



Využití robotů při černobylské havárii



Západočeská Univerzita V Plzni
Katedra Kybernetiky
Semestrální práce - HKUI

Jakub Šítal
1. semestr
26. prosince 2025

1 Úvod

Černobylská jaderná havárie, ke které došlo 26. dubna 1986, patří mezi jeden z nejzávažnějších technologických incidentů 20. století. Nedodržení bezpečnostních postupů a konstrukční nedostatky reaktoru vedly k explozi čtvrtého bloku jaderné elektrárny Černobyl, která zapříčinila masivní únik radioaktivních látek do ovzduší a rozsáhlou kontaminaci přilehlého okolí. Nebezpečné množství ionizujícího záření nedovolovalo dlouhodobý pobyt lidí v blízkosti poškozeného reaktoru, u kterého bylo potřeba provést mnoho bezpečnostních opatření k zamezení dalšího úniku radiace. Za zvlášť rizikovou oblast byla považována střecha elektrárny, na níž po výbuchu čtvrtého reaktoru zůstaly trosky přímo z reaktorového jádra. Mezi nimi se nacházely vysoce radioaktivní úlomky grafitu, používaného jako moderátor, které musely být odstraněny a přemístěny do bezpečnějších zón, aby se snížilo riziko další kontaminace.

Jedním z prvotních řešení se stalo nasazení robotických systémů, které měly nahradit nasazení lidských pracovníků v radiací zamořených místech elektrárny. Společně s incidentem v americké jaderné elektrárně Three Mile Island se Černobyl stal jedním z prvních případů, kdy byly robotické systémy využity při řešení rozsáhlé jaderné havárie.



Obrázek 1: Poškozená budova čtvrtého bloku jaderné elektrárny Černobyl

1.1 Technologický kontext

V 80. letech byla robotika stále v raném vývinu. Roboti byli zpravidla užíváni pro průmyslové a vojenské odvětví, ale v SSSR sehráli také důležitou roli při průzkumu Měsíce. Autonomní chování bylo u těchto robotů téměř neexistující, takže robotické systémy byly plně závislé na dálkovém spojení s operátorem.

Velký problém představovaly elektronické součástky robotů, které nebyly konstruovány, aby obstály při práci v extrémní radiaci. To vedlo k postupnému selhání téměř všech nasazených robotů. Další překážkou byla také absence předchozí zkušenosti s katastrofami podobného charakteru, což vedlo k neoptimálnímu nasazení některých robotů.

1.2 Úkoly robotů

K nasazení robotických systémů došlo přibližně tři týdny po explozi čtvrtého jaderného bloku a byly využívány až do konce léta 1986. Roboti byli nasazováni při několika klíčových úkolech. Tím nejdůležitějším z nich bylo především odstraňování nebezpečného materiálu a paliva reaktoru ze střechy budovy jaderné elektrárny. Odklizení tohoto radioaktivního materiálu bylo velmi důležité pro zabránění úniku nebezpečného ionizujícího záření do okolí.

Dalším důležitým úkolem bylo mapování rozsáhlosti havárie v okolí elektrárny. Roboti s měřicími zařízeními byli využíváni pro měření úrovně radiace. Tato data posloužila k lepší koordinaci likvidačních prací. Úkolem dalších robotů byla také pomoc se stavbou ochranného betonového sarkofágu okolo poškozené budovy čtvrtého reaktoru.

2 Nejvýznamnější nasazené robotické systémy

2.1 Sovětské robotické systémy

2.1.1 STR-1 a STR-2

Tyto robotické systémy byly jedněmi z hlavních robotů využitých pro likvidaci nebezpečného materiálu ze střech jaderné elektrárny. Jednalo se o šestikolové, dálkově ovládané roboty, kteří byli vyrobeni na základě roverů určených pro průzkum Měsíce. Byli vybaveni jednoduchou radlicí, která sloužila pro shrnování radioaktivních úlomků grafitu ze střech budovy reaktoru. Hlavní problém u těchto robotů představovala nízká odolnost elektronických součástek vůči ionizujícímu záření. Proto byly později tyto roboti vybaveni olověnými díly, které měly zvýšit odolnost vůči radiaci. Celková odpracovaná doba těchto robotů činila až okolo 200 hodin.

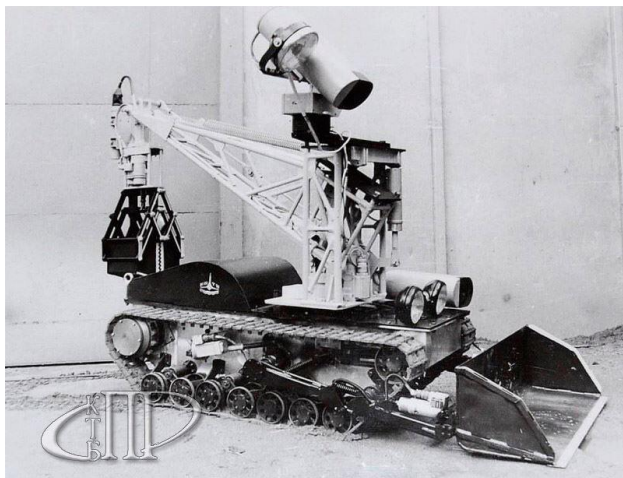


Obrázek 2: Robot STR-1 při práci na střeše elektrárny

2.1.2 Mobot-Ch-Hv

Robotické systémy Mobot byly jedním z prvních prototypů robotů, kteří byli speciálně vyvinuti již v srpnu 1986 pro pomoc s likvidací černobylské havárie. Tito roboti byli vyvinuti na Baumanově Technické Univerzitě v Moskvě a byli využíváni pro sběr a likvidaci radioaktivních materiálů, ale také pro mapovací a měřicí úkoly. Po určité době provozu na střeše

elektrárny se u tohoto robota vyskytla nutnost opravy, a proto bylo rozhodnuto přepravit robota pomocí helikoptéry na opravu. Při přepravě však došlo k technické poruše na závěsném mechanismu a robot se ve vzduchu uvolnil a zřítíl se z výšky téměř 200 metrů. Při pádu došlo k úplnému mechanickému zničení, což zapříčinilo definitivní vyřazení tohoto robotického systému z provozu.

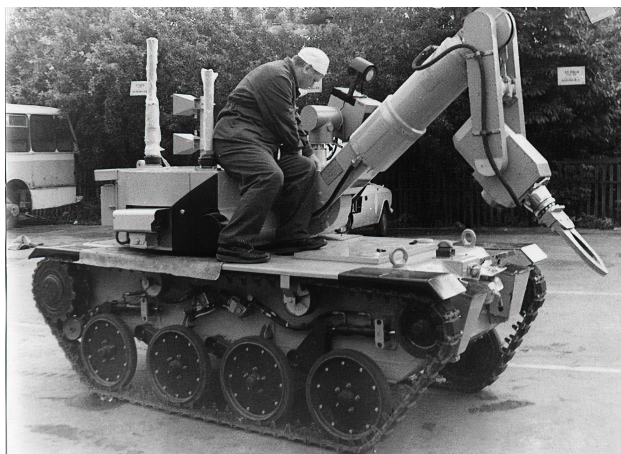


Obrázek 3: Robotický systém Mobot-Ch-Hv

2.2 Zahraníční robotické systémy

2.2.1 MF-2, MF-3

Tyto robotické systémy, původně určené pro sběr a deaktivaci válečných min, byly dodané ze západního Německa v rámci mezinárodní pomoci. Robot MF-2, také přezdívaný „Joker“, vzbuzoval díky své technické vybavenosti vysoké naděje na úspěšné nasazení v nebezpečných oblastech na střeše elektrárny. Ztráta obrazu kamer a poškození elektronických součástí radiací však vedly ke ztrátě signálu a zavinily vyřazení tohoto robota z provozu. Jeho následovník, robot MF-3, také nedosáhl velkého úspěchu, neboť jeho kabel, který spojoval robota s ovládací jednotkou, neumožňoval operátorovi udržet dostatečně bezpečnou vzdálenost, aby mohla být zajištěna dostatečná bezpečnost práce operátora.



Obrázek 4: Robot MF-2 přezdívaný „Joker“

2.2.2 Komatsu D155W

Robotický buldozer D155W od japonského výrobce Komatsu byl dálkově ovládaný buldozer určen pro práci v nebezpečných prostředích. Konstrukční řešení tohoto systému dovovalo robotovi i práci pod vodou. Byl také vybaven hydraulicky ovládanou radlicí a kamerovým systémem pro ovládání. Přestože patřil mezi nejmohutnější robotické systémy nasazené v Černobylu, selhal stejně jako většina robotů kvůli nízké odolnosti elektroniky vůči ionizujícímu záření.



Obrázek 5: Robotický buldozer Komatsu D155W

3 Selhání robotů a nasazení lidských sil

3.1 Dopad ionizujícího záření na elektroniku

Hlavním důvodem selhání robotů v Černobylu byla nedostatečná odolnost elektronických součástek, které nebyly navrženy, aby odolaly silnému ionizujícímu záření. Elektronika vystavená radiaci může fungovat normálně v krátkém čase, ale dlouhodobý pobyt v prostředí se silně ionizujícím zářením může vést k řadě fyzikálních změn a technických selhání.

Jedním z hlavních problémů je tzv. Total dose effect. Dlouhodobé vystavení radiaci může vést ke změně elektrických vlastností polovodičových součástek. Čím vyšší je dávka záření, tím více se posouvají parametry elektronických obvodů mimo navržené limity, což vede k poruchám a nesprávnému fungování zařízení.

Mezi další problémy se například řadí poškození krystalové mřížky u atomů křemíku, které dále snižuje výkon zařízení nebo změna logického stavu v digitálním obvodu způsobená průchodem částice, která může vést ke ztrátě dat nebo chybným výpočtům.

3.2 Nasazení lidských pracovníků

Protože většina robotických systémů nedisponovala dostatečnými schopnostmi pro efektivní likvidaci havárie, museli být roboti u řady úkolů nahrazeni lidskými pracovníky.

Likvidačních operací na střechách jaderné elektrárny se zúčastnilo okolo 3800 vojáků tzv. likvidátorů. U sovětského velení si tito pracovníci vysloužili přezdívku "bioroboti". Likvidátoři byli vybaveni pouze jednoduchou olověnou ochranou proti radiaci a celkově měli dovoleno strávit v nebezpečných místech pouze 40-90 sekund. I přesto byla většina nebezpečného radioaktivního materiálu odstraněna právě těmito pracovníky.

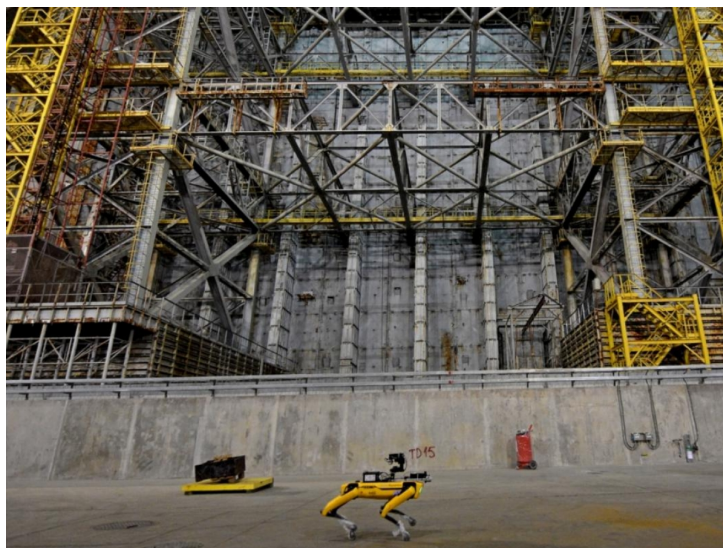


Obrázek 6: Likvidátoři při odstraňování nebezpečných materiálů ze střechy elektrárny

4 Současné nasazení robotů v Černobylu

Ačkoli od černobylské havárie uplynulo přes 40 let, poškozená budova reaktoru 4 je stále pod neustálým dohledem vědců, kteří monitorují stav radioaktivního záření. Součástí těchto operací je například i robot Spot od americké firmy Boston Dynamics, který využívá senzorů pro měření hodnot ionizujícího záření uvnitř nového sarkofágu Černobylské elektrárny. Výhodou robotického systému Spot je jeho pohyb pomocí čtyř končetin, díky kterým je plocha kontaktu se zemí výrazně menší než u pásových nebo kolových robotů. Tato vlastnost vede k snížení zachytávání radioaktivního prachu na povrchu robota a tím zamezuje jeho dalšímu šíření uvnitř budovy kontejnmentu. Zároveň se tím výrazně zmenšuje riziko přenosu radioaktivních látek mimo uzavřený prostor ochranného sarkofágu.

Na rozdíl od historických robotů jsou elektronické součástky dnešních robotů pracujících v Černobylu částečně radiačně odolné a klíčové elektronické systémy jsou stíněny před ionizujícím zářením. Roboti tak dokážou pracovat delší dobu bez selhání



Obrázek 7: Robot Spot nasazený v Černobylské elektrárně

5 Závěr

Využití robotů při likvidaci důsledků Černobylské havárie představovalo důležitý zlom ve vývoji robotiky. Nasazení robotů sice nezaznamenalo výrazný úspěch a ani nedokázalo nahradit lidské síly, ale vedlo k získání mnoha důležitých zkušeností, které byly využity k dalšímu rozvoji robotiky určené pro využití v krizových situacích a haváriích. Právě tyto poznatky byly využity pro vývoj dalších robotických systémů určených pro mimořádné situace. Výrazně se například projevily při havárii jaderné elektrárny ve Fukušimě v roce 2011, kde bylo využito již mnohem pokročilejších robotických systémů pro práci v nebezpečném prostředí.

6 Zdroje

- <https://chernobylx.com/wp-content/uploads/2021/07/robot-chernobylnpp-420x259.jpg>
- <https://chernobylx.com/cs/chernobyl-robots/>
- <https://spectrum.ieee.org/boston-dynamics-spot-chernobyl>

- <https://web.archive.org/web/20190410204859/https://www.the-scientist.com/news/soviet-official-admits-that-robots-couldnt-handle-chernobyl-cleanup-61583>
- <http://sktbpr.ru/content/mrk-mobot-ch-hv-2>
- <https://legasovtapetranslation.blogspot.com/2019/10/tape-3-side-a.html>
- <https://www.youtube.com/watch?v=DqIF9ZXiFiE>
- <https://chorno.travellerspoint.com/2/>
- E. Potemkin, P. Astafurov, A. Osipov, M. Malenkov, V. Mishkinyuk and P. Sologub, "Remote-controlled robots for repair and recovery in the zones of high radiation levels," Proceedings 1992 IEEE International Conference on Robotics and Automation, Nice, France, 1992, pp. 80-82 vol.1, doi: 10.1109/ROBOT.1992.220331.
- J. Abouaf, "Trial by fire: teleoperated robot targets Chernobyl," in IEEE Computer Graphics and Applications, vol. 18, no. 4, pp. 10-14, July-Aug. 1998, doi: 10.1109/38.689654.
- <https://i.redd.it/sg0ikcokvl531.jpg>
- <https://creme.isde.vanderbilt.edu/CREME-MC/help/radiation-effects-on-electronics>
- <https://opentalk.iit.it/wp-content/uploads/2023/06/CHERNOBYL-DISASTER.jpeg>
- <https://360carmuseum.com/data/blogs/64/image/13-page.jpg>
- https://cdn.theatlantic.com/media/img/photo/2019/06/chernobyl-disaster-photos-1986/c01_543728038-1/original.jpg
- <https://www.forgottenchernobyl.net/wp-content/uploads/Chernobyl/KomatsuD155W/Komatsu-D155W-Chernobyl-01.jpg>
- <https://i.redd.it/zejb69ycqhl51.jpg>
- <https://www.sciencesetavenir.fr/assets/img/2020/10/29/cover-r4x3w1200-5f9a9d6f0f0e9-capture-d-ecran-19.jpg>

- <https://shvachko.net/?p=836&lang=en>