderného odpadu, místo dekomise elektrárny Calder Hall Magnox NPP (1956, 4x 60 MWe), prototyp Windscale Advanced Gas Cooled Reactor (1962, 30 MWe)
- dnes je na místě cca 1,000 budov a 200 jaderných zařízení
- největší jaderný komplex v Evropě

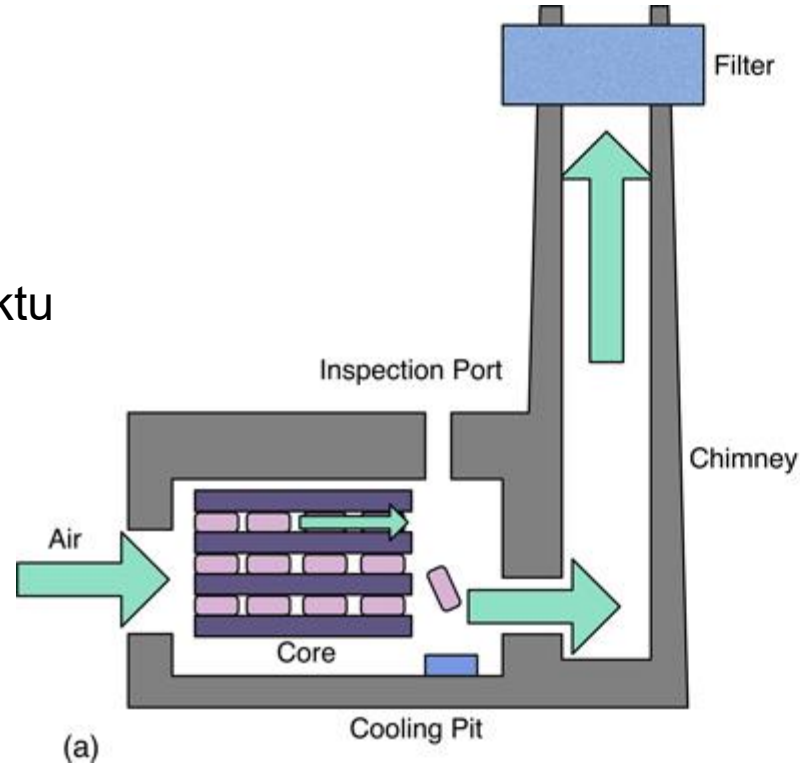


Požár ve Windscale



Požár ve Windscale

- Windscale Piles – dva vzduchem chlazené a grafitem moderované vojenské jaderné reaktory
- součást britského poválečného projektu vývoje jaderné bomby (USA a UK začaly po WWII rozvíjet samostatné programy)
- prvotním smyslem byla produkce plutonia pro vojenské účely
- nehoda 10. října 1957

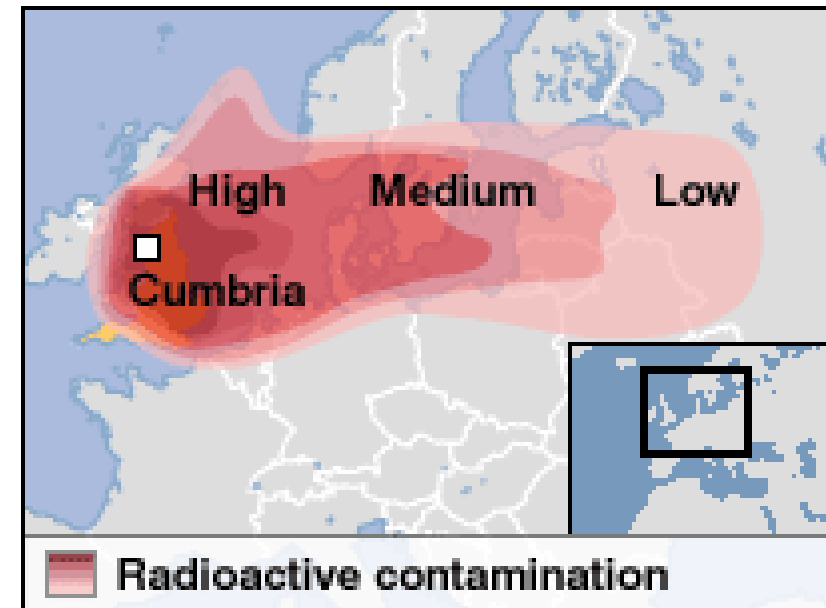


Požár ve Windscale

- v noci 7. října 1957 problém s teplotou – reaktor odstaven; opětovné problémy následující den
- 9. října 1957 teplota jednoho z kanálků vzrostla na 405 °C a v komíně byla detekována radioaktivita – prasknutí palivové kazety
- i při zapojení chladících větráků (shutdown fans) teplota neklesala – vizuální inspekce ukázala, že lithium-magnesiové kazety hořely ve 120 kanálcích
- snahy o chlazení: větráky na plný výkon, pumpování CO₂ do reaktoru, odstavení chladících větráků a pumpování vody do reaktoru (61 l/s) nakonec přivedlo 12. října 1957 požár pod kontrolu

Požár ve Windscale

- únik radioaktivního materiálu, především iod-131, cesium-137, xenon-133
- žádná evakuace (mléko z okolí cca 500 km² bylo asi měsíc vyléváno)
- žádné významné dlouhodobé zdravotní dopady (avšak odhady hovoří o 240 případech rakoviny nad normál)
- manažer reaktoru Tom Tuohy, který prováděl vizuální inspekce, se dožil 90 let navzdory ozáření
- oblast přejmenována na Sellafield v roce 1981
- skladovací nádrž s použitým palivem odstraněna až v roce 2013
- okolo 8400 kazet stále zůstává uvnitř reaktoru
- v plánu je odstranit veškeré palivo a radioaktivní izotopy do 2030
- celý komplex má být vytištěn a odstraněn v roce 2120



Kyštymská katastrofa (INES 6)

- jaderný kombinát Majak vybudován v letech 1945-1948 ve spěchu v reakci na jaderný program USA
- vybudován vězni z Gulagů a válečnými zajatci, nebyl zanesen do map, okolo vybudováno uzavřené město Ozjorsk
- kombinát a město se nazývalo Čeljabinsk-40 (1948-1966), později Čeljabinsk-65 (1967-1994), krycím jménem Město 40 (Город Сорок) nebo Čtyřicítka (Sorokovka)
- v oblasti bylo postaveno pět jaderných reaktorů pro produkci zbraňového plutonia



Ozersk/Ozyorsk

South Urals Nuclear Power Plant

Left Bank Canal

Nanoga Lakes

Lake Kyzyltash (V-2)

Techa River

Koksharov Pond (V-3)

V-4

Fissile Material Storage Facility

V-10

Mayak Site

Staroe Boloto (V-17)

V-11

Lake Karachai (V-9)

Right Bank Canal

Tatysh

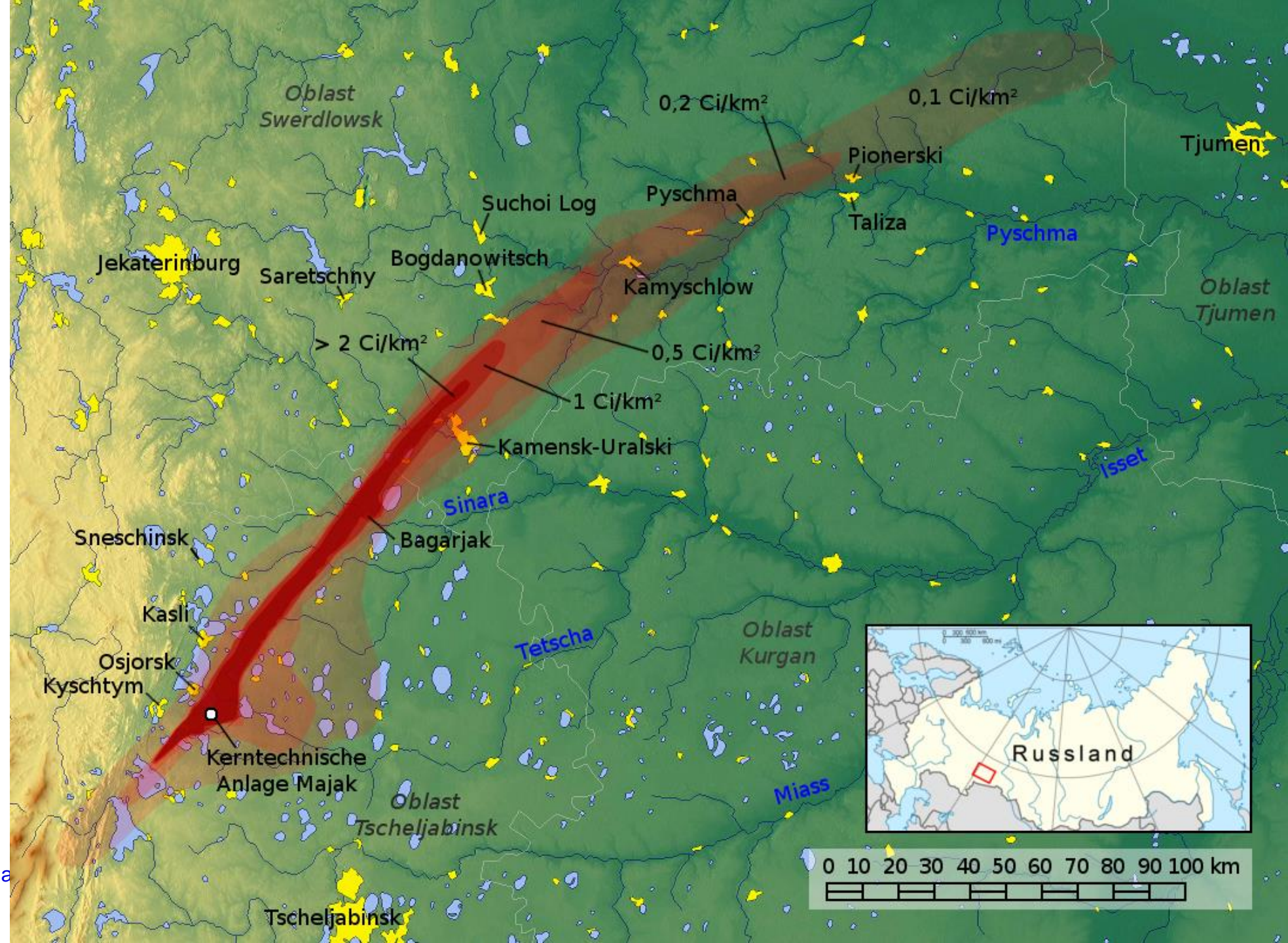
Ash Disposal Area

Mishelyak River

0 1 2 3 4 5 Kilometers

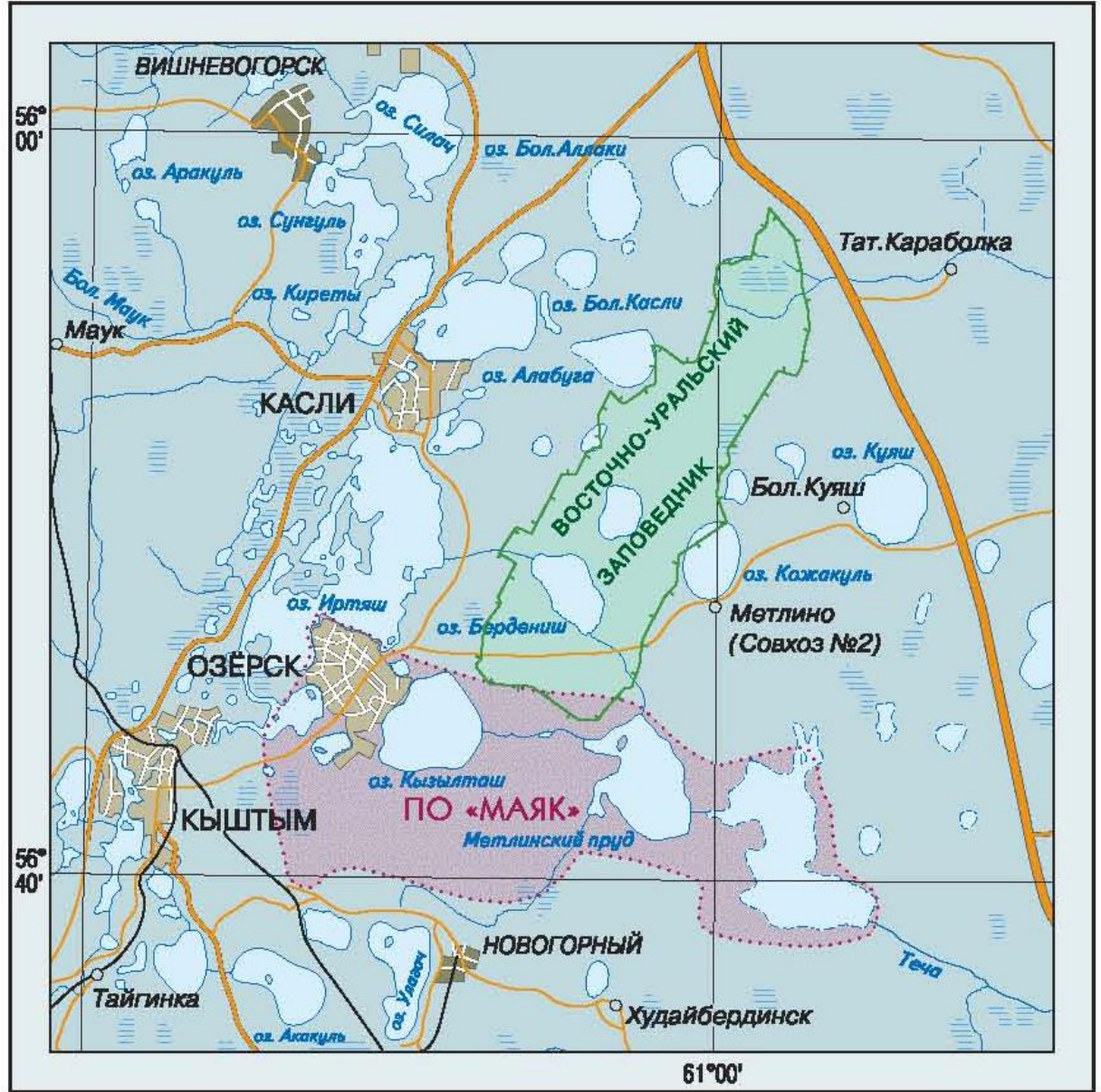
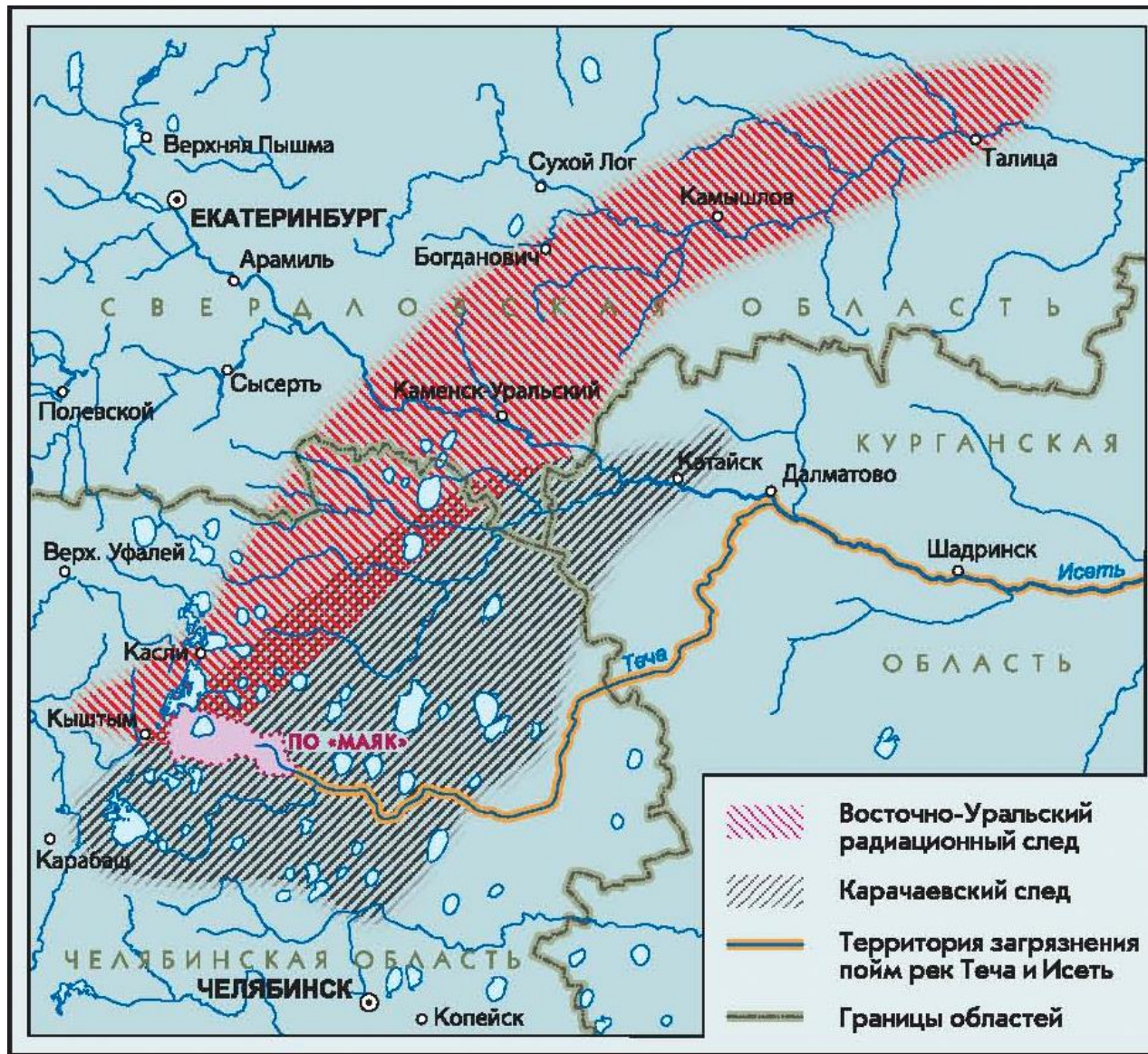
Kyštymská katastrofa

- zařízení pro skladování kapalného jaderného odpadu bylo přistavěno kolem roku 1953
- vzhledem k vysoké úrovni radioaktivity odpadů se nádrže ohřívaly kvůli tzv. rozpadovému teplu; kolem každé nádrže vybudováno 20 chladicích tanků
- v roce 1957 selhal systém chlazení v jednom z chladicích tanků, teplota vzrostla a došlo k chemické explozi (29. září 1957, 70-100 tun TNT), 160tunové betonové víko bylo vymrštěno do vzduchu
- tank byl napuštěný 70-80 tunami tekutého radioaktivního odpadu, který byl uvolněn do okolí
- během cca 10ti hodin dosáhl radioaktivní mrak vzdálenosti 300-350 km od místa havárie a kontaminoval oblast o 800-20 000 km² především cesium-137 a strontiem-90



Kyštymská katastrofa

- obyvatelstvo nebylo informováno, až o týden později začalo s evakuací 10 000 osob (22 malých měst) bez udání důvodů; evakuace probíhalo od jednoho týdne do dvou let od nehody
- svět se o havárii dozvěděl až v roce 1976
- 50-8 000 osob zemřelo na rakovinu v důsledku havárie
- kontaminovaná půda byla odbagrována a uložena v oplocených prostorách
- sovětská vláda oblast v roce 1968 zamaskovala zřízením přírodní rezervace (East Ural Nature Reserve) a zákazem jakéhokoliv nepovolaného vstupu do rezervace
- v roce 1968 roznesla vichřice radioaktivní materiál ze sedimentů jezera Karačaj
- oblast je nyní ve vlastnictví a pod kontrolou firmy Rosatom



Kyštymská katastrofa

- voda z řeky Těča byla používána v domácnosti 124 tisíci lidmi ve vesnicích podél toku, v roce 1951 bylo evakuováno 1200 osob
- v 50. letech 20. století bylo přestěhováno 11 vesnic, ale největší z nich zůstala na místě - Musljumovo
- lidé si stěžovali na řadu potíží – chronická únava, nespavost, plodnost, ztráta hmotnosti, zvýšený krevní tlak, trojnásobná četnost vrozených vad a porodních komplikací
- doktoři to označovali jako tajemnou nemoc, protože nesměli uvádět v diagnózách radiaci, neboť kombinát byl tajnou oblastí
- jezero Karačaj zůstává nejvíce radiokontaminovaným místem na Zemi

Kyštymská katastrofa

- celková radioaktivita jezera se odhaduje na 30-50 % celkové radioaktivity černobylské havárie
- nicméně v jezeru je radioaktivita koncentrovaná do cca jedno čtverečního kilometru, zatímco únik z Černobylo byl rozptýlen na tisících čtverečních kilometrech
- po velkých suchách v 60. letech, kdy vítr odnesl radioaktivní prach z vysušeného jezera, který ozářil cca půl milionu lidí, SSSR rozhodl jezero zabetonovat 10 000 dutých betonových bloků
- v roce 1990 stačilo stát hodinu na břehu jezera, aby člověk obdržel smrtelnou dávku radiace
- od roku 2016 je jezero zcela zabetonováno













Nehoda na ponorce K-19

- sovětská ponorka postavená v letech 1958-1960
- součást Projektu 658 – první sovětské ponorky vybavené z ponorky odpalovanými balistickými střelami (3 kusy, 650 km dosah, 1.4 megatunová hlavice) a první sovětské jaderné ponorky (2x 72 MWe)
- postavena ve spěchu v reakci na ponorku USA (Nautilus v roce 1955, George Washington v roce 1957 - 16 střel Polaris SLBMs)
- 10 úmrtí během stavby, poruchy a nehody krátce po uvedení do provozu
- k velké nehodě došlo během první plavby



Nehoda na ponorce K-19

- 4. července 1961 byla nalezen únik v chladícím okruhu reaktoru
- reaktor byl automaticky odstaven
- teplota reaktoru nekontrolovaně rostla – rozpadové teplo ohřálo reaktor na 800 °C
- kapitán Zatějev nařídil výrobu provizorního systému na dodávku vody do chladícího systému reaktoru z trubek sebraných z jiných míst ponorky
- technici pracovali v reaktoru ve vysoké radiaci
- kapitán odmítl pomoc amerických vojenských plavidel a počkal na sovětskou naftovou ponorku S-270; posádka nastoupila na ponorku a K-19 byla odtažena do přístavu

Nehoda na ponorce K-19

- během nehody došlo k vypuštění radioaktivní páry obsahující štěpné produkty, které byly nasáty lodní vzduchotechnikou a rozšířeny po celé ponorce – ozářena byla celá posádka
- opravy kontaminovaly 700 m² přístavu, okolní oblasti a mechaniky, kteří na opravě pracovali
- radioaktivní přepážka byla vhozena do hlubin karského moře
- všech sedm techniků opravujících reaktor na K-19 a jejich velitel zemřeli do měsíce od incidentu, obdržené dávky byly 7,5 až 54 Sv (za fatální se považuje 4-5 Sv)
- 14 dalších členů posádky zemřelo do dvou let
- námořníci trpěli bolestmi na hrudi, rakovinami a selháními ledvin; onemocnění se řešilo transplantacemi kostní dřeně a krevními transfuzemi
- diagnózy byly utajovány

Únik na úpravně uranu Church Rock

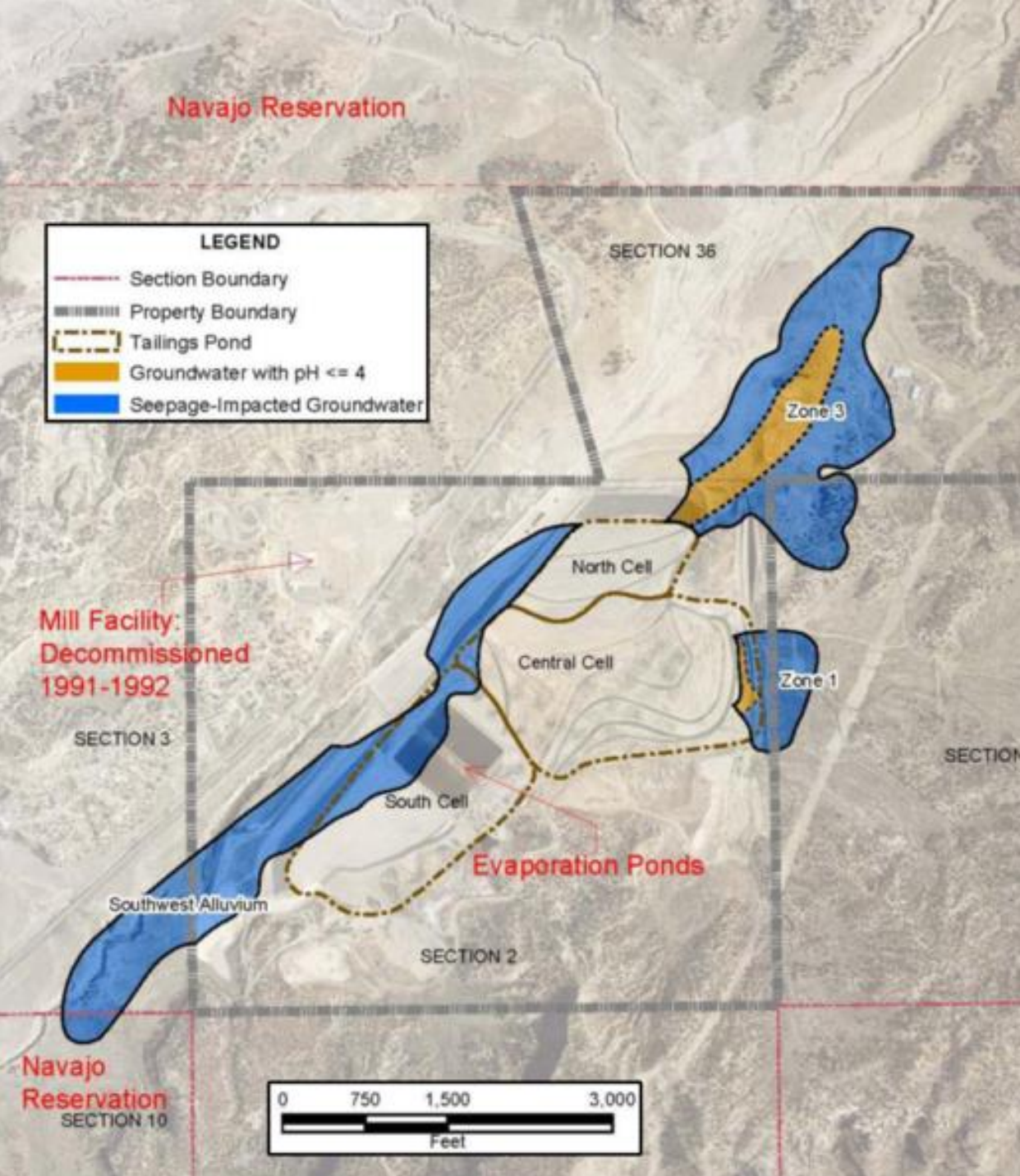
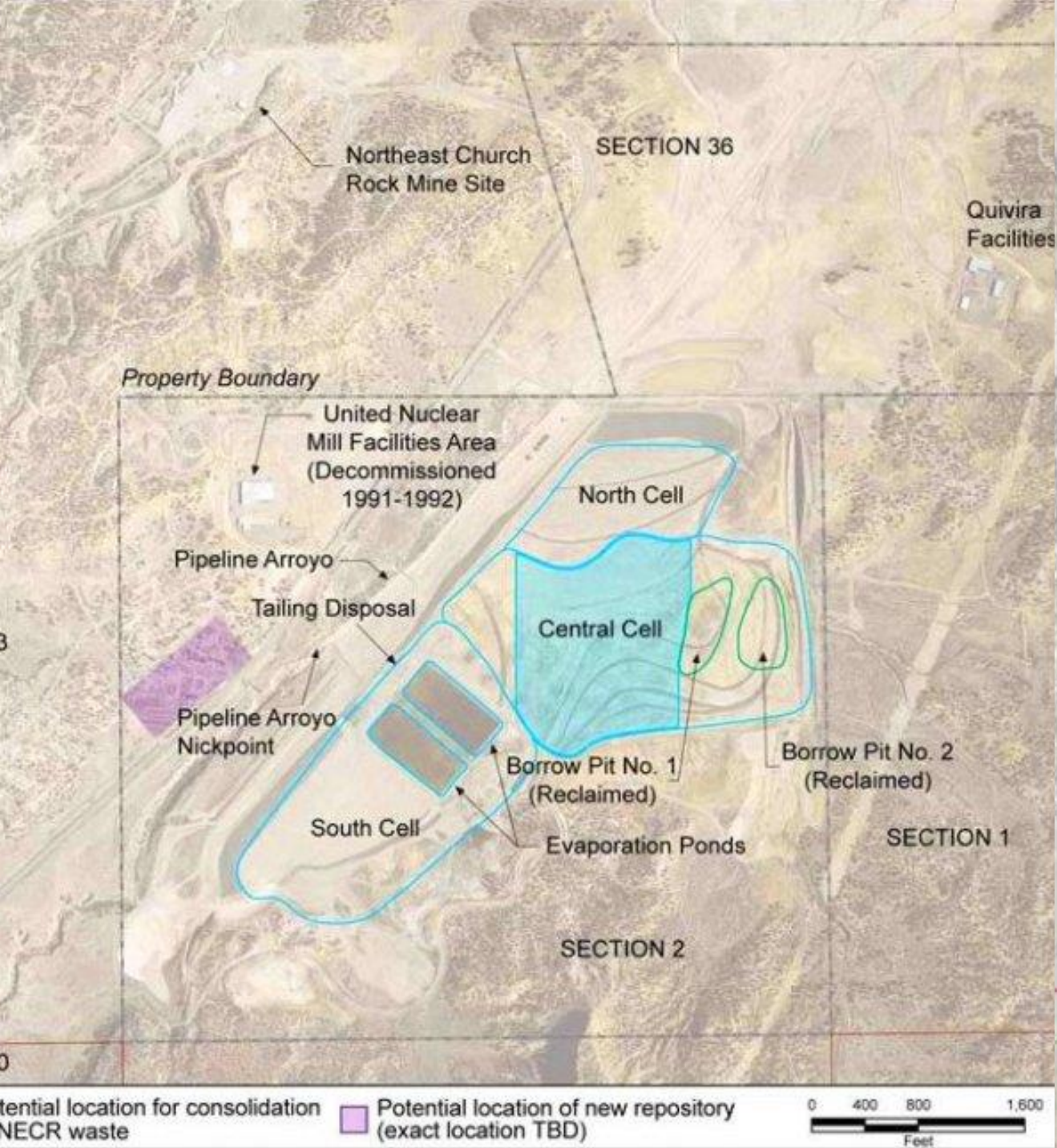
- Nové Mexiko, 16. července 1979
- prolomení hráze nádrže na uložení odpadu z úpravy uranu firmy UNC (United Nuclear Corporation)
- největší únik radioaktivity v americké historii, mnohem horší než Three Miles Island



Únik na úpravně uranu Church Rock

- prasklina na hrázi na jižní nádrži se rozevřela do 6ti metrového otvoru
- o prasklině se vědělo více než 2 roky
- 1000 tun pevného radioaktivního odpadu z úpravny a 350,000 m³ kyselých roztoků používaných k rozpuštění horniny uniklo do potoku Pipeline Arroyo, odkud materiál dotekl až do řeky Puerco
- odpad obsahoval kyseliny a desítky různých radioaktivních a jedovatých prvků
- Silně kontaminovaná voda se dostala až do 130 km vzdálené indiánské rezervaci Navajo County





Únik na úpravně uranu Church Rock

- řeka Puerco sloužila jako zdroj pitné a užitkové vody pro obyvatele i dobytek
- lidé nebyli varováni po několik dní a došlo tak ke kontaminaci lidí i dobytku
- 1700 lidí ztratilo přístup k pitné vodě
- lidé, kteří do řeky vstoupili, trpěli vážnými popáleninami chodidel, v důsledku dalších infekcí byly vyžadovány i amputace
- stáda ovcí a krav zemřela v důsledku pití kontaminované vody

- zásadní neochota firmy únik vyčistit – až po tlaku obyvatel odbagrovala 3 palce sedimentu z říčního dna zcela ignorujíc další úniky, déšť, vítr či jiné polutanty
- v rámci mimosoudního vyrovnání zaplatila UNC 525 000 USD indiánům Navajo rok po úniku

Incident v Goiânia (INES 5)

- Institute Goiano de Radioterapia in Goiania, soukromý institut pro radioterapii, v roce 1985 se přestěhoval do nových prostor a ponechal cesium-137 teleterapeutickou jednotku (poločas rozpadu 30 let) na původním místě
- dvě osoby vstoupily do opuštěných prostor a odnesli hlavici v domnění, že by mohla mít nějakou cenu na sběrném dvoře
- doma se ji pokusili rozebrat a došlo k narušení kapsle s cesium-137
- chlorid cesný kontaminoval okolní prostředí, ony dvě osoby, majitele sběrného střediska a všechny návštěvníky, kteří si přišli prohlédnout to, že materiál ve tmě modře zářil
- po pěti dnech, kdy lidé začali mít symptomy ozáření, jedna z osob navštívila nemocnici a přinesla i fragment zdroje (který dostal darem jako mnoho dalších)

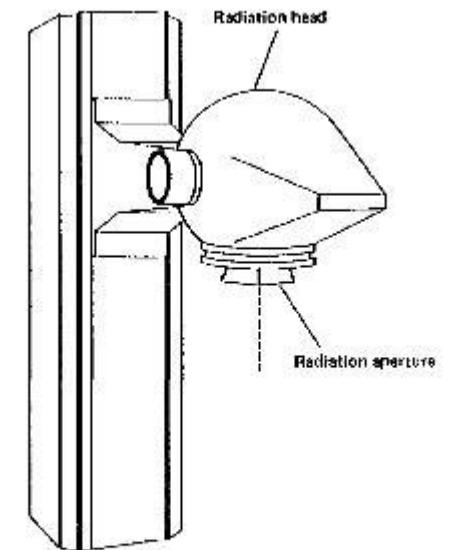


FIG. 4. Schematic view of a teletherapy machine similar to the one from which the source assembly was removed in Goiânia. The radiation head is adjustable vertically and can be rotated about two horizontal axes.

Incident v Goiânia

- začala rozsáhlá operace, dvě oblasti evakuovány
- významná kontaminace nalezena v 85 domech, 200 osob z 41 domů bylo evakuováno (do 30 domů se obyvatelé do 2 týdnů vrátili, zbytek byl stržen), 42 domů bylo nutno zbourat
- během pouhých 2 dnů bylo monitorováno 67 km² a neleženy všechny hlavní zdroje kontaminace (sběrné středisko dosahovalo hodnot 2 Sv/h)
- dekontaminační opatření pitné vody a potravin vyžadováno pouze v okruhu 50 metrů od epicentra
- 112 000 osob monitorováno, 249 kontaminováno, 4 pacienti zemřeli během 4 týdnů (dávky 4,5-6 Gy)

Goiânia

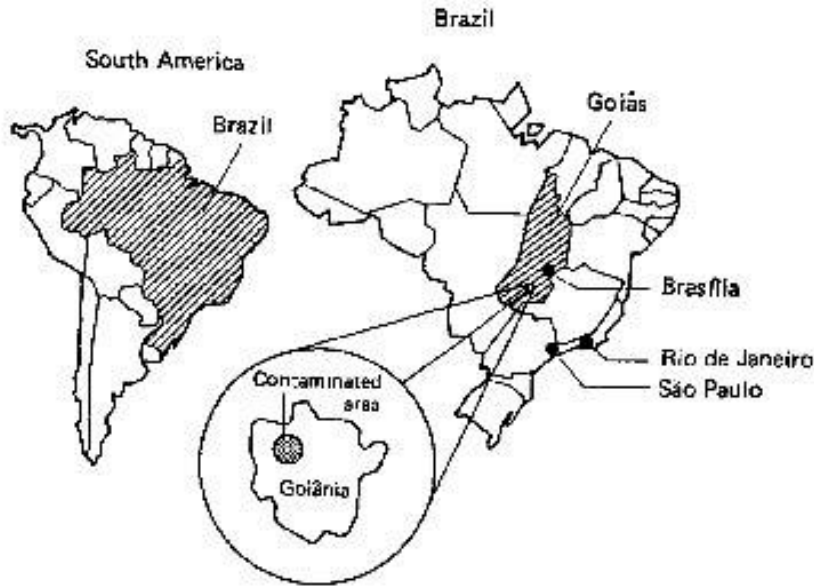


FIG. 1. Map showing the location of Goiânia in relation to Rio de Janeiro (1348 km) and São Paulo (979 km), where the major radiological protection resources are situated, and giving an impression of the relative size of the contaminated area of the city.

Celá zpráva: [https://www-](https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PD)

[pub.iaea.org/MTCD/Publications/PD](https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PD)

[F/Pub815_web.pdf](https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PD)

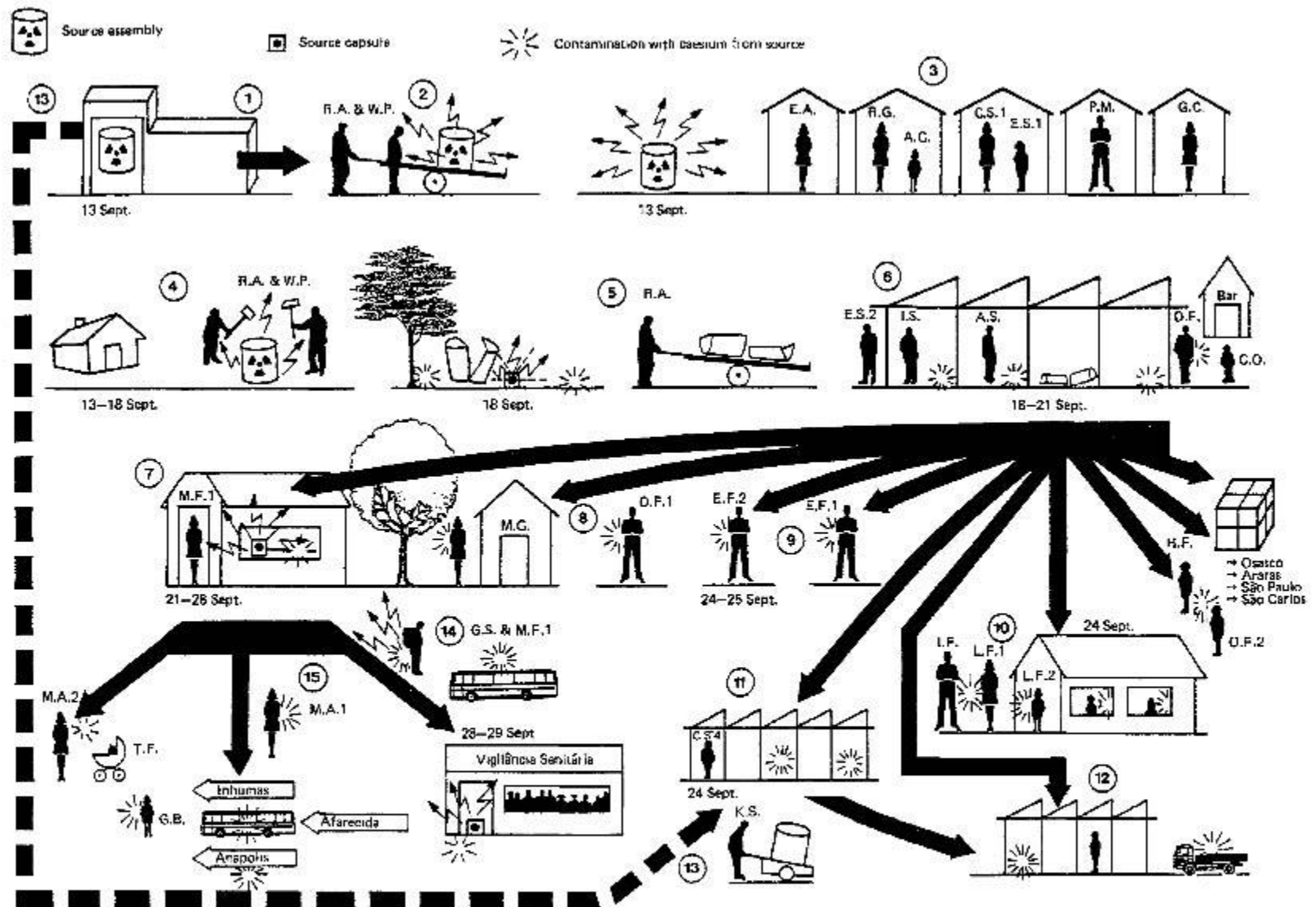


FIG. 2. Schematic diagram of the dispersal of caesium-137 in the accident in Goiânia. The diagram is based on a drawing made shortly after the discovery of the accident in attempting to reconstruct what had happened. It is reproduced in the format in which it was originally drawn even though it differs in minor details from what is now considered to be the best description of events (see the text of the report). Key: (1) the devoltec clinic of the IGR; (2) removal of the rotating source assembly from an abandoned teletherapy machine by R.A. and W.P.; (3) source assembly placed in R.A.'s yard near houses rented out by R.A.'s mother E.A.; (4) R.A. and W.P. break up source wheel and puncture source capsule; (5) R.A. sells pieces of the source assembly to Junkyard I; (6) Junkyard I, the caesium

chloride is fragmented and dispersed by I.S. and A.S. via public places; (7) D.F.'s house; contamination is further dispersed; (8) visitors and neighbours, e.g. O.F.1, are contaminated; (9) E.F.1 and E.F.2 contaminated; (10) I.P.'s house; other arrows indicate dispersion via visitors and contaminated scrap paper sent to other towns; (11) contamination is spread to Junkyard II; (12) contamination is spread to Junkyard III; (13) K.S. returns to the IGR clinic to remove the rest of the teletherapy machine to Junkyard II; (14) M.F.1 and G.S. take the source remnants by city bus to the Vigilância Sanitária; (15) contamination transferred to other towns by M.A.1. (By courtesy of CNEN, Brazil.)

Incident v Goiânia



Incident v Lilo

- vojenská základna, 25 km východně od Tbilisi
- v únoru 1997 se objevilo vážné ozáření u jedenácti gruzínských vojáků (oloupaná kůže, krvácení)
- 26. srpna detekoval radiologický tým gruzínské armády vysokou úroveň radiace poblíž podzemního bunkru na základě
- bylo zjištěno, že základna Lilo byla používána sovětskou armádou pro výcvik boje v jaderné válce
- když v roce 1992 základnu opustili, ponechali v jejich prostorech radioaktivní zdroje, aniž by to komukoliv oznámili

Incident v Lilo

- 13. září byl nalezen zdroj v kapsy zimní bundy, kterou si vojáci brali na strážní službu (malý váleček s cesium-137, který emitoval 45 millisievertů za hodinu ve vzdálenosti jednoho metru)
- později byly nalezeny další zdroje (20 cm pod fotbalovým hřištěm, na místě pro kuřáky, celkem na osmi místech)
- v následujících dvou letech se našly radioaktivní zdroje v dalších bývalých sovětských základnách v Gruzii (Vaziani, Matkhoji, Kuthaisi, Poti, Khaishi, Tbilisi, Rustavi)
- Celá zpráva: <https://www.nrc.gov/docs/ML0037/ML003768309.pdf>

Incident v Lilo

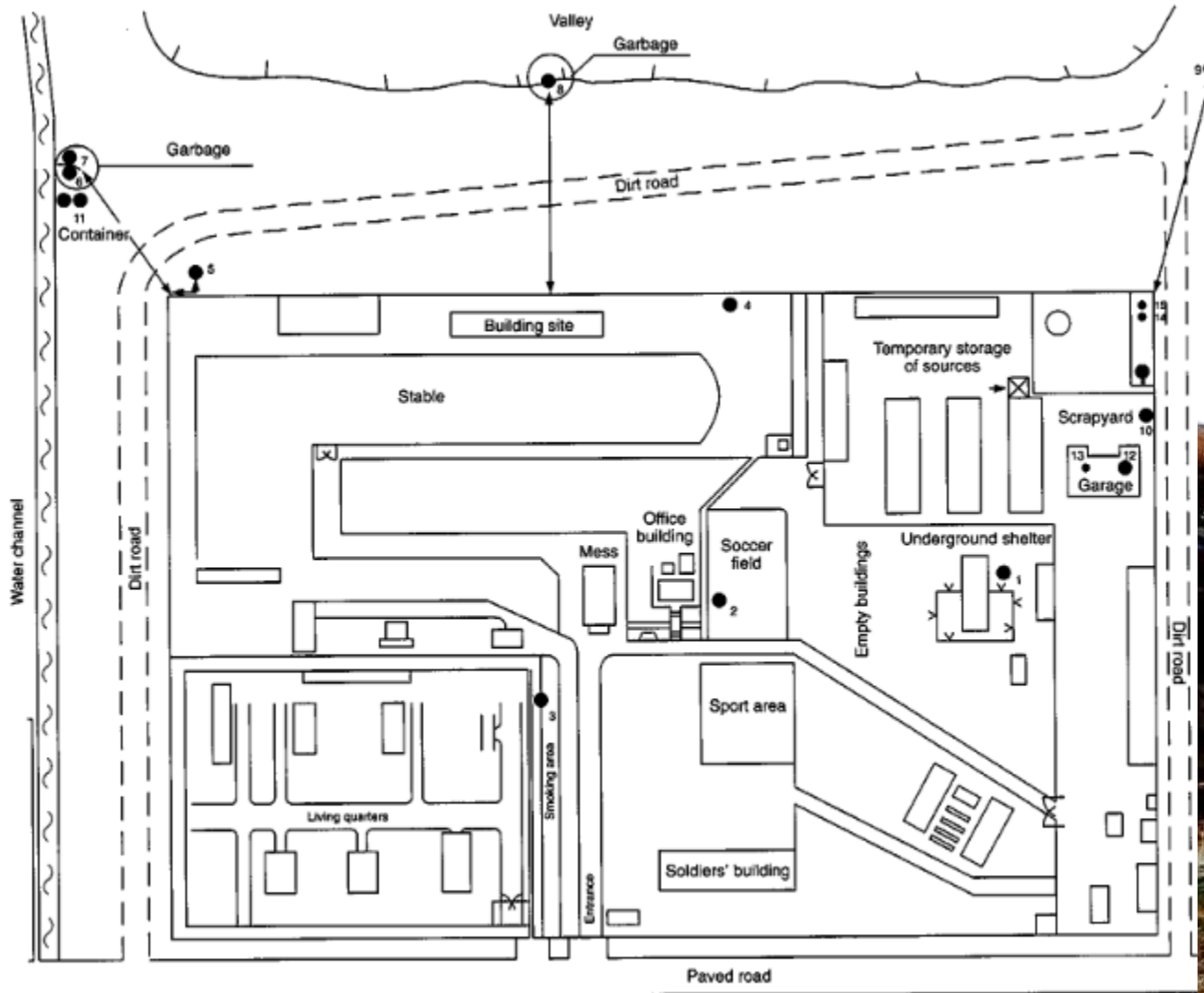
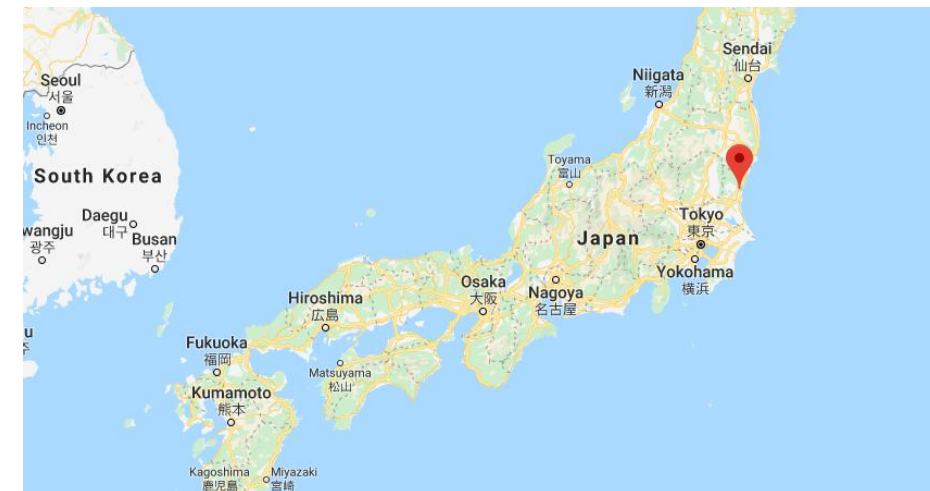


FIG. 1. Schematic diagram the Lilo Training Centre.

Jaderná havárie v Tōkai-mura (INES 4)

- srdce japonského jaderného průmyslu
- Japanese Atomic Energy Research Institute
- komplex jaderných zařízení vč. první japonské jaderné elektrárny, přepracovacího závodu, výzkumných institucí, konverzního závodu apod.
- k havárii došlo 30. září 1999 během přípravy paliva pro experimentální množivý reaktor Jōyō (uranium obohacený na 18.8 %)



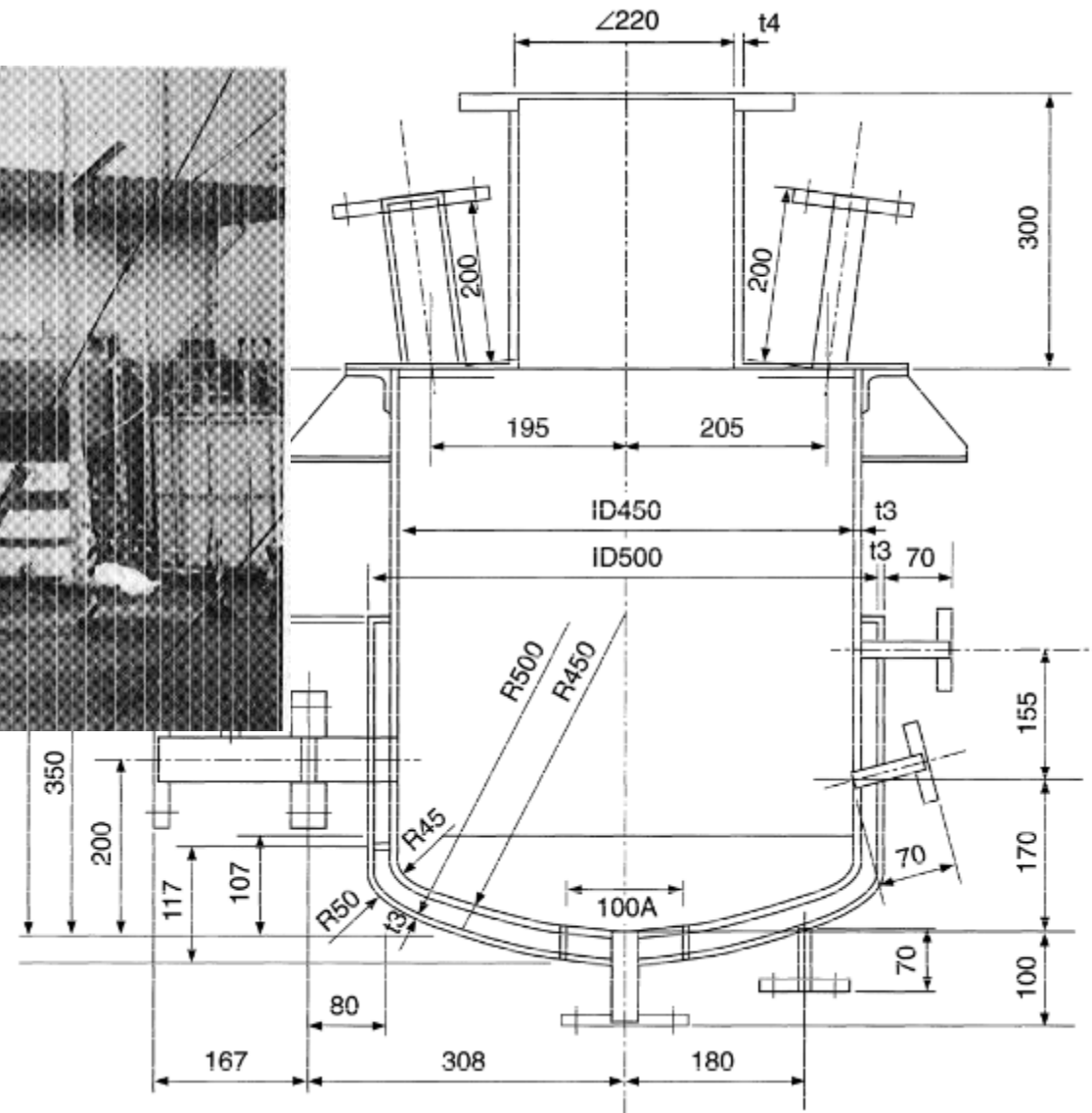
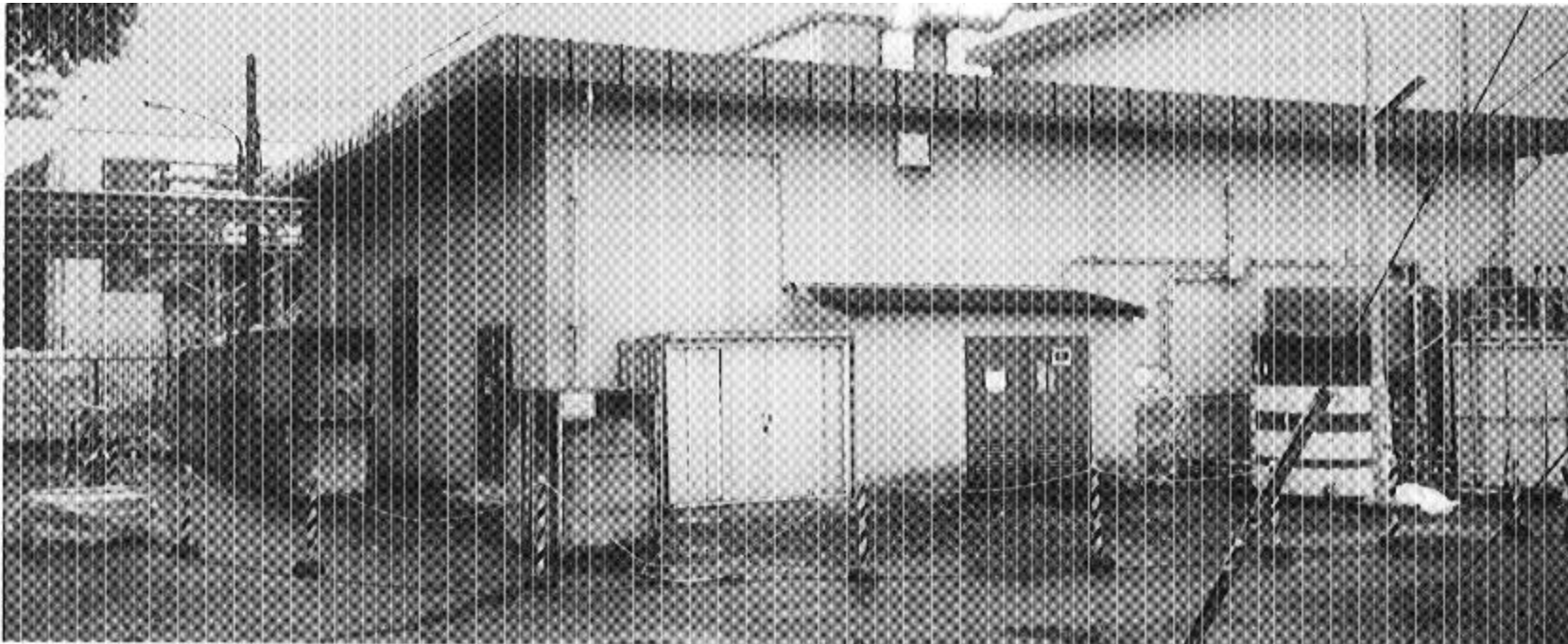
Tōkai-mura Nuclear Accident

- nekvalifikovaný personál připravoval palivo rozpouštěním žlutého koláče ve srážecí nádrži
- do nádrže bylo povoleno vložit 2,4 kg uranu, pracovníci tam nalili 16,6 kg v nerezových kýblech
- nakumulovalo se kritické množství a spustila se štěpná řetězová reakce, která se sama udržovala
- masivní dávky neutronového a gama záření unikalo ze zařízení po 20 hodin, došlo k zamoření budovy štěpnými produkty, neboť nádrž intenzivně vřela
- okamžité reakce - bolesti, nevolnosti, problémy s dechem, zvracení
- incident byl zmírněn odstraněním vody z nádrže a vstřikováním kapalné kyseliny borité k zajištění podkritičnosti
- kolem budovy byly umístěny pytle s pískem a další stínící materiál (beton)
- filtry HEPA filtrovaly vzduch ve ventilačních systémech

Tōkai-mura Nuclear Accident

- tři zaměstnanci obdrželi dávky ve výši 16-20, 6-10, a 1-4.5 Sv, první dva zemřeli v následujících měsících (selhání více orgánů, imunodeficience)
- pět hodin po zahájení kritičnosti bylo evakuováno 39 domácností v okruhu 350 metrů (161 lidí), obyvatelé v pásmu 10 km byli vyzváni, aby zůstali doma (310 000 lidí); všechna omezení byla zrušena následující den
- 169 dalších zaměstnanců bylo ozářeno dávkami do 48 mSv
- 235 obyvatel bylo ozářeno dávkami do 16 mSv
- 260 záchranářů a novinářů bylo ozářeno dávkami do 9.2 mSv

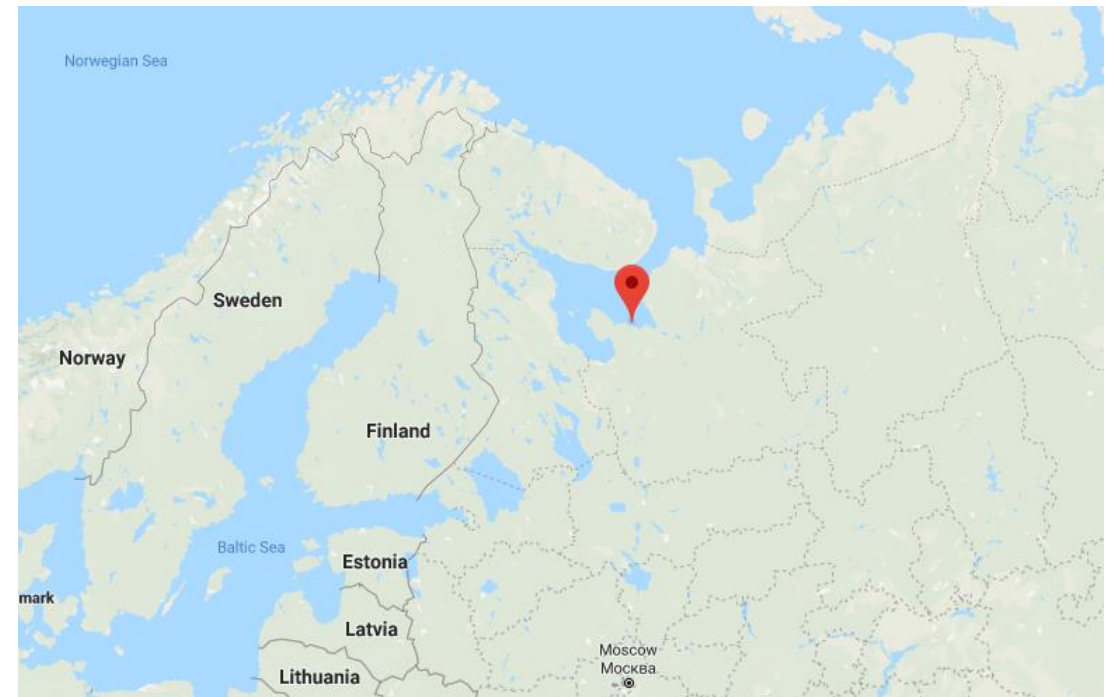
Tōkai-mura Nuclear Accident



Celá zpráva: https://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/TOAC_web.pdf

Výbuch v Njonokse

- hlavní raketová střelnice sovětského a ruského námořnictva založena v roce 1954
- příčina události z 8. srpna 2019 neznámá
- buď neúspěšný test střely s plochou dráhou letu 9M730 Burevestnik s jaderným pohonem a jadernou hlavicí
- nebo test jiného raketového pohonu na tekuté jaderné palivo
- nebo nehoda při vyzvedávání 9M730 Burevestnik po neúspěšném testu

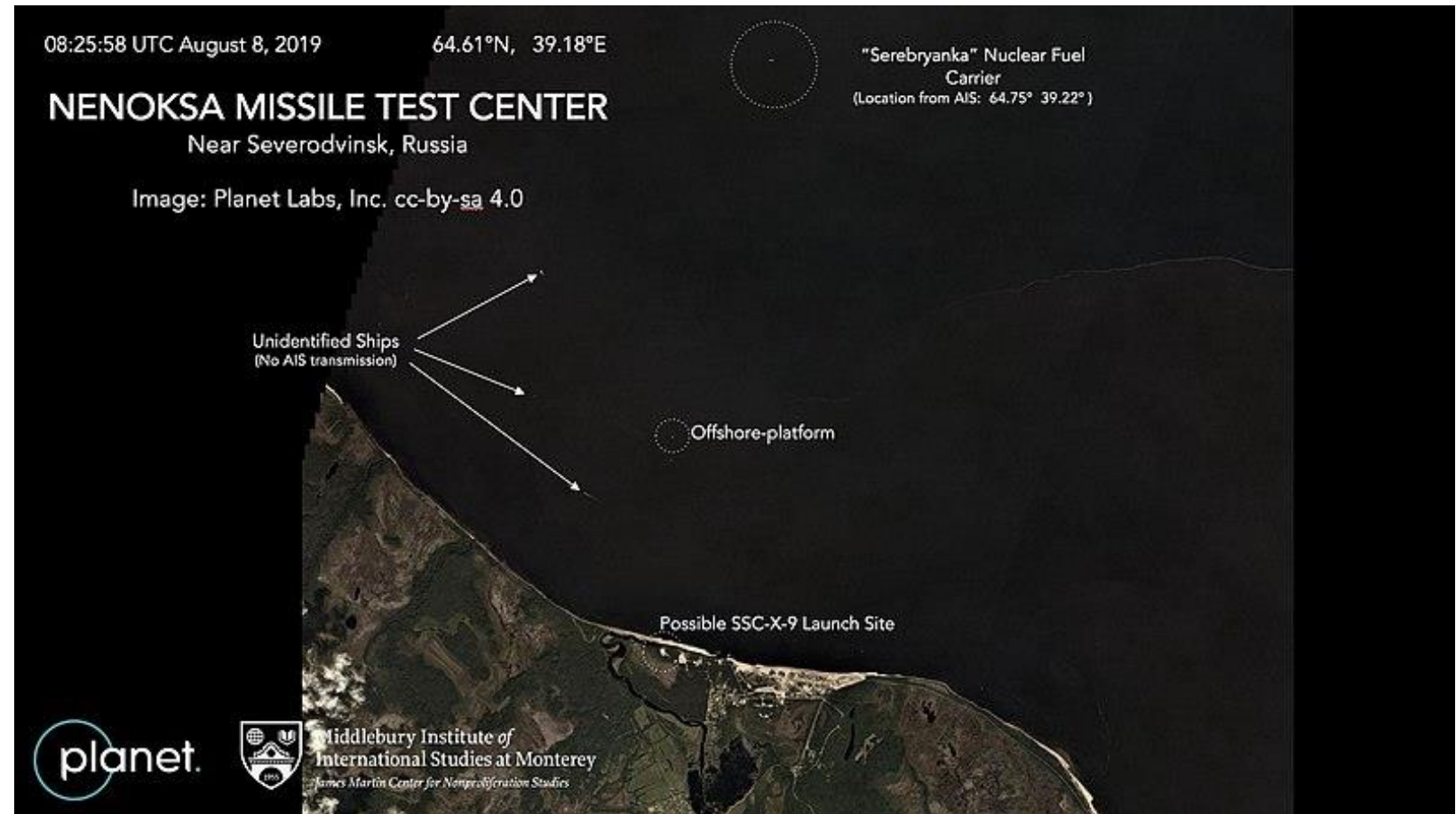
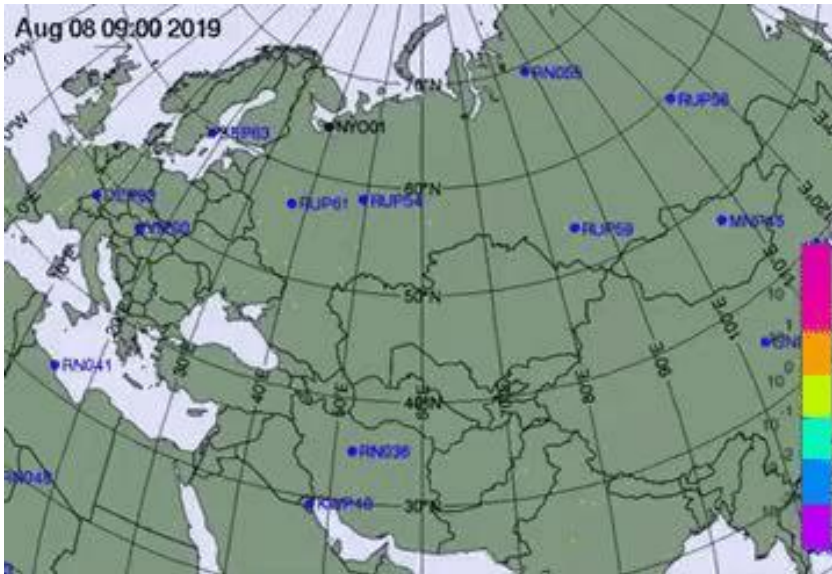


Výbuch v Njonokse

- výbuch na moři poblíž vesnice Njonoksa
- dvě ruská speciální plavidla byly u Njonoksy při výbuchu
- pět specialistů Rosatomu bylo zabito
- tři další osoby zraněny a převezeny do nemocnice v Archandělsku, doktoři však nebyly informováni o radiaci (kontaminace cesium-137 byla posléze indikována u jednoho z lékařů)
- bylo oznámeno, že asi 450 obyvatel Njonoksy bude 14. srpna vlakem evakuováno na asi dvě hodiny, následně evakuace zrušena
- radioaktivní mrak obsahoval strontium-91, barium-139, barium-140 a lanthanum-140
- zmíněných osm osob bylo z rozkazu V. Putina vyznamenáno za chrabrost (Орден Мужества)



Výbuch v Njonokse



Shrnutí

Three Mile Island NPP	selhání technologie
Černobyl NPP	závažná porušení provozních pravidel a předpisů
Fukushima Daiichi NPP	nedodržení základních bezpečnostních požadavků, jako je hodnocení rizik, příprava na zadržení vedlejších škod a vypracování evakuačních plánů; laxní dohled
Požár ve Windscale	porušení provozních pravidel a předpisů
Kyštymská katastrofa	kultura bezpečnosti a práce, absolutní neúcta k životnímu prostředí
Nehoda na ponorce K-19	kultura bezpečnosti a práce (vadné svary)
Únik na úpravně uranu Church Rock	kultura bezpečnosti a práce, neúcta k životnímu prostředí
Incident v Goiânia	kultura bezpečnosti a práce, porušení provozních pravidel a předpisů
Incident v Lilo	kultura bezpečnosti a práce, porušení provozních pravidel a předpisů
Jaderná havárie v Tōkai-mura	kultura bezpečnosti a práce, porušení provozních pravidel a předpisů
Výbuch v Njonokse	selhání technologie, kultura bezpečnosti a práce

Doporučeno:

Tomsk-7, Rusko

Mailuu-Suu, Kyrgyzstán

Semipalatinsk, Kazachstán

Thule, Grónsko

Děkuji za pozornost.

Zdroje:

<https://www.iaea.org/>

<https://www.nrc.gov/>

<https://hibakusha-worldwide.org/>

<https://en.wikipedia.org/>

