

Sít' výzkumných institucí a podniků pro infrastrukturu

Forschungs- und Unternehmensnetz für Infrastrukturen
RENI-100686680



Otevřené síťové kolokvium

Malé modulární reaktory v ČR – Od mapy k reaktoru: Jak přírodovědci pomáhají umístit SMR

Netzwerk-Kolloquium

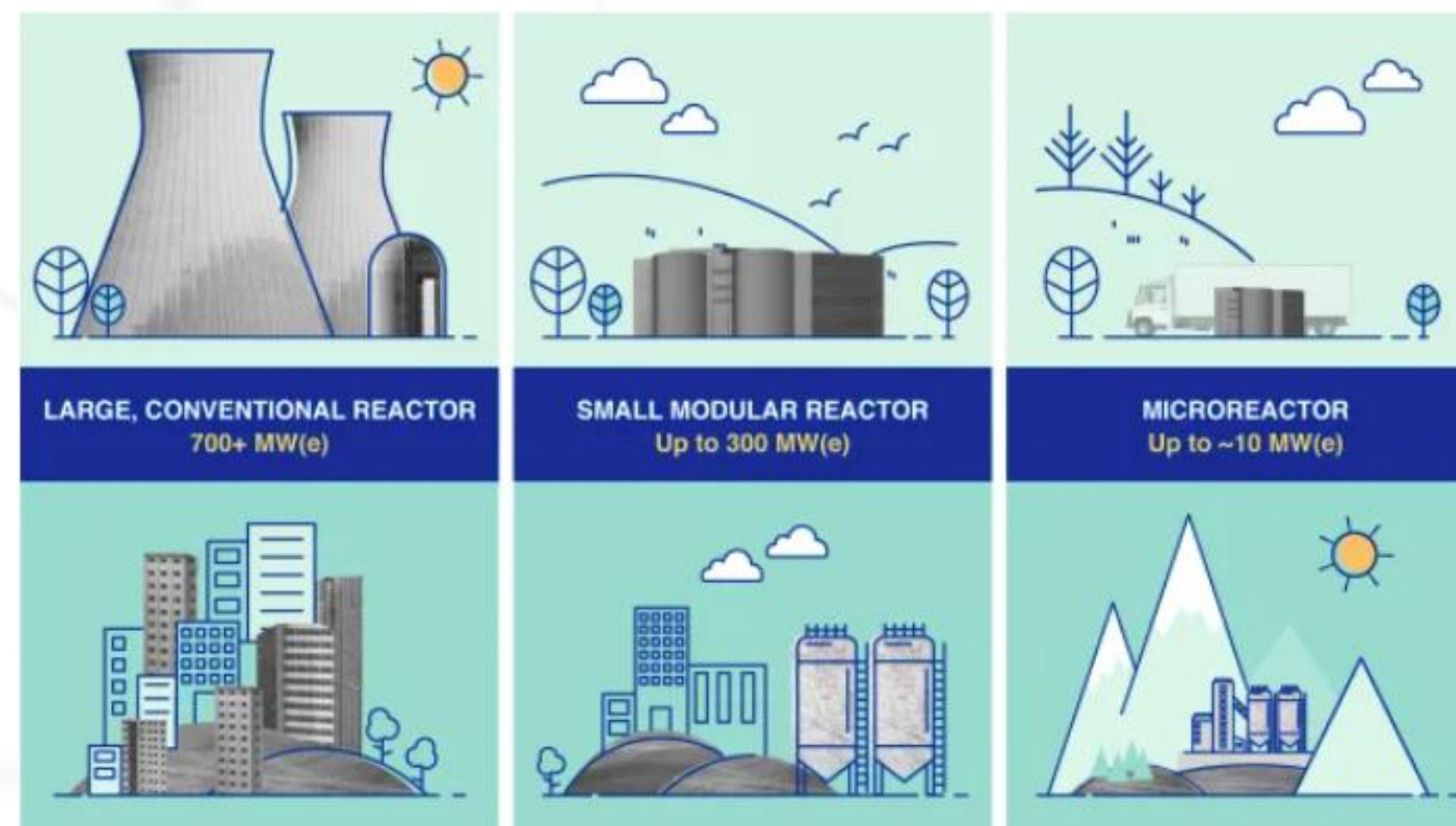
Kleine modulare Reaktoren in Tschechien – Vom Plan zur Anlage: Wie Naturwissenschaftler bei der Standortwahl für SMR helfen

1. prosince 2025, Albertov 6, Praha 2 a online

1. Dezember 2025, Albertov 6, Prag 2 und online

Od mapy k reaktoru: Jak přírodovědci pomáhají umístit SMR

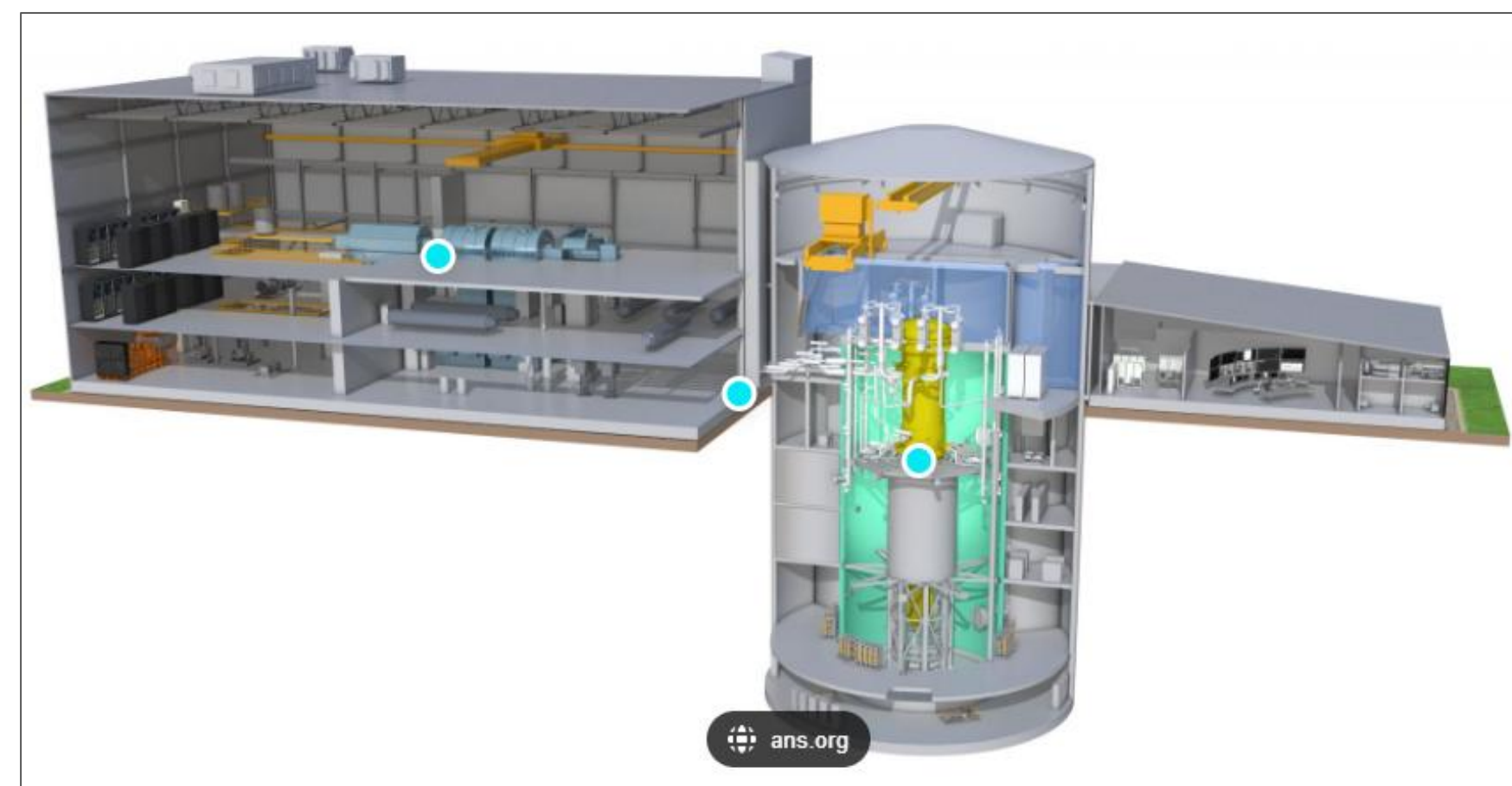
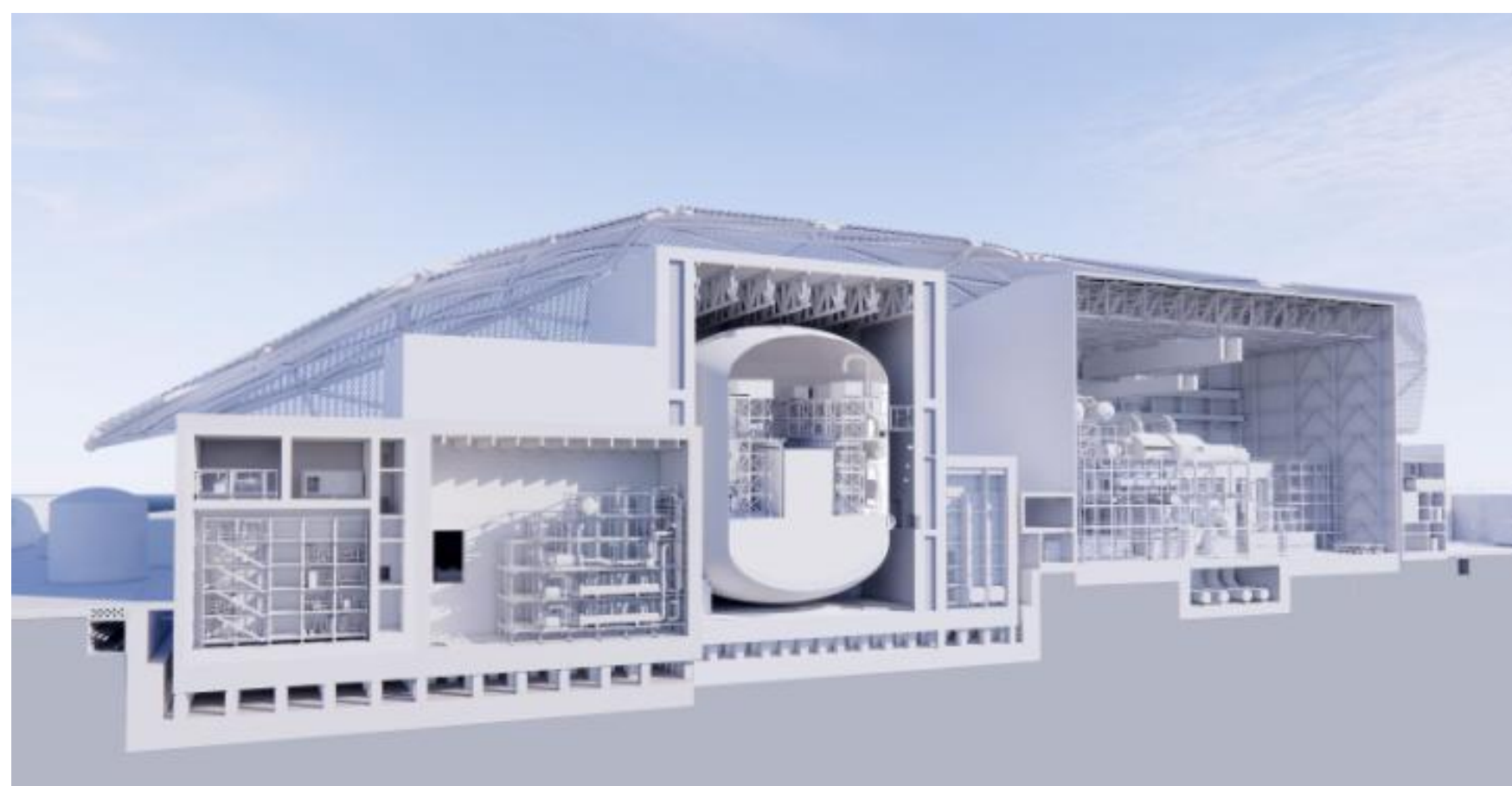
1. 12. 2025 Albertov, Praha



Mgr. Dana HAVLÍN NOVÁKOVÁ, Ph.D
ÚJV Řež, a. s. DIVIZE ENERGOPROJEKT PRAHA

OBSAH

- **SMR - úvod**
- **Co se k SMR děje ve světě?**
- **SMR v ČR**
- **Národní a mezinárodní požadavky**
- **Jak se provádí průzkumy území k umístění SMR?**
- **Výzvy k řešení z hlediska charakteristik území**



Zdroje informací a obrázků v prezentaci: IAEA, veřejně přístupné informace na internetu, SÚJB, OECD-NEA, ÚJV Řež, a. s., ČEZ, a. s.

SMR - ÚVOD

➤ Co jsou to SMR?

Malé modulární reaktory (SMR) jsou pokročilé jaderné reaktory s výkonem až 300 MW(e) na blok, což je zhruba třetina výrobní kapacity tradičních jaderných reaktorů.

Small – physically a fraction of the size of a conventional nuclear power reactor.

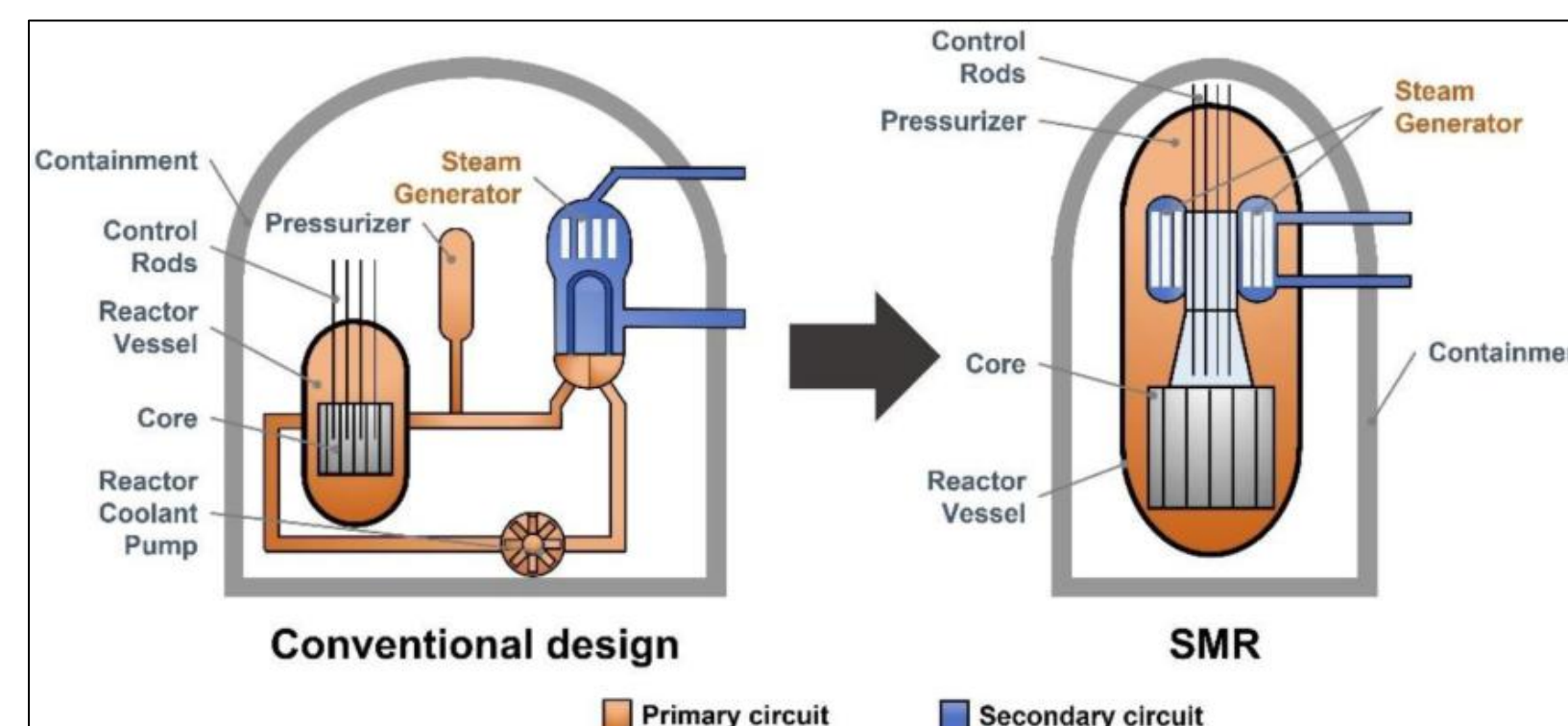
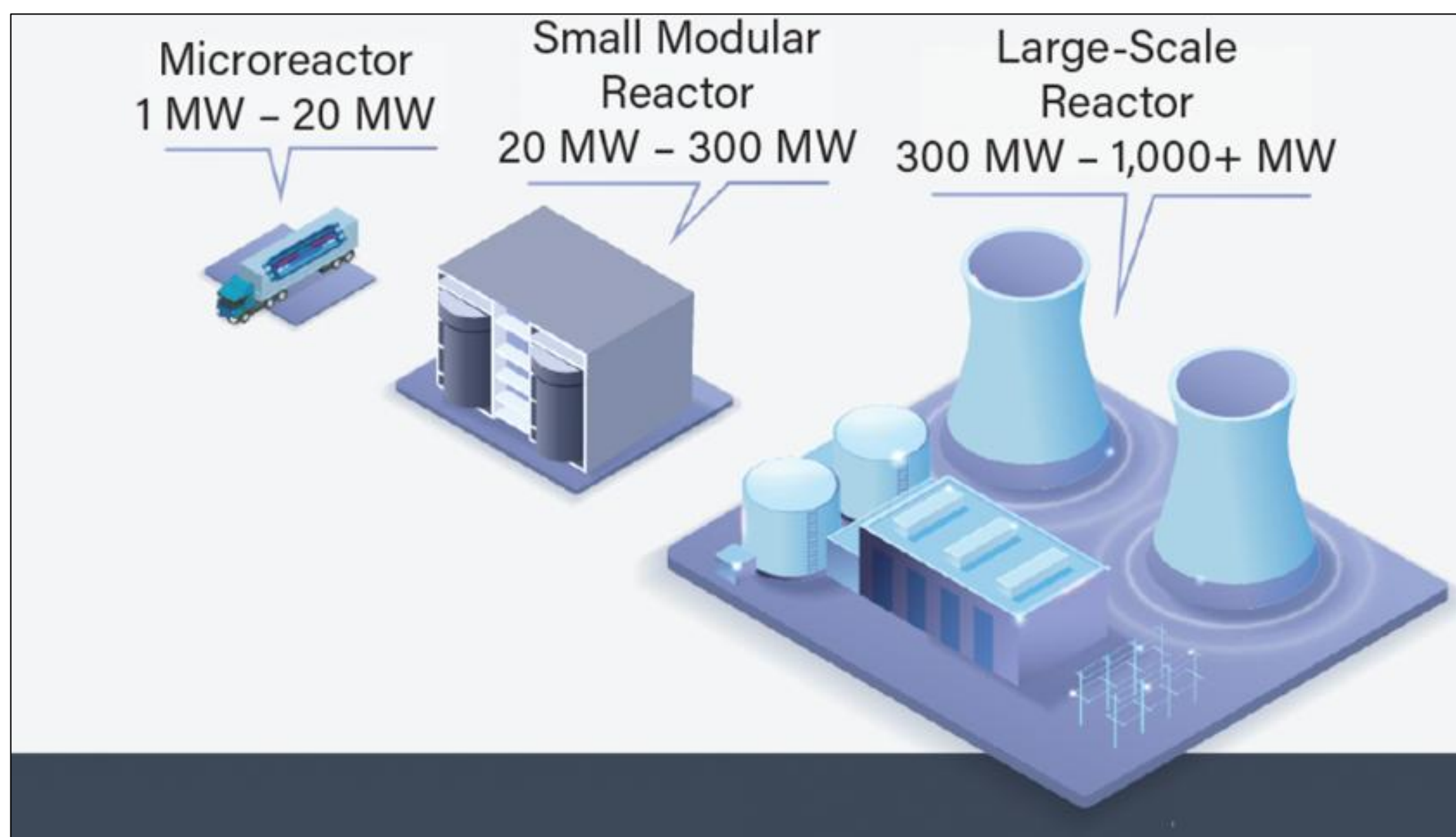
Modular – making it possible for systems and components to be factory-assembled and transported as a unit to a location for installation.

Reactors – harnessing nuclear fission to generate heat to produce energy.

Malé – fyzicky zlomek velikosti konvenčního jaderného reaktoru.

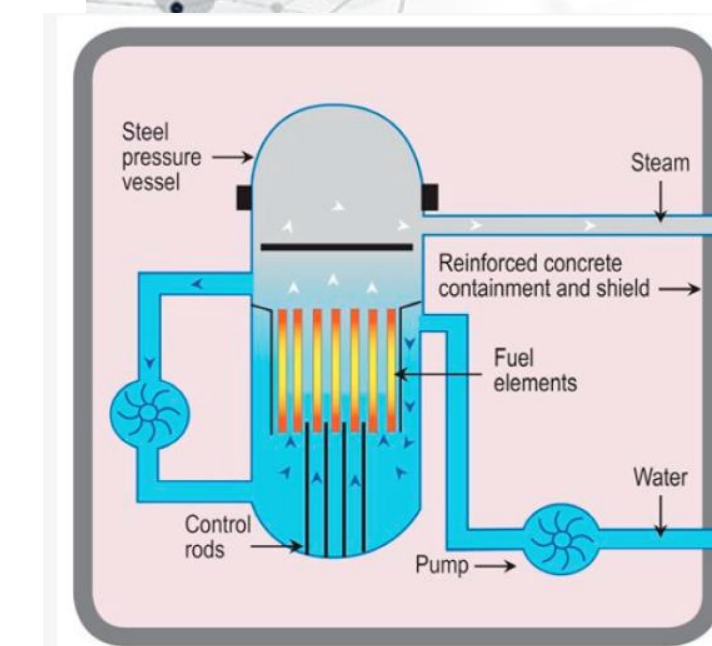
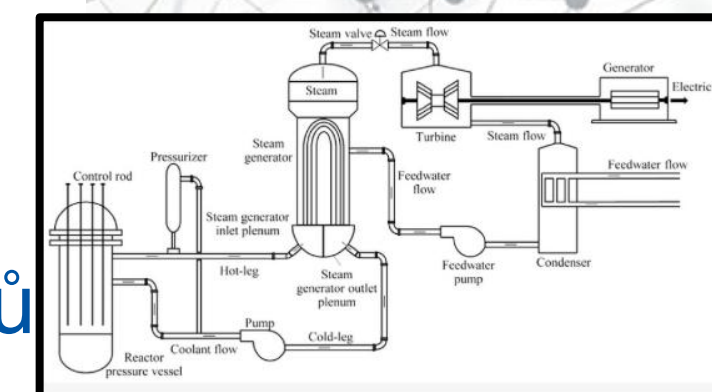
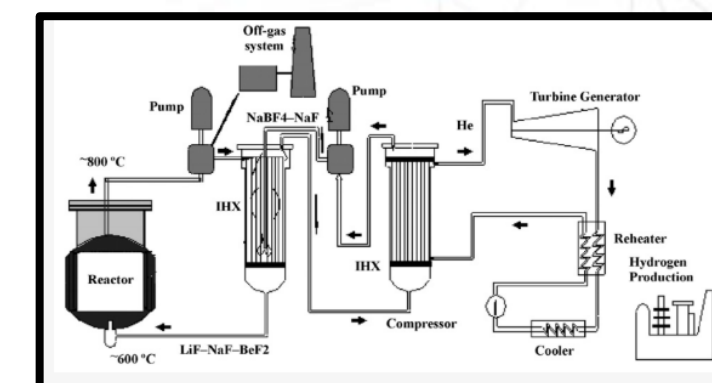
Modulární – umožňující montáž systémů a komponentů v továrně a jejich přepravu jako celku na místo instalace.

Reaktory – využívající jaderné štěpení k výrobě tepla pro výrobu energie.



TYPY SMR

- **Tlakovodní SMR na lehkou vodu** (PWR, nejrozšířenější typ reaktorů, palivo je UO_2 , obohacován izotopem uranu ^{235}U do 5 %, štěpná reakce je v primárním okruhu moderována demineralizovanou lehkou vodou – konduktivita je nižší než $0,1 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$, obsah solí $< 0,05 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$).
- **Varné** (BWR) také používají demineralizovanou vodu jako moderátor i chladivo. Na rozdíl od tlakovodních reaktorů je voda v primárním okruhu uváděná do varu a ve formě páry předává svoji energii turbíně.
- **Vysokoteplotní plynem chlazené SMR** (HTGR) SMR jsou reaktory, které využívají štěpení pomocí tepelných neutronů. Pro snížení energie neutronů se používá grafitový moderátor. Chladivem těchto reaktorů je helium.
- **Rychlé reaktory chlazené tekutými kovy** (LMFR) jsou reaktory využívající fyzikálních a chemických vlastností tekutých kovů, které zde slouží jako chladivo primárního okruhu.
- **Reaktory založené na roztavených solích** (MSR) jsou reaktory pracující s energií neutronů v rozsahu tepelných, rezonančních a rychlých neutronů. Štěpitelný materiál je buďto oddělený od tekutých solí v primárním okruhu (pevné palivo), nebo smíchán přímo s tekutými solemi (tekuté palivo) například na fluorid uraničitý (UF_4), fluorid plutonitý (PuF_3) nebo paliva na bázi chloridových solí. Moderátorem může být grafit, těžká voda, soli a v případě rychlých reaktorů se moderátor neuplatňuje.



PŘEDPOKLÁDANÉ VÝHODY SMR

- **Flexibilita lokality:** Menší rozměry umožňují umístění malých reaktorů (SMR) v místech, která nejsou vhodná pro větší jaderné elektrárny.
- **Cenová dostupnost:** Prefabrikované jednotky snižují náklady a čas výstavby, čímž se předchází zpožděním, ke kterým často dochází u velkých reaktorů navržených na zakázku.
- **Postupné nasazování:** Lze nasazovat postupně, aby odpovídaly rostoucí poptávce po energii.
- **Infrastruktura a dostupnost:** SMR mohou řešit omezené pokrytí sítí ve venkovských oblastech a vysoké náklady na připojení k síti pro elektrifikaci venkova. Vhodné pro oblasti s nedostatečným přenosovým vedením a kapacitou sítě, protože je lze instalovat do stávajících sítí nebo provozovat mimo síť. Zvláště důležité pro mikroreaktory, ideální pro regiony, kde není k dispozici čistá, spolehlivá a cenově dostupná energie, a jako záložní zdroje napájení.
- **Bezpečnost a palivová účinnost:** SMR se často spoléhají na pasivní bezpečnostní systémy, které nevyžadují lidský zásah, externí napájení ani násilné vypnutí.
- **Snížené požadavky na palivo** s intervaly výměny paliva 3 až 7 let, ve srovnání s 1 až 2 lety u konvenčních elektráren. Některé malé morální reaktory (SMR) jsou navrženy tak, aby fungovaly až 30 let bez nutnosti doplňování paliva.
- **Role v udržitelném rozvoji:** SMR mohou pomoci zvýšit účinnost a flexibilitu energetických systémů a doplnit variabilní obnovitelné zdroje, jako je větrná a solární energie. Jsou schopny hrát klíčovou roli v přechodu na čistou energii a podporovat dosažení cílů udržitelného rozvoje, zejména cíle - univerzální přístup k energii.

EKONOMICKÉ A DALŠÍ ASPEKTY

- Hlavním důvodem zájmu o SMR jsou deklarované úspory z rozsahu výroby díky velkoobjemové výrobě v továrně mimo areál elektrárny.
- Výpočet výrobních nákladů provedený německým Spolkovým úřadem pro bezpečnost nakládání s jaderným odpadem (BASE), který zohledňuje úspory z rozsahu a efekty učení z jaderného průmyslu, naznačuje, že by muselo být vyrobeno v průměru 3 000 SMR, než by se výroba SMR vyplatila. Je to proto, že náklady na výstavbu SMR jsou vzhledem k nízkému elektrickému výkonu relativně vyšší než náklady na výstavbu velkých jaderných elektráren.
- Akademická práce publikovaná v říjnu 2023, porovnává 19 hlavních světových projektů malých modulárních reaktorů. Autoři využili veřejně dostupná data o těchto projektech pro modelování dvěma používanými modely pro odhad skutečných výrobních nákladů. Závěry studie jsou následující: odhady nákladů výrobců jsou většinou příliš optimistické ve srovnání s teorií výroby, simulace Monte Carlo ukazuje, že žádný koncept není ziskový ani konkurenceschopný.
- V ČR poplatek za povolení k umístění JZ 30 mil. Kč, povolení k výstavbě 150 mil. Kč, povolení k provozu 60 mil. Kč. SMR musí plnit stejné požadavky jako JE – projekty zatím nepředstavily zjednodušení nebo větší bezpečnost tak, aby mohly být posuzovány jinak.
- Aby byl projekt rentabilní, je snaha, aby měl co největší výkon – blíží se tedy výkonem 1 bloku klasické JE.
- Většina projektů není zcela dokončena a stále se vyvíjí. Řeší se i dodavatelské řetězce, bude se řešit otázka zdrojů surovin a lidských zdrojů.

CO SE K SMR DĚJE VE SVĚTĚ?

- Více než 80 komerčních návrhů malých morálních reaktorů (SMR) zaměřených na různé výkony a aplikace, včetně elektřiny, hybridních energetických systémů, vytápění, odsolování vody a výrobu průmyslové páry.
- Realizován a komerčně využíván (KLT-40S Rusko), výzkumné projekty (HTR-10 v Číně a HTTR v Japonsku). Projekty v realizační fázi (CAREM v Argentině a HTR-PM v Číně). V Kanadě se začalo se stavbou BWRX100 Darlington (OPG) SMR DARLINGTON.
- Plovoucí SMR:
 - Ruská elektrárna Akademik Lomonosov, první plovoucí jaderná elektrárna na světě, provozuje dva malé morální reaktory o výkonu 35 MW(e).
 - Korejský výzkumný institut KAERI a vývojář lodí Samsung Heavy Industries oznámily na společný vývoj malého modulárního reaktoru pro využití na moři.
 - Španělsko plánuje využití jaderné energie v dekarbonizaci lodního sektoru.



IAEA

- Konference, technické mítinky, publikace
- IAEA: Advances in Small Modular Reactor Technology Developments A Supplement to: IAEA Advanced Reactors Information System (ARIS). IAEA. Vienna. 2020.
- IAEA Small Modular Reactors: Advances in SMR Developments 2024. IAEA. Vienna. 2024.
- IAEA TECDOC No. 2104: Consideration fo Facilitate the Accelerated Deployment of Small Modular Reactors. IAEA Nuclear Harmonization and Standartization Initiative. IAEA. Vienna. 2025.
- IAEA Platform on Small Modular Reactors and their Applications (2021)
- IAEA's Technical Working Group for Small and Medium-sized or Modular Reactors (TWG-SMR) a další

www.iaea.org

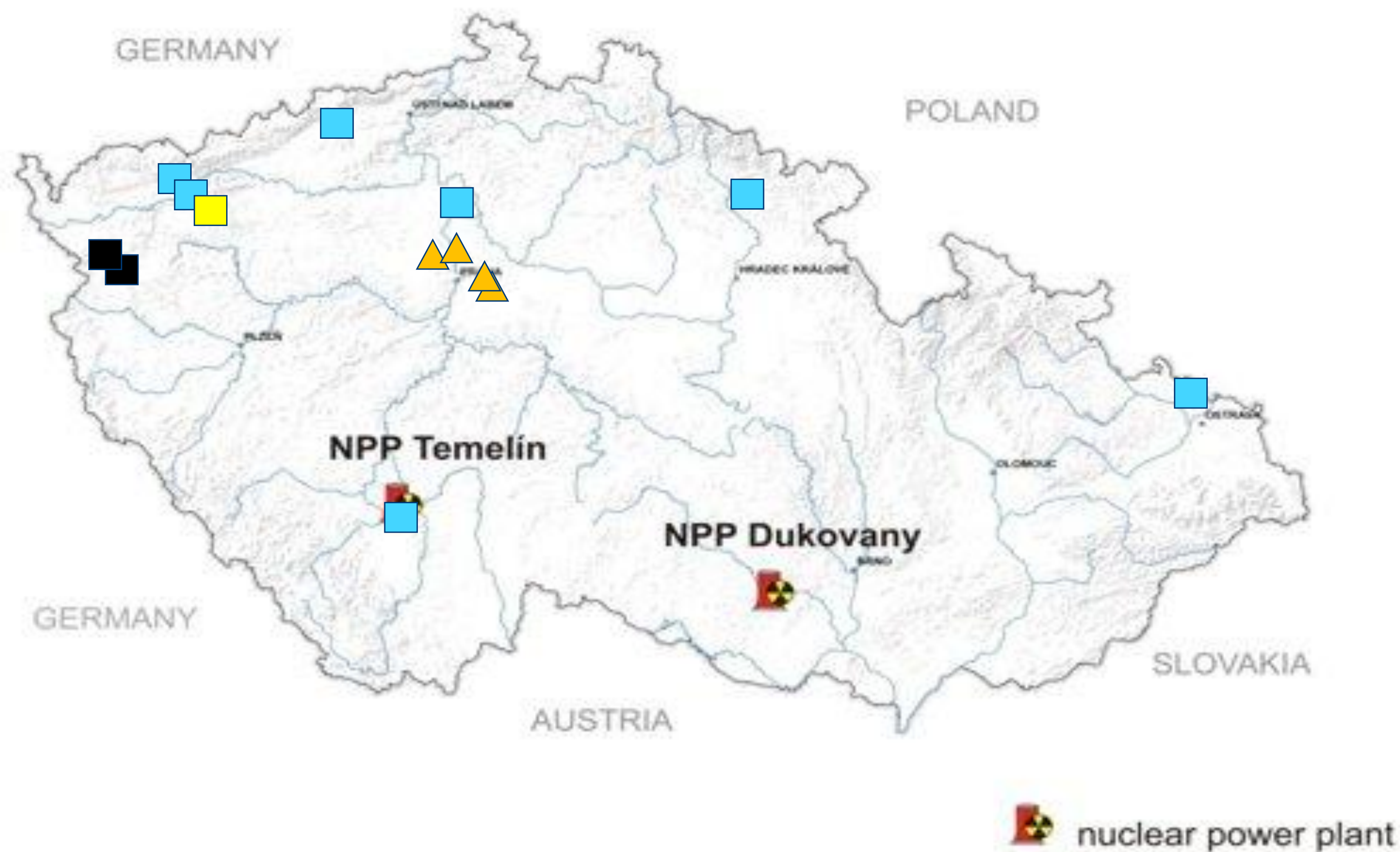
OECD-NEA

- Pracovní mezinárodní skupiny, projekty, publikace, workshopy
- SMR řeší všechny pracovní skupiny, např. EG SMR, WGEV (externí hazardy), WISARD (Waste integration for Small and Advanced Reactor Designes), workshop o legislativních a regulatorních požadavcích a EIA pro SMR.
- Projekty a publikace:
 - NEA Small Modular Reactor Dashboard
 - Strategic Roadmap for Nuclear Reactor Safety Research (2025)
 - SMRs for Replacing Coal: Opportunities and Challenges for Small Modular Reactors (2025)
 - SMRs for Mining: Opportunities and Challenges for Small Modular Reactors (2024) a další

www.oecd-nea.org



SMR V ČR



Dukovany NPP

4 units ($4 \times \text{VVER } 440/213 = 4 \times 510 \text{ MWe}$)

Temelin NPP

2 units ($2 \times \text{VVER } 1000/\text{type V } 320 = 2 \times 1080,3 \text{ MWe}$)

▲ 2 experimental reactors UJV group
2 training reactors CVUT Prague

Proposed sites for SMR:

- ČEZ group sites
- Sokolovska uhelna
- Orlen Unipetrol

PROJEKTY SMR V ČR

➤ **Rolls-Royce**

- Spolupráce s ČEZ, podíl v dodavatelském řetězci (plánují se 2 továrny na výrobu komponent a modulů)
- V UK zvoleno místo Wylfa, Ynys Môn (Anglesey) v Severním Walesu
- V ČR zatím Temelín, Tušimice
- Probíhají průzkumy obou lokalit, příprava bezpečnostní dokumentace pro ETE

➤ GE Hitachi BWRX 300 (Orlen Synthos Green Energy) – Litvínov, Kralupy – rafinerie

➤ SUAS Vřesová, Tisová – dotace z programu Phoenix – pozastaveno

➤ Westinghouse

➤ Nuward (EDF)

➤ České projekty – ÚJV Řež CR-100, EnergyWell, HeFasto – pozastaveny. DAVID, Teplator.

NÁRODNÍ A MEZINÁRODNÍ POŽADAVKY

Zákon č. 263/2016 Sb, atomový zákon

§ 47 Umísťování jaderných zařízení + obecné požadavky v § 5, § 9, § 24, § 29, § 46, § 48, § 50, § 54

(požadavky na hodnocení po celou dobu životnosti JZ, odhad vývoje charakteristik a využívání území, používání aktuálních a ověřených metod a znalostí, požadavky na systém řízení, atd.)

Vyhláška č. 378/2016 Sb, o umísťování jaderného zařízení

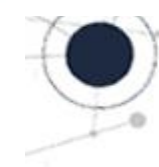
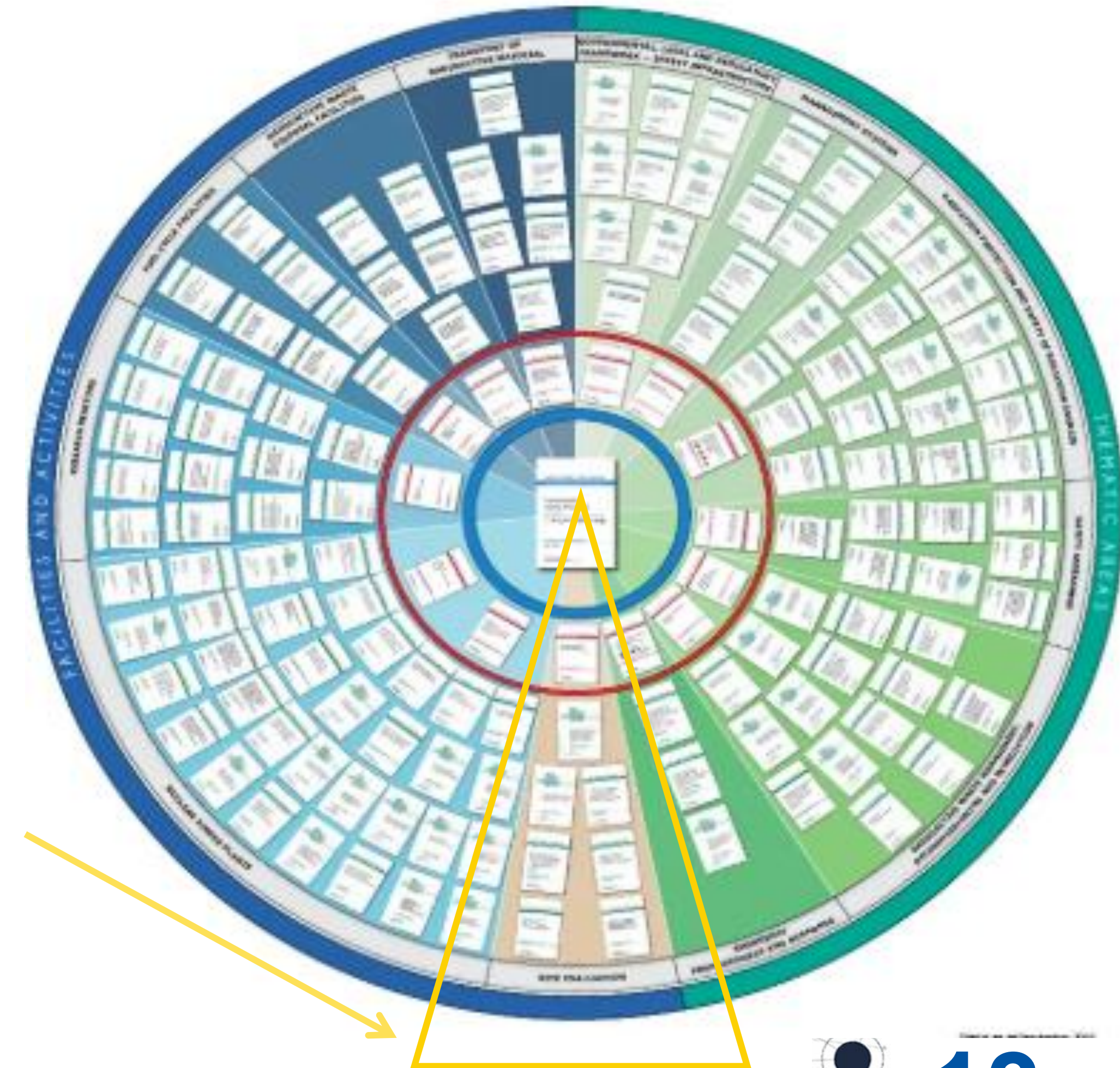
- Seznam vlastností a jevů v území k umístění jaderného zařízení, které jsou žadatelé a držitelé povolení povinně hodnotit z hlediska jaderné bezpečnosti, radiační ochrany, technické bezpečnosti, monitorování radiační situace, zvládání radiační mimořádné události a zabezpečení během životního cyklu jaderného zařízení. A s ohledem na jejich vliv na ŽP a obyvatelstvo (a naopak).
- Vylučující kritéria definují charakteristiku vlastnosti/jevů, při jejíž dosažení není umísťování JZ povoleno (za předpokladu, že neexistují technická a organizační opatření, která by tuto charakteristiku odstranila nebo snížila).
- Požadavky na rozsah a metody hodnocení, řešení nejistot, použití dat.
- Požadavky na obsah dokumentace k umísťování JZ (ZBZ).

Vyhláška č. 329/2017 Sb, o požadavcích na projekt jaderného zařízení

Projekt musí zohledňovat závěry hodnocení území, pracuje s tzv. návrhovými hodnotami (např. seismická odolnost, maximální teplota, vítr, návrhová hodnota pro tornádo apod.).

IAEA

- IAEA SSR-1 Site Evaluation for Nuclear Installations (2019)
- IAEA SSG-35 Site Survey and Site Selection for Nuclear Installations (2015)
- IAEA Specific Safety Guide No. SSG-9, rev. 1: Seismic Hazards in Site Evaluation for Nuclear Installations (2022)
- IAEA Safety Standards Series No. SSG-18 Meteorological and Hydrological Hazards in Site Evaluation for Nuclear Installations, IAEA (2011)
- IAEA Safety Standards Series No. SSG-21 Volcanic Hazards in Site Evaluation for Nuclear Installations (2012)
- IAEA Safety Standards Series No. NS-G3.2 Dispersion of Radioactive Material in Air and Water and Consideration of Population Distribution in Site Evaluation for Nuclear Power Plants (2002)
- IAEA Safety Standards Series No. NS-G-3.6 Geotechnical Aspects of Site Evaluation and Foundations for Nuclear Power Plants (2005)



WENRA (WESTERN EUROPEAN NUCLEAR REGULATORS' ASSOCIATION)



WENRA Safety Reference Levels for Existing Reactors 2020, Issue A – TU, 2021

právně závazné, probíhají analýzy implementace do národních legislativ apod.

Issue TU: Natural Hazards Head Document

WENRA Guidance Document Issue T: Natural Hazards Guidance on **Seismic Events**, Annex to the Guidance Head Document on Natural Hazards

WENRA Guidance Document Issue T: Natural Hazards Guidance on **External Flooding**, Annex to the Guidance Head Document on Natural Hazards

WENRA Guidance Document Issue T: Natural Hazards Guidance on **Extreme Weather**, Annex to the Guidance Head Document on Natural Hazards.

www.wenra.eu



BEZPEČNOSTNÍ NÁVOD SÚJB BN JB 4.1

UMÍSTĚNÍ JZ – HODNOCENÍ PŘÍRODNÍCH VLASTNOSTÍ A JEVŮ (2021)



1 - 5 Úvod, cíl, působnost, platnost a účinnost, rozsah a východiska, struktura, výběr legislativních požadavků na hodnocení vlastností území, doporučení IAEA a požadavky WENRA, obecné požadavky na hodnocení vlastností území k umístění JZ

6 Seismicita

7 Porušení území k umístění JZ zlomem

8 Povodně

9 Oběh podzemní vody

10 Další geodynamické jevy a geotechnické parametry základových půd

11 Klimatické a meteorologické jevy

12 Biologické jevy

13 Přírodní požáry

14 Kolize s ochranným nebo bezpečnostním pásmem

15 Šíření radioaktivní látky ovzduším, podzemní a povrchovou vodou a potravním řetězcem

16 Projektová východiska

17 Kombinace ohrožení

18 Přílohy

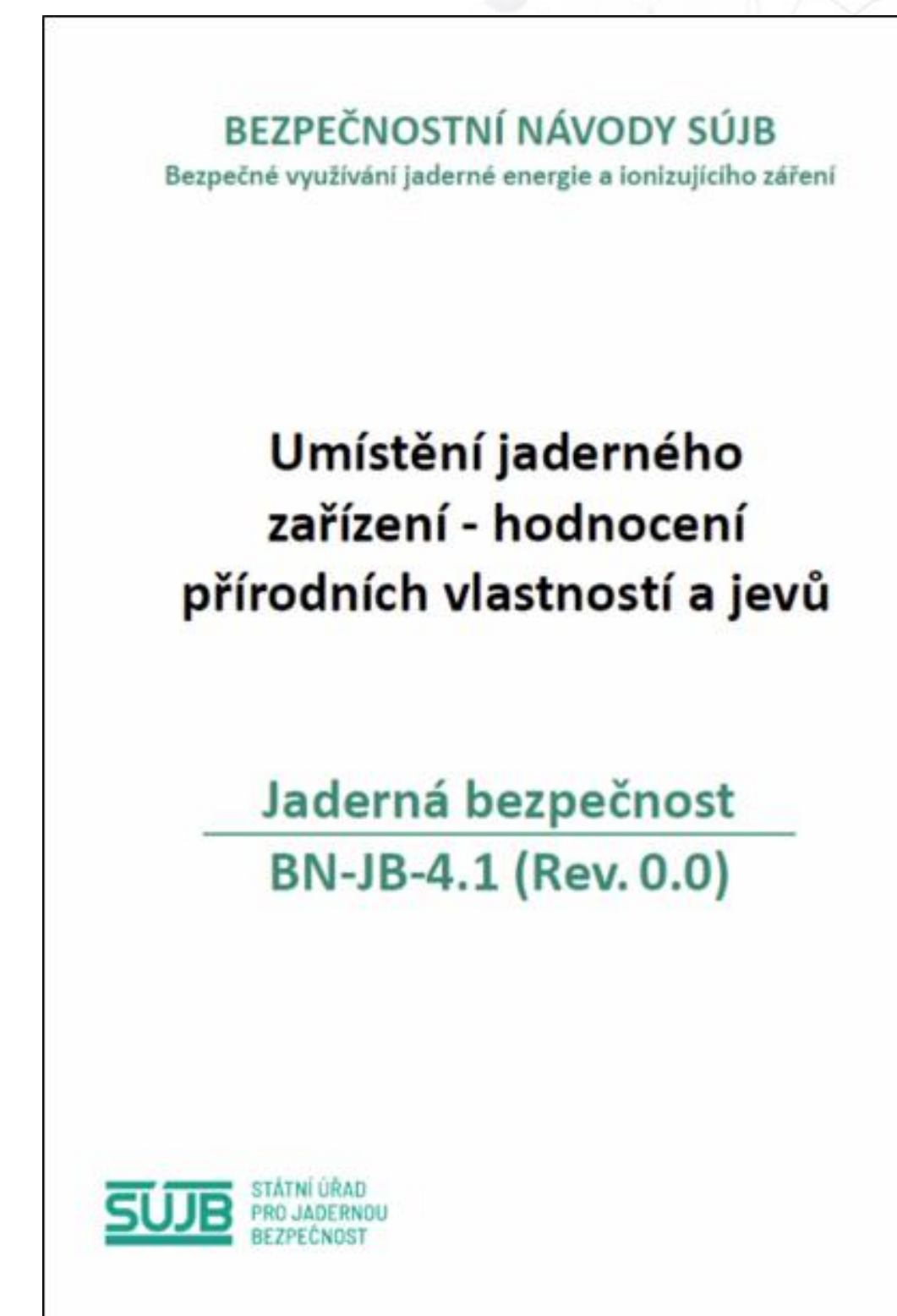
Příloha č. 1 Mapové podklady vlastností a jevů území k umístění JZ

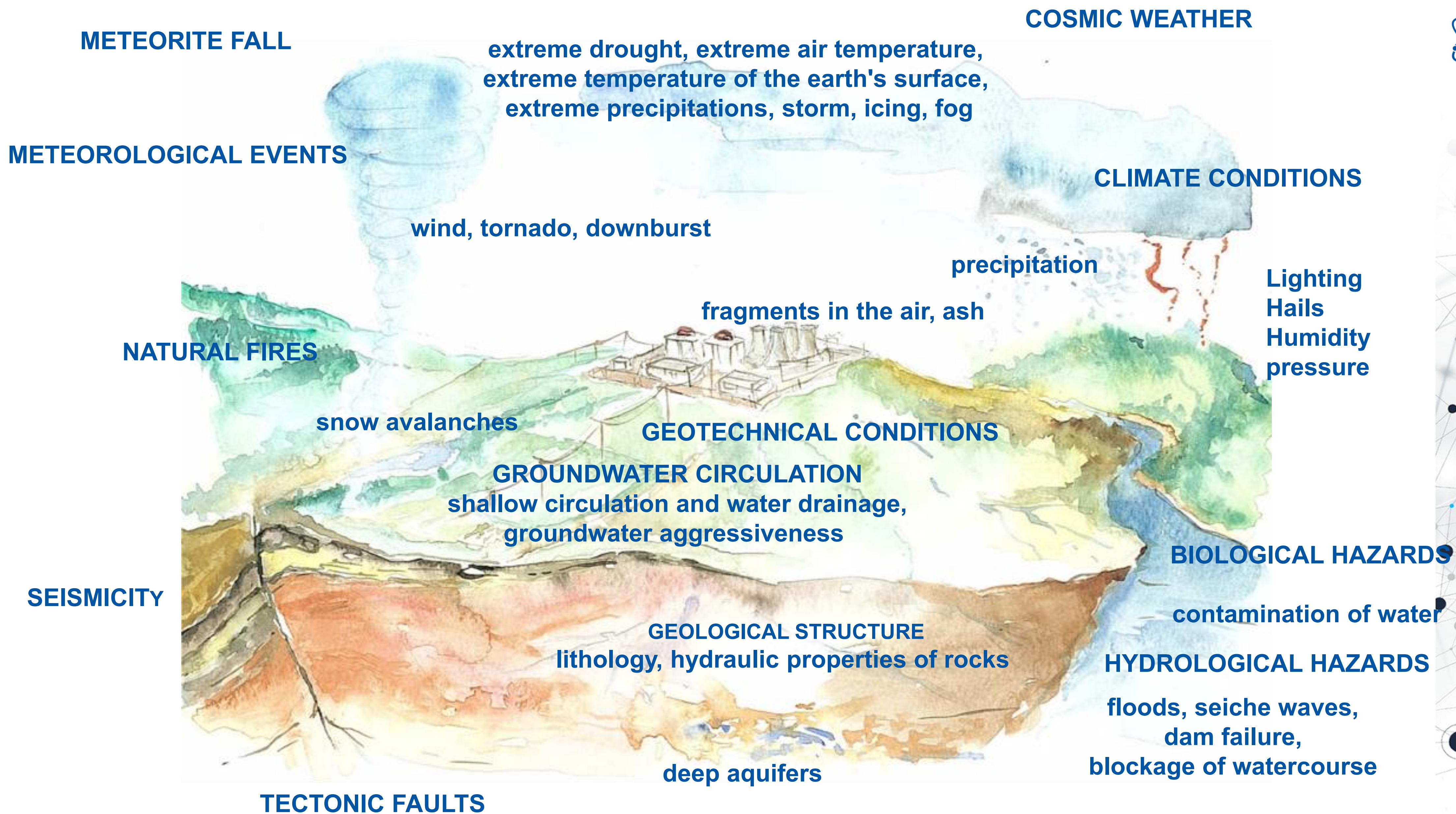
Příloha č. 2 Srovnání s referenčními úrovněmi WENRA Reactor Safety Reference Levels – oblasti TU

Příloha č. 3 Srovnání s požadavky IAEA SSR-1 a AtZ

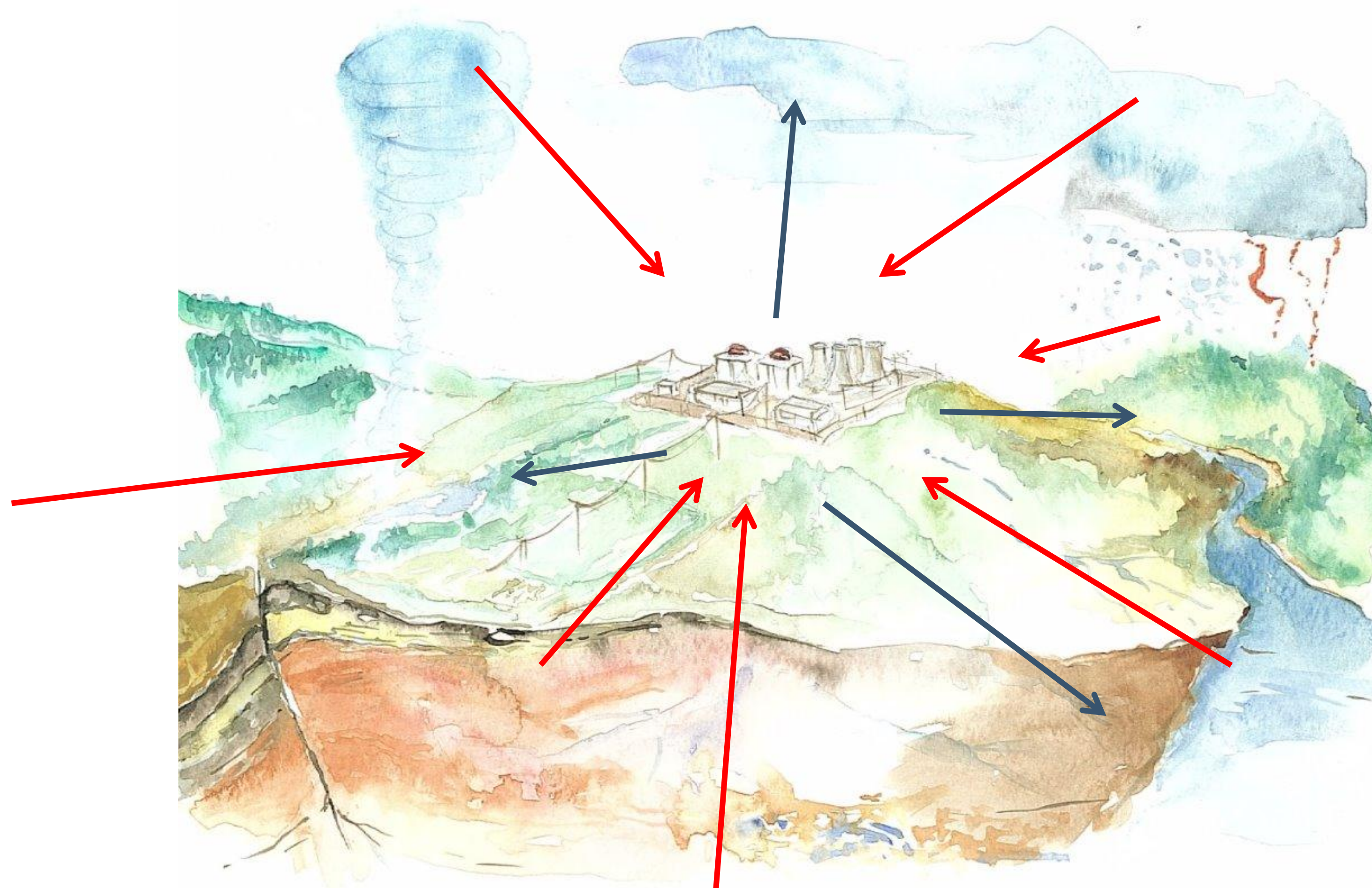
Literatura (75 referencí)

Zpracovatelé: Mgr. Dana Havlín Nováková, Ph.D. (garant), doc. RNDr. František Gallovič, Ph.D. (kapitola 6 - seismicita), doc. Ing. Alexandr Rozsypal, CSc. (kapitola 10 - geotechnika)





INFLUENCE OF SITE CHARACTERISTICS AND EXTERNAL HAZARDS ON NUCLEAR FACILITIES (floods, earthquakes, active faults, aggressiveness of groundwater, climatic and meteorological phenomena...)



INFLUENCE OF THE NUCLEAR FACILITY ON THE SITE CHARACTERISTICS AND ENVIRONMENT
(leakage of radionuclides by transport paths: air dispersion, rock environment,
surface and groundwaters, change of local climate)



VÝBĚR POJMŮ

areál JZ	střežený prostor jaderného zařízení a prostor k němu přiléhající, který je využíván k zajištění výkonu činností souvisejících s využíváním jaderné energie § 4 odst. 1 písm. j) AtZ
pozemek JZ (anglicky „site area“)	část území k umístění jaderného zařízení, na které se bude ve fázích životního cyklu následujících po umístění jaderného zařízení, nacházet areál jaderného zařízení § 2 písm. c) V378
území k umístění JZ (anglicky „site“)	území, ve kterém se hodnotí vlastnosti způsobilé ovlivnit jadernou bezpečnost, radiační ochranu, technickou bezpečnost, monitorování radiační situace, zvládání radiační mimořádné události a zabezpečení během životního cyklu jaderného zařízení
ohrožení (anglicky „hazard“)	potenciál škody nebo jiné újmy, působící jako faktor nebo podmínka, která by mohla nepříznivě ovlivnit jadernou bezpečnost, radiační ochranu, technickou bezpečnost, zabezpečení, monitorování radiační situace a zvládání radiační mimořádné události
vnější ohrožení	ohrožení pocházející ze zdrojů umístěných mimo areál JZ



SEISMICKÉ OHROŽENÍ (SEISMIC HAZARD ASSESSMENT)

- Cílem hodnocení seismického ohrožení je zjistit možný výskyt seismických pohybů na základě statistického odhadu pravděpodobnosti vzniku zemětřesení o různých magnitudách a z různých zdrojových zón (tj. oblastí nebo zlomů, ve kterých se předpokládá vznik zemětřesení) v daném časovém intervalu.
- **Rozsah území**, které je potřeba hodnotit pro zjištění seismického ohrožení pro území k umístění JZ, zasahuje mimo území ČR. Rádus 300 km od JZ.
- Seismické ohrožení jako míra pohybů půdy předpokládaných s danou návratovou periodou (odpovídající převrácené hodnotě četnosti výskytu) v území k umístění JZ se stanovuje v několika krocích - zhodnocení seismotektonického modelu regionu a vymezení zdrojových zón (zlomů, oblastí s koncentrovanou seismicitou apod.), stanovení maximálního možného magnituda pro každou zdrojovou zónu, výběr útlumových vztahů vhodných pro daný charakter podloží a ocenění seismického ohrožení a jeho vyjádření křivkami seismického ohrožení.
- Nedílnou součástí, o kterou se hodnocení opírá, je databáze zahrnující dostupná geologická, tektonická, geofyzikální a seismologická data, včetně údajů o prehistorických, historických a přístrojově zaznamenaných zemětřeseních neboli „**katalog zemětřesení**“. Udaje o prehistorických zemětřeseních jsou data z paleoseismologických průzkumů, které zahrnují řadu různých analytických metod a zkoumají geologické projevy zemětřesení v horninových vrstvách v holocénu (posledních cca 100 000 let) a popsána v historických záznamech a kronikách (posledních cca 2000 let). Přístrojově zaznamenaná zemětřesení (recentní) jsou ta, která byla změřena seismografy v síti seismických stanic (cca 1900 až po současnost). Lokální seismické sítě ETE a EDU.
- Seismické ohrožení se stanovuje různými metodami, jak deterministickými (DSHA), tak pravděpodobnostními (**PSHA**). Stanovuje se maximální výkmit – špičkové zrychlení seismického pohybu a spektra odezvy podloží. Tyto údaje jsou důležitým vstupním parametrem pro projektování JZ (design basis earthquake ground motion). Špičkové zrychlení je vyjádřeno v g (gravitační zrychlení) v m/s^2 ($1 \text{ g} = 9,81 \text{ m/s}^2$).
- Takto získané údaje jsou následně využívány pro hodnocení bezpečnosti projektu v dalších fázích životního cyklu JZ (**SL1, SL 2 - střední vrcholové zrychlení pro zemětřesení, k němuž dochází v průměru jednou za 100 let a 10 000 let**).

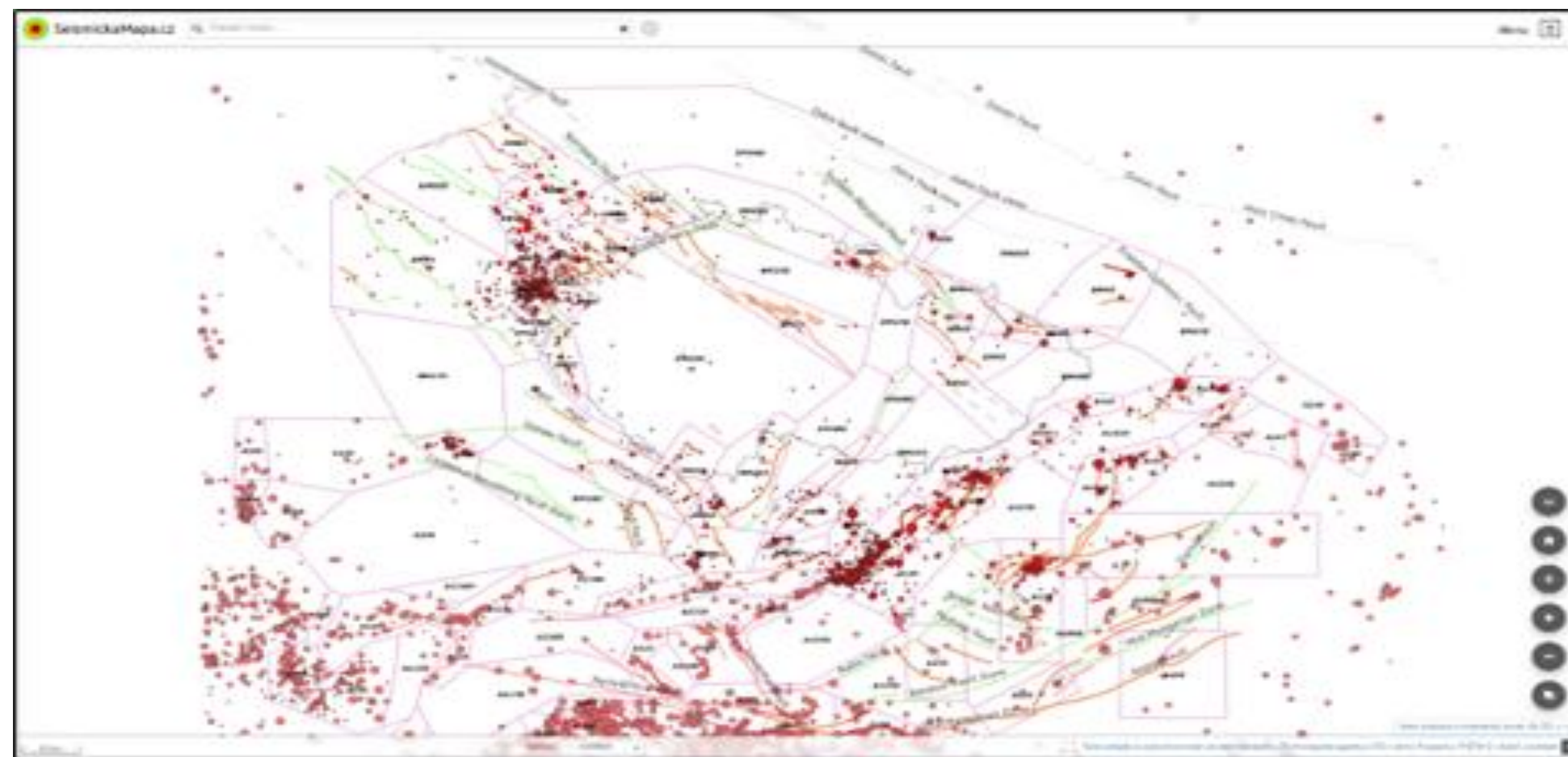
Interactive seismic map of Czech Republic - a tool for screening potential sites for nuclear facilities



- The project of **Interactive Seismic Hazard Map** took place in years 2020 – 2023 and was co-financed with the state support of the Technology Agency of the Czech Republic as part of the THÉTA 3 Program. Authors and operators of the **seismickamapa.cz** service are jointly the Institute of Rock Structure and Mechanics of the Academy of Sciences of the Czech Republic, v. v. i. and Ivan Prachař – IP Consult. The Application guarantor of the map is the State Office for Nuclear Safety (SÚJB).
- Parameters important for determining the seismic hazard - such as earthquake occurrences (earthquake catalog), models of seismic sources and PGA values (maximum horizontal peak acceleration) are processed and calculated in accordance with the requirements for the assessment of the properties of the territory for the location of nuclear facilities in the Czech Republic (Decree 378/ 2016 Coll., on the siting of nuclear facilities) and correspond to international standards (IAEA Safety Standards).
- The map provides **orientation and screening information** about the area, its seismic hazard and the occurrence of potentially dangerous tectonic faults.
- Information from the map (or more detailed information from the **Report** generated by the **seismickamapa.cz** domain, if interested, and for a fee) can be used as one of the basic bases for the evaluation of the area for the siting of nuclear facilities. The map is calculated 4 times for 4 vs30 values, which correspond to Eurocode-8 class A, B, C and D. **According to the entered or automatically from the inclination of the slope estimated vs30 values**, the most appropriate one is selected from the 4 pre-calculated variants. For an accurate assessment of the seismic hazard of a certain site, it is necessary to analyze in detail the local geological structure, lithological conditions, geotechnical and engineering geological conditions.

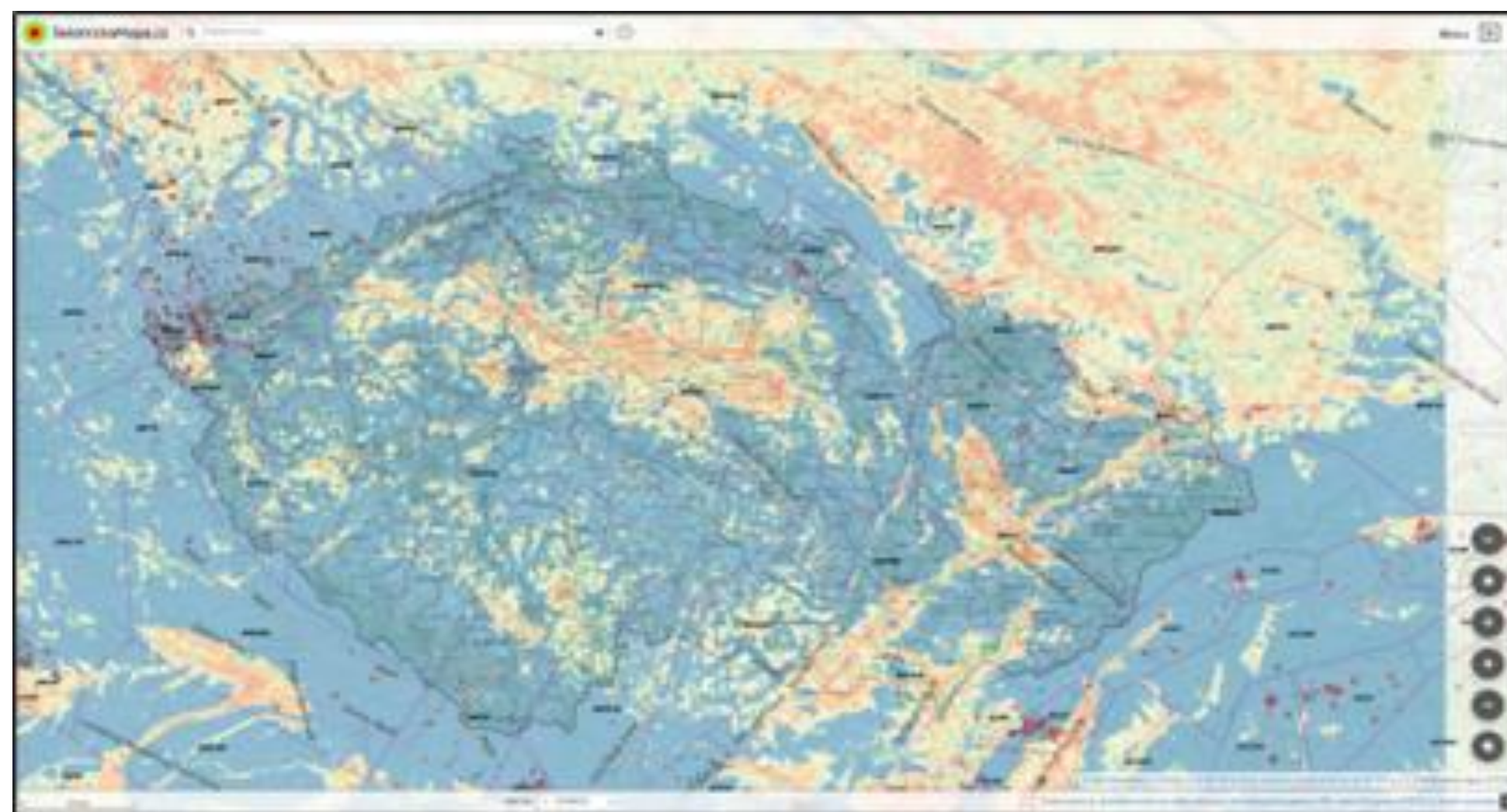
Seismic catalog and Model of seismic sources

The catalog and model covers all important features up to 400 km from the border of Czechia (the region of interest).



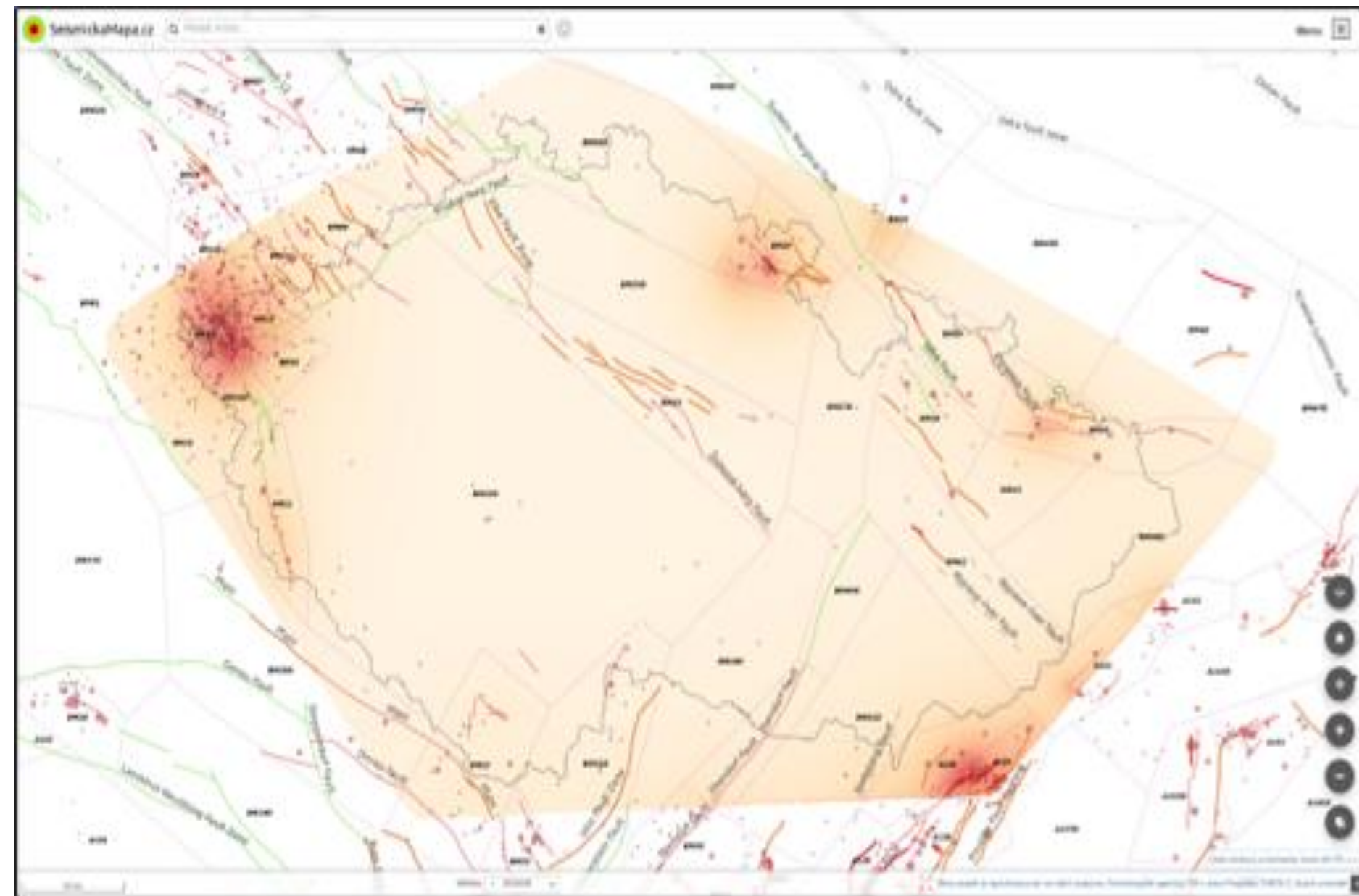
Local conditions

The PSHA values are calculated for 4 different site conditions: Eurocode-8 classes A–D. The site conditions were derived based on the Wald & Allen (2007) method (relation between a terrain slope and v_{s30}) calibrated to the conditions of Bohemian Massif (more than 80 field-measured v_{s30} values in different geological conditions). Terrain elevations taken from the SRTM digital elevation model (1 arcsec resolution)



Calculation and Results

OpenQuake engine was used for hazard calculation. Hazard and spectral acceleration curves were calculated on 5-km grid.



The Interactive Seismic Hazard Map has already been used by SÚJB in consultancy with investors of SMRs in the Czech Republic for preliminary evaluation of the characteristics of the potential sites. Currently the map is in trial operation. It is necessary to set the legal and other conditions for the use of the map by the professional public.

SEISMICKA MAPA ČR

PORUŠENÍ ÚZEMÍ K UMÍSTĚNÍ JZ ZLOMEM (FAULT DISPLACEMENT)

- Hodnocení se provádí za účelem zjištění případného zlomu schopného pohybu (**capable fault**); na aktivní zlomy je vázána většina zemětřesení. Mimo aktivitu zlomů a možný pohyb na něm, je nutno zlomy na území k umístění jaderného zařízení posuzovat z hlediska jejich dalších možných vlivů – zlomy představují zónu mechanicky porušených hornin, které jsou propustnější než neporušené, a jsou tak transportní zónou pro různá média – vodu, plyn, případné uniklé radioaktivní látky apod.
- Zlom schopný pohybu je nespojitá struktura, na níž došlo v úrovni dnešního zemského povrchu nebo mělce pod povrchem k měřitelnému pohybu (posun, rotace) v době natolik nedávné, že je to významné z hlediska předpokládané životnosti jaderného zařízení. Na území ČR, které je seismicky i tektonicky klidné, se zjišťuje, zda k pohybu na zlomu nedošlo nejméně po dobu 2,6 mil. let, tedy od konce pliocénu po současnost.
- Zlom schopný pohybu může být také zlom s doloženým výskytem historických zemětřesení nebo skupiny ohnisek zemětřesení s přímou vazbou na zlom. V případě, že byl prokázán vztah uvažovaného zlomu se známým zlomem schopným pohybu, musí být prostudováno, zda se pohyb na jednom zlomu může přenést na druhý.
- Protože zlomem schopným pohybu mohou být i zlomy zakryté mladšími sedimenty nebo zlomy, které nemají projev na povrchu území, je nutno studovat všechny „podezřelé“ indicie, které by přítomnost zlomu schopného pohybu naznačovaly.
- Závěry průzkumů výskytu zlomů a zlomů schopných pohybu jsou využívány při stanovení seismického ohrožení.
- Vylučující kritérium: výskyt zóny pohybové a seismicky aktivního zlomu nebo jiného pohybu zemské kůry, který by mohl způsobit deformaci objektu JZ v rozsahu přesahujícím stanovené technologické požadavky, během životního cyklu JZ snižující jadernou bezpečnost do vzdálenosti 5 km, nebo vznik doprovodného zlomu na pozemku JZ.



- Provádí se průzkumy pro území do 25 a 5 km od JZ (geomorfologická analýza s využitím leteckých a družicových snímků, laserového skenování terénu a dalších dostupných metod; studium říčních teras, pedologický a sedimentologický průzkum; geologické mapování; geofyzikální průzkum; vrty, sondy, terénní rýhy; rešerše historických zemětřesení ve vztahu ke zlomům; stanovení maximálního potenciálního magnituda na jednotlivých zlomech; paleoseismologické analýzy; monitoring současné seismické aktivity a případné přiřazení ohnisek zemětřesení k potenciálním aktivním zlomům).



SEED Mise IAEA

Metody a správnost stanovení seismického ohrožení pro JE (včetně posouzení porušení území zlomem), posuzuje SEED Mise IAEA. Pro ETE proběhla v letech 2003, 2013 a 2022. Pro EDU v r. 2022. Závěry mise jsou určeny pro jaderné dozory, které stanoví plán plnění doporučení.



DALŠÍ GEODYNAMICKÉ JEVY A GEOTECHNICKÉ PARAMETRY ZÁKLADOVÝCH PŮD

- vulkanismus a projevy postvulkanické činnosti,
- svahové pohyby včetně sněhových lavin,
- propady a deformace povrchu území, včetně poddolování,
- nepříznivé vlastnosti základových půd,
- větrná eroze
- zdroje prachových částic a úlomků hornin

VULKANISMUS A POSTVULKANICKÁ ČINNOST

Hodnotí se výskyt postvulkanické činnosti, která navazuje na sopečnou aktivitu na území ČR, která probíhala od cca paleogénu do současnosti. Nejmladší sopky soustředěné při chebském zlomu - Železná hůrka (nejmladší sopka v ČR 170 000 - 400 000 let) a Komorní hůrka (stáří nad 450 000 let). Kolem dvou milionů let jsou pak staré sopky v Nížkém Jeseníku v okolí Bruntálu. Nejintenzivněji se sopečná činnost v Českém masivu projevovala na tzv. oherském riftu a při tzv. labské linii. Projevem postvulkanické činnosti v ČR jsou výrony plynů a minerálních vod.

Vylučující kritérium: výskyt vulkanických hornin pliocenního až holocenního stáří nebo projevů postvulkanické činnosti, zejména výronu plynů nebo minerálních vod, spojených s minulou vulkanickou aktivitou, do vzdálenosti 5 km.

SVAHOVÉ DEFORMACE

Svahové pohyby vznikají při porušení stability svahu působením gravitace a dalších faktorů, jako jsou působení vody, mechanické vlastnosti dotčených hornin a zemin, napjatostí uvnitř horninového masivu, nebo externím zatížením, které je důsledkem lidské (stavební) činnosti. Jejich vznik a vývoj je podmíněn místními přírodními poměry (sklon svahu, geologické poměry, klimatické podmínky atd.) a případně lidskou činností (změny reliéfu krajiny, změny vodního režimu).

Vylučující kritérium: výskyt svahových pohybů, snižujících jadernou bezpečnost.

PROPADY A DEFORMACE POVRCHU

Propady, deformace povrchu území mohou být způsobeny přítomností např. krasových dutin, následkem předchozí důlní činnosti, těžby (vznik poklesových kotlin nad dobývanými ložisky nerostných surovin) a používání speciálních technologií např. jímání břidličného plynu, zejména hydraulické stimulace masívu (fracking) nebo jímání plynu z podzemního zplyňování uhlí, následkem historické těžby – dnes poddolovaná území, čerpáním podzemní vody z hlubokých vrtů, existencí podzemních zásobníků plynu, geotermálních vrtů apod.

Vylučující kritérium: výskyt těchto jevů o na pozemku jaderného zařízení nebo o mimo pozemek JZ, hrozí-li propad nebo deformace povrchu území k umístění jaderného zařízení.

NEPŘÍZNIVÉ VLASTNOSTI ZÁKLADOVÝCH PŮD

- Posouzení stability základových zemin a hornin při statickém a dynamickém namáhání zahrnuje řadu zkoušek a výpočtů.
- Základová půda je zemina nebo hornina, do které se stavba zakládá. Je to část horninového prostředí, která spolupůsobí se stavební konstrukcí (vlivem přetížení stavbou v ní by došlo k přerozdělení napjatosti). Při porušení stability základové půdy překročením její únosnosti dojde k vytvoření smykových ploch a k zaboření základu do základové půdy.
- Vlastnosti základových půd JZ se musí stanovit inženýrskogeologickým, respektive geotechnickým průzkumem podle ČSN P 731005 a ČSN EN 1997 část 1 a část 2 a na ně navazujících geotechnických norem. Eurokod.
- Z hlediska umístění JZ musí být hodnoceny nevhodné vlastnosti základových půd, které není možno technickými prostředky eliminovat (např. odtěžit), např.:
 - ztekucení zemin, spojené zejména s podzemní sufozí. Vzniká vlivem hydrodynamického tlaku při přesažení kritického gradientu a při určité kritické pórovitosti jemnozrnných zemin,
 - plastické vytlačování podloží. K projevům plastického vytlačování patří kerné sesuvy, vytlačování měkkých jílu na dně erozních údolí a poruchy náspů způsobené neúnosností podloží,
 - soliflukce, tj. pomalý svahový pohyb, kdy po zmrzlé spodní vrstvě dochází k pohybu rozmrzlé povrchové vrstvy.

Rychlosti příčných vln – nesmí být nižší než 360 m/s. Kategorizace základových půd podle vln (typ 1 - 3).

Únosnost základových – nesmí být nižší než 0,2 MPa. Únosnost základové půdy je obecně takové maximální napětí, při kterém v ní nedojde k vytvoření plastických deformací.



Dále musí být posouzeno:

- extrémně velká intenzita rozpukání hornin (stupeň 5 a 6 dle ČSN EN ISO 14689-1 a pronikání zón takto rozpukáných hornin hluboko pod úroveň základové spáry),
- změny ve fyzikálně-mechanických vlastnostech zemin a sedimentárních hornin v důsledku zvodnění, mechanického namáhání a vibrací,
- nepříznivé morfologické podmínky, např. velká členitost a svažitost území (nad 15°), komplikující zemní práce na staveništi.

Výsledky všech provedených průzkumů se shrnují do tzv. **Souhrnné geotechnické zprávy**. Její doporučený obsah:

- podrobný prostorový inženýrskogeologický model předpokládaného staveniště včetně řezů (geologické profily základovou půdou na staveništi by měly být ve vhodné formě a v dostatečném množství nezbytném pro projektové účely);
- případný návrh na doplňkový geotechnický průzkum nebo požadavek na něj v závislosti na další etapě přípravy (zpracování projektu);
- projekt analýzy geotechnických rizik v průběhu výstavby a provozu;
- návrh na geotechnický dozor včetně posuzování odlišností geotechnických podmínek a požadavků na dokumentaci a přebírání základových spár (návrh na řízení geotechnických rizik v průběhu stavby);
- koncept projektu (včetně definice cílů) geotechnického monitoringu během výstavby a provozu (součást řízení geotechnických rizik v průběhu výstavby);
- pokud jde o území s jiným JZ - komplexní zhodnocení geotechnických poznatků a zkušeností z období výstavby stávajícího JZ a monitoring sedání stávajících základových desek,
- Souhrnná geotechnická zpráva by měla být po dalších provedených průzkumech aktualizována (revidována).

VĚTRNÁ EROZE

Větrná eroze (deflace) je proces rozrušování půdního pokryvu a nezpevněných jemnozrnných sedimentů a jeho transport do míst sedimentace.

Zdrojem úlomků hornin nebo jemnozrnných sedimentů je větrná eroze, těžba, odkaliště, zvětrávání, výsypky, sopečná aktivita, lesní hospodářství nebo zemědělská činnost. V rámci hodnocení tohoto jevu je potřeba analyzovat jak místní zdroje prachových částic a úlomků, tak vzdálené zdroje, které mohou potenciálně ovlivnit JZ (vulkanická činnost na Islandu a jinde v Evropě).

Vylučující kritéria:

Výskyt následujících jevů na pozemku jaderného zařízení nebo o mimo pozemek JZ, hrozí-li propad nebo deformace povrchu území k umístění jaderného zařízení s vlivem na jadernou bezpečnost“

- přetrvávajících nevhodných vlastností základových půd, a to
- nevhodnosti základových půd pro zakládání objektů důležitých z hlediska jaderné bezpečnosti, pokud průměrná rychlost příčných vln v základové půdě je nižší než 360 m/s,
- výskytu základové půdy s únosností nižší než 0,2 MPa,
- výskytu prosedavých nebo silně bobtnavých základových půd,
- výskytu základové půdy zařazené mezi středně organické nebo vysoce organické, nebo výskytu ztekucení zemin.

OBĚH PODZEMNÍ VODY

- Hodnocení oběhu podzemní vody se provádí z důvodu vyloučení možného znečištění existujících zásob podzemních vod v území, které může být výstavbou a provozem JZ zasaženo, a také je oběh podzemní vody hodnocen jako vlastnost území, která může mít vliv na jadernou bezpečnost. Významné zásoby podzemních vod nesmí být ohroženy ani po ukončení provozu JZ.
- Výskyt, množství a chemické vlastnosti podzemních vod;
- Hydrogeologické rajóny a jejich útvary podzemních vod uvádí vyhláška č. 5/2011 Sb., o vymezení hydrogeologických rajonů a útvarů podzemních vod.
- Minerální, důlní vody. Zdroje podzemních vod, jímání pro zásobování obyvatel pitnou vodou.
- V adekvátně velkém území se hodnotí výskyt všech hydrogeologických struktur a jejich částí – část infiltrační, akumulační (transportní) a odvodňovací. Popisují se jednotlivé hydrogeologické vrstvy i do hloubky (tzv. stratifikace) a jejich vlastnosti (zda jde o izolátory, kolektory, jejich hydraulické vlastnosti apod.).
- Součástí hodnocení území je numerický hydrogeologický model, do kterého vstupují data jak archívní, tak z nových průzkumů a terénních měření, a ze kterého jsou určeny preferenční směry a rychlosti možného úniku radionuklidů z JZ, posouzení možného zasažení zásob podzemních vod, expoziční scénáře možného vlivu radionuklidů na jednotlivé skupiny obyvatel apod.

- Hodnocení vlivu podzemních vod na konstrukce a objekty JZ je soustředěno na pozemek JZ. Je posuzován režim podzemních vod a úroveň hladiny podzemní vody a její možný vliv jak při samotné výstavbě (zaplavování stavebních jam), tak při provozu JZ (pokud je hladina podzemní vody v úrovni založení staveb, je nutno zajistit technickým řešením nepřetržité snižování hladiny podzemní vody během celé životnosti JZ). Agresivita podzemní vody, která může způsobit korozi staveb, se posuzuje také z hlediska toho, zda podzemní voda na pozemku JZ stagnuje nebo pod pozemkem JZ proudí a tím se její působení zvyšuje. Vlivem podzemní vody na konstrukce se zabývají normy ČSN.
- Ochranou podzemních vod se zabývá zákon č. 254/2001 Sb., o vodách (vodní zákon).
- Hodnocení je realizováno pomocí rešeršních prací a vyhodnocení dosavadních hydrogeologických průzkumů a v případě nedostatečného poznání i novým terénním průzkumem.
- Pomocí modelu proudění podzemní vody a možného transportu kontaminantů zhodnotit možný vliv stavby a provozu JZ na kvalitu a kvantitu podzemních vod, a to z hlediska infiltračního území, transportní a akumulární oblasti a oblasti odvodnění struktur.



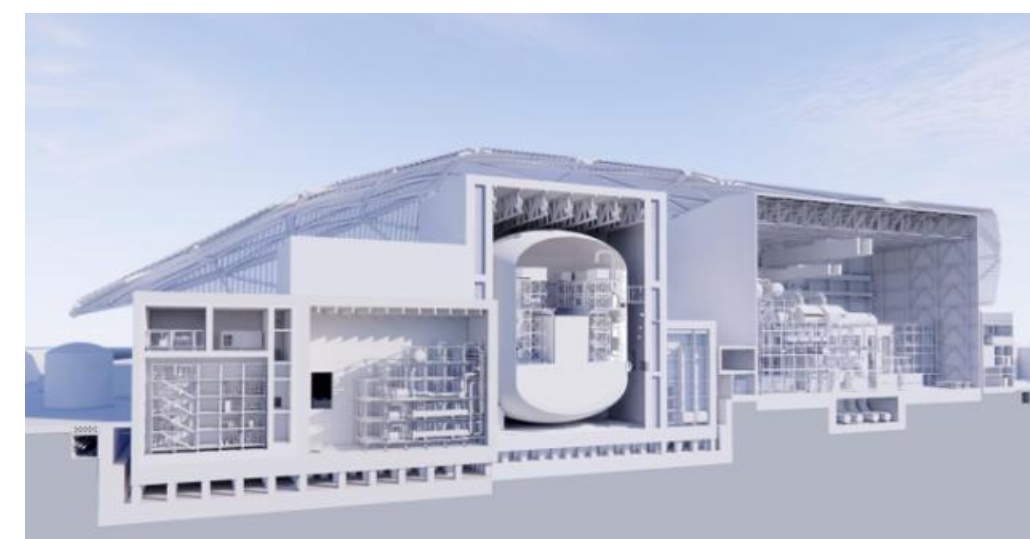
Vylučující kritérium: jakýkoli zásah do hydrogeologického rajonu, kde se nacházejí významné zásoby podzemních vod, do vyhlášených ochranných pásem vodních zdrojů, ochranných pásem minerálních vod a vyhlášených chráněných území přirozené akumulace vod (CHOPAV).

VÝZVY K ŘEŠENÍ Z HLEDISKA CHARAKTERISTIK ÚZEMÍ

Hloubka založení
RR 14 m
BWRX 300 35 m



- Seismická odolnost 0,3 g – elastomeric bearings
- Porušení území zlomem
- Vlastnosti základových půd
- Oběh podzemních vod
- Bývalé uhelné elektrárny a chemické provozy – kontaminace zemin a podzemní vody, zastaralá infrastruktura
- Hustě obydlené oblasti, případně příhraniční území (jak stanovit zónu havarijního plánování?)



Děkuji za pozornost



NUCLEAR
RESEARCH
INSTITUTE

Dana HAVLÍN NOVÁKOVÁ, UJV Energoprojekt Praha
dana.havlinnovakova@ujv.cz
+420 606 638 994



UJV Group
PEOPLE | INNOVATION | TECHNOLOGY